# UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

*Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo*

## UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERIA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN

### CARRERA DE INGENIERIA CIVIL

ANÁLISIS POR DESEMPEÑO SISMICO EN SISTEMAS DE PORTICOS ESPECIALES A MOMENTO (acero) USANDO DIFERENTES TIPOLOGIAS DE CONEXIÓNES

**TRABAJO DE TITULACIÓN O PROYECTO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

**AUTOR: BOLIVAR XAVIER TAPIA FAJARDO - CHRISTIAN XAVIER ARBITO IÑIGUEZ**

**DIRECTOR: ING. JUAN BARBECHO**

**CUENCA - ECUADOR**

**2020**

Yo me gradué en los 50 años de La Cato! ... y sostuve la Universidad

## DECLARACION DE AUTORIA

Declaramos, bajo juramento, que el contenido del trabajo descrito de titulación corresponde exclusivamente a BOLIVAR XAVIER TAPIA FAJARDO & CHRISTIAN XAVIER ARBITO IÑIGUEZ, la responsabilidad de las ideas y doctrinas expuestas son de responsabilidad de los autores y no han sido previamente presentadas por ningún otro trabajo de grado.

**Bolívar Xavier Tapia Fajardo**
**C.I. 010535638-0**

**Christian Xavier Arbito Iñiguez**
**C.I. 010498708-6**

## CERTIFICACION DEL DIRECTOR DE TESIS

Yo, Juan Barbecho C, certifico que el presente trabajo de titulación, fue ejecutado por los estudiantes Bolívar Tapia Fajardo y Christian Arbito Iñiguez, estudiantes de la carrera de Ingeniería Civil de la Universidad Católica de Cuenca, bajo mi dirección.

**Ing. Juan Barbecho C. MSc.**
**C.I. 010444592-9**

## Dedicatoria

Dedico este trabajo de titulación a mis padres, Bolívar y Leonor, quienes todo el tiempo han estado presentes en el caminar de mi vida, y que, con mis aciertos y desaciertos, han suplido cada una de las adversidades que se me han cruzado en estos 23 años que llevo conociendo el mundo. Así también a mis hermanos Doménica y Andrés, quienes son y serán el foco de felicidad y unión familiar.

ATT: Bolívar Xavier Tapia Fajardo.

## Dedicatoria

Dedico el presente trabajo de titulación a todas las personas que han estado y las que siguen estando en mi vida, las cuales me han apoyado en todo este proceso para poder cumplir esta meta. En especial quiero dedicar este trabajo a mis padres quienes aparte de su apoyo me brindaron la motivación de nunca rendirme y seguir adelante.

ATT: Christian Xavier Arbito Iñiguez.

## Agradecimientos

Agradezco primeramente a Dios por la vida, la salud y la libertad; que son los tres ejes principales para poder desarrollar cualquier tipo de actividad, como hoy por hoy, esta tesis de grado. Así mismo por las virtudes de ciencia, conocimiento y sabiduría para poder entender y manejar la ingeniería correctamente, con la responsabilidad necesaria, para el bien común propio y de la sociedad, a quien se pretende servir luego de recibirme como Ingeniero Civil. De igual manera a mis padres Bolívar y Leonor, quienes, con el amor y esfuerzo, han sido el pilar de apoyo más importante, infundiendo grandes valores en mi persona, que forjaron gran parte de mi carácter para afrontar la vida.

Agradezco a mi país Ecuador, el cual legal y políticamente pretende otorgarme el título de Ingeniero Civil, al cual serviré con la mayor responsabilidad que se me encomienda.

Espero haber cumplido con la misión y visión de la Universidad Católica de Cuenca, la cual fue mi casa de estudios de pregrado, donde adquirí con el mayor empeño y capacidad posible, el conocimiento, teoría y práctica necesaria para afrontar los problemas de la ingeniería, así como la solución de estos.

Finalmente agradezco a quienes fueron mis maestros en cada una de las diferentes asignaturas que curse durante 5 años de estudio, así como también a la familia, amigos, compañeros y todos quienes formaron parte de este proceso.

ATT: Bolívar Xavier Tapia Fajardo

## Agradecimientos

Agradezco a todos los docentes que fueron mis maestros en la Universidad, los cuales me brindaron el conocimiento teórico y práctico necesario sobre la Ingeniería Civil, el cual todo este conocimiento abarcado durante todo este proceso de estudio lo empleare de la manera más correcta y profesional posible, con el fin de satisfacerme a mí personalmente y además poder aportar de alguna manera a la sociedad, como un Ingeniero Civil.

Agradezco también a mis padres, Gloria y Omar, los cuales me han sabido apoyar en cada meta que me he propuesto en toda mi vida, que gracias a su apoyo y amor me han inspirado a no rendirme a pesar de las diversas adversidades que suele tener la vida.

De igual manera agradecer a mi país Ecuador, el cual legal y políticamente pretende otorgarme el título de Ingeniero Civil, el cual serviré en toda mi vida profesional con la mayor responsabilidad y ética posible.

Quiero agradecer a la Universidad Católica de Cuenca por haber brindado la oportunidad de estudiar la carrera que me gusta, también por haberme brindado todo el conocimiento sobre la ingeniería para poder afrontar y encontrar la solución a todos los problemas posibles que se den durante toda mi vida profesional.

Finalmente agradezco a mis compañeros, amigos, familia y demás personas que de alguna manera me apoyaron y siempre confiaron en mis capacidades para poder cumplir esta meta.

ATT: Christian Xavier Arbito Iñiguez.

## Resumen

El estudio se basará en un análisis por desempeño sísmico de un sistema estructural resistente a cargas sísmicas (SRCS) de acero conformado por pórticos especiales a momento (PEM). El diseño de la estructura se realizará mediante los requerimientos de la norma local NEC-SE-AC en correlación con el código de acero estructural AISC-360, y las disposiciones sísmicas AISC-341, considerando la respuesta inelástica y ductilidad que el sistema debe tener para cumplir con la resistencia mínima de diseño para un nivel de desempeño N°3 (Nivel de colapso). El sismo de diseño corresponde a un sismo en la ciudad de Cuenca, con un periodo de retorno de 475 años.

Posterior a esto, se evaluarán tres tipos de conexiones precalificadas (RBS, WUF-W, BFP), siguiendo el código de diseño AISC-358. La evaluación de las conexiones se realizará en el software IDEA StatiCa, el cual ensaya las conexiones mediante el método CBFEM que integra análisis por elementos finitos y cálculo analítico de elementos. De esta manera se obtendrán la respuesta no lineal de las conexiones y su capacidad rotacional (momento/rotación). Finalmente se realiza un análisis no lineal (Push-over) en el software ETABS, introduciendo un comportamiento de respuesta específico en cada conexión viga-columna de la estructura, con los resultados de la curva de capacidad para cada conexión obtenidos en el software IDEA StatiCa; obteniendo la ductilidad global de la estructura para correlacionar con el factor de reducción de cargas sísmicas R, de las disposiciones sísmicas locales NEC-SE-DS, el cual representa un 90% la ductilidad que hipotéticamente se asume que tendrá una estructura con un sistema sísmico especifico; en el 10% restante influye la redundancia del sistema y la sobrerresistencia.

Finalmente, el resultado de capacidad de la estructura se evaluará con el espectro de diseño (R=1), y con espectros de diferentes localidades del país, aumentando la demanda sísmica, para verificar el desempeño de la estructura. Por otra parte, también se busca verificar que el comportamiento plástico de la estructura bajo los factores de desempeño sísmico adoptados (R, $\Omega_0$ y $C_d$) son correctos o en su defecto se asemejan a los valores tomados como hipótesis para el diseño de la estructura.

**Palabras clave:**

PÓRTICO ESPECIAL A MOMENTO (PEM), PUSH-OVER, ROTULA PLÁSTICA, FACTOR R, DUCTILIDAD.

## Abstract

The study will be based on a seismic performance analysis of a structural system resistant to seismic loads (SRCS) made of steel formed by special moment frames (PEM). The design of the structure will be conducted employing the requirements of the local standard NEC-SE-AC in correlation with the structural steel code AISC360, and the seismic provisions AISC-341, considering the inelastic response and ductility that the system must have to comply with the minimum design resistance for a performance level N°3 (Level of collapse). The design earthquake corresponds to an earthquake in the city of Cuenca, with a return period of 475 years.

After this, three types of pre-qualified connections will be evaluated (RBS, WUF-W, BFP), following the design code AISC-358. The evaluation of the connections will be performed in the IDEA StatiCa software, which tests the connections through the CBFEM method that integrates finite element analysis and analytical calculation of elements. In this way, the non-linear response of the connections and their rotational capacity (moment/rotation) will be obtained. Finally, a non-linear (Push-over) analysis is performed in the ETABS software, introducing a specific response behavior in each beam-column connection of the structure, with the results of the capacity curve for each connection obtained in the IDEA StatiCa software; obtaining the global ductility of the structure to correlate with the seismic load reduction factor R, of the local seismic arrangements NEC-SE-DS, which represents 90% of the ductility that a structure with a specific seismic system is hypothetically assumed to have; the remaining 10% is influenced by the system redundancy and overloading.

Finally, the result of the structure's capacity will be evaluated with the design spectrum (R=1), and with spectra from different locations in the country, increasing the seismic demand, to verify the structure's performance. On the other hand, it is also sought to verify that the plastic behavior of the structure under the seismic performance factors adopted (R, $\Omega_0$ y $C_d$) is correct or in their absence are similar to the values taken as hypotheses for the design of the structure.


KEYWORDS: SPECIAL MOMENT FRAME (SMF), PUSH-OVER, PLASTIC HINGE, R FACTOR, DUCTILITY.

# Tabla de Contenidos

1. Introducción, Información General y Marco Teórico ..... 46
1.1 Introducción. ..... 46
1.2 Antecedentes. ..... 47
1.2.1 Formulación del problema. ..... 47
1.2.2 Definición de la zona de estudio. ..... 48
1.3 Objetivos. ..... 48
1.3.1 General. ..... 48
1.3.2 Específicos. ..... 48
1.4 Justificación. ..... 49
1.5 Marco teórico. ..... 49
1.5.1 Métodos de diseño: LRFD y ASD. ..... 49
1.5.2 Estructuras dúctiles de acero. ..... 52
1.5.3 Efectos no lineales. ..... 56
1.5.4 Comportamiento sísmico de las estructuras de acero. ..... 57
1.5.5 Métodos de diseño sismorresistente. ..... 58
1.5.6 Diseño por capacidad. ..... 59
1.5.7 Diseño basado en desempeño. ..... 60
1.5.8 Rigidez, resistencia y ductilidad. ..... 62
1.5.9 Procedimiento para el diseño sismorresistente según normativa ASCE/SEI. ..... 63
1.5.10 Definición de la acción sísmica para diseño. ..... 63
1.5.11 Desplazamiento lateral y distorsión de piso. ..... 72
1.5.12 Estados de carga y análisis estructural. ..... 73
1.5.13 Tipos de sistemas estructurales para construcciones de acero. ..... 75
1.5.14 Sistemas sismorresistentes. ..... 83
1.5.15 Requerimientos generales para sistemas sismorresistentes. ..... 86
1.5.16 Conexiones viga-columna (Conexiones precalificadas). ..... 93
1.5.17 Pórticos no arriostrados. ..... 95
1.5.18 Pórticos no arriostrados especiales. ..... 96
2. Diseño por Capacidad del Edificio ..... 105
2.1 Materiales. ..... 105
2.2 Cargas. ..... 106
2.2.1 Cargas Gravitacionales. ..... 106

2.3 Hipótesis de Modelo. ..... 108
2.3.1 Modelado matemático ..... 108
2.4 Prediomensionamiento de Miembros. ..... 109
2.4.1 Vigas Principales del SRCS. ..... 109
2.4.2 Columnas. ..... 110
2.4.3 Vigas Secundarias. ..... 111
2.5 Configuración Estructural. ..... 111
2.5.1 Sistema Resistente a Cargas Gravitacionales (SRCG) ..... 111
2.5.2 Sistema Resistente a Cargas Sísmicas (SRCS). ..... 112
2.5.3 Perfilería. ..... 113
2.6 Parámetros de Diseño Sismorresistente. ..... 118
2.6.1 Categoría De Diseño Sísmico. ..... 118
2.6.2 Factores De Desempeño Sísmico. ..... 118
2.6.3 Factor de redundancia. ..... 120
2.7 Espectro Elástico de Diseño. ..... 121
2.8 Análisis Basado en Fuerzas. ..... 122
2.8.1 Análisis Estático Lineal. ..... 122
2.8.2 Análisis Modal Espectral. ..... 126
2.9 Análisis Estructural. ..... 131
2.9.1 Combinación de carga. ..... 131
2.9.2 Carga Sísmica E. ..... 131
2.9.3 Componente Vertical del Sismo de Diseño. ..... 132
2.9.4 Combinaciones De Carga Finales. ..... 132
2.10 Análisis Estructural Mediante ETABS. ..... 133
2.11 Análisis Estructural Del Sistema Resistente a Cargas Sísmicas. ..... 134
2.12 Sistema Sísmico Aislado (Pórtico 4). ..... 134
2.13 Vigas Cargadoras (Sistema Resistente a Cargas Gravitacionales). ..... 135
2.14 Solicitaciones máximas de la Estructura. ..... 135
2.15 Diagramas Axiales, Cortantes y de Momento Resultantes. ..... 139
2.16 Verificaciones De Resistencia Nominal De Los Componentes De Las Estructura. ..... 143
2.16.1 Verificación de la Viga IPE 360, IPE 400 e IPN 450. ..... 143
2.16.2 Estabilidad-Pandeo lateral-torsional. ..... 147
2.16.3 Estados Limite de Servicio. ..... 151
2.16.4 Verificación de las Columnas HEB 450 y HBE 500 (Método directo AISC 360). ..... 152

2.16.5 Relacion entre recistencia flexional de columnas y vigas. 161
3. Diseño de Conexiones Precalificadas. 164
3.1 conexiones a corte en vigas del SRCG. 164
3.2 Diseño de diferentes tipologías de conexiones para pórticos PEM 164
3.3 Conexión de Sección Reducida (RBS). 165
3.3.1 Limitaciones de la viga 165
3.3.2 Limitaciones de la columna. 166
3.3.3 Procedimiento de diseño de la conexión 166
3.3.4 Diseño y verificacion de la placa a corte entre el alma de viga y patin de columna. 171
3.3.5 Chequeo de placas de continuidad 175
3.3.6 Verificacion de la zona de panel 181
3.3.7 Representación detallada de la conexión RBS 184
3.4 Conexión con Patín Soldado y Alma Soldada (WUF-W). 185
3.4.1 Limitaciones de la viga 185
3.4.2 Limitaciones de la columna. 186
3.4.3 Procedimiento de diseño de la conexión 186
3.4.4 Placa simple a corte entre el alma de viga y patin de columna. 187
3.4.5 Chequeo de placas de continuidad 189
3.4.6 Verificacion de la zona de panel 191
3.4.7 Detalles de la conexión entre la viga y la columna. 192
3.5 Detalles de las ranuras para las conexiones RBS y WUF-W. 193
3.5.1 Representación detallada de la conexión WUF-W. 194
3.6 Conexión de Placa de Ala atornillada – BFP. 195
3.6.1 Limitaciones de la viga 195
3.6.2 Limitaciones de la columna. 196
3.6.3 Detalles de Conexión. 196
3.6.4 Procedimiento de diseño. 197
3.6.5 Diseño de conexión a corte con placa simple para la resistencia requerida $\boldsymbol{Vu}$. 205
3.6.6 Verificacacion de placas de contuinidad. 207
3.6.7 Soldadura de placa de continuidad. 210
3.6.8 Verificacion de la zona de panel 211
3.6.9 Representación detallada de la conexión BFP. 212
4. Análisis por desempeño (no-lineal) de componentes locales (miembros y conexiones) y componente global (Push-over) de la estructura calibrada 213

4.1 Análisis estático no lineal (NSP). ..... 213
4.2 Procedimiento de análisis. ..... 214
4.2.1 Procedimiento No Lineal. ..... 215
4.2.2 Procedimiento del análisis estático no lineal (NSP). ..... 215
4.2.3 Requisitos generales para NSP. ..... 215
4.2.4 Cargas a considerarse en el análisis. ..... 216
4.2.5 Curva PUSH-OVER – Espectro de capacidad. ..... 220
4.2.6 Análisis PUSH-OVER método de los coeficientes ASCE-41. ..... 221
4.2.7 Criterios de aceptación del análisis NSP. ..... 227
4.2.8 Espectros de demanda sísmica. ..... 252
4.2.9 Niveles de desempeño sísmico, objetivos de desempeño y niveles de demanda sísmica. 254
4.2.10 Relación entre aceleraciones del suelo y periodos de retorno. ..... 255
4.2.11 Desplazamientos objetivos. ..... 256
5. Resultados del análisis por desempeño de la estructura calibrada ..... 256
5.1 Curvas de capacidad PUSH OVER – Determinación de la ductilidad de la estructura. ..... 256
5.2 Comparación de la capacidad de los modelos. ..... 281
6. Conclusiones y recomendaciones ..... 284
7. Lista de referencias ..... 288
8. Apéndice-Anexos ..... 292

# Listado de Simbología

| Símbolo | Definición |
|---|---|
| $\xi$ | Amortiguamiento relativo |
| $\eta$ | Razón entre la aceleración espectral y el promedio de la aceleración máxima de las dos componentes horizontales de cada registro de aceleración del suelo para el período de retorno seleccionado |
| $\rho$ | Redundancia estructural |
| $\emptyset$ | Factor de resistencia |
| $\alpha$ | Coeficiente estructural para sistemas de acero sin arrostramientos |
| $\alpha_2$ | Relación de pendiente negativa posterior al rendimiento |
| $\alpha_e$ | Relación de pendiente negativa efectiva posterior al rendimiento |
| $\alpha_{P-\Delta}$ | Relación de pendiente negativa causada por los efectos de P-Δ |
| $\delta$ | Desplazamiento interno respecto a la cuerda de un miembro estructural o desplazamiento axial |
| $\delta_t$ | Desplazamiento objetivo |
| $\delta_u$ | Desplazamiento lateral máximo en el nudo de control en el punto de desempeño o deformación ultima |
| $\delta_y$ | Deformación de plastificación |
| $\phi_a$ | Coeficiente de reducción de la disipación de energía provocado por irregularidades en altura de la edificación. |
| $\phi_p$ | Coeficiente de reducción de la disipación de energía provocado por irregularidades en planta de la edificación |
| $\phi_r$ | Coeficiente de reducción de la capacidad de disipación de energía por ausencia en el sistema de resistencia sísmica |
| $\Omega$ | Coeficiente de seguridad |
| $\Omega_D$ | Factores de sobrerresistencia de diseño |
| $\Omega_M$ | Factores de sobrerresistencia del material |
| $\Omega_O$ | Factor de sobrerresistencia |
| $\Omega_S$ | Factor sobrerresistencia de sistema |

| | |
|---|---|
| $\mu$ | Ductilidad |
| $\mu_{max}$ | Factor de ductilidad limite |
| $u_o$ | Respuesta máxima de desplazamiento |
| $\mu_{strenght}$ | Relación entre la demanda sísmica $(S_a)$ y el coeficiente sísmico $(C_s)$ |
| $\dot{u}_o$ | Respuesta máxima de velocidad |
| $\ddot{u}_o$ | Respuesta máxima de aceleración |
| $\theta_i$ | Distorsión de piso |
| $\theta_p$ | Rotación plástica |
| $\theta_T$ | Distorsión de pisto total |
| $\theta_y$ | Rotación de fluencia |
| $\lambda$ | Factor de efecto de campo cercano |
| $\lambda_c$ | Relación de esbeltez de columnas |
| $\lambda_{hd}$ | Relación anchura-espesor límite para elementos con alta ductilidad |
| $\lambda_{md}$ | Relación ancho-espesor límite para elementos con moderada ductilidad |
| $\lambda_r$ | Relación ancho-espesor límite para miembros en compresión y flexión |
| $\lambda_p$ | Relación ancho-espesor límite para miembros en compresión |
| $\varepsilon_a$ | Amplitud de deformación |
| $\Delta$ | Desplazamiento lateral de un nivel |
| $\Delta_{adm}$ | Deformación máxima admisible |
| $\Delta_d$ | Desplazamientos de diseño |
| $\Delta_{dE}$ | Desplazamiento obtenido del análisis elástico |
| $\Delta_E$ | Deriva elástica |
| $\Delta\varepsilon_e$ | Componente de deformación plástica |
| $\Delta\varepsilon_p$ | Componente de deformación elástica |
| $\Delta\varepsilon'_f$ | Mayor amplitud de deformación total |

| | |
|---|---|
| $\Delta_H$ | Deriva de entrepiso de primer orden en la dirección de traslación producida por las cargas laterales |
| $\Delta_i$ | Desplazamiento relativo de piso |
| $\Delta_M$ | Derivas inelásticas máximas de piso |
| $\Delta_T$ | Desplazamiento total |
| $\Delta_\mu$ | Deformación máxima |
| $\Delta_y$ | Deformación de fluencia |
| β1 | Factor de amplificación de los efectos P-δ |
| β2 | Factor de amplificación de los efectos P-Δ |
| $\beta_{br}$ | Rigidez de corte requerida o rigidez requerida del arriostramiento |
| $\beta_r$ | Rigidez requerida de un refuerzo lateral puntual |
| $\beta_{sec}$ | Rigidez distorsional del alma |
| $\beta_T$ | Rigidez de los arriostramientos excluyendo la distorsión del alma |
| $\tau_{adm}$ | Límite de fluencia admisible del material a cortante |
| $\tau_b$ | Factor adicional que deberá ser aplicado en la rigidez a flexión de todos los miembros cuya rigidez se considere que contribuyen a la estabilidad de la estructura |
| $a$ | Factor de clase de sitio |
| $a_1$ | Aceleración del suelo del sismo de diseño del sistema en análisis |
| $a_2$ | Aceleración del suelo de sismo a determinar |
| $A$ | Largo total del edifico |
| $A_b$ | Área nominal del perno |
| $A_{BM}$ | Área de la sección transversal del metal base |
| $A_e$ | Área neta efectiva de la placa en una hilera de pernos |
| $A_g$ | Área bruta de la sección transversal |
| $A_{gt}$ | Área bruta del elemento en sentido perpendicular donde actúa la carga |
| $A_{gv}$ | Área bruta del elemento |

| | |
|---|---|
| $A_n$ | Área de la sección de la placa restando el área por los orificios |
| $A_{nv}$ | Área neta del elemento |
| $A_{nt}$ | Área neta del elemento en sentido perpendicular donde actúa la carga |
| $A_{we}$ | Área efectiva de soldadura |
| $b$ | Ancho perfil estructural |
| $b_{bf}$ | Ancho del patín de la viga |
| $b_{cf}$ | Ancho del patín de la columna |
| $b_{fp}$ | Ancho de la placa |
| $b_g$ | Ancho bruto de la placa simple a corte |
| $b_n$ | Ancho neto de la placa simple a corte |
| $b_p$ | Ancho total de la placa |
| $b_s$ | Ancho del atiesador |
| $B$ | Ancho total del edificio |
| $C$ | Fuerza que genera el amortiguamiento |
| $C_1$ | Factor de modificación que relaciona los desplazamientos inelásticos máximos esperados $(\Delta_d)$ con los desplazamientos dentro del límite proporcional elástico $(\Delta_y)$ |
| $C_2$ | Factor de modificación que representa el efecto de histéresis del sistema, la degradación de rigidez cíclica y la resistencia en el desplazamiento máximo de la estructura |
| $C_b$ | Coeficiente torsional |
| $C_d$ | Factor de amplificación de desplazamientos |
| $C_m$ | Coeficiente que supone un marco sin translación lateral o factor de masa efectivo, dependiendo del caso de análisis |
| $C_0$ | Factor de modificación que relaciona el desplazamiento del sistema equivalente de un grado de libertad (SDOF) con el desplazamiento del nodo de control en el edificio de varios grados de libertad (MDOF) |
| $C_{pr}$ | Factor que tiene en cuenta el endurecimiento por deformación, la restricción local el refuerzo adicional, entre otras condiciones de la conexión |

| | |
|---|---|
| $C_s$ | Coeficiente sísmico |
| $C_t$ | Coeficiente estructural para sistemas de acero sin arrostramientos |
| $C_v$ | Coeficiente de corte por resistencia del alma |
| $C_w$ | Constante de alabeo |
| $d^*$ | Distancia entre los centroides de las planchas conectadas a la viga |
| $d_b$ | Diámetro nominal del perno o profundidad de la viga, dependiendo del caso de análisis |
| $d_c$ | Profundidad de columna |
| $d_{max}$ | Peralte límite del elemento estructural |
| $d_o$ | Diámetro del orifico del perno |
| $d_p$ | Profundidad total de la placa |
| $d_v$ | Peralte de la viga |
| $d_z$ | Altura de panel nodal |
| $D$ | Carga permanente por peso propio de los elementos estructurales y no estructurales |
| $DES$ | Sistema estructural con capacidad de disipación de energía especial |
| $e$ | Espesor placa duplicadora |
| $E$ | Módulo de elasticidad del material |
| $E_{cl}$ | Acciones sísmicas limitadas por capacidad |
| $E_h$ | Acción del sismo en dirección horizontal |
| $E_{mh}$ | Acciones sísmicas con sobrerresistencia |
| $E'$ | Energía total suministrada a la estructura por el movimiento del suelo o sismo estático |
| $E_v$ | Acción del sismo en dirección vertical |
| $E'_x$ | Sismo estático en el eje “X” |
| $E'_y$ | Sismo estático en el eje “Y” |
| $f$ | Factor de ajuste dinámico |
| $F_a$ | Coeficiente de amplificación de suelo en la zona de período cortó |

| | |
|---|---|
| $F_{cr}$ | Esfuerzo critico de Euler |
| $F_d$ | Coeficiente de amplificación de suelo en la zona considerando los efectos de sitio |
| $F_e$ | Tensión de pandeo elástico |
| $F_{EXX}$ | Resistencia de clasificación del metal de relleno |
| $F_i$ | Distribución vertical de las acciones sísmicas laterales |
| $F_{nBM}$ | Área efectiva de la soldadura |
| $F_{nv}$ | Resistencia nominal cortante del perno A325-N para conexiones tipo aplastamiento |
| $F_{nw}$ | Tensión nominal del metal de soldadura |
| $F_{pr}$ | Fuerza en la placa debido a $M_f$ |
| $F_s$ | Coeficiente de amplificación de suelo en la zona considerando el comportamiento no lineal de los suelos |
| $F_u$ | Resistencia de tracción mínima especificada |
| $F_{ub}$ | Resistencia ultima a la tensión de la viga |
| $F_{up}$ | Resistencia ultima a la tensión de la placa |
| $F_x$ | Distribución vertical de fuerzas sísmicas laterales en el eje “X” |
| $F_y$ | Resistencia de fluencia especificada |
| $F_{y.p}$ | Resistencia de fluencia especificada de la placa |
| $h$ | Peralte perfil estructural o factor que está en función del periodo fundamental efectivo del edificio en la dirección considerada |
| $h_i$ | Altura de entrepiso |
| $h_o$ | Distancia entre los centroides de los patines del perfil |
| $h_T$ | Altura total de la edificación |
| $H$ | Esfuerzo de piso provocado en dirección de traslación considerada, debido a las acciones laterales |
| $I$ | Inercia del elemento estructural |
| $I_e$ | Factor de importancia |

| | |
|---|---|
| $I_{yeff}$ | Inercia efectiva fuera del plano |
| $K$ | Factor de longitud efectiva o rigidez, dependiendo del caso de análisis |
| $K'$ | Fuerza que genera la oposición al movimiento |
| $K_e$ | rigidez lateral efectiva |
| $K_i$ | Rigidez elástica lateral del sistema estructural en la dirección considerada |
| $L$ | Luz de la viga o longitud de la columna |
| $L'$ | Sobrecarga de uso en función de la ocupación que tendrá la estructura |
| $L_b$ | Longitud sin soporte lateral del patín de compresión |
| $L_{b.max}$ | Longitud máxima no arriostrada |
| $L_{br}$ | Longitud no arriostrada adyacente al punto de arriostramiento |
| $L_c$ | Distancia libre o longitud efectiva |
| $L_e$ | Distancia al borde en dirección de la carga |
| $L_g$ | Distancia bruta de la placa simple a corte |
| $L_h$ | Distancia entre rótulas plásticas en la viga |
| $L_n$ | Distancia neta de la placa simple a corte |
| $L_p$ | Longitud límite sin arriostramiento lateral para el estado límite de fluencia |
| $L_r$ | Sobrecarga en cubiertas o longitud límite sin arriostramiento lateral para el estado límite de pandeo flexo torsional inelástico, dependiendo del caso de análisis |
| $L_s$ | Distancia al borde en dirección perpendicular a la carga |
| $L_w$ | Longitud de suelda |
| $M$ | Fuerza que genera la masa |
| $M_{br}$ | Resistencia requerida en flexión del arriostramiento |
| $M_{cx}$ | Resistencia nominal a la flexión en el eje “X” |
| $M_{cy}$ | Resistencia nominal a la flexión en el eje “Y” |
| $M_d$ | Resistencia de diseño a flexión |

| | |
|---|---|
| $M_f$ | Momento máximo probable en la cara de la columna |
| $M_{lt}$ | Momento de primer orden empleando las combinaciones LFRD, provocado por el desplazamiento lateral de la edificación |
| $M_{max}$ | Momento máximo generado |
| $M_n$ | Momento nominal a flexión |
| $M_{nt}$ | Momento de primer orden empleando las combinaciones LFRD, cuando en la edificación no hay desplazamientos laterales |
| $M_p$ | Momento plástico |
| $M_{pb}$ | Resistencia por flexion de las vigas |
| $M_{pc}$ | Momento plástico nominal de la columna |
| $M_{pe}$ | Momento plástico de la viga con sección completa |
| $M_{pr}$ | Momento máximo probable generado en la rótula plástica |
| $M_r$ | Resistencia a flexión dentro del panel considerado o resistencia en flexión requerida de la viga entre las longitudes no arriostradas adyacentes al punto arriostrado |
| $M_r'$ | Resistencia flexional requerida del arriostramiento torsional |
| $M_x$ | Momento producido en el eje “X” |
| $M_y$ | Momento producido en el eje “Y” |
| $M_v$ | Momento adicional producido en la viga causado por la amplificación del corte desde la rótula plástica hasta el eje de la columna |
| $n$ | Número de puntos arriostrados dentro del vano o número de pernos empleados en la placa |
| $n/2$ | Numero de tornillos en una fila en la parte izquierda y derecha del patín de la viga |
| $N_f$ | Inversiones de carga que soporta el material |
| $P$ | Carga vertical o cortante generada por cargas de gravedad, dependiendo del caso de análisis |
| $P_{br}$ | Resistencia requerida en la dirección perpendicular al eje longitudinal del elemento |
| $P_c$ | Resistencia nominal a la compresión axial de diseño |
| $PEM$ | Pórtico especial a momento |

| | |
|---|---|
| $P_f$ | Resistencia requerida en la cara de la columna que actúa en la placa de continuidad |
| $PGA$ | Aceleración máxima que puede tener la roca en el sitio de emplazamiento de la estructura |
| $P_{e1}$ | Resistencia a pandeo elástico del elemento en el plano de flexión calculada suponiendo que no hay desplazamientos de nudos |
| $P_{e\ piso}$ | Resistencia a pandeo elástico del entrepiso, en la dirección de traslación considerada |
| $P_i$ | Carga vertical total sin mayorar del piso más todos los pisos superiores a este |
| $P_{lt}$ | Fuerza axial de primer orden empleando las combinaciones LRFD, originado por el desplazamiento lateral de la edificación |
| $P_n$ | Resistencia axial de diseño |
| $P_{nt}$ | Fuerza axial de primer orden usando las combinaciones LRFD, cuando en la estructura no hay desplazamiento lateral |
| $P_{piso}$ | Carga vertical total soportada por el piso empleando las combinaciones de carga LRFD, incluyendo las cargas en las columnas que no sean parte del sistema resistente a cargas laterales |
| $P_r$ | Resistencia axial requerida o resistencia para riostra, dependiendo del caso de análisis |
| $P_u$ | Carga axial actuante |
| $P_y$ | Resistencia axial de fluencia de columna |
| $Q_D$ | Acción causada por cargas muertas |
| $\mathrm{Q}_E$ | Efecto de la acción sísmica determinada a partir de espectro de diseño |
| $Q_g$ | Acciones causadas por cargas gravitacionales |
| $\mathrm{Q_i}$ | Índice de estabilidad del piso |
| $Q_L$ | Acción causada por carga viva |
| $Q_S$ | Acción causada por la carga efectiva de nieve |
| $r$ | Factor usado en el espectro de diseño elástico que dependen de la ubicación geográfica del proyecto o radio de giro del elemento estructural, dependiendo del caso de análisis |
| $r_{min}$ | Radio de giro mínimo del elemento estructural |
| $r_{ts}$ | Radio de giro efectivo para pandeo lateral torsional |

| | |
|---|---|
| $R$ | Factor de modificación de respuesta |
| $R_a$ | Efecto máximo probable que pueda efectuarse por las combinaciones de acciones ASD |
| $R_{dw}$ | Resistencia requerida en sueldas |
| $R_n$ | Resistencia nominal del elemento de análisis |
| $R'_n$ | Resistencia al corte en la zona panel del alma |
| $R_{nwl}$ | Resistencia nominal total de soldaduras de filete cargadas longitudinalmente |
| $R_{nwt}$ | Resistencia nominal total de soldaduras de filete cargadas transversalmente |
| $R_o$ | Coeficiente de disipación de energía básico para cada sistema estructural y para cada grado de capacidad de disipación de energía |
| $R_u$ | Efecto máximo probable que pueda efectuarse por la combinación de cargas LRFD o resistencia requerida |
| $R_\mu$ | Factor de reducción por ductilidad |
| $R_t$ | Factor de sobrerresistencia para cuantificar el incremento de la resistencia esperada en comparación con la resistencia nominal del elemento estructural para la relación de fractura |
| $R_y$ | Factor de sobrerresistencia para cuantificar el incremento de la resistencia esperada en comparación con la resistencia nominal del elemento estructural para la relación de fluencia |
| $s$ | Separación entre vigas secundarias o separación entre centros de pernos, dependiendo del caso de análisis |
| $S$ | Carga producida por el efecto de la nieve |
| $S'$ | Sismo dinámico |
| $S_1$ | Distancia libre desde la cara de la columna al gramil de pernos más cercano |
| $S_a$ | Espectro de respuesta elástico de aceleraciones |
| $S_d$ | Espectro de respuesta elástica de desplazamientos |
| $S_{DS}$ | Pseudo aceleración máxima que se encuentra en la meseta del espectro |
| $S_h$ | Distancia desde el borde de la columna hasta la rótula plástica o separación entre pernos |
| $SRCS$ | Sistema Resistente a Cargas Sísmicas |

| | |
|---|---|
| $SRCG$ | Sistema Resistente a Cargas Gravitacionales |
| $S_x$ | Módulo de sección en el eje “X” |
| $S'_x$ | Sismo dinámico en el eje “X” |
| $S_y$ | Módulo de sección en el eje “Y” |
| $S'_y$ | Sismo dinámico en el eje “Y” |
| $t$ | Tiempo |
| $t_{cf}$ | Espesor del patín de la columna |
| $t_{cw}$ | Espesor del alma de la columna |
| $t_f$ | Espesor patín del elemento estructural |
| $t_{f.max}$ | Espesor límite del patín del elemento estructural |
| $t_{fp}$ | Espesor de la placa |
| $t_{lim}$ | Espesor límite del patín de la viga |
| $t_p$ | Espesor de la placa |
| $t_{p.c}$ | Espesor de la placa de continuidad |
| $t_{st}$ | Espesor del atiesador del alma |
| $t_w$ | Espesor alma del elemento estructural |
| $T$ | Periodo de vibración fundamental que tiene la estructura |
| $T_1$ | Periodo de retorno de sismo de diseño |
| $T_2$ | Periodo de retorno de sismo a determinar |
| $T_a$ | Periodo de vibración fundamental de la estructura |
| $\mathrm{T_e}$ | Periodo fundamental de la estructura |
| $T_i$ | Período fundamental elástico en la dirección considerada calculada por análisis dinámico elástico (LDP) |
| $T_n$ | Periodo natural de vibración |
| $T'_n$ | Resistencia de tracción de diseño de la placa de continuidad a los patines de la columna |

| | |
|---|---|
| $T_r$ | Periodo de retorno |
| $T_s$ | Periodo característico del espectro de respuesta, definido entre la transición de la aceleración constante a la aceleración en un periodo unitario |
| $V$ | Cortante producido en el nivel |
| $V_{br}$ | Resistencia requerida de corte del sistema de arriostramiento |
| $V_d$ | Cortante basal |
| $V_D$ | Ajuste Del Corte Basal Dinámico |
| $V_E$ | Fuerza sísmica en el rango elástico |
| $V_{gravity}$ | Cortante generada por las fuerzas de gravedad |
| $V_h$ | Cortante en la rótula plástica |
| $V_i$ | Cortante sísmico del piso i |
| $V_{Mpr}$ | Efecto de la carga sísmica de capacidad limitada producida por el máximo momento probable |
| $V_n$ | Resistencia a cortante esperada |
| $V_n'$ | Resistencia al corte del área de contacto de la placa de continuidad con la columna |
| $V_p$ | Resistencia requerida a corte en el panel nodal |
| $V_r$ | Resistencia a corte de diseño requerida de las soldaduras |
| $V_{RBS}$ | Cortante máximo en la rótula plástica |
| $V_s$ | Velocidad de onda cortante promedio del suelo que sobrepase al semi espacio |
| $V_x$ | Cortante basal producido en el eje “X” |
| $V_y$ | Fluencia en la estructura inelástica o limite elástico efectivo, dependiendo del caso de análisis |
| $w$ | Tamaño de garganta de la suelda |
| $W$ | Carga producida por el efecto del viento |
| $W_d$ | Resistencia a cortante de soldadura de filete SMAW de longitud unitaria |
| $W_e$ | Energía de vibración elástica |
| $W_h$ | Energía de deformación plástica acumulada |

| | |
|---|---|
| $W_i$ | Carga sísmica reactiva |
| $W_p$ | Energía consumida por el amortiguamiento |
| $W_u$ | Carga distribuida |
| $W_z$ | Separación entre placas de continuidad |
| $x$ | Factor de relación de demanda con respecto al sismo de diseño |
| $Z$ | Aceleración máxima esperada en roca para el sismo de diseño |
| $Z_c$ | Módulo de sección plástico de la columna |
| $Z_e$ | Módulo de sección plástico efectivo en la ubicación de la rótula plástica |
| $Z_{RBS}$ | Modulo plástico en el centro de la sección reducida de la viga. |
| $Z_x$ | Módulo de sección plástico de la sección en el eje “X” |
| $Z_y$ | Módulo de sección plástico de la sección en el eje “Y” |

# Lista de tablas


Tabla 1. Factores de resistencia y coeficientes de seguridad para miembros de acero

Tabla 2. Combinaciones de cargas empleadas para el diseño para estados limites últimos según LRFD y ASD

Tabla 3. Combinaciones de carga para la revisión por estados límites de servicio

Tabla 4. Deflexión vertical máxima en miembros horizontales

Tabla 5. Propiedades físico mecánicas del acero según las especificaciones ASTM

Tabla 6. Niveles de amenaza sísmica

Tabla 7. Relación entre niveles de desempeño y distorsión

Tabla 8. Valores del factor Z en función de la zona sísmica

Tabla 9. Clasificación de los perfiles de suelo

Tabla 10. Factores de sitio Fa en función del tipo de perfil del subsuelo

Tabla 11. Factores de sitio Fd en función del tipo de perfil del subsuelo

Tabla 12. Tipo de suelo y factores se sitio Fs

Tabla 13. Valores de los factores $R, \Omega_0 \; y \; C_d$ para estructuras de acero

Tabla 14. Valores de irregularidades en planta $\emptyset_p$ e Irregularidades en altura $\emptyset_a$

Tabla 15. Comparación de los requerimientos de diseño

Tabla 16. Resistencia nominal de un perno en una conexión con perforaciones

Tabla 17. Resistencia de diseño para tipos de conexiones soldadas

Tabla 18. Propiedades mecánicas de metal de relleno para soldaduras del SRCS

Tabla 19. Longitud máxima entre arriostramientos

Tabla 20. Rigidez y resistencia de corte para los diferentes tipos de arriostramiento lateral

Tabla 21. Rigidez y resistencia de corte requerida para los diferentes tipos de arriostramiento torsional

Tabla 22. Tipos de resistencia de diseño para estados limites últimos

Tabla 23. Resistencia nominal de la zona del panel nodal sometido a corte

Tabla 24. Especificaciones técnicas de la losa

Tabla 25. Cuantificación de peso de acero en cada piso

Tabla 26. Sobrecarga muerta para el piso típico de la estructura

Tabla 27. Sobrecarga muerta para el último piso del edificio (Piso 7)

Tabla 28. Resumen de cargas en los pisos de la estructura

Tabla 29. Perfiles laminados para vigas y columnas

Tabla 30. Factores de desempeño sísmico para pórticos PEM

Tabla 31. Parámetros de análisis sismorresistente

Tabla 32. Espectro de diseño

Tabla 33. Distribución de fuerzas laterales estáticas en el sentido X-Y

Tabla 34. Periodos de vibración estático y dinámico

Tabla 35. Distribución horizontal del Cortante Basal en pisos

Tabla 36. Participación acumulada de masas en las direcciones principales

Tabla 37. Porcentaje de participación de masa en análisis Modal

Tabla 38. Derivas elásticas de piso

Tabla 39. Índice de estabilidad en todos los pisos del edificio

Tabla 40. Combinaciones de Acciones Totales

Tabla 41. Solicitaciones de compresión Pu, corte Vu, y de flexión Mu en Columnas del SRCS

Tabla 42. Solicitaciones máximas y mínimas de corte Vu y de flexión Mu en Vigas Sísmicas

Tabla 43. Solicitaciones máximas y mínimas de corte Vu, y de flexión Mu en Vigas Cargadoras

Tabla 44. Solicitaciones máximas absolutas para Vigas y Columnas del Sistema estructural

Tabla 45. Propiedades geométricas de los perfiles laminados empleados en las vigas

Tabla 46. Relación Ancho-Espesor en elementos en flexión

Tabla 47. Relación ancho-espesor para elementos con alta ductilidad

Tabla 48. Verificación de la resistencia de momento

Tabla 49. Verificación del estado límite de corte

Tabla 50. Especificaciones para arriostramiento de estabilidad en vigas de alta ductilidad

Tabla 51. Verificación de rigidez distorsionar del alma

Tabla 52. Especificaciones mecánicas por unidad longitud de la losa

Tabla 53. Deflexiones máximas en el centro luz de las vigas

Tabla 54. Propiedades geométricas de los perfiles laminados empleados en las columnas

Tabla 55. Relación ancho-espesor en elementos en compresión o sometidos a flexión

Tabla 56. Carga Axial y Momentos actuantes en las columnas

Tabla 57. Análisis a compresión de las columnas

Tabla 58. Análisis a flexión de las columnas

Tabla 59. Resistencia nominal a la flexión en ambos ejes (Mc)

Tabla 60. Determinación del factor de amplificación β2: para el análisis de los efectos P-Δ

Tabla 61. Resistencia requerida a la flexión (Mr)

Tabla 62. Propiedades geométricas para la determinación momentos plásticos de las columnas ($M^*_{pc}$)

Tabla 63. Elementos estructurales a analizar del Pórtico 4

Tabla 64. Limitaciones vigas para conexión RBS

Tabla 65. Dimensiones del corte del patín de la viga para conexión RBS

Tabla 66. Determinación del momento máximo probable en el centro de la sección reducida para conexión RBS

Tabla 67. Cálculo de cortante en rotula plástica para conexión RBS

Tabla 68. Determinación de la capacidad a corte requerida por la viga y la conexión RBS

Tabla 69. Verificación del estado límite de corte para conexión RBS

Tabla 70. Resistencia nominal de cada perno para conexión RBS

Tabla 71. Dimensión de la placa a cortante para conexión RBS

Tabla 72. Verificación de la resistencia a corte en elementos empernados para conexión RBS

Tabla 73. Verificación de la resistencia a corte en elementos soldados para conexión RBS

Tabla 74. Dimensiones geométricas de la placa simple a corte elementos solados para conexión RBS

Tabla 75. Verificación capacidad de bloque de cortante en elementos soldados para conexión RBS

Tabla 76. Dimensiones de la placa simple a corte elementos empernados para conexión RBS

Tabla 77. Verificación capacidad de bloque de cortante en elementos empernados para conexión RBS

Tabla 78. Geometría de las placas de continuidad para la conexión RBS

Tabla 79. Verificación resistencia a tracción de la placa superior de continuidad para conexión RBS

Tabla 80 Verificación resistencia a compresión de la placa inferior de continuidad para conexión RBS

Tabla 81. Resistencia requeridas para sueldas en placas de continuidad para conexión RBS

Tabla 82. Resistencia a cortante de soldadura de filete SMAW, de longitud unitaria Wd (ton/cm)

Tabla 83. Verificación si es necesario disposición de placas para reforzar la zona nodal para conexión RBS

Tabla 84. Verificación grosor de zona de panel

Tabla 85. Limitaciones vigas para conexión WUF-W

Tabla 86. Máximo momento probable $(M_{pr})$ para conexión WUF-W

Tabla 87. Cálculo de cortante generada por cargas de gravedad

Tabla 88. Verificación de la resistencia de corte de diseño (ØVn) para conexión WUF - W

Tabla 89. Verificación de la resistencia a corte en elementos soldados para conexión WUF-W

Tabla 90. Dimensiones geométricas de la placa simple a corte en elementos empernados para conexión WUF-W

Tabla 91. Verificación de la capacidad de bloque de cortante en elementos soldados para conexión WUF-W

Tabla 92. Verificación de la resistencia a tracción de la placa superior de continuidad para conexión WUF-W

Tabla 93. Verificación de la resistencia a compresión de placa inferior de continuidad para conexión WUF-W

Tabla 94. Resistencia requeridas para sueldas en placas de continuidad para conexión WUF-W

Tabla 95. Verificación si es necesario disposición de placas para reforzar la zona nodal para conexión WUF-W

Tabla 96. Limitaciones vigas para conexión BFP

Tabla 97. Recalculo de modulo plástico $Z_{neta}$ para conexión BFP

Tabla 98. Geometría de la placa para conexión BFP

Tabla 99. Resistencia nominal de cada perno para conexión BFP

Tabla 100. Determinación capacidad a corte requerida por la viga y la conexión para conexión BFP

Tabla 101. Momento máximo esperado en la cara de la columna $(M_f)$ y capacidad a corte requerida por la viga y la conexión $(V_u)$ para conexión BFP

Tabla 102. Propiedades geométricas de la placa para conexión BFP

Tabla 103. Verificación del estado límite de ruptura de la placa para conexión BFP

Tabla 104. Dimensiones geométricas placa simple a corte elementos empernados para conexión BFP

Tabla 105. Chequeo de bloque de cortante en patín de viga para conexión BFP

Tabla 106. Verificación resistencia a pandeo de la placa conectada a patín de viga para conexión BFP

Tabla 107. Valores finales de resistencias con las dimensiones finales de la conexión BFP

Tabla 108. Resistencia nominal de cada perno para conexión BFP

Tabla 109. Agujeros y distancias a borde en la distribución de pernos para conexión BFP

Tabla 110. Geometría de placa de continuidad para conexión BFP

Tabla 111. Verificación resistencia a tracción de la placa superior de continuidad para conexión BFP

Tabla 112. Verificación resistencia a compresión de placa inferior de continuidad para conexión BFP

Tabla 113. Resistencia requeridas para sueldas en placas de continuidad para conexión BFP

Tabla 114. Verificación si es necesario la disposición de placas para reforzar la zona nodal para conexión BFP

Tabla 115. Síntesis de filosofía de diseño

Tabla 116. Carga no lineal (Modelo 3D)

Tabla 117. Carga no lineal (SMF 4)

Tabla 118. Casos de carga

Tabla 119. Datos de entrada generales – Push-over-RBS-1

Tabla 120. Coordenadas de la curva de capacidad

Tabla 121. Valor de modificación del factor Co

Tabla 122. Resumen de carga muerta toral de la estructura

Tabla 123. Parámetros de modelo de curva capacidad (rigidez) para acciones controladas por deformación de elementos de componentes estructurales para sistemas en acero

Tabla 124. Curvas momento – rotación (M-θ) para diferentes arquetipos de conexiones para definir el tipo de conexión según su rigidez

Tabla 125. Curvas Momento – Rotación (M-θ) para diferentes arquetipos para definir la acción controlada

Tabla 126. Asignación Rotulas Plásticas

Tabla 127. Rotulas columnas

Tabla 128. Tabla 1. Curva de Capacidad de las Vigas Resistentes a Cargas Sísmicas

Tabla 129. Parámetros de Espectros de capacidad

Tabla 130. Objetivos y niveles de desempeño sísmico

Tabla 131. Relación entre niveles de desempeño y distorsión

Tabla 132. Arquetipos de modelos ensayados en ETABS en un análisis NSP (Push-over) de pórticos SMF ensamblados bajo diferentes tipologías de conexiones

Tabla 133. General Input Data

Tabla 134. Current Step Data

Tabla 135. Hinge Response Values

Tabla 136. Demand Spectrum Input Data

Tabla 137. Effective Period and Effective Damping Parameters

Tabla 138. Plot Items

Tabla 139. Performance Point

Tabla 140. Capacity Curve Coordinates

Tabla 141. Curva PUSH-OVER Modelo 1

Tabla 142. Puntos de desempeño Modelo 1

Tabla 143. Punto de desempeño FEMA 440 – ATC 40 (Linealización equivalente) para Modelo 1

Tabla 144. Curva PUSH-OVER Modelo 2

Tabla 145. Puntos de desempeño Modelo 2

Tabla 146. Punto de desempeño FEMA 440 – ATC 40 (Linealización equivalente) para Modelo 2

Tabla 147. Cortante basal versus desplazamiento monitoreado - Modelo 3

Tabla 148. Puntos de desempeño Modelo 3

Tabla 149. Punto de desempeño FEMA 440 – ATC 40 (Linealización equivalente) para Modelo 3

Tabla 150. Cortante basal versus desplazamiento monitoreado - Modelo 4

Tabla 151. Puntos de desempeño Modelo 4

Tabla 152. Punto de desempeño FEMA 440 – ATC 40 (Linealización equivalente) para Modelo 4

Tabla 153. Cortante basal versus desplazamiento monitoreado - Modelo 5

Tabla 154. Puntos de desempeño Modelo 5

Tabla 155. Punto de desempeño FEMA 440 – ATC 40 (Linealización equivalente) para Modelo 5

Tabla 156. Cortante basal versus desplazamiento monitoreado - Modelo 6

Tabla 157. Puntos de desempeño Modelo 6

Tabla 158. Punto de desempeño FEMA 440 – ATC 40 (Linealización equivalente) para Modelo 6

Tabla 159. Cortante basal versus desplazamiento monitoreado - Modelo 7

Tabla 160. Puntos de desempeño Modelo 7

Tabla 161. Punto de desempeño FEMA 440 – ATC 40 (Linealización equivalente) para Modelo 7

Tabla 162. Cortante basal versus desplazamiento monitoreado - Modelo 8

Tabla 163. Puntos de desempeño Modelo 8

Tabla 164. Punto de desempeño FEMA 440 – ATC 40 (Linealización equivalente) para Modelo 8

Tabla 165. Cortante basal versus desplazamiento monitoreado - Modelo 9

Tabla 166. Puntos de desempeño Modelo 9

Tabla 167. Punto de desempeño FEMA 440 – ATC 40 (Linealización equivalente) para Modelo 9

Tabla 168. Cortante basal versus desplazamiento monitoreado - Modelo 10

Tabla 169. Puntos de desempeño Modelo 10

Tabla 170. Punto de desempeño FEMA 440 – ATC 40 (Linealización equivalente) para Modelo 10

# Lista de figuras


Ilustración 1. Diagrama esfuerzo - deformación del acero con la respuesta mínima esperada y especificada

Ilustración 2. Fenómeno de desgarramiento laminar

Ilustración 3. Representación de la falla por fatiga de bajo y alto ciclaje

Ilustración 4. Tipos de modos de pandeo – inestabilidad

Ilustración 5. Secciones compactas, no compactas y esbeltas bajo esfuerzo de flexión

Ilustración 6. Comportamiento flexional de una sección para el efecto del pandeo local

Ilustración 7. Efecto P-Δ en la respuesta global de la estructura

Ilustración 8. A) Respuesta estructural con niveles de desempeño o prestación

B) Relación entre la amenaza sísmica y niveles de desempeño: Operativo (O), Ocupación inmediata (OI), Seguridad de vidas (SV) y Casi colapso (CC)

Ilustración 9. Curva de respuesta para indicar los distintos criterios de rigidez estructural

Ilustración 10. Histograma de aceleraciones vs espectro normalizado

Ilustración 11. Determinación del espectro elástico horizontal de diseño en aceleraciones

Ilustración 12. Determinación del espectro elástico de diseño en desplazamientos

Ilustración 13. A) Criterio de igual desplazamiento entre un sistema elástico y un elasto-plástico

B) Criterio de igual energía entre un sistema elástico y un sistema elasto-plástico

Ilustración 14. Respuesta global del sistema con factores $R, \Omega_0$ y $C_d$ para estructuras

Ilustración 15. Desplazamiento lateral y distorsión de piso en una estructura

Ilustración 16. A) Representación de las fuerzas equivalentes

B) Representación de las fuerzas generadas en cada modo

Ilustración 17. A) Pórtico no arriostrado con vigas reticuladas con segmento especial con reticulado

B) Pórtico no arriostrado con vigas reticuladas con segmento con panel Vierendeel

C) Mecanismo de deformación plástica en sistemas STMF en segmento reticulado

D) Mecanismo de deformación plástica en sistemas STMF en segmento Vierendeel

Ilustración 18. Diagramas de momento flector, corte y axial en sistemas de columnas en voladizo

Ilustración 19. Configuraciones para pórticos arriostrados concéntricamente:

a) Para riostras en X - b) Para riostras en K - c) Para riostras en diagonal - d) Para riostras en V invertida - e) Para riostras en V

Ilustración 20. a) Carga axial en pórticos arriostrados con articulación y uniones rígidas

b) Momento flector en pórticos arriostrado con articulación y uniones rígidas

Ilustración 21. Configuraciones para pórticos arriostrados excéntricamente

Ilustración 22. Diagramas causados por la acción sísmica en pórticos EBF: a) Diagrama de momento flector - b) Diagrama de esfuerzo cortante - c) Diagrama de esfuerzo de axial

Ilustración 23. A) Pórticos con riostras de pandeo restringido utilizado en el edificio de Berkeley B) Detalle de una riostra de pandeo restringido

Ilustración 24. Muros de corte con placas de acero

Ilustración 25. Sistema dual mediante la combinación de pórticos no arriostrados con pórticos arriostrados

Ilustración 26. A) Mecanismo de deformación plástica en pórtico a momento con riostras de esquina

B) Diagramas de momento y axial para pórticos con riostras de esquina

Ilustración 27. Deformación plástica para diferentes tipologías de pórticos arriostrados con enlace de esquina

Ilustración 28. A) Deformada por acción lateral en un pórtico arriostrado con y sin estabilizadores

B) Comparación de diagramas axiales por acción lateral en un pórtico arriostrado con y sin estabilizadores

Ilustración 29. Representación del sistema estructural de reticulados escalonados

Ilustración 30. Conexión de una viga de acero (interrumpida) con una columna compuesta rellena

Ilustración 31. Conexión viga-columna rígida (FR)

Ilustración 32. Representación del área-k y del detalle de placas de continuidad

Ilustración 33. Tipos de arrostramiento para la estabilidad de vigas

Ilustración 34. Empalme de columna con conexión atornillada

Ilustración 35. A) Detalle de una conexión de base columna rígida

B) Detalle de una conexión de base columna articulada

C) Detalle de una conexión de base columna embebida en una viga de fundación de hormigón armado

Ilustración 36. Diferentes tipologías de mecanismos de conexiones de base de columna

Ilustración 37. Diagrama momento-rotación de conexiones totalmente y parcialmente restringidas y articuladas

Ilustración 38. Diferentes tipologías de conexiones precalificadas a momento SMF y IMF

Ilustración 39. A) Plastificación de las vigas en pórticos sin arriostramiento

B) Comportamiento estructural para el desarrollo del mecanismo plástico

Ilustración 40. Mecanismo de deformación plástica con rotulas plásticas en vigas

Ilustración 41. Detalle del agujero de ranura para el acceso de soldadura para la conexión viga-columna

Ilustración 42. Representación en planta de una placa de continuidad en una conexión viga-columna

Ilustración 43. Geometría de la zona del panel nodal de la conexión viga-columna

Ilustración 44. A) Esfuerzos en el panel nodal

B) Tensiones equivalentes del esfuerzo del momento flector

Ilustración 45. Placas nodales de refuerzo con soldadura de ranura o soldadura de filete

Ilustración 46. Placas nodales de refuerzo en el caso en que no es necesario colocar placas de continuidad

Ilustración 47. Criterio del momento adicional ($M_v$) causado por el corte actuando en el centro de la rótula plástica

Ilustración 48. Representación estructural del edificio de análisis

Ilustración 49. Centro de masas y rigideces de un diafragma característico del edifico

Ilustración 50. Representación estructural del sistema resistente a cargas gravitacionales (Todos los pórticos tanto los SRCS y SRCG ayudan a resistir las cargas provocadas por la gravedad)

Ilustración 51. Planta estructural de los pisos 1-2-3-4

Ilustración 52. Planta estructural de los pisos 5-6

lustración 53. Planta estructural del piso 7

Ilustración 54. Vista frontal del pórtico A-E

Ilustración 55. Vista frontal del pórtico B-D

Ilustración 56. Vista frontal del pórtico 1-4

Ilustración 57. Vista frontal del pórtico 2-3

Ilustración 58. Espectro de diseño elástico, Tr = 475 años

Ilustración 59. Distribución de fuerzas laterales sísmicas, Sentido X

Ilustración 60. Cortante Basal en Sentido X

Ilustración 61. Cortante basal estático corregida, Dirección X

Ilustración 62. Vistas 3D del modelo estructural (SRCS), diferentes elementos estructurales (colores)

Ilustración 63. Diagramas de momentos flectores en el pórtico 4: (a) Pórtico 4 - (b) Combinación 2

Ilustración 64. Diagramas de momentos flectores en la estructura: (a) Sismo X - (b) Sismo Y

Ilustración 65. Ejes locales de las secciones de la estructura, Perfil HEB 500 – IPE 360

Ilustración 66. Diagrama de axiles Pórtico D (axiles máximos)

Ilustración 67. Diagramas de momentos máximos en columnas Pórtico 4 (Sismo X)

Ilustración 68. Diagramas de cortantes máximos en columnas Pórtico 4 (Sismo X)

Ilustración 69. Diagramas de momentos máximos en vigas Pórtico 4 (Sismo X)

Ilustración 70. Diagramas de cortantes máximas en vigas Pórtico 4 (Sismo X)

Ilustración 71. Diagrama de momento en columnas cargadoras Pórtico 3

Ilustración 72. Diagrama de momentos y cortantes máximos en pórticos cargadores Pórtico 2-3

Ilustración 73. Losa reticulada

Ilustración 74. Disposición de arriostramientos en vigas sísmica

Ilustración 75. Pórtico 3 deformado ante combinaciones de carga de servicio: Máximas deflexiones VIGAS HEB 400 (rosa) – IPE 360 (azul)

Ilustración 76. Interpretación de los factores de amplificación β1 y β2

Ilustración 77. Nudos críticos de relación flexional entre columnas y vigas: a) Caso 1 - b) Caso 2

Ilustración 78. Criterio del momento adicional ($M_v$) causado por el corte actuando en el centro de la rótula plástica

Ilustración 79. Diagrama axial y de corte (envolvente), en nudo critico 3C, entre N1 y N2

Ilustración 80. Conexión de sección reducida

Ilustración 81. Sección reducida IPE 400

Ilustración 82. Cortante en la rótula plástica

Ilustración 83. Diagrama de cuerpo libre entre el centro de RBS y la cara de la columna

Ilustración 84. Representación del diseño de la laca simple IPE 360

Ilustración 85. Representación de las dimensiones de la placa simple a corte en elementos soldados

Ilustración 86. Representación de las dimensiones de la placa simple a corte en elementos empernados

Ilustración 87. Representación de las placas de continuidad

Ilustración 88. Representación de la conexión RBS para viga IPN 450 y columna HEB 500

Ilustración 89. Conexión con Patín Soldado no Reforzado y Alma Soldada (WUF-W)

Ilustración 90. Dimensiones para el detalle de la placa de la conexión WUF-W

Ilustración 91. Detalle de orificio de acceso de soldadura del ala de la viga para conexión WUF-W

Ilustración 92. Representación de la conexión WUF-W para viga IPE 400 y columna HEB 450

Ilustración 93. Conexión de Placa de Ala atornillada

Ilustración 94. Sección neta Viga BFP 450

Ilustración 95. Junta empernada Placa-Patín viga (Piso 4 – IPN 450)

Ilustración 96. Junta empernada Placa-Patín viga (Piso 4 – IPN 400)

Ilustración 97. Placa simple a corte BFP-IPN 450

Ilustración 98. Representación de la conexión BFP para viga IPN 450 y columna HEB 500

Ilustración 99. Sobrecarga muerta en el Pórtico 4

Ilustración 100. Nodo de control del sistema estructural

Ilustración 101. Carga Push-over (Modo 1)

Ilustración 102. Asignación nudo y desplazamiento de control

Ilustración 103. Curvas de fuerza-desplazamiento idealizadas

Ilustración 104. Push-over Plot (Base Shear vs Displacement)

Ilustración 105. Componente de fuerza versus curvas de deformación

Ilustración 106. Relaciones de fuerza-deformación generalizadas de los componentes para representar los criterios de modelado y aceptación

Ilustración 107. Datos de asignación automática para las rotulas plásticas en las columnas

Ilustración 108. Datos de asignación automática para las rotulas plásticas en las vigas

Ilustración 109. Datos de las propiedades de las rotulas plásticas para la conexión RBS 450 modelo 1

Ilustración 110. Datos de las propiedades de las rotulas plásticas para la conexión BFP 450 modelo 1

Ilustración 111. Ilustración 2. Comparación de la de Rigidez (My-θy) de las Vigas Resistentes a Cargas Sísmicas

Ilustración 112. Comparación de Tensión Equivalente de Conexión RBS Viga IPN 450 y Columna HEB 500 entre diseño 1) y 2

Ilustración 113. Comparación Deformación Plástica de Conexión RBS Viga IPN 450 y Columna HEB 500 entre diseño 1) y 2)

Ilustración 114. Diagrama de rigidez My-θy para la conexión RBS IPN 450 – HEB 500

Ilustración 115. Comparación de Tensión Equivalente de Conexión RBS Viga IPE 400 y Columna HEB 450 entre diseño 1) y 2)

Ilustración 116. Comparación Deformación Plástica de Conexión RBS Viga IPE 400 y Columna HEB 450 entre diseño 1) y 2)

Ilustración 117. Diagrama de rigidez My-θy para la conexión RBS IPE 400 – HEB 450

Ilustración 118. Comparación de Tensión Equivalente de Conexión RBS Viga IPE 360 y Columna HEB 450 entre diseño 1) y 2)

Ilustración 119. Comparación Deformación Plástica de Conexión RBS Viga IPE 360 y Columna HEB 450 entre diseño 1) y 2)

Ilustración 120. Diagrama de rigidez My-θy para la conexión RBS IPE 360 – HEB 450

Ilustración 121. Comparación de Tensión Equivalente de Conexión RBS Viga IPN 450 y Columna HEB 500 entre diseño 1) y 2)

Ilustración 122. Comparación Deformación Plástica de Conexión RBS Viga IPN 450 y Columna HEB 500 entre diseño 1) y 2)

Ilustración 123. Diagrama de rigidez My-θy para la conexión WUF-W IPN 450 – HEB 500

Ilustración 124. Comparación Tensión Equivalente de Conexión RBS Viga IPE 400 y Columna HEB 450 entre diseño 1) - 2) - 3)

Ilustración 125. Comparación Deformación Plástica Conexión RBS Viga IPE 400 y Columna HEB 450 entre diseño 1) - 2) - 3)

Ilustración 126. Diagrama de rigidez My-θy para la conexión WUF-W IPE 400 – HEB 450

Ilustración 127. Comparación Tensión Equivalente de Conexión RBS Viga IPE 360 y Columna HEB 450 entre diseño 1) - 2) - 3)

Ilustración 128. Comparación Deformación Plástica Conexión RBS Viga IPE 360 y Columna HEB 450 entre diseño 1) - 2) - 3)

Ilustración 129. Diagrama de rigidez My-θy para la conexión WUF-W IPE 360 – HEB 450

Ilustración 130. Comparación de Tensión Equivalente de Conexión BFP Viga IPN 450 y Columna HEB 500 entre diseño 1) y 2)

Ilustración 131. Comparación Deformación Plástica de Conexión BFP Viga IPN 450 y Columna HEB 500 entre diseño 1) y 2)

Ilustración 132. Diagrama de rigidez My-θy para la conexión BFP IPN 450 – HEB 500

Ilustración 133. Comparación de Tensión Equivalente de Conexión BFP Viga IPE 400 y Columna HEB 450 entre diseño 1) y 2)

Ilustración 134. Comparación Deformación Plástica de Conexión BFP Viga IPE 400 y Columna HEB 450 entre diseño 1) y 2)

Ilustración 135. Diagrama de rigidez My-θy para la conexión BFP IPE 400 – HEB 450

Ilustración 136. Comparación de Tensión Equivalente de Conexión BFP Viga IPE 360 y Columna HEB 450 entre diseño 1) y 2)

Ilustración 137. Comparación Deformación Plástica de Conexión BFP Viga IPE 360 y Columna HEB 450 entre diseño 1) y 2)

Ilustración 138. Diagrama de rigidez My-θy para la conexión BFP IPE 360 – HEB 45

Ilustración 139. Espectros de demanda sísmica para diferentes ciudades del Ecuador

Ilustración 140. Espectros de demanda sísmica en la ciudad de Cuenca

Ilustración 141. Modelo 1, calibrado con conexión RBS-1 (código 1) diseñadas mediante disposiciones AISC

Ilustración 142. Gráfico de respuesta de la rótula

Ilustración 143. Spectral Acceleration vs Spectral Displacement

Ilustración 144. Curvas de capacidad PUSH OVER - Modelo 1

Ilustración 145. Espectro Demanda versus Capacidad – Modelo 1

Ilustración 146. Rotulas plásticas en el último paso (Step) del Push-over del modelo 1

Ilustración 147. Curvas de capacidad PUSH OVER - Modelo 2

Ilustración 148. Espectro Demanda versus Capacidad – Modelo 2

Ilustración 149. Rotulas plásticas en el último paso (Step) del Push-over del modelo 2

Ilustración 150. Curvas de capacidad PUSH OVER - Modelo 3

Ilustración 151. Espectro Demanda versus Capacidad – Modelo 3

Ilustración 152. Rotulas plásticas en el último paso (Step) del Push-over del modelo 3

Ilustración 153. Curvas de capacidad PUSH OVER - Modelo 4

Ilustración 154. Espectro Demanda versus Capacidad – Modelo 4

Ilustración 155. Rotulas plásticas en el último paso (Step) del Push-over del modelo 4

Ilustración 156. Curvas de capacidad PUSH OVER - Modelo 5

Ilustración 157. Espectro Demanda versus Capacidad – Modelo 5

Ilustración 158. Rotulas plásticas en el último paso (Step) del Push-over del modelo 5

Ilustración 159. Curvas de capacidad PUSH OVER - Modelo 6

Ilustración 160. Espectro Demanda versus Capacidad – Modelo 6

Ilustración 161. Rotulas plásticas en el último paso (Step) del Push-over del modelo 6

Ilustración 162. Curvas de capacidad PUSH OVER - Modelo 6

Ilustración 163. Espectro Demanda versus Capacidad – Modelo 7

Ilustración 164. Rotulas plásticas en el último paso (Step) del Push-over del modelo 7

Ilustración 165. Curvas de capacidad PUSH OVER - Modelo 8

Ilustración 166. Espectro Demanda versus Capacidad – Modelo 8

Ilustración 167. Rotulas plásticas en el último paso (Step) del Push-over del modelo 8

Ilustración 168. Curvas de capacidad PUSH OVER - Modelo 9

Ilustración 169. Espectro Demanda versus Capacidad – Modelo 9

Ilustración 170. Rotulas plásticas en el último paso (Step) del Push-over del modelo 9

Ilustración 171. Curvas de capacidad PUSH OVER - Modelo 10

Ilustración 172. Espectro Demanda versus Capacidad – Modelo 10

Ilustración 173. Rotulas plásticas en el último paso (Step) del Push-over del modelo 10

Ilustración 174. Comparación capacidad (Cortante Basal) entre los modelados 1 y 2 de la conexión RBS

Ilustración 175. Comparación de la capacidad (Cortante Basal) entre los modelados 3, 4 y 5- de la conexión WUF-W

Ilustración 176. Comparación capacidad (Cortante Basal) entre los modelados 6 y 7 de la conexión BFP

Ilustración 177. Comparación capacidad (Cortante Basal) entre los modelados 8, 9 y 10 de la conexión RBS - WUF - BFP

Ilustración 3. Comparación capacidad (Cortante Basal) de todos los modelos

# 1. Introducción, Información General y Marco Teórico

## 1.1 Introducción.

En base al avance de la ingeniería sísmica dentro de nuestro país, que es altamente vulnerable a los constantes movimientos telúricos de las placas tectónicas que se encuentran bajo la corteza terrestre (Nazca y Sudamericana) y que a lo largo de la historia, mediante reportes de registros sismológicos del instituto Geofísico del Ecuador, han generado varios acontecimientos catastróficos con pérdidas humanas y materiales que se pudieron haber evitado con una correcta aplicación de los conceptos de diseño y construcción sismorresistente en las estructuras que se emplazan para todo tipo de servicio civil. En este contexto, la tecnología y la investigación en esta área de la ingeniería estructural se ha implementado con mayor rigor en la normativa de la construcción local (NEC). Pese al avance significativo en los últimos años que se ha tenido en la ingeniería sísmica, el Ecuador encontró debilidades cuando sucedió el pasado 16 de abril del 2016 en Pedernales (Esmeraldas), un gran sismo, mostrando errores atribuidos a la fiscalización y cumplimiento de la normativa, de lo que no se ha tenido una práctica eficaz.

Bajo estos antecedentes, la presente investigación busca implementar conceptos y conocimientos técnicos dentro de la sismorresistencia, enfocando las estructuras de acero en el sistema estructural de un marco a momento especial (PEM), como lo define las disposiciones y normas sísmicas para edificaciones de acero estructural (AISC-341), que es el reglamento para sistemas de acero concebido por la mayoría de países de Latinoamérica. En el análisis por desempeño para edificaciones generales, exceptuando las esenciales y especiales, según la clasificación por categoría de edificio de la NEC-SE-DS, se deben diseñar para un nivel de desempeño de prevención colapso (N°4), buscando respuestas en el rango inelástico y utilizando la mayor capacidad de la estructura para disipar la energía provocada por el sismo y evitar el colapso.

En el nivel 3 de desempeño sísmico, la capacidad de deformación de los nudos (rotación) debe proporcionar una deformación inelástica significativa en las vigas, concentrando los esfuerzos de los paneles de la columna en rigidizado res o placas de continuidad, obteniendo un rendimiento limitado y seguro de las columnas que son las que previenen el colapso de la estructura. Es por esto que ciertas conexiones de tipologías especificas son calificadas para usarse en un marco a momento especial (PEM).

La presente investigación busca construir mediante modelación BFEM, algunos de estos tipos de conexiones que son calificadas para pórticos a momento especial según la norma (AISC-358), las cuales se diseñaran buscando la plastificación en el miembro horizontal (viga), mediante elementos fusibles, atiesadores, placas, etc., para formar rotulas plásticas y a elección de diseño puntualizar donde debe fallar la estructura para que disipe la energía.

De este modelo se obtendrá la capacidad de las conexiones (Curva: Momento/rotación) para ser introducidas en una modelación sísmica de un marco para edificaciones generales habitacionales de uso común, analizando mediante un análisis estático-no lineal (Push-over) basado en desplazamientos continuos hasta llegar a la deriva máxima admisible que permite la normativa sísmica vigente.

Bajo todo este análisis mencionado, el resultado de capacidad de la estructura se evaluará con un espectro generalizado de un sismo en la ciudad de Cuenca, Ecuador; en un sector específico de la ciudad, cuya respuesta sísmica se reduce al dividir por un factor de reducción de resistencia sísmica R que la NEC permite utilizar en un diseño de falla previsible y dúctil de la estructura y sus conexiones, como bien antes se mencionó. Este factor se cataloga en un rango según el tipo de sistema estructural, que para pórticos de acero a momento especial tienen un valor que se validara con los resultados obtenidos.

## 1.2 Antecedentes.

### 1.2.1 Formulación del problema.

Ecuador se encuentra dentro de una zona sísmica activa, por lo que los ingenieros deben estudiar a profundidad las respuestas y los diferentes componentes de un sistema estructural que reaccionan frente a estas amenazas naturales, y así reducir el nivel de incertidumbre en el diseño sismorresistente.

En un contexto geodinámico general, el territorio ecuatoriano se encuentra sobre una superficie donde interactúan varias placas y microplacas, las dos interacciones relevantes son entre la microplaca ¨Bloque-Andino¨, perteneciente a la convergencia entre las placas sudamericana, nazca, cocos y caribe; con la placa nazca, esta última se desplaza con respecto a la otra a una velocidad de 8mm/año, mientras que la otra interacción se da entre la placa sudamericana y nazca, la cual se desplaza la una de la otra a una velocidad de 58mm/año, siendo esta última interacción la que genera una subducción más brusca, provocando mayor movimiento y aceleración del suelo.

Con respecto a la geología, el Ecuador está dividido en tres regiones: Costa, Sierra y Oriente, (excepción de la insular que esta fuera del foco de estudio), cada una de estas formadas por diferentes secuencias estratigráficas, que a su vez tienen propiedades sedimentológicas y tectónicas características de cada una de estas. Cada una de estas secuencias tienen respuestas agudas o graves frente a la acción de un sismo, dependiendo de las características físico-químicas de los estratos que los conforman. Así pues, la geología es la apertura para el estudio sísmico de estructuras que se pueden asentar sobre diferentes puntos del Ecuador, con diferentes características y propiedades geotécnicas.

La actividad sismotécnica del Ecuador se da con mayor peligro en la región de la costa, debido a que la subducción se da en forma “interplaca”, y esta interacción se da a poca profundidad de la superficie del suelo (<50km).

Se puede ver que el Ecuador tiene un riesgo sísmico alto, ya que los eventos sísmicos han destruido ciudades enteras a lo largo de los siglos como Riobamba (1797), Ibarra (1868), Ambato (1949) Pedernales (2016), dejando una gran cantidad de víctimas mortales. Bajo todos estos parámetros que ya existen ampliamente en la bibliografía técnica de universidades e institutos pertinentes locales como el IGEPN (Instituto Geofísico del Ecuador), se puede ver la alta incidencia que tiene la problemática de la actividad sísmica en el Ecuador. Es por esto que los estudios en la investigación de las respuestas dinámicas de las estructuras frente a estas amenazas deben ser estudiados y analizados exhaustivamente por las diferentes universidades e institutos de investigación en el tema de la sismorresistencia, para precautelar la vida y la seguridad ocupacional de las estructuras de edificación.

### 1.2.2 Definición de la zona de estudio.

La zona definida de estudio para el espectro de diseño sísmico es en la ciudad de Cuenca, Ecuador, en donde la aceleración máxima en roca esperada (PGA) es de 0.25g, encontrándose dentro de la zona sísmica II, que la NEC considera zona de peligro sísmico alto.

## 1.3 Objetivos.

### 1.3.1 General.

Realizar un análisis sísmico por desempeño para un sistema estructural compuesto de pórticos especiales a momento (PEM), con diferentes las tipologías de conexiones precalificadas por la norma AISC.

### 1.3.2 Específicos.

- Realizar un marco general en cuanto a la actividad sísmica del Ecuador y del área de estudio, que en este caso es la ciudad de Cuenca.

- Compilar información y estudios sobre las características geológicas y geotécnicas del suelo en el sitio de emplazamiento de la estructura, que se encuentra en la ciudad de Cuenca, parroquia el Valle, barrio Emilio Sarmiento.

- Revisar e Identificar los parámetros y bases de diseño sismorresistente que rigen en normativa vigente del Ecuador (NEC) en correlación con códigos internacionales como el AISC, que ha tenido gran acogida dentro la ingeniería de estructuras de acero en Latinoamérica.

- Analizar el sistema estructural de un pórtico a momento especial (PEM), conceptos básicos, comportamiento estructural, normativa, restricciones y requerimientos de diseño sismorresistente.

- Analizar y estudiar las diferentes tipologías de Conexiones Viga – Columna para ser utilizadas en el edificio.

- Configurar y diseñar el sistema estructural sismorresistente de un pórtico (PEM) para un edificio de uso general habitacional mayor a 2 plantas (5 a 8 pisos).

- Modelar mediante software las diferentes tipologías de conexiones seleccionadas, para ser analizadas en el modelo del edificio.

- Generar rotulas plásticas planteadas por diseño, para plastificar puntos del sistema y obtener fallas esperadas que disipen la energía dinámica del sismo.

- Realizar un análisis estático - no lineal “Push-over”, del pórtico con las diferentes conexiones modeladas y obtener la capacidad sísmica máxima del sistema.

## 1.4 Justificación.

El Ecuador se encuentra localizado desfavorablemente en el cinturón de fuego del océano Pacifico, donde la actividad sísmica se da por la subducción de la placa oceánica Nazca en la placa continental Sudamericana. Los sismos más catastróficos han sido los de carácter interplaca o también denominados ¨trust", que se generan a bajas profundidades en la región litoral del país, como el ultimo ocurrido en la ciudad de Pedernales en abril de 2016, sin descartar los efectos de régimen cortical que se da bajo la superficie de la placa continental y que también han ocasionado considerables pérdidas humanas y materiales como el ocurrido en Riobamba el año de 1797, siendo el más devastador en los registros de movimientos telúricos en el país. Lo desastres naturales que han afectado en las últimas décadas al Ecuador, pese a la instauración de normativa y reglamento para la construcción de estructuras sismorresistentes pudieron haber sido menos devastadores, con su eficaz fiscalización y cumplimiento dentro de las construcciones civiles.

En concordancia con todo lo que se ha mencionado sobre el peligro sísmico del Ecuador, sobra la importancia, conveniencia y relevancia social dentro de la ingeniería civil, el estudio y la investigación de las estructuras sismorresistentes, que en este caso particular plantea un análisis enfocado en las conexiones calificadas por normas locales e internacionales, que desarrollen la ductilidad suficiente para incursionar en respuestas inelásticas de la estructura y obtener un producto seguro, práctico y económico, sin un sobredimensionamiento ni encarecimiento excesivo de la obra civil.

Si bien es cierto la normativa vigente ecuatoriana de sismorresistencia y estructuras de acero, se basan en su mayoría en las normas americanas AISC, ASCE, ASTM, FEMA, y la norma colombiana NSR, que son validados por los gremios más relevantes de la ingeniería. La mayoría de estos códigos compatibilizan con el entorno de nuestro país, pero no se ha hecho la suficiente investigación para adaptarles a la realidad de nuestro medio, es por esto que se pretende contrarrestar algunos parámetros de desempeño sísmico como el factor R, en un análisis estático no lineal paso a paso (Push-over), para sistemas (SRCS) compuestos por pórticos (PEM) con diferentes tipologías de conexiones precalificadas.

## 1.5 Marco teórico.

### 1.5.1 Métodos de diseño: LRFD y ASD.

Para el diseño y dimensionamiento de estructuras se suelen emplear el método de Diseño con Resistencias Admisibles (ADS) o el método de Diseño con Factores de Carga y Resistencia (LRFD), en donde la estructura de diseño en base a las posibles cargas actuantes debe cumplir tanto las exigencias de resistencia como para estados límites de servicio.

- **Diseño con Factores de Carga y Resistencia (LRFD).**

Load and Resistance Factor Design (LRFD), se basa en la revisión de los estados límites de servicio y últimos de resistencia (ELS y ELU), es decir cuando la estructura o algún componente estructural de ella cesa o deja de cumplir la función por la cual fue diseñada (Crisafulli, 2018).

- Estados límites últimos de resistencia (ELU).

Se relacionan con la capacidad estructural de la edificación, ya que en caso de superar estos estados la estructura o parte de ella puede presentar colapso o rotura, *en la Tabla 1 se muestra* los estados limites últimos de resistencia.

- Estados límites de servicio (ELS).

Estos se relacionan con las condiciones de funcionamiento de la edificación, ya que en caso de superar estos estados la estructura puede verse afectada en su confort y en el bienestar de los usuarios, además pueden afectar al uso normal de la edificación.

- **Diseño con Resistencias Admisibles (ASD).**

Allowable Stress Design (ASD), se fundamenta en dividir la resistencia de los materiales empleados por un coeficiente de seguridad **Ω**, este factor de seguridad se emplea debido a la incertidumbre de la actuación real de los fenómenos de carga, ya sean de carácter antrópicos como las cargas verticales o naturales como los sismos, pues matemática y físicamente las respuestas de la estructura calculadas pueden variar en un intervalo aceptable con la realidad, siendo este el concepto de la utilización de factores de seguridad. la estructura. El método ASD coincidentemente con el LRFD consiste en que los esfuerzos actuantes reales en los miembros estructurales no deben ser mayores que las tensiones admisibles.

*1.5.1.1 Diseño para estados límites últimos de resistencia.*

- **Diseño para estados limites últimos en base a los Factores de Resistencia y Carga (LRFD).**

El diseño de los elementos estructurales en función de los factores de resistencia y carga (LRFD), se basa en que la resistencia de diseño del elemento de análisis ($\emptyset R_n$) sea mayor o igual al efecto máximo probable que pueda efectuarse por la combinación de cargas LRFD (ANSI/AISC-360, 2016).

$$R_u \leq \emptyset R_n \quad (1)$$

Los factores de resistencia $\emptyset$ multiplican la resistencia nominal, debido a las incertidumbres que puedan existir en los materiales, dimensiones, o los cálculos aplicados. Estos factores están en función de la solicitación que actúa y del tipo de componente de diseño, *en la Tabla 1 se muestran* los factores de resistencia empleados en miembros de acero.

Las combinaciones de acciones por el método LRFD consiste en asumir que dicha combinación es el valor de carga máximo esperado que podría solicitarse a la estructura durante su vida útil. Estas combinaciones emplean factores de carga, los cuales sirven para maximizar el efecto que podrían tener las cargas estimadas debido a las incertidumbres que se puedan tener al momento de estimar sus magnitudes (ASCE/SEI-7, 2010). Las combinaciones de acciones empleadas para el diseño para estados limites últimos según LRFD, *se muestran en la Tabla 2.*

- **Diseño para estados limites últimos en base a las resistencias admisibles (ASD).**

El diseño de los componentes estructurales basado en resistencias admisibles (ASD), indica que la resistencia determinada por las acciones de las combinaciones de carga ASD ($R_a$), debe ser menor o igual a la resistencia admisible de los compontes estructurales ($R_n/\Omega$), es decir la resistencia nominal ($R_n$) dividida por un factor de seguridad (**Ω**).

$$R_a \leq R_n/\Omega \quad (2)$$

El coeficiente de seguridad (**Ω**) se emplean para abarcar todas las posibles incertidumbres que puedan existir en el análisis, debido. Estos factores están en función de la solicitación que actúa y del tipo de componente de diseño.

*Tabla 2. Factores de resistencia y coeficientes de seguridad para miembros de acero*

| Caso | Estado límite de resistencia | Factor de resistencia | Coeficiente de seguridad |
|---|---|---|---|
| **Miembros traccionados** | Fluencia en el área bruta | 0.90 | 1.67 |
| | Rotura en el área neta | 0.75 | 2.00 |
| **Miembros comprimidos** | Pandeo flexional | 0.90 | 1.67 |
| | Pandeo torsional o flexo-torsional | | |
| **Miembros flexionados** | Fluencia | 0.90 | 1.67 |
| | Pandeo lateral-torsional | | |
| | Pandeo local de ala | | |
| | Pandeo local de alma | | |
| | Fluencia por compresión o tracción del ala | | |

*Fuente: (ANSI/AISC-360, 2016)*

Las combinaciones de acciones empleadas para el diseño para estados limites últimos según ASD, *se muestran en la Tabla 2.*

*Tabla 3. Combinaciones de cargas empleadas para el diseño para estados limites últimos (Resistencia) según LRFD y ASD*

| Combinación de cargas según LRFD | Combinación de cargas según ASD |
|---|---|
| | - $D$ |
| - $1.4D$ | - $D + L'$ |
| - $1.2D + 1.6L' + 0.5(L_r \; o \; S)$ | - $D + (L_r \; o \; S)$ |
| - $1.2D + 1.6L'(L_r \; o \; S) + (L' \; o \; 0.5W)$ | - $D + 0.75L' + 0.75(L_r \; o \; S)$ |
| - $1.2D + 1.0W + L' + 0.5(L_r \; o \; S)$ | - $D + (0.6W \; o \; 0.7E)$ |
| - $0.9D + 1.0W$ | - $D + 0.75L' + 0.75(0.6W) + 0.75(L_r \; o \; S)$ |
| - $1.2D + E_v + E_h + L' + 0.2S$ | - $0.6D + 0.6W$ |
| - $0.9D - E_v + E_h$ | - $1.0D + 0.7E_v + 0.7E_h$ |
| | - $1.0D + 0.525E_v + 0.525E_h + 0.75L' + 0.75S$ |
| | - $0.6D - 0.7E_v + 0.7E_h$ |

*Fuente: (ASCE/SEI-7, 2010)*

### *1.5.1.2 Diseño por condiciones de servicio.*

El diseño estructural basado en estados límites de servicio debe garantizar el correcto funcionamiento de la estructura, además se debe asegurar que el sistema brinde un buen confort y que se evite el deterioro por el paso del tiempo, mediante la revisión de las deflexiones, desplazamientos laterales, vibración, efectos provocados por el viento y deslizamientos de conexiones.

*En la Tabla 3 se muestran*, las combinaciones de acciones para la revisión por estados límites de servicio donde se involucren efectos de corta duración (deformaciones o fisuras) y efectos de larga duración (asentamientos).

*Tabla 4. Combinaciones de carga para la revisión por estados límites de servicio*

| Tipo de efecto | Combinación de carga para ELS |
|---|---|
| Corta duración | $D + L'$ |
| | $D + 0.5S$ |
| Larga duración | $D + 0.5L'$ |

*Fuente: (ANSI/AISC-360, 2016)*

Con estas combinaciones de cargas por estados limites ya sean para efectos de corto o largo plazo, se revisa que las vibraciones, desplazamientos laterales, movimientos producidos por el viento que se ejercen en la edificación no afecte al confort estructural, ni afecten el servicio de

la estructura. Otra revisión que se hace para los estados limites es la verificación de flecas permisibles, *en la Tabla 4 se presentan* las deflexiones verticales máximas en miembros horizontales en función de la luz del elemento $(L)$, en caso que el elemento estructural supere estos valores puede ocasionar daños arquitectónicos y afectar la funcionalidad de la edificación (ANSI/AISC-360, 2016).

*Tabla 5. Deflexión vertical máxima en miembros horizontales*

| Elemento estructural | Deflexión vertical máxima |
|---|---|
| Vigas de entrepiso | $L/360$ |
| Vigas o corres de cubierta | $L/200$ |
| Voladizos | $L/150$ |

*Fuente: (ANSI/AISC-360, 2016)*

### 1.5.2 Estructuras dúctiles de acero.

- **El acero como material estructural.**

El acero es uno de los materiales que más se emplean en las construcciones debido que presenta grandes ventajas como: gran resistencia, rigidez, ductilidad, uniformidad, tenacidad, pero también son ventajas en procesos constructivos como: gran facilidad para unir elementos por medio de conexiones (empernados o soldadura), rapidez de montaje y la gran capacidad de laminarse en diferentes tamaños y formas (Crisafulli, 2018).

Entre las propiedades mecánicas más relevantes es la resistencia de fluencia especificada ($F_y$) y la resistencia de tracción mínima especificada ($F_u$) ya que son parámetros limitan la capacidad resistente del material.

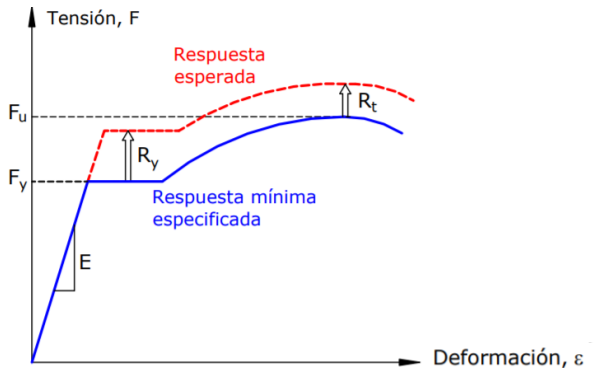



*Ilustración 1. Diagrama esfuerzo - deformación del acero con la respuesta mínima esperada y especificada*
*Fuente: (Crisafulli, 2018)*

La resistencia del acero viene en función de la cantidad de carbono con la cual se fabricó el metal, ya que si presenta mayor acero por ende tendrá mayor resistencia, pero será menos dúctil, es por ello que el mercado ya existen perfiles estandarizados con especificaciones ASTM con diferentes calidades como: el acero común, los de alta resistencia y aceros especiales (inesa, S,f). *En la Tabla 5*, se muestran los valores del esfuerzo de fluencia y resistencia a la tensión del acero según las especificaciones ASTM.

Los aceros empleados tienen factores de sobrerresistencia para cuantificar el incremento de la resistencia esperada en comparación con la resistencia nominal del elemento estructural, ya sea para la relación de fluencia ($R_y$) o para la relación de fractura ($R_t$) (NEC-SE-AC, 2014). *En la Tabla 5*, se presentan los valores de factores de fluencia y tensión probables del acero según las especificaciones ASTM.

*Tabla 6. Propiedades físico mecánicas del acero según las especificaciones ASTM*

| Aplicación | Especificación ASTM | $F_y$ (ksi) | $F_u$ (ksi) | $R_y$ | $R_t$ |
|---|---|---|---|---|---|
| **Formas y barras estructurales laminadas en caliente** | ASTM A36 | 36 | 58 - 70 | 1.3 | 1.15 |
| | ASTM A572 Gr.50 | 50 | 65 | 1.1 | 1.25 |
| | ASTM A588 Gr.50 | 50 | 70 | 1.15 | 1.15 |

*Fuente: (NEC-SE-AC, 2014)*

- **Factores que pueden afectar la ductilidad.**

Entre los aspectos más relevantes que pueden afectar a la ductilidad tenemos los que se presentan a continuación, en donde para cada caso es importante conocer sus limitaciones para contrarrestar sus efectos negativos:

- Desgarramiento laminar.

Este fenómeno es debido a la inclusión de elementos no metálicos durante el proceso de fabricación específicamente durante la laminación, con lo que causa que el material ya no se considere isotrópico, es decir que ya no mantenga sus propiedades iguales en todas las direcciones, además las inclusiones pueden debilitar el material cuando está sometido a diferentes acciones (flexión). Aunque este fenómeno puede afectar la ductilidad del acero no es tan significativo, aunque se debe tener sus respectivas consideraciones para secciones con placas gruesas o perfiles pesados (Crisafulli, 2018).

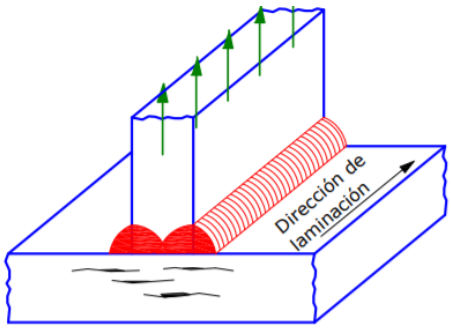



*Ilustración 4. Fenómeno de desgarramiento laminar*
*Fuente: (Crisafulli, 2018)*

- Fatiga bajo ciclos de carga.

La fatiga es una falla prematura del acero o cualquier otro material cuando es sometido bajo repeticiones de ciclos de carga, donde puede iniciarse una fisuración y luego una falla progresiva del material.

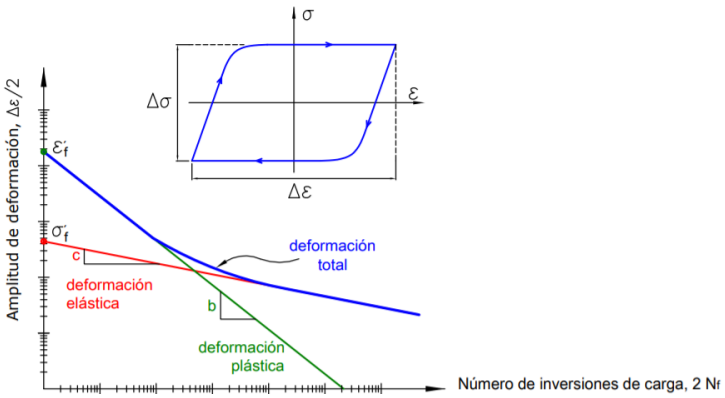



*Ilustración 5. Representación de la falla por fatiga de bajo y alto ciclaje*
*Fuente: (Crisafulli, 2018)*

La resistencia de la fatiga puede cuantificarse mediante base experimental, que en función del número de inversiones de carga ($2N_f$) que soporta el material ante una amplitud de deformación constate ($\varepsilon_a = \Delta\varepsilon/2$), donde esta deformación tiene una componente plástica y elástica (Crisafulli, 2018).

$$\varepsilon_a = \frac{\Delta\varepsilon}{2} = \frac{\Delta\varepsilon_e}{2} + \frac{\Delta\varepsilon_p}{2} \quad (3)$$

En los efectos de fatiga se puedan dar por alto y bajo ciclaje. Los producidos por alto ciclaje se debe por la repetición excesiva de ciclos de carga y por resultado se da una falla de fractura a un nivel de esfuerzos menor que la resistencia a tracción. La fatiga por bajo ciclaje se debe por la repetición de un número reducido de ciclos de carga por lo que ocasiona deformaciones plásticas, disminuyendo la ductilidad de la estructura.

- Otros factores.

La ductilidad del acero también puede verse afectada debido a condiciones de temperatura, problemas en el calentamiento en el proceso de soldadura, o las técnicas de fabricación, todos estos factores pueden afectar la respuesta estructural bajo acciones sísmicas.

- **Problemas de inestabilidad.**

La inestabilidad es el efecto que se da en los componentes o en la estructura en general cuando es sometido a compresión y no es capaz de soportar las cargas actuantes por lo que los elementos estructurales no mantienen su condición inicial de equilibrio.

Existen dos tipos de inestabilidad: la global y la de efectos localizados. La inestabilidad por efecto global o pandeo global afecta toda o la mayor parte de un miembro de acero. En cambio, la inestabilidad por efectos localizados para miembros sujetos a flexión se da el pandeo lateral-torsional y para miembros sometidos a compresión se da el pandeo flexional, torsional y flexo-torsional (ANSI/AISC-360, 2016).

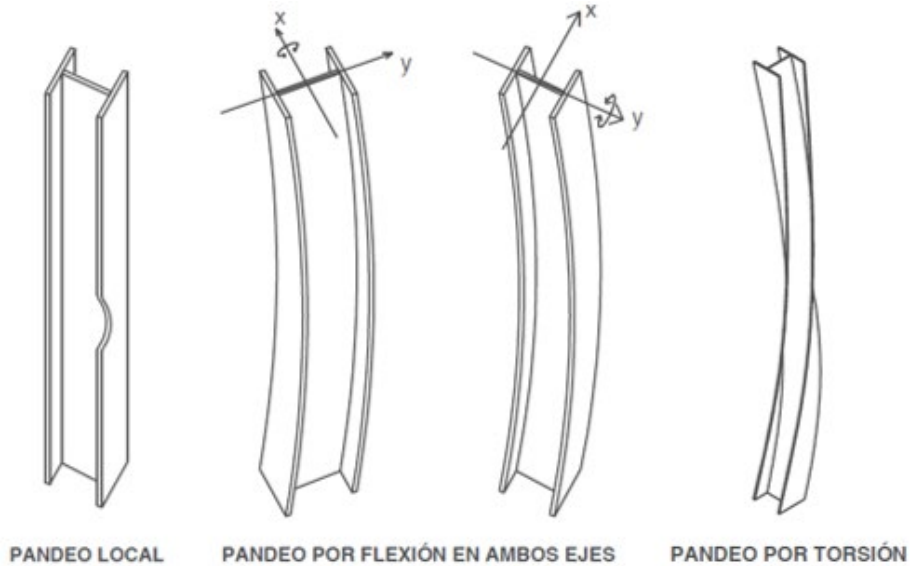



*Ilustración 6. Tipos de modos de pandeo – inestabilidad*
*Fuente: (Guerra, 2015)*

- **Clasificación de secciones para pandeo local.**

El pandeo local se da en los perfiles de acero debido que son formados por placas delgadas en comparación con la geométrica de las dimensiones que conforman la sección transversal. Según la normativa ANSI/AISC 360-16 en la Tabla B4.1b, indica las razones ancho-espesor ($b/t_f$ o $h/t_w$) para elementos en compresión y miembros a flexión el cual no debe superar una esbeltez limite ($\lambda_r$ *o* $\lambda_p$) para poder considerar que en aquella sección no sucederá efectos de pandeo local (ANSI/AISC-360, 2016).

El pandeo local se puede dar en secciones transversal cuando los miembros están sujetas a compresión o flexión. Cuando los miembros están comprimidos se pueden clasificar como:

- Esbelta: Si la relación ancho-espesor de la sección superara la razón $\lambda_r$.

- No esbelta: Si la relación ancho-espesor de la sección no superara la razón $\lambda_r$.

En cambio, cuando los miembros están flexionados los patines de la sección también experimentan en diferentes zonas efectos de compresión, los miembros flexionados pueden clasificarse como:

- Compacta: Para que una sección se considere compacta primeramente los patines deben estar conectados al alma y la relación ancho-espesor de la sección no debe superar la razón $\lambda_p$. En estas secciones se da un comportamiento plástico ya que todas las fibras alcanzan el límite de fluencia ($F_y$), donde se desarrolla el momento plástico ($M_p$) y la sección se plastifica debido a la creación de rotulas plásticas.

- No Compacta: Para que una sección se considere no compacta la relación ancho-espesor de la sección superara la razón $\lambda_p$ pero no excede $\lambda_r$. En estas secciones se da un comportamiento inelástico debido que la mayoría de las fibras alcanzan la fluencia mínima especificada ($F_y$), es decir se da una fluencia parcial, pero no se alcanza el momento plástico y por ende el desarrollo de rotulas plásticas no sucede. En estas secciones debido a la ocurrencia del pandeo local el momento nominal ($M_n$) es menor que el momento de plastificación generado por la sección ($M_p$).

- Esbelta: Para que una sección se considere esbelta la relación ancho-espesor de la sección superara $\lambda_r$. En cambio, en estas secciones se da un comportamiento elástico, debido al pandeo local el elemento se pandea antes que comienza a fluir. De igual manera que las secciones no compactas debido a la ocurrencia del pandeo local el momento nominal ($M_n$) es menor que el momento de plastificación generado por la sección ($M_p$) (inesa, S,f).

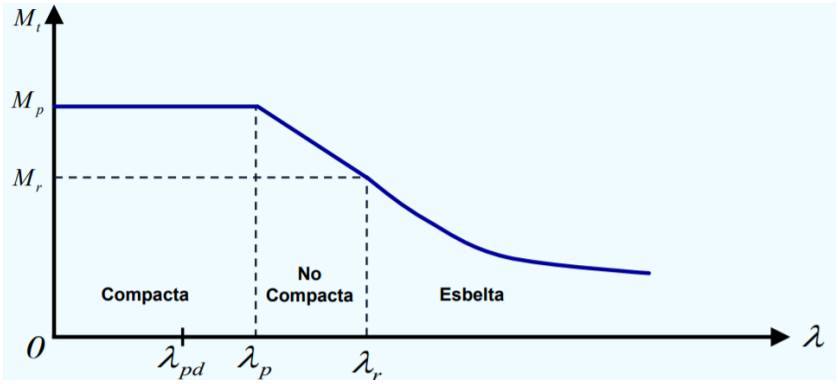



*Ilustración 7. Secciones compactas, no compactas y esbeltas bajo esfuerzo de flexión*
*Fuente: (inesa, S,f)*

- **Clasificación de secciones para estructuras sismorresistentes.**

Para los perfiles empleados en el diseño de estructuras sismorresistentes se debe controlar el pandeo local para poder asegurar que se dé la plastificación de la sección, el ANSI/AISC 341-16 en la su Tabla D1.1 indica una clasificación en función de la ductilidad para controlar el pandeo local, donde para elementos con moderada ductilidad la relación ancho-espesor no debe superar el factor $\lambda_{md}$ en cambio para miembros de alta ductilidad la relación ancho espesor no debe superar la razón $\lambda_{hd}$ (ANSI/AISC-341, 2016).

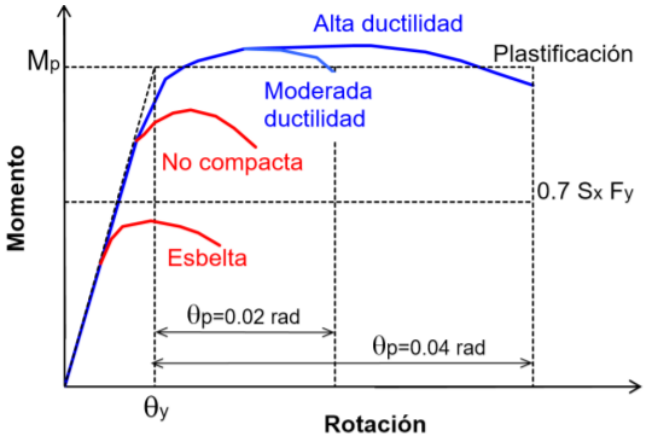



*Ilustración 8. Comportamiento flexional de una sección para el efecto del pandeo local*
*Fuente: (Crisafulli, 2018)*

Como se observa en la gráfica rotación-momento las secciones compactas pueden alcanzar una rotación plástica aproximadamente de 0.02 rad, en cambio las secciones de alta ductilidad desarrollan una rotación plástica de 0.04 rad.

### 1.5.3 Efectos no lineales.

En general el comportamiento que asimilamos en las estructuras es de carácter lineal (fuerzas, momentos, desplazamientos, rotaciones, entre otros) pero en real comportamiento que tiene una estructura involucra efectos no lineales como: no linealidad debida al material, no linealidad geométrica y no linealidad de contacto o de contorno.

- No linealidad debida al material.

  Los materiales presentan comportamientos no lineales a partir de un cierto nivel de deformaciones producidas por los efectos de fluencia lenta, relajación de tensiones, fisuración del hormigón, retracción por fraguado, entre otros.

- No linealidad geométrica.

  Sucede cuando existen desplazamientos considerablemente grandes que afectan las ecuaciones de equilibrio y producen cambios significativos en su configuración geométrica, por ende, las ecuaciones de equilibrio y desplazamientos deben realizarse en la posición deformada de la estructura.

- No linealidad de contacto o de contorno.

  Se produce por la interacción entre el contacto de solidos deformables o rígidos y también por los efectos no lineales causados por impacto.

- **Análisis del efecto P-Δ.**

Este efecto produce desplazamientos nodales, producidos por una fuerza lateral que deforma la estructura, sumándose a este efecto de manera simultánea el aporte de las cargas gravitaciones que actúan sobre ella produciendo un momento adicional, por ende, las ecuaciones de equilibrio deben realizarse en la posición deformada de la estructura. Por la acción de las cargas verticales el efecto P-Δ produce una disminución de la resistencia global de la estructura, reduciendo la rigidez lateral y produciendo el aumento de los desplazamientos (Crisafulli, 2018).

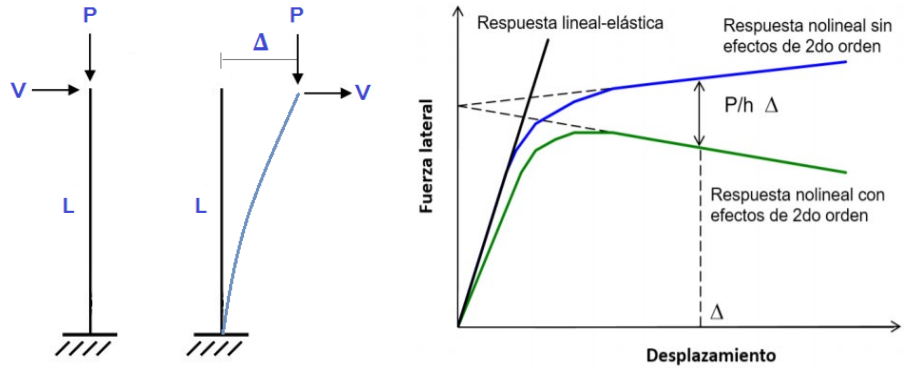



*Ilustración 9. Efecto P-Δ en la respuesta global de la estructura*
*Fuente: (Vielma, 2014)*

El efecto P-Δ que se produce en la estructura se puede despreciar cuando el índice de estabilidad θ cumpla la restricción que se presentara a continuación (ASCE/SEI-7, 2010).

$$\theta = \frac{P * (\Delta_i - \Delta_{i-1}) * I_e}{V * h_i * C_d} \leq 0.10 \qquad (4)$$

- **Método de análisis directo.**

Este método analiza de manera global la estabilidad de la estructura, determinando la resistencia requerida y comprándola con la resistencia de diseño, en donde la resistencia de diseño para miembros comprimidos el factor de longitud efectiva siempre será K = 1.00, debido que para la resistencia requerida en su análisis ya se incluyen los efectos P-Δ (ANSI/AISC-360, 2016). Para el análisis directo se deben considerar ciertos aspectos como:

- Deformaciones en los miembros y en las conexiones.
- Efectos P-Δ (desplazamiento lateral producido por la acción vertical) y P-δ (desplazamiento axial producido por la acción vertical).
- Imperfecciones geométricas.
- Reducción de la rigidez por comportamiento inelástico.

### 1.5.4 Comportamiento sísmico de las estructuras de acero.

La finalidad de las estructuras es que su capacidad resistente abarques de una manera adecuada las solicitaciones más desfavorables producidas por un sismo y controlando la disipación de energía de manera dúctil para asegurar la capacidad de deformación. El acero se comporta de forma dúctil, pero para que esto suceda en la estructura se deben identificar las condiciones donde se pueda producir una falla frágil para poder diseñar elementos que dicen de manera adecuada la energía producida por el sismo (Aguirre, S,f).

Pero cuando ocurre un sismo este efecto disminuye la capacidad resistente, la rigidez y por ende la respuesta de disipación de energía, entonces cuando se da el movimiento telúrico se debe diseñar de manera adecuada todos los mecanismos de disipación, aunque se diseñen de manera adecuada a veces las fallas se dan por procesos constructivos como: el uso de electrodos inadecuados que no dan la resiliencia requerida, dejar elementos de respaldo, que generan problemas en la raíz de la soldadura o el sobrecalentamiento de los elementos a soldar.

### 1.5.5 Métodos de diseño sismorresistente.

- **Diseño basado en fuerzas.**

En este diseño considera las propiedades dinámicas de la estructura a partir de los espectros de aceleraciones, en donde tiene como finalidad determinar las fuerzas sísmicas de diseño a través de un análisis estático o dinámico. En el diseño de fuerzas se limita el daño mediante una revisión de los desplazamientos laterales (controla las derivas de piso).

Este diseño emplea factores de reducción sísmica R, el cual no varía con el periodo ni con el tipo de suelo. La modelación estructural de este diseño debe incluir todos los elementos que forman parte del sistema resistente y su distribución de masas y rigideces, aunque para estructuras de hormigón y mampostería, sus rigideces y derivas masivas deben emplear los valores de las inercias agrietadas. Para el análisis espectral se empleará el espectro sísmico de respuesta generado por las curvas de peligro sísmico o por el espectro elástico de aceleraciones.

En el diseñado basado en fuerzas el efecto vibratorio se reemplaza por fuerzas laterales que se incrementan mediante siga aumentando la altura de la edificación, en donde el cortante basal se determina mediante un coeficiente sísmico que se multiplica por el peso total de la estructura, incluyendo además un porcentaje de las sobrecargas de uso (NEC-SE-DS, 2015).

- **Diseño basado en desplazamientos.**

En este diseño la amenaza sísmica está en función de un espectro de desplazamientos, en donde primeramente para el diseño se debe definir un desplazamiento límite, que es el desplazamiento máximo deseado en la estructura, el cual sirve como indicador del daño o del nivel de desempeño que tendrá el sistema estructural, para luego realizar las verificaciones vinculadas a la capacidad resistente del sistema. Este diseño generalmente se emplea en estructuras regulares o que disponga de poca irregularidad tanto en planta como en altura.

En el diseño basado en desplazamientos cuando la estructura inelástica alcance su máximo desplazamiento se debe remplazar por el efecto de un sistema estático equivalente de un grado de libertad, que es equivalente al aplicar un amortiguamiento viscoso e histérico en la estructura real. En donde en este sistema se generan las mayores demandas y se producen la formación de rotulas plásticas, los demás modos de vibración se consideran a través de factores de amplificación dinámica.

Este diseño sismorresistente se debe verificar ciertas condiciones como: las deformaciones inelásticas, la formación de rótulas pláticas en sitios predeterminados y los efectos de segundo orden e inestabilidad, para asegurar el desempeño de este sistema se deben comprobar los estados límites como: límite para las derivas de piso y de límites en la deformación unitaria. La cortante basal para el diseño basado en desplazamiento, se determina cuando el sistema estructural alcanza el desplazamiento neto, es decir la cortante basal es igual al desplazamiento de diseño por la rigidez efectiva.

**• Diseño basado en energía.**

Los anteriores métodos de diseño (basado en fuerzas y basado en desplazamientos) buscan determinar fuerzas o desplazamientos y a partir de estos realizar el diseño sismorresistente, pero estos métodos de diseño no indican el comportamiento del fenómeno sísmico ni de la estructura es por eso que últimamente se ha empleado el diseño sismorresistente basado en el balance energético la demanda sísmica está en función de espectros de energía, el cual indica el comportamiento real que tiene el sino y la estructura (Cabrera, 2012).

Este método de diseño consiste en realizar un balance energético, de la energía sísmica de entrada que llega a las estructuras y como estas absorben y disipan la energía en función del tiempo. Si consideramos esta ideología como un sistema de un grado de libertad dinámico, la respuesta de sistema indica la fuerza que genera la masa (M) más la fuerza que genera el amortiguamiento (C) más la fuerza que genera la oposición al movimiento (K) es igual y contraria a la fuerza sísmica.

$$M\frac{dy^2}{dt^2} + C\frac{dy}{dt} + K' * y = -M\frac{dz^2}{dz^2} \qquad (5)$$

Con el intercambio que se da de energía en la estructura cuando sucede el evento símico, podemos describir que la respuesta del sistema es igual a la energía total suministrada a la estructura por el movimiento del suelo, el cual se determina mediante la energía de vibración elástica $(W_e)$ más la energía consumida por el amortiguamiento $(W_p)$ sumado a la deformación plástica acumulada $(W_h)$ es igual a la energía total suministrada a la estructura por el movimiento del suelo.

$$W_e + W_p + W_h = E' \qquad (6)$$

### 1.5.6 Diseño por capacidad.

Este diseño se basa en evitar que se produzcan fallas frágiles mediante la fluencia de los elementos de acero para la formación de mecanismo de deformación plástica. En las zonas críticas, donde se da la plastificación de la estructura, los elementos deben ser diseñados y detallados para que garanticen que se dé la disipación de energía en forma dúctil y estable.

Entonces el diseño por capacidad frente a la acción sísmica produce que el sistema estructural se desarrollen deformaciones plásticas, es decir que después de alcanzar la fluencia siga soportando las solicitaciones sin que se deforme, con esto se asegura que el sistema estructural trabaje en forma estable y pueda disipar la energía sísmica, pero además para garantizar la seguridad de la estructura los demás elementos estructurales se aseguran dando una resistencia mayor que la que es desarrollada por la máxima resistencia esperada en las zonas de plastificación, para prevenir la falla (Crisafulli, 2018).

- Aspectos básicos y fundamentales del diseño por capacidad:

    - Identificar los miembros en donde puede darse la plastificación para poder seleccionar un mecanismo de deformación plástica.

- Asegurar el comportamiento dúctil del sistema mediante un detallado de los componentes inelásticos.
- Diseñar los demás componentes del sistema estructural en el rango elástico, considerando que deben resistir las acciones símicas y la probable sobrerresistencia de los mecanismos dúctiles.

- Partes componentes de la estructura son:

  - Zonas dúctiles controlados por deformación.
  - Componentes frágiles controlados por fuerza o componentes sensibles a la sobrerresistencia estructural.

- Resistencias requeridas de los componentes protegidos por capacidad:

  - Acciones sísmicas con sobrerresistencia $(E_{mh})$.
  - Acciones sísmicas limitadas por capacidad $(E_{cl})$.

### 1.5.7 Diseño basado en desempeño.

Este método basado en desempeño consiste que el diseño estructural a partir de los niveles de amenaza sísmica debe alcanzar unos ciertos objetivos de desempeño o prestaciones, para que garanticen su funcionamiento estructural.

La metodología para el diseño basado en desempeño, debe seguir los siguientes pasos: primero adoptar los objetivos de desempeño, luego definir la demanda sísmica, posteriormente realizar el diseño conceptual, luego realizar la presentación de los criterios de diseño, consecuentemente realizar el diseño preliminar, luego dar una evaluación a nivel de servicio, posteriormente realizar una evaluación a nivel del terremoto MCE y finalmente realizar el diseño final de la estructura.

- Niveles de amenaza sísmica.

Los niveles de amenaza sísmica están en base a consideraciones probabilística para el diseño basado en desempeño son:

*Tabla 7. Niveles de amenaza sísmica*

| Niveles de amenaza sísmica | Probabilidad | Excedencia | Periodo de retorno $(T_r)$ |
|---|---|---|---|
| **Sismo frecuente** | 50% | 30 años | 43 años |
| **Sismo ocasional** | 50% | 50 años | 72 años |
| **Sismo raro** | 10% | 50 años | 475 años |
| **Sismo muy raro** | 10% | 100 años | 950 años |

*Fuente: (Crisafulli, 2018)*

- Niveles de desempeño.

Los niveles de amenaza sísmica se relación en función del daño estructural, el desempeño y la importancia de las construcciones como: Grupo I (Uso residencia), Grupo II (Uso comercial e industrial) y Grupo III (Uso esencial para tareas de rescate y ayuda luego de un sismo). Los niveles de desempeño según los niveles de movimiento sísmico son:

- Operativo (O): En este nivel el sistema es totalmente operativo, ya que la construcción se mantiene en servicio continuo. El sistema permanece en el rango elástico donde las deformaciones y los daños estructurales son despreciables y el comportamiento en este nivel es controlado por la rigidez que presente el sistema.

- Ocupación inmediata (OI): En este nivel la respuesta del sistema está en el rango inelástico, el cual depende de la resistencia que presenta la estructura. Aquí debido a la acción sísmica la estructura puede presentar un nivel ligero de daño y puede presentar fisuración en algunos elementos estructuras, aunque la deformación que presente puede ser despreciable.

- Seguridad de vidas (SV): En este nivel la respuesta del sistema está en el rango inelástico, el cual depende de la ductilidad que presenta la estructura. Este objetivo propone garantizar la seguridad de vidas, aunque bajo la acción sísmica el sistema estructural ya presenta un daño considerable.

- Casi Colapso (CC): En este nivel la respuesta del sistema está en el rango inelástico, el cual depende de la ductilidad que presenta la edificación. En este nivel de desempeño cuando actúa la acción sísmica el sistema estructural ya presenta un daño considerable y una reducción de la resistencia y rigidez, estructural, lo que provocaría deformaciones remanentes apreciables, en donde la estructura puede quedar fuera de servicio y deberá ser evacuada, aunque la reparación de la edificación es posible (Crisafulli, 2018).

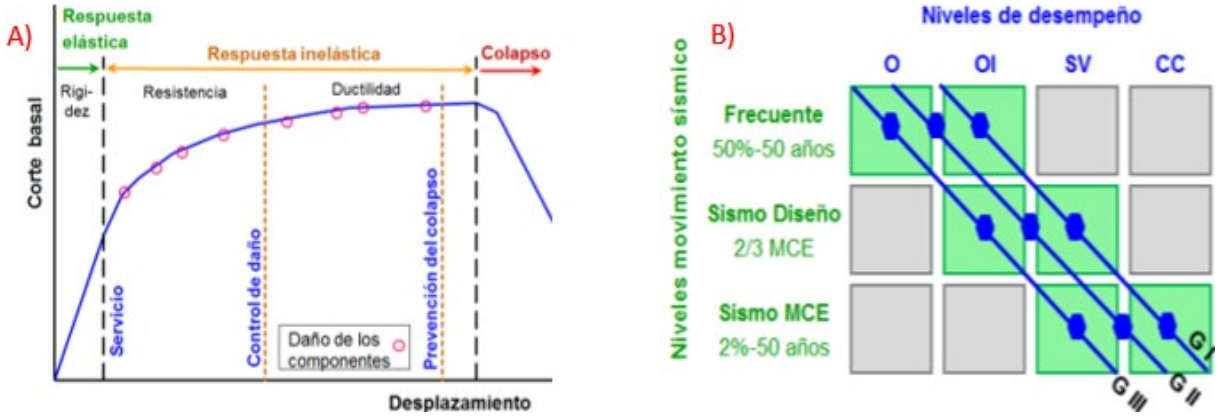



*Ilustración 10. A) Respuesta estructural con niveles de desempeño o prestación B) Relación entre la amenaza sísmica y niveles de desempeño: Operativo (O), Ocupación inmediata (OI), Seguridad de vidas (SV) y Casi colapso (CC) Fuente: (FEMA-350, 2000)*

- Indicadores para la cuantificación del desempeño estructural.

Para poder cuantificar el desempeño del sistema estructural en base al daño asociado a los distintos niveles de desempeño, se lo puede hacer mediante indicadores como:

- La ductilidad de desplazamiento.
- La energía histérica.
- Las deformaciones que se desarrollan en los materiales de la estructura.

- La distorsión de piso, en donde la distorsión de piso se considera como el parámetro principal de desempeño.

*Tabla 8. Relación entre niveles de desempeño y distorsión*

| Nivel de desempeño | Distorsión de piso |
|---|---|
| Totalmente operativo | < 0,2% |
| Operativo | 0,2% a 0,5% |
| Seguridad de vidas | 0,5% a 1,5% |
| Prevención del colapso | 1,5% a 2.5% |

*Fuente: (Crisafulli, 2018)*

### 1.5.8 Rigidez, resistencia y ductilidad.

- **Rigidez.**

La rigidez estructural es la relación entre un esfuerzo (fuerza o momento) con la capacidad resistente que tiene un elemento para soportar las deformaciones. Por eso es hipótesis que las estructuras rígidas son indeformables y las estructuras no rígidas pueden deformarse tras la aplicación de un esfuerzo (Crisafulli, 2018).

Existen algunos criterios para definir la rigidez estructural como:

- Rigidez inicial: Es la pendiente de la recta tangente a la curva de la respuesta ante la acción de un esfuerzo en el punto inicial.

- Rigidez tangente: Es la recta tangente a la curva de respuesta ante la acción en el punto específico donde deseemos determinar.

- Rigidez secante: Es la recta secante desde el punto inicial hasta un punto específico donde queramos determinar en la curva de respuesta.

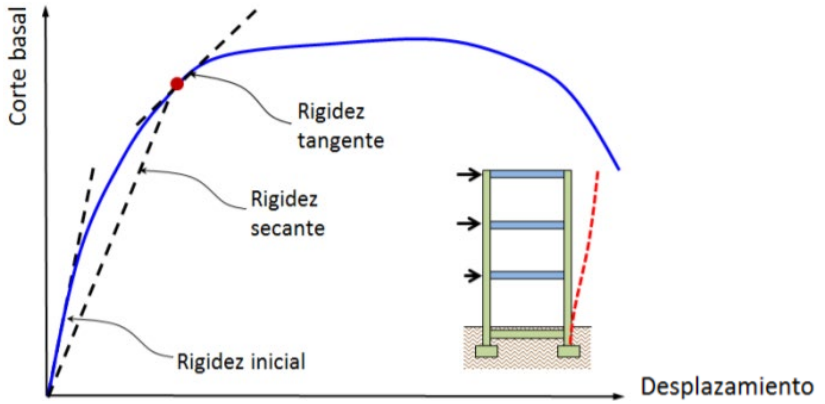



*Ilustración 11. Curva de respuesta para indicar los distintos criterios de rigidez estructural*
*Fuente: (Crisafulli, 2018)*

- **Resistencia.**

La resistencia es la capacidad que tienen los elementos de soportar las diferentes solicitaciones (axial, cortante, momento flector o momento torsor) a los que son sometidos para garantizar la seguridad estructura. Existen varios tipos de resistencia como:

- Resistencia nominal: Es la capacidad que determina atreves de las propiedades mecánicas de los materiales y de la geometría de la sección.

- Resistencia de diseño: Es el producto de la resistencia nominal por un coeficiente de seguridad, para garantizar que las posibles incertidumbres que existan no afectan al diseño del elemento o la estructura.

- Resistencia esperada: Es la capacidad máxima probable que se obtiene cuando se considera la sobrerresistencia y las dimensiones reales de la geometría de la sección.

- Resistencia requerida: Es el esfuerzo interno necesario para soportar las diferentes solicitaciones cuando estas son mayoradas por factores de carga.

- **La ductilidad μ.**

Es la capacidad de un material de soportar deformaciones inelásticas sin perder su resistencia, ya que el material fluye y se evitan las fallas prematuras (inesa, S,f). La ductilidad se puede cuantificar como la relación entre la deformación máxima $(\Delta_\mu)$ y la deformación producida por la fluencia $(\Delta_y)$.

$$\mu = \Delta_\mu / \Delta_y \qquad (7)$$

### 1.5.9 Procedimiento para el diseño sismorresistente según normativa ASCE/SEI.

El procedimiento general para el diseño sismorresistente se basa en dos etapas:

- Etapa conceptual.

  Esta etapa depende de los conocimientos y experiencia del diseñador ya que se realiza un planteo conceptual en donde se debe seleccionar los materiales y tipos estructurales más convenientes, así como la organización espacial adecuada del sistema y con esto poder realizar las estimaciones de las dimensiones estructurales.

- Etapa reglamentaria.

  Esta etapa indica pasos para asegurar que la estructura de diseño cumpla con los requisitos de seguridad y funcionalidad, de acuerdo con la reglamentación que se esté empleando. En donde se requiere de la utilización de métodos de análisis para evaluar las acciones, poder realizar un análisis estructural, dimensionar y realizar todas las verificaciones de los componentes estructurales y con ello realizar el detallado y revisar los requerimientos especiales para el cálculo de conexiones y finalmente realizar la documentación técnica (plano de detalles, especificaciones técnicas, entre otros) (Crisafulli, 2018).

### 1.5.10 Definición de la acción sísmica para diseño.

- **Riesgo sísmico.**

El riesgo sísmico tiende a medir de manera cuantificable las perdidas (económicas, sociales, entre otras) producidas por el efecto de un sismo en un tiempo especificado debido al nivel de exposición, efecto del peligro sísmico y vulnerabilidad de las edificaciones. En donde la

amenaza sísmica se puede entender como el potencial que presenta el fenómeno (sismo), el cual depende de las condiciones de sitio, tipo de suelo y la acreción máxima esperada. Mientras que la vulnerabilidad se relaciona como una medida de la capacidad que tiene la estructura sin que llegue al colapso (inesa, S, f).

La finalidad de conocer el riesgo sísmico permite conocer las fuerzas laterales que estará sometida la estructura bajo un efecto sísmico, con ello poder minimizar los daños de las construcciones, pérdidas económicas y sobre todo perdidas de vida (NEC-SE-DS, 2015).

- **Ingeniería sismorresistente.**

La ingeniería sismorresistente es una ciencia que incorpora conocimientos de ingeniería estructural, ciencia de los materiales, sismología entre otras para estudiar el comportamiento de las estructuras cuando están sujetas bajo la acción de un sismo, y diseñarlas de tal manera que reduzcan el riesgo sísmico mediante criterios de diseño más confiables, uso de diferentes materiales estructurales o dispositivos innovadores para que la edificación presente condiciones aceptables y evitar las posibles pérdidas sociales, económicas o las que se generen (NEC-SE-RE, 2015).

- **Acción sísmica para diseño.**

La acción sísmica es un problema que es netamente dinámico, aunque existen métodos de diseño sismorresistente como: método de diseño basado en fuerzas y el método de diseño basado en desplazamientos, en donde ambos diseños definen la acción sísmica a partir de aceleraciones. Pero con el desarrollo de la tecnología sean podido implementar softwares de análisis estructural para la aplicación de métodos dinámicos cuando suceda una carga sísmica.

La acción sísmica se cuantifica con un espectro de aceleraciones o un registro de aclaración obtenidos mediante acelerogramas que miden la aceleración del terreno en función del tiempo y son obtenidos con registros de mediciones reales de cargas sísmicas o generándose artificialmente con distintos softwares (Crisafulli, 2018).

Independientemente del método aplicado, para cuantificar la acción del sismo se debe considerar aspectos, tales como: sismicidad propia del lugar, propiedades geológicas, importancia de la edificación y características de la respuesta estructural (ductilidad y sobrerresistencia).

- **Espectros de respuesta.**

Es un gráfico de la respuesta máxima del desplazamiento, velocidad o aceleración que es producido por una acción dinámica determinada en un oscilador de un grado de libertad con un periodo natural de vibración $(T_n)$ y un amortiguamiento relativo $(\xi)$ para un sismo en específico (inesa, S, f).

$$Respuesta\ Max\ de\ desplazamiento \rightarrow u_o(T_n,\xi) \equiv \max_t |u(t,T_n,\xi)| \quad (8)$$

$$Respuesta\ Max\ de\ velocidad \rightarrow \dot{u}_o(T_n,\xi) \equiv \max_t |u(t,T_n,\xi)| \quad (9)$$

$$Respuesta\ Max\ de\ aceleracion \rightarrow \ddot{u}_o(T_n,\xi) \equiv \max_t |u(t,T_n,\xi)| \quad (10)$$

La grafica del espectro de respuesta, en las abscisas (Eje Y) representan el periodo natural de vibración $(T_n)$ y en las ordenadas (Eje X) se presenta la respuesta máxima de aceleraciones, velocidad o desplazamiento para distintos factores de amortiguamiento $(\xi)$.

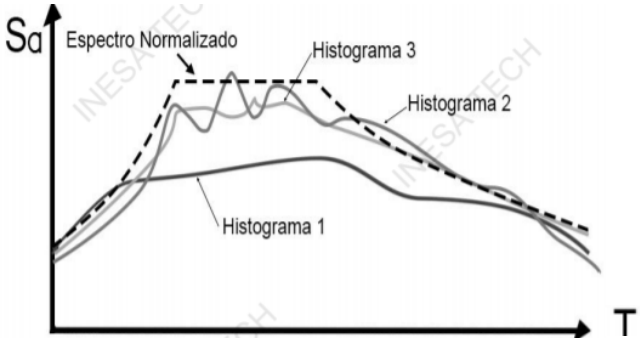



*Ilustración 12. Histograma de aceleraciones vs espectro normalizado*
*Fuente: (inesa, S, f)*

- **Espectros de diseño.**

Indican el efecto de un solo registro, por lo que no pueden emplearse en el diseño, por lo que para el diseño sismorresistente se puede emplear un espectro de diseño de aceleración o desplazamiento.

- Espectro elástico horizontal de diseño en aceleraciones.

Para el movimiento sísmico de diseño se define en función de la aceleración máxima (PGA) que puede tener la roca en el sitio de emplazamiento de la estructura, según el factor Z y otros factores que amplifican las ordenadas del espectro en función del tipo de suelo para periodos cortos $(F_a)$, periodos medios $(F_d)$ y una modificación del comportamiento no lineal que tiene el perfil del suelo $(F_s)$. La ordenada representa el espectro de respuesta elástico de aceleraciones $(S_a)$, el cual valora la pseudo-aceleración de diseño para el periodo de vibración fundamental que tiene la estructura $(T)$ en sus dos sentidos ortogonales al eje vertical de la misma, evaluada como un sistema de un grado de libertad y una masa única total (NEC-SE-DS, 2015).

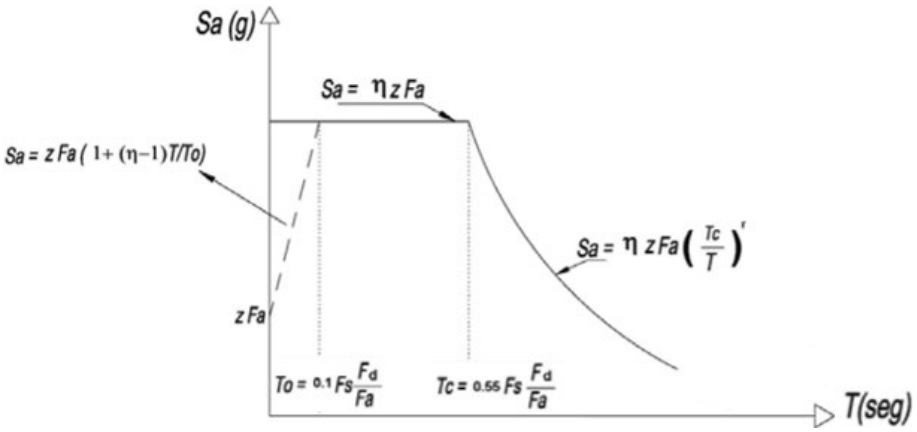



*Ilustración 13. Determinación del espectro elástico horizontal de diseño en aceleraciones*
*Fuente: (NEC-SE-DS, 2015)*

Donde:

- $\eta$ = Razón entre la aceleración espectral Sa $(T = 0.10\ s)$ y el promedio de la aceleración máxima de las dos componentes horizontales de cada registro de aceleración del suelo (PGA) para el período de retorno seleccionado.

- $Z$ = Aceleración máxima esperada en roca para el sismo de diseño.

*Tabla 9. Valores del factor Z en función de la zona sísmica*

| Zona sísmica | I | II | III | IV | V | VI |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Valor factor Z | 0.15 | 0.25 | 0.30 | 0.35 | 0.40 | ≥ 0.50 |
| Caracterización del peligro sísmico | Intermedia | Alta | Alta | Alta | Alta | Muy alta |

*Fuente: (NEC-SE-DS, 2015)*

- Tipo de perfil de suelos para el diseño sísmico.

*Tabla 10. Clasificación de los perfiles de suelo*

| Tipo de perfil | Descripción | Definición |
|---|---|---|
| A | Perfil de roca competente | Vs > 1500 m/s |
| B | Perfil de roca de rigidez media | 1500 m/s >Vs > 760 m/s |
| C | Perfiles de suelos muy densos o roca blanda | 760 m/s > Vs > 360 m/s |
| D | Perfiles de suelos rígidos | 360 m/s > Vs > 180 m/s |
| E | Perfil que cumpla el criterio de velocidad de la onda de cortante | Vs < 180 m/s |

*Fuente: (NEC-SE-DS, 2015)*

- $F_a$ = Coeficiente de amplificación de suelo en la zona para período cortó.

*Tabla 11. Factores de sitio Fa en función del tipo de perfil del subsuelo*

| Tipo de perfil del subsuelo | Zona sísmica y factor Z | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | I | II | III | IV | V | VI |
| | 0.15 | 0.25 | 0.30 | 0.35 | 0.40 | ≥0.5 |
| A | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.9 |
| B | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| C | 1.4 | 1.3 | 1.25 | 1.23 | 1.2 | 1.18 |
| D | 1.6 | 1.4 | 1.3 | 1.25 | 1.2 | 1.12 |
| E | 1.8 | 1.4 | 1.25 | 1.1 | 1.0 | 0.85 |

*Fuente: (NEC-SE-DS, 2015)*

- $F_d$ = Coeficiente de amplificación de suelo en la zona considerando los efectos de sitio.

*Tabla 12. Factores de sitio Fd en función del tipo de perfil del subsuelo*

| Tipo de perfil del subsuelo | Zona sísmica y factor Z | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | I | II | III | IV | V | VI |
| | 0.15 | 0.25 | 0.30 | 0.35 | 0.40 | ≥0.5 |
| A | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.9 |
| B | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| C | 1.36 | 1.28 | 1.19 | 1.15 | 1.11 | 1.06 |
| D | 1.62 | 1.45 | 1.36 | 1.28 | 1.19 | 1.11 |
| E | 2.1 | 1.75 | 1.7 | 1.65 | 1.6 | 1.5 |

*Fuente: (NEC-SE-DS, 2015)*

- $F_s$ = Coeficiente de amplificación de suelo en la zona considerando el comportamiento no lineal de los suelos.

*Tabla 13. Tipo de suelo y factores se sitio Fs*

| Tipo de perfil del subsuelo | Zona sísmica y factor Z | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | I | II | III | IV | V | VI |
| | 0.15 | 0.25 | 0.30 | 0.35 | 0.40 | ≥0.5 |
| A | 0.75 | 0.75 | 0.75 | 0.75 | 0.75 | 0.75 |
| B | 0.75 | 0.75 | 0.75 | 0.75 | 0.75 | 0.75 |
| C | 0.85 | 0.94 | 1.02 | 1.06 | 1.11 | 1.23 |
| D | 1.02 | 1.06 | 1.11 | 1.19 | 1.28 | 1.40 |
| E | 1.5 | 1.6 | 1.7 | 1.8 | 1.9 | 2 |

*Fuente: (NEC-SE-DS, 2015)*

- $r$ = Factor usado en el espectro de diseño elástico, cuyos valores dependen de la ubicación geográfica del proyecto.

  - $r = 1.00 \rightarrow Todos\ los\ suelos\ excepto\ tipo\ E$
  - $r = 1.50 \rightarrow Suelos\ tipo\ E$

- Espectro elástico de diseño en desplazamientos.

El movimiento sísmico de diseño se define en función de la aceleración máxima (PGA) que puede tener la roca en el sitio de emplazamiento, según el factor Z y otros factores que amplifican las ordenadas del espectro en función del tipo de suelo para periodos medios $(F_d)$. En donde la respuesta elástica de desplazamientos $(S_d)$, está definida para una fracción del amortiguamiento respecto al crítico igual de 5%, el cual depende del período de vibración de la estructura $(T)$ (NEC-SE-DS, 2015).

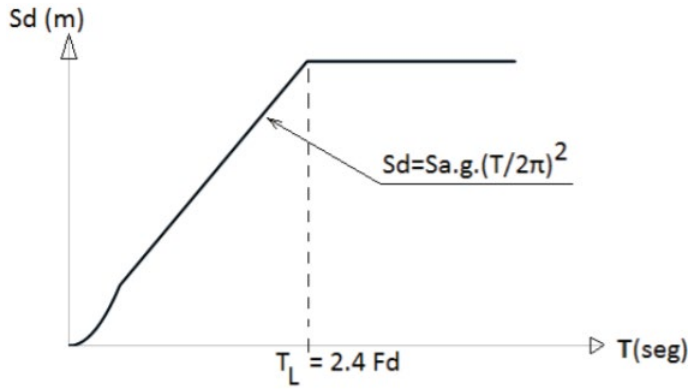



*Ilustración 14. Determinación del espectro elástico de diseño en desplazamientos*
*Fuente: (NEC-SE-DS, 2015)*

- **Acción vertical del sismo.**

La acción del sismo provoca una propagación de las ondas sísmicas que causan el movimiento del suelo y crean una componente sísmica en la dirección vertical. Para la acción sísmica total se considera tanto el efecto horizontal $(E_h)$ y el efecto vertical $(E_v)$ del sismo, pero en algunos casos el efecto vertical del sismo se puede despreciar cuando: el espectro de respuesta elástico de aceleraciones mayor $(S_{a.max})$ es menor o igual a 0.125.

Para la determinación del efecto vertical de la acción del sismo, según la norma del ASCE/SEI 7-16 se determina como: $\pm 0.20 * S_{a.max} * D$, donde D es la carga permanente.

- **Factor de modificación de respuesta R.**

El factor de modificación de respuesta (R) reduce la demanda sísmica, debido que la estructura puede disipar la energía. La determinación del factor de modificación de respuesta, se puede determinar para diferentes periodos que tendrá la estructura:

- Periodos de vibración largos.

Para periodos de vibración largos se puede emplear el "criterio de igual desplazamiento", que mediante un análisis de la cortante basal en función de su desplazamiento, el desplazamiento máximo en rango no lineal es similar al desplazamiento máximo del sistema elástico. Entonces se observa que el factor de respuesta $(R)$ es igual a la ductilidad del sistema $(\mu)$ , en donde la ductilidad está en función de la fluencia en la estructura inelástica $(V_y)$ y de la fuerza sísmica en el rango elástico $(V_E)$ (ASCE/SEI-7, 2010).

$$R = V_E/V_y = \mu \qquad (11)$$

- Periodos de vibración bajos.

Para periodos vibración bajos se puede emplear el "criterio de igual energía", que mediante un análisis de la cortante basal en función de su desplazamiento, se observa que al igualar el área bajo la curva el comportamiento elástico y elasto-plástico son iguales.

$$R = \sqrt{2\mu - 1} \qquad (12)$$

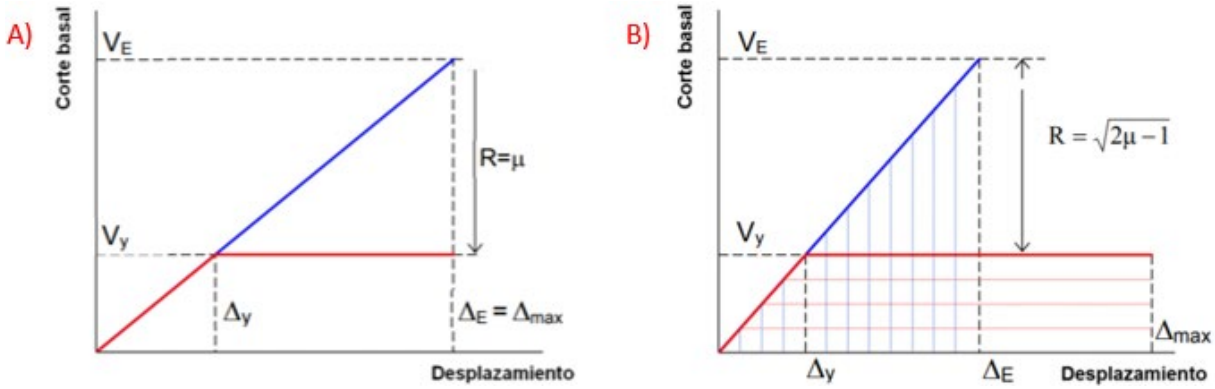



*Ilustración 15. A) Criterio de igual desplazamiento entre un sistema elástico y un sistema elasto-plástico B) Criterio de igual energía entre un sistema elástico y un sistema elasto-plástico*
*Fuente: (Crisafulli, S, f)*

- Periodos de vibración intermedios.

El cálculo del factor de respuesta (R), se considera mediante la ductilidad y la sobrerresistencia de la estructura, el cual se determina mediante un gráfico de la respuesta lineal y elástica y la respuesta real espera de la estructura en un análisis de la cortante basal en función de su desplazamiento.

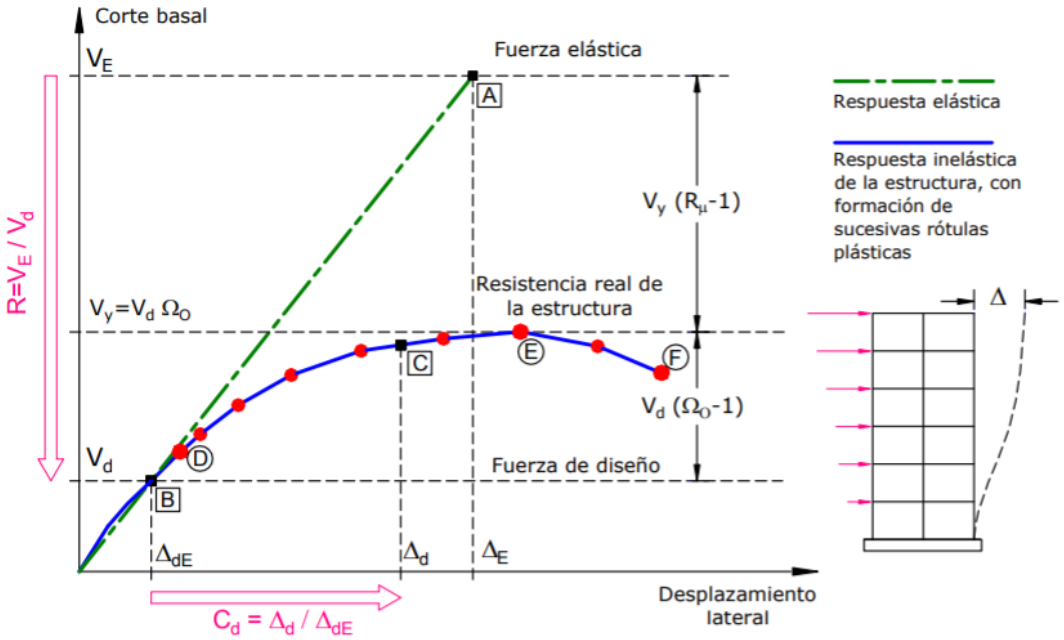



*Ilustración 16. Respuesta global del sistema con factores $R, \Omega_0$ y $C_d$ para estructuras*
*Fuente: (Crisafulli, 2018)*

Mediante el grafico de respuesta global, se observa que en la fase inicial la estructura tiene una rigidez mayor que la considerada en el análisis por que se consideran factores de rigidez efectiva, pero mientras aumenta el efecto de la acción vertical se produce la fluencia del elemento de acero y se forman sucesivamente rotulas plásticas. También se observa en el Punto A el nivel de fuerza provocado por el espectro de diseño que se representa mediante la fuerza sísmica en el rango elástico $(V_E)$, en el Punto B se observa el nivel de diseño está en función del factor de reducción (R) el cual se indica mediante el corte basal $(V_d)$. En el Punto C se mira que los desplazamientos de diseño $(\Delta_d)$ está en función del factor de amplificación $(C_d)$. En el Punto E se observa que el sistema tiene una respuesta inelástica hasta que alcanza resistencia real de la estructura y luego decae hasta que llega al colapso en el Punto F (Crisafulli, S, f).

A partir de este análisis dinámico de sistemas con comportamiento elasto-plástico se propone que el espectro inelástico de diseño puede obtenerse a partir de un espectro elástico, mediante la determinación de un factor de reducción por ductilidad $(R_\mu)$ que considera la ductilidad que son proporcionados por los componentes dúctiles del sistema estructural y de un factor de sobrerresistencia $(\Omega_O)$.

$$R = R_\mu \Omega_o \qquad (13)$$

- **Factor de sobrerresistencia (Ωo) y factor de amplificación de desplazamientos (Cd).**

Los factores de desempeño sísmico $R, \Omega_0 \, y \, C_d$ de la relación de comportamiento elástico/plástico para diferentes sistemas estructurales, sirven para el análisis elástico de una estructura dúctil que incursiona en efectos plásticos.

- Factor de sobrerresistencia $(\Omega_0)$.

Permite el diseño de componentes estructurales que no deben esforzarse plásticamente, para salvaguardar la estabilidad de la estructura. Este factor sirve para sobredimensionar

las secciones para obtener una estructura más rígida y así poder controlar las distorsiones de piso. *En la Tabla 13 se muestra* valores para el factor de sobrerresistencia o también la determinación del factor de sobrerresistencia ($\Omega_0$) se lo realiza mediante factores de sobrerresistencia de diseño ($\Omega_D$), factores de sobrerresistencia del material ($\Omega_M$) y del factor sobrerresistencia de sistema ($\Omega_S$).

$$\Omega_0 = \Omega_D \Omega_M \Omega_S \tag{14}$$

- Factor de amplificación de desplazamientos ($C_d$).

Corrige la deriva lateral que va a tener el edificio al rebasar el rango elástico de la estructura. *En la Tabla 13 se muestra* valores para el factor de amplificación de desplazamientos ($C_d$).

*Tabla 14. Valores de los factores $R, \Omega_0$ y $C_d$ para estructuras de acero*

| Sistema sismorresistente | $R$ | $\Omega_0$ | $C_d$ |
|---|---|---|---|
| Pórticos no arriostrados especiales | 8.00 | 3.00 | 5.50 |
| Pórticos no arriostrados especiales con vigas reticuladas | 7.00 | 3.00 | 5.50 |
| Pórticos no arriostrados intermedios | 4.50 | 3.00 | 4.00 |
| Pórticos no arriostrados ordinarios | 3.50 | 3.00 | 3.00 |
| Pórticos arriostrados excéntricamente | 8.00 | 2.00 | 4.00 |
| Pórticos especiales arriostrados concéntricamente | 6.00 | 2.00 | 5.00 |
| Pórticos ordinarios arriostrados concéntricamente | 3.25 | 2.00 | 3.25 |
| Pórticos con riostras de pandeo restringido | 8.00 | 2.50 | 5.00 |
| Muros especiales con placas de acero | 7.00 | 2.00 | 6.00 |
| Columnas en voladizo especiales | 2.50 | 1.25 | 2.50 |
| Columnas en voladizo ordinarias | 1.25 | 1.25 | 1.25 |

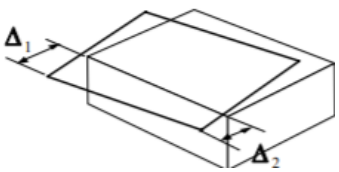
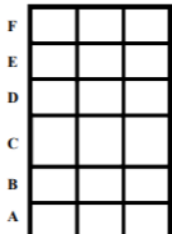
*Fuente: (ASCE/SEI-7, 2010)*

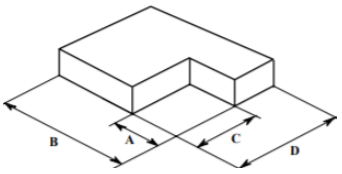
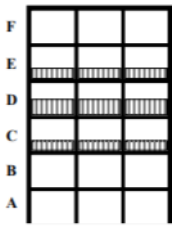
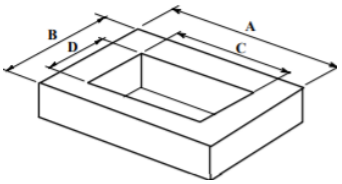
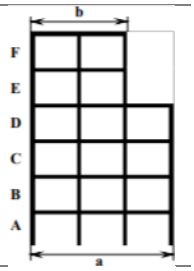
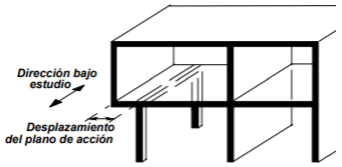
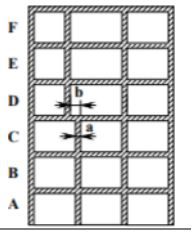
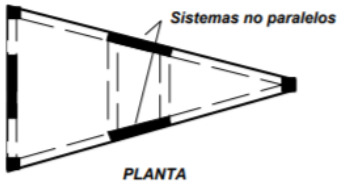
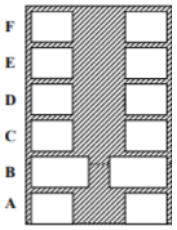
- **Reducción del factor de modificación de respuesta R para estructuras irregulares.**

Cuando una estructura no sea regular en todos son niveles y presente algunas irregularidades ya sean planta o en altura, el factor de modificación de respuesta (R) se multiplica por algunos factores que consideran estas irregularidades para reducir el efecto del factor R (NSR-10, 1997).

$$R = \phi_a \phi_p \phi_r R_o \tag{15}$$

*Tabla 15. Valores de irregularidades en planta $\emptyset_p$ y Irregularidades en altura $\emptyset_a$*

| Irregularidades en planta $\emptyset_p$ | | Irregularidades en altura $\emptyset_a$ | |
|---|---|---|---|
| **Irregularidad torsional** $\rightarrow \emptyset_p = 0.9$<br>$\Delta_1 \leq 1.4\left(\frac{\Delta_1 + \Delta_2}{2}\right)$<br>**Irregularidad torsional extrema** $\rightarrow \emptyset_p = 0.8$<br>$\Delta_1 > 1.4\left(\frac{\Delta_1 + \Delta_2}{2}\right)$ |  | **Piso flexible** $\rightarrow \emptyset_a = 0.9$<br>$0.6\ Rigidez\ K_D \leq Rigidez\ K_C < 0.7\ Rigidez\ K_D$ |  |

| | | | |
|---|---|---|---|
| **Retrocesos en las esquinas** → $\emptyset_p = 0.9$<br><br>$A > 0.15B$ y $C > 0.15D$ |  | **Piso flexible extremo** → $\emptyset_a = 0.8$<br><br>$Rigidez\ K_C < 0.6\ Rigidez\ K_D$ |  |
| **Irregularidad del diafragma** → $\emptyset_p = 0.9$<br><br>$C\ x\ D > 0.5\ A\ x\ B$ |  | **Distribución masa** → $\emptyset_a = 0.9$<br><br>$m_D > 1.5m_E$ |  |
| **Desplazamiento de los planos de acción** → $\emptyset_p = 0.8$ |  | **Geométrica** → $\emptyset_a = 0.8$<br><br>$b > a$ |  |
| **Sistemas no paralelos** → $\emptyset_p = 0.9$ |  | **Piso débil** → $\emptyset_a = 0.9$<br><br>$0.65\ Res.Piso\ C \leq Res.Piso\ B < 0.8\ Res.Piso\ C$<br><br>**Piso débil extremo** → $\emptyset_a = 0.8$<br><br>$Res.Piso\ B < 0.65\ Res.Piso\ C$ |  |

*Fuente: (NSR-10, 1997)*

- **Acciones sísmicas para el diseño por capacidad.**

  - Componentes frágiles o protegidos por capacidad.

  El diseño por capacidad se realiza para proteger a los elementos frágiles, donde la resistencia requerida se determina mediante: las acciones sísmicas con sobrerresistencia ($E_{mh}$) y las acciones sísmicas limitadas por capacidad ($E_{cl}$).

  - Acciones sísmicas con sobrerresistencia ($E_{mh}$).

  Los componentes frágiles se diseñan a partir de acciones sísmicas que consideran la sobrerresistencia de la estructura. Esta acción se determina con el efecto de la acción sísmica determinada a partir de espectro de diseño ($Q_E$) considerando el factor de sobrerresistencia ($\Omega_0$).

$$E_{mh} = \Omega_o Q_E \quad (16)$$

  - Acciones sísmicas limitadas por capacidad ($E_{cl}$).

  Las acciones sísmicas limitadas por capacidad son las máximas solicitaciones obtenidas de un análisis plástico. Esta acción sísmica determina valores más precisos de la resistencia requerida de los elementos para que permanezcan el rango elástico, las

acciones sísmicas limitadas por capacidad se determinan ya sea para un nivel global de la estructura o para nivel local (Crisafulli, 2018). Las acciones sísmicas limitadas por capacidad ($E_{cl}$) son mayores que las acciones sísmicas con sobrerresistencia ($E_{mh}$):

$$E_{mh} \leq E_{cl} \quad (17)$$

- Componentes o mecanismos dúctiles.

Para los mecanismos dúctiles los efectos sísmicos en el diseño por capacidad se definen para determinar la resistencia requerida ($R_u$) en función de los destinitos estados de cargas $(\lambda_i Q_i)$ con sus debidos factores de carga para las respectivas combinaciones.

$$R_u = \sum \lambda_i Q_i + E_h \leq R_d = \phi R_n \quad (18)$$

Con la resistencia requerida ($R_u$) se realiza el dimensionamiento y verificación de los componentes estructurales dúctiles, a partir de los criterios para cada estado límite último según el tipo de solicitación actuante.

Además, el diseño por capacidad debe garantizar la ductilidad de los elementos como: limites en la relación ancho/espesor para ductilidad moderada y alta, conexiones viga-columna precalificadas, arriostramientos laterales de vigas, entre otros. (Crisafulli, 2018).

### 1.5.11 Desplazamiento lateral y distorsión de piso.

Por efecto del viento o por la acción de los sismos las estructurales presentan un desplazamiento lateral, el cual se debe tener gran consideración ya que su efecto puede afectar la estabilidad de la estructura, daño en elementos no estructurales y afectar al confort. Los desplazamientos y distorsiones más presentes en que suceden en las estructuras son:

- **Desplazamientos o deflexiones de piso Δ:**

Es el desplazamiento horizontal entre entrepisos. El desplazamiento lateral de diseño ($\Delta_d$), está en función del factor de importancia ($I_e$) y de los desplazamientos obtenidos de un análisis elástico ($\Delta_{dE}$), este desplazamiento elástico es menor al desplazamiento bajo la acción de la carga sísmica debido al desarrollo de la ductilidad.

$$\Delta_d = \frac{C_d * \Delta_{dE}}{I_e} \quad (16)$$

- **Desplazamientos relativos de piso (Story drift):**

Es la diferencia que existe ente el desplazamiento lateral en un nivel especifico con el nivel inferior.

$$(\Delta_{di} * \Delta_{di-1}) \quad (17)$$

- **Distorsiones de piso $\theta$ (Story drift angle):**

Story drift angle o distorsiones de piso es la diferencia que existe ente el desplazamiento lateral en un nivel especifico con el nivel inferior, dividido por la altura de ese piso de análisis.

$$\theta_i = \frac{(\Delta_{di} * \Delta_{di-1})}{h_i} \quad (18)$$

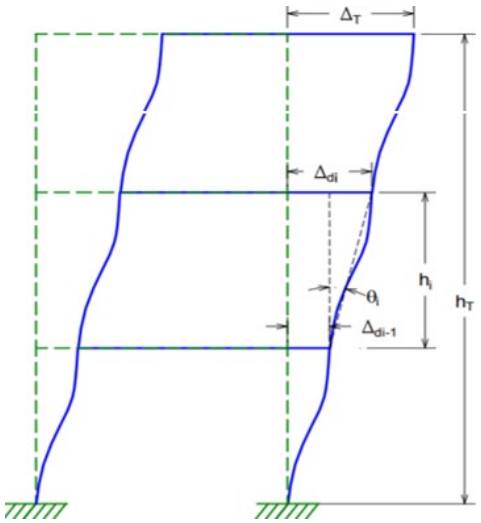



*Ilustración 17. Desplazamiento lateral y distorsión de piso en una estructura*
*Fuente: (Crisafulli, 2018)*

A nivel global de la estructura la distorsión de pisto total ($\theta_T$), se puede definir como la relación entre el desplazamiento total ($\Delta_T$) y la altura total de la edificación ($h_T$).

$$\theta_T = \Delta_T / h_T \quad (19)$$

### 1.5.12 Estados de carga y análisis estructural.

- **Combinaciones de carga con acción sísmica.**

Cuando se aplican los criterios de diseño por capacidad se deben considerar en las combinaciones de carga con acción sísmica con sobre resistencia. Además, cuando se realice los diseños para estados últimos en base a las resistencias admisibles se realizan varias combinaciones de cargas ya sea para LRFD o ASD, *como se muestra en la Tabla 2*, en donde el efecto de sismo horizontal ($E_h$) y vertical ($E_v$), se pueden representar como el efecto de la carga sísmica (NEC-SE-DS, 2015).

$$E' = E_h + E_v \quad (20)$$

En donde el efecto de sismo horizontal ($E_h$), está en función de la redundancia estructural ($\rho$) y del efecto de la acción sísmica en la componente horizontal ($Q_E$):

$$E_h = \rho * Q_E \quad (21)$$

- Factor de redundancia.

La redundancia mide la capacidad de la estructura de incursionar en un rango no lineal, ya que indica la relación de la configuración estructural con respecto a la posibilidad de colapso de sus elementos, de esta manera ocasionaría la disipación de energía de la edificación evitando la concentración de daño y la reducción de desplazamientos (NEC-SE-DS, 2015).

El valor de la redundancia de 1.00 es más empleado en estructuras de categorías de diseño sísmico B o C. En cambio, el valor ρ = 1.30, son para categorías D, E o F, este valor de redundancia de 1.3, tiene la finalidad de aumentar el efecto sísmico, este valor indica que las conexiones puedan tener una perdida en su resistencia produciendo un 33% de reducción en la resistencia lateral del piso. El factor de modificación de respuesta (R), están en función de la ductilidad ($R_\mu$), la sobrerresistencia ($\Omega_O$) y del factor de redundancia ($\rho$).

$$R = \frac{R_\mu * \Omega_O}{\rho} \qquad (22)$$

- **Métodos de análisis.**

Emplear métodos de análisis para observar el efecto del sismo en la estructura sirven tanto para representar un modelo que simule adecuadamente el comportamiento real de la estructura, para la resolución del modelo mediante softwares y para la interpretación de resultados. Entre los métodos más empleados tenemos:

- Método de análisis modal espectral.

Este método considera la naturaleza dinámica del problema, el cual está basado en espectros sísmicos. En el análisis modal espectral se debe definir los modos, las frecuencias naturales y periodos del sistema, para determinar el valor de aceleración en el espectro para cada uno de los periodos y así definir las cargas equivalentes de cada modo (Torres, 2017).

- Método de las fuerzas equivalentes.

En este método es un análisis estático lineal de la estructura, en donde el efecto dinámico de la acción del sismo se representa mediante fuerzas laterales.

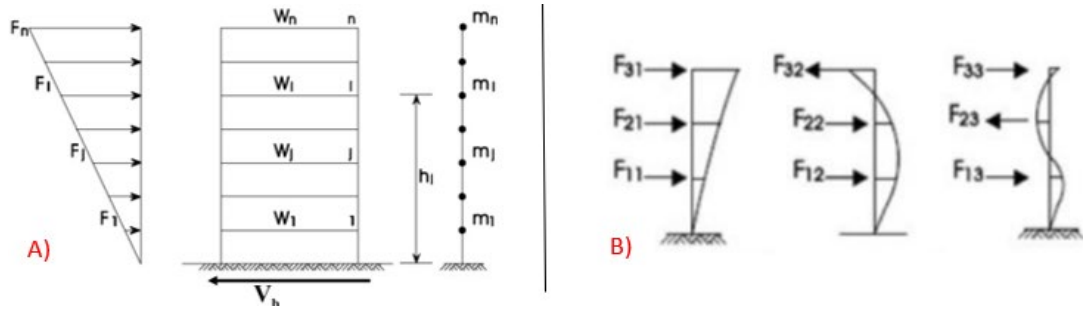



*Ilustración 18. A) Representación de las fuerzas equivalentes - B) Representación de las fuerzas generadas en cada modo*
*Fuente: (Torres, 2017)*

- Análisis dinámicos con integración temporal.

En este método se define la acción dinámica sísmica mediante registros tomados de aceleraciones, en donde estos registros pueden ser obtenidos cuando ocurre un sismo real o generados artificialmente.

- Análisis dinámico inelástico.

Este análisis considera el comportamiento real que tendrá la estructura, aunque la complejidad de sus datos si no se tiene un conocimiento profundo de la dinámica no lineal es muy difícil la interpretación de los resultados.

### 1.5.13 Tipos de sistemas estructurales para construcciones de acero.

Las estructuras se diseñan para cumplir las condiciones a las que va ser sometida durante toda su vida útil, soportando las cargas mediante la unión de elementos, de forma monolítica o con diferentes conexiones. Además, en el diseño de estructural se deben tener en cuenta los criterios de resistencia, rigidez, ductilidad y estabilidad para garantizar una adecuada seguridad del sistema estructural.

Se pueden clasificar las estructurales para sistemas de uso general y para estructuras sismorresistentes, debido que entre ambos sistemas el comportamiento estructural será diferente, además existen grandes diferencias constructivas, funcionales y económicas.

- **Clasificación general de los sistemas estructurales.**

Los sistemas estructurales pueden clasificarse en función del tipo de construcción como: puentes, edificios, torres, depósitos o contenedores, presas, muros de contención, túneles.

Otra clasificación de los sistemas estructurales es en función de su geometría, como:

- Estructuras de barras o miembros prismáticos.
    - Estructuras de tracción o compresión pura: Como cables, redes y arcos.
    - Estructuras de tracción y compresión simultanea predominante: Como reticulados.
    - Estructuras de flexión predominantes: Como vigas, pórticos planos y emparrillados.
- Estructuras laminares o de superficie.
    - Membranas: Los cuales están sometidos a esfuerzos axiales y tangenciales, como:
        - Planas: Como muros con carga en su plano, membranas textiles tensadas.
        - Curvas: Como cúpulas y bóvedas con condiciones de vinculo adecuadas.
    - Placas: Los cuales están sometidos a esfuerzos de flexión, el cual se distingue los siguientes casos:
        - Planas (losas): Como losas, muros en general.
        - Curvas (cascaras): Como cúpulas y bóveda en general.
    - Estructuras masivas o volumétricas: Como presas de gravedad, bases de fundación terraplenes, escolleras.

- **Clasificación de los sistemas sismorresistentes.**

Los sistemas resistentes a sismos se pueden diseñar como sistemas especiales u ordinarios. En los sistemas especiales se diseñan con una acción sísmica menor, con lo que necesita verificaciones y detalles constructivos más exigentes, para lograr un comportamiento dúctil, por lo que para su diseño se puede emplear un factor de respuesta (R) mayor. En los sistemas ordinarios se diseñan con una acción sísmica mayor, por lo que sus detalles constructivos tan

detallados, con lo que su comportamiento tendrá una respuesta de ductilidad limitada o intermedia, por ende se puede emplear un factor de respuesta (R) menor (Crisafulli, 2018).

Los sistemas sismorresistentes se pueden clasificar en función si son especiales u ordinarios:

- Sistemas de pórticos a momento.

Estos sistemas sismorresistentes tienen un comportamiento con una gran flexibilidad lateralmente y su comportamiento está controlado por la flexión. Estos pórticos presentan poca rigidez, por lo pueden verse afectadas las derivas de piso, pueden presentar una elevada disipación de energía y ductilidad, mediante una incursión inelástica estable (inesa, S,f). Entre los sistemas de pórticos a momentos se clasifican los siguientes:

- Pórticos no arriostrados ordinarios (OMF).

Los sistemas OMF se emplean en lugares en donde las acciones de sismos son bajas. En estos pórticos tienen un comportamiento elástico, presentando un detallado sin mayores exigencias sísmicas, para que puedan incursionar en el rango inelástico presentando una moderada ductilidad y disipación de energía.

- Pórticos no arriostrados intermedios (IMF).

Los sistemas IMF se emplean en lugares en donde las acciones de sismos son moderadas. En estos pórticos se debe limitar la generación de fallas frágiles, presentando un detallado sísmico considerable, para que puedan incursionar en el rango inelástico presentando una moderada ductilidad y disipación de energía.

- Pórticos no arriostrados especiales (SMF).

Los sistemas SMF se emplean en lugares en donde las acciones de sismos son altas. En estos pórticos se debe presentar un estricto control de fallas frágiles, presentando un detallado sísmico elevado, para que puedan incursionar en el rango inelástico presentando una elevada ductilidad y disipación de energía.

*Tabla 16. Comparación de los requerimientos de diseño*

| **Requerimiento** | **Categoría** | | |
|---|---|---|---|
| | **Especial** | **Intermedio** | **Ordinario** |
| Factor R | 8 | 4.5 | 3.5 |
| Capacidad de rotación plástica en rótulas | 0.03 | 0.01 | --- |
| Distorsión de piso en las conexiones | 0.04 | 0.02 | --- |
| Conexiones viga-columna | Precalificada o verificación experimental | Precalificada o verificación experimental | No |
| Zonas protegidas | Extremo de viga | Extremo de viga | No |
| Verificación panel nodal | Si | No | No |
| Restricción lateral en vigas | Si $L_b = 0.095\ r_y E/F_y$ | Si $L_b = 0.19\ r_y E/F_y$ | No |

*Fuente: (Crisafulli, 2018)*

- Pórticos no arriostrados especiales con vigas reticuladas (STMF).

Los sistemas STMF están diseñados con una sección especial en la viga, la cual puede ser de tipo reticulada o de tipo Vierendeel. La longitud de la sección especial debe ser 0.10 a 0.50 veces la luz de la viga y la relación entre la altura de panel con la longitud debe estar entre un rango de 0.67 a 1.20. Además, se debe disponer que la longitud de la viga reticulada no debe superar los 20 m y su altura total debe ser menor a 1.80 m (ANSI/AISC-341, 2016).

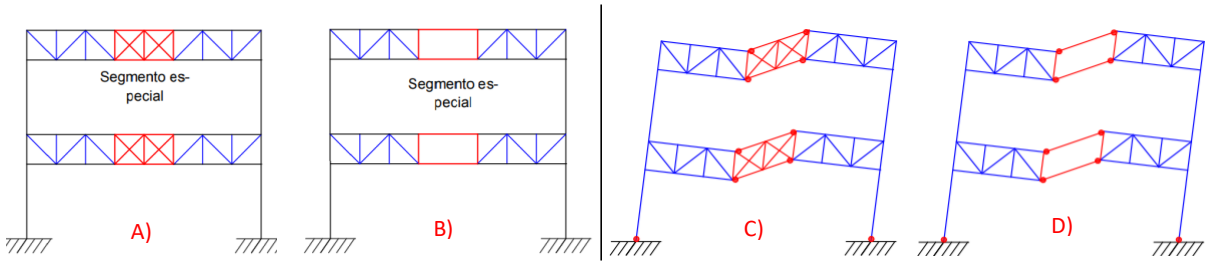



*Ilustración 19. A) Pórtico no arriostrado con vigas reticuladas con segmento especial con reticulado*
*B) Pórtico no arriostrado con vigas reticuladas con segmento con panel Vierendeel*
*C) Mecanismo de deformación plástica en sistemas STMF en segmento especial con reticulado*
*D) Mecanismo de deformación plástica en sistemas STMF en segmento con panel Vierendeel*
*Fuente: (Crisafulli, 2018)*

Los pórticos no arriostrados especiales con vigas reticuladas en su sección especiales se diseñan bajo acciones sísmicas tengan deformaciones inelásticas significativas. En estos sistemas mediante la fluencia por flexión en los cordones de la viga y el pandeo de las barras diagonales del segmento especial, se logra que se formen rotulas plásticas para que se dé la disipación de energía. Los demás segmentos de las vigas retículas del sistema STMF se diseñan para permanecer en rango elástico.

- Sistemas de columnas ordinarias en voladizo (OCCS) y sistemas de columnas especiales en voladizo (SCCS).

Los sistemas OCCS y SCCS, se diseñan para controlar las cargas laterales (sismo o viento) que originan flexión en la columna. En donde estos sistemas sismorresistentes, la columna se empotra en la cimentación o en otro elemento estructural, por lo que el momento flector máximo se origina en la base de la columna (ANSI/AISC-341, 2016).

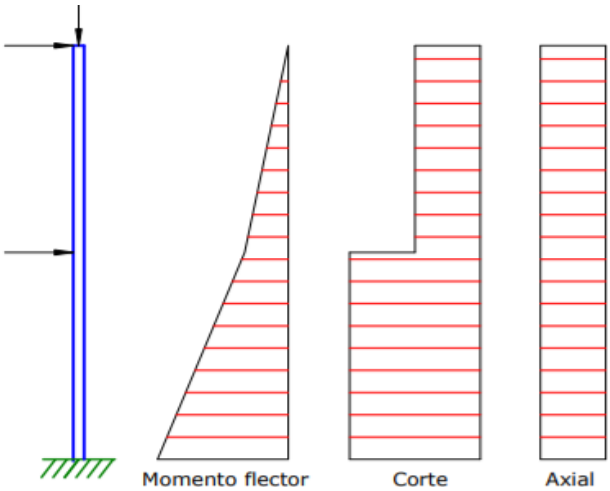



*Ilustración 20. Diagramas de momento flector, corte y axial en sistemas de columnas en voladizo*
*Fuente: (Crisafulli, 2018)*

- Sistemas de pórticos arriostrados y muros de corte.

Estos sistemas sismorresistentes presentan mayor rigidez y su comportamiento está controlado por las fuerzas axiales o el corte. Estos sistemas estructurales se clasifican en:

- Pórticos ordinarios arriostrados concéntricamente (OCBF) y pórticos especiales arriostrados concéntricamente (SCBF).

Estos pórticos arriostrados se dicen que son concéntricos ya que las conexiones de las riostras se disponen para evitar excentricidades, por lo que los ejes de las riostras que llegan a un nudo deben cortarse en un punto. Estos pórticos formados por riostras diagonales forman un sistema reticulado, que generan al sistema una gran rigidez lateral y permite un control para los desplazamientos, además estos sistemas presentan ventajas para la rehabilitación sísmica de estructuras. Entre las configuraciones para pórticos arriostrados concéntricamente, *se muestran en la ilustración 19*.

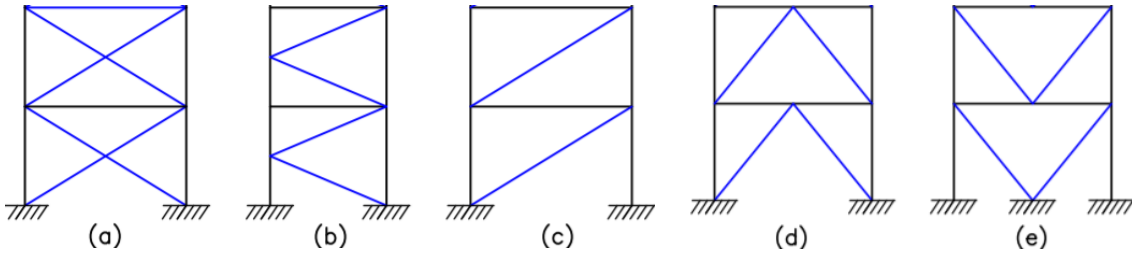



*Ilustración 21. Configuraciones para pórticos arriostrados concéntricamente: a) Para riostras en X – b) Para riostras en K c) Para riostras en diagonal – d) Para riostras en V invertida – e) Para riostras en V*
*Fuente: (Crisafulli, 2018)*

Las riostras diagonales resisten esfuerzos axiales de tracción y compresión, que son provocados por las cargas laterales que actúan en la estructura. Para las conexiones viga-columna-riostra pueden ser rígidas (generan esfuerzos de momento flector y de corte) y también pueden ser las conexiones concéntricas y articuladas (no trasmiten momento flector).

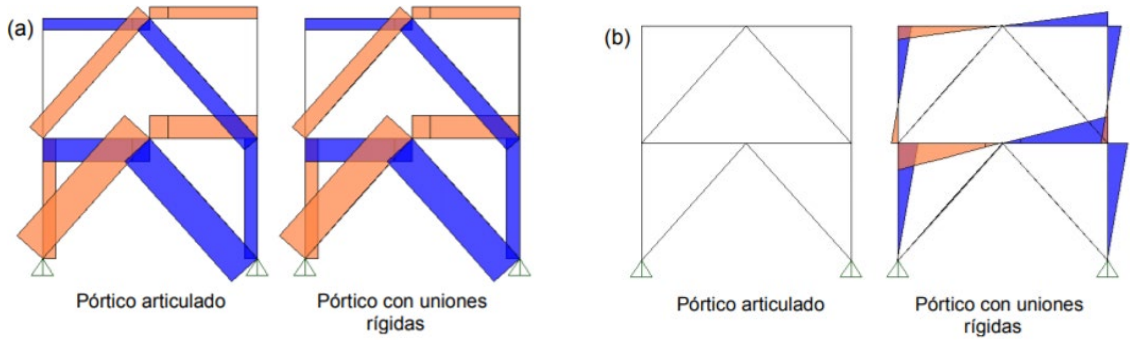



*Ilustración 22. a) Carga axial en pórticos arriostrados con articulación y uniones rígidas b) Momento flector en pórticos arriostrado con articulación y uniones rígidas*
*Fuente: (Crisafulli, 2018)*

- Pórticos arriostrados excéntricamente (EBF).

En los pórticos EBF las riostras se colocan deliberadamente por lo que se da una excentricidad, en donde se genera en la viga una zona llamada “enlaces”, que estos se encargan de la disipación de energía ya que se hacen zonas dúctiles, por lo que se debe controlar sus efectos de inestabilidad de pandeo local, los demás componentes del sistema estructural se diseñan en el rango elástico (Crisafulli, 2018).

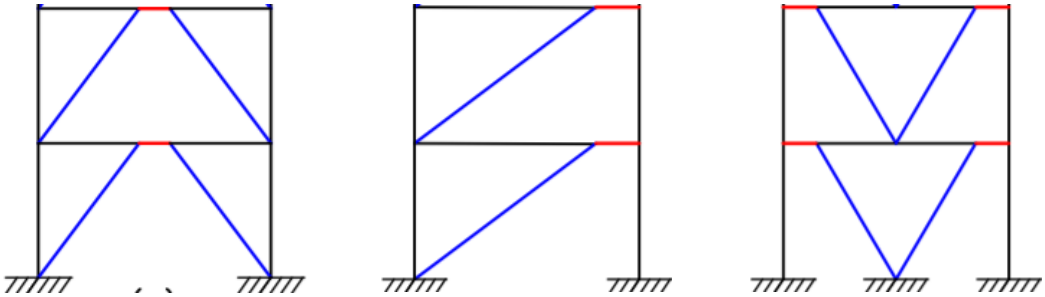


*Ilustración 23. Configuraciones para pórticos arriostrados excéntricamente*
*Fuente: (Crisafulli, 2018)*

Estos pórticos, que incorporan riostras en su sistema, presentan una gran rigidez lateral, lo que ayuda a estructuras sismorresistentes a disipar la energía. Debido a la excentricidad provocan esfuerzos elevados de momento flector y cortante.

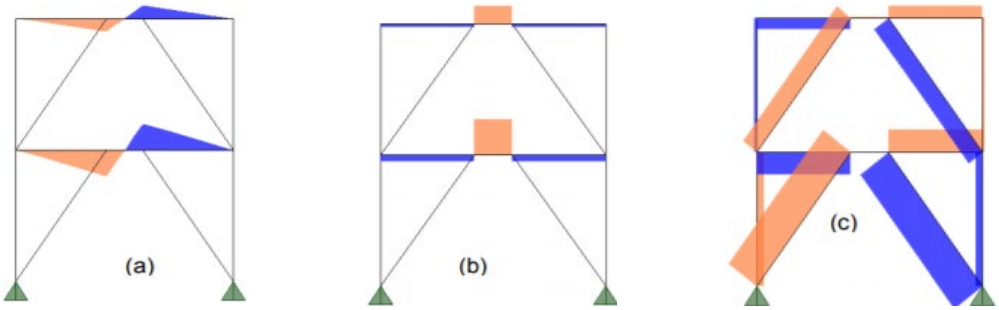



*Ilustración 24. Diagramas causados por la acción sísmica en pórticos EBF: a) Diagrama de momento flector b) Diagrama de esfuerzo cortante - c) Diagrama de esfuerzo de axial*
*Fuente: (Crisafulli, 2018)*

- Pórticos con riostras de pandeo restringido (BRBF).

Estos tipos de pórticos presentan riostras de pandeo restringido, los cuales, mediante la fluencia del acero, permite la ductilidad, para que sirven como disipadores de energía. Estas riostras de pandeo restringido en su interior están conformadas por un núcleo de acero, el cual fluirá tanto en tracción y compresión, debido que en este núcleo se coloca en tubo exterior y se lo rellana con mortero de cemento, para evitar los efectos de pandeo global local del núcleo (Crisafulli, 2018).

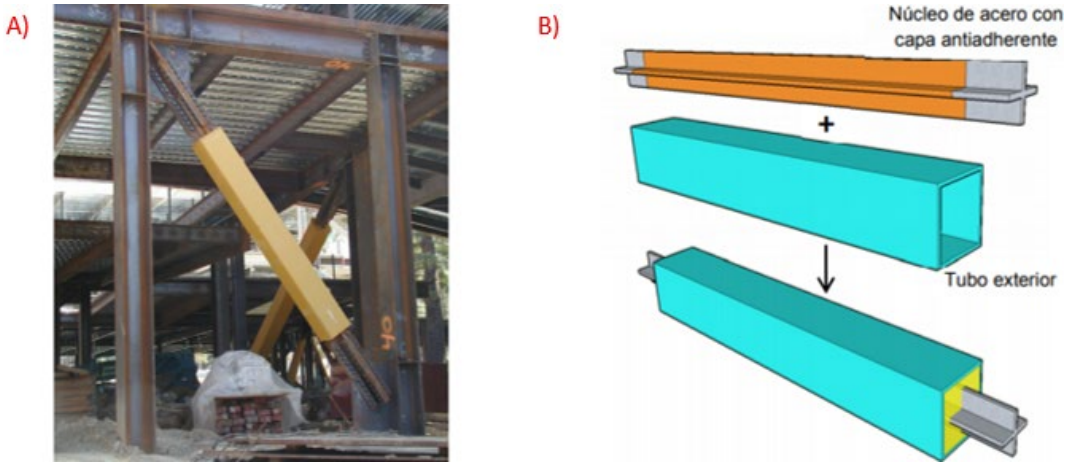



*Ilustración 25. A) Pórticos con riostras de pandeo restringido utilizado en el edificio de California Berkeley B) Detalle de una riostra de pandeo restringido*
*Fuente: University of California, Berkeley*

- Muros de corte especiales con placas de acero (SPSW).

Los muros de cortes con placas de acero son sistemas formados con componentes de borde horizontal (EBH) y componentes de borde vertical (EBV), los cuales se conectan a placas esbeltezas (alma del muro). El mecanismo de deformación plástica y de disipación de energía se produce por la fluencia de las placas, en cambio los componentes de borde (EBH y EBV) se diseñan para que trabajen el rango elástico.

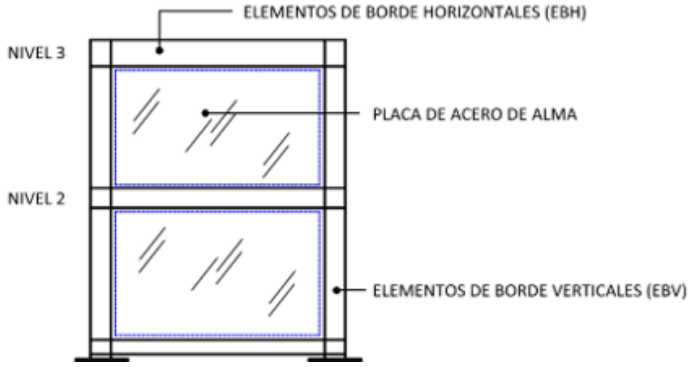



*Ilustración 26. Muros de corte con placas de acero*

Si estos sistemas estructurales cuenten con rigidizadores, estos aportaran a controlar el pandeo local y disminuir el efecto de estrangulamiento de los ciclos, aunque los rigidizadores reducen la resistencia y rigidez sobre los componentes de borde.

Las tipologías estructurales más empleados de estos tipos de muros de corte son: de muros con placas de acero sin rigidizadores, de muros con placas rigidizadas, mediante elementos adicionales de acero que incrementan la resistencia al pandeo de la placa por corte y muros compuestos con placas de acero.

- **Otros tipos de sistemas estructurales empleados en estructuras sismorresistentes.**

- Sistemas duales.

Son sistemas constituidos por la combinación de un sistema resistente a momento sin diagonal combinado con muros estructurales o pórticos con diagonal. En donde las cargas verticales son soportadas por el sistema resistente a momentos, pero las cargas horizontales que actúan en la estructura son soportas por la combinación de los muros estructurales o pórticos con diagonal con los pórticos resistentes a momento. Ambos sistemas estructurales deben diseñarse para que actúan de manera simultánea y puedan resistir la cortante generada por el sismo en la base de la estructura (Silva, 2020).

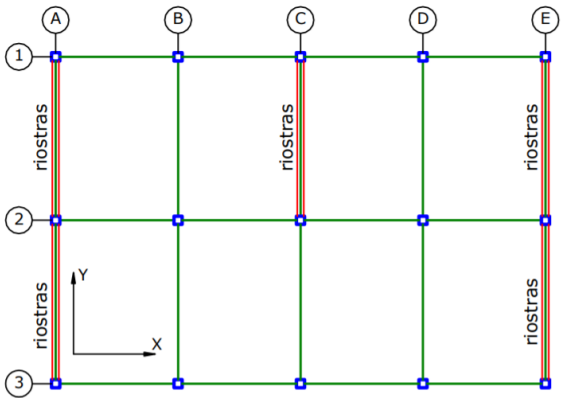



*Ilustración 27. Sistema dual mediante la combinación de pórticos no arriostrados con pórticos arriostrados Fuente: (Crisafulli, 2018)*

- Pórticos a momento con riostras de esquina.

Estos pórticos debido a la riostra de esquina que tiene vinculan de manera parcial las vigas con las columnas, además esta riostra disminuye la longitud entre vigas y columnas con lo que hace que la rigidez lateral del pórtico aumente. Los momentos que se ejercen en este pórtico disminuyen lo que hace que el diseño de la conexión se simplifique debido que el momento flector generado en los extremos de la viga son reducidos, pero los esfuerzos axiales y cortantes aumentan particularmente en los tramos donde se coloca el arriostramiento, en comparación con los pórticos no arriostrados (Crisafulli, 2018).

Debido al pandeo y la fluencia en la riostra de esquina se produce un comportamiento dúctil de deformación plástica en donde se produce la plastificación en los extremos de la zona interna de la viga. (Mamani, 2019).

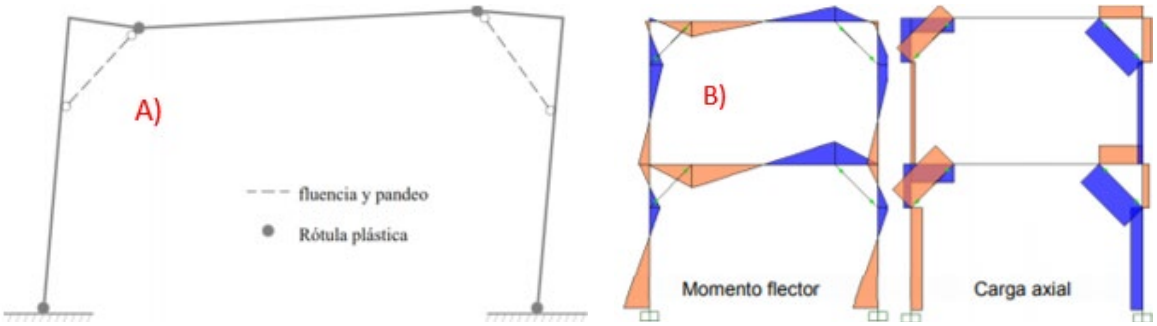



*Ilustración 28. A) Mecanismo de deformación plástica en pórtico a momento con riostras de esquina B) Diagramas de momento flector y axial para pórticos a momento con riostras de esquina*
*Fuente: (Crisafulli, 2018)*

- Pórticos arriostrados con enlace de esquina.

Estos pórticos están formados con riostras en donde tienen la particularidad que uno de los extremos de la riostra no se conecta de manera directa al nudo de la viga columna, sido que se enlaza una riostra de esquina (viga en esquina).

En donde esta riostra de esquina sirve como un enlace dúctil mediante la fluencia para poder disipar la energía que soporta de los elevados momentos y cortantes que se generan ahí. La plastificación en los pórticos con enlace de esquina sucede en los extremos de la riostra, ya sea la parte que se conecta a la riostra de esquina o el otro extremo (Crisafulli, 2018).

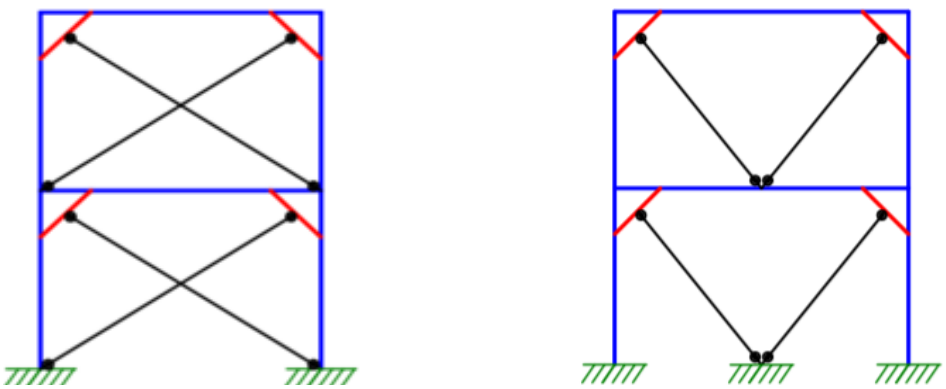


*Ilustración 29. Deformación plástica en diferentes tipologías de pórticos arriostrados con enlace de esquina*
*Fuente: (Crisafulli, 2018)*

- Pórticos arriostrados con estabilizadores.

Los estabilizadores o brazos laterales son vigas reticuladas cuya altura es igual a la altura de uno o dos pisos de la estructura, con el fin de brindar una adecuada resistencia y rigidez. Esta configuración estructural concentra los arriostramientos en una zona del edificio y permite que las columnas periféricas e intermedias también formen parte del sistema resistente. Los pórticos arriostrados con estabilizadores en lugar de controlar los sismos se emplean para controlar los efectos del viento en la edificación (Crisafulli, 2018).

Cuando las cargas laterales se producen en la edificación, los brazos estabilizadores aparte de soportar las cargas gravitatorias, también resisten el momento de vuelvo producido por las cargas de viento o sismo debido que su configuración genera un momento estabilizante, disminuyendo los efectos de los esfuerzos producidos en la estructura. Cabe recalcar que la deformada de estos tipos de pórticos se debe considerar como una columna flexionada con doble curvatura para cuestiones de diseño.

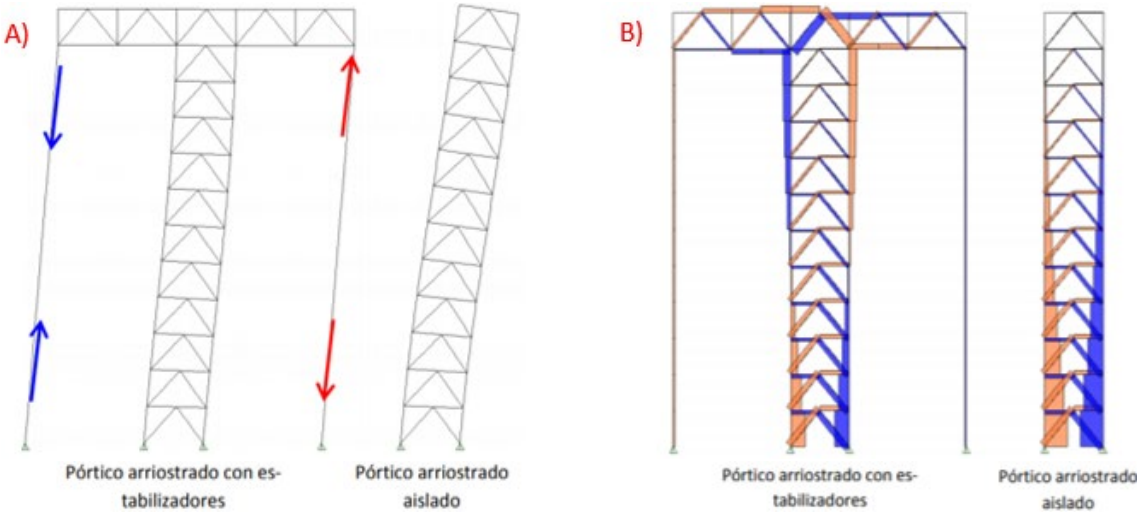



*Ilustración 30. A) Deformada por la carga lateral en un pórtico arriostrado con y sin estabilizadores B) Comparación de diagramas axiales por acción lateral en un pórtico arriostrado con y sin estabilizadores Fuente: (Crisafulli, 2018)*

- Sistema estructural de reticulados escalonados.

Estos sistemas se caracterizan por que incorporan una serie de vigas reticuladas, colocadas en una misma dirección, las cuales se van alternando o escalonando en la dirección vertical. Sobre estas vigas reticuladas se apoyan las losas de los entrepisos y cubiertas, además estas vigas en su parte central están diseñadas con tramos sin diagonales, las cuales le permiten a la estructura la generación de pasillo en esa zona (Crisafulli, 2018).

Estos sistemas con vigas reticuladas tienen la ventaja que permite cubrir luces grandes ya que en la construcción de estas edificaciones no se disponen de columnas interiores. Además, cumplen la función de soportar las cargas laterales, pero la transferencia de carga que se genera en la estructura se realiza a través de las losas de hormigón.

Estos sistemas estructurales no se emplean en construcciones sismorresistentes, ya que se emplean básicamente en zonas donde la actividad sísmica no es alta, si se desea emplear estos sistemas en estructuras resistentes a la acción de sismos, se deben evaluar adecuadamente el factor de modificación de respuesta R.

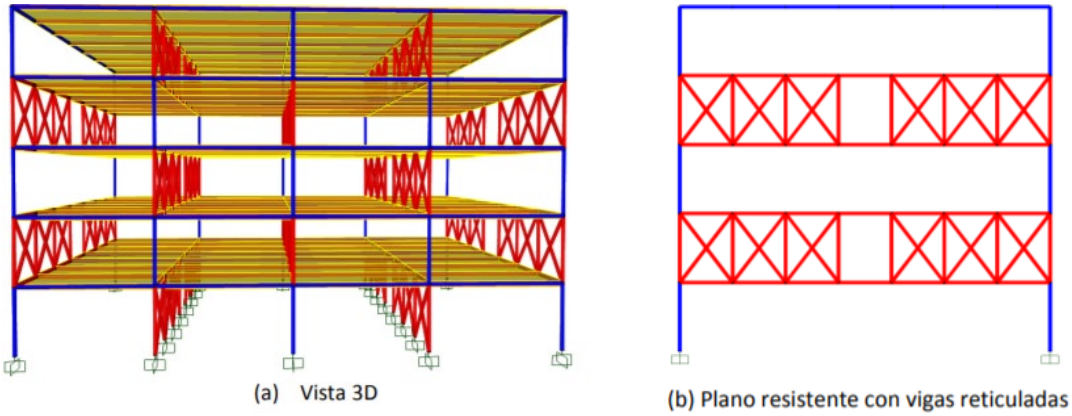



*Ilustración 31. Representación del sistema estructural de reticulados escalonados*
*Fuente: (Crisafulli, 2018)*

### 1.5.14 Sistemas sismorresistentes.

Un sistema es sismorresistente cuando su diseño y construcción se realiza con una adecuada configuración estructural con componentes y materiales con la suficiente resistencia para transferir las fuerzas de inercia causadas por la acción sísmica hasta el terreno de cimentación.

- **Componentes o planos verticales – Configuración espacial.**

Los planos verticales se diseñan para brindar al sistema una adecuada rigidez, resistencia y ductilidad con la finalidad de que estos soporten las cargas gravitatorias y laterales que actúan en la estructura, para poder ser transferido su efecto a las cimentaciones. Su configuración estructural debe estar dispuesta de una manera adecuada para que brinde seguridad a sus ocupantes, sea constructiva y económicamente factible (Crisafulli, 2018).

Los aspectos más importantes desde el punto de vista estructural son:

- Evitar diferencias relevantes de masa, rigidez y resistencia en altura, con la finalidad de tener discontinuidades entre un piso con respecto al otro.

- Evitar diferencias relevantes de masa, rigidez y resistencia en planta, con la finalidad de evitar excentricidades y sus posibles efectos torsionales cuando ocurra el sismo.

- Diseñar de tal manera el sistema estructural para que la transferencia de cargas desde el punto donde se origina pase a las cimentaciones de manera directa.

- **Diafragmas horizontales.**

Estos sistemas según sea las características y materiales que lo dispongan, se pueden distinguir los siguientes tipos de diafragmas horizontales como: tipo membranas (losas), cordones, diagramas reticulados (riostras o barras diagonales y montantes), colectores y conectores.

En función de la rigidez que pueden representar los diafragmas, se pueden distinguir tres casos:

a) Diafragmas rígidos: Debido a la gran rigidez que presenta se los consideran como indeformables (como las losas). Su modelación estructural de estos diafragmas indica que pueden desplazarse y girar a un eje perpendicular a su plano, pero no presenta desplazamiento relativo cuando se lo analiza entre dos puntos del diagrama.

b) Diagramas flexibles: Estos diagramas presentan una rigidez reducida, por lo que su efecto en la modelación estructural se puede despreciar.

c) Diagramas semirrígidos: Estos diagramas presentan una rigidez intermedia entre los diagramas rígidos y flexibles.

- **Conexiones para estructuras de acero.**

Los pernos y las soldaduras no deben diseñarse para compartir fuerzas o el mismo componente de fuerzas, sino en cada conexión se analiza los efectos para fuerzas independientes según como estas accionen sobre los diferentes planos de la conexión global.

Las fuerzas no se factorizan entre sueldas y pernos, sino cada conexión recibe la acción de una fuerza completa ya sea por pernos o por sueldas, según el plano de aplicación de fuerzas y disposición de las juntas. Generalmente los pernos resisten fuerzas de cizalla que son perpendiculares al par de fuerzas, las cuales son resistidas por sueldas.

En el ANSI/AISC 341-16 indica los criterios para el diseño de conexiones en estructuras sismorresistentes, los cuales son:

a) Conexiones empernadas.

- Los pernos deben disponerse como de alta resistencia y pretensados.

- En una conexión no deben combinarse los pernos y soldadura para resistir la componente de una fuerza.

- Los agujeros para los pernos deben ser de ranura corta o agujeros estándar.

- La resistencia nominal del perno ($R_n$), debe ser el menor valor calculado en base al estado límite de aplastamiento y desgarre. La resistencia para un perno en una conexión con perforaciones independientemente de la dirección de carga y la resistencia para un perno en una conexión con imperfecciones con la ranura perpendicular a la dirección de la fuerza, *se muestra en la Tabla 16*.

*Tabla 17. Resistencia nominal de un perno en una conexión con perforaciones*

| Tipo | Aplastamiento | Desgarre |
|---|---|---|
| Resistencia para un perno en una conexión con perforaciones independientemente de la dirección de carga | Cuando la deformación en la perforación del perno si se considera en el diseño bajo cargas de servicio | |
| | $R_n = 2.40 * d_b * t_p * F_u$ | $R_n = 2.10 * l_c * t_p * F_u$ |
| | Cuando la deformación en la perforación del perno no se considera en el diseño bajo cargas de servicio | |
| | $R_n = 3.00 * d_b * t_p * F_u$ | $R_n = 2.50 * l_c * t_p * F_u$ |
| Resistencia para una conexión con la ranura perpendicular a la dirección de la fuerza | $R_n = 2.00 * d_b * t_p * F_u$ | $R_n = 1.01 * l_c * t_p * F_u$ |

*Fuente: Elaboración Propia*

b) Conexiones soldadas.

- Los tipos de soldadura que se pueden emplear en las conexiones soldadas son:

  - Soldadura de tope CJP: El área efectiva ($A_{we}$) para estos tipos de soldadura, es igual a la longitud de la soldadura por el espesor de la garganta efectiva (espesor de la parte más delgada conectada).

  - Soldaduras de filete: El área efectiva ($A_{we}$) para estos tipos de soldadura, es igual a longitud efectiva por la garganta efectiva (la menor distancia desde la raíz hasta la superficie de la soldadura).

  - Soldaduras de tapón y de ranura: El área efectiva ($A_{we}$) para estos tipos de soldadura, es igual al área nominal de la perforación o ranura en el plano de la superficie de contacto (ANSI/AISC-360, 2016).

  - La resistencia de diseño ($R_n$), es igual al menor valor entre la resistencia para el metal base y la resistencia para el metal de soldadura, los cuales se determinan de acuerdo al estado límite de ruptura en corte o tracción y el estado límite de fluencia, respectivamente (ANSI/AISC-360, 2016).

*Tabla 18. Resistencia de diseño para tipos de conexiones soldadas*

| Tipo de soldadura | Para el metal base | Para el metal de soldadura |
|---|---|---|
| Cualquier tipo de soldadura | $R_n = F_{nBM} * A_{BM}$ | $R_n = F_{nw} * A_{we}$ |
| Para un grupo lineal de soldaduras con un tamaño de ala uniforme cargado a través del centro de gravedad | $R_n = F_{nw} * A_{we}$ | |
| Para grupos de soldadura de filete cargados concéntricamente con un largo de ala uniforme que están orientados tanto longitudinal como transversalmente a la dirección de la carga | $R_n = R_{nwl} * R_{nwt}$<br>$R_n = 0.85 * R_{nwl} + 1.5 * R_{nwt}$ | |

*Fuente: Elaboración Propia*

Donde la tensión nominal del metal de soldadura ($F_{nw}$), están en función de la resistencia de clasificación del metal de relleno ($F_{EXX}$).

$$F_{nw} = 0.60 * F_{EXX} * (1.00 + 0.50 * sen^{1.5}\theta) \quad (23)$$

- **Conexiones para estructuras compuestas.**

Los tipos de elementos estructurales compuestos más empleados en la construcción son los que combinan el acero estructural con el concreto, como en el caso de columnas de hormigón armado con viga de acero, columnas compuestas embebidas con viga de acero y columnas compuestas rellenas con viga de acero, en donde la acción sísmica se debe transferir al acero y los componentes del hormigón reforzado.

Algunas de las ventajas que presentan las conexiones en estructuras compuestas son que permiten reducir el uso de soldadura en obra y minimizar los problemas de anclaje de las barras de refuerzo (Crisafulli, 2018).

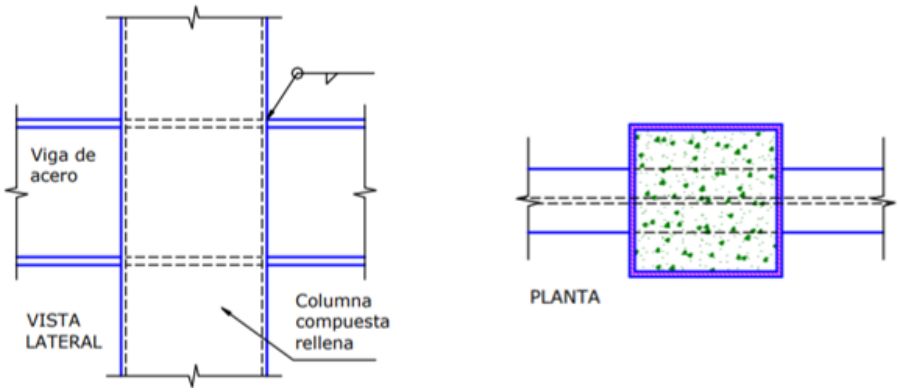



*Ilustración 32. Conexión de una viga de acero (interrumpida) con una columna compuesta rellena*
*Fuente: (Crisafulli, 2018)*

Las conexiones para miembros compuestos deben cumplir los siguientes requisitos como se especifica en el ANSI/AISC 358-16:

- Las fuerzas que actúen en las estructuras compuestas deben transferirse al acero estructural y el concreto armado, mediante: el aplastamiento entre los mecanismos internos, los conectores de corte y la transferencia de corte por fricción.

- Las resistencias nominales a corte y tracción se reducirán en un 25% para los sistemas sísmicos con elementos compuestos.

- Cuando las vigas estén incrustadas en columnas o paredes de hormigón armado, las placas de soporte consistirán en refuerzos entre los patines de las vigas de acero.

- La adherencia entre el concreto y el acero estructural no debe considerarse como un mecanismo valido de transferencia de cargas cíclicas o dinámicas en rango inelástico, debido que la resistencia por adherencia es muy variable.

- En el caso que las conexiones se diseñen para cargas gravitatorias, para evitar fallas deben presentar una cierta capacidad de rotación.

- El concreto debe estar reforzado con armaduras dispuesta de manera transversal y longitudinal, con la finalidad que estas resistirán los esfuerzos de tracción y poder brindar en la zona de la conexión un confinamiento.

### 1.5.15 Requerimientos generales para sistemas sismorresistentes.

- **Zonas protegidas.**

Son zonas limitadas de miembros o de conexiones de miembros, generalmente una distancia más allá donde se genera la rótula plástica de las vigas, en donde se disponen ciertas limitaciones en los accesorios y en las fabricaciones, para poder evitar defectos físicos y metalúrgicos que podrían causar la perdida de resistencia del material, afectando la respuesta global del sistema estructural (ANSI/AISC-358, 2016).

Las zonas protegidas se diseñan para poder resistir las deformaciones cíclicas inelásticas causadas por la acción del sismo de diseño. De acuerdo a cada una de las conexiones

precalificas para marcos a momento de acero especiales e intermedios, el ANSI/AISC 358-16 define cada zona protegida para cada tipo de conexión.

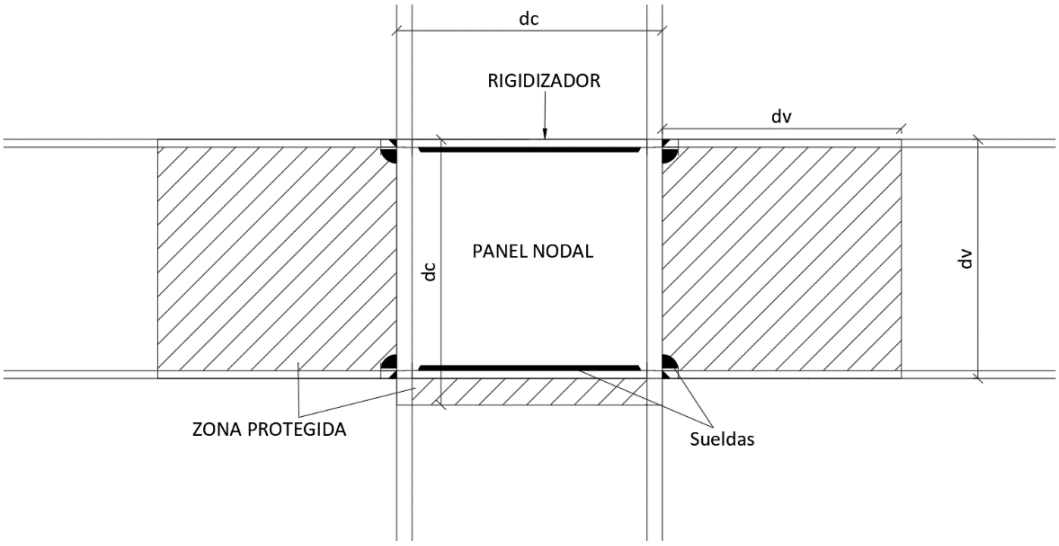



*Ilustración 33. Conexión viga-columna rígida (FR)*
*Fuente: Elaboración Propia*

Las zonas protegidas deben cumplir las siguientes especificaciones del ANSI/AISC 341-16:

- No deben colocarse soldadura, pernos o cualquier otro tipo de fijaciones para sostener paneles, cañerías u otras instalaciones.

- En las zonas protegidas no deben colocarse conectores de corte o puntos de soldadura en los patines de las vigas.

- Las discontinuidades originadas por procesos de soldadura, cambios bruscos de la sección y cortes irregulares, los cuales generalmente se crean durante la fabricación, montaje y terminación de la obra, deben repararse (ANSI/AISC-341, 2016).

- **Tipos de soldaduras - Soldaduras de demanda crítica.**

  - Soldaduras no sísmicas.

  Este tipo de soldaduras se emplean en estructuraras donde el factor de comportamiento sea R = 3.00, es decir en estructuras que no necesiten requerimientos sísmicos. El diseño de estas soldaduras debe estar basadas en los códigos del ANSI/AISC 360-16 y AWS 1.1.

  - Soldaduras sísmicas.

  Este tipo de soldaduras se emplean en estructuraras donde el factor de comportamiento sea R > 3.00, es decir en estructuras que necesitan requerimientos sísmicos. El diseño de estas soldaduras debe estar basadas en los códigos del ANSI/AISC 314-16 y AWS D1.8.

  Todas las sueldas en el SRCS, que no sean consideradas como críticas, se realizaran con metales de relleno que cumplan. Los materiales de relleno, en pruebas de envoltura de entrada de calor deben cumplir con las siguientes propiedades mecánicas:

*Tabla 19. Propiedades mecánicas de metal de relleno para soldaduras del SRCS*

| Propiedades mecánicas mínimas a cumplir | SUELDAS GENERALES | | | SUELDAS DE DEMANDA CRITICA | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Esfuerzo de tensión ultima Fu del material de relleno de la suelda ($ksi$) | | | | | |
| | **70** | **80** | **90** | **70** | **80** | **90** |
| **Limite elástico $F_y$** | 58 | 68 | 78 | 58 | 68 | 78 |
| **Limite ultimo $F_u$** | 70 | 80 | 90 | 70 | 80 | 90 |
| **Elongación %** | 22 | 19 | 17 | 22 | 19 | 17 |
| **CVN Tenacidad lb-ft @ (°C)** | 20 @ -18°C | | 25 @ -30°C | 40 @ 20°C | | 40 @ 10°C |
| **Requisitos adicionales:** | -Metales de relleno deben tener una tenacidad mínima de 20 lb-ft, a una temperatura inferior a −18°C. | | | -Para temperaturas mayores a 10°C, revisar clausula 6.2.2 de D1.8M. -Metales de relleno, en concordancia con AWS/D1.8M, que lleguen a tener una tenacidad de 40 lb-ft, a una temperatura inferior a 20°C, cumplen con este requerimiento. | | |

*Fuente: Elaboración Propia*

- Soldaduras de demanda critica.

Estas soldaduras se emplean en estructuraras sismorresistentes que pueden verse afectados por deformación de fluencia, además estos tipos de soldadura necesitan requerimientos adicionales de calidad y tenacidad, para poder evitar que su falla ocasione la perdida de la resistencia y rigidez del sistema estructural.

Este requerimiento de tenacidad indica que el metal de relleno debe proporcionar según los métodos de ensayo de la AWS una tenacidad Charpy de muesca en V de 27 J a -29° C (NEC-SE-AC, 2014). Para el proceso soldadura de demanda critica se pueden emplear tipo SMAW, GMAW, FCAW y SAW.

Debiéndose establecer específicamente en cada conexión precalificada a que sueldas en la conexión se designan como críticas, un contexto general del código AISC/341 sísmico considera soldaduras de demanda critica en un sistema (PEM) a las siguientes:

- Soldaduras ranuradas en empalmes de columnas.
- Soldaduras en placa base de columna.
- Soldadura de penetración de unión completa (CJP) en el empalme de bridas y banda de viga a columna, a menos que AISC 358 para una conexión especifica indique lo contrario.

- **"Área-k".**

Es la zona de un perfil que va desde el punto donde termina la transición entre el alma y el patín, con una dimensión máxima en el alma del perfil de 38 mm. En estas zonas los perfiles pueden experimentar fractura en comparación al resto de la sección, debido que en los procesos de laminación que se emplean para corregir defectos, se originan fuerzas de contacto que ocasiona que los perfiles se endurezcan, pero simultáneamente se vuelven más frágiles y con menor resiliencia.

En las zonas del área-k es recomendable no realizar ningún proceso de soldadura, por lo que para evitar el contacto con esta zona es factible el emplear cortes en las esquinas de las placas y rigidizadores (Crisafulli, 2018).

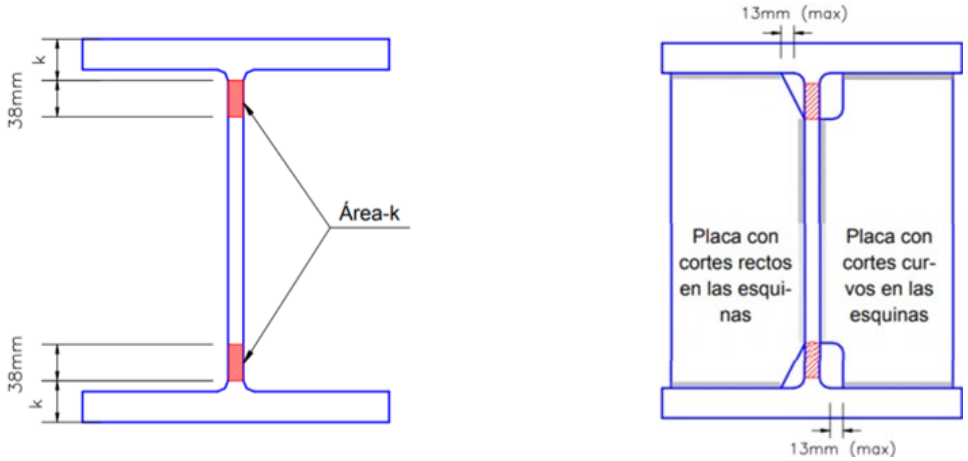



*Ilustración 34. Representación del área-k y del detalle de placas de continuidad*
*Fuente: (Crisafulli, 2018)*

- **Arriostramientos para estabilidad de vigas.**

Los arriostramientos permiten restringir la inestabilidad lateral y torsional, pero para lograr ese efecto deben presentar una rigidez y resistencia mínima. Para poder asegurar la estabilidad de las vigas se pueden emplear dos tipos de categorías de arrostramiento: lateral y torsional.

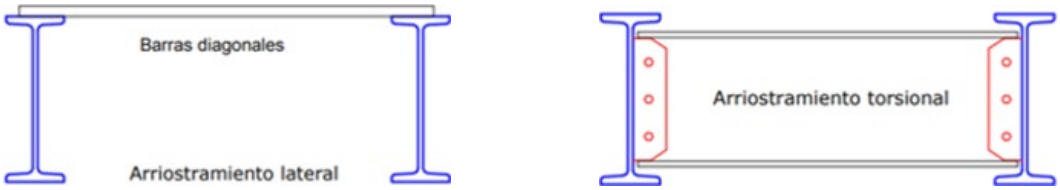



*Ilustración 35. Tipos de arrostramiento para la estabilidad de vigas*
*Fuente: (Crisafulli, 2018)*

- Arriostramiento lateral.

Estos arriostramientos impiden que se dé el desplazamiento lateral, restringiendo la capacidad de giro de la sección transversal. La longitud máxima que debe existir entre arriostramientos laterales está en función de la ductilidad del tipo de miembro empleado.

*Tabla 20. Longitud máxima entre arriostramientos*

| Miembros de ductilidad moderada | Miembros de alta ductilidad |
|---|---|
| $L_b = 0.19 * r * \frac{E}{R_y * F_y}$ | $L_b = 0.095 * r * \frac{E}{R_y * F_y}$ |

*Fuente: Elaboración Propia*

- Arriostramiento lateral continuo: Estos arriostramientos se representan para el caso de una losa vinculada mediante conectores al ala superior de las vigas.

- Arriostramiento lateral de apoyo o lean-on: Estos arriostramientos laterales mediante puntales se vinculan a otros sistemas de vigas arriostradas.

- Arriostramiento lateral de panel: Estos arriostramientos laterales son dispuestos por un sistema de riostras que controlan los desplazamientos laterales relativos. La resistencia requerida de corte del sistema de arriostramiento ($V_{br}$) y la rigidez de corte requerida ($\beta_{br}$), *se determinan en Tabla 20.*

- Arriostramiento lateral puntual: Estos arriostramientos laterales se disponen con riostras que se pueden representar como un resorte lateral. La resistencia requerida en la dirección perpendicular al eje longitudinal de la viga ($P_{br}$) y la rigidez requerida del arriostramiento ($\beta_{br}$), *se determinan en Tabla 20.*

*Tabla 21. Rigidez y resistencia de corte para los diferentes tipos de arriostramiento lateral*

| Tipo de arriostramiento lateral | Rigidez de corte requerida del sistema de arriostramiento | Resistencia de corte requerida del sistema de arriostramiento |
|---|---|---|
| Arriostramiento lateral de panel | $\beta_{br} = \frac{4 * M_r * C_d}{\emptyset * L_{br} * h_o}$ | $V_{br} = \frac{0.01 * M_r * C_d}{h_o}$ |
| Arriostramiento lateral puntual | $\beta_{br} = \frac{10 * M_r * C_d}{\emptyset * L_{br} * h_o}$ | $P_{br} = \frac{0.02 * M_r * C_d}{h_o}$ |

*Fuente: Elaboración Propia*

Donde:

- $C_d = 1.00$ para casos en general y $C_d = 2.00$ en una viga a flexión en doble curvatura (ANSI/AISC-360, 2016).

- Arriostramiento torsional.

Estos arriostramientos restringen el giro de la sección en forma directa, mediante diafragmas verticales.

- Arriostramiento torsional puntual: La resistencia requerida en flexión del arriostramiento ($M_{br}$) y la rigidez en flexión requerida del arriostramiento ($\beta_{br}$), *se determinan en Tabla 21.*

- Arriostramiento torsional continuo: La resistencia requerida en flexión del arriostramiento ($M_{br}$) y la rigidez en flexión requerida del arriostramiento ($\beta_{br}$), en donde $L/n = 1.00$ para el cálculo de la rigidez de los arriostramientos excluyendo la distorsión del alma ($\beta_T$), *se determinan en Tabla 21.*

*Tabla 22. Rigidez y resistencia de corte requerida para los diferentes tipos de arriostramiento torsional*

| Tipo de arriostramiento torsional | Resistencia requerida en flexión del arriostramiento | Rigidez en flexión requerida del arriostramiento | Rigidez distorsional del alma |
|---|---|---|---|
| Arriostramiento torsional puntual | $M_{br} = 0.02 * M_r$ | $\beta_{br} = \frac{\beta_T}{\left(1 - \left[\frac{B_T}{\beta_{sec}}\right]\right)}$ | $\beta_{sec} = \frac{3.3E}{h_o}\left(\frac{1.5h_o tw^3}{12} + \frac{t_{st} bs^3}{12}\right)$ |
| Arriostramiento torsional continuo | $M_{br} = \frac{0.02 * M_r}{L_{b.max}}$ | $\beta_{br} = \frac{\beta_T}{\left(1 - \left[\frac{B_T}{\beta_{sec}}\right]\right)}$ | $\beta_{sec} = \frac{3.3 * E * tw^3}{12 * h_o}$ |

*Fuente: Elaboración Propia*

Donde:

- Si $\beta_{sec} < \beta_T$, el arriostramiento torsional de la viga no será efectivo debido a que la rigidez del alma es inadecuada (ANSI/AISC-360, 2016).

$$\beta_T = \frac{2.40 * L}{\emptyset * n * E * I_{yeff}} * \left(\frac{M_r}{C_b}\right)^2 \quad (24)$$

- **Empalme de columnas.**

Los empalmes de columnas son un tipo de conexión que sirven para unir tramos de columnas entre sí, generalmente por temas constructivos en la obra las columnas se colocan por partes, una encima de la otra y se unen mediante los empalmes, pero también los empalmes se utilizan para poder realizar cambios en las dimensiones de la columnas, ya que mientras se sube de nivel en la estructura las cargas gravitacionales y laterales disminuyen, por lo que ya no requerirán la misma dimensión que en los pisos inferiores donde actúa más carga.

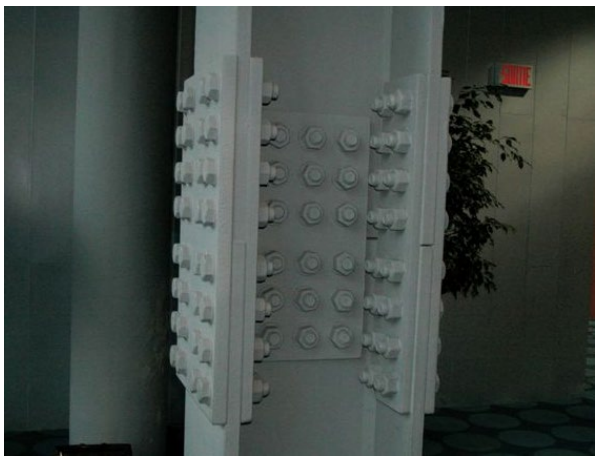


*Ilustración 36. Empalme de columna con conexión atornillada*
*Fuente: (Siomione, 2012)*

Generalmente los empalmes se los realizan con soldadura, con pernos o bien con soldadura en una columna y pernos en la otra. La ubicación de los empalmes de columnas estará dispuesto a una distancia no mayor de 1.20 m de las conexiones viga-columna (NEC-SE-AC, 2014), excepto en los siguientes casos:

- En columnas que sean inferiores a 2.40 m, en estos casos los empalmes se colocaran a la mitad de la altura de la columna.
- En empalmes para columnas compuestas.
- En empalmes con soldadura CJP tanto en las alas y almas de la columna.

Los empalmes de columnas que forman parte del sistema resistente a sismos, deben proporcionar que su resistencia sea mayor a la resistencia requerida en las columnas, incluso mayor que con la acción sísmica con sobrerresistencia.

Cuando los empalmes de las columnas estén soldados y deban aportar una fuerza neta de tracción, se deben cumplir con los siguientes requerimientos:

- La resistencia de las juntas soldadas con ranura de penetración parcial, deben ser al menos el doble de la resistencia requerida.
- La resistencia disponible de soldadura debe ser por lo menos igual a $0.50R_yF_yb_ft_f$, donde $b_ft_f$ es el área del patín menor de la columna que esta conecta al empalme y $R_yF_y$ es la resistencia a fluencia esperada.
- La resistencia a corte de todos los empalmes de columna (incluido los SRCS y los SRCG) debe ser al menos el valor entre el momento plástico nominal de la columna $(M_{pc})$ y la altura de entrepiso $(h_i)$: $M_{pc}/h_i$.
- En el caso que se empleen juntas a tope con penetración completa entre patines de distintas dimensiones (ancho o espesor), deben realizarse transacciones si el esfuerzo de tracción excede $0.30F_y$ (NEC-SE-AC, 2014).

- **Conexiones de base de columna.**

Para la unión de la sección inferior de las columnas con la cimentación de concreto, se lo realiza mediante conexiones como placas de base, barras de anclaje, rigidizadores, entre otros.

Dependiendo del tipo de sistema estructural que realicemos la conexión base columna resistirá diferentes combinaciones de solicitaciones, como para los pórticos no arriostrados a momento en donde debe soportar la combinación de los esfuerzos de flexión, corte y axial, en cambio para los pórticos sin arriostramiento diagonal deberá resistir la combinación de esfuerzo de corte y axial (Crisafulli, 2018).

La conexión de bases de columnas en pórticos no arriostrados se agrupa en:

- Conexión totalmente restringida o rígida.

  Estos tipos de conexiones de base de columna tienen la particularidad que presentan una elevada rigidez, además permite que se desarrollen las rotulas plásticas, debido que permite el desarrollo de la resistencia a flexión de la columna.

- Conexión de articulación.

  Estos tipos de conexiones no presentan resistencia para transmitir el efecto de la flexión y por eso puede que la sección este sustenta a giros.

- Conexión con columna embebida en las fundaciones.

  En estos tipos de conexiones la columna se empotra en la viga de fundación o base que encuentra por debajo, el grado de empotramiento que presente esta conexión depende de la rigidez que disponga el elemento de la fundación. En estas conexiones se puede dar el desarrollo de la resistencia a flexión de la columna, permitiendo la formación de rotulas plásticas por encima de la base.

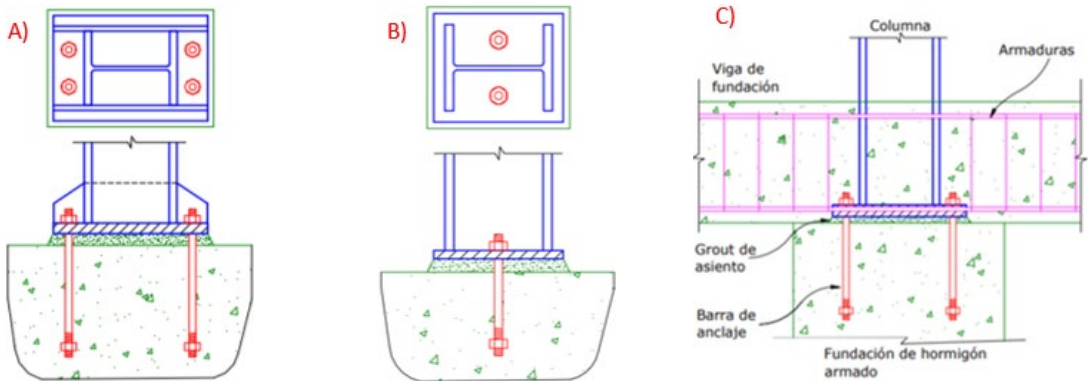



*Ilustración 37. A) Detalle de una conexión de base columna rígida - B) Detalle de una conexión de base columna articulada C) Detalle de una conexión de base columna embebida en una viga de fundación de hormigón armado*
*Fuente: (Crisafulli, 2018)*

El ANSI/AISC 341-16 especifica los requerimientos mínimos para determinar la resistencia requerida por carga axial, momento flector y corte, en donde se indica que:

- Resistencia a flexión.

  Para la determinación en la base de la columna de la resistencia a flexión requerida es igual a la sumatoria de las resistencias requeridas de los elementos que se conectan, dependiendo de los siguientes casos:

- La resistencia requerida a flexión para riostras diagonales es igual a la resistencia de la conexión de la diagonal.
- La resistencia requerida a flexión para columnas es igual al menor de los valores entre $1.10R_yF_yZ$ y el momento determinado a partir de las combinaciones de carga y las combinaciones con el factor de sobrerresistencia de la acción sísmica.

- Resistencia axial requerida.

Para las columnas que forman parte del sistema resistente a cargas sísmicas la resistencia axial requerida es igual a la sumatoria de las componentes verticales de la resistencia de los elementos que se conectan en la base, pero menor a:

- Resistencia requerida en los empales.
- Resistencia requerida de las columnas incluyendo las combinaciones de carga y las combinaciones con el factor de sobrerresistencia de la acción sísmica.

- Resistencia a corte.

Los mecanismos de la resistencia a corte empleados en la base de las columnas son: resistencia por fricción entre placa de base y el concreto de la cimentación, resistencia a corte por aplastamiento, transferencia de la fuerza de corte por medio de una llave de corte soldada en la base y la resistencia a corte por aplastamiento de la placa base.

Para la determinación en la base de la columna de la resistencia a corte, se determina mediante la sumatoria de las componentes horizontales de la resistencia de los elementos que se conectan, dependiendo de los siguientes casos:

- La componente horizontal de la resistencia para riostras diagonales, se calcula por medio de la resistencia requerida de la conexión de la riostra.
- La componente horizontal de la resistencia para columnas, se determina como el menor valor entre $(2R_yF_yZ)/h_i$ y la resistencia requerida con las combinaciones de las cargas incluyendo el factor de sobrerresistencia (ANSI/AISC-341, 2016).

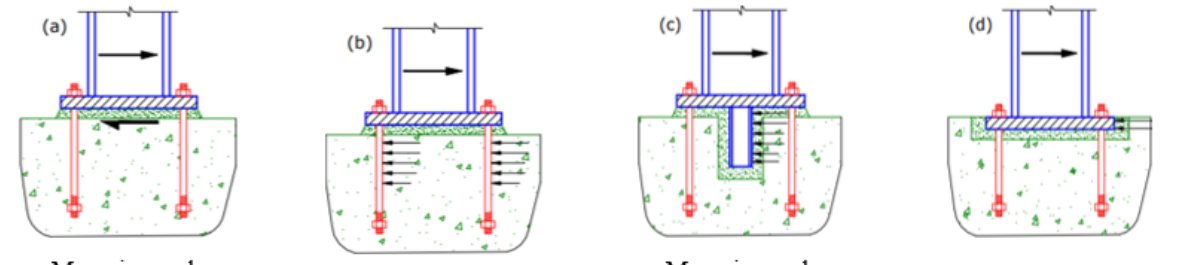



*Ilustración 38. Diferentes tipologías de mecanismos de conexiones de base de columna*
*Fuente: (Crisafulli, 2018)*

### 1.5.16 Conexiones viga-columna (Conexiones precalificadas).

- **Conexiones viga-columna.**

Las conexiones permiten que los miembros estructurales desarrollen sus máximas capacidades, es por ello que las conexiones se diseñan para las solicitaciones máximas esperadas (axial,

corte y momento flector) con la finalidad de controlar los estados limites últimos y prevenir una falla frágil (inesa, S,f).

Las conexiones pueden clasificarse según por su rigidez flexional:

- Conexión parcialmente restringida: Estas conexiones transfieren el momento, pero la rotación que tiene, no es despreciable. Su rigidez flexional debe ser por lo menos entre 20 y 2 veces la rigidez de la viga $(EI/L)$.

- Conexión de articulación: Estas conexiones la transferencia del momento es despreciable. En las conexiones articuladas la rigidez flexional debe ser menor al valor entre 20 y 2 veces la rigidez de la viga $(EI/L)$.

- Conexión totalmente restringida: Estas conexiones permiten la transferencia del momento flector y la rotación que tiene es casi nula (despreciable). En las conexiones totalmente restringidas la rigidez flexional debe ser por lo mínimo 20 veces la rigidez de la viga $(EI/L)$ o mayor (Crisafulli, 2018).

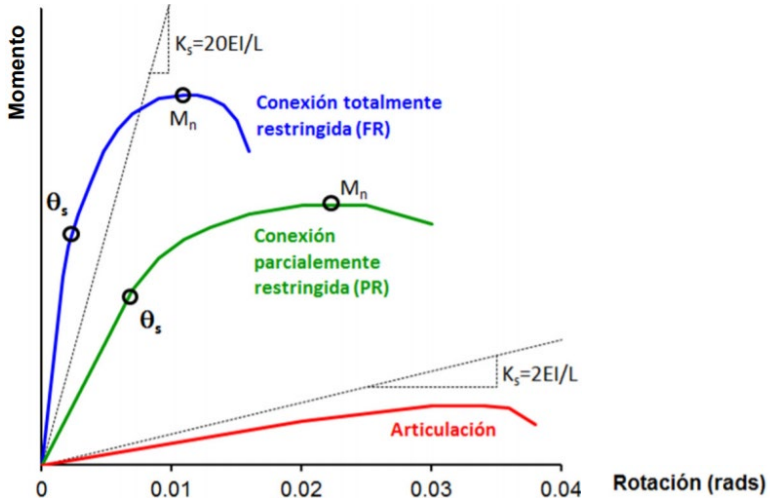



*Ilustración 39. Diagrama momento-rotación de conexiones totalmente y parcialmente restringidas y articuladas*
*Fuente: (Crisafulli, 2018)*

- **Conexiones precalificadas a momento SMF y IMF.**

EL reglamento ANSI/AISC 358-16 presenta los criterios para el diseño, detallado y fabricación para conexiones precalificadas, el cual deben cumplir con los requisitos para poder asegurar que en la estructura se desarrollen las deformaciones ingestica necesaria. Las conexiones precalificas se pueden emplear en pórticos especiales (SMF) e intermedios a momento (IMF).

Se dicen que estas conexiones son precalificas ya que has sido evaluadas en laboratorios de forma experimental, con la finalidad de garantizar su eficiencia y poder evitar las fallas en las conexiones viga-columna. Los requerimientos para que las conexiones se consideren precalificadas según el reglamento del ANSI/AISC 341-16 son:

- Para garantizar una adecuada deformación plástica de la conexión, debe existir evidencia de información experimental y analítica, que indique estos resultados.
- Los datos existentes deben asegurar de manera estadísticamente la confiabilidad de la conexión (ANSI/AISC-341, 2016)

Las conexiones precalificadas Especiales a Momento y las Intermedias a Momento que indican el reglamento del ANSI/AISC 358-16 son las que se *muestra en la ilustración 38*.

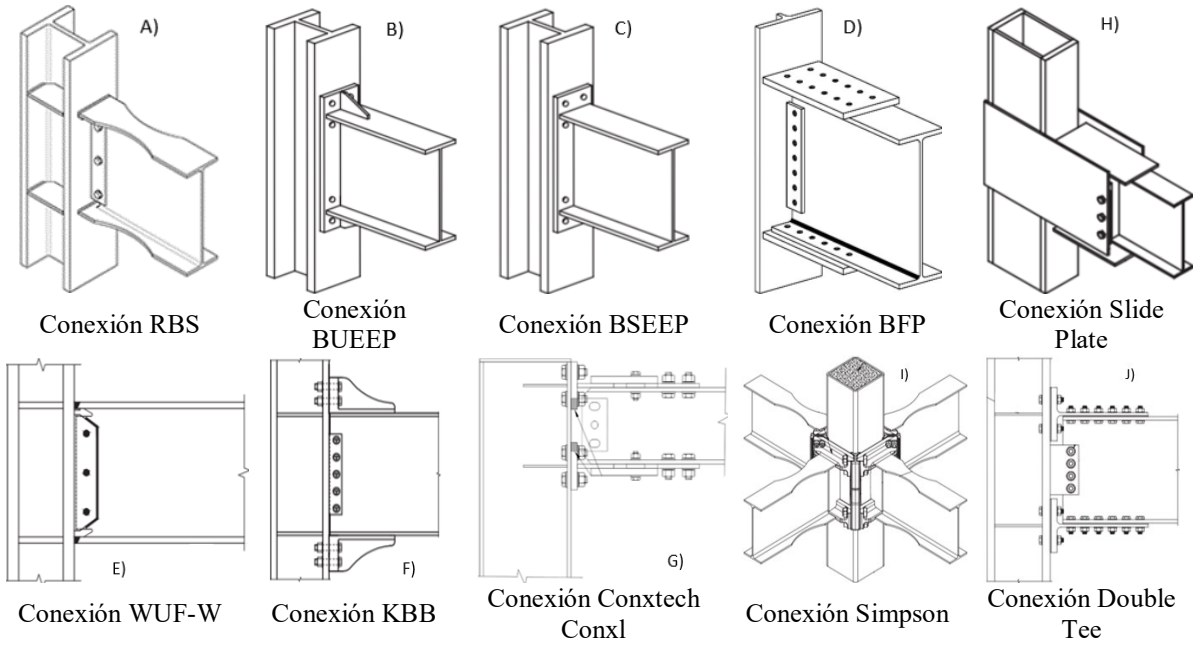



*Ilustración 40. Diferentes tipologías de conexiones precalificadas a momento SMF y IMF*
*Fuente: (ANSI/AISC-358, 2016)*

### 1.5.17 Pórticos no arriostrados.

Estos pórticos sin arriostramiento resistentes a momentos, están formados por distintos elementos estructurales como vigas, columnas, conexiones viga-columnas, panel nodal, empalmes, base de columnas, los cuales todos se vinculan entre sí, para resistir las solicitaciones de flexión, cortante y axil. Estos tipos de pórticos presentan poca rigidez, por lo pueden verse afectadas las derivas de piso, presentar una elevada disipación de energía y ductilidad, mediante una incursión inelástica estable (inesa, S,f).

Los pórticos no arriostrados se pueden clasificar según su nivel de desempeño como: pórticos especiales (SMF), pórticos intermedios (IMF), pórticos ordinarios (OMF), pórticos no arriostrados especiales con vigas reticuladas (STMF), sistemas de columnas ordinarias en voladizo (OCCS) y sistemas de columnas especiales en voladizo (SCCS).

- **Comportamiento estructural.**

Los esfuerzos internos que predominan el diseño de los pórticos no arriostrados son de los momentos flectores, que se generan debido a las distintas cargas que actúan sobre él.

Bajo las acciones sísmicas los valores máximos de los momentos flectores se generan en los extremos de las vigas y columnas, en donde mediante la fluencia del acero se produce la plastificación en las vigas, lo que produce la ductilidad y disipación de energía, pero para poder lograr estos efectos el sistema debe presentar una resistencia mínima de las columnas e incluir conexiones que sean competentes a momento. Estos sistemas también presentan una gran demanda por corte en los nodos, debido que las cargas sísmicas producen que los esfuerzos de momento en las vigas y columnas se produzcan en el mismo sentido (inesa, S,f).

Los pórticos sin arriostramiento se diseñan con el concepto columna fuerte-viga débil, con la finalidad que si una viga falla no produzca el colapso, de esta manera evitar que se dé fallas en las columnas, ya que si estos fallan se pueden representar el colapso parcial o total del sistema.

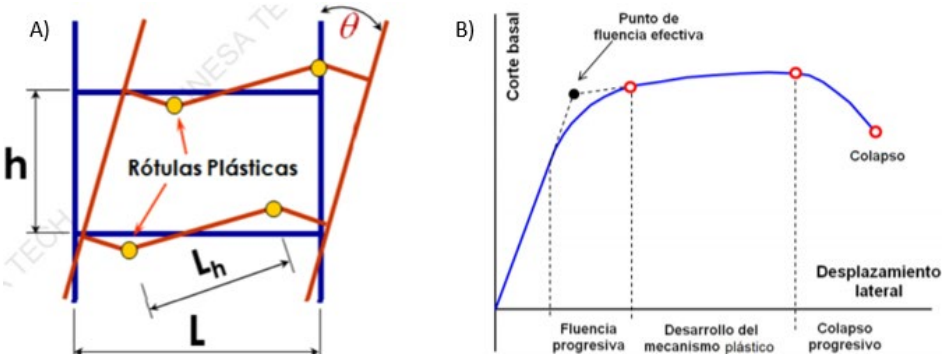



*Ilustración 41. A) Plastificación de las vigas en pórticos sin arriostramiento*
*B) Comportamiento estructural para el desarrollo del mecanismo plástico*
*Fuente: (inesa, S,f)*

- **Resistencia requerida en columnas.**

Los pórticos sin arriostramiento se diseñan en el rango elástico donde prevalece la filosofía columna fuerte-viga débil. Las resistencias requeridas se determinan mediante el análisis estructural con las diferentes combinaciones de cargas que actúan en las estructuras. Pero para la resistencia axial requerida de las columnas de estos pórticos deben determinarse con las acciones sísmicas con el factor de sobrerresistencia (Crisafulli, 2018).

### 1.5.18 Pórticos no arriostrados especiales.

- **Aspectos generales y análisis.**

Los pórticos no arriostrados especiales se diseñan con un factor de modificación de la respuesta elevado (R), ya que presentan una elevada disipación elevada de energía. Para que el sistema estructural presente una respuesta dúctil y estable, se debe limitar la distorsión del panel nodal, controlar los efectos de pandeo local y evitar la rotulación en columnas, para lograr que las vigas puedan plastificarse. En estos pórticos se pueden emplear conexiones precalificadas debido que la formación de rotulas plásticas deben exhibir como mínimo una rotación inelástica de 0.03 radianes (Crisafulli, 2018).

- **Conexiones viga-columna.**

Estas conexiones deben cumplir los siguientes requisitos:

- La conexión viga-columna debe resistir las rotaciones plásticas a un nivel de distorsión de piso de 0.04 radianes (0.03 radianes rotación plásticas en las rotulas más 0.01 radianes distorsión elástica de piso).

- La capacidad de la conexión viga-columna a flexión en la cara de la columna, debe ser por lo menos 0.80 del momento plástico de la viga conectada para un nivel de 0.04 radianes de distorsión de piso.

- La resistencia requerida a corte de la conexión viga-columna ($E_{cl}$) se determina por el efecto de la carga sísmica de capacidad limitada producida por el máximo momento probable (ANSI/AISC-358, 2016).

$$V_{Mpr} = \frac{2 * M_{pr}}{L_h} \quad (25)$$

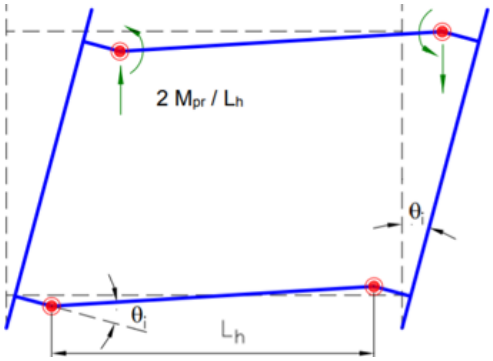



*Ilustración 42. Mecanismo de deformación plástica con rotulas plásticas en vigas*
*Fuente: (Crisafulli, 2018)*

Donde:

- $M_{pr}$ = Momento máximo probable generado en la rótula plástica.

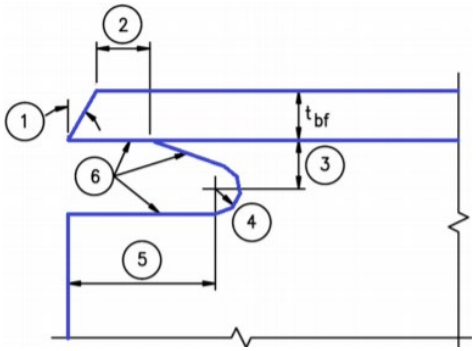
$$M_{pr} = C_{pr} * R_y * F_y * Z_e \qquad (26)$$

- $C_{pr}$ = Factor que tiene en cuenta el endurecimiento por deformación, la restricción local el refuerzo adicional, entre otras condiciones de la conexión.

$$C_{pr} = \frac{(F_y + F_u)}{F_y} \leq 1.20 \qquad (27)$$

En las conexiones viga-columna de pórticos especiales a momento, se debe considerar detalles para los accesos a la soldadura y considerase como soldaduras de demanda crítica para:

- Soldaduras de penetración o de ranura en empalmes de columna.
- Cordones de soldadura en conexiones del extremo inferior de la columna a la base.
- Para evitar la concentración de tensión y facilitar el acceso a la soldadura para cordones de ranura que conectan patín de la viga con el patín de la columna, se recomienda el siguiente agujero, según la AWS D1.8, 2009.




1- Bisel.
2- Mayor que $t_{bf}$ o 13mm.
3- 3/4$t_{bf}$ a $t_{bf}$ (mínimo 19mm).
4- Radio mínimo 10mm.
5- 3 $t_{bf}$.

*Ilustración 43. Detalle del agujero de ranura para el acceso de soldadura para la conexión viga-columna*
*Fuente: (AWS-D1.8, 2009)*

- **Placas de continuidad.**

Son rigidizadores que se colocan entre los patines de la columna de una conexión para asegurar la transferencia de las cargas de tracción y compresión que llegan al nudo del sistema, estos rigidizadores también disminuyen la concentración de tensiones que son provocados por la diferencia de rigidez entre los elementos de la junta.

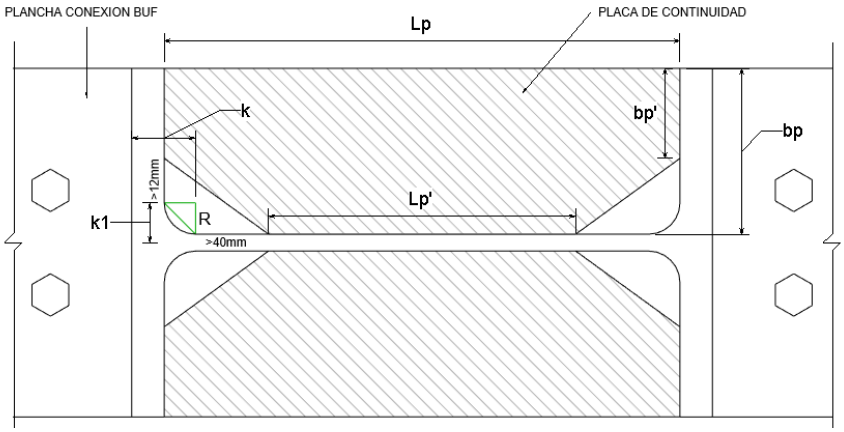



*Ilustración 44. Representación en planta de una placa de continuidad en una conexión viga-columna*
*Fuente: Elaboración Propia*

- Carga solicitada en la placa.

La resistencia requerida en la cara de la columna que actúa en la placa de continuidad ($P_f$), está en función del máximo momento probable en la cara de la columna $(M_f)$ y de la distancia entre los centroides de los patines del perfil ($h_o$).

$$P_f = M_f / h_o \tag{28}$$

Para conexiones en las que el alma de la viga se une a la columna mediante conexiones atornilladas, $P_f$ se supone que solamente las bridas de la columna transfieren el par de fuerzas mediante:

$$P_f = \frac{M_f}{\alpha_s d^*}$$

Para conexiones en las que el alma de la viga esta soldada a la columna, la transferencia de momento se da en un 15% mediante banda de la viga y un 85% por los patines, resultando:

$$P_f = \frac{0.85 M_f}{\alpha_s d^*}$$

- Resistencia de diseño.

Las resistencias de diseño ($R_n$) para las placas de continuidad se determinan para los estados límites últimos de: resistencia a la tracción de diseño de la placa de continuidad a los patines de la columna, resistencia al corte del área de contacto de la placa de continuidad con la columna y resistencia al corte en la zona panel del alma según sea el caso que se necesite determinar (ANSI/AISC-360, 2016).

*Tabla 23. Tipos de resistencia de diseño para estados limites últimos*

| Tipo de resistencia de diseño | Formulación |
|---|---|
| Resistencia a la tracción de diseño de la placa de continuidad a los patines de la columna | $\emptyset R_n = \emptyset\left[F_{y.p} * t_p * b_p'\right]$ |
| Resistencia al corte del area de contacto de la placa de continuidad con la columna | $\emptyset R_n = \emptyset\left[0.60 * F_{y.p} * L_p' * t_p\right]$ |
| Resistencia al corte en la zona panel del alma | $Cuando\ P_r > 0.4P_y \rightarrow R_n = (0.60 F_{y.p} d_c t_{cw})$<br>$Cuando\ P_r \leq 0.4P_y \rightarrow R_n = \emptyset\left[0.6 F_{y.p} d_c t_{cw}\left(1 + \frac{3 b_{cf} {t_{cf}}^2}{d_b d_c t_{cw}}\right)\right]$ |

*Fuente: Elaboración Propia*

- Requerimiento de placas de continuidad.

  - Si el patín de la viga se suelda al patín de una columna, formada por un perfil W o a un perfil I.

$$t_{lim} \geq (b_{bf}/6) \quad (29)$$

  - Si la el patín de la viga se suelda al patín de una columna formada por perfil I en sección cajón (perfil I con dos placas laterales).

$$t_{lim} \geq (b_{bf}/12) \quad (30)$$

  - Cuando la resistencia requerida en la cara de la columna que actúa en la placa de continuidad ($P_f$) sea mayor a la resistencia de diseño para estados últimos por carga concentrada en alas y almas.

- Ancho de las placas de continuidad.

  - En columnas con perfiles W, las placas de continuidad deben extenderse como mínimo desde el patín de la viga hasta el alma de la columna que llega al nudo.
  - En columnas con perfiles I en sección cajón, las placas de continuidad se extienden desde las placas laterales hasta el alma de la columna.

- Espesor de las placas de continuidad.

  - En nudos interiores el espesor de las placas de continuidad debe ser por lo menos la mitad del espesor del patín de la viga.
  - En nudos interiores el espesor de las placas de continuidad debe ser por lo menos el 75% del espesor del patín de las vigas que llegan al nudo.
  - Una vez determinado el espesor, ya que la placa superior va estar sometida a tracción y la placa inferior va a estar sometido a esfuerzos de compresión, se deben verificar si el espesor empleado cumple para estos estados límites.

**Verificación Tracción:**

$$\phi R_n \geq P_f$$
$$\phi(F_y * A_g) \geq P_f$$
$$\phi(F_y * b'_p * t_p * 2) \geq P_f$$

**Verificación Compresión:**

$$\phi R_n \geq P_f$$
$$Para \frac{L_c}{r} \leq 25 \rightarrow \phi R_n = \phi F_y A_g$$
$$Para \frac{L_c}{r} \geq 25 \rightarrow \phi R_n = \phi F_{cr} A_g$$

- Unión entre placa de continuidad a la columna.

Para la unión de la placa de continuidad a los patines de la columna se lo realiza con soldadura de ranura de penetración completa CJP, pero para la unión de la placa de continuidad con el alma de la columna se lo realiza con soldadura de filete o ranura. Así mismo la conexión a las placas duplicadoras se deben soldar utilizando soldaduras ranuradas o de filete. La resistencia requerida en las sueldas será la mayor de las siguientes:

- Las sumas de las resistencias disponibles a tracción de las áreas de contacto entre las placas de continuidad y las bridas de la columna.
- La resistencia disponible al corte en el área de contacto de la placa con la banda de la columna o la placa duplicadora.
- La resistencia al corte disponible de la banda de la columna, cuando la placa esta soldada a la banda, o la resistencia al corte disponible en de la placa doble, cuando la placa de continuidad esta soldada a esta.

- **Zona de panel nodal.**

La zona del panel nodal de las conexiones viga-columna es la sección comprendida entre los patines de la columna y de las vigas, en donde esta zona va a estar sometida a grandes solicitaciones, por lo que si no diseña y verifica de manera correcta esta zona puede causar deformaciones excesivas a la estructura.

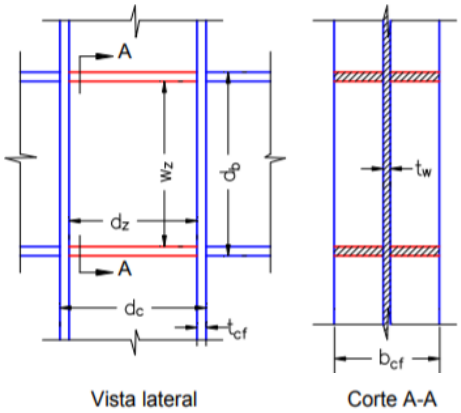



*Ilustración 45. Geometría de la zona del panel nodal de la conexión viga-columna*
*Fuente: (Crisafulli, 2018)*

- Resistencia requerida a corte en el panel nodal.

La resistencia a corte que se genera en el panel nodal puede determinarse mediante un diagrama de cuerpo libre en donde actúan esfuerzos de corte, cargas axiales y momentos flectores, aunque el efecto de los esfuerzos de flexión que actúan en la zona del panel nodal puede representarse mediante fuerzas equivalentes.

En donde el esfuerzo de corte en la columna ubicada por encima del nudo ($V_c$) puede ignorase debido que su efecto disminuye la fuerza en la zona del panel. Además, los momentos generados en los extremos de viga $M_1$ y $M_2$, para el diseño sismorresistente pueden reemplazarse por el momento máximo probable esperado ($M_{pr}$).

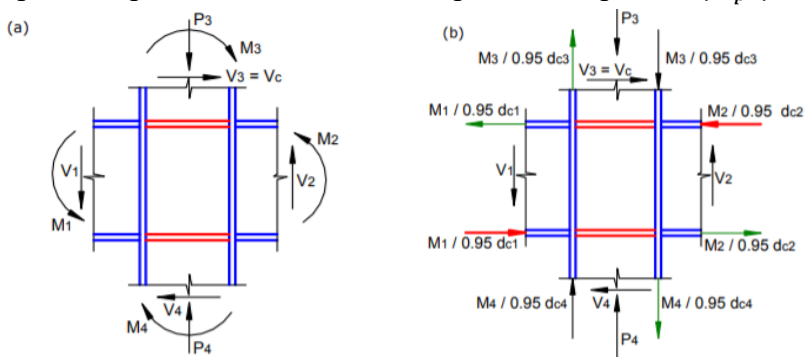



*Ilustración 46. A) Esfuerzos en el panel nodal – B) Tensiones equivalentes del esfuerzo del momento flector*
*Fuente: (Crisafulli, 2018)*

$$V_p = \frac{M_1}{(d_{b1} - t_{f1})} + \frac{M_2}{(d_{b2} - t_{f2})} - V_c \approx \frac{\sum M_{pr}}{(d_b - t_f)} \quad (31)$$

- Resistencia nominal de la zona del panel nodal sometido a corte.

La resistencia nominal de la zona del panel nodal cuando es sometido al efecto de corte $(V_n)$, se determina ya sea para el efecto de la de deformación del panel cuando no se considera la estabilidad del pórtico en el análisis o para el caso si son considerados en el análisis (ANSI/AISC-360, 2016).

*Tabla 24. Resistencia nominal de la zona del panel nodal sometido a corte*

| Casos de analisis | Condiciones | Resistencia nominal de la zona del panel nodal sometido a corte |
|---|---|---|
| Cuando no se considera la estabilidad del pórtico | $Para\ P_r \leq 0.40P_c$ | $V_n = \emptyset[0.60F_y d_c t_p]$ |
| | $Para\ P_r > 0.40P_c$ | $V_n = \emptyset\left[0.6F_y d_c t_p\left(1.4 - \frac{P_r}{P_c}\right)\right]$ |
| Cuando la estabilidad del pórtico y de la deformación plástica del panel nodal son considerados en el análisis | $Para\ P_r \leq 0.75P_c$ | $V_n = \emptyset\left[0.6F_{y.p} d_c t_p\left(1 + \frac{3b_{cf}{t_{cf}}^2}{d_b d_c t_p}\right)\right]$ |
| | $Para\ P_r > 0.75P_c$ | $V_n = \emptyset\left[0.6F_{y.p} d_c t_p\left(1 + \frac{3b_{cf}{t_{cf}}^2}{d_b d_c t_p}\right)\left(1.9 - \frac{1.2P_r}{P_c}\right)\right]$ |

*Fuente: Elaboración Propia*

- Requerimiento de placas de refuerzo en la zona del panel nodal.

Si la resistencia requerida a corte en el panel nodal es mayor a la resistencia nominal de la zona del panel nodal sometido a corte, es necesario colocar placas para reforzar los esfuerzos que actúan en la zona del panel nodal.

$$V_p > \emptyset V_n \quad (32)$$

- Espesor de las placas de refuerzo en la zona del panel nodal.

  - El espesor mínimo que se recomienda en las placas para reforzar la zona del panel, por elevadas solicitaciones que se generan ahí, debe ser por lo menos 6 mm, en caso de no cumplir las solicitaciones se puede aumentar el espesor de la placa.

  - Para verificar si el espesor seleccionado de la placa de refuerzo en la zona del panel nodal cumple resiste a los esfuerzos que es sometido, debe cumplir con:

$$t \geq \frac{d_z + w_z}{90} \quad (33)$$

  - Se permite separar un espacio de hasta 2mm entre la placa y la banda, para considerarse como un solo panel. Cuando estas se separen deben estar colocadas simétricamente a cada lado del panel.

  - Dependiendo que si la placa de refuerzo de la zona del panel nodal está colocada junto al alma de columna o a una distancia del alma de la columna, el espesor de la placa y alma de la viga trabajan en forma conjunta $(t_p = \sum t + t_w)$.

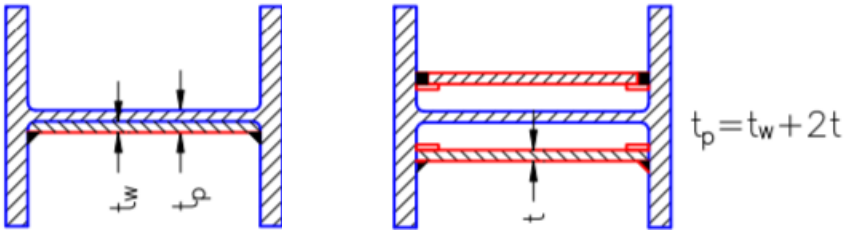



*Ilustración 47. Placas nodales de refuerzo con soldadura de ranura o soldadura de filete*
*Fuente: (Crisafulli, 2018)*

- Unión entre placa de refuerzo de la zona del panel nodal a la columna.

Para la unión de la placa de refuerzo de la zona del panel nodal a la columna, si esta las placas están en contacto con el alma se unen con ranura de penetración parcial, pero si estas separadas se unen mediante soldadura de penetración completa.

La resistencia de diseño requerida de las soldaduras debe ser igual a la resistencia disponible al corte que tiene la placa duplicadora.

$$V_r = e \times d_z \times \tau_{adm} \qquad (34)$$

- Placas dobles sin placas de continuidad.

En el caso que se necesiten placas de refuerzo en la zona del panel nodal, pero no se requieran placas de continuidad, las placa refuerzo deben extenderse 150 mm desde la misma distancia del patín de la viga. Por otra parte, para placas duplicadoras en contacto con la banda, si el espesor de las placas y la banda cumplen con el espesor mínimo, no se requiere esta extensión de soldadura. Si las placas y la banda no satisfacen el espesor mínimo, independientemente unas de otras, se colocará un tamaño mínimo de soldadura de filete en la extensión superior e inferior de la placa como lo especifica la tabla J2.4 del ANSI/AISCE 360, las cuales tendrán una longitud de suelda $L_w = 38mm$.

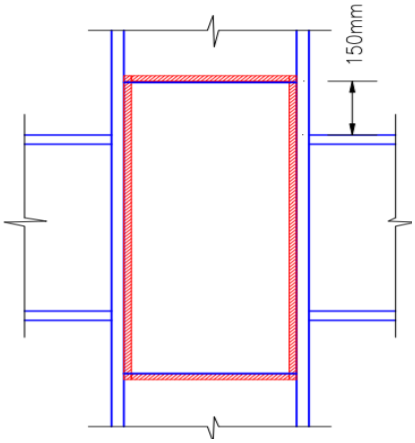



*Ilustración 48. Placas nodales de refuerzo en el caso en que no es necesario colocar placas de continuidad*
*Fuente: (Crisafulli, 2018)*

- **Requerimientos para vigas y columnas. Relación ancho-espesor.**

Las vigas y columnas de los pórticos especiales a momento deben cumplir con las condiciones de la Tabla D1.1 de ANSI/AISCE 341-16 para miembros de alta ductilidad, en donde dicha tabla indica una clasificación en función de la ductilidad, para evitar los problemas de pandeo local y poder asegurar que en el sistema se dé la plastificación (ANSI/AISC-341, 2016).

Los extremos de las vigas, donde se da la plastificación, deben considerarse como zonas protegidas, generalmente una distancia más allá donde se genera la rótula plástica de las vigas, en donde se disponen ciertas limitaciones en los accesorios y en las fabricaciones, para poder evitar defectos físicos y metalúrgicos que podrían causar la perdida de resistencia del material, afectando la respuesta global del sistema estructural, es por ello que las zonas protegidas se diseñan para poder resistir las deformaciones cíclicas inelásticas producidas por la acción del sismo de diseño (ANSI/AISC-358, 2016).

- **Relación entre la resistencia flexional de columnas y vigas.**

En los porticos especiales a momento, aparte de los estados limites de resistencia, estabilidad y servicio, se debe realizar una revision de la relacion entre recistencias de columnas y vigas, de manera que se cumpla el concepto de columna fuerte-viga debil, asegurando el funcionamiento plastico en las vigas y elastico en las columnas (Crisafulli, 2018).

En donde para poder cumplir la relacion columna fuerte-viga debil, se detetmina atraves de la sumatoira de los momentos plasticos en las columnas por enicma y debajo del nudo ($M^*_{pc}$) con la sumatoria de las resistencias por flexion de las vigas ($M^*_{pb}$). Para esta revision se de cumplir con la siguiente relacion, basada en el concepto de analisis por capacidad:

$$\frac{\sum M^*_{pc}}{\sum M^*_{pb}} = \frac{Z_c\left(F_{yc} - P_r/A_g\right)}{M_{pr} + M_v} > 1.00 \qquad (35)$$

Para la determinacion de las resistencias por flexion de las vigas ($M^*_{pb}$), estan en funcion del maximo momento problable ($M_{pr}$) mas un momento adicional producido en la viga ($M_v$) causado por la amplificación del corte desde la rótula plástica hasta el eje de la columna.

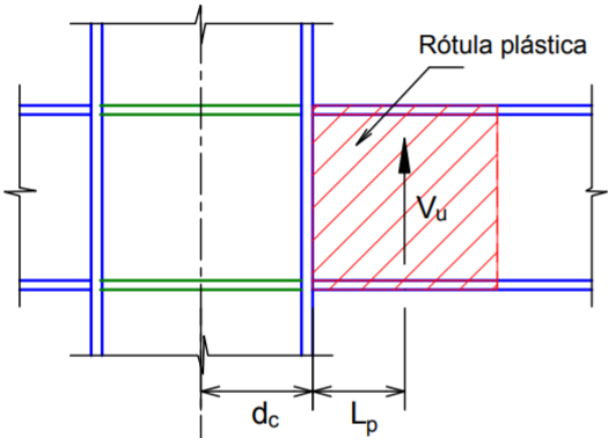



*Ilustración 49. Criterio del momento adicional ($M_v$) causado por el corte actuando en el centro de la rótula plástica*
*Fuente: (Crisafulli, 2018)*

La revisión viga débil-columna fuerte ($\sum M^*_{pc} / \sum M^*_{pb}$) no se aplican cuando:

- Para estructuras de 1 piso o el piso superior de edificaciones de algunos niveles, la relación en columnas sea $P_u > 0.30P_y$.

- En columnas que cumplan la relación $P_u > 0.30P_y$ y cumplen requisitos especiales de resistencia a corte según se detalla en la Sección E3.4a de ANSI/AISC 341-16.

- **Restricción lateral para la estabilidad en las conexiones viga-columna.**

Las columnas deben contar con arriostramiento para asegurar la estabilidad lateral del sistema y restringir la rotación fuera del plano de los pórticos, debido al comportamiento inelástico que tendrá el sistema por la actividad sísmica, con el fin de asegurar que en el sistema se den las deformaciones plásticas en el panel nodal. Se distinguen dos casos:

a. Conexiones arriostradas.

Debido a la presencia de los diagramas horizontales (losa) en la estructura, los nudos viga-columna están restringidos lateralmente. Cuando se supone que las columnas van a permanecer elásticas fuera del panel nodal, se requiere soporte lateral a nivel superior de las vigas en los casos en que las almas de vigas y columna sea coplanares y la revisión viga débil-columna fuerte ($\sum M^*_{pc} / \sum M^*_{pb}$) sea mayor a 2.00

Cuando las columnas no permanecen con comportamiento elástico fuera del panel nodal, se restringen lateralmente los patines de la columna a nivel del patín superior e inferior de las vigas, en donde el elemento empleado para restringir (losa, diafragmas horizontales, rigidizadores, riostras entre otros) deben resistir una fuerza igual a $0.02 F_y b_f t_{bf}$ (ANSI/AISC-341, 2016).

b. Conexiones no arriostradas.

En las columnas de conexiones viga-columna que no dispongan de un refuerzo transversal, se diseñara empleando la distancia entre las abrazaderas de miembros adyacentes como la altura de la columna para el pandeo transversal al marco sísmico, para minimizar el potencial de pandeo que se genera fuera del plano de la conexión, excepto cuando:

- La relación de esbeltez entre la longitud de la columna y el radio de giro de la sección de la columna, debe ser: $L/r \leq 60$.

- La resistencia requerida de la columna se determinará con las combinaciones de carga, incluido la carga sísmica de sobrecarga ($E_{mh}$), en donde $E_{mh}$ no necesita exceder el 125% de la resistencia disponible del bastidor en función de la resistencia a la flexión disponible de la viga (ANSI/AISC-341, 2016).

- **Restricción lateral en vigas.**

Se deben disponer arriostramiento lateral para que impidan el desplazamiento lateral, restringiendo la capacidad de giro de la sección transversal, diseñados con requisitos de miembros de alta ductilidad $\left(L_b = 0.095 * r * \left(E/[R_y F_y]\right)\right)$. Se deben colocar los arriostramientos laterales en zonas donde se desarrollen rotulas plásticas, en zonas donde se den concentración de esfuerzos o que tenga cambios de sección (ANSI/AISC-360, 2016).

Se pueden emplear arriostramientos laterales tipo: continuos, de apoyo (lean-on), de panel arriostramiento lateral puntual, los cuales para asegurar la estabilidad de las vigas deben presentar una rigidez de corte requerida del sistema de arriostramiento ($\beta_{br}$) y resistencia de corte requerida del sistema de arriostramiento ($V_{br}\ o\ P_{br}$), los cuales ya se mostró su análisis *en la Tabla 20.*

## 2. Diseño por Capacidad del Edificio

La estructura a diseñarse se encuentra localizada en la provincia del Azuay, cantón Cuenca, parroquia el Valle, barrio Emilio Sarmiento. Según estudios geotécnicos realizados en la zona, el tipo del perfil de suelo según la NEC-SE-DS, es tipo D. El uso para el cual se diseña la estructura es para uso residencial (departamentos). Además, se sabe que Cuenca pertenece a una zona de peligrosidad sísmica alta (Zona II), donde el factor de aceleración máxima del suelo PGA es de 0.25.

La estructura tiene 7 pisos desde el nivel del suelo, que vendría siendo la planta baja. Todas las plantas tienen una altura de entrepiso de 3.00 m. Esta altura presenta las condiciones suficientes para todas las instalaciones requeridas. La altura total del edificio medida desde el nivel de la placa que conecta "pilote-columna" en la base-columna es de 21.00 m.

El sistema estructural (SRCS) se configuro mediante pórticos (PEM) en los ejes perimetrales del edificio en el sentido "X", e internos en el sentido "Y". La configuración estructural es regular tanto en planta como en elevación, evitando irregularidades geométricas y físicas que pueden ocasionar efectos torsionales de la estructura.

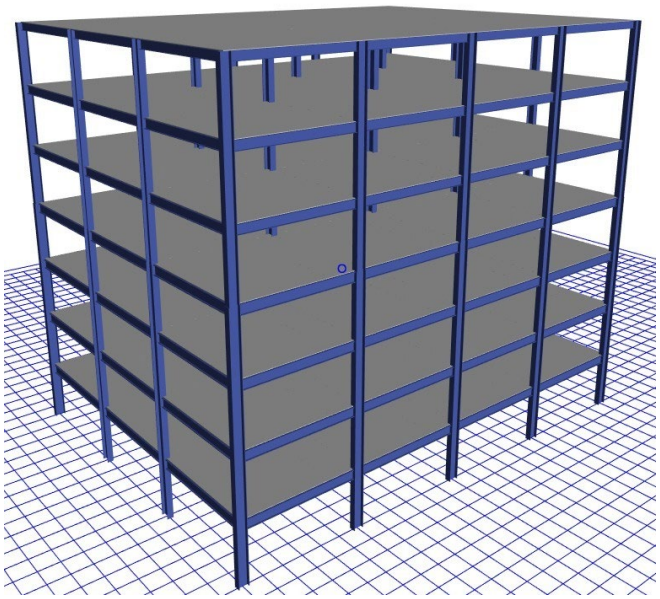


*Ilustración 50. Representación estructural del edificio de análisis*
*Fuente: ETABS*

### 2.1 Materiales.

El material empleado de los elementos y componentes de la estructura es acero laminado en caliente que cumple con la especificación ASTM, el cual debe cumplir con las especificaciones dispuestas de la Sección A3.1-ANSI/AISC 341-16, en donde dispone que el límite de fluencia mínimo especificado ($F_y$) no debe sobrepasar los 345 MPa, además teniendo en cuenta que en columnas para pórtico especiales a momento (PEM) el valor mínimo de fluencia no debe superar los 485 MPa.

La designación de la ASTM utiliza diferentes tipos de acero en la construcción, pero en nuestra modelación solo emplearemos dos tipos de acero el A36 y el A572, por el motivo que tan solo existen estas dos clases en nuestro mercado nacional. Teniendo todos estos parámetros en

cuenta, en la tabla siguiente se describe las propiedades físico mecánicas de los materiales empleados, tales como el límite de fluencia mínimo especificado ($F_y$), la resistencia mínima de tensión ultima ($F_u$), la relación entre el límite de fluencia especificado y el límite de fluencia esperado ($R_y$), y la relación entre la resistencia a la tensión mínima especificada del material y la resistencia a la tensión esperada ($R_t$), las propiedades físico mecánicas del acero se pueden *observan en la Tabla 5.*

## 2.2 Cargas.

### 2.2.1 Cargas Gravitacionales.

*2.2.1.1 Carga Muerta.*

La carga muerta que corresponde a la estructura son los componentes estructuras: columnas, vigas, losa. El programa de modelo que en este caso es ETABS, estima automáticamente el peso propio de la estructura. En el cual se ha reducido la carga de la losa, para obtener el peso bruto del acero.

- **Peso Losa.**

La configuración estructural de la losa es mediante un sistema NOVALOSA 55 con las siguientes especificaciones técnicas:

*Tabla 25. Especificaciones técnicas de la losa*

| NOVALOSA 55 | |
|---|---|
| e Losa (mm) | 50.00 |
| e Placa colaborante (mm) | 0.76 |
| Separación vigas secundarias (m) | 2.00 |
| Sobrecarga máxima (ton/m$^2$) | 0.98 |
| Peso Nova losa (kg/m$^2$) | 7.47 |
| Volumen hormigón (m$^3$/m$^2$) | 0.07 |
| Peso hormigón (kg/m$^2$) | 179.7 |
| F'c Losa (kg/cm$^2$) | 240.00 |
| PESO TOTAL (kN/m$^2$): | 1.85 |

*Fuente: CATALOGO NOVACERO*

La separación entre vanos de la superestructura del edificio es de 6m en ambos sentidos, por lo que inicialmente se propone una disposición de vigas secundarias ubicadas perpendicularmente a las vigas principales en la dirección (N-S), en un entramado de 1.50 m, lo que equivale a tres vigas secundarias en cada panel de piso.

Esta configuración permite un arrostramiento lateral continuo a las vigas principales debido a la incidencia de los pernos conectores a cortante que se sueldan a las vigas secundarias en toda su longitud, fuerza de la zona protegida. Así también las vigas secundarias aportarían rigidez y resistencia como arrostramientos torsionales, mediante un sistema similar de diafragmas que vinculan las vigas principales entre sí.

En el diseño y detallado de la estructura que se realiza posteriormente se revisara la rigidez, resistencia y separaciones máximas que deben tener los arriostramientos laterales de las vigas

principales, según el código sísmico AISC 341, con el objetivo de asegurar el comportamiento dúctil de estas.

- **Peso Acero.**

De los resultados del análisis modal espectral del edificio en ETABISS, las cargas muertas (Dead), el software calcula de acuerdo a los materiales y secciones que se utilizan en los componentes estructurales de todo el sistema (placas, brazos rígidos, vigas, columnas).

Para este caso particular se tiene el siguiente peso muerto en cada uno de los pisos, a los cuales debe restarse el peso de la losa, para obtener netamente el peso total de acero en cada piso.

*Tabla 26. Cuantificación de peso de acero en cada piso*

| Piso | $W_{acum}$ | $W$ | $W/área$ | $P/área$ (sin losa) |
|---|---|---|---|---|
| | $ton$ | $ton$ | $ton/m^2$ | $ton/m^2$ |
| **Piso 7** | 92.4916 | 92.4916 | 0.214 | 0.027 |
| **Piso 6** | 205.5162 | 102.7582 | 0.238 | 0.051 |
| **Piso 5** | 308.2744 | 102.7582 | 0.238 | 0.051 |
| **Piso 4** | 413.9306 | 105.6562 | 0.245 | 0.057 |
| **Piso 3** | 519.5868 | 105.6562 | 0.245 | 0.057 |
| **Piso 2** | 625.243 | 105.6562 | 0.245 | 0.057 |
| **Piso1** | 730.8993 | 105.6563 | 0.245 | 0.057 |

*Fuente: Elaboración Propia*

- **Sobrecarga Muerta.**

El sobrepeso muerto adicional como: mamposterías, baldosas, paredes, deben ser definidos y digitados en el programa. La NSR presenta las siguientes cargas/área, *como se muestra en la Tabla 26.*

*Tabla 27. Sobrecarga muerta para el piso típico de la estructura*

| Sobrecarga | Carga (ton/m$^2$) |
|---|---|
| Cielo falso | 0.0182 |
| Instalaciones | 0.0220 |
| Mampostería | 0.1521 |
| Recubrimiento | 0.0485 |
| Baldosa | 0.0683 |
| TOTAL | 0.3091 |

*Fuente: Elaboración Propia*

Para el último piso, que vendría a ser la guardilla y cubierta del edificio, se da el siguiente resumen de cargas que según la NEC para una cubierta de teja plana con mortero de cemento es 0.085 ton/m$^2$.

*Tabla 28. Sobrecarga muerta para el último piso del edificio (Piso 7)*

| Sobrecarga Cubierta | Carga (ton/m$^2$) |
|---|---|
| Cielo falso | 0.0182 |
| Instalaciones | 0.0220 |
| Cubierta | 0.0850 |
| TOTAL | 0.1252 |

*Fuente: Elaboración Propia*

*2.2.1.2 Carga Viva.*

El valor de carga viva se toma de la NEC-SE-CG, en donde para pisos de edificios residenciales la carga es de 0.2 ton/m$^2$, y para la cubierta del último piso 0.07 ton/m$^2$.

$$L' = 0.20\ \frac{ton}{m^2}, \qquad L_r = 0.07\ \frac{ton}{m^2}$$

*2.2.1.3 Resumen de cargas.*

Con todas las cargas gravitacionales que actúan en la estructura como los diferentes pesos muertos de los elementos y la carga viva, se presenta en la siguiente tabla todos los pesos sobre metro cuadro en los diferentes pisos que componen el sistema estructural.

*Tabla 29. Resumen de cargas en los pisos de la estructura*

| Resumen Cargas | Carga (ton/m$^2$) | Carga (kg/m$^2$) |
|---|---|---|
| $\sum \boldsymbol{D}$_Pisos 1-4 | 0.55 | 554 |
| $\sum \boldsymbol{D}$_Pisos 5-7 | 0.55 | 547 |
| $\sum \boldsymbol{D}$_Piso 7 | 0.34 | 339 |
| $\boldsymbol{L}$_Piso 1-6 | 0.20 | 200 |
| $\boldsymbol{L}$_Piso 7 | 0.07 | 70 |

*Fuente: Elaboración Propia*

## 2.3 Hipótesis de Modelo.

### 2.3.1 Modelado matemático

El edificio se modelará, analizará y diseñará como un conjunto tridimensional de componentes. Alternativamente en el capítulo 4, dentro el análisis no lineal estático NSP, se permitirá el uso de un modelo bidimensional que tenga las condiciones de carga, masa, rigidez y periodo de vibración que el modelo 3D.

- **Suposiciones básicas.**

- El edificio tiene diafragmas rígidos y los efectos de torsión son despreciables debido a que el centro de masa coincide con el centro de rigideces *como se aprecia en la ilustración 49*, así también se demuestra lo expuesto *en la tabla 37*, de modos de vibración de la estructura, donde la partición de masas en el modo torsional es 0%.

- Se considerará la naturaleza tridimensional de los componentes estructurales, en los ejes locales 1, 2 y 3 de *la ilustración 65* para el cálculo de rigidez y resistencia.

- Si el edificio no tiene contiene cargas fuera del plano en elementos verticales resistentes a cargas sísmicas, debido a voladizos o configuraciones irregulares, por lo que los diafragmas tienen la misma deformación en todos sus puntos,

- La rigidez de modelado de los componentes estructurales (vigas, columnas y conexiones) se basó en disposiciones ASCE-41 para el caso de columnas y vigas, mientras para las conexiones, se modelará cada componente en IDEA StatiCa, para así obtener de un análisis de rigidez rotacional, las curvas de capacidad de cada conexión, (capitulo 4).

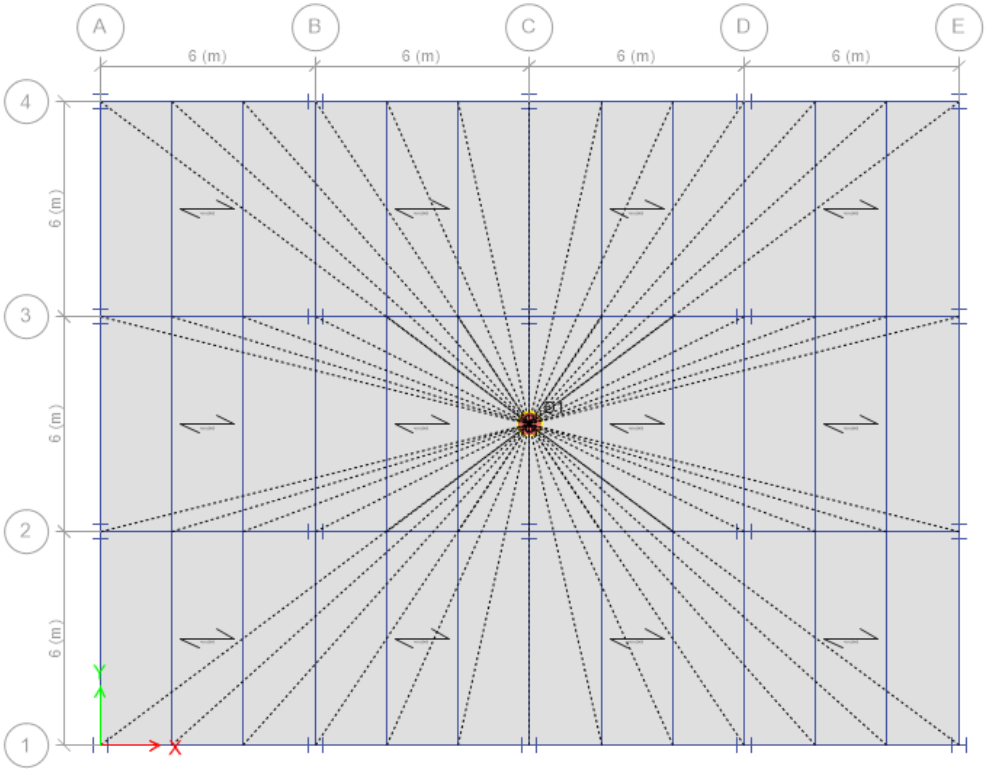



*Ilustración 51. Centro de masas y rigideces de un diafragama caracteristico del edifico*
*Fuente: ETABS*

## 2.4 Predimensionamiento de Miembros.

Para modelar el edificio se necesita predimensionar los miembros de la estructura, los mismos que se revisaran y de ser el caso se modificaran reiteradas veces hasta cumplir con todos los requisitos de diseño.

### 2.4.1 Vigas Principales del SRCS.

Con un área de aporte de aporte de carga a 45° a las vigas principales desde las juntas se tiene un valor de 18 $m^2$. Para el diseño de una viga principal del piso típico, se analizarán bajo las cargas gravitacionales con la combinación de carga, *mostrada en la Tabla 2*, distribuida en la viga del sistema SRCS de longitud $L = 6.00\ m$.

**Combinación 2 NEC-SE-CG:**

$$W_u = (1.2D + 1.6L') * \frac{A_{tr}}{L} \tag{36}$$

$$W_u = (1.2 * 500\ kg + 1.6 * .200\ kg) * (18\ m^2 / 6\ m) = 2760\ kg/m$$

Debido a que se predimensiona una viga del SRCS, las condiciones de frontera son rígidas, simulando un nudo totalmente rígido (FR). El $M_{max}$ se calcula como sigue:

$$M_{max} = \frac{W_u * (L')^2}{12} \tag{37}$$

$$M_{max} = 8280\ kg * m$$

En un análisis elástico se tiene la siguiente ecuación para el diseño de una viga. Donde se utiliza un factor de seguridad de $\phi_b = 0.9$ $(LRFD)$.

$$\emptyset M_y = \emptyset F_y S_x \rightarrow S_x = \frac{M_{max}}{\emptyset F_y} \quad (38)$$

$$S_x = \frac{8280 * 100}{2530 * 0.9} = 365 cm^3$$

Se propone un perfil comercial IPE 360 x 57 que tiene un módulo $S_x = 713\ cm^3$, debido a que el análisis es bajo cargas gravitacionales, sin considerar cargas sísmicas laterales.

### 2.4.2 Columnas.

Las columnas céntricas, que son las criticas reciben una carga en un área tributaria de $36.00\ m^2$, teniendo en un planteamiento inicial, una longitud no arriostrada de $L = 3.00\ m$. Bajo un análisis únicamente por compresión, buscando una columna intermedia (falla por pandeo inelástico) cercana a una columna corta (falla plástica) se tiene:

$$P_u = (1.2 * 500 + 1.6 * 200) * 36 = 33120\ kg$$

Considerando que las columnas tienen una rigidez relativa en sus fronteras (apoyos) de $\psi = 1$, de los nomogramas de O. Julian y L. Lawrence (1959) para columnas en pórticos traslacionales se tiene $K = 1.50$.

$$A_g = \lambda_c = 1 = \frac{KL}{r\pi}\sqrt{\frac{F_y}{E}} \rightarrow r_{min} = \frac{KL}{\pi}\sqrt{\frac{F_y}{E}} \quad (39)$$

$$r_{min} = \frac{1.5 * 325}{\pi} * \sqrt{\frac{(2530)}{(2.04 * 10^6)}} = 5.40\ cm$$

$$F_{cr} = 0.658^{\lambda_c{}^2} * (F_y) \quad (40)$$

$$F_{cr} = 0.658^{1^2} * (2530) = 1664.74$$

Con la carga $P_u$ que es la que llega las columnas se puede determinar cuál es el área necesaria que requiere el perfil estructural para resistir la compresión.

$$P_u = \emptyset A_g F_{cr} \therefore \quad A_g = \frac{P_u}{\emptyset F_{cr}} \quad (41)$$

$$A_g = \frac{33120}{0.85 * 1664.74} = 23.4 cm^2$$

Se propone inicialmente un perfil *HEB 455 x 171*, que tiene un radio de giro en el eje débil de $r_y = 7.33\ cm$, siendo mayor al requerido pues no se está considerando aun las fuerzas sísmicas ni momentos flectores, y debido a que las columnas son los elementos que resistirán las fuerzas laterales, debiendo ser lo suficientemente rígidas.

### 2.4.3 Vigas Secundarias.

La losa estructural se dispuso para una separación de vigas secundarias de $s = 1.50\ m$, por lo que cada panel se compone de 3 vigas secundarias de $L = 6.00\ m$. Estas vigas no forman parte del SRCS, teniendo condiciones de frontera articuladas, por lo que el momento máximo se concentra en la mitad, con los extremos trabajando únicamente a corte.

$$W_u = 1.2D + 1.6L' = (1.2 * 500 + 1.6 * 200) * 1.5 = 1380 \frac{kg}{m}$$

$$M_{max} = \frac{W_u * (L')^2}{8} = 6210\ kg * m$$

$$\emptyset M_y = \emptyset F_y S_x \ \therefore\ S_x = \frac{M_{max}}{\emptyset F_y} \rightarrow \emptyset = 0.9\ (LRFD)$$

$$S_x = \frac{6210 * 100}{2530 * 0.9} = 273.00\ cm^3$$

Se propone un perfil *IPE 270 x 36*, cuyo módulo de sección $S_x = 420\ cm^3$ supera el requerido, las vigas únicamente trabajan con las cargas gravitacionales que se están tomando en cuenta.

## 2.5 Configuración Estructural.

### 2.5.1 Sistema Resistente a Cargas Gravitacionales (SRCG).

La configuración estructural adoptada para el edificio es un sistema de pórticos no arriostrados, el cual se subdivide en un sistema resistente a cargas gravitacionales SRCG, y un sistema resistente a cargas sísmicas SRCS.

El sistema SRCG consta de una losa en todos los entrepisos y el techo, la cual se compone de una losa estructural (Deck) con placa colaborante de acero fundido en frio sobre la que se funde una losa de hormigón de espesor $e = 5.00\ cm$, medida desde la onda de la placa. Esta membrana absorbe todas las cargas/área que actúan en los pisos, transmitiéndolas a las vigas secundarias, que se encuentran articuladas en las vigas principales con conexiones a cortante.

Las reacciones de las vigas secundarias se transmiten a las principales y estas a las columnas. Inicialmente se puede decir que todo el sistema estructural trabajara a cargas gravitacionales con la secuencia de transmisión de cargas que se está mencionando. Este trabajo gravitacional debe ser elástico en su totalidad, es decir que la energía potencial elástica $E_{pe}$ que los componentes estructurales poseen luego de la acción de las cargas debe liberarse en el momento en el que se descargue la estructura, volviendo todos los elementos a su estado inicial en reposo, esta condición ideal adoptada para el trabajo del SRCG limita el diseño de sus componentes al estado elástico en donde los esfuerzos deben ser proporcionales a las deformaciones.

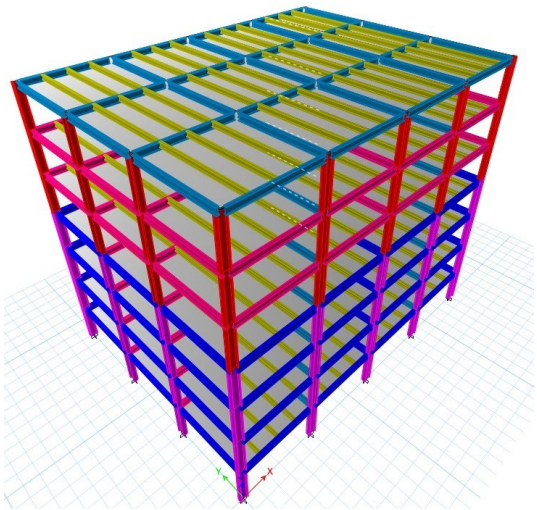


*Ilustración 52. Representación estructural del sistema resistente a cargas gravitacionales (Todos los pórticos tanto los SRCS y SRCG ayudan a resistir las cargas provocadas por la gravedad)*
*Fuente: ETABS*

### 2.5.2 Sistema Resistente a Cargas Sísmicas (SRCS).

Hasta el punto anterior no habría problema para el diseñador en cuanto al análisis de cargas, solicitaciones y diseño estructural. Para edificios que superan los dos pisos, no es suficiente idealizar un SRCG, debido a que empiezan a incidir efectos laterales de viento y sismos.

Debido a que el edifico tiene una altura normal y está emplazado en una zona donde los efectos de viento se pueden despreciar, el único efecto adicional para el cual se debe analizar son los efectos sísmicos.

El SRCS entra a trabajar en el momento en el que un evento sísmico libera energía, provocando que el suelo se desplace a aceleraciones que varían según sus características físico-mecánicas. Estas fuerzas sísmicas son absorbidas por el SRCS, el cual se compone de una estructura rígida que limita el desplazamiento lateral que el edificio puede llegar a tener, así como su periodo de vibración. Este sistema para el presente caso se compone de pórticos especiales a momento de alta capacidad de disipación de energía (PEM), conformado por vigas principales y columnas robustas capaces de absorber una gran cantidad de energía sísmica antes de su fractura.

Las vigas principales y columnas que antes del sismo formaban parte del SRCG, tienen en su interior una gran reserva de absorción de energía (energía elástica y plástica) que se activa en el momento de la acción sísmica, empezando a trabajar como un armazón rígido resistente a cargas laterales SRCS, con una resiliencia y tenacidad que se desempeñaran de acuerdo a la ductilidad diseñada de los miembros y conexiones.

Debido a que no es factible diseñar toda la estructura para que forme parte del SRCS, se dispuso inicialmente la configuración que se observa en los planos estructurales de la *ilustración 51 a la 57*, en donde el sistema sísmico se aísla para el sentido “X” y sentido “Y”, actuando por separado y teniendo conexiones (FR) únicamente en el eje fuerte de las columnas, donde las almas de vigas y columnas son coplanares. La configuración en elevación cambia en relación a las secciones que se utilizan, la adopción de este criterio es que mientras se crece en altura las fuerzas sísmicas disminuyen su magnitud, teniendo el concepto de idealizar los pisos inferiores (hasta piso 4) más rígidos que los superiores, sin una variación muy extensa pues se trata de evitar en lo menor posibles penalizaciones por irregularidad estructural.

Como se puede observar en las ilustraciones, en los pisos 5-6-7, se tiene una configuración diferente a los 4 primeros, sin una varianza significativa. Siendo así estas vigas mencionadas no absorberían ningún efecto sísmico. Los pórticos 2-3 son los más cargados gravitacionalmente, debido a que las vigas secundarias se apoyan sobre las vigas principales de estos pórticos, denominándolos como pórticos cargadores.

Las elevaciones de todos los pórticos se configuran de acuerdo a esta idealización estructural en las plantas. Así mismo el material de los elementos estructurales (vigas-columnas-conexiones) se ha designado A36 para vigas y A572 Gr. 50 para columnas. El material utilizado en las placas se revisa en el capítulo 3 de conexiones.

La configuración que se idealizo en la estructura se mentó bajo el concepto de que una estructura debe ser confiable, práctica y económica, ya que no incide mayormente el trabajo de los componentes estructurales en los pisos superiores ante cargas sísmicas.

Otro concepto que se estudió para esta idealización estructural es el recorrido o secuencia que se busca obtener en el comportamiento general plástico de la estructura. En donde se pretende que las primeras plastificaciones o articulaciones plásticas se desarrollen en las vigas de los pisos superiores y gradualmente hacia los inferiores, hasta las columnas del primer piso (únicas permitidas para presentar este comportamiento) en donde la estructura cumpliría con su desempeño y capacidad máxima de diseño.

### 2.5.3 Perfilería.

Los perfiles que inicialmente se usaran en el análisis de la estructura fueron seleccionados de acuerdo al predimensionamiento de los miembros sometidos solamente a cargas gravitacionales. Esta metodología se optó para componentes que solo forman parte del SRCG, los cuales son:

- Vigas secundarias.
- Vigas principales articuladas (conectores a cortante).
- Para el caso de la losa estructural con placa colaborante se propuso las especificaciones técnicas de *la Tabla 24* de acuerdo a la disposición y separación de las vigas secundarias.

Para el predimensionamiento de los componentes del SRCS:

- Vigas principales con conexiones resistentes a momento.
- Columnas.

Ya que las columnas confluyen en todos los puntos entre las vigas del SRCG y SRCS, todas estas llegan a formar parte del SRCS, es decir que no hay una sola columna en la que solo se conecten vigas articuladas, sino todas las columnas en cualquier dirección reciben a una viga resistente a momento, así mismo las columnas son los componentes estructurales más importantes del SRCS, ya que con su rigidez lateral reducen las distorsiones de piso y el periodo de vibración.

Continuando con el modelo de la estructura se utilizaron los conceptos presentados anteriormente en la configuración estructural del edificio, lo que su se basó en una iteración de prueba-error en el modelo estructural del software ETABS con diferentes dimensiones en las secciones de los miembros, logrando que el periodo fundamental de la estructura tenga una

tolerancia de desfase aceptada en relación al periodo que rige en la NEC en función de la altura, el tipo de sistema estructural y el material.

Los planos estructurales muestran los perfiles utilizados en todas las plantas y elevaciones del edificio, se usaron perfiles comerciales IPN e IPE para vigas y HEB para columnas, que en total dan 5 tipos de secciones diferentes. La configuración de perfilaría que se está utilizando optimiza la cantidad de acero a utilizarse, ya que no se está usando la misma columna en toda la altura, ni la misma viga en todas las plantas, sino se ha definido de acuerdo a la demanda de solicitaciones que debe resistir cada elemento.

Los perfiles utilizados en vigas y columnas, *se muestran en la Tabla 29.*

*Tabla 30. Perfiles laminados para vigas y columnas*

| Elemento Estructural | Perfil | Peso (kg/m) | Área (cm2) |
|---|---|---|---|
| **Vigas** | IPE 270 | 36,10 | 45,90 |
| | IPE 360 | 57,10 | 72,70 |
| | IPE 400 | 66,30 | 84,50 |
| | IPN 450 | 117.98 | 150.3 |
| **Columnas** | HEB 450 | 171,00 | 218,00 |
| | HEB 500 | 187,00 | 238,60 |

*Fuente: Elaboración Propia*

- **Vista en planta del sistema estructural.**

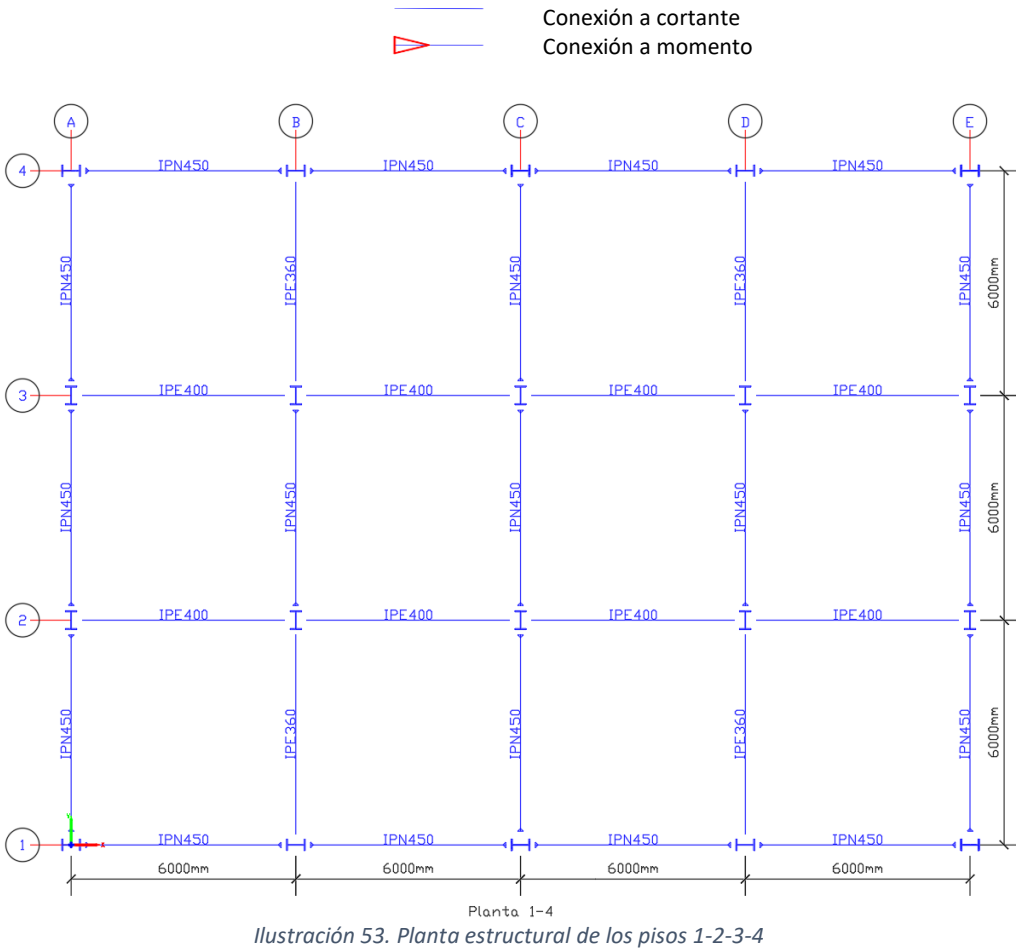



*Ilustración 53. Planta estructural de los pisos 1-2-3-4*
*Fuente: ETABS*

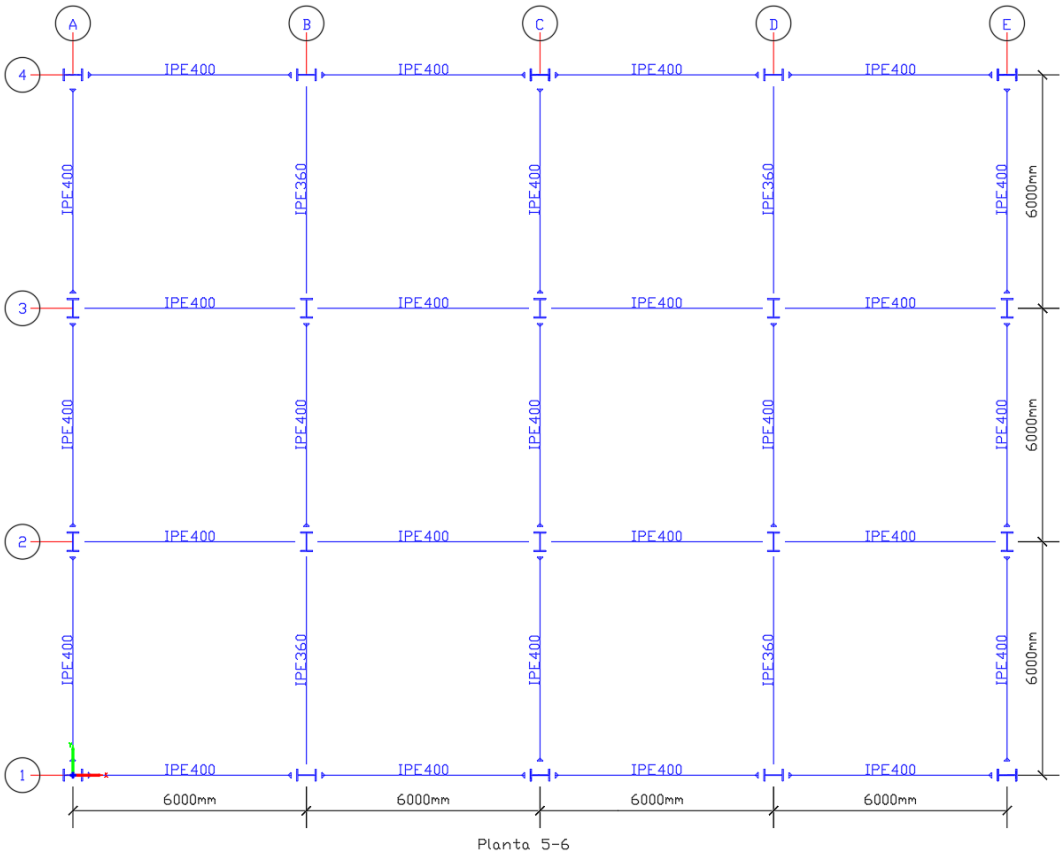
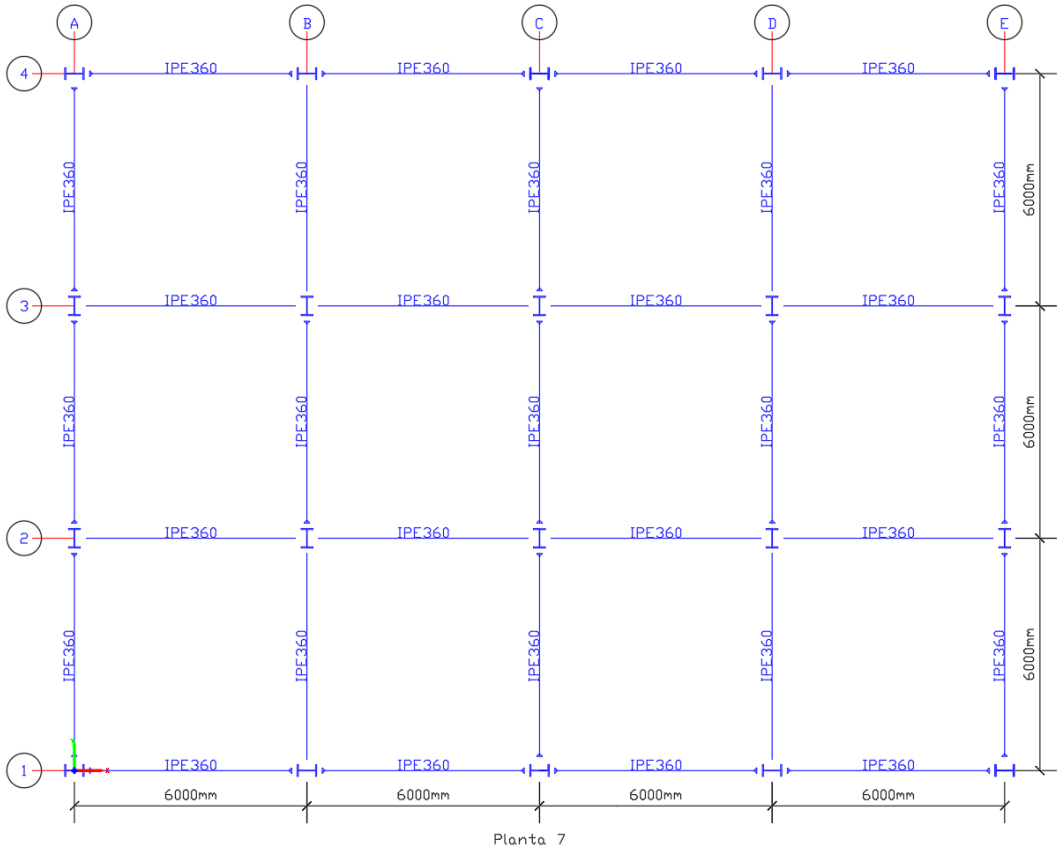



*Ilustración 54. Planta estructural de los pisos 5-6*
*Fuente: ETABS*




*lustración 55. Planta estructural del piso 7*
*Fuente: ETABS*

- **Vista frontal del sistema estructural en el eje Y.**

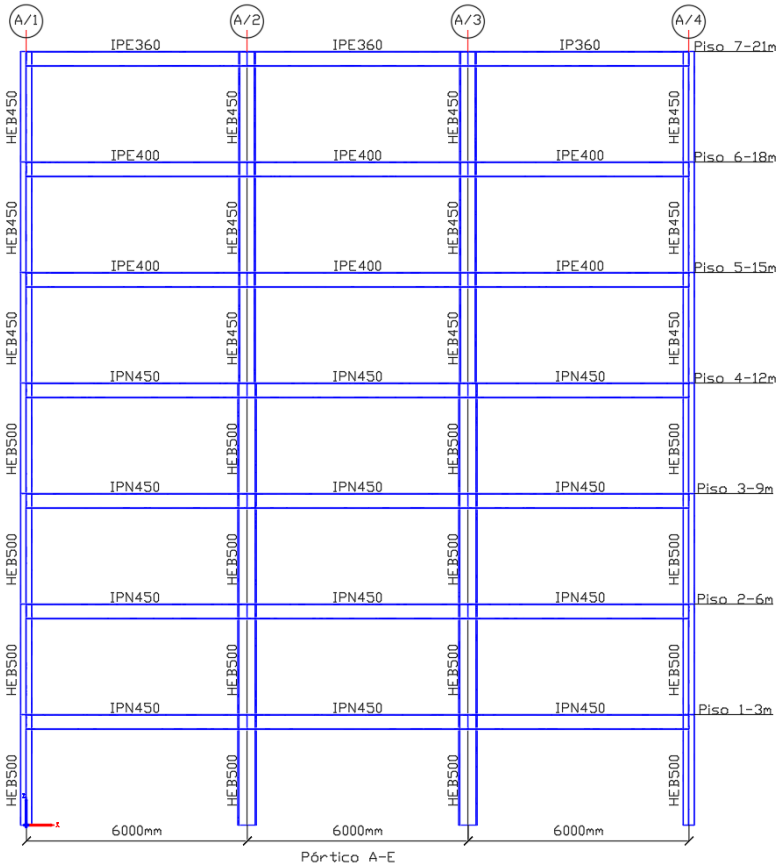



*Ilustración 56. Vista frontal del pórtico A-E*
*Fuente: ETABS*

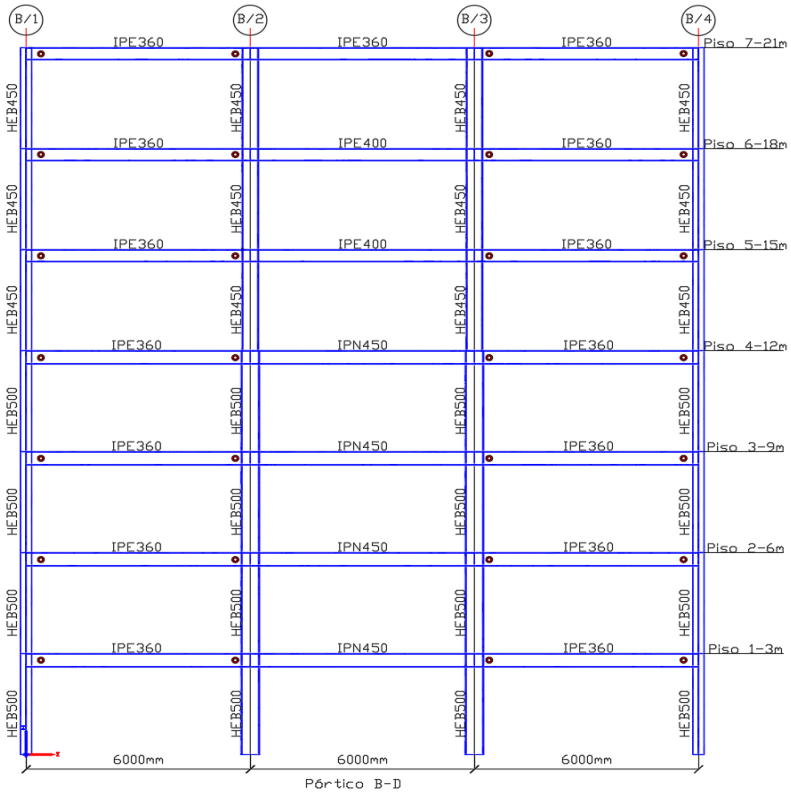



*Ilustración 57. Vista frontal del pórtico B-D*
*Fuente: ETABS*

- **Vista frontal del sistema estructural en el eje Y.**

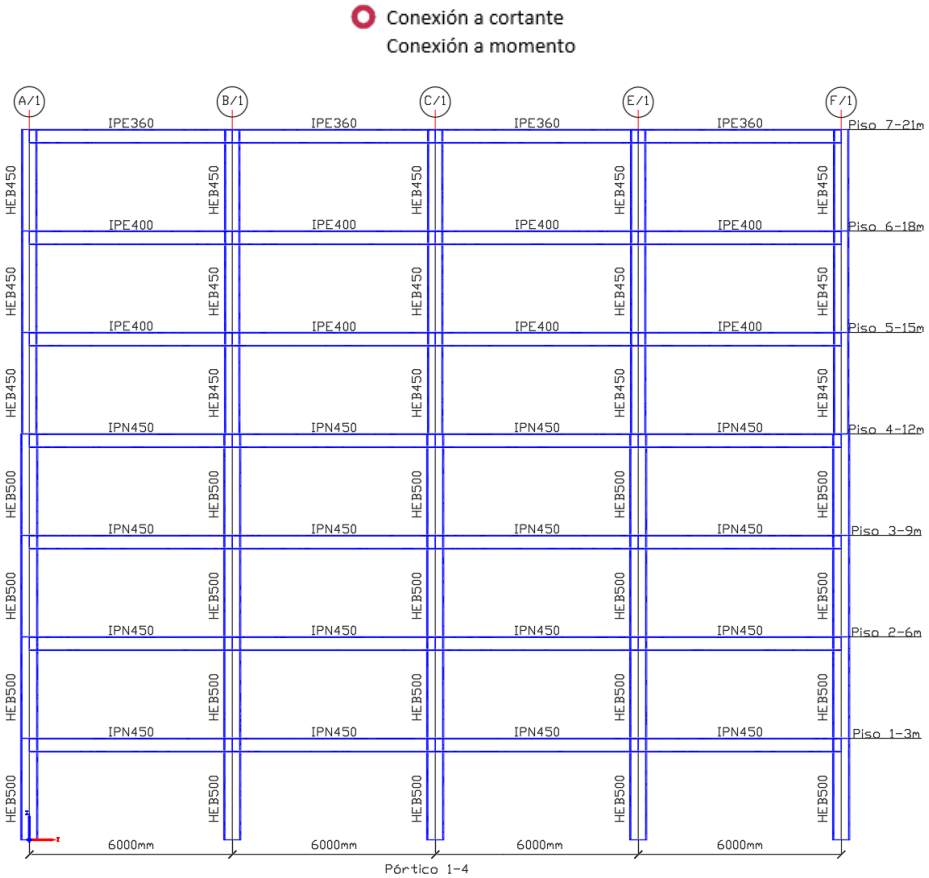



*Ilustración 58. Vista frontal del pórtico 1-4*

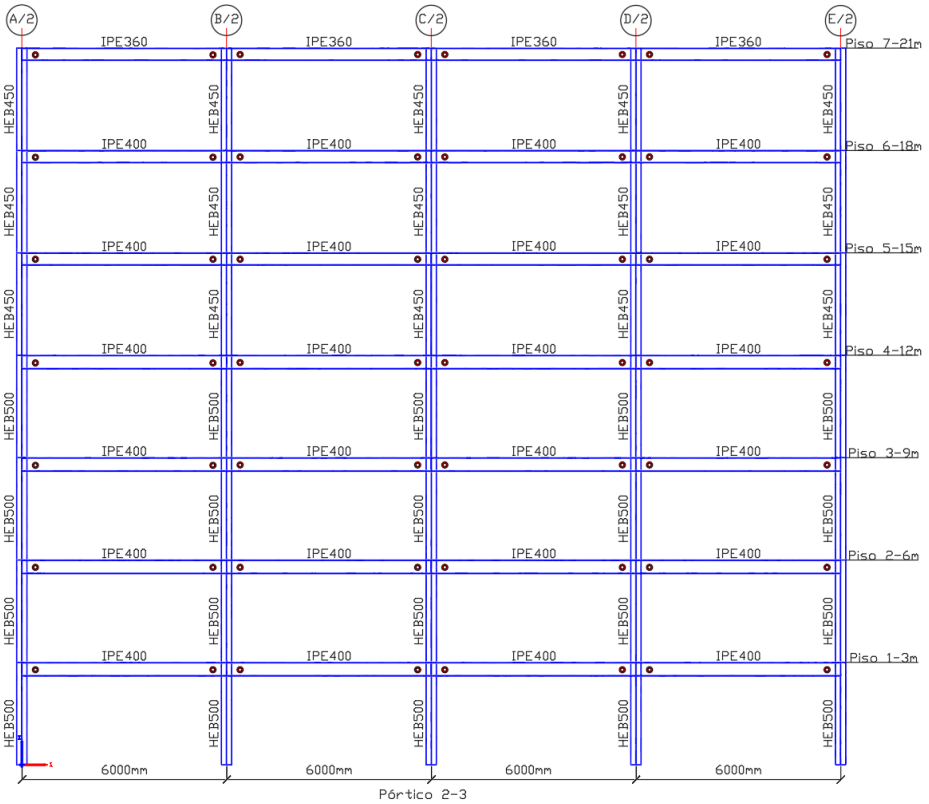



*Ilustración 59. Vista frontal del pórtico 2-3*
*Fuente: ETABS*

## 2.6 Parámetros de Diseño Sismorresistente.

### 2.6.1 Categoría De Diseño Sísmico.

Según la categorización de riesgo de edificios ante cargas sísmicas, el código ASCE-7, cataloga a este caso en particular en Riesgo III, que define a todos loes edificios y estructuras que pueden representar un riesgo sustancial para la vida humana, si es que esta fallara. Esta categoría de riesgo es el factor de importancia de la estructura, en función de la cual el código define una categoría de diseño sísmico de acuerdo a la $S_{DS}$ , que es la pseudoacelracion máxima que se encuentra en la meseta del espectro.

Para este caso la $S_{DS} = 0.87$ que para una categoría de riesgo III, se encuentra en una categoría de diseño sísmico $D$, el cual implica requisitos adicionales para estudios geotécnicos adicionales que se deben realizar. A diferencia de la NEC, que únicamente categoriza a las estructuras según el uso a la cual está destinada, de acuerdo a un factor de importancia, que demanda el tipo de análisis estructural que se debe emplear, con una particularidad para los suelos tipo F, en los cuales se pide una caracterización sísmica del perfil del suelo para obtener la respuesta ideal de ese punto específico, así como un análisis Push-over. Como se estipula anteriormente para este caso que el factor de importancia es $I_e = 1.00$, se utiliza la respuesta sísmica de acuerdo a la microzonificación sísmica que estipula la NEC, siendo la PGA una función directa del factor $Z$, sin necesidad de utilizar las curvas de peligro sísmico, que se utilizan únicamente para estructuras de mayor factor de importancia.

Así mismo para este caso en particular el análisis estructural debe ser únicamente elástico-estático, pero para fines investigativos y resultados que se buscan en el presente proyecto se va a realizar el análisis del modal espectral y Push-over.

### 2.6.2 Factores De Desempeño Sísmico.

Los siguientes parámetros de diseño, son tomados de la NEC, y algunos que no dispone la norma local se toman de la norma colombiana NSR-10, que a la vez son datos derivados del código ASCE 7-10.

La NEC-SE-AC, divide a los pórticos PEM en dos tipos:

- Tipo 1: todos sus pórticos (interiores y exteriores) son diseñados como PEM.
- Tipo 2: solo sus pórticos perimetrales se diseñan como PEM.

- **Factor de amplificación de desplazamientos (Cd).**

La variable $C_d$ corrige la deriva lateral que va a tener el edificio al rebasar el rango elástico de la estructura, el cual se obtuvo según *la ilustración 14*. La NEC, solo contempla el factor $R$, por lo que los otros factores se toman de las especificaciones ASCE/SEI -16, como dispone que se lo haga el código ecuatoriano. *La ilustración 14*, explica gráficamente el comportamiento mecánico de los factores de desempeño. El factor de amplificación de desplazamientos (Cd) empleado para este análisis será de 5.50.

- **Factor de sobrerresistencia (Ωo).**

El factor de sobrerresistencia ($\Omega_0$) permite el diseño de componentes estructurales que no deben esforzarse plásticamente, para salvaguardar la estabilidad de la estructura, como en el

caso de las conexiones, en donde el efecto sísmico considera la sobrecarga $E_{mh} = E\ \Omega_0$. A este efecto se le considera como acción sísmica con sobrerresistencia. *La Tabla 30,* se puede ver que para el sistema de pórticos de acero resistentes a momentos PEM, por sus siglas en inglés (DES), el valor de $\Omega_0$ es 3.00.

*Tabla 31. Factores de desempeño sísmico para pórticos PEM*

| C. SISTEMA DE PÓRTICO RESISTENTE A MOMENTOS | | Valor $R_0$ (Nota 2) | Valor $\Omega_0$ (Nota 4) | zonas de amenaza sísmica | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Alta | | Intermedia | | baja | |
| Sistema resistencia sísmica (fuerzas horizontales) | Sistema resistencia para cargas verticales | | | uso permit | altura máx. | uso permit | altura máx. | uso permit | altura máx. |
| **1. Pórticos resistentes a momentos con capacidad especial de disipación de energía (*DES*)** | | | | | | | | | |
| **a**. De concreto (*DES*) | el mismo | **7.0** | **3.0** | si | sin límite | si | sin límite | si | sin límite |
| **b**. De acero (*DES*) | el mismo | **7.0** (Nota-3) | **3.0** | si | sin límite | si | sin límite | si | sin límite |
| **c**. Mixtos | Pórticos de acero o mixtos resistentes o no a momentos | **7.0** | **3.0** | si | sin límite | si | sin límite | si | sin límite |
| **d**. De acero con cerchas dúctiles (*DES*) | Pórticos de acero resistentes o no a momentos | **6.0** | **3.0** | si | 30 m | si | 45 m | si | sin límite |

*Fuente: NSR-10*

- **Factor de modificación de respuesta R.**

En el caso particular de este estudio, la configuración estructural pertenece al tipo 2 y según el mismo código, explica que, en la práctica generalizada en los EEUU de este sistema estructural, el factor R a tomarse es 8, *como se indica en la Tabla 13*, pero este valor del factor de respuesta no adoptaremos, debido que estamos considerando que ese valor es demasiado elevado.

Para efectos de este estudio, se tomará el factor R de la NSR-10 que se obtiene de la siguiente ecuación, corrigiendo efectos de regularidad geométrica del edificio y redundancia del mismo (Conexiones rígidas).

$$R = \phi_a \phi_p \phi_r R_0$$

- La irregularidad en altura $(\phi_a)$ y la irregularidad en planta $(\phi_p)$.

  Debido a que el sistema estructural en altura y en planta es la misma en todos los pisos, las variables irregularidad son la unidad: $\phi_a = \phi_p = 1.00$.

- La ausencia de redundancia $(\phi_r)$.

  Para sistemas PEM, con componentes estructurales dúctiles se designa un valor de $\phi_r = 1.00$, cuando los pisos que resistan más del 35% del corte basal (en la dirección de estudio) cumplan la siguiente condición de redundancia:

  Las conexiones viga-columna en ambos extremos de una viga, deben trabajar a una capacidad máxima del 77% ante fuerzas horizontales equivalentes sísmicas, y no debe haber irregularidad torsional en planta. De lo contrario el valor debe ser de $\phi_r = 0.75$.

  Para la consideración inicial de redundancia en el análisis, la norma permite utilizar el valor de la unidad, si en los pisos que resisten más del 35% del corte basal $V_S$, haya regularidad en planta y tengan por lo menos dos vanos compuestos por el sistema estructural definido (PEM). En el presente caso se cumple con este parámetro, por lo que $\phi_r = 1.00$.

*La Tabla 30,* se puede ver que para el sistema de pórticos de acero resistentes a momentos PEM, por sus siglas en inglés (DES), el valor de $R_0$ es 7.00.

La nota 3 indica que, en estructuras de acero, donde que, para el montaje de la misma, las uniones son soldadas en obra, el valor de $R_0$ debe multiplicarse por 0.90. Esto nos da un valor de $R_0 = 6.30$, que debería ser el valor escogido según las recomendaciones de la norma NSR-10, sin embargo, la NEC basada directamente en el código ASCE-7, propone para un pórtico PEM de acero utilizar un factor $R_0 = 8.00$, que puede resultar en un diseño subdimensionado al ser un factor excesivamente alto.

$$Factor\ de\ modificacion\ de\ respuesta\ escojido\ para\ el\ diseño \rightarrow R_0 = 6.30$$

Para efectos del proyecto se escogerá el factor de $R_0 = 6.30$, que siguiendo las disposiciones de la NSR-10, resulta conservador y más aún en nuestro entorno local donde no se tiene un control de calidad tan estricto en los materiales como lo tiene EEUU.

Tras este análisis de los factores de desempeño y regularidad estructural, en los que se debió ahondar con mayor énfasis, debido a que su estudio conduce a una de las conclusiones de este trabajo, pues en el análisis Push-over que se realizara luego del diseño sísmico, se comprobara si en realidad la estructura se desempeña sísmicamente con los parámetros impuestos.

Los demás parámetros de análisis sismorresistente son tomados directamente de la NEC-SE-DS que, para este caso en específico, según el punto de emplazamiento de la estructura que se describe al inicio del proyecto, los valores evaluados no se estudiarán a profundidad, sino queda a consideración del lector su revisión y entendimiento de los mismos.

### 2.6.3 Factor de redundancia.

En los diseños sísmicos de sistemas estructurales la redundancia es un factor importante, ya que indica la relación de la configuración estructural con respecto a la posibilidad de colapso de sus elementos, de esta manera ocasionaría la disipación de energía de la estructura evitando la concentración de daño y la reducción de desplazamientos.

El valor de la redundancia de 1.00 es más empleado en estructuras de categorías de diseño sísmico B o C. En cambio, el valor ρ = 1.3, son para categorías de diseño sísmico D, E o F, que sería nuestro caso particular, este valor de redundancia de 1.3, tiene la finalidad de aumentar el efecto sísmico que se produce, este valor indica que las conexiones puedan tener una perdida en su resistencia produciendo un 33% de reducción en la resistencia lateral del piso.

*Tabla 32. Parámetros de análisis sismorresistente*

| **Parámetros sismorresistentes** | |
|---|---|
| Zona Sísmica | 2 |
| Factor de Zona, Z | 0.25 |
| Factor de importancia, $I_e$ | 1 |
| Tipo de perfil del suelo | D |
| Coeficiente de reducción de respuesta sísmica, R | 6.3 |
| Factor de sobrerresistencia, $\boldsymbol{\Omega_0}$ | 3 |
| Factor de amplificación de deflexiones, Cd | 5.5 |
| Factor de redundancia ($\boldsymbol{\rho}$) en "X" y "Y" | 1.3 |
| Tr (periodo de retorno en años, sismo de diseño) | 475 |
| $\boldsymbol{\xi}$ (Relación de amortiguamiento critico de una estructura de acero) | 5% |

*Fuente: Elaboración Propia*

## 2.7 Espectro Elástico de Diseño.

El movimiento sísmico de diseño se define en función de la aceleración máxima (PGA) que puede tener la roca en el sitio de emplazamiento de la estructura, según el factor Z y otros factores que amplifican las ordenadas del espectro en función del tipo de suelo para periodos cortos $F_a$, periodos medios $F_d$, y una modificación del comportamiento no lineal que tiene el perfil del suelo $F_s$.

La ordenada del espectro $S_a$, valora la pseudo-aceleración de diseño para el periodo de vibración fundamental que tiene la estructura en sus dos sentidos ortogonales al eje vertical de la misma, evaluada como un sistema de un grado de libertad y una masa única total, la cual se expresa como un módulo del vector gravedad.

Debido a que la ocupación de la estructura es de uso residencial, el factor Z define el PGA esperada en la roca del sitio de emplazamiento de la estructura, que en este caso particular es la ciudad de Cuenca, ya que no existe un estudio de microzonificación sísmica en la ciudad, sin la necesidad de usar las curvas de peligro sísmico para el periodo T de la estructura, pues las curvas solo aplican para estructuras especiales y esenciales.

Según la NEC-SE-DS, los factores y el cálculo de la Sa para el caso de estudio se presentan-.

*Tabla 33. Espectro de diseño*

| **Parámetros del espectro de diseño** | |
|---|---|
| $\boldsymbol{F_a}$ | 1.40 |
| $\boldsymbol{F_d}$ | 1.45 |
| $\boldsymbol{F_s}$ | 1.06 |
| $\boldsymbol{H}$ | 2.48 |
| $\boldsymbol{S_{DS}}$ (meseta) | 0.87 |
| $\boldsymbol{T_a}$ | 0.82 |
| $\boldsymbol{T_o}$ | 0.11 |
| $\boldsymbol{T_c}$ | 0.60 |
| $\boldsymbol{R}$ | 6.30 |
| $\boldsymbol{S_a(T_a)}$ | 0.548 |

*Fuente: Elaboración Propia*

Para la evaluación de los dos modos fundamentales de vibración en las direcciones X-Y se debe utilizar la ordenada de la respuesta estática (línea interpunteada), *como se muestra en la ilustración 58*, para el periodo de vibración fundamental de la estructura calculada en función de la altura, sistema estructural y material, que para este caso es $T_a = 0.82\ s$ dando una pseudo-aceleración de diseño sin reducción y reducida $S_a(T_a) = 0.55,\ S_r(T_a) = 0.08$ respectivamente.

Mientras que para modos de vibración diferentes al fundamental se puede evaluar con el primer ramal de la gráfica en la respuesta del análisis modal (línea continua) con periodos $T_a < T_0$, que para este caso particular no lo es.

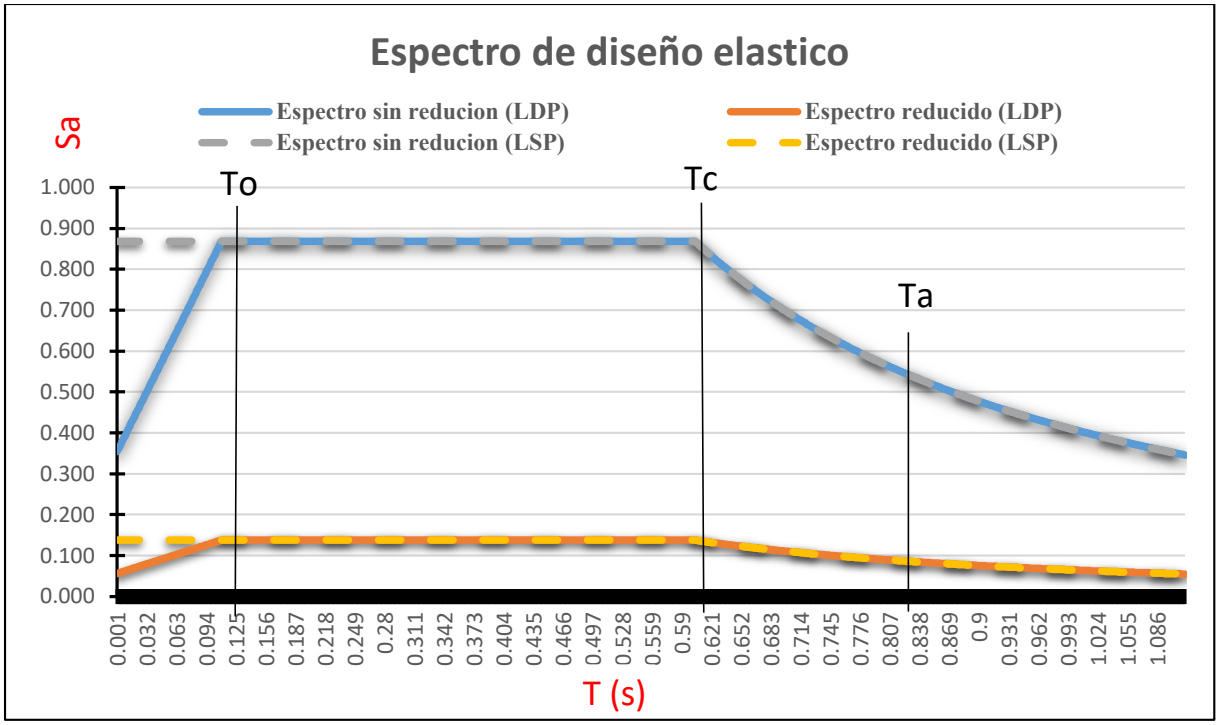



*Ilustración 60. Espectro de diseño elástico, Tr = 475 años*
*Fuente: Elaboración Propia*

## 2.8 Análisis Basado en Fuerzas.

Este método se puede utilizar cuando la estructura es regular, tanto en planta, como en altura, que en nuestro caso se cumple con esta condición en términos geométricos, mecánicos, y dinámicos, pues la masa de la estructura en cada piso es la misma, con una pequeña diferencia en el piso 7 donde se dispondrá la cubierta, así también la rigidez de los componentes estructurales entre vigas y columnas no varían significativamente en ningún piso, por lo que la rigidez de los pisos superiores al piso en análisis cumple con la condición que debe ser igual o menos rígido, en este caso particular las rigideces laterales de los pisos no varían en toda su altura debido a que el edificio se idealizo doblemente simétrico, por lo tanto el centro de masas coincidirá con el centro de rigideces $CM \approx CR$.

Posteriormente se realizará un análisis dinámico modal mediante el software ETABS, para contrarrestar y chequear resultados.

Aunque la norma permite un análisis estático lineal para edificios de ocupación normal, se realizarán análisis no lineales, que se exige para estructuras de ocupación especial, esencial y para las que se encuentran sobre perfiles de suelo tipo F.

Debido a los propósitos que tiene este estudio los análisis no lineales mediante ETABS que se realizara posteriormente y contrarrestara resultados son:

- Análisis modal dinámico.
- Análisis Push-over.

### 2.8.1 Análisis Estático Lineal.

El análisis se realizará para el modo de vibración fundamental de la estructura, en los sentidos “X” y “Y”, respectivamente.

*2.8.1.1 Periodo Fundamental de Vibración ($T_a$) en Dirección X & Y.*

**a. METODO 1.**

$$T_a = Ct * {h_T}^{\alpha} \quad (42)$$

$$T_a = 0.82s$$

Donde:

- $h_T = 21\ m \rightarrow Altura\ del\ edificio$
- $C_t = 0.072 \rightarrow Coeficiente\ estructural\ para\ sistemas\ de\ acero\ sin\ arrostramientos$
- $\alpha = 0.80 \rightarrow Coeficiente\ estructural\ para\ sistemas\ de\ acero\ sin\ arrostramiento$

*2.8.1.2 Cortante Basal de Diseño y Coeficiente Sísmico.*

Los datos requeridos para el cálculo del coeficiente sísmico ($C_s$), *se encuentran en la Tabla 32*, donde la aceleración espectral Sa para el periodo fundamental de la estructura $T_a = 0.82\ s$ calculada con el método 1, se encuentra en la gráfica del espectro de diseño después de la meseta (PGA), dando una aceleración espectral $S_a(T_a) = 0.55$, *cómo se puede observar en la ilustración 58*. Los datos son los mismos para las direcciones X-Y debido a que el periodo fundamental corresponde a ambas direcciones.

Para el cálculo de la carga sísmica reactiva no influye el método de análisis utilizado, según la NEC para casos generales excepto bodegas, o pisos de alta demanda, el peso se calcula como:

$$W_i = D \rightarrow Carga\ sismica\ reactiva$$

En el resumen de cargas se tienen los datos necesarios para su cálculo, con las medidas perimetrales del edificio (largo-ancho), que son A = 24.00 m y B = 18.00 m. El área de todos los pisos es de 432.00 m$^2$.

$$A\ \times B = 24 * 18 = 432.00\ m^2$$

$$W_{i_{piso_{1-4}}} = 0.554 * 432 = 239.33\ ton$$

$$W_{i_{piso_5-6}} = 0.547 * 432 = 236.30\ ton$$

$$W_{i_{piso_7}} = 0.339 * 432 = 146.49\ ton$$

$$W_{TOTAL} = 239.33 * 4 + 236.30 * 2 + 146.49 * 1 = 1576.41\ ton$$

- **Coeficiente Sísmico y Cortante Basal Estático Total en la Base.**

$$C_s = \frac{I_e * S_a(T_a) * T_a}{R} \quad (43)$$

$$C_s = \frac{1 * 0.548 * 0.82}{6.3}$$

$$C_s = 0.071 = 7.13\%$$

Según recomendaciones del ASCE, el coeficiente sísmico $C_s$ no puede ser mayor al 30%, por lo que el valor es aceptable.

- **Coeficiente Sísmico y Cortante Basal Estático Total en la Base.**

$$V_d = C_s * W_i \tag{44}$$

$$V_d = 0.071 * 1576.41$$

$$V_d = 112.4\ ton$$

*2.8.1.3 Distribución Vertical de Fuerzas Sísmicas Laterales.*

Se distribuye de acuerdo a la rigidez de cada piso en función del factor K. Esta distribución debe coincidir con el análisis modal dinámico, teniendo una variación de máximo 10%.

$$V_d = \sum_{i=1}^{n} F_i \rightarrow V_x = \sum_{i=x}^{n} F_i \tag{45}$$

$$F_x = \frac{W_x h_x^k}{\sum_{i=n}^{n} W_i h_i^k} V_d \tag{46}$$

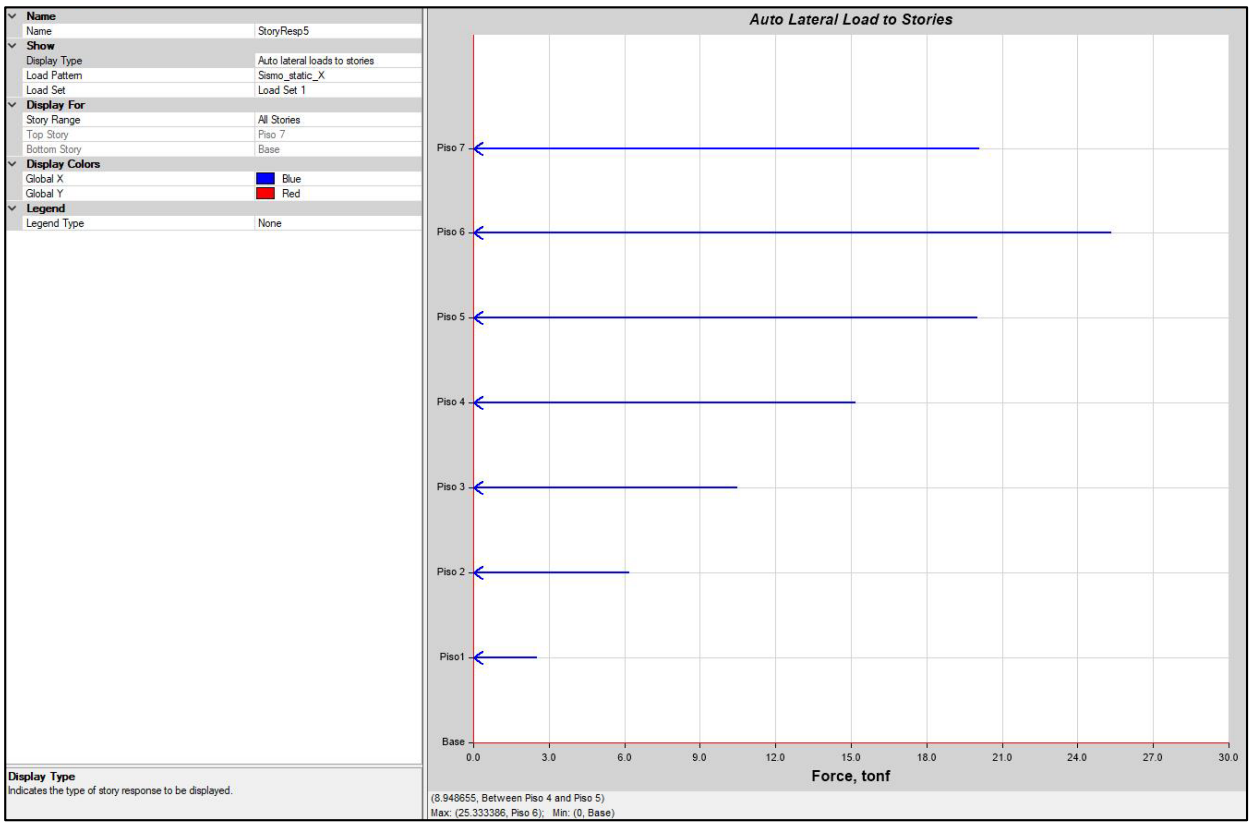



*Ilustración 61. Distribución de fuerzas laterales sísmicas, Sentido X*
*Fuente: ETABS*

- **Determinación del factor k.**

$$k = 0.75 + 0.5T_a \tag{47}$$

$$k = 0.75 + 0.5 * 0.82 = 1.16$$

- **Distribución Vertical de Fuerzas Laterales Estáticas**

*Tabla 34. Distribución de fuerzas laterales estáticas en el sentido X-Y*

| PISO | $Nivel\ (m)$ | $Area\ (m^2)$ | $h_x\ (m)$ | $W_x\ (ton)$ | $W_x h_x{}^k\ (ton \times m)$ | $F_x\ (ton)$ | $V_x\ (ton)$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Planta Baja** | Nv. + 00.00 | 432 | 0 | 0 | 0 | 0 | 113 |
| **PISO 1** | Nv. + 03.25 | 432 | 3 | 239 | 856 | 4 | 113 |
| **PISO 2** | Nv. + 07.50 | 432 | 6 | 239 | 1913 | 8 | 109 |
| **PISO 3** | Nv. + 10.75 | 432 | 9 | 239 | 3061 | 13 | 101 |
| **PISO 4** | Nv. + 14.00 | 432 | 12 | 239 | 4274 | 18 | 89 |
| **PISO 5** | Nv. + 17.25 | 432 | 15 | 236 | 5467 | 23 | 71 |
| **PISO 6** | Nv. + 20.50 | 432 | 18 | 236 | 6754 | 28 | 48 |
| **PISO 7** | Nv. + 22.75 | 432 | 21 | 146 | 5007 | 21 | 21 |
| **TOTAL** | | 3456 | 21 | 1576 | 27332 | 113 | |

*Fuente: Elaboración Propia*

Como se puede *observar en la ilustración 60*, el cortante basal estático que el software calcula es igual al calculado manualmente *en la Tabla 33*. El análisis se realiza con el método estático, aplicando las fuerzas laterales independientemente en el sentido X-Y, lo que resulta en el mismo resultado.

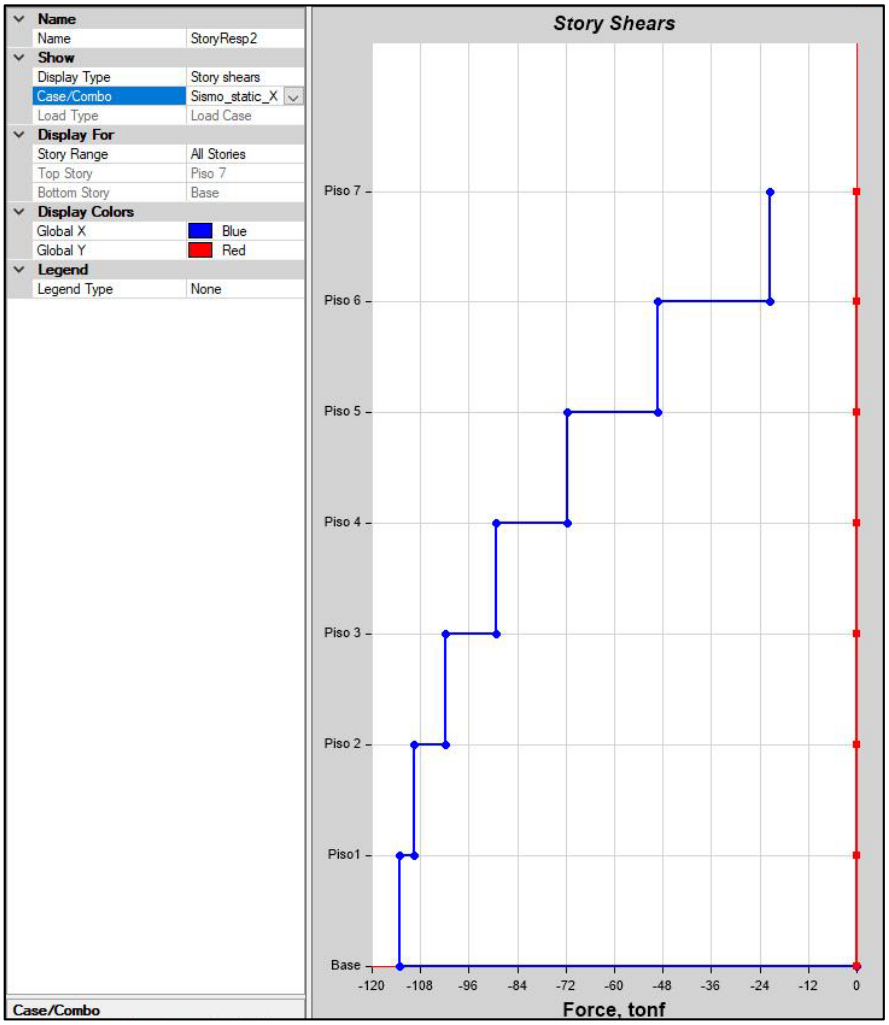



*Ilustración 62. Cortante Basal en Sentido X*
*Fuente: Elaboración Propia*

### 2.8.2 Análisis Modal Espectral.

Para definir las cargas sísmicas estáticas en el análisis modal, se introduce el coeficiente sísmico en ambas direcciones (“X” e “Y”) $C_s = 0.071$, así como el coeficiente k = 1.16 que distribuye las cargas laterales en proporción a las rigideces de los pisos.

*2.8.2.1 Periodos de vibración.*

Los periodos de vibración fundamentales, determinados por análisis modal en las direcciones “X” e “Y” son: Dirección X = 1.083 y Dirección Y = 0.985. Existe una similitud entre los periodos de vibración en ambas direcciones, debido a que los componentes estructurales están distribuidos de tal manera que el sistema tiene una similar rigidez en la dirección “X” e “Y”.

De acuerdo a la NEC el periodo calculado con el método 1, *descrito en el Ítem 2.8.1.1*, debe ser revisado con los periodos fundamentales del análisis modal, con la condición de que el periodo calculado en el análisis modal, no debe ser mayor que el 130% del método 1, como se puede observar que se cumple en el siguiente gráfico, donde se recalcula el coeficiente sísmico y el coeficiente k.

*Tabla 35. Periodos de vibración estático y dinámico*

| Periodo estructura | | $k$ | $S_a(T_a)$ | $C_s$ |
|---|---|---|---|---|
| **Ta (Método 1)** | 0.82 | 1.16 | 0.549 | 0.072 |
| **T Modal X** | 1.083 | 1.29 | 0.361 | 0.062 |
| **T Modal Y** | 0.985 | 1.24 | 0.417 | 0.065 |
| **T máx** | 1.07 | 1.28 | 0.370 | 0.063 |

*Fuente: Elaboración Propia*

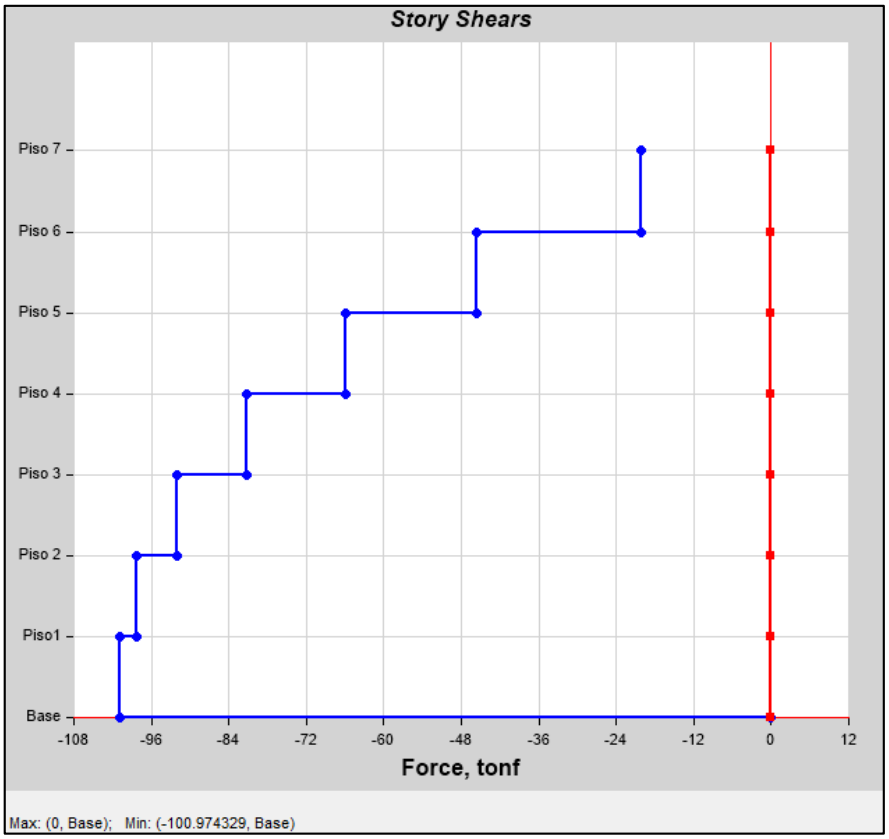



*Ilustración 63. Cortante basal estático corregida, Dirección X*
*Fuente: ETABS*

Una vez corregido el coeficiente sísmico $Cs$ y $k$, se reevalúa la cortante basal, dando la siguiente distribución con una basal total de $V_d = 100\ ton$ evaluada en la dirección "X", debido a que, por ser la dirección menos rígida, es el modo que rige en la estructura.

### *2.8.2.2 Ajuste Del Corte Basal Dinámico.*

La NEC-SE-DS indica que la fuerza cortante dinámica total en la base obtenida por el análisis dinámico, no debe ser: < 80% del cortante basal obtenido por el método estático $(V_E)$.

$$V_D = 0.8 * V_E \tag{48}$$

$$V_D = 0.8 * 104.02 = 83.216$$

*Como se puede ver en la Tabla 33*, la basal en las direcciones "X" e "Y" son semejantes, por lo que el factor de ajuste dinámico $(f)$ será igual en ambas direcciones.

$$f = \frac{V_{dinamico.base}}{V_D} \tag{49}$$

$$f = \frac{79.75}{83.216} = 1.01$$

La cortante basal y su distribución vertical en los pisos, corregidas con el factor de corrección dinámico $f$ y definitivas se presentan en la siguiente tabla:

*Tabla 36. Distribución horizontal del Cortante Basal en pisos*

| PISO | ESTATICO | | DINAMICO | | DINAMICO * f | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | $V_x(ton)$ | $V_y(ton)$ | $V_x(ton)$ | $V_y(ton)$ | $V_x(ton)$ | $V_y(ton)$ |
| **Piso 7** | -20.2112 | -20.7541 | 20.2247 | 21.0687 | 20.4269 | 21.2793 |
| **Piso 6** | -45.7064 | -47.1368 | 37.8374 | 41.1931 | 38.2158 | 41.6048 |
| **Piso 5** | -65.8582 | -68.181 | 49.1923 | 55.12 | 49.6842 | 55.6709 |
| **Piso 4** | -81.3368 | -84.5264 | 58.3529 | 66.3557 | 58.9365 | 67.0189 |
| **Piso 3** | -92.0379 | -95.9905 | 67.2347 | 76.4997 | 67.9071 | 77.2643 |
| **Piso 2** | -98.3805 | -102.9245 | 75.0879 | 84.8633 | 75.8388 | 85.7115 |
| **Piso1** | -100.9743 | -105.8602 | 79.7597 | 89.6015 | 80.5573 | 90.4971 |
| **BASE** | -100.9743 | -105.8602 | 79.7597 | 89.6015 | 80.5573 | 90.4971 |

*Fuente: Elaboración Propia*

### *2.8.2.3 Numero de Modos de Vibración De La Estructura.*

Una hipótesis de diseño es definir los pisos como diafragmas rígidos para buscar que el desplazamiento en todos los nudos de un piso sea igual. De este concepto los grados de libertad de traslación y rotación se reducen a $3 \times piso$, resultando un total de 21 grados de libertad que a la vez equivale a 21 modos diferentes en que puede vibrar esta estructura en particular. *En el Tabla 37*, se puede ver los modos de vibración del primer piso, siendo los dos primeros traslacionales en la dirección "X" e "Y", y el tercero rotacional con respecto a "Z".

La NEC-SE-DS define que del total de modos de vibración de la estructura, solo se consideren en el análisis dinámico los modos que involucren la participación de una masa modal

acumulada de al menos el 90% de la masa total de la estructura, en cada una de las direcciones horizontales principales consideradas. En este caso en el modo 5 presenta esta condición.

*Tabla 37. Participación acumulada de masas en las direcciones principales*

| Case | Mode | Periodo (s) | Sum UX | Sum UY |
|---|---|---|---|---|
| **Modal** | 1 | 1.065 | 76.6% | 0.0% |
| **Modal** | 2 | 0.91 | 76.6% | 76.4% |
| **Modal** | 3 | 0.699 | 76.6% | 76.4% |
| **Modal** | 4 | 0.375 | 89.2% | 76.4% |
| **Modal** | 5 | 0.319 | 89.2% | 89.2% |
| **Modal** | 6 | 0.248 | 89.2% | 89.2% |
| **Modal** | 7 | 0.191 | 94.3% | 89.2% |
| **Modal** | 8 | 0.162 | 94.3% | 94.3% |

*Fuente: ETABS*

*2.8.2.4 Modos traslacionales y rotacionales.*

- **Torsión en Planta.**

Del análisis modal se puede observar que, en los tres modos fundamentales de la estructura, las masas se mueven en las direcciones "X" e "Y", predominando la disipación de energía en modos traslacionales, verificando que la estructura no es sensible a efectos torsionales, debido a su regularidad geométrica en planta y altura.

Esta revisión no se encuentra normada, pero debe ser revisado, ya que el efecto torsional no puede ser el fundamental en la estructura, pues los elementos periféricos del SRCS en este caso particular están dispuestos y dimensionados para que su rigidez resista cargas o desplazamientos laterales. Se recomienda que los efectos torsionales en los dos primeros modos de vibración fundamentales, sean < 30%, asegurando el desplazamiento de la estructura en los periodos fundamentales de la estructura. El tercer modo es totalmente torsional.

*Tabla 38. Porcentaje de participación de masa en análisis Modal*

| Case | Mode | Dirección | Periodo (seg) | UX | UY | RZ | Modo de vibración predominante |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Modal** | 1 | → | 1.083 | 76.9% | 0.00% | 0.00% | Traslacional |
| **Modal** | 2 | ↑ | 0.985 | 0.00% | 77.7% | 0.00% | Traslacional |
| **Modal** | 3 | ↻ | 0.736 | 0.00% | 0.00% | 77.98% | Rotacional |

*Fuente: ETABS*

*2.8.2.5 Derivas de Piso.*

Las derivas inelásticas máximas de piso ($\Delta_M$), se obtienen multiplicando la deriva elástica ($\Delta_E$) por al factor de desempeño sísmico ($C_d$), el cual se analizó anteriormente. En esta parte hay una diferencia en la ecuación de cálculo para la deriva de piso inelástica entre la NEC y el código ASCE-7, para fines comparativos del presente proyecto se analizará con ambas normativas. El análisis se realiza únicamente en el sentido "X", debido a la similitud del movimiento en las dos direcciones principales.

- **Límites de derivas de pisos.**

Para estructuras metálicas la NEC establece un valor de 0.02 como la deriva máxima que puede tener la estructura, mientras que el código ASCE-7 se remite en la categoría de riesgo sísmico que en este caso es III, para la cual la deriva máxima es la misma que la NEC.

Adicionalmente, de acuerdo a la categoría de diseño sísmico D, el ASCE especifica dividir la deriva máxima permitida sobre la redundancia $(\rho)$, por lo que el chequeo de derivas se controlara bajo esta especificación. Donde $h_i = 3.00\ m$ es la altura de entrepiso.

$$\Delta_{M_max} = \frac{0.02 h_i}{\rho} \quad (50)$$

$$\Delta_{M_max} = \frac{0.02 * 3000}{1.3} = 46\ mm$$

$$\Delta_M = 0.75 R \Delta_E \rightarrow NEC - 15 \quad (51)$$

$$\Delta_M = \frac{\Delta_E C_d}{I} \rightarrow ASCE - 7 \quad (52)$$

*Tabla 39. Derivas elásticas de piso*

| Piso | Load Case/Combo | Dirección | Deriva elástica | Deriva inelástica NEC | Deriva inelástica ASCE | Δ NEC (mm) | Δ ASCE (mm) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Piso 7** | Sismo_static_X | X | 0.001306 | 0.00617 | 0.00718 | 18.51 | 21.55 |
| **Piso 6** | Sismo_static_X | X | 0.001767 | 0.00835 | 0.00972 | 25.05 | 29.16 |
| **Piso 5** | Sismo_static_X | X | 0.001979 | 0.00935 | 0.01088 | 28.05 | 32.65 |
| **Piso 4** | Sismo_static_X | X | 0.001892 | 0.00894 | 0.01041 | 26.82 | 31.22 |
| **Piso 3** | Sismo_static_X | X | 0.001971 | 0.00931 | 0.01084 | 27.94 | 32.52 |
| **Piso 2** | Sismo_static_X | X | 0.001866 | 0.00882 | 0.01026 | 26.45 | 30.79 |
| **Piso1** | Sismo_static_X | X | 0.001108 | 0.00524 | 0.00609 | 15.71 | 18.28 |
| **Base** | Sismo_static_X | X | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 0.00 |

*Fuente: ETABS*

*Como se observa en la Tabla 38*, todas las derivas calculadas con ambos códigos se encuentran dentro del rango permisible $\Delta < 46\ mm$.

*2.8.2.6 Momentos torsionales horizontales y torsión accidental.*

Según la NEC-SE-DS, la masa de cada nivel debe concentrarse en el centro de masas de cada piso con una excentricidad igual al 5% de la dimensión máxima del edificio perpendicular a la dirección de las fuerzas laterales, con el fin de tomar posibles efectos de momentos torsionales horizontales. De igual manera, las cargas laterales sísmicas estáticas deben aplicarse en el centro del edificio más una excentricidad del 5% en dirección perpendicular a la línea de aplicación de las cargas, para generar posibles torsiones accidentales que puede tener la estructura. En el modelo se introdujeron las fuerzas laterales sísmicas en el centro del edificio con una excentricidad del 5% en ambas direcciones, provocando esta torsión accidental en el eje "Z", mientras que la masa no se ha desviado del centro de masas debido a la regularidad geométrica que tiene la estructura, y que para fines de esta investigación alteraría comportamiento dinámico ideal que se busca obtener de la misma, por la misma razón de que

se configuro tratando de no caer en ninguna irregularidad ni penalización. Con este concepto solo se revisará la torsión accidental en el eje "Z".

*2.8.2.7 Efectos de segundo orden P-Δ e índice de estabilidad $Q_i$.*

Los efectos de segundo orden deben tomarse en cuenta en una estructura si estos aumentan significativamente las solicitaciones internas, esfuerzos y deformaciones. El análisis de la inestabilidad global de la estructura se lo realizará más adelante, cuando se definan las conexiones y las componentes del sistema estructural, así también se revisará la influencia de los efectos P-Δ en la ductilidad de la estructura mediante el análisis Push-over. Continuando con la secuencia de análisis sísmico, la NEC-SE-DS realiza una revisión general de la estabilidad en cada uno de los pisos de la estructura, siendo las columnas de los primeros pisos las más críticas pues reciben toda la carga vertical de los pisos superiores. Esta revisión se calcula con el código ASCE y la NEC como sigue:

$$Q_i = \frac{P_i \Delta_i}{V_i h_i} \rightarrow NEC - SE - DS \quad (53)$$

$$Q_{max} = 0.3 \quad (54)$$

$$\theta = \frac{P_i \Delta_i I_e}{V_i h_i} \rightarrow ASCE\ 7-10 \quad (55)$$

$$\theta_{max} = \frac{0.5}{\beta C_d} \quad (56)$$

$$\theta_{max} = \frac{0.5}{5.5} = 0.09 \leq 0.25$$

El ASCE es más conservador y amplifica los afectos de segundo orden con el factor de desempeño $C_d$, proyectando derivas inelásticas, así como el factor de importancia $I$, que para este caso es 5.50 y 1 respectivamente. Así mismo el código indica que el factor $\beta$ es la relación entre el cortante del piso de análisis y el anterior $V_x/V_{x-1}$, y que conservadoramente se tome como la unidad. Las derivas inelásticas se tomarán *de la Tabla 39*, para cada respectivo caso.

*Tabla 40. Índice de estabilidad en todos los pisos del edificio*

| Piso | $W_i$ (ton) | $P_i$ (ton) | Deriva inelástica (m) NEC | Deriva inelástica (m) ASCE | Vi (ton) | Hi (m) | $Q_i$ NEC | $\theta$ ASCE | Chequeo |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Piso 7** | 146 | 146 | 0.01851 | 0.02155 | 20 | 21 | 0.0064 | 0.0074 | Cumple |
| **Piso 6** | 236 | 382 | 0.02505 | 0.02916 | 46 | 18 | 0.0116 | 0.0135 | Cumple |
| **Piso 5** | 236 | 236 | 0.02805 | 0.03265 | 66 | 15 | 0.0067 | 0.0078 | Cumple |
| **Piso 4** | 239 | 475 | 0.02682 | 0.03122 | 81 | 12 | 0.0131 | 0.0152 | Cumple |
| **Piso 3** | 239 | 239 | 0.02794 | 0.03252 | 92 | 9 | 0.0081 | 0.0094 | Cumple |
| **Piso 2** | 239 | 478 | 0.02645 | 0.03079 | 98 | 6 | 0.0214 | 0.0249 | Cumple |
| **Piso1** | 239 | 239 | 0.01571 | 0.01828 | 101 | 3 | 0.0124 | 0.0144 | Cumple |
| **Base** | 0 | 239 | 0.00000 | 0.00000 | 101 | 0 | 0.0000 | 0.0000 | Cumple |

*Fuente: ETABS*

El índice de estabilidad cumple para todos los pisos con ambos códigos. Como se puede ver todos los pisos cumplen con la restricción y se consideran pisos estables.

El piso más inestable es el 2, y el suelo debido a su rigidez infinita tiene una estabilidad ∞. En caso de no cumplirse con esta condición, debe rigidizarse a la estructura, para que las fuerzas cortantes resistentes sea mayor, teniendo menos derivas y la incidencia de los momentos de segundo orden sea menor, o haciendo un análisis profundo de la estabilidad de la estructura en un caso partículas, para fines de estudio e investigación se analizara con mayor profundidad la estabilidad de la estructura y su influencia en la ductilidad global, que es uno de los ejes fundamentales del presente proyecto.

*2.8.2.8 Efecto P-Δ.*

Los efectos P-Δ se consideran según normativa al multiplicar un factor de mayoración por las derivas de piso, cuando el índice de estabilidad del piso en análisis se encuentre en el rango $0.1 < Q_i < 0.3$, para $Q_i < 0.1$, como es ese caso, los efectos P- Δ no deben ser consideradas. En conclusión, el sistema estructural estudiado, cumple con todas las penalizaciones vigentes que rigen en la NEC-SE-DS.

## 2.9 Análisis Estructural.

### 2.9.1 Combinación de carga.

Para las diferentes combinaciones de carga según la *NEC-SE-CG* existen siete posibles combinaciones en las que intervienen diferentes tipos de fuerza como la carga muerta, de sismo, sobrecarga, sobrecarga de cubierta, carga de granizo y de viento, *como se muestra en la Tabla 2.*

### 2.9.2 Carga Sísmica E.

*En la Tabla 35*, se tiene la distribución final de las fuerzas sísmicas en todos los pisos de la estructura, se puede ver que las fuerzas sísmicas obtenidas del análisis estático son mayores a las dinámicas dentro de la tolerancia establecida por la norma. Las fuerzas son semejantes en ambos sentidos ("X" e "Y") debido a la configuración estructural que se dispuso, obteniendo rigideces de piso similares en as dos direcciones

- **Combinación de componentes horizontales.**

Según la NEC-SE-DS, los efectos sísmicos no se van a presentar de una forma ideal, con un desplazamiento únicamente en la dirección X o Y en sus modos de vibración fundamentales, como se puede ver en la participación modal de masas de la *Tabla 37*, donde los modos de vibración son ideales. Es por esto la norma asume el efecto sísmico como la raíz de la suma de los cuadrados de ambas componentes horizontales, acercándose a un efecto más real.

$$E_h = \mp\sqrt{{E_x}^2 + {E_y}^2} \quad (57)$$

Asumir este efecto tiene una desventaja en el análisis, pues el sistema estructural está configurado de manera que los elementos resistan el sismo como subsistemas conformados por pórticos resistentes a momento independientes en cada una de las direcciones horizontales. En las combinaciones de cargas con efectos sísmicos, se realizará el análisis por independiente para las cargas sísmicas $E_x$ & $E_y$ respectivamente.

### 2.9.3 Componente Vertical del Sismo de Diseño.

Según NEC-SE-DS el efecto de la componente vertical de la fuerza del sismo no es aplicable en este caso, por el motivo que la estructura no está cerca de una falla geológica ni excede los límites de pisos (sin límite), *como se observa en la Tabla 30*, donde los sistemas PEM no tienen limitación en altura. Por ende, el efecto final del sismo sobre la estructura sería igual a:

$$E' = E_h + E_v \qquad (58)$$

$$E' = E_h + 0 = E_h, \qquad E' = E_x \,\&\, E_y \; (efecto\ independiente), \qquad E_v = 0$$

### 2.9.4 Combinaciones De Carga Finales

Para este edificio en particular tomaremos en cuenta solo las combinaciones de carga con LRFD *de la Tabla 2* solo las ecuaciones que en sus variables intervengan las que necesitemos en nuestro análisis. El resumen de cargas para el piso típico y la cubierta *se encuentran en la Tabla 26 y Tabla 27.*

En la zona del Ecuador no existe efectos naturales como la nieve (S). Además, las cargas de viento y lluvia no tienen incidencia en el análisis debido a que el edificio tiene una altura normal y los efectos no son de mayor importancia para los fines investigativos del proyecto.

En caso de diseñar edificios considerablemente altos > 30 m, los efectos de viento empiezan a ser significativos por que el diseñador no debería obviarlos. Las cargas sísmicas se consideran positivas y negativas debido a que son cargas cíclicas. En donde $E' = Sismo\ estatico$ y $S' = Sismo\ dinamico$.

*Tabla 41. Combinaciones de Acciones Totales*

| **COMBINACIONES DE CARGA** | | | |
|---|---|---|---|
| **Estados límite:** | | | **Resistencia** |
| **Gravitacionales** | | 1 | $1.4D$ |
| | | 2 | $1.2D + 1.6L' + 0.5\max(L_r, S)$ |
| **Sísmicas** | ESTATICAS | 3 | $1.2D + E'_x + L'$ |
| | | 4 | $1.2D - E'_x + L'$ |
| | | 5 | $1.2D + E'_y + L'$ |
| | | 6 | $1.2D - E'_y + L'$ |
| | | 7 | $0.9D + E'_x$ |
| | | 8 | $0.9D - E'_x$ |
| | | 9 | $0.9D + E'_y$ |
| | | 10 | $0.9D - E'_y$ |
| | DINAMICAS | 11 | $0.9D + S'_x$ |
| | | 12 | $0.9D - S'_x$ |
| | | 13 | $0.9D + S'_y$ |
| | | 14 | $0.9D - S'_y$ |
| | | 15 | $1.2D + S'_x + L'$ |
| | | 16 | $1.2D - S'_x + L'$ |
| | | 17 | $1.2D + S'_y + L'$ |
| | | 18 | $1.2D - S'_y + L'$ |

*Fuente: Elaboración Propia*

## 2.10 Análisis Estructural Mediante ETABS.

Para el análisis estructural se utiliza el software ETABS, introduciendo el modelo del sistema en estudio con las hipótesis conceptuales que se han estipulado.

Se configuran los elementos barra con las dimensiones y longitudes de acuerdo a los planos estructurales *de las ilustraciones 51 a 57*. Los elementos placa, que son los paneles de cada piso se modelan como una membrana trasmisora de cargas, de la cual se revisó su resistencia nominal comercial ante sobrecargas gravitacionales en catálogos nacionales, en este caso se construyó la placa con las especificaciones técnicas *de la Tabla 24*, correspondiente una Losa estructural reticulada de e = 10 cm.

Todas las columnas en la base se definen como totalmente empotradas (0 grados de libertad). Los nudos de los pórticos del SRCS, se modelan como nudos rígidos resistentes a momento, con la hipótesis inicial de un nudo totalmente rígido (FR). Esta condición impuesta del modelo inicial es sujeta a cambios cuando se realice el análisis de las conexiones que se van a instalar en los nudos del SRCS, siendo uno de los objetivos principales del presente proyecto.

Los nudos de las vigas secundarias y principales que únicamente forman parte del SRCG se modelan con conectores a las columnas mediante articulaciones (Conexiones a cortante).

Los pisos se consideraron con la hipótesis de diafragmas rígidos, reduciendo significativamente los grados de libertad del sistema, configurando cada piso como un brazo rígido ideal, con la libertad de desplazarse en “X”, “Y”, y rotar en “Z”, obteniendo las mismas derivas y desplazamientos en todos los nudos de un piso en análisis.

Las cargas se asignaron a cada piso únicamente en las placas de acuerdo al resumen de cargas *de la Tabla 28*, y luego se asignó las combinaciones respectivas *de la Tabla 40* más una envolvente que resulta en las solicitaciones máximas de esfuerzos y deformaciones. En esta última se basará el diseño y revisión de cada uno de los componentes estructurales dúctiles (vigas y columnas).

*La ilustración 62 muestra* perspectivas isométricas del modelo estructural del sistema sísmico.

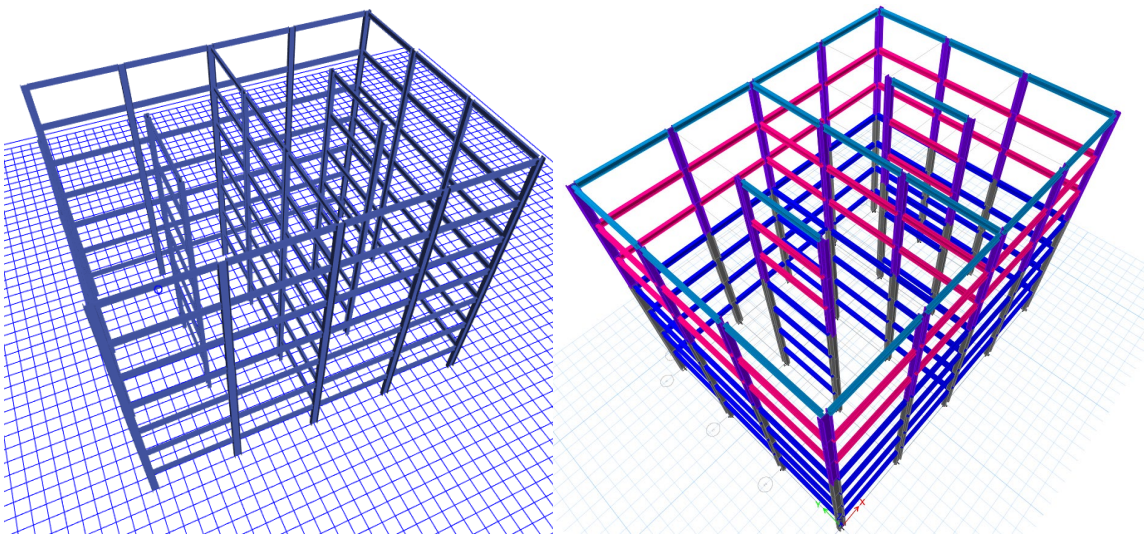


*Ilustración 64. Vistas 3D del modelo estructural (SRCS), diferentes elementos estructurales (colores)*
*Fuente: ETABS*

El análisis sismorresistente aplicando el método estático con la participación total de las masas, así como el análisis modal espectral se realizó *en el apéndice 2.8.1 y 2.8.2* conforme con las normativas locales e internacionales, de los cuales ya se tomaron resultados de la modelación.

Una vez revisado el análisis sísmico global de la estructura se procede al análisis estructural local de cada miembro de la estructura, para las solicitaciones máximas requeridas.,

El estudio de los efectos P-DELTA se realizará posteriormente en el análisis Push-over de la estructura, así esta no requiera la consideración de este efecto como se demuestra en la verificación de inestabilidad estructura, *como se muestra en el apéndice 2.8.2.5.*

El análisis estructural determina las solicitaciones máximas requeridas para cada miembro de la estructura (columnas y vigas), así como los desplazamientos de los nudos. Una de las hipótesis de análisis estructural es considerar los nudos como indeformables, siendo iguales las rotaciones de las fronteras de los elementos que confluyen en un nudo resistente a momento, para un plano de análisis específico. El estudio más profundo de los nudos y conexiones se realizará después de analizar los elementos barra de la estructura.

## 2.11 Análisis Estructural Del Sistema Resistente a Cargas Sísmicas.

Este sistema se analiza y se verifica bajo la condición de que su trabajo virtual ante cargas externas responde a un comportamiento dúctil de alta disipación de energía (Sistema DES), formando rotulas plásticas en las vigas. Este análisis facilita su estudio al diseñador con la filosofía de diseño sismorresistente y los factores de desempeño sísmico que superponen un sistema de comportamiento real elástico ante cargas sísmicas sobre un sistema reducido que trabaja con tal desempeño que logra la misma capacidad del sistema real con la diferencia de que en este último se buscan y se permiten ciertas fallas (rotulas) y deformaciones plásticas.

El proceso que se ha venido realizando para un sistema estructural reducido se analiza en un rango elástico bajo las cargas sísmicas idealizadas de acuerdo al desempeño sísmico que se busca que tenga la estructura. Esta verificación de resultados se analizará en el análisis Push-over (análisis por capacidad no lineal) posteriormente.

Continuando con el análisis estructural que rige en la filosofía y códigos actuales de diseño, se procede con las siguientes verificaciones de los miembros estructurales ante las solicitaciones del sistema reducido modelado en ETABS.

## 2.12 Sistema Sísmico Aislado (Pórtico 4).

El movimiento que rige en el diseño es el modo 1 en el sentido X, siendo la dirección menos rígida de la estructura debido a que consta de menos elementos sísmicos en este sentido por la configuración estructural particular de la estructura.

De acuerdo a resultados del análisis en ETABS de fuerzas internas que demandan los elementos ante las cargas y combinaciones introducidas, el pórtico más afectado por los efectos sísmicos es el Pórtico 4, que se encuentra en la periferia de la estructura, siendo el segundo subsistema que resiste el sismo en “X” aparte del pórtico 1, el cual tiene fuerzas internas menores debido a que la fuerza lateral se aplicó con una excentricidad del 5%, que la NEC considera para efectos de torsión en la estructura.

El análisis sísmico por fuerzas laterales se concentra en el estudio del pórtico 4, siendo el pórtico sísmico más solicitado, en el cual se concentran los mayores momentos-cortantes de vigas y columnas.

- **Vigas del Sistema Resistente a Cargas Sísmicas.**

Las vigas del Pórtico 4 son vigas sísmicas del sentido de análisis, en las cuales se localizaron los mayores efectos mediante una envolvente para las diferentes secciones de vigas que se encuentran en la estructura, *como se muestra en la ilustración 69 y 70.*

- **Columnas del Sistema Resistente a Cargas Sísmicas.**

Todas las columnas del sistema forman parte del sistema sísmico y gravitacional, *como se muestra en la ilustración 64*, debido a que a todas se conectan por lo menos a una viga sísmica, con una conexión rígida que transfiere momento. Las columnas con mayor solicitación axial se encuentran en la intersección de los ejes D/2 – D/3, como se puede ver en el diagrama de cargas axiles *de la ilustración 66*. Este efecto se da debido a la combinación 2 *de la Tabla 40*, que por efectos gravitacionales demanda la mayor solicitación de esfuerzos axiales.

Las columnas del pórtico 4 son las más solicitadas por efectos sísmicos, teniendo los máximos valores de momento y cortante, *como se muestra en ilustración 67 y 68*, respectivamente.

Debido a que los efectos máximos se encuentran dispersos entre diferentes elementos, el cálculo de los estados límites de resistencia se realiza bajo los efectos combinados máximos que se encuentren entre el pórtico 2, 3 y 4, teniendo mayores axiles y momento-cortante ante cargas gravitacionales y sísmicas respectivamente. Con este análisis se verifica el funcionamiento correcto y seguro de todas las combinaciones de carga que se puedan presentar en la estructura. El análisis general que se plantea puede llevar a no cumplir con límites de resistencia ante efectos combinado de compresión y flexión en las columnas, es por esto que para su análisis en caso de que los efectos combinados no pasen la revisión se debe puntualizar los efectos, revisando una columna en el pórtico 4 con mayor momento-cortante y axil menor vs una columna del pórtico 2 y 3 con menor momento-cortante, pero con mayor demanda axil. En este caso general la combinación de mayores efectos cumple los estados límite para las columnas HEB450 y HEB500.

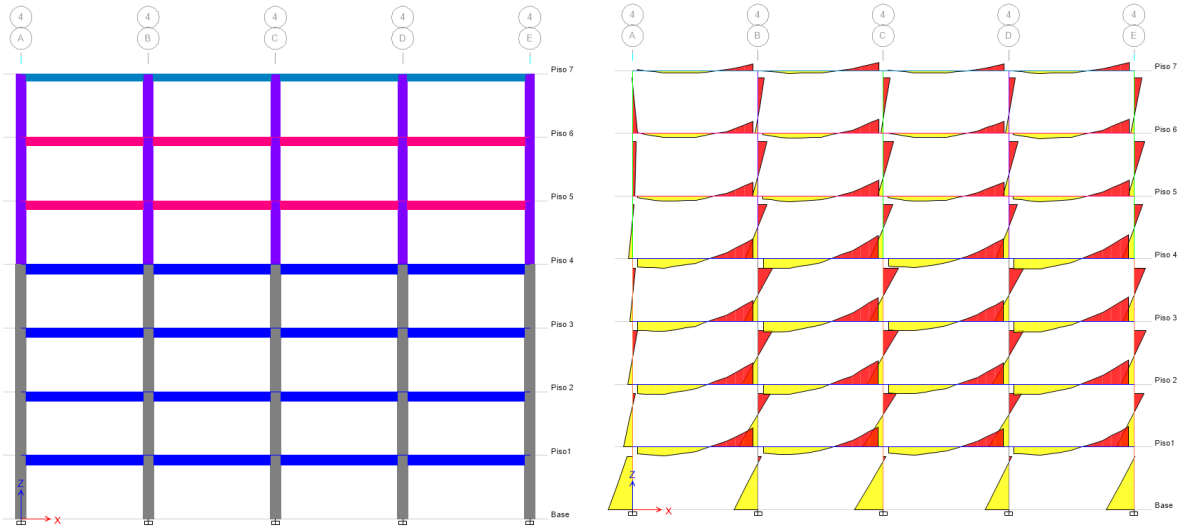
## 2.13 Vigas Cargadoras (Sistema Resistente a Cargas Gravitacionales).

Las vigas cargadoras mantienen un comportamiento estático y elástico antes cargas gravitacionales en los pórticos 2 y 3 que son similares, las cuales tienen los diagramas *de la ilustración 72*, siendo solicitaciones significativas debido a que son vigas articuladas y su momento máximo se concentra en la media luz.

Con este preámbulo teórico del análisis que se realizó en la estructura, se continua con la revisión de los límites de resistencia según la envolvente de máximos y mínimos que *presenta en las tablas 41, 42 y 43*, para los elementos más solicitados.

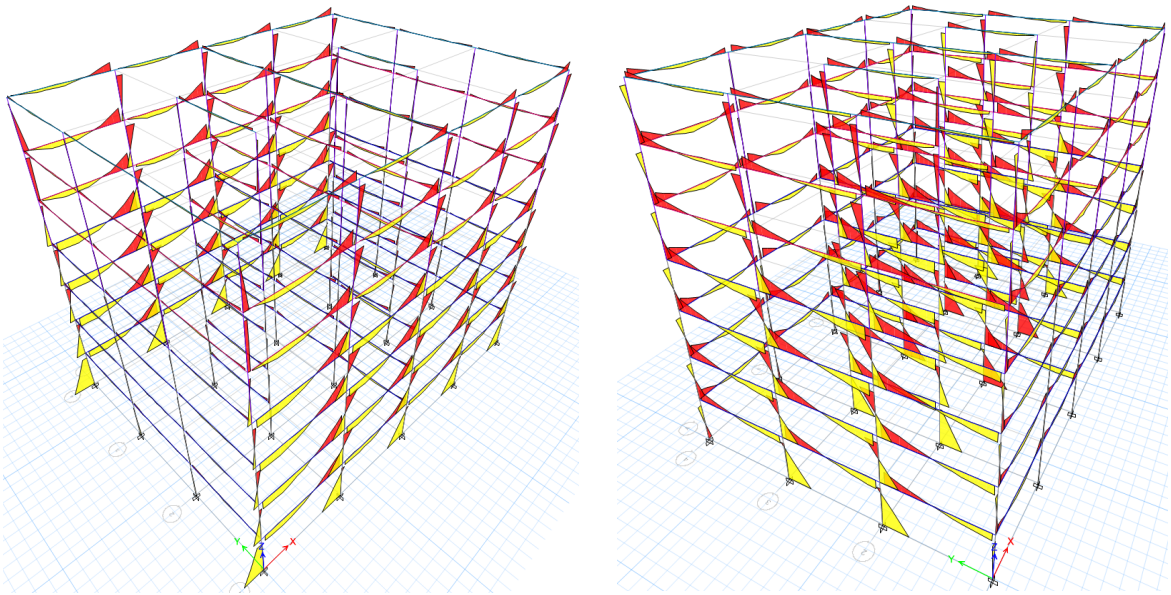
## 2.14 Solicitaciones máximas de la Estructura.

Se verifica la máxima resistencia requerida que se presentan en los componentes estructurales barra del sistema para el cálculo y verificación de estados límite de resistencia y servicio.




(a) (b)

*Ilustración 65. Diagramas de momentos flectores en el pórtico 4: (a) Pórtico 4 - (b) Combinación 2*
*Fuente: ETABS*



(a) (b)

*Ilustración 66. Diagramas de momentos flectores en la estructura: (a) Sismo X - (b) Sismo Y*
*Fuente: ETABS*

*Como se puede ver en la ilustración 64*, el sismo en las direcciones "X" e "Y" son absorbidos por los ejes fuertes de las columnas según como se dispuso en la configuración estructural del SRCS, siendo los pórticos 1 y 4 los que resisten el sismo "X", y los pórticos intermedios A-B-C-D-E los que resisten el sismo en la dirección "Y". Desde la planta 5 los espesores de los perfiles se reducen debido a que la demanda sísmica y gravitacional se reduce significativamente, pero la configuración estructural es la misma en todas las plantas. Las vigas absorben el efecto sísmico de acuerdo a su dirección en la que están dispuestas.

A partir del análisis estructural realizado en el programa, las siguientes tablas muestra las máximas solicitaciones envolventes de todas las combinaciones de carga, concentradas en el pórtico 4 por demanda sísmica y pórtico D por demanda gravitacional, así como las solicitaciones en vigas de los pórticos gravitacionales 2 y 3.

- Solicitaciones máximas y mínimas en columnas del SRCS.

*Tabla 42. Solicitaciones máximas y mínimas de compresión Pu, corte Vu, y de flexión Mu en Columnas del SRCS*

| Ubicación | Elemento | Sol. Cr. | Envolvente. | Posición | $P_u$ | $V_2$ | $V_3$ | $M_2$ | $M_3$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Pórtico B/3-Piso 1** | Columna 715 (L=6m); (HEB500) | $P_u$ | Valor máx. | Apoyo I | -96.0 | 7.9 | 0.7 | 2.6 | 19.5 |
| | | | | Centro | -95.8 | 7.9 | 0.7 | 1.6 | 9.6 |
| | | | | Apoyo J | -95.6 | 7.9 | 0.7 | 0.7 | -0.1 |
| | | | Valor min. | Apoyo I | -230.6 | -6.8 | -0.7 | -2.6 | -18.6 |
| | | | | Centro | -230.4 | -6.8 | -0.7 | -1.6 | -10.1 |
| | | | | Apoyo J | -230.1 | -6.8 | -0.7 | -0.7 | -1.9 |
| **Pórtico 4/D-Piso 2** | Columna 763 (L=6m); (HEB500) | $V_2$ | V máx. | Apoyo I | -50.8 | 12.4 | 0.2 | 0.5 | 18.9 |
| | | | | Centro | -50.6 | 12.4 | 0.2 | 0.2 | 3.1 |
| | | | | Apoyo J | -50.4 | 12.4 | 0.2 | 0.0 | 12.4 |
| | | | V min. | Apoyo I | -99.9 | -12.2 | 0.1 | -0.1 | -18.7 |
| | | | | Centro | -99.6 | -12.2 | 0.1 | -0.2 | -3.2 |
| | | | | Apoyo J | -99.4 | -12.2 | 0.1 | -0.3 | -12.7 |
| **Pórtico 4/D-Piso 1** | Columna 757 (L=6m); (HEB500) | $M_3$ | V máx. | Apoyo I | -60.2 | 10.9 | 0.9 | 2.6 | 24.5 |
| | | | | Centro | -60.0 | 10.9 | 0.9 | 1.5 | 10.6 |
| | | | | Apoyo J | -59.7 | 10.9 | 0.9 | 0.4 | 3.4 |
| | | | V min. | Apoyo I | -118.3 | -10.9 | -0.7 | -2.4 | -24.5 |
| | | | | Centro | -118.0 | -10.9 | -0.7 | -1.6 | -10.6 |
| | | | | Apoyo J | -117.7 | -10.9 | -0.7 | -0.8 | -3.4 |
| **Pórtico B/3 Piso 5** | Columna 718 (L=6m); (HEB450) | $P_u$ | V máx. | Apoyo I | -42.3 | 4.5 | 0.1 | 0.2 | 6.7 |
| | | | | Centro | -42.1 | 4.5 | 0.1 | 0.0 | 0.8 |
| | | | | Apoyo J | -41.9 | 4.5 | 0.1 | 0.1 | 3.0 |
| | | | V min. | Apoyo I | -89.6 | -3.0 | -0.1 | -0.2 | -4.7 |
| | | | | Centro | -89.4 | -3.0 | -0.1 | 0.0 | -0.8 |
| | | | | Apoyo J | -89.1 | -3.0 | -0.1 | -0.1 | -5.1 |
| **Pórtico 4/D-Piso 5** | Columna 760 (L=6m); (HEB450) | $V_2 - M_3$ | V máx. | Apoyo I | -23.7 | 8.4 | 0.3 | 0.4 | 12.8 |
| | | | | Centro | -23.5 | 8.4 | 0.3 | 0.0 | 1.9 |
| | | | | Apoyo J | -23.3 | 8.4 | 0.3 | 0.0 | 8.5 |
| | | | V min. | Apoyo I | -45.6 | -8.0 | 0.0 | -0.1 | -12.2 |
| | | | | Centro | -45.4 | -8.0 | 0.0 | 0.0 | -1.9 |
| | | | | Apoyo J | -45.1 | -8.0 | 0.0 | -0.4 | -8.9 |
| **Pórtico 4/E-Piso 1** | Columna 155 (L=6m); (HEB500) | $M_2$ | Valor máx. | Apoyo I | -57.9 | 10.4 | 0.5 | 2.4 | 23.4 |
| | | | | Centro | -57.7 | 10.4 | 0.5 | 1.8 | 10.2 |
| | | | | Apoyo J | -57.5 | 10.4 | 0.5 | 1.3 | 3.1 |
| | | | Valor min. | Apoyo I | -119.5 | -10.4 | -1.1 | -3.0 | -23.4 |
| | | | | Centro | -119.2 | -10.4 | -1.1 | -1.6 | -10.2 |
| | | | | Apoyo J | -118.9 | -10.4 | -1.1 | -0.3 | -3.1 |
| **Pórtico 4/E-Piso 5** | Columna 158 (L=6m); (HEB450) | $M_2$ | V máx. | Apoyo I | -23.7 | 7.0 | -0.2 | -0.2 | 10.7 |
| | | | | Centro | -23.5 | 7.0 | -0.2 | 0.0 | 1.5 |
| | | | | Apoyo J | -23.3 | 7.0 | -0.2 | 0.8 | 7.4 |
| | | | V min. | Apoyo I | -46.0 | -6.8 | -0.7 | -1.0 | -10.2 |
| | | | | Centro | -45.7 | -6.8 | -0.7 | -0.1 | -1.4 |
| | | | | Apoyo J | -45.4 | -6.8 | -0.7 | 0.3 | -7.7 |

*Fuente: Elaboración Propia*

- Solicitaciones máximas y mínimas en vigas sísmicas.

*Tabla 43. Solicitaciones máximas y mínimas de corte Vu y de flexión Mu en Vigas Sísmicas*

| Ubicación | Elemento | Sol. Critica | Envolvente | Posición | $V_2$ | $M_3$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Pórtico 4 / Piso 3 | Viga 411 (L = 6 m); (IPN450) SRCS-NR | $V_2 - M_3$ | Valor máx. | Apoyo I | 2.4 | 12.0 |
| | | | | Centro | 4.7 | 4.6 |
| | | | | Apoyo J | 11.8 | 12.0 |
| | | | Valor min. | Apoyo I | -11.3 | -20.7 |
| | | | | Centro | -7.3 | 2.0 |
| | | | | Apoyo J | -2.1 | -22.6 |
| Pórtico 4 / Piso 5 | Viga 409 (L=6m); (IPE400) SRCS-NR | $V_2 - M_3$ | Valor máx. | Apoyo I | -0.3 | 4.7 |
| | | | | Centro | 2.0 | 4.5 |
| | | | | Apoyo J | 8.8 | 4.4 |
| | | | Valor min. | Apoyo I | -8.5 | -13.6 |
| | | | | Centro | -4.6 | 2.2 |
| | | | | Apoyo J | 0.5 | -14.7 |
| Pórtico 4 / Piso 7 | Viga 407 (L=6m); (IPE360) SRCS-NR | $V_2 - M_3$ | Valor máx. | Apoyo I | -0.9 | 1.1 |
| | | | | Centro | 0.6 | 2.5 |
| | | | | Apoyo J | 4.7 | 0.9 |
| | | | Valor min. | Apoyo I | -4.4 | -6.4 |
| | | | | Centro | -2.1 | 1.4 |
| | | | | Apoyo J | 1.1 | -7.2 |

*Fuente: Elaboración Propia*

- Solicitaciones máximas y mínimas en vigas cargadoras.

*Tabla 44. Solicitaciones máximas y mínimas de corte Vu, y de flexión Mu en Vigas Cargadoras*

| Ubicación | Elemento | Sol. Critica | Envolvente | Posición | $V_2$ | $M_3$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Portico2-3/Piso1-6 | Viga 230 (L=6m); (IPE400) SRCG-NA | $V_2 - M_3$ | Valor máx. | Apoyo I | -6.4 | 0 |
| | | | | Centro | -2.2 | 23.8 |
| | | | | Apoyo J | 12.8 | 0 |
| | | | Valor min. | Apoyo I | -12.8 | 0 |
| | | | | Centro | -4.4 | 11.9 |
| | | | | Apoyo J | 6.4 | 0 |
| Portico2-3/Piso1-6 | Viga 225 (L=6m); (IPE360) SRCG-NA | $V_2 - M_3$ | Valor máx. | Apoyo I | -4.2 | 0 |
| | | | | Centro | -1.4 | 13.2 |
| | | | | Apoyo J | 7.1 | 0 |
| | | | Valor min. | Apoyo I | -7.1 | 0 |
| | | | | Centro | -2.4 | 7.8 |
| | | | | Apoyo J | 4.2 | 0 |
| Paneles de Pisos | Viga (L=6m); (IPE270) SRCG-NA | $V_2 - M_3$ | Valor máx. | Apoyo I | -2.2 | 0 |
| | | | | Centro | -0.3 | 6.9 |
| | | | | Apoyo J | 4.4 | 0 |
| | | | Valor min. | Apoyo I | -4.4 | 0 |
| | | | | Centro | -0.6 | 3.4 |
| | | | | Apoyo J | 2.2 | 0 |

*Fuente: Elaboración Propia*

- Solicitaciones máximas absolutas de los componentes del sistema estructural.

*Tabla 45. Solicitaciones máximas absolutas para Vigas y Columnas del Sistema estructural*

| PERFILES | | $P_u\ (ton)$ | $V_2\ (ton)$ | $V_3\ (ton)$ | $M_2\ (ton*m)$ | $M_3\ (ton*m)$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| COLUMNAS | HEB500 | 230.6 | 12.4 | - | 3 | 24.5 |
| | HEB450 | 89.6 | 8.4 | - | 1 | 12.8 |
| VIGAS | IPN450 | - | 11.8 | - | - | 22.6 |
| | IPE400 | - | 12.8 | - | - | 23.8 |
| | IPE360 | - | 7.1 | - | - | 13.2 |
| | IPE240 | - | 4.4 | - | - | 6.9 |

*Fuente: Elaboración Propia*

Los esfuerzos internos de los elementos actúan en la dirección de los ejes locales que ETABS define con la siguiente nomenclatura, siendo 3 el eje rígido del elemento, y 2 el eje perpendicular al 3, intersecando en el C.G. (centro de gravedad), *como se muestra en la ilustración 65.*

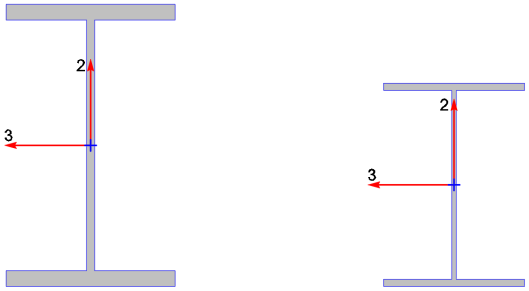



*Ilustración 67. Ejes locales de las secciones de la estructura, Perfil HEB 500 – IPE 360*
*Fuente: ETABS*

## 2.15 Diagramas Axiales, Cortantes y de Momento Resultantes.

- **Diagramas en columnas.**

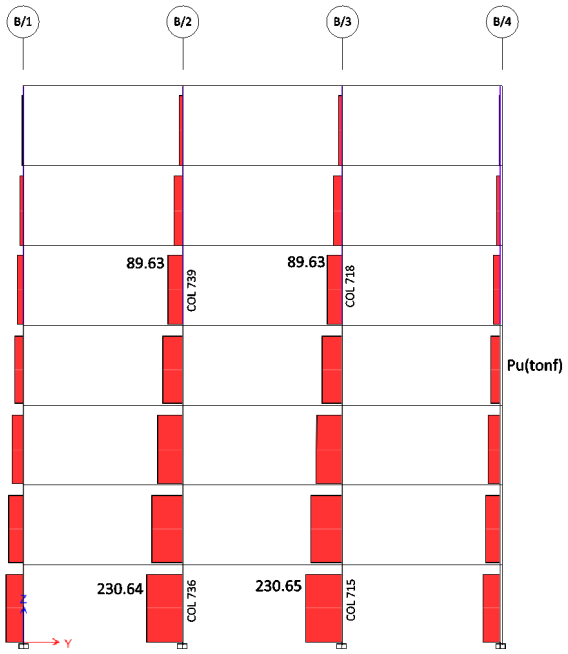



*Ilustración 68. Diagrama de axiles Pórtico D (axiles máximos)*
*Fuente: ETABS*

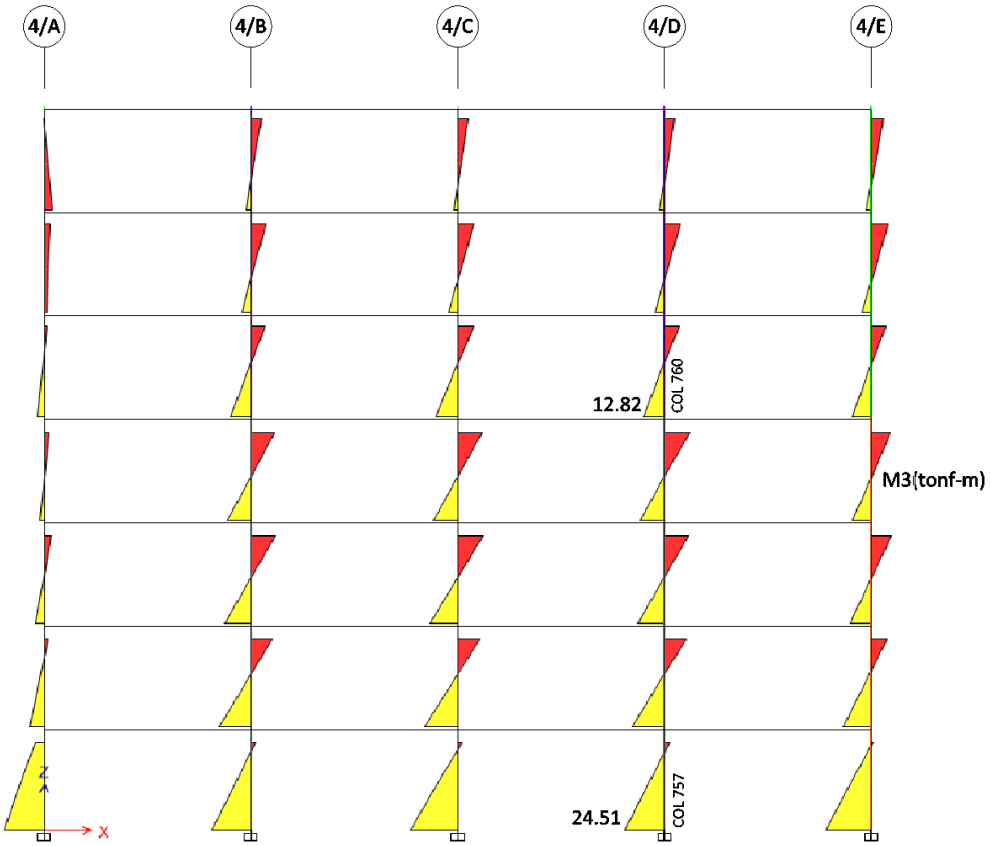



*Ilustración 69. Diagramas de momentos máximos en columnas Pórtico 4 (Sismo X)*
*Fuente: ETABS*

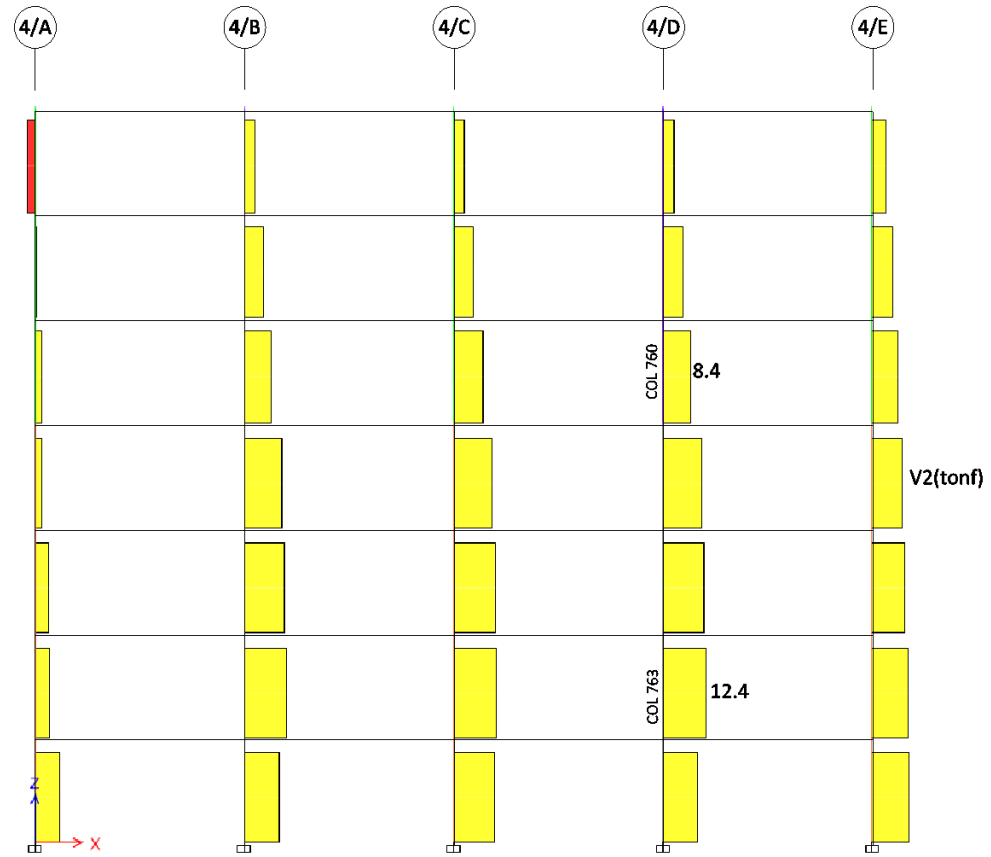



*Ilustración 70. Diagramas de cortantes máximos en columnas Pórtico 4 (Sismo X)*
*Fuente: ETABS*

- **Diagramas en vigas.**

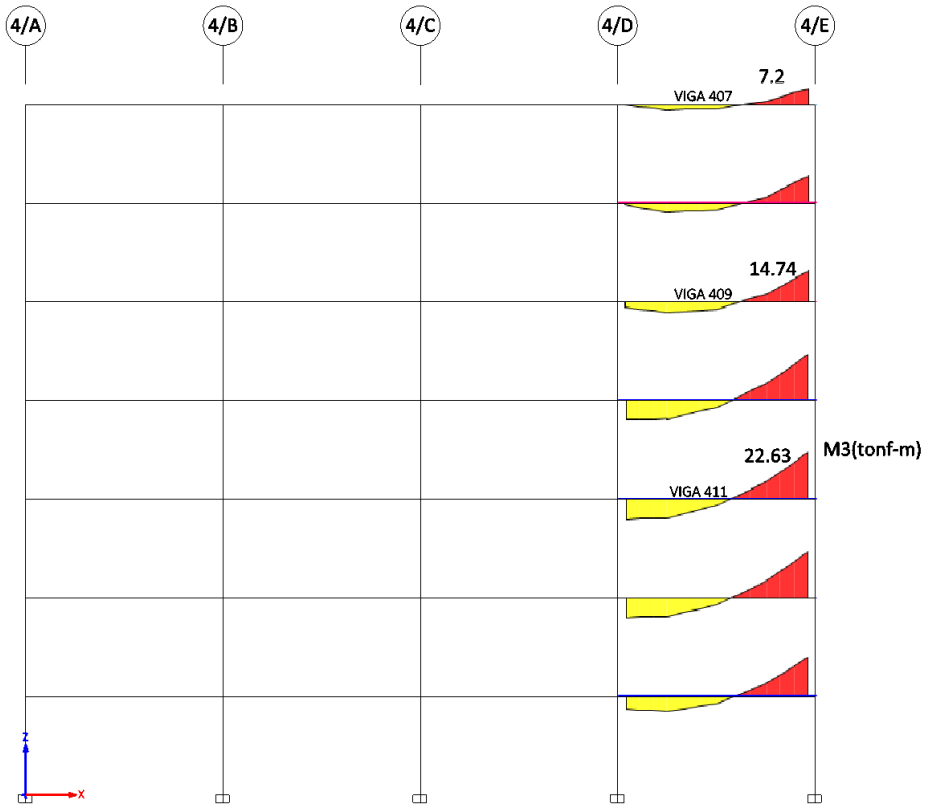



*Ilustración 71. Diagramas de momentos máximos en vigas Pórtico 4 (Sismo X)*
*Fuente: ETABS*

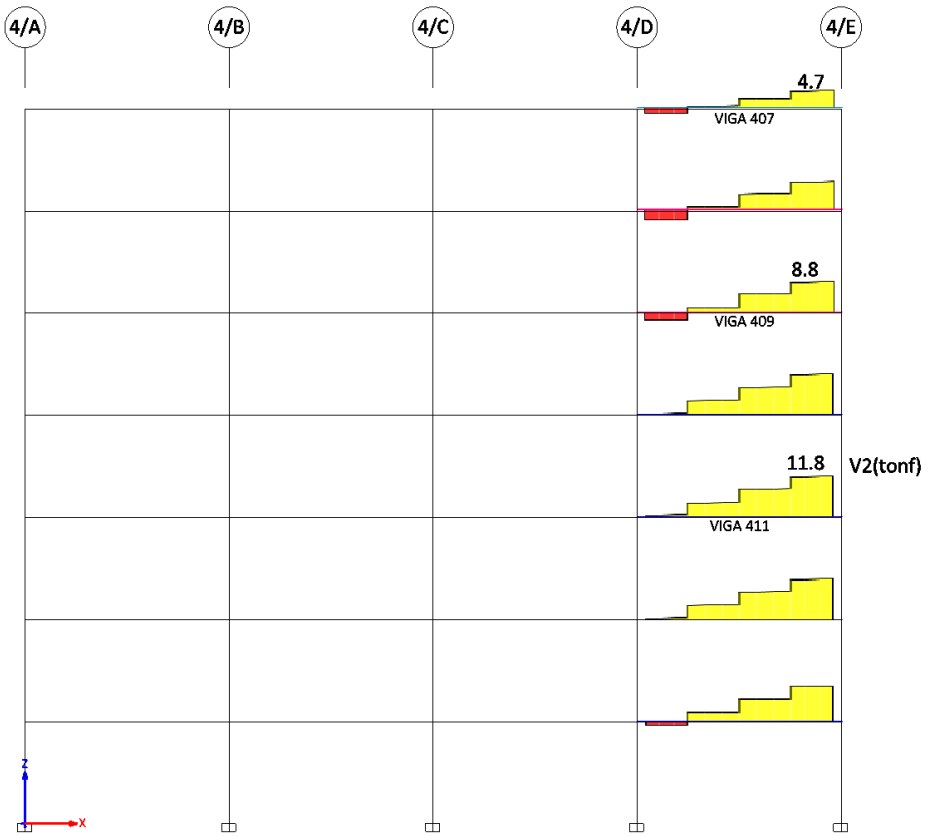



*Ilustración 72. Diagramas de cortantes máximas en vigas Pórtico 4 (Sismo X)*
*Fuente: ETABS*

- **Diagramas en pórticos cargadores.**

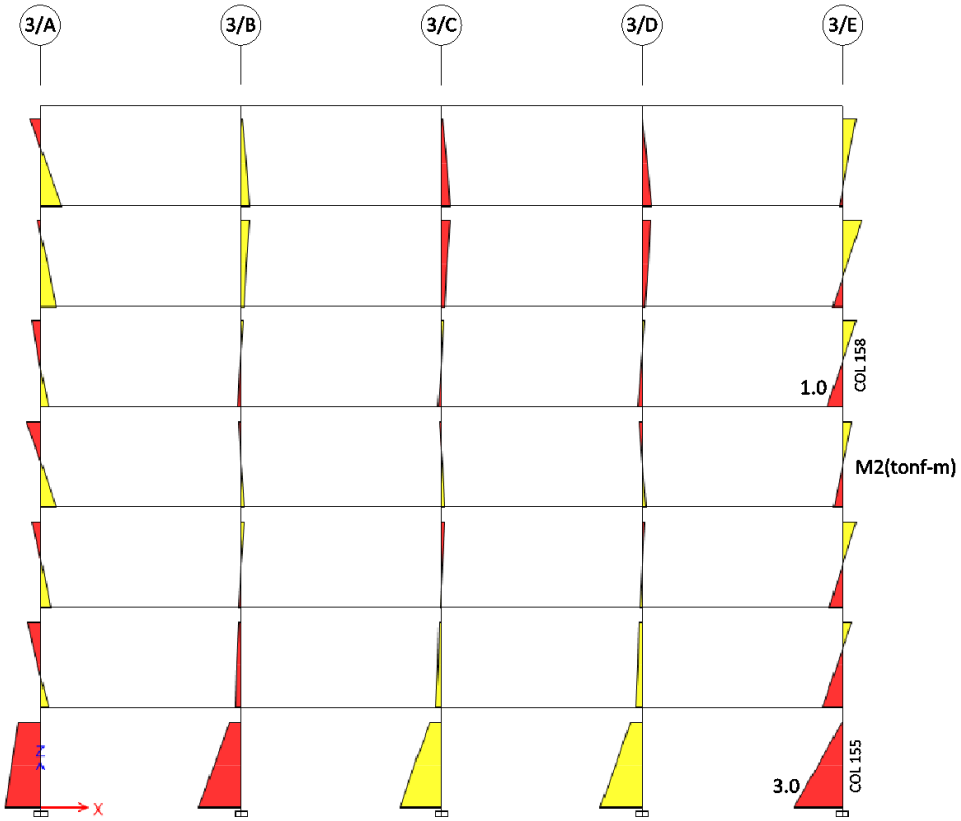



*Ilustración 73. Diagrama de momento en columnas cargadoras Pórtico 3*
*Fuente: ETABS*

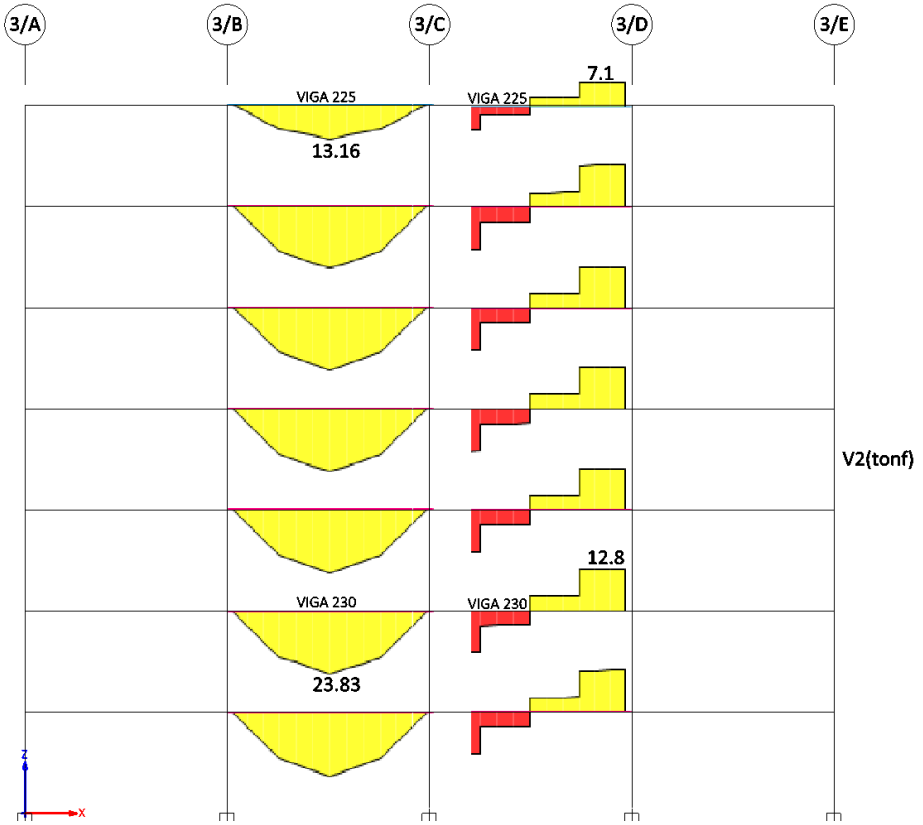



*Ilustración 74. Diagrama de momentos y cortantes máximos en pórticos cargadores Pórtico 2-3*
*Fuente: ETABS*

## 2.16 Verificaciones De Resistencia Nominal De Los Componentes De Las Estructura.

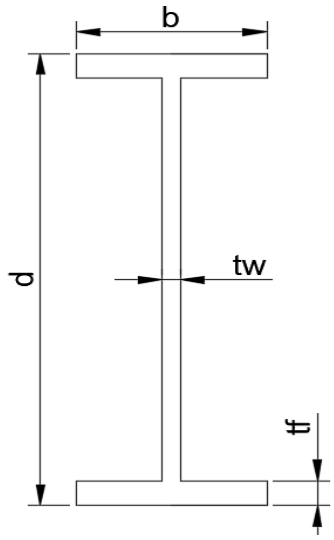
El diseño del edifico fue modelado con 9 pórticos, 4 en el eje "X" y 5 en el sentido del eje "Y", las verificaciones se realizarán en las vigas de perfiles IPE 360, IPE 400 e IPN 450 donde exista más momento y cortante requerida.

De igual manera se revisarán los perfiles empleados en el diseño de columnas HEB450 y HEB500, para verificar si cumple los estados limites en donde existe mayor carga axial, cortante y momento.

### 2.16.1 Verificación de la Viga IPE 360, IPE 400 e IPN 450.

#### *2.16.1.1 Propiedades geométricas de la sección transversal de los perfiles.*

*Tabla 46. Propiedades geométricas de los perfiles laminados empleados en las vigas*

| Representación | Propiedad Geométrica | IPE 360 | IPE 400 | IPN 450 |
|---|---|---|---|---|
|  | h ($cm$) | 36.00 | 40.00 | 45.00 |
| | b ($cm$) | 17.00 | 18.00 | 17.00 |
| | $t_w$ ($cm$) | 0.80 | 0.86 | 1.62 |
| | $t_f$ ($cm$) | 1.27 | 1.35 | 2.43 |
| | Área ($cm^2$) | 72.70 | 84.50 | 147.00 |
| | Inercia X (cm4) | 16270.00 | 23130.00 | 45850.00 |
| | Inercia Y ($cm^4$) | 1040.00 | 1320.00 | 1730.00 |
| | Modulo Resistente X ($cm^3$) | 904.00 | 1160.00 | 2037.80 |
| | Modulo Resistente Y ($cm^3$) | 123.00 | 146.00 | 203.50 |
| | Modulo Plástico X ($cm^2$) | 1019.00 | 1307.00 | 2400.00 |
| | Modulo Plástico Y ($cm^2$) | 191.00 | 229.00 | 345.00 |
| | Constante de torsión ($cm^4$) | 37.40 | 51.30 | 267.00 |
| | Radio de giro X ($cm$) | 14.96 | 16.55 | 17.66 |
| | Radio de giro Y ($cm$) | 3.79 | 3.95 | 3.43 |
| | Esfuerzo Fluencia ($kg/cm^2$) | | 2530.00 | |



*Fuente: Elaboración Propia*

#### *2.16.1.2 Comportamiento del perfil.*

Ya que la losa compuesta con la placa colaborante proporciona un soporte lateral completo al patín de compresión, ambos perfiles tendrían un comportamiento plástico. Donde $L_b$ es longitud sin soporte lateral del patín de compresión ($L_b = 0$).

#### *2.16.1.3 Relación Ancho-Espesor en elementos en compresión o sometidos a flexión.*

- **Análisis del patín**

Según la normativa ANSI/AISC 360-16 en la Tabla B4.1b, indica las razones ancho-espesor para elementos en compresión y miembros a flexión, que nuestro caso el perfil estaría actuando a flexión y además es un elemento no atiesado, según esa normativa el caso de estudio para ambos perfiles sería el 10 para "elementos en flexión en alas de perfiles I laminados, canales y tes", en el cual analizaremos si el perfil es compacto o no.

La verificación del patín para la relación ancho-espesor en elementos en compresión, *se muestra en la Tabla 46,* además se indica que para cumpla la verificación debe cumplir que:

$$\frac{b}{tf} < 0.38\sqrt{\frac{E}{Fy}} \qquad (59)$$

- **Análisis del alma.**

Según la normativa ANSI/AISC 360-16 en la Tabla B4.1b, indica las razones ancho-espesor para elementos en compresión y miembros a flexión, que nuestro caso el perfil estaría actuando a flexión y además es un elemento atiesado, según esa normativa el caso de estudio para ambos perfiles sería el 15 para "almas de doble simetría y canales" en donde analizaremos si el perfil es compacto o no.

La verificación del alma para la relación ancho-espesor en elementos en compresión, *se muestra en la Tabla 46,* además se indica que para cumpla la verificación debe cumplir que:

$$\frac{h}{tw} < 3.76\sqrt{\frac{E}{Fy}} \qquad (60)$$

*Tabla 47. Relación Ancho-Espesor en elementos en flexión*

| Elemento de análisis | Perfil empleado | Razón Ancho-Espesor | Razón Ancho-Espesor Limite en λ (compacta/no compacta) | Verificación |
|---|---|---|---|---|
| **Patín** | IPN 450 | $\frac{b}{tf} = \frac{\frac{b}{2} - \frac{tw}{2}}{tf} = 3.16\ cm$ | $0.38\sqrt{\frac{E}{Fy}} = 0.38\sqrt{\frac{(2.04 * 10^6)}{(2530)}} = 10.79$ | Cumple |
| | IPE 400 | $\frac{b}{tf} = \frac{\frac{b}{2} - \frac{tw}{2}}{tf} = 6.35\ cm$ | | Cumple |
| | IPE 360 | $\frac{b}{tf} = \frac{\frac{b}{2} - \frac{tw}{2}}{tf} = 6.38\ cm$ | | Cumple |
| **Alma** | IPN 450 | $\frac{h}{tw} = \frac{d - 2tf}{tw} = 24.78\ cm$ | $3.76\sqrt{\frac{E}{Fy}} = 3.76\sqrt{\frac{(2.04 * 10^6)}{(2530)}} = 106.77$ | Cumple |
| | IPE 400 | $\frac{h}{tw} = \frac{d - 2tf}{tw} = 43.37\ cm$ | | Cumple |
| | IPE 360 | $\frac{h}{tw} = \frac{d - 2tf}{tw} = 41.83\ cm$ | | Cumple |

*Fuente: Elaboración Propia*

### *2.16.1.4 Relación Ancho-Espesor para miembros con alta ductilidad.*

- **Análisis del patín.**

Según la normativa ANSI/AISC 341-16 en la Tabla D4.1, indica las razones ancho-espesor para elementos que presentan una alta ductilidad, como el patín es un elemento no atiesado analizaremos el caso de "Bridas de laminado o construido en forma de I secciones, canales o doble ángulo miembros con separadores pares de ángulos" en donde analizaremos si un miembro de los perfiles es altamente dúctil.

La verificación del alma para la relación ancho-espesor en elementos para miembros con alta ductilidad, *como se muestra en la Tabla 47*, además debe cumplir la siguiente verificación:

$$\frac{b}{tf} < 0.30\sqrt{\frac{E}{Fy}} \quad (61)$$

- **Análisis del alma.**

Según ANSI/AISC 341-16 en la Tabla D4.1, indica las razones ancho-espesor para elementos que presentan una alta ductilidad, como el alma es un elemento atiesado analizaremos el caso de "Perfiles laminados o construido en forma de I secciones o canales" en donde analizaremos si un miembro de los perfiles es altamente dúctil. Además, la relación entre la resistencia requerida y el límite elástico axial disponible (Ca), ya que la carga axial es nula.

La verificación del alma para la relación ancho-espesor en elementos para miembros con alta ductilidad, *como se muestra en la Tabla 47*, además se indica que para cumpla la verificación debe cumplir esta condición:

$$\frac{b}{tf} < 2.54\sqrt{\frac{E}{Fy}} \quad (62)$$

*Tabla 48. Relación ancho-espesor para miembros con alta ductilidad*

| Elemento de análisis | Perfil empleado | Razón Ancho-Espesor | Razón Ancho-Espesor Limite en λ (compacta/no compacta) | Verificación |
|---|---|---|---|---|
| **Patín** | IPN 450 | $\frac{b}{tf} = \frac{\frac{b}{2} - \frac{tw}{2}}{tf} = 3.16\ cm$ | $0.30\sqrt{\frac{E}{Fy}} = 0.30\sqrt{\frac{(2.04 * 10^6)}{(2530)}} = 8.52$ | Cumple |
| | IPE 400 | $\frac{b}{tf} = \frac{\frac{b}{2} - \frac{tw}{2}}{tf} = 6.35\ cm$ | | Cumple |
| | IPE 360 | $\frac{b}{tf} = \frac{\frac{b}{2} - \frac{tw}{2}}{tf} = 6.38\ cm$ | | Cumple |
| **Alma** | IPN 450 | $\frac{h}{tw} = \frac{d - 2tf}{tw} = 24.78\ cm$ | $2.45\sqrt{\frac{E}{Fy}} = 3.76\sqrt{\frac{(2.04 * 10^6)}{(2530)}} = 69.57$ | Cumple |
| | IPE 400 | $\frac{h}{tw} = \frac{d - 2tf}{tw} = 43.37\ cm$ | | Cumple |
| | IPE 360 | $\frac{h}{tw} = \frac{d - 2tf}{tw} = 41.83\ cm$ | | Cumple |

*Fuente: Elaboración Propia*

### *2.16.1.5 Verificación de los estados límites de resistencia.*

- **Fluencia (plastificación).**

  - Momento plástico:

El momento plástico ($M_p$) se determina en relación al esfuerzo de fluencia que tiene el elemento con la capacidad geométrica que tienen los perfiles. La resistencia de diseño, según el reglamento ANSI/AISC 341-16 especifica que los coeficientes de seguridad para elementos sometidos a flexión son de ø = 0.90.

$$M_p = Z_x * Fy \quad (63)$$

$$M_d = M_p * \emptyset \quad (64)$$

- Momento requerido.

El momento requerido (Mr) fue calculado por el software ETABS en función de las cargas que fueron introducidas, *como se muestra en la Tabla 48*, donde nos indica el máximo valor del momento que actúa en las vigas IPE 360 y IP3 400.

**Verificación de la capacidad de momento:**

$$M_d > M_r \tag{65}$$

*Tabla 49. Verificación de la resistencia de momento*

| Perfil empleado | Resistencia de diseño $(M_d)$ | Momento requerido $(M_r)$ | Verificación |
|---|---|---|---|
| **IPN 450** | 54.65 $ton * m$ | 22.60 $ton * m$ | Cumple |
| **IPE 400** | 29.76 $ton * m$ | 15.55 $ton * m$ | Cumple |
| **IPE 360** | 23.20 $ton * m$ | 7.82 $ton * m$ | Cumple |

*Fuente: Elaboración Propia*

- **Pandeo local del patín por flexión.**

Como se analizó anterior los patines de ambos perfiles empleados eran compactos por lo que no es necesario verificar los estados limites relacionados al pandeo local.

- **Pandeo local de alma por flexión.**

En los análisis anteriores de igual manera se determinó que el alma de ambos perfiles no era esbelta sino una sección compacta, por lo que no es necesario verificar los estados limites relacionados al pandeo local.

- **Estado límite de corte.**

- Coeficiente de corte por resistencia del alma $(C_v)$:

La normativa ANSI/AISC 360-16 en su sección G2.1 indica el valor del coeficiente $C_v$, el cual muestra cuatro casos según la relación peralte/espesor del alma, en nuestro caso ambos perfiles estarían en el primer caso, el cual tendría los siguientes coeficientes:

$$\frac{h}{t_w} \leq 2.24\sqrt{\frac{E}{Fy}} \rightarrow C_v = 1.00, \qquad \emptyset = 1.00 \tag{66}$$

- La resistencia de corte de diseño con factor de seguridad LRFD:

$$\emptyset V_n = \emptyset * [0.6 * Fy * A_w * C_v] \tag{67}$$

- Cortante requerida:

La cortante requerida (Vr) fue calculado por el software ETABS en función de las cargas que fueron introducidas, *en la Tabla 49 se muestra* el máximo valor de la cortante que actúa en las vigas IPE 360 y IPE 400.

**Verificación del estado límite de corte:**

$$\emptyset V_n > V_r \tag{68}$$

*Tabla 50. Verificación del estado límite de corte*

| Perfil empleado | Resistencia de corte de diseño ($\emptyset_v V_n$) | Cortante requerida ($V_r$) | Verificación del estado límite de corte |
|---|---|---|---|
| **IPN 450** | 99.15 $ton$ | 11.80 $ton * m$ | Cumple |
| **IPE 400** | 48.69 $ton$ | 9.04 $ton * m$ | Cumple |
| **IPE 360** | 40.63 $ton$ | 4.90 $ton * m$ | Cumple |

*Fuente: Elaboración Propia*

### 2.16.2 Estabilidad-Pandeo lateral-torsional.

La losa estructural funciona como un arriostramiento continuo en las vigas, debido a que los pernos de cortante están soldados en los patines superiores de las vigas, y a su vez embebidas en el hormigón, generando cierta rigidez y resistencia al pandeo torsional y lateral de las vigas.

Las vigas de los pórticos sísmicos en el sentido "X" e "Y", donde se va a dar la plastificación, deben estar arriostradas lateralmente y torsionalmente, asegurando que las fibras internas del miembro no se desfasen de su eje longitudinal, y puedan desarrollar deformaciones plásticas.

Las riostras de la viga se colocarán cerca de fuerzas concentradas, cambios en la sección transversal y otros lugares donde el análisis indique que se formará una bisagra de plástico durante las deformaciones inelásticas del sistema PEM. Para el pórtico 4 que se está analizando, las vigas se encuentran arriostradas continuamente por la losa estructural conectada en todo el patín superior. Las vigas secundarias que se encuentran articuladas a estas, también proporcionan cierta rigidez y resistencia a la torsión y desplazamiento lateral a las vigas sísmicas. Sin embargo, los patines inferiores de las vigas no se encuentran arriostradas, por lo que se deberá instalar un refuerzo que proporcione la suficiente resistencia y rigidez que evite el pandeo lateral-torsional, debido a la compresión de estos.

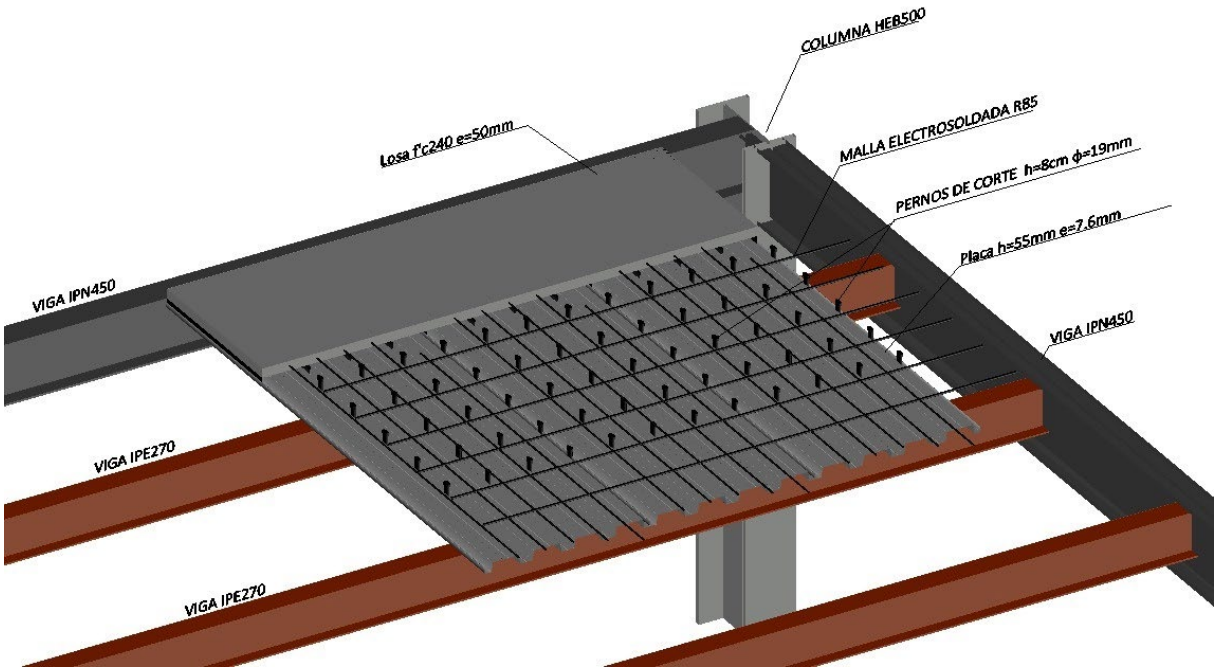



*Ilustración 75. Losa reticulada*
*Fuente: Elaboración Propia*

- **Especificaciones para arriostramiento de estabilidad en vigas de alta ductilidad.**

a) Ambos patines de la viga deben estar apuntalados lateralmente mediante arriostramientos continuos, de panel, o puntuales. Así mismo la sección transversal de la viga debe tener apuntalamiento torsional ya sea por medio de rigidizadores transversales, o la aportación de la misma losa estructural

b) La longitud máxima entre arriostramientos para miembros de alta ductilidad es:

$$L_b = 0.095 * r_y * \frac{E}{R_y F_y} \tag{69}$$

Esta longitud, para cada viga se dejará en la parte media, conectando las riostras en forma de X en los patines inferiores de las vigas, asegurando para todas las conexiones que las riostras se encuentren fuera de la zona protegida. Las riostras se colocarán de acuerdo a la disposición en la viga IPN450 para todos los casos.

c) La rigidez y resistencia requerida del refuerzo debe cumplir con los requisitos del apéndice 6 de la especificación AISC-360 para arriostramiento lateral o torsional de vigas, donde $C_d = 1.00$, y la resistencia a la flexión requerida de la viga se tomará como:

$$M_r = R_y F_y Z / \alpha_S \tag{70}$$

d) Los patines inferiores de las vigas necesitan arrostramientos, pues no están en contacto con la losa, y como como lo dispone el AISC-341-D1.2, esta riostra para todos los casos debe tener la siguiente resistencia requerida:

$$P_r = 0.06 \left(\frac{M_r C_d}{\alpha_S h_0}\right) \tag{71}$$

e) La resistencia flexional requerida del arriostramiento torsional provisto adyacente a las bisagras de plástico será:

$$M_r{}' = 0.06 M_r \tag{72}$$

f) La rigidez requerida de un refuerzo lateral puntual según AISC-360/Apéndice 6 es:

$$\beta_r = \frac{1}{\phi}\left(\frac{10 M_r C_d}{L_b h_0}\right) \rightarrow \ \phi = 0.75 \ (LRFD) \tag{73}$$

*Tabla 51. Especificaciones para arriostramiento de estabilidad en vigas de alta ductilidad*

| Perfil empleado | IPN 450 | IPE 400 | IPE 360 |
|---|---|---|---|
| b) Longitud máxima entre arriostramientos | $L_b = 2.90\ m$ | $L_b = 3.00\ m$ | $L_b = 3.10\ m$ |
| c) Resistencia a la flexión requerida de la viga | $M_r = 78.93\ ton * m$ | $M_r = 42.98\ ton * m$ | $M_r = 33.51\ ton * m$ |
| d) Resistencia para riostra | $P_r = 11.12\ ton$ | $P_r = 6.67\ ton$ | $P_r = 5.78\ ton$ |
| e) Resistencia flexional requerida del arriostramiento torsional | $M_r' = 4.73\ ton * m$ | $M_r{}' = 2.57\ ton * m$ | $M_r{}' = 2.01\ ton * m$ |
| f) Rigidez requerida de un refuerzo lateral puntual | $\beta_r = 443 \frac{ton}{m}$ | $\beta_r = 494 \frac{ton}{m}$ | $\beta_r = 797 \frac{ton}{m}$ |

*Fuente: Elaboración Propia*

Tanto para las Vigas IPE 360 como para las Vigas IPE 400 en su longitud de 6 metros se dispondrá de dos arrostramientos separados entre sí cada dos metros, *como se muestra en la ilustración 74*. Estos arriostramientos laterales pueden ser de tipo panal, puntual, de apoyo o león on, en nuestro caso de diseño fue empleado arriostramientos puntuales para poder restringir el giro de la sección.

Las condiciones de longitud arriostrada $L_b$ se generalizarán para todos los casos a la viga IPN450. El perfil utilizado para las riostras es un ángulo L 125 x 125 x 12 de acero A36, con las siguientes dimensiones:

$$b = 12.5\ cm;\ h = 12.5\ cm; e = 1.2\ cm;\ A_g = 27.32\ cm^2$$

- **Resistencia nominal a la compresión de ángulo:**

Según el AISC-360-E3 el pandeo por flexión de miembros sin elementos esbeltos es:

**Condiciones:**

$$Para\ \frac{L_c}{r} \geq 25 \rightarrow \phi P_n = \phi F_{cr} A_g \rightarrow \emptyset = 0.9\ (LRFD) \quad (74)$$

$$Para\ \frac{L_c}{r} \geq 25 \rightarrow \phi P_n = \phi F_{cr} A_g \rightarrow \emptyset = 0.9\ (LRFD) \quad (75)$$

Donde:

$$F_{cr} = 0.877 F_e \rightarrow F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{L_c}{r}\right)^2} \rightarrow Esfuerzo\ critico\ de\ Euler \quad (76)$$

**$R_n$ Riostra:**

$$b = 12.5\ cm;\ h = 12.5\ cm; e = 1.2\ cm$$

$$A_g = 27.32\ cm^2$$

$$L = \sqrt{(6\ m)^2 + (2.9\ m)^2} = 6.66\ m$$

$$r = 3.87\ cm$$

$$K = 1$$

**Placa - Viga IPN 450:**

$$\lambda = \frac{KL}{r} = \frac{666\ cm}{3.87\ cm} = 172.07$$

$$F_{cr} = 0.877 * \frac{\pi^2 * 2.04 \times 10^6}{172.07^2} = 596.215\ \frac{kg}{cm^2}$$

$$\phi P_n = 0.9 * 592.215 \frac{kg}{cm^2} * 27.32\ cm^2$$

$$\phi P_n = 14.65\ ton > P_r = Cumple$$

- **Rigidez nominal del refuerzo:**

**Verificación:**

$$K = \frac{AE}{L} > \beta_r \quad (77)$$

$$K = \frac{18.14 * 2.04 * 10^3}{6} = 6167.60 \frac{ton}{m} > \beta_r$$

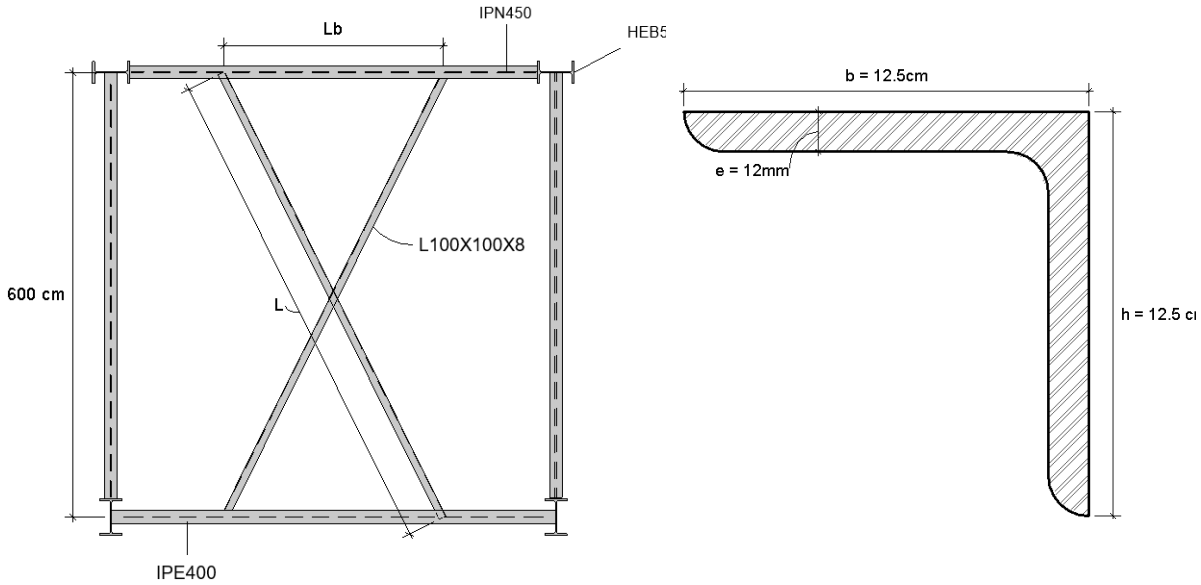



*Ilustración 76. Disposición de arriostramientos en vigas sísmica*
*Fuente: Elaboración Propia*

- **Arriostramiento Torsional.**

  - Arriotramiento Contiuo (Losa).

  Los requerimientos de recistencia y rigidez para arriostramientos por unidad de longitud, a lo largo de la viga se evalua como sigue:

**Resistencia flexional requerida de la losa en torno al eje longitudinal de la viga:**

$$M_{br} = \frac{0.02 M_r}{L_b} \tag{78}$$

**Rigidez flexional requeride la losa:**

$$\beta_{br} = \frac{\beta_T}{\left(1 - \left[\frac{\beta_T}{\beta_{sec}}\right]\right)} \tag{79}$$

Donde:

- $L = 100 \rightarrow longitud\ de\ la\ luz\ (m)$
- $L/n = 1 \rightarrow Para\ arriostramiento\ continuo$
- $I_{yeff} = I_y \rightarrow Miembros\ con\ doble\ simetria\ (cm^4)$
- $C_b = 1.00 \rightarrow Coeficiente\ torsional$
- $\phi = 0.75 \rightarrow Coeficiente\ de\ seguridad\ (LRFD)$

*Tabla 52. Verificación de rigidez distorsionar del alma*

| Perfil empleado | $M_r$ | $I_{yeff}$ | $M_{br}$ | $\beta_T$ | $\beta_{sec}$ | $\beta_{br}$ | $\beta_T$ | $\beta_{sec}$ | $\beta_{sec} > \beta_T$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **IPE 400** | 18.6 | 1320 | 137.78 | 411.12 | 823.227 | 821.255 | 411.12 | 823.227 | Cumple |
| **IPE 360** | 17 | 1040 | 155 | 435.897 | 858.43 | 885.58 | 435.897 | 858.43 | Cumple |

*Fuente: Elaboración Propia*

Ya que en los dos casos la rigidez distorisonal del alma es adecuada no es necesario atiesadores.

- **Recistencia y Rigidez Flexional por unidad de longitud de la losa.**

La novalosa 55, *que se muestra en la Tabla 24*, dentro del catalogo comercial NOVACERO, tiene las siguientes especificaciones mecanicas:

*Tabla 53. Especificaciones mecánicas por unidad longitud de la losa*

| Momento nominal ($\phi M_n$) | Inercia | Rigidez (K) |
|---|---|---|
| $\mathbf{950\frac{kg*m}{m}}$ | $593.57\frac{cm^4}{m}$ | $K=\frac{4EI}{L}=8072.55\frac{ton-cm}{rad}$ |

*Fuente: Elaboración Propia*

La resistencia y rigidez nominales de la losa por unidad de longitud son mayores a las requeridas.

$$\phi M_n > M_{br} = Cumple \quad (80)$$

$$K > \beta_{br} = Cumple \quad (81)$$

### 2.16.3 Estados Limite de Servicio.

Las mayores deflexiones se dan en las vigas más flexionadas, debido a que la flexión es proporcional a los esfuerzos internos de compresión y tracción que recortan o estiran las fibras internas respectivamente. Por principios de energía, el trabajo externo de la estructura es igual al trabajo interno, teniendo un claro concepto que las flechas máximas se presentan en las vigas más esforzadas que se han analizado.

Las vigas de los pórticos cargadores 2-3, *que se muestran en la ilustración 75*, presentan las mayores flechas debido a que los límites de servicio solo se analizan bajo cargas muertas y vivas, siendo nulas las flechas de las vigas sísmicas que se encuentran conectadas rígidamente.

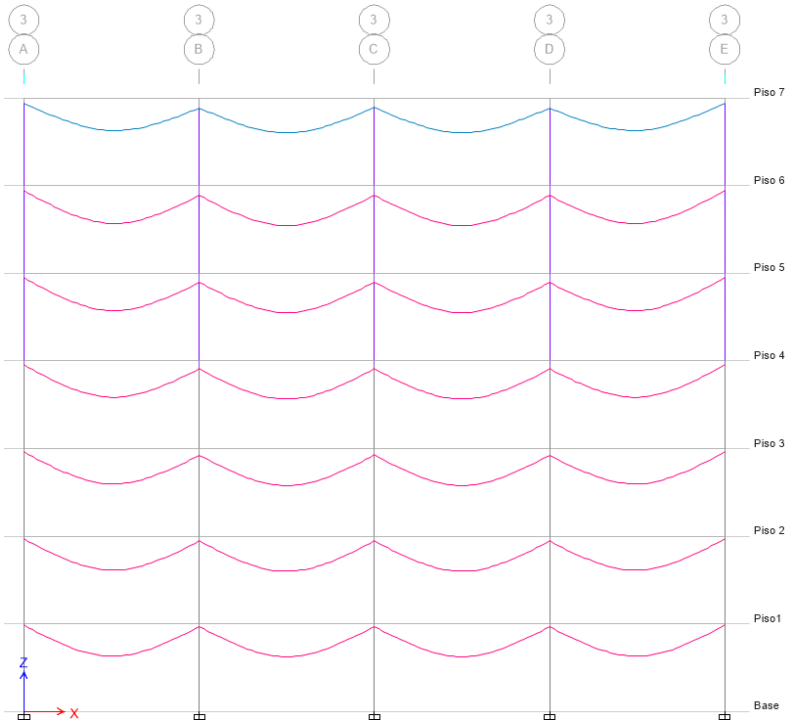



*Ilustración 77. Pórtico 3 deformado ante combinaciones de carga de servicio: Máximas deflexiones VIGAS HEB 400 (rosa) – IPE 360 (azul)*
*Fuente: ETABS*

Las vigas cargadoras se encuentran articuladas, teniendo el mayor esfuerzo flexional en el centro luz, por ende el estado deformado de servicio de la estructura más crítico es el *que se muestra en la ilustración 75*, bajo la combinación de cargas $D + L$, *que se muestra en la Tabla 53*. La viga que presenta mayor deformación es la secundaria IPE 270, que se encuentra en todos los paneles de piso. Como se puede ver, se cumple con los estados límite de servicio.

**Combinación de carga para estados límites de servicio:**

$$D + L' \quad (82)$$

$$L' \quad (83)$$

**Deformación máxima admisible:**

$$\Delta_{adm} = \frac{L}{240} \rightarrow Para\ D + L' \quad (84)$$

$$\Delta_{adm} = \frac{L}{360} \rightarrow Para\ L' \quad (85)$$

**Verificación de deformación:**

$$\Delta < \Delta_{adm} \quad (86)$$

*Tabla 54. Deflexiones máximas en el centro luz de las vigas*

| PERFILES | | Deformación actuante (Δ) | | Deformación máxima adm ($\Delta_{adm}$) | | Verificación |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | $D + L'$ | $L'$ | $D + L'$ | $L'$ | |
| VIGAS | IPE 400 | 13.064 | 3.597 | 25 $mm$ | 16.67 $mm$ | Cumple |
| | IPE 360 | 10.752 | 1.813 | 25 $mm$ | 16.67 $mm$ | Cumple |
| | IPE 270 | 15.420 | 4.318 | 25 $mm$ | 16.67 $mm$ | Cumple |

*Fuente: Límites de deflexión tomados del "International Building Code-2009" para miembros de piso*

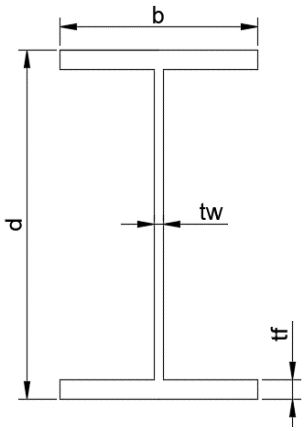
### 2.16.4 Verificación de las Columnas HEB 450 y HBE 500 (Método directo AISC 360).

Con las solicitación de carga ingresado en el software ETABS se debe verificar los estados límites de resistencia vinculados al efecto de carga axial, corte y flexión, a diferencia de las vigas que se realiza una verificación individual de estos estados, en las columnas ya que los elementos están sujetos a flexión y compresión axial, se determina individualmente la resistencia de diseño a flexión y a compresión y luego se interactuara ambos efectos, como indica la norma ANSI/AISC 360-16 en su Sección H1.

El diseño de las columnas se basó en la utilización de perfiles laminados HEB 450 y HEB 500, el cual como ya lo mencionamos revisaremos si soporta la carga axial ejercida, sino que también se revisar el efecto de flexión que se produce en ellos, para observar si presentan alguna inestabilidad el elemento.

### *2.16.4.1 Propiedades geométricas de la sección transversal de los perfiles.*

*Tabla 55. Propiedades geométricas de los perfiles laminados empleados en las columnas*

| Representación | Propiedad Geométrica | HEB 450 | HEB 500 |
|---|---|---|---|
|  | h ($cm$) | 45.00 | 50.00 |
| | b ($cm$) | 30.00 | 30.00 |
| | $t_w$ ($cm$) | 1.40 | 1.45 |
| | $t_f$ ($cm$) | 2.60 | 2.80 |
| | Área ($cm^2$) | 218.00 | 239.00 |
| | Inercia X (cm4) | 79890.00 | 107200.00 |
| | Inercia Y ($cm^4$) | 11720.00 | 12620.00 |
| | Modulo Resistente X ($cm^3$) | 3550.70 | 4288.00 |
| | Modulo Resistente Y ($cm^3$) | 781.30 | 841.30 |
| | Modulo Plástico X ($cm^2$) | 3982.00 | 4815.00 |
| | Modulo Plástico Y ($cm^2$) | 1198.00 | 1292.00 |
| | Constante de torsión ($cm^4$) | 448.00 | 548.00 |
| | Radio de giro X ($cm$) | 19.14 | 21.18 |
| | Radio de giro Y ($cm$) | 7.33 | 7.27 |
| | Esfuerzo Fluencia ($kg/cm^2$) | 3520.00 | |



*Fuente: Elaboración Propia*

### *2.16.4.2 Relación Ancho-Espesor en elementos en compresión o sometidos a flexión.*

- **Análisis del patín.**

Según la normativa ANSI/AISC 360-16 en la Tabla B4.1b, indica las razones ancho-espesor para elementos en compresión y miembros a flexión, que nuestro caso el perfil estaría actuando a compresión y además es un elemento no atiesado, según esa normativa el caso de estudio para ambos perfiles sería el 1 para "Alas de perfiles laminados, planchas conectadas a perfiles laminados, alas de pares de ángulos conectados continuamente, alas de canales y alas de secciones T", en el cual analizaremos si el perfil es compacto o no

La verificación del patín para la relación ancho-espesor elementos en compresión, *se muestra en la Tabla 55,* además se indica que para cumpla la verificación debe cumplir esta condición:

$$\frac{b}{tf} < 0.56\sqrt{\frac{E}{Fy}} \qquad (87)$$

- **Análisis del alma.**

Según la normativa ANSI/AISC 360-16 en la Tabla B4.1b, indica las razones ancho-espesor para elementos en compresión y miembros a flexión, que nuestro caso el perfil estaría actuando a compresión y además es un elemento atiesado, según esa normativa el caso de estudio para ambos perfiles sería el 5 para "Almas de secciones I con doble simetría y secciones canal" en donde analizaremos si el perfil es compacto o no.

La verificación del alma para la relación ancho-espesor elementos en compresión, *se muestra en la Tabla 55,* además se indica que para cumpla la verificación debe cumplir esta condición:

$$\frac{b}{tf} < 1.49\sqrt{\frac{E}{Fy}} \quad (88)$$

*Tabla 56. Relación ancho-espesor en elementos en compresión o sometidos a flexión*

| Elemento de análisis | Perfil empleado | Razón Ancho-Espesor | Razón Ancho-Espesor Limite en λ (compacta/no compacta) | Verificación |
|---|---|---|---|---|
| **Patín** | HEB 500 | $\frac{b}{tf} = \frac{\frac{b}{2} - \frac{tw}{2}}{tf} = 5.10\ cm$ | $0.56\sqrt{\frac{E}{Fy}} = 0.56\sqrt{\frac{(2.04 * 10^6)}{(2530)}} = 13.48$ | Cumple |
| | HEB 450 | $\frac{b}{tf} = \frac{\frac{b}{2} - \frac{tw}{2}}{tf} = 5.50\ cm$ | | Cumple |
| **Alma** | HEB 500 | $\frac{h}{tw} = \frac{d - 2tf}{tw} = 30.62\ cm$ | $1.49\sqrt{\frac{E}{Fy}} = 1.49\sqrt{\frac{(2.04 * 10^6)}{(2530)}} = 69.57$ | Cumple |
| | HEB 450 | $\frac{h}{tw} = \frac{d - 2tf}{tw} = 28.43\ cm$ | | Cumple |

*Fuente: Elaboración Propia*

### *2.16.4.3 Resistencias máximas de diseño.*

- $P_{nt}$: Fuerza axial de primer orden usando las combinaciones LRFD, cuando en la estructura no hay desplazamiento lateral. Mediante el software ETABS se obtuvieron los valores de las máximas cargas puntales que actúan en las columnas de perfil HEB 450 y HEB 500, *como se muestra en a la Tabla 56.*

- $P_{lt}$: Fuerza axial de primer orden usando las combinaciones LRFD, originado solo por el desplazamiento lateral de la estructura. Las máximas cargas de este tipo se obtuvieron mediante el software ETABS, *como se muestra en a la Tabla 56.*

- $M_{nt}$: Momento de primer orden usando las combinaciones LFRD, cuando en la estructura no hay desplazamientos laterales. Mediante las diferentes combinaciones de carga que fueron empleadas y modeladas en la estructura mediante el software ETABS, se obtuvieron los valores de los máximos momentos que actúan en las columnas de perfil HEB 450 y HEB 500, *como se muestra en a la Tabla 56.*

- $M_{lt}$: Momento de primer orden usando las combinaciones LFRD, originado solo por el desplazamiento lateral de la estructura, *como se muestra en a la Tabla 56.*

*Tabla 57. Carga Axial y Momentos actuantes en las columnas*

| Solicitaciones | | HEB 450 | HEB 500 |
|---|---|---|---|
| **Momentos $(ton * m)$** | $M_{ntx}$ | 4.11 | 4.30 |
| | $M_{nty}$ | 1.21 | 1.22 |
| | $M_{ltx}$ | 12.80 | 24.50 |
| | $M_{lty}$ | 1.00 | 3.00 |
| **Cargas Axiales $(ton)$** | $P_{nt}$ | 89.60 | 230.60 |
| | $P_{lt}$ | 5.73 | 25.70 |

*Fuente: Elaboración Propia*

*2.16.4.4 Análisis a compresión.*

- **Verificación de perfil empleado en la columna - Relación KL/r.**

La normativa ANSI/AISC 360-16, especifica que la relación KL/r no sea mayor que 200, para elementos sometidos a compresión. A continuación, se realiza una verificación con ambos perfiles HEB simultáneamente ya que ambos elementos tienen el mismo radio de giro:

$$\frac{KL}{r} = \frac{L_c}{r} < 200 \quad (89)$$

**Verificación - Columna HEB 500**

$41.27 < 200 = Cumple$

**Verificación - Columna HEB 450:**

$40.93 < 200 = Cumple$

Donde:

- $L_c$ = Longitud efectiva. Es la longitud equivalente cuando un elemento está sujeto en compresión con la misma resistencia que se analiza con sus apoyos extremos articulados. La longitud efectiva se emplea para la determinación de la esbeltez de un miembro, el ANSI/AISC 360-16 en su Anexo 7 indica el procedimiento de cálculo de la longitud efectiva, en donde para nuestro caso en ambas columnas es $L_c = K * L = 1.00 * 3.00\ m = 3.00\ m$.

- $K$ = Factor de longitud efectiva. El ANSI/AISC 360-16 indica que, para el método de análisis directo empleado en el estudio de elementos sujetos a compresión axial y flexión, emplea siempre el factor K = 1.00

- $L$ = Longitud no arriostrada lateralmente del miembro. Es decir, la altura que ahí en los entrepisos, que en este caso es igual a la altura de las columnas, es decir 3 metros.

- **Tensión de pandeo elástico ($F_e$).**

El ANSI/AISC 360-16 especifica en su Anexo 7 la determinación de este valor, el cual lo realiza mediante un análisis de pandeo elástico, *como se muestra en a la Tabla 57.*

$$F_e = \frac{\pi^2 * E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2} \quad (90)$$

- **Tensión critica ($F_{cr}$).**

La tensión critica está relacionado al efecto de pandeo elástico torsional o flexo-torsional, el ANSI/AISC 360-16 pone dos condiciones para calcular la tensión critica, en función de la relación KL/r que posee el elemento

**Condiciones:**

a) $Cuando\ \frac{KL}{r} > 4.71\sqrt{\frac{E}{F_y}} \rightarrow F_{cr} = 0.877 * F_e$ (91)

$$b)\quad Cuando\ \frac{KL}{r} \leq 4.71\sqrt{\frac{E}{F_y}} \rightarrow F_{cr} = \left(0.658^{\frac{F_y}{Fe}}\right) * F_y \tag{92}$$

En todos los perfiles estamos en el caso b, por ende la tensión critica seria la que se presenta en la siguiente ecuación y sus resultados *se muestran en a la Tabla 57.*

**Tensión critica:**

$$F_{cr} = \left(0.658^{\frac{F_y}{F_e}}\right) * F_y \tag{93}$$

- **Resistencia de compresión nominal ($P_n$).**

Se determina analizando los estados límites de pandeo por flexión, pandeo torsional y flexo-torsional, el ANSI/AISC 360-16 determina esta relación mediante la siguiente ecuación y sus resultados *se muestran en a la Tabla 57.*

$$P_n = A_g * F_{cr} \tag{94}$$

- **Resistencia nominal a la compresión axial de diseño ($P_c$).**

Es la resistencia por la cual se diseñan los elementos a compresión, es la resistencia nominal asegurado mediante un factor LFRD de $\emptyset = 0.90$, *como se muestra en a la Tabla 57.*

$$P_c = \emptyset * P_n \tag{95}$$

*Tabla 58. Análisis a compresión de las columnas*

| Perfil Empleado | Tensión critica ($F_{cr}$) | Tensión de pandeo ($F_e$) | Resistencia de compresión nominal ($P_n$) | Resistencia nominal a la compresión axial de diseño ($P_c$) |
|---|---|---|---|---|
| **HEB 500** | $3107.53\frac{kg}{cm^2}$ | $11821.18\frac{kg}{cm^2}$ | $742.70\ ton$ | $668.43\ ton$ |
| **HEB 450** | $3113.89\frac{kg}{cm^2}$ | $12018.39\frac{kg}{cm^2}$ | $678.83\ ton$ | $610.95\ ton$ |

*Fuente: Elaboración Propia*

### *2.16.4.5 Análisis a flexión.*

- **Comportamiento de las columnas debido a la flexión que se ejerce.**

  - Mayor distancia no arriostrada lateralmente para ambas alas ($L_b$).

  En este caso sería la altura que hay entre cada entre piso del edificio, es decir la altura total de las columnas ($L_b = 300\ cm$), *como se muestra en a la Tabla 58.*

  - Longitud límite sin arriostramiento lateral para el estado límite de fluencia ($L_p$).

$$L_p = 1.76 * r_y\sqrt{\frac{E}{F_y}} \tag{96}$$

- Longitud límite sin arriostramiento lateral para el estado límite de pandeo flexo torsional inelástico ($L_r$).

Esta longitud depende de varas propiedades de la sección como: área transversal, módulo de elasticidad, esfuerzo de fluencia y las propiedades de torsión y alabeo o, *como se muestra en a la Tabla 58.*

**Longitud $L_r$:**

$$Lr = 1.95 * r_{ts} * \frac{E}{0.7 * Fy}\sqrt{\frac{J * c}{S_x * h_o} + \sqrt{\left(\frac{J * c}{S_x * h_o}\right)^2 + 6.76\left(\frac{0.7 * Fy}{E}\right)^2}} \quad (97)$$

**Distancia entre los centroides del patín:**

$$h_o = d - t_f = 47.2\ cm \quad (98)$$

**Constante de alabeo:**

$$C_w = \frac{I_y * {h_o}^2}{4} \quad (99)$$

**Radio de giro efectivo para pandeo lateral torsional:**

$${r_{ts}}^2 = \frac{\sqrt{I_y * C_w}}{S_x} \rightarrow r_{ts} \quad (100)$$

La constante c, el ANSI/AISC 360-16 indica en su Capitulo F, que para secciones I con simetría doble $c = 1$.

- Análisis del comportamiento de las columnas debido a la flexión.

*Tabla 59. Análisis a flexión de las columnas*

| Perfil Empleado | Mayor distancia no arriostrada lateralmente para ambas alas ($L_b$) | Mayor distancia no arriostrada lateralmente para ambas alas ($L_p$) | Longitud límite sin arriostramiento lateral para el estado límite de pandeo flexo torsional inelástico ($L_r$) |
|---|---|---|---|
| **HEB 500** | 300 $cm$ | 307.60 $cm$ | 1154.71 $cm$ |
| **HEB 450** | 300 $cm$ | 310.57 $cm$ | 1113.38 $cm$ |

*Fuente: Elaboración Propia*

Los perfiles de las columnas pueden tener compartimientos plásticos, pandeo inelástico o pandeo elástico, el cual depende de la distancia no arriostrada lateralmente para ambas alas en el punto de carga ($L_b$), la longitud límite sin arriostramiento lateral para el estado límite de fluencia ($L_p$) y la longitud límite sin arriostramiento lateral para el estado límite de pandeo flexo-torsional inelástico ($L_r$), como lo indica el ANSI/AISC 360-16 para saber cómo se comporta el elemento tenemos las siguientes condiciones:

**Condiciones:**

a) $L_b < L_p < L_r \rightarrow Comportamiento\ plastico$ (101)

b) $L_p < L_b < L_r \rightarrow Comportamiento\ inelastico$ (102)

c) $L_p < L_r < L_b \rightarrow Pandeo\ elastico$ (103)

Ya que todos los perfiles son compactos y rígidos, todos los elementos de perfiles de las columnas tendrían un comportamiento elástico, es decir están en el caso a) y por ende no requerirían arrostramiento debido que no sufrirían ningún efecto de pandeo.

- **Resistencia nominal a la flexión ($M_c$).**

Debido que como se mencionó que los perfiles empleados en las columnas son bastantes rígidos, estos no presentaran efectos de pandeo, por lo que su resistencia a flexión solo depende de su momento plástico.

$$M_{cx} = M_{px} = Z_x * F_y \quad (104)$$

$$M_{cy} = M_{py} = Z_y * F_y \quad (105)$$

*Tabla 60. Resistencia nominal a la flexión en ambos ejes (Mc)*

| Perfil Empleado | Resistencia nominal a flexión en el eje "X" ($M_{cx}$) | Resistencia nominal a flexión en el eje "Y" ($M_{cy}$) |
|---|---|---|
| **HEB 500** | $169.49\ ton * m$ | $45.48\ ton * m$ |
| **HEB 450** | $140.17\ ton * m$ | $21.87\ ton * m$ |

*Fuente: Elaboración Propia*

- **Análisis aproximado de segundo orden**

Para determinar los efectos de segundo orden para elementos a compresión el AISC utiliza el método de análisis directo presentado en su Anexo 8, donde relaciona los efectos de primer y segundo ordenen con factores de amplificación β1 y β2.

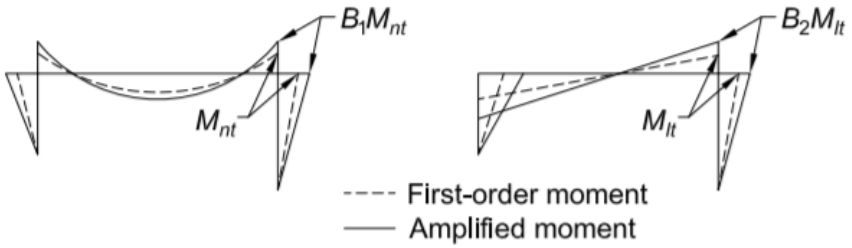



*Ilustración 78. Interpetracion de los factores de amplificación B1 y B2*

- Resistencia axial requerida ($P_r$).

Resistencia requerida de segundo orden a tensión axial con combinaciones LRFD. En donde analizaremos las columnas del piso 5 (HEB 450) y del primer piso (HEB 500) ya que están son las más críticas.

$$P_r = P_{nt} + \beta 2 * P_{lt} \quad (106)$$

**Columna HEB 500:**

$$P_r = 230.30 + 1.419 * 25.70 = 266.76\ ton$$

**Columna HEB 450:**

$$P_r = 89.60 ton + 1.271 * 5.73 = 96.88\ ton$$

Donde:

- $P_{piso}$: Carga vertical total soportada por el piso empleando las combinaciones de carga LRFD. Las máximas cargas de este tipo se obtuvieron mediante el software ETABS, *como se muestra en a la Tabla 60.*

- $P_{e\ piso}$: Resistencia a pandeo elástico del entrepiso, en la dirección de traslación considerada. Las máximas resistencias de este tipo se obtuvieron mediante el software ETABS, *como se muestra en a la Tabla 60*.

$$\mathrm{P}_{e\ piso} = R_M \frac{HL}{\Delta_H} \quad (107)$$

- $H$: Esfuerzo de piso provocado en la dirección de traslación considerada, debido a las acciones laterales. Las máximas esfuerzos de este tipo se obtuvieron mediante el software ETABS, *como se muestra en a la Tabla 60*.

- $R_M$: El ANSI/AISC 360-16 indica en su Anexo 8, que para pórticos sometidos a momento este valor deber ser tomado como $R_M = 0.85$.

- $\Delta_H$: Deriva de entrepiso de primer orden en la dirección de traslación producida por las acciones laterales. Las máximas derivas inelásticas se obtuvieron mediante el software ETABS, *como se muestra en a la Tabla 60*.

- β2: Factor de amplificación de los efectos P-Δ. Los efectos P-Δ relaciona las cargas que actúan sobre la ubicación desplazada de uniones o nodos en una estructura, entrepisos y para cada dirección de traslación lateral. El factor β2 solo se emplea a fuerzas internas asociadas al desplazamiento, este factor estima los efectos P-Δ en las fuerzas y momentos de todos los miembros.

$$\beta 2 = \frac{1}{1 - \frac{\alpha P_{piso}}{P_{e\ piso}}} \geq 1.00 \quad (108)$$

*Tabla 61. Determinación del factor de amplificación β2: para el análisis de los efectos P-Δ*

| Pisos | Combinación de cargas | $P_{piso}(ton)$ | Derivas inelásticas $\Delta_H$ (cm) | H (ton) | $P_{e\ piso}$ (ton) | β2 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Piso 7** | 1.2D+1.6L+0.5max(Lr; S; R) | 232,78 | 2.15 | 20,08 | 2376.414 | 1.109 |
| **Piso 6** | 1.2D+1.6L+0.5max(Lr; S; R) | 661,05 | 2.92 | 45,42 | 3972.133 | 1.200 |
| **Piso 5** | 1.2D+1.6L+0.5max(Lr; S; R) | 1089,32 | 3.27 | 65,44 | 5110.347 | 1.271 |
| **Piso 4** | 1.2D+1.6L+0.5max(Lr; S; R) | 1518,71 | 3.12 | 80,61 | 6584.298 | 1.300 |
| **Piso 3** | 1.2D+1.6L+0.5max(Lr; S; R) | 1949,29 | 3.25 | 91,09 | 7142.674 | 1.375 |
| **Piso 2** | 1.2D+1.6L+0.5max(Lr; S; R) | 2379,86 | 3.08 | 97,31 | 8059.388 | 1.419 |
| **Piso1** | 1.2D+1.6L+0.5max(Lr; S; R) | 2810,44 | 1.83 | 99,85 | 13927.489 | 1.253 |

*Fuente: ETABS*

- Resistencia requerida a la flexión ($M_r$).

Resistencia requerida de segundo orden a flexión con combinaciones LRFD, analizada en ambos ejes locales "X" y "Y".

$$M_{rx} = \beta 1_x * M_{ntx} + \beta 2 * M_{ltx} \quad (109)$$

$$M_{ry} = \beta 1_y * M_{nty} + \beta 2 * M_{lty} \quad (110)$$

- β1: Factor de amplificación de los efectos P-δ. Estos efectos relacionan la acción de las cargas que actúan sobre la forma desviada de un miembro entre juntas o nodos. El factor β1 estima los efectos de P-δ en los momentos no cambiantes en elementos sujetos a compresión.

$$\beta 1_x = \frac{C_m}{1 - \frac{\alpha * P_r}{P_{e1x}}} \quad (111)$$

$$\beta 1_y = \frac{C_m}{1 - \frac{\alpha * P_r}{P_{e1y}}} \quad (112)$$

- $C_m$: Coeficiente que supone un maro sin translación lateral. El ANSI/AISC 360-16 en su Anexo 8 indica que para vigas-columnas sometidas a cargas transversales entres los apoyos, este coeficiente se dispondrá del valor de $C_m = 1.00$ ya que este sería un valor conservador.

- $\tau_b$: Es un factor adicional que se aplica a la rigidez a flexión en donde se considere que esta rigidez contribuye a la estabilidad de la estructura, el ANSI/AISC 360-16 indica dos condiciones para este factor.

**Condiciones:**

a) $Cuando\ \frac{\alpha P_r}{P_y} \leq 0.5 \rightarrow T_b = 1.00$ (113)

b) $Cuando\ \frac{\alpha P_r}{P_y} > 0.5 \rightarrow T_b = 4\left(\frac{\alpha P_r}{P_y}\right)\left[1 - \left(\frac{\alpha P_r}{P_y}\right)\right]$ (114)

Todos los elementos de perfiles de las columnas se analizarán en el caso a) para la determinación del factor $\tau_b$.

- $P_y$: Resistencia axial de fluencia, (ton).

$$P_y = Fy * A_g \quad (115)$$

- $P_{e1}$: Resistencia a pandeo elástico del elemento en el plano de flexión calculada suponiendo que no hay desplazamientos de nudos, (ton).

$$P_{e1x} = \frac{\pi^2 * 0.8 * T_b * E * I_x}{(K * L)^2} \quad (116)$$

$$P_{e1y} = \frac{\pi^2 * 0.8 * T_b * E * I_y}{(K * L)^2} \quad (117)$$

- Determinación de la resistencia requerida a la flexión.

*Tabla 62. Resistencia requerida a la flexión (Mr)*

| Elemento | $P_r$ $(ton)$ | $P_y$ $(ton)$ | $P_{e1x}$ $(ton)$ | $P_{e1y}$ $(ton)$ | $\beta 1_x$ | $\beta 1_y$ | β2 | $M_{rx}$ $(ton * m)$ | $M_{ry}$ $(ton * m)$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **HEB 500** | 266.76 | 841.28 | 19185.46 | 2258.59 | 1.0141 | 1.1335 | 1.419 | 39.13 | 5.64 |
| **HEB 450** | 96.88 | 767.36 | 14297.82 | 2097.52 | 1.0068 | 1.0484 | 1.271 | 20.41 | 2.54 |

*Fuente: Elaboración Propia*

### *2.16.4.6 Analisis de estabilidad de elementos sometidos a flexo-compresion.*

Para la interacción de los efectos de compresión axil y flexión el ANSI/AISC 360-16 indica que para elementos con simetría doble y miembros con simetría simple y que están solicitados a flexión en torno a un eje geométrico deben cumplir la ecuación dependiendo el caso que el elemento se encuentre:

**Condiciones:**

$$\text{a)}\quad \frac{P_r}{P_c} \geq 0.2 \rightarrow \frac{P_r}{P_c} + \frac{8}{9} * \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}}\right) \leq 1.0 \qquad (118)$$

$$\text{b)}\quad \frac{P_r}{P_c} < 0.2 \rightarrow \frac{P_r}{2P_c} + \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}}\right) \leq 1.0 \qquad (119)$$

**Verificación - Columna HEB 500:**

$$\frac{(266.76)ton}{(668.43)ton} + \frac{8}{9} * \left(\frac{39.13}{169.49} + \frac{5.64}{45.48}\right) ton \leq 1.0$$

$$0.71 \leq 1.00 \rightarrow Perfil\ estable$$

**Verificación - Columna HEB 450:**

$$\frac{(96.88)ton}{2*(610.95)ton} + \left(\frac{20.41}{140.17} + \frac{2.54}{42.17}\right) ton \leq 1.0$$

$$0.29 \leq 1.00 \rightarrow Perfil\ estable$$

## 2.16.5 Relacion entre recistencia flexional de columnas y vigas.

En los porticos especiales a momento, aparte de los estados limites de recistencia, estabilidad y servicio, se debe realizar una revision de la relacion entre recistencias de columnas y vigas, de manera que se cumpla el concepto de "columna fuerte-viga debil", asegurando el funcionamiento plastico en las vigas y elastico en las columnas. Para esta revision se de cumplir con la siguiente relacion, basada en el concepto de analisis por desempeño estructural.

$$\frac{\sum M^*_{pc}}{\sum M^*_{pb}} = \frac{Z_c\left(F_{yc} - \frac{\alpha_s P_r}{A_g}\right)}{M_{pr} + \alpha_s M_v} = \frac{Z_c\left(F_{yc} - \frac{\alpha_s P_r}{A_g}\right)}{\left(1.1 R_y f_{yb} Z_b\right) + \alpha_s M_v} > 1.00$$

El factor de seguridad según el AISC será $\alpha_s \rightarrow 1\ (LRFD)$. El analisis se realiza en un nudo critico de la estructura, donde hay una confluencia de las columnas superior e inferior de entrepiso, y las 4 vigas cargadoras conectadas a estas, en las direcciones "X" e "Y" respecitvamente. Los nudos criticos de la estructura *se muestran en la ilustracion 77.*

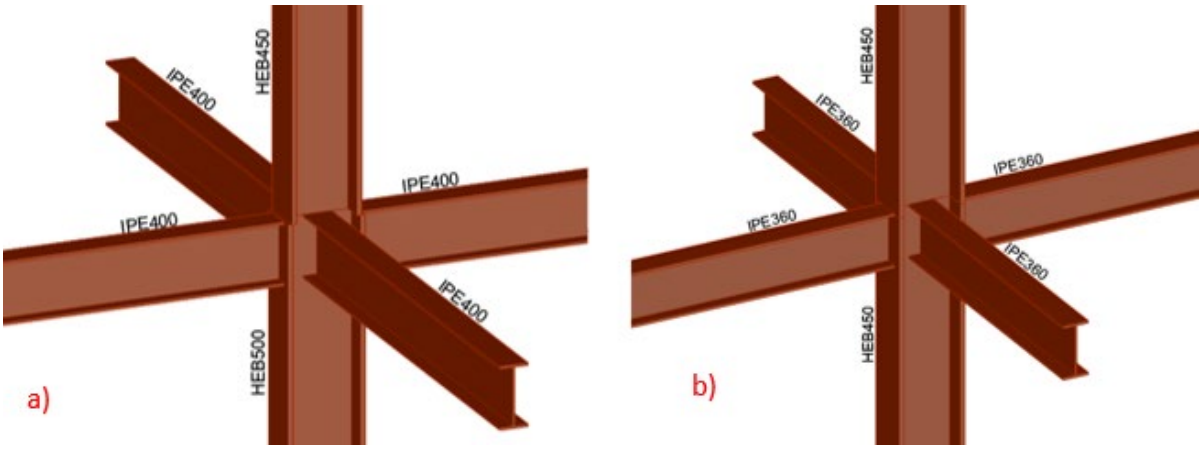



*Ilustración 79. Nudos críticos de relación flexional entre columnas y vigas: a) Caso 1 - b) Caso 2*
*Fuente: Elaboración Propia*

El numerador $M_{pc}$ es la sumatoria de los momentos plasticos de recistencia disponibles en las columnas, reduciendo al modulo de fluencia $F_y$ el efecto inducido por la carga axial. El denominador cuantifica la resistencia flexional disponible en las vigas, proyectada en la cara de la columna mas un momento adicional debido a la amplificacion provocada por la fuerza de palanca del corte en la rotula plastica hasta el eje de la columna, *como se muestra en la ilustracion 78.*

En caso de instalar una conexión con seccion reducidad (RBS), se debe calcular el momento con el modulo plastico $Z$ de la seccion reducida.

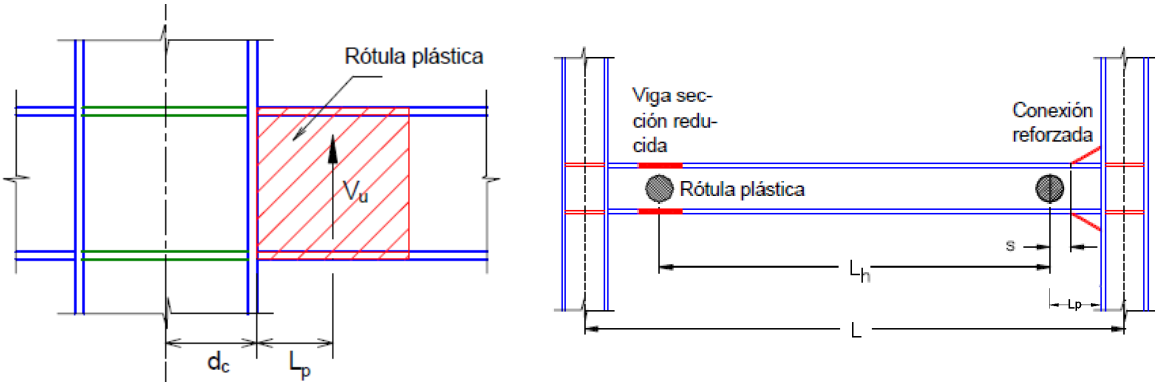



*Ilustración 80. Criterio del momento adicional ($M_v$) causado por el corte actuando en el centro de la rótula plástica*
*Fuente: (Crisafulli, 2018)*

- **Caso 1 de Analisis:**

  - Analisis de las columnas.

  Para determinar los momentos plasticos de las columnas ($M^*_{pc}$) es necesario conocer las siguientes propiedades geometricas que intevienen en el nodo de analisis :

*Tabla 63. Propiedades geométricas para la determinación momentos plásticos de las columnas ($M^*_{pc}$)*

| ELEMENTO | $Z_c$ | $A_g$ | $d_c$ |
|---|---|---|---|
| **HEB500** | 4679.42 cm³ | 239 cm² | 25 cm |
| **HEB450** | 3861.61 cm³ | 218 cm² | 22.2 cm |
| **IPN450** | 2462.70 cm³ | 150.3 cm² | - |
| **IPE400** | 1307.00 cm³ | 84.5 cm² | - |

*Fuente: Elaboración Propia*

Sumatoira de los momentos plasticos en las columnas por enicma y debajo del nudo ($M^*_{pc}$) para analizar las columnas centrales de los primeros 4 niveles con la configuracion que *se muestran en la ilustracion 77.*

Nivel 1: $P_r = 232\ ton$

Nivel 2: $P_r = 196\ ton$

$$\sum M^*_{pc} = Z_c\left(F_{yc} - \frac{\alpha_s P_r}{A_g}\right) \qquad (120)$$

$$\sum M^*_{pc} = \left[4679.42 * \left(3.515 - 1 * \frac{232.38}{239}\right)\right] + \left[4679.42 * \left(3.515 - 1 * \frac{196}{239}\right)\right] = 245.08\ ton * m$$

- Analisis de las vigas.

La sumatoria de las resistencias por flexion de las vigas $(M^*_{pb})$. Para esta revisión se de cumplir con la siguiente relación, basada en el concepto de análisis por capacidad.

La fuerza de corte en las vigas cargadoras que llegan a la columna es las siguiente, obtenida del diagrma de corte envolvente del analisis estructural: $V_2 = 12.5\ (ton)$

Se asume que la rotula se dara a una longitud desde la cara de la columna $L_p = h_b$, donde $h_b$ es la altura de la viga $(h_b = 45cm)$.

La resistencia flexional de la viga se multiplica por dos, debido a que en los porticos perifericos las columnas estan concetadas por dos vigas a momento a diferencia de este nudo critico que se considero en el analisis por la carga axial maxima de la columna.

$$\sum M^*_{pb} = M_{pr} + \alpha_s M_v = \left(1.1 R_y f_{yb} Z_b\right) + \alpha_s M_v \qquad (121)$$

$$\sum M^*_{pb} = 2 * \left[(1.1 * 1.1 * 2.53 * 2462.7) + 1.00\left(1 * 12.5 * (0.45 + 0.25)\right)\right] = 168.30\ ton * m$$

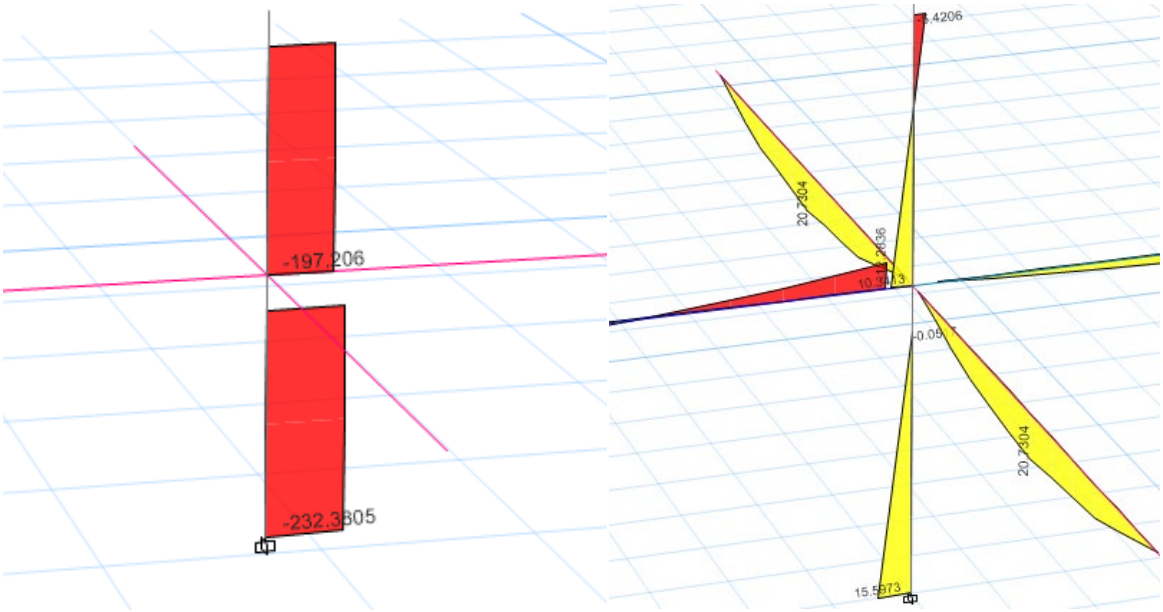



*Ilustración 81. Diagramas axiales y de corte (envolvente), en nudo critico 3C, entre N1 y N2*
*Fuente: Elaboración Propia*

- Verificacion relacion columna fuerte-viga debil.

$$\frac{\sum M^*_{pc}}{\sum M^*_{pb}} = \frac{245.08\ ton * m}{168.30\ ton * m} = 1.4 \geq 1 \rightarrow Cumple$$

Debido a que la resistencia flexional de las columnas es mayor que de las vigas en el nudo critico 3B/3D-2B/2D, donde las columnas se encuentran mas esforzadas a compresion, se supone que los demas nudos cumplen con la relacion, asi tambien el caso 2, donde las columnas son HEB 450 y las vigas IPE 400, debido a que la relacion de resistencia entre la columnas HEB 500 Y HEB 450 no tiene una variacion significativa.

## 3. Diseño de Conexiones Precalificadas.

En el análisis estructural dinámico del SRCS, se verifico que los mayores efectos sísmicos ante el modo de vibración de la estructura en la dirección X, se concentran en el pórtico 4, por lo que el diseño y análisis de conexiones se realizara en este subsistema. Las conexiones de la estructura se diseñarán según los códigos de acero estructural AISC/360-341-354, teniendo un orden secuencial lógico de las especificaciones.

El sistema estructural (PEM) se ha diseñado de acuerdo con las disposiciones sismorresistentes del AISC 341, siguiendo la filosofía de diseño sismorresistente, en la que se busca un comportamiento dúctil de la estructura atreves de la plastificación de las vigas y la formación de rotulas plásticas que disipen la energía sísmica, mientras que en las columnas se busca limitar la capacidad al estado elástico, asegurando la estabilidad global de la estructura, permitiéndose únicamente el rendimiento plástico en las columnas del primer piso. Este concepto se verifico en la relación de resistencias flexurales de vigas y columnas "columna fuerte-viga débil".

Las conexiones viga-columna desempeñan un trabajo importante en la estructura para lograr el funcionamiento y desempeño sísmico esperado, siendo uno de los ejes fundamentales de estudio en el presente proyecto.

La resistencia requerida en las conexiones se determinará para cada caso específico según las especificaciones estipuladas en AISC, así como la consideración de las solicitaciones máximas de los diagramas de envolvente de las combinaciones de carga ante fuerzas sísmicas y gravitacionales según corresponda.

### 3.1 conexiones a corte en vigas del SRCG.

Compatibilidad de deformación en miembros y conexiones que no pertenecen al SRCS. Si el código de construcción local como en este caso es la NEC, considera compatibilidad de deformaciones de elementos no pertenecientes a SRCS, se aplica esta especificación. El ASCE/7 especifica que los elementos que no forman parte del SRCS como las vigas articuladas y secundarias deben diseñarse para la combinación de efectos gravitacionales y las derivas de piso calculadas (Conexiones a corte se diseñan según especificación J1.2 del ASCE/7).

### 3.2 Diseño de diferentes tipologías de conexiones para pórticos SMF-PEM.

Las conexiones rígidas que conectaran las vigas sísmicas a las columnas del pórtico 4 serán conexiones precalificadas según el código AISC-358, que para efectos del siguiente estudio se analizaran las siguientes:

- Conexión de sección reducida (RBS)
- Conexión de placa y ala empernada (BFP)
- Conexión de ala y alma soldada – sin refuerzo (WUF-W)

Todas estas conexiones se basa su diseño en el código AISC/358. en donde se consideran totalmente restringidas (FR), para fines de análisis sísmico del presente estudio.

Las conexiones y juntas del SRCS deben cumplir con los límites de resistencia del capítulo J ASIC-360, según corresponda, así como los requisitos adicionales de la norma sísmica y de conexiones precalificadas para pórticos especiales a momento (PEM).

- **Pórtico - Viga - Columnas a analizar.**

*Tabla 64. Elementos estructurales a analizar del Pórtico 4*

| Piso de análisis | Perfil Empleado | Uso |
|---|---|---|
| **Piso 1** | HEB 500 | Columna |
| | IPN 450 | Viga |
| **Piso 5** | HEB 450 | Columna |
| | IPE 400 | Viga |
| **Piso 7** | HEB 450 | Columna |
| | IPE 360 | Viga |

*Fuente: Elaboración Propia*

## 3.3 Conexión de Sección Reducida (RBS).

Esta conexión a momento con sección de viga reducida (RBS), se basa en realizar un corte en la parte del patín de la viga adyacente a la conexión de viga a columna, para poder suponer que en esa zona reducida se cree la rótula plástica.

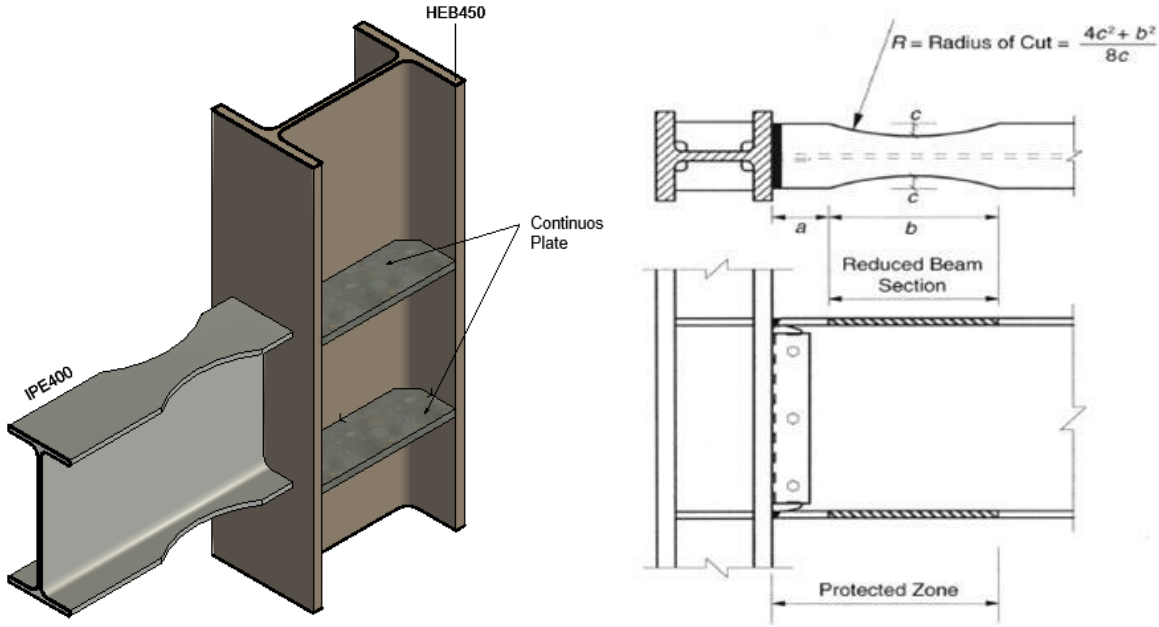



*Ilustración 82. Conexión de sección reducida*
*Fuente: Elaboración Propia*

### 3.3.1 Limitaciones de la viga.

El ANSI/AISC 358 indica algunas limitaciones de la viga para poder emplear la conexión RBS en un diseño estructural.

*Tabla 65. Limitaciones vigas para conexión RBS*

| Propiedades | Valores limites | Elemento | | |
|---|---|---|---|---|
| | | IPN 450 | IPE 400 | IPE 360 |
| $d_{max}$ W36 (mm) | 914.4 | 450 | 400 | 360 |
| $W_{max}$ (kg/m) | 447 | 115.4 | 66.3 | 57.1 |
| $t_{f.max}$ | 44 | 24.3 | 13.5 | 12.7 |
| $L_b/d_b$ (Relacion vano libre/peralte) | > 7 | 12.22 | 13.87 | 15.42 |

*Fuente: Elaboración Propia*

- **Refuerzo lateral.**

Según con las disposiciones sísmicas de AISC la fijación del arriostramiento lateral suplementario a la viga se ubicará a no más $\frac{d_v}{2}$ más allá del extremo de la sección de viga reducida más alejada de la cara de la columna.

**Viga IPN 450:** $\left(a+b+\frac{d_v}{2}\right)=\left(12.75+38.25+\frac{45}{2}\right)=73.50\ cm$

**Viga IPE 400:** $\left(a+b+\frac{d_v}{2}\right)=\left(15.00+34.00+\frac{40}{2}\right)=69.00\ cm$

**Viga IPE 360:** $\left(a+b+\frac{d_v}{2}\right)=\left(12.75+30.60+\frac{36}{2}\right)=61.35\ cm$

### 3.3.2 Limitaciones de la columna.

El ANSI/AISC 358 indica que la profundidad de las columnas no debe exceder de un perfil W36 (914.4 mm), que, para las dos columnas utilizadas en el sistema, se cumple con esta especificación. Además, las columnas no tienen restricción para el peso ni espesor del patín.

- **Relación ancho espesor.**

La NEC– SE-AC establece en función de la geometría de los perfiles analizar los límites de esbeltez, en nuestro caso serán analizados para elementos altamente dúctiles:

$$\frac{b}{tf}<0.3\sqrt{\frac{E}{Fy}} \qquad (122)$$

**Columna - HEB 450:**

$$\frac{\frac{30}{2}-\frac{1.40}{2}}{2.60}<0.3\sqrt{\frac{2.04*10^6}{3520}}$$

$$5.50<7.22=Cumple$$

**Columnas - HEB 500:**

$$\frac{\frac{30}{2}cm-\frac{1.45}{2}}{2.8}<0.3\sqrt{\frac{2.04*10^6}{3520}}$$

$$5.10<7.22=Cumple$$

### 3.3.3 Procedimiento de diseño de la conexión.

*3.3.3.1 Recorte de los patines de la viga.*

*Tabla 66. Dimensiones del corte del patín de la viga para conexión RBS*

| Dimensiones | Limitaciones | Elemento | | |
|---|---|---|---|---|
| | | IPN450 | IPE400 | IPE360 |
| **Distancia horizontal desde la cara de la columna hasta la sección de corte (a)** | $0.5bf<a<0.75bf$ | $a=0.75*17$<br>$a=12.75\ cm$ | $a=0.75*18$<br>$a=13.5\ cm\approx 15\ cm$ | $a=0.75*17$<br>$a=12.75\ cm$ |
| **Longitud de corte hacia el centro de la viga (b)** | $0.65d<b<0.85d$ | $b=0.85*45$<br>$b=38.25\ cm$ | $b=0.85*40$<br>$b=34.00\ cm$ | $b=0.65*36$<br>$b=30.60\ cm$ |
| **Profundidad de corte hacia el centro de viga (c)** | $0.10bf<c<0.25bf$ | $c=0.25*17$<br>$c=4.25\ cm$ | $c=0.10*18$<br>$c=1.80\ cm$ | $c=0.25*17$<br>$c=4.25$ cm |
| **Radio de corte (R)** | $R=\frac{(4*c^2)+b^2}{8*c}$ | $R=45.16\ cm$ | $R=81.20\ cm$ | $R=29.67\ cm$ |

*Fuente: Elaboración Propia*

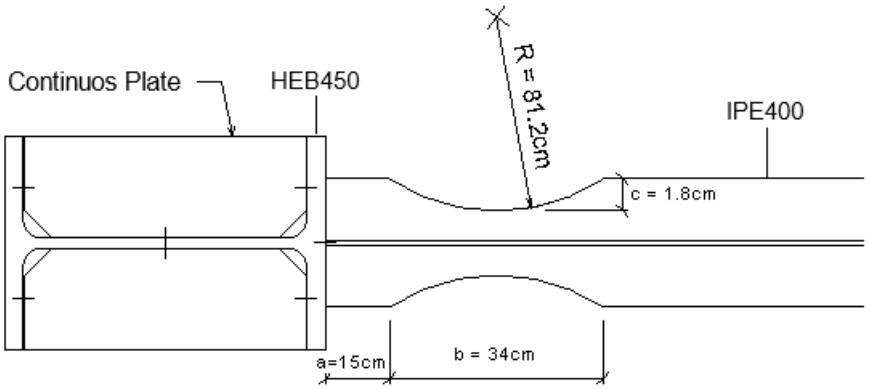



*Ilustración 83. Sección reducida IPE 400*
*Fuente: Elaboración Propia*

*3.3.3.2 Modulo plastico en el centro de la secion reducida de la viga.*

El módulo plástico es una característica de las propiedades geométricas de los elementos, no importa si el pórtico es SMF, IMF, de la fuerza basal, ni de la tipología de la estructura. Para el diseño de esta conexión RBS se necesita calcular el módulo plástico en la sección reducida de la viga, *como se muestra en la Tabla 66*.

$$Z_{RBS} = Z_x - [(2 * c * tf) * (d - tf)] \quad (123)$$

*3.3.3.3 Maximo momento probable en el centro recortado.*

**Máximo momento probable en el centro recortado:**

$$M_{pr} = C_{pr} * R_y * F_y * Z_{RBS} \rightarrow C_{pr} \quad (124)$$

**Factor que toma en cuenta la fuerza máxima de la conexión**:

$$C_{pr} = \frac{(F_y + F_u)}{(2 * F_y)} \leq 1.20 \quad (125)$$

$$C_{pr} = \frac{\left(2530\frac{kg}{cm^2} + 4077\frac{kg}{cm^2}\right)}{\left(2 * 2530\frac{kg}{cm^2}\right)} = 1.31 \leq 1.20$$

*Tabla 67. Determinación del máximo momento probable en el centro de la sección reducida para conexión RBS*

| Análisis | Elemento | | |
|---|---|---|---|
| | IPN 450 | IPE 400 | IPE 360 |
| $Z_{RBS}$ | $1520.72\ cm^3$ | $1119.16\ cm^3$ | $644.09\ cm^3$ |
| $M_{pr}$ | $60.02\ ton * m$ | $44.17\ ton * m$ | $25.42\ ton * m$ |

*Fuente: Elaboración Propia*

*3.3.3.4 Cortante generada por cargas de gravedad.*

La fuerza de corte producida en la rótula plástica se determinará a partir de un diagrama de cuerpo libre entre los centros de las secciones de viga reducidas. Para la determinación de la cortante máxima producida en la rótula plástica, el AISC 358-10 indica que este cálculo se utiliza la siguiente combinación de carga, *como se muestra en la Tabla 67*.

**Cortante generada por cargas de gravedad:**

$$P = 1.2D + f1L' + 0.2S \quad (126)$$

**Longitud libre:**

$$L_b = L - 2\left(\frac{d_c}{2}\right) \quad (127)$$

**Longitud entre rotulas plásticas:**

$$L_h = L_b - (2 * a) - b \quad (128)$$

**Carga distribuida en la longitud entre rotulas:**

$$W_u = \frac{P}{L_h} \quad (129)$$

**Cortante en la rótula plástica:**

$$V_h = \frac{W_u * L_h}{2} \quad (130)$$

**Distancia desde el borde de la columna hasta la rótula plástica:**

$$S_h = a + \frac{b}{2}$$

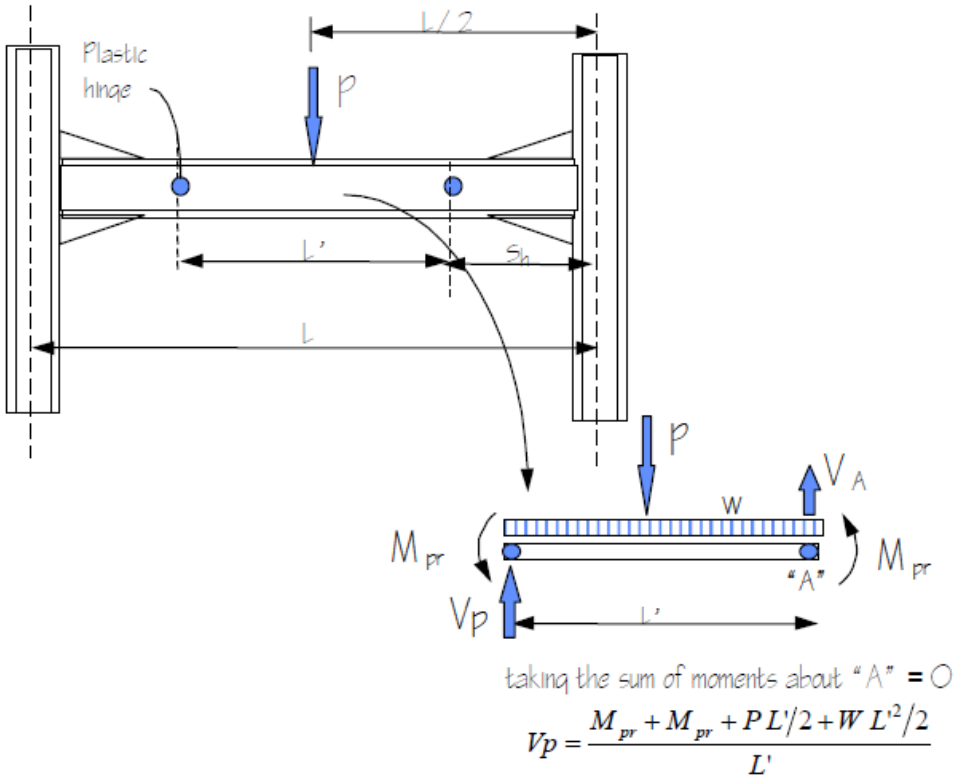



*Ilustración 84. Cortante en la rótula plástica*
*Fuente: FEMA350*

Donde:

- $f1 = 0.7 \rightarrow$ Factor de carga viva ASCE/7-10.
- $D$ y $L' \rightarrow$ Carga Muerta y Viva respectivamente, de las vigas mayor solicitadas, obtenida de la modelación en ETABS.

*Tabla 68. Cálculo de cortante en rotula plástica para conexión RBS*

| Elemento | $L_b$ | $S_h$ | $L_h$ | $D$ | $L'$ | $P$ | $W_u$ | $V_h$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **IPN450** | 5.50 $m$ | 31.88 $cm$ | 4.86 $m$ | 7726 $kg$ | 2700 $kg$ | 11.16 $ton$ | 2.30 $ton/m$ | 5.59 $ton$ |
| **IPE400** | 5.55 $m$ | 32.00 $cm$ | 4.86 $m$ | 7350 $kg$ | 2700 $kg$ | 10.71 $ton$ | 2.20 $ton/m$ | 5.35 $ton$ |
| **IPE360** | 5.55 $m$ | 28.10 $cm$ | 4.94 $m$ | 4850 $kg$ | 950 $kg$ | 6.49 $ton$ | 1.32 $ton/m$ | 3.26 $ton$ |

*Fuente: Elaboración Propia*

### *3.3.3.5 Cortante producido por el efecto de carga sismica de capacidad limitada producida por el maximo momento probable.*

La cortante producidas en las vigas de analisis causado por la carga sismica de capacidad limitada producida por el maximo momento probable, *como se muestran en la Tabla 68*.

$$V_{Mpr} = \frac{2 * M_{pr}}{L_h}$$

### *3.3.3.6 Cortante maximo en la rotula plastica* ($V_{RBS}$).

La cortante maximo en la rotula plastica producidas en las vigas de analisis, *como se muestran en la Tabla 68*.

$$V_{RBS} = V_h + V_{Mpr} \tag{131}$$

### *3.3.3.7 Maximo momento probable en la cara de la columna* ($M_f$).

Con un diagrama de cuerpo libre desde el centro de la secion reducida de la viga hasta el borde de la columna, se determinara el maximo momento que se produciria en la cara de la columna. Los maximos momentos probables causados en la cara de la columna, *como se muestran en la Tabla 68*.

$$M_f = M_{pr} + V_{RBS} * S_h \tag{132}$$

### *3.3.3.8 Momento plastico de la viga con seccion completa.*

$$M_{pe} = R_y * F_y * Z_x \tag{133}$$

### *3.3.3.9 Capacidad a corte requeridad por la viga y la conexión.*

La resistencia al corte requerido por la viga y la conexión, están relaciona con la cortante que produce las cargas de gravedad y el efecto del máximo momento probable, como lo especifica el AISC 360 en su Capitulo G. La capacidad a corte requerida por las vigas y las Conexiónes, *como se muestran en la Tabla 68*.

$$V_u = \frac{2 * M_{pr}}{L_h} + V_{grav} \tag{134}$$

- **Cortante generada por las fuerzas de gravedad ($V_{gravity}$).**

Esta fuerza de corte del haz es resultante de $1.2D + f1L' + 0.2S$.

$$V_{gravity} = W_u * S_h \quad (135)$$

*Tabla 69. Determinacion de la capacidad a corte requerida por la viga y la conexión RBS*

| Elemento | $M_{pe}$ | $V_{Mpr}$ | $V_{RBS}$ | $M_f$ | $V_{gravity}$ | $V_u$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **IPN 450** | $78.94\ ton * m$ | $24.70\ ton$ | $30.29\ ton$ | $69.68\ ton * m$ | $0.73\ ton$ | $25.43\ ton$ |
| **IPE 400** | $43.00\ ton * m$ | $18.18\ ton$ | $23.53\ ton$ | $51.70\ ton * m$ | $0.70\ ton$ | $18.88\ ton$ |
| **IPE 360** | $33.51\ ton * m$ | $10.29\ ton$ | $13.55\ ton$ | $29.23\ ton * m$ | $0.37\ ton$ | $10.66\ ton$ |

*Fuente: Elaboración Propia*

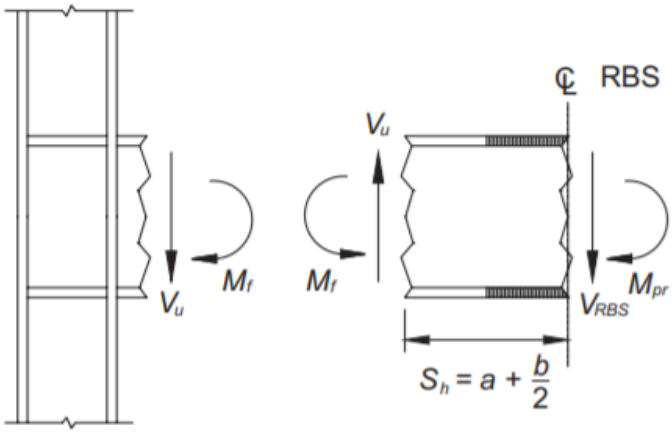



*Ilustración 85. Diagrama de cuerpo libre entre el centro de RBS y la cara de la columna*
*Fuente: AISC 358-ESPOCH*

### *3.3.3.10 Capacidad a flexion de la viga en la cara de la columna.*

Para que se produzca una falla en la sección recortada del elemento, es necesario que el momento producido en la cara de la columna deba ser menor que el momento producido en la sección reducida. El factor de seguridad (LFRD) para la capacidad a flexión es de $\emptyset_d = 1.00$.

$$M_f \leq \emptyset M_{pe} \quad (136)$$

**Viga IPN 450:** $69.68\ ton * m \leq 1.00 * 78.94\ ton * m \rightarrow Cumple$

**Viga IPE 400:** $51.70\ ton * m \leq 1.00 * 43.00\ ton * m \rightarrow Cumple$

**Viga IPE 360:** $29.23\ ton * m \leq 1.00 * 33.51\ ton * m \rightarrow Cumple$

### *3.3.3.11 Revision a corte de la viga: Verificación del estado límite de corte.*

- **Coeficiente de corte del alma ($C_v$).**

La normativa ANSI/AISC 360-16 indica el valor del coeficiente Cv, el cual muestra cuatro casos según la relación peralte/espesor del alma, en nuestro caso ambos perfiles estarían en el primer caso, el cual tendría los siguientes coeficientes:

**Condiciones:**

$$\text{a)}\quad \frac{h}{t_w} \leq 1.10\sqrt{\frac{K_v * E}{Fy}} \rightarrow c_v = 1.00 \tag{137}$$

$$\text{b)}\quad 1.10\sqrt{\frac{K_v * E}{Fy}} < \frac{h}{t_w} \leq 1.37\sqrt{\frac{K_v * E}{Fy}} \rightarrow c_v = \frac{1.10\sqrt{\frac{K_v * E}{Fy}}}{\frac{h}{t_w}} \tag{138}$$

$$\text{c)}\quad \frac{h}{t_w} > 1.37\sqrt{\frac{K_v * E}{Fy}} \rightarrow c_v = \frac{1.51 * E * K_v}{\left(\frac{h}{t_w}\right)^2 * Fy} \tag{139}$$

En todos los casos de análisis estamos en la condición a) por lo tanto el coeficiente de corte del alma $C_v = 1.00$.

- **Verificación del estado límite de corte.**

La cortante resistente de diseño debe cumplir que su valor sea mayor a la resistencia requerida.

**Resistencia de corte de diseño:**

$$\emptyset V_n = \emptyset\left[0.6 * F_y * A_w * C_v\right] \tag{140}$$

**Verificación de resistencia de corte:**

$$V_u \leq \emptyset V_n \tag{141}$$

*Tabla 70. Verificación del estado límite de corte para conexión RBS*

| Elemento | Cortante Actuante ($V_u$) | Resistencia de corte de diseño $\emptyset V_n$) | Verificación de resistencia de corte |
|---|---|---|---|
| **IPN 450** | 25.43 $ton$ | 99.15 $ton$ | Cumple |
| **IPE 400** | 18.88 $ton$ | 48.69 $ton$ | Cumple |
| **IPE 360** | 10.66 $ton$ | 40.63 $ton$ | Cumple |

*Fuente: Elaboración Propia*

### 3.3.4 Diseño y verificacion de la placa a corte entre el alma de viga y patin de columna.

La conexión de corte de placa simples el ASCI 358 indica que debe extender su longitud entre los orificios de acceso de soldadura.

*3.3.4.1 Resistencia nominal de cada perno.*

Esta resistencia se toma en cuenta teniendo el efecto la cizalla y el aplastamiento, *sus resultados se muestran en la Tabla 70.*

$$R_n = min\begin{Bmatrix} 1.0 * F_{nv} * A_b \\ 1.2 * L_c * t_p * F_{up} \\ 2.4 * F_{up} * d_b * t_p \end{Bmatrix}$$

- $d_b = 3/4\ in = 1.905\ cm$ → diámetro nominal del perno.
- $F_{nv} = 3800\ \text{kg}/cm^2$ → resistencia nominal cortante del perno A325-N para conexiones tipo aplastamiento (AISC360/Tabla J3.2).
- $F_{ub} = 4077\ \text{kg}/cm^2$ → resistencia ultima a la tensión de la viga.
- $F_{up} = 4077\ \text{kg}/cm^2$ → resistencia ultima a la tensión de la placa.
- $L_c$ = distancia vertical desde el borde de la placa hasta el centro del perno, para la viga IPN utilizaremos de 6.50 cm, para la IPE 8.65 cm y para IPE 6.73 cm.
- $S_h = 7.00\ cm$ → Separación entre pernos.
- $t_p$ = espesor placa, para el perfil IPN 450 se escogió de 15 mm y para los perfiles IPE 360 y IPE el espesor empleado fue de 10 mm.

*Tabla 71. Resistencia nominal de cada perno para conexión RBS*

| Resistencia nominal perno $[ton]$ | ELEMENTO | | |
|---|---|---|---|
| | IPN450 | IPE400 | IPE360 |
| **Corte del perno** | 10.83 | 10.83 | 10.83 |
| **Aplastamiento placa** | 47.70 | 42.32 | 32.93 |
| | 27.96 | 18.64 | 18.64 |
| **Resistencia de diseño ($R_n$)** | 10.83 | 10.83 | 10.83 |

*Fuente: Elaboración Propia*

El estado límite de resistencia en la conexión empernada de placa a ala de viga de todos los pisos se define por la menor resistencia, que en este caso está dado por el corte del perno: $R_n = 10.83\ ton$.

- **Numero de pernos en la placa de conexión del alma de la viga al patin de la columna.**

$$n = \frac{V_u}{\emptyset R_n} \rightarrow \emptyset = 0.75 \quad (142)$$

**Viga IPN 450:** $n = \frac{25.43\ ton}{0.75 * 10.83\ ton} = 3.13 \approx 4$

**Viga IPE 400:** $n = \frac{18.88\ ton}{0.75 * 10.83\ ton} = 2.32 \approx 3$

**Viga IPE 360:** $n = \frac{10.66\ ton}{0.75 * 10.83\ ton} = 1.31 \approx 3$

- **Espaciamiento entre pernos.**

  - $L_e = 5.00\ cm \rightarrow Distancia\ al\ borde\ en\ direcion\ de\ la\ carga$
  - $s = 3d_b + 1.6\ mm = 3 * 22 + 1.6 = 67.60\ mm \approx 7\ cm \rightarrow Seperacion\ entre\ centros\ de\ pernos$
  - $L_s = 2.80\ cm \approx 5.00\ cm \rightarrow Distancia\ al\ borde\ en\ direcion\ perpendicular\ a\ la\ carga$

*3.3.4.2 Resistencia a corte en elementos empernados.*

- **Dimension total de la placa.**

Para la dimension de la placa se prevee primero que ancho total de la placa ($b_p$) será dos veces la distancia libre $2L_s = 10cm$ y la profundidad total de la placa seria igual a $d_p = s(n-1) + 2L_e$, siendo n el número de gramiles de pernos y $L_e$ definida por la distancia desde el centro del perno extremo al borde del orificio.

*Tabla 72. Dimensión de la placa a cortante para conexión RBS*

| Parámetros | Elemento | | |
|---|---|---|---|
| | IPN450 | IPE400 | IPE360 |
| $b_p$ | $10.00\ cm$ | $10.00\ cm$ | $10.00\ cm$ |
| $d_p$ | $34.14\ cm$ | $31.30\ cm$ | $27.46\ cm$ |
| $t_p\ (mm)$ | $15.00\ mm$ | $10.00\ mm$ | $10.00\ mm$ |
| $d_b$ | $3/4\ inch = 19\ mm$ | $3/4\ inch = 19\ mm$ | $3/4\ inch = 19\ mm$ |
| $d_o(STD) = d_b + 1/8"$ | $20.63\ mm$ | $20.63\ mm$ | $20.63\ mm$ |
| $A_{gt} = b_p t_p$ | $15\ cm^2$ | $10\ cm^2$ | $10\ cm^2$ |
| $A_{gv} = d_p t_p$ | $51.21\ cm^2$ | $31.30\ cm^2$ | $27.46\ cm^2$ |
| $A_{nv} = A_{gv} - nd_o t_p$ | $38.85\ cm^2$ | $25.12\ cm^2$ | $21.28\ cm^2$ |

*Fuente: Elaboración Propia*

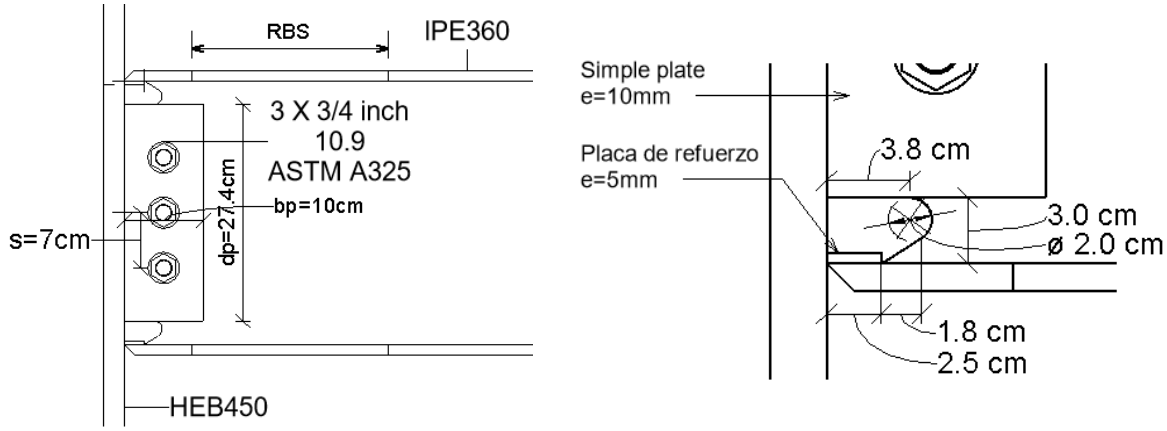



*Ilustración 86. Representación del diseño de la laca simple IPE 360*
*Fuente: Elaboración Propia*

- **Diametro del orificio.**

El diametro de los orificios se especifica en la Tabla J3.3 del AISC 360, donde indica que para pernos de ¾ in el diametro del orificio sea 13/16 in (2.06 cm).

- **Determinación de la Resistencia a corte en elementos empernados.**

La determinacion de capacidad a corte de los elementos empernados se revisa para la fluencia en la placa y el corte de la placa, ambas en funcion de la geometria y espesor que tenga la placa, *sus resultados se muestran en la Tabla 72*.

**Resistencia nominal a corte en fluencia de placa:**

$$R_n = \emptyset[0.60 * F_y * A_{gv}] \rightarrow \emptyset = 1.00 \quad (143)$$

**Ruptura en corte de la placa:**

$$R_n = \emptyset[0.60 * F_u * A_{nv}] \rightarrow \emptyset = 0.75 \quad (144)$$

Cuando ambas resistencias sean determinacion se debe verificar que cumplan la capacidad a corte mediante la siguiente ecuacion:

**Verificacion:**

$$\emptyset * R_{n.min} \geq V_u \quad (145)$$

*Tabla 73. Verificación de la resistencia a corte en elementos empernados para conexión RBS*

| Elemento | Resistencia nominal a corte en fluencia de placa ($R_n$) | Ruptura en corte de la placa ($R_n$) | Cortante actuante ($V_u$) | Verificación |
|---|---|---|---|---|
| **IPN 450** | 77.74 $ton$ | 71.28 $ton$ | 25.43 $ton$ | Cumple |
| **IPE 400** | 47.51 $ton$ | 46.09 $ton$ | 18.88 $ton$ | Cumple |
| **IPE 360** | 41.68 $ton$ | 39.04 $ton$ | 10.66 $ton$ | Cumple |

*Fuente: Elaboración Propia*

### *3.3.4.3 Resistencia a corte en elementos soldados.*

La determinacion de capacidad a corte de los elementos soldados se revisa para la fluencia en la placa y el corte de la placa, ambas en funcion de la geometria y espesor que tenga la placa, en donde para los elementos soldados ya que no existe perforaciones, el area efectiva de la

suelda seria igual al area neta ($A_{nv} = A_{gv}$). Cuando ambas resistencias sean determinacion se debe verificar que cumplan la capacidad a corte mediante la siguiente ecuacion:

$$\emptyset * R_{n.min} \geq V_u$$

*Tabla 74. Verificación de la resistencia a corte en elementos soldados para conexión RBS*

| Elemento | Resistencia nominal a corte en fluencia de placa ($R_n$) | Ruptura en corte de la placa ($R_n$) | Cortante actuante ($V_u$) | Verificación |
|---|---|---|---|---|
| **IPN 450** | $77.74\ ton$ | $93.95\ ton$ | $25.43\ ton$ | Cumple |
| **IPE 400** | $47.51\ ton$ | $57.42\ ton$ | $18.88\ ton$ | Cumple |
| **IPE 360** | $41.68\ ton$ | $50.38\ ton$ | $10.66\ ton$ | Cumple |

*Fuente: Elaboración Propia*

### *3.3.4.4 Bloque de cortante en elementos soldados.*

Para las placas soldadas el bloque de corte se forma en dirección de la soldadura, además ya que no existen perforaciones se evita que se desgarre el elemento.

- **Capacidad de bloque de cortante en elementos soldados con factores de seguridad.**

$UBS$ = Para placas de tornillos con dos líneas de pernos este factor es de 0.50 y para placas de tornillos de un sola linea este factor es de 1.00, como es nuestro caso.

Para la ruptura en corte del elemento el AISC 360 especifica usar un coeficiente de seguridad de $\emptyset = 0.75$.

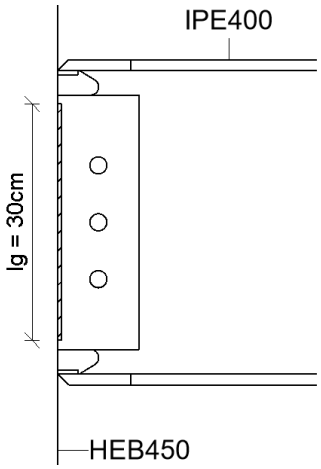



*Ilustración 87. Representación de las dimensiones de la placa simple a corte en elementos soldados*

*Fuente: Elaboración Propia*

*Tabla 75. Dimensiones geométricas de la placa simple a corte elementos solados para conexión RBS*

| Parametros | Elemento | | |
|---|---|---|---|
| | **IPN 450** | **IPE 400** | **IPE 360** |
| $\boldsymbol{L_g}$ | $34.14\ cm$ | $31.30\ cm$ | $27.46\ cm$ |
| $\boldsymbol{L_n}$ | $34.14\ cm$ | $31.30\ cm$ | $27.46\ cm$ |
| $\boldsymbol{b_g}$ | $10.00\ cm$ | $10.00\ cm$ | $10.00\ cm$ |
| $\boldsymbol{b_n}$ | $10.00\ cm$ | $10.00\ cm$ | $10.00\ cm$ |
| $\boldsymbol{A_{gv} = A_{nv}}$ $\boldsymbol{A_{gv} = t_p * L_g}$ | $51.21\ cm^2$ | $31.30\ cm^2$ | $27.46\ cm^2$ |
| $\boldsymbol{A_{nt} = t_p * b_n}$ | $15.00\ cm^2$ | $10.00\ cm^2$ | $10.00\ cm^2$ |

*Fuente: Elaboración Propia*

**Resistencia nominal a corte en fluencia de placa:**

$$R_{n1} = \emptyset[0.60F_uA_{nv} + UBS * F_uA_{nt}] \rightarrow \emptyset = 0.75 \quad (146)$$

**Ruptura en corte de la placa:**

$$R_{n2} = \emptyset\left[0.60F_yA_{gv} + UBS * F_uA_{nt}\right] \rightarrow \emptyset = 0.75 \quad (147)$$

**Verificación de la capacidad de bloque de cortante en elementos soldados:**

$$\emptyset * min(R_{n1}, R_{n2}) \geq V_u \quad (148)$$

*Tabla 76. Verificación de la capacidad de bloque de cortante en elementos soldados para conexión RBS*

| Elemento | Resistencia nominal a corte en fluencia de placa ($R_{n1}$) | Ruptura en corte de la placa ($R_{n2}$) | Cortante actuante ($V_u$) | Verificación |
|---|---|---|---|---|
| **IPN 450** | 139.82 $ton$ | 104.17 $ton$ | 25.20 $ton$ | Cumple |
| **IPE 400** | 88.00 $ton$ | 88.28 $ton$ | 14.63 $ton$ | Cumple |
| **IPE 360** | 80.69 $ton$ | 61.84 $ton$ | 10.52 $ton$ | Cumple |

*Fuente: Elaboración Propia*

*3.3.4.5 Bloque de cortante en elementos empernados.*

- **Capacidad de bloque de cortante en elementos empernados con LRFD.**

Para la ruptura en corte del elemento el AISCO 360 especifica usar un coeficiente de seguridad de $\emptyset = 0.75$.

Analizaremos el bloque de cortante mas critico, es decir donde es posible que se de un falla.

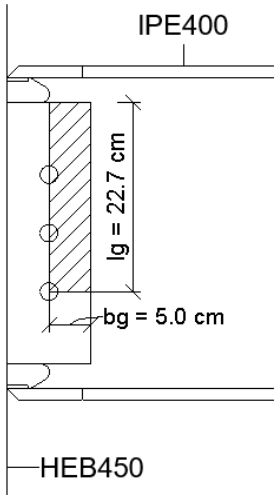



*Ilustración 88. Representación de las dimensiones de la placa simple a corte en elementos empernados*

*Fuente: Elaboración Propia*

*Tabla 77. Dimensiones geométricas de la placa simple a corte elementos empernados para conexión RBS*

| Parametros | Elemento | | |
|---|---|---|---|
| | **IPN 450** | **IPE 400** | **IPE 360** |
| $L_c$ | 6.50 cm | 8.65 | 6.73 cm |
| $L_g$ | 27.64 $cm$ | 22.65 $cm$ | 20.73 $cm$ |
| $L_n$ | 27.64 $cm$ | 22.65 $cm$ | 20.73 $cm$ |
| $b_g$ | 5.00 $cm$ | 5.00 $cm$ | 5.00 $cm$ |
| $b_n$ | 10.00 $cm$ | 10.00 $cm$ | 10.00 $cm$ |
| $A_{gv} = t_p * L_g$ | 41.46 $cm^2$ | 22.65 $cm^2$ | 20.73 $cm^2$ |
| $A_{nv} = A_{gv} - A_b$ | 31.49 $cm^2$ | 15.53 $cm^2$ | 13.61 $cm^2$ |
| $A_{nt} = t_p * b_n$ | 7.50 $cm^2$ | 5.00 $cm^2$ | 5.00 $cm^2$ |

*Fuente: Elaboración Propia*

*Tabla 78. Verificación de la capacidad de bloque de cortante en elementos empernados para conexión RBS*

| Elemento | Resistencia nominal a corte en fluencia de placa ($R_{n1}$) | Ruptura en corte de la placa ($R_{n2}$) | Cortante actuante ($V_u$) | Verificación |
|---|---|---|---|---|
| **IPN 450** | 80.71 $ton$ | 70.14 $ton$ | 25.43 $ton$ | Cumple |
| **IPE 400** | 43.78 $ton$ | 41.08 $ton$ | 18.88 $ton$ | Cumple |
| **IPE 360** | 40.26 $ton$ | 38.89 $ton$ | 10.66 $ton$ | Cumple |

*Fuente: Elaboración Propia*

## 3.3.5 Chequeo de placas de continuidad.

*3.3.5.1 Requerimiento de placas de continuidad para la conexión.*

Cuando la resistencia requerida en la cara de la columna exceda la resistencia disponible de la columna determinada según los estados limite locales estipulados en la sección J10 AISC 360, según sea el caso. En caso de requerir placas de continuidad estas deberán satisfacer los requisitos de la especificación 360 Capítulo J10.8 y los requisitos de esta sección.

Se requiere la instalación de placas de continuidad cuando el espesor de la brida de la columna es menor al espesor limite determinado con la siguiente ecuación para secciones W en perfil I.

$$t_{fc} > b_{fc}/6 \quad (149)$$

Para evitarse el análisis de todos los estados límites del capítulo 10 AISC 3-60, se verifica el límite del espesor de las bridas de la columna. En el sistema sísmico únicamente trabajan dos columnas: HEB 500 HEB 450. Como se puede verificar, ambas columnas del sistema sísmico requieren placas de continuidad

**COLUMNA HEB 500:**

$$2.80\ cm > \frac{30}{6}\ cm$$

$$2.80\ cm > 5.00\ cm \rightarrow No\ Cumple$$

Se requiere placas de continuidad

**COLUMNA HEB 450:**

$$2.80\ cm > \frac{30}{6}\ cm$$

$$2.80\ cm > 5.00\ cm \rightarrow No\ Cumple$$

Se requiere placas de continuidad

*3.3.5.2 Geometría de las placas de continuidad para la conexión.*

**Espesor mínimo de placa de continuidad $(t_{p.min})$:**

$$t_p = 75\% * t_{bf} \quad (150)$$

**Ancho para las placas de continuidad $(b_{p.min})$:**

$$b_{p.min} = \frac{b_f}{2} - \frac{t_w}{2} \quad (151)$$

*Tabla 79. Geometría de las placas de continuidad para la conexión RBS*

| Elemento | Espesor mínimo de placa de continuidad $(t_{p.min})$ | Espesor escogido de placa de continuidad $(t_p)$ | Ancho para las placas de continuidad $(b_{p.min})$ |
|---|---|---|---|
| **Viga IPN 450 y Columna HEB 500** | $t_p \geq 1.82\ cm$ | $2.70\ cm$ | $14.28\ cm$ |
| **Viga IPE 400 y Columna HEB 450** | $t_p \geq 1.01\ cm$ | $2.00\ cm$ | $14.30\ cm$ |
| **Viga IPE 360 y Columna HEB 450** | $t_p \geq 0.95\ cm$ | $1.70\ cm$ | $14.30\ cm$ |

*Fuente: Elaboración Propia*

Ninguno de los perfiles cumple la excepción, por lo que es recomendable usar en todos los casos placas de continuidad para transferir la carga interna de la conexión entre los patines sobre la superficie de la placa, y no concentrándose únicamente en el ala de la columna.

- **Espesor escogido de placa de continuidad.**

El espesor mimino no cumple con la resistencia a fluencia en tracion ni con la capacidad de pandeo, es por eso que mediante iteraciones se determino el espesor necesario para que las placas de continuidad cumplan tanto el efecto de tracion y compresion que son sometidos.

Se puede decir que estas longitudes de placas son algo estrechas, el AISC recomienda que para las placas puedan transferir de mejor manera las cargas que llegan a ellas, indica que el ancho de la placa sea al menos tan ancho que llegue al borde del patín de la viga en ambos sentido o sea superior. El ancho de las placas cumpliendo esta disposicion sera.

- **Representacion en vista planta de las placas de continuidad.**

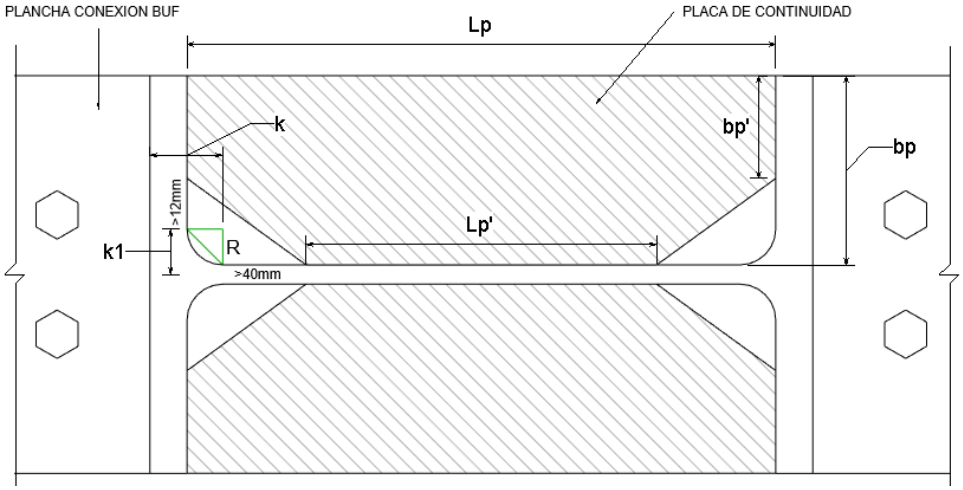



*Ilustración 89. Representacion de las placas de continuidad*
*Fuente: Elaboracion Propia*

**HEB 500:**

- $R = 2.70\ cm$
- $k_1 = R + \frac{t_w}{2} = 2.7 + \frac{1.45}{2} = 3.42\ cm$
- $k = R + t_f = 2.7 + 2.8 = 5.50\ cm$
- $L_p = d_c - 2t_f = 50 - 2.8 = 47.20\ cm$
- $L'_p = L_p - 2\left[k + 4 - t_f\right] = 33.80\ cm$
- $b'_p = b_p - \left[k_1 + 1.2 - \frac{t_w}{2}\right] = 10.38\ cm$
- $b_p = \frac{b_f}{2} - \frac{t_w}{2} = \frac{30}{2} - \frac{1.45}{2} = 14.28\ cm$

**HEB 450:**

- $R = 2.70\ cm$
- $k_1 = R + \frac{t_w}{2} = 2.7 + \frac{1.4}{2} = 3.40\ cm$
- $k = R + t_f = 2.7 + 2.6 = 5.30\ cm$
- $L_p = d_c - 2t_f = 45 - 2.8 = 42.40\ cm$
- $L'_p = L_p - 2\left[k + 4 - t_f\right] = 29.00\ cm$
- $b'_p = b_p - \left[k_1 + 1.2 - \frac{t_w}{2}\right] = 10.40\ cm$
- $b_p = \frac{b_f}{2} - \frac{t_w}{2} = \frac{30}{2} - \frac{1.4}{2} = 14.30\ cm$

*3.3.5.3 Revisión a Tracción (Placa Superior) y Comprensión (Placa Inferior).*

La placa de continuidad superior es la unica que estaria sometida al efecto de tracion y la placa inferioa a compresion, estas placas deben revisarse como lo espesifica el AISC 360 en su Seccion J4.1, ademas deben ser soldados al patin cargado y al alma de la columna.

- Carga solicitada en la placa.

$$P_f = \frac{M_f}{h_o}$$

**Placa para Viga IPN 450 y Columna HEB 500:** $P_f = \frac{M_f}{h_o} = \frac{69.68\ ton*m}{0.4257\ m} = 163.68\ ton$

**Placa para Viga IPE 400 y Columna HEB 450:** $P_f = \frac{M_f}{h_o} = \frac{51.70\ ton*m}{0.3865\ m} = 133.76\ ton$

**Placa para Viga IPE 350 y Columna HEB 450:** $P_f = \frac{M_f}{h_o} = \frac{29.23\ ton*m}{0.3473\ m} = 84.16\ ton$

- **Resistencia a fluencia en tracción de miembros y elementos conectores.**

**Resistencia a fluencia en tracción de la placa de continuidad:**

$$\phi R_n = \phi * F_y * A_g \quad (152)$$

**Área de las pacas de continuidad sometida a tracción:**

$$A_g = b'_p * t_p * 2 \quad (153)$$

**Verificación de la resistencia a tracción de las placas de continuidad:**

$$\phi R_n \geq P_f \quad (154)$$

*Tabla 80. Verificacion de la resistencia a tracion de la placa superior de continuidad para conexión RBS*

| Elemento | Área de las placas de continuidad sometida a tracción $(A_g)$ | Resistencia a fluencia en tracción de la placa de continuidad $(\phi R_n)$ | Verificación |
|---|---|---|---|
| **IPN 450 y HEB 500** | 28.026 $cm^2$ | 194.72 $ton$ | Cumple |
| **IPE 400 y HEB 450** | 41.60 $cm^2$ | 144.52 $ton$ | Cumple |
| **IPN 360 y HEB 450** | 35.36 $cm^2$ | 122.84 $ton$ | Cumple |

*Fuente: Elaboracion Propia*

Donde:

- $F_y = 3860 \frac{\text{kg}}{\text{cm2}} \rightarrow$ Resistencia $ultima\ a\ la\ tension\ de\ la\ placa\ ASTM\ 572\ Gr.55$.
- $\phi = 0.9\ (LRFD)$.

- **Verificacion por pandeo de la placa.**

$$P_f \leq \emptyset R_n$$

Al verificar el estado límite de pandeo por compresión de la placa, AISC-360-J10.8 indica que la longitud efectiva de pandeo $L_c = KL$ se tome como $0.75L_p$. La placa tiende a pandearse en su eje de menor inercia, por lo que le radio de giro a considerar en el cálculo de la esbeltez es: $r = \sqrt{t_p^2/12}$. Según especificación J4.4 AISC-360, la resistencia de elementos en compresión para estado límite de pandeo se calcula como sigue:

a) $Para\ \frac{L_c}{r} \leq 25;\ \phi P_n = \phi F_y A_g \rightarrow \emptyset = 0.90\ (LRFD)$

b) $Para\ \frac{L_c}{r} \geq 25;\ \phi P_n = \phi F_{cr} A_g \rightarrow \emptyset = 0.90\ (LRFD)$ ⇨ Estamos en este caso en todos los perfiles

Además, se debe verificar el esfuerzo $F_{cr}$ para saber cómo se comporta la placa de continuidad cuando está sometida a pandeo por compresión.

a) $\frac{L_c}{r} \leq 4.71\sqrt{\frac{E}{F_y}} \rightarrow F_{cr} = \left(0.658^{\frac{F_y}{F_e}}\right) F_y$ ⇨ Estamos en este caso en todos los perfiles

b) $\frac{L_c}{r} > 4.71\sqrt{\frac{E}{F_y}} \rightarrow F_{cr} = 0.877 F_e$

*Tabla 81. Verificacion de la resistencia a compresion de la placa inferior de continuidad para conexión RBS*

| Parámetros | Ecuación | Elemento | | |
|---|---|---|---|---|
| | | IPN 450 | IPE 400 | IPE 360 |
| **Longitud $L_p$** | $L_p$ | $47.20\ cm$ | $42.40\ cm$ | $42.40\ cm$ |
| **Longitud efectiva de pandeo** | $L_c = KL_p$ | $35.40\ cm$ | $31.80\ cm$ | $31.80\ cm$ |
| **Radio de giro** | $r = \sqrt{(t_p)^2/12}$ | $0.78\ cm$ | $0.58\ cm$ | $0.49\ cm$ |
| **Relación** | $\frac{L_c}{r}$ | 45.38 | 54.83 | 64.90 |
| **Esfuerzo critico de Euler** | $F_e = \frac{\pi^2 E}{(L_c/r)^2}$ | $9776.89\frac{kg}{cm^2}$ | $6697.20\frac{kg}{cm^2}$ | $4780.14\frac{kg}{cm^2}$ |
| **Esfuerzo $F_{cr}$** | $F_{cr} = \left(0.658^{\frac{F_y}{F_e}}\right)F_y$ | $3271.70\frac{kg}{cm^2}$ | $3031.85\frac{kg}{cm^2}$ | $2752.95\frac{kg}{cm^2}$ |
| **Resistencia a compresión** | $\phi P_n = \phi F_{cr} A_g$ | $164.96\ ton$ | $113.44\ ton$ | $87.83\ ton$ |
| **Verificación** | $\phi P_n \geq P_f$ | Cumple | Cumple | Cumple |

*Fuente: Elaboracion Propia*

### *3.3.5.4 Soldadura requerida para placas de continuidad.*

- **Resistencia a la tracción de diseño de la placa de continuidad a los patines de la columna.**

Para la resistencia a la tracion para las placas de continuidad el AISC 360 especifica usar un coeficiente de seguridad de $\emptyset = 0.90$.

$$\emptyset T_n' = \emptyset\left[F_{y.p} * A_c\right] \rightarrow A_c = t_{p.c} * b_p' \quad (155)$$

- **Resistencia al corte del area de contacto de la placa de continuidad con la columna.**

El clip que tiene la placa de continuidad al alma de la columa el AISC recomienda que sea una longitud $K$ (el radio del elemento más el ancho del patín de la columna), con esta longitud es necesario determinar el area de contaco que estaria a cortante.

$$\emptyset V_n' = \emptyset\left[0.60 * F_{y.p} * A_c'\right] \rightarrow A_c = L_p' * t_{p.c} \quad (156)$$

Para la resistencia al corte para las placas de continuidad el AISC 360 especifica usar un coeficiente de seguridad de $\emptyset = 1.00$.

- **Resistencia al corte en la zona panel del alma.**

La resistencia al corte disponible de la banda de la columna, cuando la placa esta soldada a la banda, o la resistencia al corte disponible en de la placa doble, cuando la placa de continuidad esta soldada a esta. La resistencia a fluencia de la zona del panel del alma de la columna a fluencia en corte $\emptyset = 0.90\ (LRFD)$.

Debido a que la relación de momentos flexurales: $\sum \frac{M_{pc}^*}{M_{pb}^*} < 2$; no se permite definir que la zona de panel permanece elástica, por lo que, cuando se considera deformaciones inelásticas en la zona de panel para el análisis de estabilidad del marco, la resistencia nominal a corte del alma:

a. $P_r > 0.4P_y \rightarrow R_n' = 0.60F_{y.p}d_c t_{cw}$ *(157)*

b. $P_r \leq 0.4P_y \rightarrow R_n' = 0.60 * F_{y.p} * d_c * t_{cw} * \left(1 + \frac{3*b_{cf}*{t_{cf}}^2}{d_b*d_c*t_{cw}}\right)$ *(158)*

En todos los casos de análisis con la ecuación que indica el caso a) se determinara la resistencia al corte en la zona panel del alma.

Del analisis estructural del capitulo 2, en el diagrama de fuerzas axiales, del portico 3, en donde se aprecia que las columnas intermedias tienen mayor solicitacion axil, bajo la envolvente de combinaciones de carga, que para este caso es la combinacion gravitacional 2, los valores de la resistencia axial requerida ($P_r$) y la resistencia de fluencia, *se muestran en la Tabla 61*. Si bien es cierto que estas solicitaciones no perteceen al portico 4 que se ha venido analizando en este capitulo, se considera estas solicitaciones por ser criticas axilmente.

**Para Viga IPN 450 y Columna HEB 500:**

$$\frac{P_r}{P_y} = \frac{266.76}{841.28} = 0.28$$

$$R_n' = 0.60 * 3.52 * 50 * 1.45 = 153.12\ ton$$

**Para Viga IPE 400/360 y Columna HEB 450:**

$$\frac{P_r}{P_y} = \frac{96.88}{767.36} = 0.12$$

$$R_n' = 0.60 * 3.52 * 45 * 1.44 = 136.85\ ton$$

*Tabla 82. Resistencia requeridas para sueldas en placas de continuidad para conexión RBS*

| Elemento | Resistencia a la tracción de diseño de la placa de continuidad a los patines de la columna ($\emptyset * T_n'$) | Resistencia al corte del area de contacto de la placa de continuidad con la columna ($\emptyset * V_n'$) | Resistencia al corte en la zona panel del alma ($\emptyset * R_n'$) |
|---|---|---|---|
| **IPN 450 HEB 500** | 194.75 $ton$ | 219.19 $ton$ | 153.12 $ton$ |
| **IPE 400 HEB 450** | 144.51 $ton$ | 134.33 $ton$ | 136.85 $ton$ |
| **IPE 360 HEB 450** | 122.00 $ton$ | 114.18 $ton$ | 136.85 $ton$ |

*Fuente: Elaboracion Propia*

- **Soldadura entre placa de continuidad y patín de la columna.**

  - **Resistencia requerida en sueldas.**

    Del calculo de todas las capacidades de resistenica de la placa de continuidad, se escogera la menor de estas para la reistencia de diseño de la suelda, la cual seria la resistencia en el corte en la zona panel del alma, *como se muestra en la Tabla 81*. Esta recistencia nominal de cortante del alma se divide para 2, debido a que la transferencia de carga por medio de la suelda para una placa asilada, utiliza la mitad de la recistencia a corte del panel nodal. Por ende, la resitencia requirida de la suelda en todos los casos de analis seria:

$$R_{dw} = \min\left(\emptyset * T_n, \emptyset * V_n, \emptyset * \frac{R_n}{2}\right) \quad (159)$$

De la tabla 4.1.1 de AWS:2000 se tiene que para acero ASTM 572 Gr.50, la recistencia a tension ultima del material de relleno para proceso SMAW DEBE SER $E70XX$.

En la siguiente tabla se tiene las recistencias para diferentes tamaños de garganta y para diferentes resistencias. *De la tabla 82*, se tiene la resistencia de sueldas de filete por unidad de longitud para diferentes tamaños de garganta. Para las placas de continuidad en cada uno de los casos se escoje un tamaño de garganta de $w = 5/16$ , siendo el máximo tamaño de garganta de suelda que puede obtenerse en una pasada mediante el proceso SMAW.

*Tabla 83. Resistencia a cortante de soldadura de filete SMAW, de longitud unitaria Wd (ton/cm)*

| $FEXX$ / $w(in)$ | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 | 110 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **1/8** | 0.42 | 0.49 | 0.57 | 0.64 | 0.71 | 0.78 |
| **1/5** | 0.64 | 0.75 | 0.85 | 0.96 | 1.07 | 1.17 |
| **1/4** | 0.85 | 0.99 | 1.14 | 1.28 | 1.42 | 1.56 |
| **5/16** | 1.07 | 1.24 | 1.42 | 1.60 | 1.77 | 1.95 |
| **3/8** | 1.28 | 1.49 | 1.70 | 1.91 | 2.12 | 2.34 |
| **7/16** | 1.49 | 1.74 | 1.98 | 2.23 | 2.48 | 2.73 |
| **1/2** | 1.70 | 1.98 | 2.27 | 2.55 | 2.84 | 3.12 |

*Fuente: Estructuras de acero (Vinakkota)*

- **Longitud del cordon de suelda.**

Las sueldas se colocaran en ambos lados de la placa, dando las siguientes longitudes de cordon para cada caso:

$$L = \frac{R_{dw}}{2W_d} \qquad (160)$$

**Placa para Columna HEB 500:** $L = \frac{R_{dw}}{2W_d} = \frac{76.56}{2*1.24} = 30.80 \cong 35\ cm$

**Placa para Columna HEB 450:** $L = \frac{R_{dw}}{2W_d} = \frac{68.43}{2*1.24} = 27.50 \cong 30\ cm$

### 3.3.6 Verificacion de la zona de panel

- **Resistencia al corte requerido en las caras de la columna ($R_u$).**

En base a los momentos máximos esperados en la cara de la columna, tomando en cuenta el incremento de momento por la cortante en la rótula plástica $V_h$ hacia la cara de la columna.

La cortante que actúa en el panel equivale a la suma de los momentos máximos en las caras de la columna de la conexión bilateral (2 vigas sísmicas conectadas), dividido por la altura de entrepiso $h_i = 3.00\ m$.

$$R_u = \frac{\sum M_f}{d_b - t_f} - \frac{2M_f}{h_i} \qquad (161)$$

- **Verificación de la resistencia nominal a corte en el alma de la columna $R_n$.**

Para la verificación al corte en la zona panel del alma $(\emptyset * R_n)$, el cual se *muestra en la Tabla 83*, debe ser mayor a la resistencia al corte requerido en las caras de la columna, en caso que no cumpla es necesario disponer de placas para reforzar la zona de panel nodal.

$$R_u < \emptyset R_n \rightarrow \emptyset = 1.00\ (LRFD) \quad (162)$$

*Tabla 84. Verificación si es necesario la disposición de placas para reforzar la zona de panel nodal para conexión RBS*

| Elemento | Resistencia al corte requerido en las caras de la columna $(R_u)$ | Resistencia nominal a corte en el alma de la columna $(R_n)$ | Verificación |
|---|---|---|---|
| Viga IPN 450 | $R_u = \frac{2 * 69.68}{0.45 - 0.0243} - \frac{2 * 69.68}{3}$ $R_u = 280.91\ ton$ | $153.12\ ton$ | $No\ Cumple$ $\therefore Se\ requeire\ placas$ |
| Viga IPE 400 | $R_u = \frac{2 * 51.70}{0.40 - 0.0135} - \frac{2 * 51.70}{3}$ $R_u = 233.06\ ton$ | $136.85\ ton$ | $No\ Cumple$ $\therefore Se\ requeire\ placas$ |
| Viga IPE 360 | $R_u = \frac{2 * 29.23}{0.36 - 0.0127} - \frac{2 * 29.23}{3}$ $R_u = 148.84\ ton$ | $136.85\ ton$ | $No\ Cumple$ $\therefore Se\ requeire\ placas$ |

*Fuente: Elaboracion Propia*

Como se verifica, la resistencia a corte requerida en la zona de panel es menor a la resistencia disponible a acorte en el alma de la columna en cada conexión, por lo que no se necesita placa para reforzar.

- **Verificacion grosor de zona de panel.**

Para verificar que la zona del panel nodal resista los esfuerzos que es sometido, debe cumplir con los siguientes requisitos:

**Relación de verificación de grosor:**

$$t \geq \frac{d_z + w_z}{90} \quad (163)$$

**Profundidad viga:**

$$d_z = d - 2t_f \quad (164)$$

**Ancho de la zona del panel entre las bridas de la columna**

$$w_z = d_c - 2t_{fc} \quad (165)$$

**Profundidad total de la viga $d$:**

$$d = d_b + 2t_{fp} \quad (166)$$

Para la consideracion de la profundidad total de la viga $d$, se debe aumentar 2 veces el espesor de la plancha conectora.

*Tabla 85. Verificación grosor de zona de panel*

| Elemento | Profundidad total de la viga $(d)$ | Profundidad viga $(d_z)$ | Ancho de la zona del panel entre las bridas de la columna $(w_z)$ | Espesor de la banda de la columna $(t)$ | Relacion $\left(t \geq \frac{d_z + w_z}{90}\right)$ | Verificación de grosor |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Viga IPN 450 y Columna HEB 500** | 51.00 $cm$ | 46.14 $cm$ | 44.40 $cm$ | 1.45 $cm$ | 1.00 | Cumple |
| **Viga IPE 400 y Columna HEB 450** | 44.40 $cm$ | 41.70 $cm$ | 39.80 $cm$ | 1.40 $cm$ | 0.90 | Cumple |
| **Viga IPE 360 y Columna HEB 450** | 40.00 $cm$ | 37.46 $cm$ | 39.80 $cm$ | 1.40 $cm$ | 0.85 | Cumple |

*Fuente: Elaboracion Propia*

- **Calculo espesor placa.**

Para la determinacion del espesor de la placa nos basaremos en la seccion J10.6 del AISC-360 y en base a la resistencia al corte requerido en las caras de la columna $(R_u)$, *calculados en la Tabla 83*, aparte debemos considerar el análisis en el efecto de la deformación inelástica de la zona panel en la estabilidad, para despejar el espesor mínimo necesario de la placa.

**Condiciones:**

a) $Para\ \alpha P_r \leq 0.40 P_y \rightarrow R_n = 0.60 F_y d_c t$ *(167)*

b) $Para\ \alpha P_r > 0.40 P_y \rightarrow R_n = 0.60 F_y d_c t \left(1.40 - \frac{\alpha P_r}{P_y}\right)$ *(168)*

**Espesor mínimo de la placa:**

$$R_n = R_u$$

$$0.60 F_y d_c t = R_u \rightarrow t = t_w + t_p$$

$$t_w + t_p = \frac{R_u}{0.60 F_y d_c}$$

$$t_p = \frac{R_u}{0.60 F_y d_c} - t_w \quad (169)$$

**Para Viga IPN 450 y Columna HEB 500:**

$$t_p = \frac{280.91}{0.60 * 3.52 * 50} - 1.45$$

$$t_{p.min} = 1.20\ cm$$

**Para Viga IPE 400 y Columna HEB 450:**

$$t_p = \frac{233.06}{0.60 * 3.52 * 45} - 1.40$$

$t_{p.min} = 1.05\ cm \approx 1.00\ cm$ (mínimo)

**Para Viga IPE 400 y Columna HEB 450:**

$$t_p = \frac{148.84}{0.60 * 3.52 * 45} - 1.40$$

$t_p = 0.17 \approx 0.85\ cm$ (mínimo)

### 3.3.7 Representación detallada de la conexión RBS.

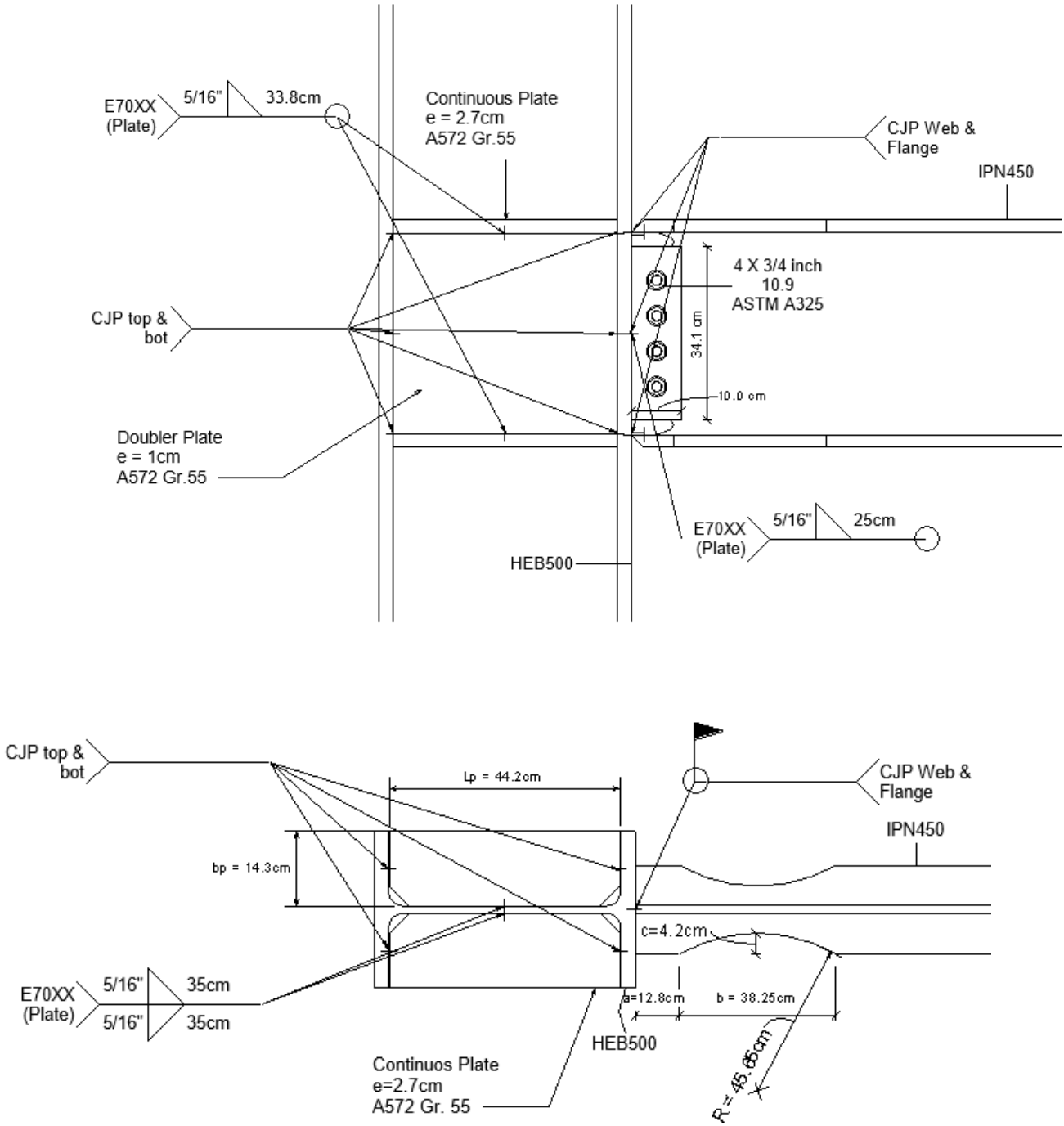



*Ilustración 90. Representación de la conexión RBS para viga IPN 450 y columna HEB 500*
*Fuente: Elaboración Propia*

## 3.4 Conexión con Patín Soldado y Alma Soldada (WUF-W).

Este tipo de conexión de patín soldado no reforzado y alma soldada, tiene la particularidad de que la rotación se desarrolla por la cadencia de la viga en la región adyacente a la cara de la columna, es por esto que la ruptura en la conexión se controla mediante requisitos asociados con las soldaduras que unen los patines de la viga a la columna, las soldaduras que unen el alma de la viga al patín de la columna, y el acabado de los agujeros de acceso de soldadura.

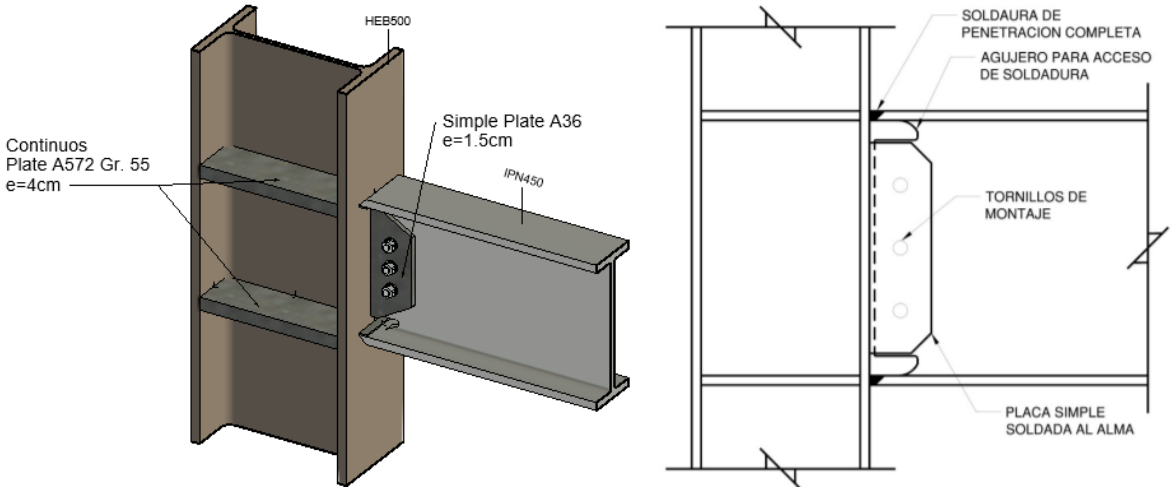



*Ilustración 91. Conexión con Patín Soldado no Reforzado y Alma Soldada (WUF-W)*
*Fuente: Elaboracion Propia*

### 3.4.1 Limitaciones de la viga.

El ANSI/AISC 358 indica algunas limitaciones de la viga para poder emplear la conexión RBS en un diseño estructural, *como se muestra en la Tabla 85*.

*Tabla 86. Limitaciones vigas para conexión WUF-W*

| Propiedades | Valores limites | Elemento | | |
|---|---|---|---|---|
| | | IPN 450 | IPE 400 | IPE 360 |
| $d_{max}$ W36 (mm) | 914.4 | 450 | 400 | 360 |
| $W_{max}$ (kg/m) | 224 | 115.4 | 66.3 | 57.1 |
| $tf_{max}$ | 25 | 24.3 | 13.5 | 12.7 |
| $L_b/d_b$ (Relación vano libre/peralte) | > 7 | 12.22 | 13.87 | 15.42 |

*Fuente: Elaboración Propia*

- **Refuerzo lateral.**

Según con las Disposiciones sísmicas de AISC la fijación del arriostramiento lateral suplementario a la viga se ubicará se proporcionará arriostramiento lateral suplementario en las bridas de la viga superior e inferior, y se ubicará a una distancia de $1.50d_v$ desde la cara de la columna.

**Viga IPN 450:** $1.50d_v = 1.5 * 45\ cm = 67.50\ cm$

**Viga IPE 400:** $1.50d_v = 1.5 * 40\ cm = 60.00\ cm$

**Viga IPE 360:** $1.50d_v = 1.5 * 36\ cm = 54.00\ cm$

### 3.4.2 Limitaciones de la columna.

Las especificaciones son las mimas que para la conexión RBS, por ende, ya que no existe ninguna imitación en las columnas se puede emplear estas conexiones al diseño.

### 3.4.3 Procedimiento de diseño de la conexión.

*3.4.3.1 Maximo momento probable y maximo momento problable en la cara de la columna.*

- **Maximo momento probable $(M_{pr})$.**

Se determinara el maximo momento que se produciria en la cara de la columna, en funcion del momento plástico en la sección completa de la viga ($M_{pe}$) y del factor de sobre resistencia, además el factor $C_{pr}$ para las conexiones WUF-W el AISC recomienda que el valor sea de 1.40, ya que estas conexiones presentan un alto grado de endurecimiento por deformación.

$$M_{pr} = M_{pe}C_{pr} = \left(R_y * F_y * Z_x\right)C_{pr} \quad (170)$$

*Tabla 87. Máximo momento probable $(M_{pr})$ para conexión WUF-W*

| Elemento | Momento plástico de la viga $(M_{pe})$ | Maximo momento probable $(M_{pr} = M_f)$ |
|---|---|---|
| **IPN 450** | $78.94\ ton * m$ | $110.51\ ton * m$ |
| **IPE 400** | $43.00\ ton * m$ | $60.18\ ton * m$ |
| **IPE 360** | $33.51\ ton * m$ | $46.92\ ton * m$ |

*Fuente: Elaboración Propia*

- **Ubicación de la rótula plástica.**

La rotula plásticas en las conexiones WUF-W se desarrollarán en la cara de la columna, es decir una distancia $S_h = 0.00$.

- **Maximo momento probable en la cara de la columna $(M_f)$.**

Devido a que la ubicaion de la rotula plastica en esta conexión esta al ras de la cara de la columna $M_{pr} = M_f$.

*3.4.3.2 Cortante generada por cargas de gravedad.*

El calculo de cargas de gravedad que actuan en la estructura se calcula igual que en el *apartado 3.3.3.4*, con la variacion de la longitud entre rótulas, que para esta conexión $L_b = L_h$.

*Tabla 88. Cálculo de cortante generada por cargas de gravedad*

| Elemento | $L_b = L_h$ | $D$ | $L'$ | $P$ | $W_u$ | $V_h$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **IPN 450** | $5.50\ m$ | $7726\ kg$ | $2700\ kg$ | $11.16\ ton$ | $2.03\ ton/m$ | $5.58\ ton$ |
| **IPE 400** | $5.55\ m$ | $7350\ kg$ | $2700\ kg$ | $10.71\ ton$ | $1.93\ ton/m$ | $5.36\ ton$ |
| **IPE 360** | $5.55\ m$ | $4850\ kg$ | $950\ kg$ | $6.49\ ton$ | $1.17\ ton/m$ | $3.25\ ton$ |

*Fuente: Elaboración Propia*

*3.4.3.3 Cortante por el efecto de carga sismica de capacidad limitada producida por el maximo momento probable $(V_{Mpr})$.*

$$V_{Mpr} = \frac{2 * M_{pr}}{L_h}$$

*La Tabla 88*, presenta los valores de este efecto en cada elemento estructural de análisis.

*3.4.3.4 Cortante maximo en la rotula plastica* ($V_{RBS}$).

*La Tabla 88*, presenta los valores de la cortante máxima que se da en la rótula plástica en cada elemento estructural de análisis. Además, como en esta tipología de conexión se sabe que la rótula plástica se forma al ras de la columna, por ende:

$$V_u = V_{RBS} = V_h + V_{Mpr} = \frac{W_u * L_h}{2} + V_{Mpr} \quad (171)$$

*3.4.3.5 Resistencia de corte de diseño* ($\emptyset V_n$).

Esta capacidad que soportan tiene que ver con la geometría de los perfiles, en particular del alma, ya que este soportara el cortante que llega a la viga. Las resistencias de corte de diseño ($\emptyset V_n$) ya fueron calculadas anteriormente en las demás conexiones, *en el apartado 3.3.3.11*.

*3.4.3.6 Verificación de la resistencia de corte de diseño.*

$$V_u \leq \emptyset V_n$$

*Tabla 89. Verificaion de la resistencia de corte de diseño ($\emptyset V_n$) para conexión WUF-W*

| Elemento | Cortante por el efecto de carga sismica de capacidad limitada ($V_{Mpr}$) | Cortante maximo en la rotula plastica ($V_u$) | Resistencia de corte de diseño ($\emptyset V_n$) | Verficacion |
|---|---|---|---|---|
| **IPN 450** | 40.19 $ton$ | 45.77 $ton$ | 99.15 $ton$ | Cumple |
| **IPE 400** | 21.69 $ton$ | 27.05 $ton$ | 48.57 $ton$ | Cumple |
| **IPE 360** | 18.00 $ton$ | 21.25 $ton$ | 40.63 $ton$ | Cumple |

*Fuente: Elaboración Propia*

### 3.4.4 Placa simple a corte entre el alma de viga y patin de columna.

El AISC 358 recomienda que para las Conexiónes WUF-W se incorpore una placa simple a corte en el alma de la viga.

- **Pernos empleados.**

Se colocaran tres tornillos A325-N de 3/4 para la union con el alma de la viga, estos pernos solo se dispondran para el montaje y no participan en la capacidad cortante de la conexión.

- **Espesor de la placa.**

El espesor de las placas para las vigas IPE 360 y IPE 400 fue de 10 mm, y para la viga IPN fue de 15 mm, todas estas placas son de material A36 con una resistencia ultima a la tensión de $F_{up} = 4077\ kg/cm^2$.

- **Resistencia a corte en elementos soldados.**

Para los elementos soldados ya que no existe perforaciones, el area bruta seria igual al area neta ($A_{nv} = A_{gv}$). De igual manera que la conexión RBS se revisara la fluencia en corte y la ruptura en corte que se produce en la placa simple, siguiendo el mismo proceso empleado en los *apartados 3.3.4.2 y 3.3.4.3* para poder determinar la capacidad a corte en fluencia en cortantante del elemento ($R_{n1}$) o en ruptura en corte ($R_{n2}$).

Los valores de la capacidad a corte ($R_{n1}\ y\ R_{n2}$) será analizado el menor de estos dos valores, para verificar si la placa resiste el efecto de corte producido en la viga y la conexión.

$$\emptyset * R_{n.min} \geq V_u$$

*Tabla 90. Verificación de la resistencia a corte en elementos soldados para conexión WUF-W*

| Analisis | Parámetros | Elemento | | |
|---|---|---|---|---|
| | | IPN 450 | IPE 400 | IPE 360 |
| Fluencia en cortante del elemento | Area bruta del elemento ($A_{gv}$) | 51.21 $cm^2$ | 31.30 $cm^2$ | 27.46 $cm^2$ |
| | Capacidad nominal de fluencia en cortante del elemento ($R_{n1}$) | 77.74 $ton$ | 47.21 $ton$ | 41.68 $ton$ |
| Ruptura en corte | Area neta del elemento ($A_{nv}$) | 51.21 $cm^2$ | 31.30 $cm^2$ | 27.46 $cm^2$ |
| | Capacidad nominal del elemento a ruptura de corte ($R_{n2}$) | 93.95 $ton$ | 57.06 $ton$ | 50.38 $ton$ |
| **Cortante maximo en la rotula plastica ($V_u$)** | | 45.77 $ton$ | 27.05 $ton$ | 21.25 $ton$ |
| **Verificacion de la resistencia a corte en elementos soldados** | | Cumple | Cumple | Cumple |

*Fuente: Elaboración Propia*

- **Bloque de cortante en elementos soldados.**

Para las placas soldadas el bloque de corte se forma en dirección de la soldadura, además ya que no existen perforaciones se evita que se desgarre el elemento. Para la capacidad de bloque de cortante en elementos el AISC 360 especifica usar un coeficiente de seguridad de $\emptyset = 0.75$. Ademas, para el factor $UBS$ en las Conexiónes WUF-W aunque tengan lineas de tornillos su efecto no se considera por lo que en nuestro caso serian $UBS = 0.00$.

*Tabla 91. Dimensiones geométricas de la placa simple a corte elementos empernados para conexión WUF-W*

| Parametros | Formulacion | Elemento | | |
|---|---|---|---|---|
| | | IPN 450 | IPE 400 | IPE 360 |
| **Altura total de la placa ($L_g$)** | $L_g$ | 34.14 $cm$ | 31.30 $cm$ | 27.46 $cm$ |
| **Altura neta de la placa ($L_n$)** | $L_n$ | 34.14 $cm$ | 31.30 $cm$ | 27.46 $cm$ |
| **Ancho total de la placa ($b_g$)** | $b_g$ | 13.28 $cm$ | 10.05 $cm$ | 9.81 $cm$ |
| **Ancho neto de la placa ($b_n$)** | $b_n$ | 13.28 $cm$ | 10.05 $cm$ | 9.81 $cm$ |
| **Area bruta del elemento en sentido perpendicular donde actua la carga ($A_{gn}$)** | $A_{gv} = A_{nv}$<br>$A_{gv} = t_p * L_g$ | 51.21 $cm^2$ | 31.30 $cm^2$ | 27.46 $cm^2$ |
| **Area neta del elemento en sentido perpendicular donde actua la carga ($A_{nt}$)** | $A_{nt} = t_p * b_n$ | 19.92 $cm^2$ | 10.05 $cm^2$ | 9.81 $cm^2$ |

*Fuente: Elaboración Propia*

Los valores de la capacidad de bloque en elementos soldados en corte en de la fluencia de la placa ($R_{n1}$) o en ruptura en corte de la placa ($R_{n2}$), será analizado el menor de estos dos valores para verificar si la placa resiste el efecto de corte producido en la viga y la conexión, *como se muestra en la Tabla 91*.

*Tabla 92. Verificación de la capacidad de bloque de cortante en elementos soldados para conexión WUF-W*

| Elemento | Formulación | Elemento | | |
|---|---|---|---|---|
| | | IPN 450 | IPE 400 | IPE 360 |
| **Resistencia nominal a corte en fluencia de placa ($R_{n1}$)** | $R_{n1} = \emptyset[0.60F_uA_{nv} + UBS * F_uA_{nt}]$ | 93.95 $ton$ | 57.42 $ton$ | 50.38 $ton$ |
| **Ruptura en corte de la placa ($R_{n2}$)** | $R_{n2} = \emptyset[0.60F_yA_{gv} + UBS * F_uA_{nt}]$ | 58.30 $ton$ | 35.64 $ton$ | 31.26 $ton$ |
| **Cortante actuante ($V_u$)** | $\emptyset * \min(R_{n1}, R_{n2}) \geq V_u$ | 46.82 $ton$ | 25.91 $ton$ | 19.41 $ton$ |
| **Verificación** | Cumple | Cumple | Cumple | Cumple |

*Fuente: Elaboración Propia*

- **Soldadura de la placa simple a corte.**

La conexión de corte de placa simple se debe unir al patín de la columna mediante soldadura de filete, donde la longitud d de suelda se extenderá a lo largo de las partes inclinadas superior e inferior y la longitud vertical de la placa. Además, el tamaño de la soldadura de filete debe ser igual o mayor al grosor de la placa individual menos 2 mm.

### 3.4.5 Chequeo de placas de continuidad.

*3.4.5.1 Requerimiento de placas de continuidad para la conexión.*

*En el apartado 3.3.5.1*, se analiza si las conexiones viga-columna necesitan placas de continuidad, debido que ambos perfiles empleados en las columnas (HEB 500 y HEB450) su espesor de patín ($t_f$) no es mayor a la relación $b_f/6$ por ende, en todos los casos de diseño de conexiones se necesita placas de continuidad.

*3.4.5.2 Geometría de las placas de continuidad.*

Las dimensiones de la placa de continuidad necesarias para el cálculo, *se muestran en la ilustración 87*.

- **Espesor escogido de placa de continuidad.**

El espesor mimino ($t_{bf} * 75\%$) no cumple con la resistencia a fluencia en tracion ni con la capacidad de pandeo, es por eso que mediante iteraciones se determino el espesor necesario para que las placas para que cumplan tanto el efecto de tracion y compresion que son sometidos.

**Para Viga IPN 450 y Columna HEB 500:** $t_{p.c} = 4.00\ cm$

**Para Viga IPN 450 y Columna HEB 500:** $t_{p.c} = 2.60\ cm$

**Para Viga IPN 450 y Columna HEB 500:** $t_{p.c} = 2.40\ cm$

*3.4.5.3 Revisión a Tracción (Placa Superior) y Comprensión (Placa Inferior).*

La placa de continuidad superior es la unica que estaria sometida al efecto de tracion y la placa inferioa a compresion, estas placas deben revisarse como lo espesifica el AISC 360 en su Seccion J4.1, ademas deben ser soldados al patin cargado y al alma de la columna.

- **Carga solicitada en la placa.**

**Placa para Viga IPN 450 y Columna HEB 500:** $P_f = \frac{M_f}{h_o} = \frac{110.51}{0.4257} = 259.60\ ton$

**Placa para Viga IPE 400 y Columna HEB 450:** $P_f = \frac{M_f}{h_o} = \frac{60.18}{0.3865} = 155.71\ ton$

**Placa para Viga IPE 350 y Columna HEB 450:** $P_f = \frac{M_f}{h_o} = \frac{46.92}{0.3473} = 135.10\ ton$

- **Resistencia a fluencia en tracción de miembros y elementos conectores.**

Este análisis realizado en la placa superior consiste en la capacidad de resistencia a la tensión ($\phi R_n$) que soporta el área de contacto entre la placa y la columna. Las dimensiones de la placa de continuidad necesarias para el cálculo, *se muestran en la ilustración 87*.

*Tabla 93. Verificacion de la resistencia a tracion de la placa superior de continuidad para conexión WUF-W*

| Parámetro | Elemento | Elemento | | |
|---|---|---|---|---|
| | | IPN 450 y HEB 500 | IPE 400 y HEB 450 | IPN 360 y HEB 450 |
| **Área de las pacas de continuidad sometida a tracción $(A_g)$** | IPN 450 | IPE 400 | IPE 360 | 49.92 |
| **Resistencia a fluencia en tracción de la placa de continuidad $(\phi R_n)$** | $\phi R_n = \phi * F_y * A_g$ | $287.37\ ton$ | $186.61\ ton$ | $172.25\ ton$ |
| **Verificación** | $\phi R_n \geq P_f$ | Cumple | Cumple | Cumple |

*Fuente: Elaboracion Propia*

- **Verificacion por pandeo de la placa.**

En la placa inferior de continuidad se verifica que la resistencia nominal a compresion ($\phi P_n$) sea mayor a la carga solicitada ($P_f$) para poder evitar que se de algun efecto de pandeo.

a) $Para\ \frac{L_c}{r} \leq 25;\ \phi P_n = \phi F_y A_g \rightarrow \emptyset = 0.90\ (LRFD)$

b) $Para\ \frac{L_c}{r} \geq 25;\ \phi P_n = \phi F_{cr} A_g \rightarrow \emptyset = 0.90\ (LRFD)$ ⇒ Estamos en este caso en todos los perfiles

*Tabla 94. Verificacion de la resistencia a compresion de la placa inferior de continuidad para conexión WUF-W*

| Parámetros | Ecuación | Elemento | | |
|---|---|---|---|---|
| | | IPN 450 | IPE 400 | IPE 360 |
| **Longitud Lp** | $L_p$ | $47.20\ cm$ | $42.40\ cm$ | $42.40\ cm$ |
| **Longitud efectiva de pandeo** | $L_c = KL_p$ | $35.4\ cm$ | $31.8\ cm$ | $31.8\ cm$ |
| **Radio de giro** | $r = \sqrt{(t_p)^2/12}$ | $1.15\ cm$ | $0.75\ cm$ | $0.69\ cm$ |
| **Relación** | $L_c/r$ | 30.78 | 42.40 | 46.09 |
| **Esfuerzo critico de Euler** | $F_e = \frac{\pi^2 E}{(L_c/r)^2}$ | $21251.65\frac{kg}{cm^2}$ | $11199.49\frac{kg}{cm^2}$ | $9478.00\frac{kg}{cm^2}$ |
| **Esfuerzo Fcr** | $F_{cr} = \left(0.658^{F_y/F_e}\right)F_y$ | $3577.40\frac{kg}{cm^2}$ | $3341.49\frac{kg}{cm^2}$ | $3255.17\frac{kg}{cm^2}$ |
| **Resistencia a compresión** | $\phi P_n = \phi F_{cr} A_g$ | $267.55\ ton$ | $162.56\ ton$ | $158.67\ ton$ |
| **Verificación** | $\phi P_n \geq P_f$ | Cumple | Cumple | Cumple |

*Fuente: Elaboracion Propia*

*3.4.5.4 Soldadura requerida para placas de continuidad.*

Se debe determinar tres capacidades de resistencia principales, la resistencia a la tracción de diseño de la placa de continuidad a los patines de la columna ($\emptyset T_n$), la capacidad al corte del area de contacto de la placa de continuidad con la columna ($\emptyset V_n$), estas resistencias tienen el mismo procedimiento que las conexión RBS lo que cambien son los resultados por tener espesores diferentes.

Tambien se debe determinar la resistencia al corte en la zona panel del alma, aunque los resultados seran los mismos que el de la conexión RBS ya que se utilzan los mismos perfiles.

- **Soldadura entre placa de continuidad y patin de la columna.**

  - Recistencia requerida en sueldas.

*Tabla 95. Resistencia requeridas para sueldas en placas de continuidad para conexión WUF-W*

| Elemento | Resistencia a la tracción de diseño de la placa de continuidad a los patines de la columna $(\emptyset * T_n)$ | Resistencia al corte del area de contacto de la placa de continuidad con la columna $(\emptyset * V_n)$ | Resistencia al corte en la zona panel del alma $(\emptyset * R_n)$ |
|---|---|---|---|
| **IPN 450 HEB 500** | $288.48\ ton$ | $313.12\ ton$ | $153.12/2 = 76.56\ ton$ |
| **IPE 400 HEB 450** | $187.87\ ton$ | $175.93\ ton$ | $136.85/2 = 68.43\ ton$ |
| **IPE 360 HEB 450** | $143.42\ ton$ | $162.31\ ton$ | $136.85/2 = 68.43\ ton$ |

*Fuente: Elaboracion Propia*

Ya que la resitencia al corte del alma es la que se diseña la suelda, y esta tiene los mismos valores que la conexión RBS las longitudes de suelda seran las mismmas, es decir 35 cm para las placas en las columnas HEB 500 y 30 cm para las placas de las columnas HEB 450.

## 3.4.6 Verificacion de la zona de panel

- **Verificación de la resistencia nominal a corte en el alma de la columna $R_n$.**

Como se está empleando los mismos perfiles (vigas y columnas) en todas las conexiones, la capacidad resistente ya fue calculada con anterioridad en la conexión RBS. Solo se debe verificar si esta capacidad soporta las nuevas fuerzas que se generan por la acción del máximo momento probable ($M_f$).

*Tabla 96. Verificación si es necesario la disposición de placas para reforzar la zona de panel nodal para conexión WUF-W*

| Parametro | Formulacion | Elemento | | |
|---|---|---|---|---|
| | | **IPN 450** | **IPN 450** | **IPN 450** |
| **Resistencia al corte requerido en las caras de la columna $(R_u)$** | $R_u = \frac{\sum M_f}{d_b - t_f} - \frac{2M_f}{h_i}$ | $445.519\ ton$ | $271.29\ ton$ | $238.919\ ton$ |
| **Resistencia nominal a corte en el alma de la columna $(R_n)$** | $R_n$ | $153.12\ ton$ | $136.85\ ton$ | $136.85\ ton$ |
| **Verificación** | $R_u < \phi_v R_n$<br>$\phi_v = 1.00\ (LRFD)$ | $No\ Cumple$<br>Se requiere placas | $No\ Cumple$<br>Se requiere placas | $No\ Cumple$<br>Se requiere placas |

*Fuente: Elaboracion Propia*

- **Verificacion grosor de zona de panel.**

La verificacion del grosor de la zona de panel ya se realizo, sus resueltados *se muestan en la Tabla 84*.

- **Calculo espesor placa.**

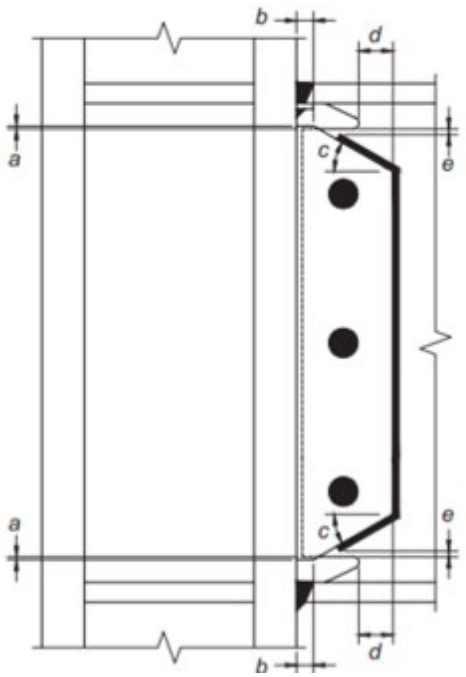
Su analisis y deiseño se realizar empleando el mismo criterio y ecuacion utilizadas en el diseño de la conexión RBS por ende, la ecuacion para determinar el espesor de a placa es la siguiente:

$$t_p = \frac{R_u}{0.60 F_y d_c} - t_w$$

| **Para Viga IPN 450 y Columna HEB 500:** | **Para Viga IPE 400 y Columna HEB 450:** | **Para Viga IPE 400 y Columna HEB 450:** |
|---|---|---|
| $t_p = \frac{445.519}{0.60 * 3.52 * 50} - 1.45$ | $t_p = \frac{271.29}{0.60 * 3.52 * 45} - 1.40$ | $t_p = \frac{238.919}{0.60 * 3.52 * 45} - 1.40$ |
| $t_{p.min} = 4.22 - 1.45$ | $t_{p.min} = 2.86 - 1.44$ | $t_{p.min} = 2.50 - 1.44$ |
| $t_{p.min} = 2.77\ cm \approx 2.80\ cm$ | $t_{p.min} = 1.42 \approx 1.45\ cm$ | $t_{p.min} \approx 1.00\ cm$ |

### 3.4.7 Detalles de la conexión entre la viga y la columna.

El AISC 358 presenta algunas limitaciones en la unión viga y columna, las cuales presentan valores máximos y mínimos de los detalles en la parte superior e inferior de la conexión de corte de placa simple. Para las diferentes conexiones entre vigas y columnas presenten en el esquema estructural se escogieron los valores máximos de los detalles para el diseño.




Notes

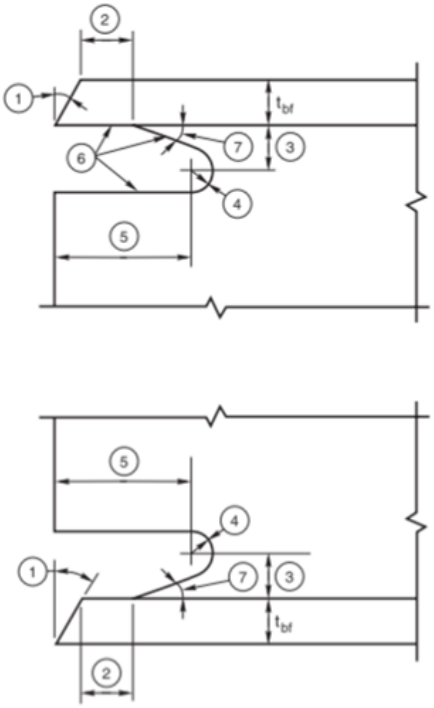
*a* = ¼ in. (6 mm) minimum, ½ in. (12 mm) maximum
*b* = 1 in. (25 mm) minimum
*c* = 30° (±10°)
*d* = 2 in. (50 mm) minimum
*e* = ½ in. (12 mm) minimum distance, 1 in. (25 mm) maximum distance from end of fillet weld to edge of access hole

*Ilustración 92. Dimensiones para el detalle de la placa de la conexión WUF-W*
*Fuente: (AWS-D1.1/D1.1, 2010)*

| Para Viga IPN 450 y Columna HEB 500: | Para Viga IPE 400 y Columna HEB 450: | Para Viga IPE 360 y Columna HEB 450: |
|---|---|---|
| - $a = \frac{1}{2} in = 12\ mm$ | - $a = \frac{1}{2} in = 12\ mm$ | - $a = \frac{1}{2} in = 12\ mm$ |
| - $b = 1\ in = 25\ mm$ | - $b = 1\ in = 25\ mm$ | - $b = 1\ in = 25\ mm$ |
| - $c = 30°$ | - $c = 30°$ | - $c = 30°$ |
| - $d = 2\ in = 50\ mm$ | - $d = 2\ in = 50\ mm$ | - $d = 2\ in = 50\ mm$ |
| - $e = 25\ mm$ | - $e = 25\ mm$ | - $e = 25\ mm$ |

## 3.5 Detalles de las ranuras para las conexiones RBS y WUF-W.

Los patines de las vigas se conectarán a los patines de la columna mediante soldadura de ranura de penetración de unión completa (CJP). Además, la geometría de los orificios de acceso de la soldadura debe estar diseñados según los requisitos de AWS D1.8.




**Notas:**

(1) Bisel según sea necesario para el WPS.

(2) $t_{bf}$ o ½ in (12 mm), el que sea más grande.

(3) La dimensión mínima será ¾ $t_{bf}$, o ¾ in (20 mm), la que sea mayor. La dimensión máxima será tbf [+ ¼ in (6 mm)].

(4) Radio mínimo de 3/8 pulg (10 mm).

(5) 3 $t_{bf}$ (+ - ½ pulg (12 mm)).

(6) Rugosidad de la superficie.

(7) Las tolerancias no se acumularán en la medida en que el ángulo del orificio de acceso cortado a la superficie de la brida exceda los 25°.

*Ilustración 93. Detalle de orificio de acceso de soldadura del ala de la viga para conexión WUF-W*
*Fuente:* (AWS-D1.1/D1.1, 2010)

| Para Viga IPN 450 y Columna HEB 500: | Para Viga IPE 400 y Columna HEB 450: | Para Viga IPE 350 y Columna HEB 450: |
|---|---|---|
| (1) *Bisel.* | (1) *Bisel.* | (1) *Bisel.* |
| (2) 24.30 *mm.* | (2) 13.50 *mm.* | (2) 12.70 *mm.* |
| (3) 20.00 *mm.* | (3) 20.00 *mm.* | (3) 20.00 *mm.* |
| (4) 10.00 *mm.* | (4) 10.00 *mm.* | (4) 10.00 *mm.* |
| (5) 72.90 *mm.* | (5) 40.50 *mm.* | (5) 38.10 *mm.* |
| (6) *Rugosidad superficie.* | (6) *Rugosidad superficie.* | (6) *Rugosidad superficie.* |
| (7) 16.00°. | (7) 25.00°. | (7) 26.00°. |

### 3.5.1 Representación detallada de la conexión WUF-W.

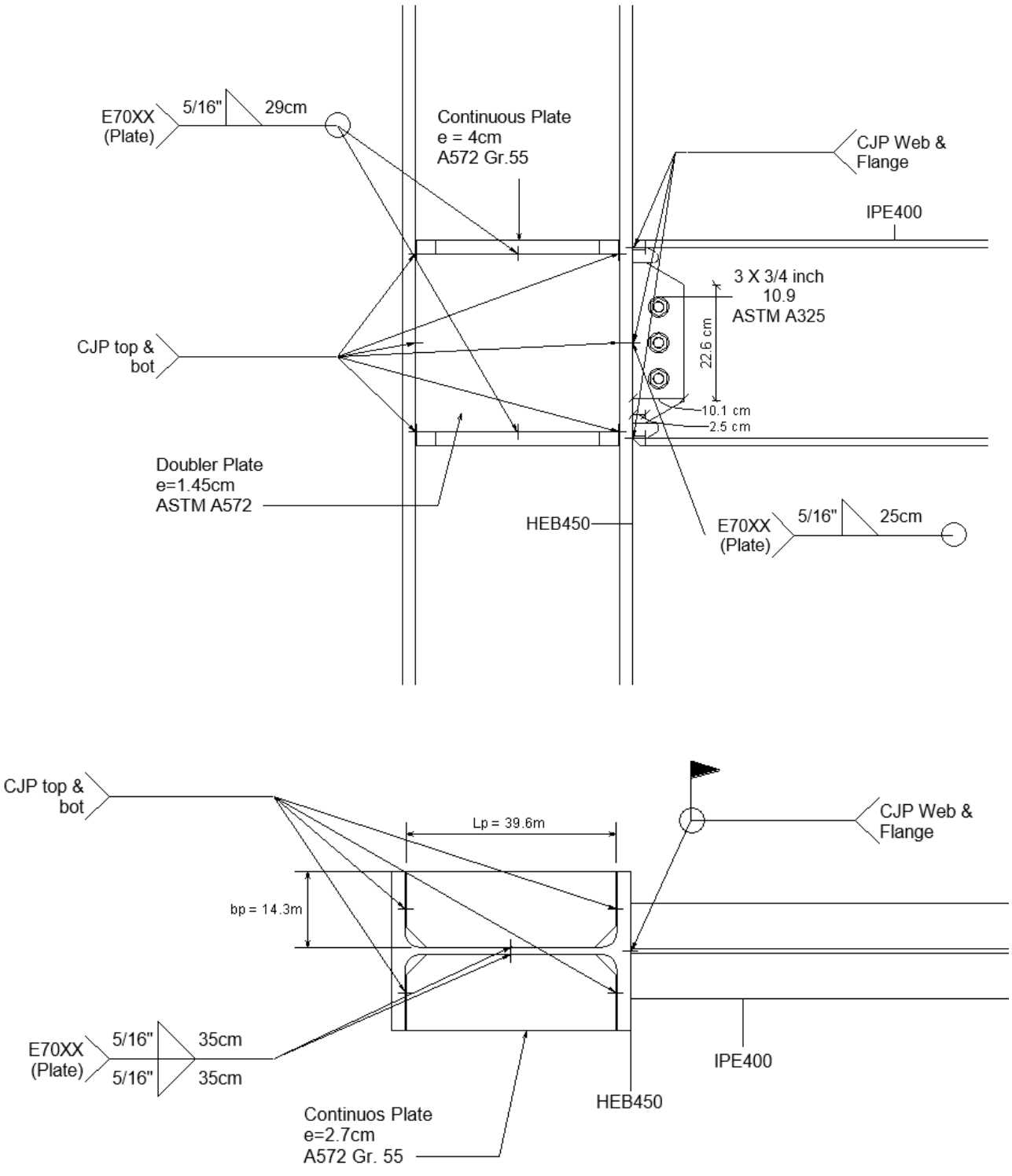



*Ilustración 94. Representación de la conexión WUF-W para viga IPE 400 y columna HEB 450*
*Fuente: Elaboración Propia*

## 3.6 Conexión de Placa de Ala atornillada – BFP.

Las conexiones de momento de placa de brida atornillada (BFP) utilizan placas soldadas a bridas de columna y atornilladas a bridas de viga. Las placas superior e inferior deben ser idénticas.

Las placas de brida se sueldan a la brida de la columna utilizando soldaduras de ranura CJP y al patín de la viga con pernos de alta resistencia. La banda de la viga se conecta a la brida de la columna utilizando una pestaña de corte atornillada con pernos en agujeros ranurados cortos (placa simple). La formación de rotulas plásticas está destinada a ocurrir en la región cerca del final de las placas de brida (Flange Plate).

Conexiones de placa bridadas en sistemas SMF con losas de hormigón estructural (Deck) solo se precalifican si la losa estructural de concreto se mantiene al menos a 1 pulgada (25 mm) de ambos lados de ambas bridas de la columna.

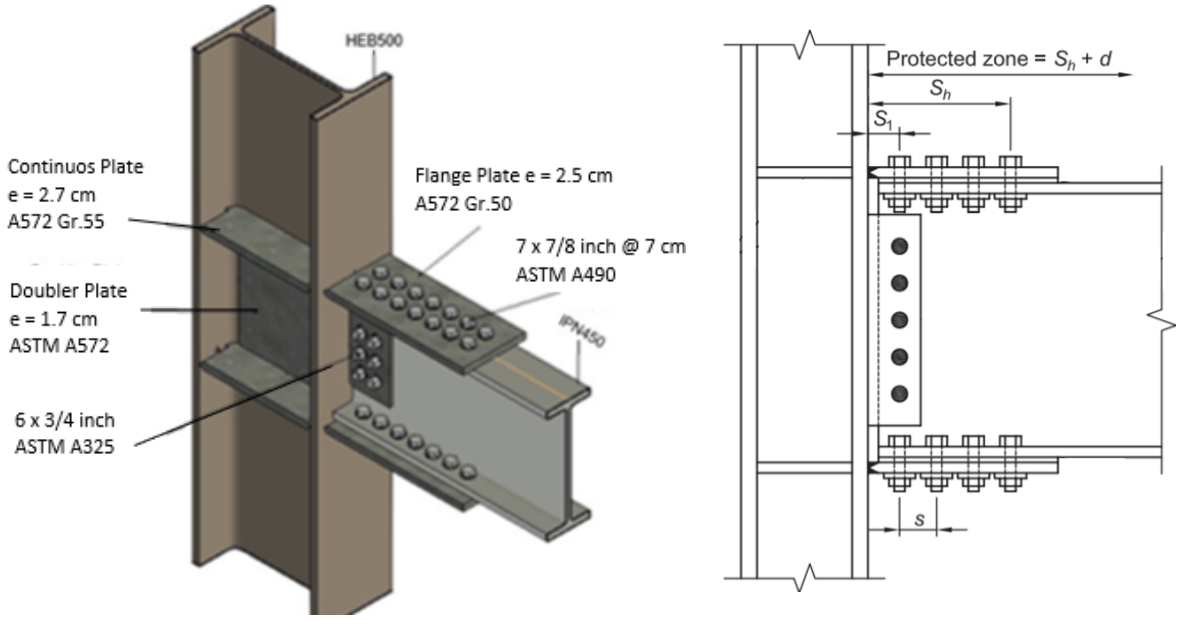



*Ilustración 95. Conexión de Placa de Ala atornillada*
*Fuente: Elaboración Propia*

### 3.6.1 Limitaciones de la viga.

El ANSI/AISC 358 indica algunas limitaciones de la viga para poder emplear la conexión BFP en un diseño estructural, *como se muestra en a Tabla 96*.

*Tabla 97. Limitaciones vigas para conexión BFP*

| Propiedades | Valores limites | Elemento | | |
|---|---|---|---|---|
| | | IPN450 | IPE400 | IPE360 |
| $d_{max}$ W36 (mm) | 914.4 | 450 | 400 | 360 |
| $W_{max}$ (kg/m) | 223 | 115.4 | 66.3 | 57.1 |
| $tf_{max}$ | 25 | 24.3 | 13.5 | 12.7 |
| $L_b/d_b$ (Relacion vano libre/peralte) | > 9 | 12.22 | 13.87 | 15.42 |

*Fuente: Elaboración Propia*

- **Refuerzo lateral.**

El arriostramiento lateral de las vigas debe cumplir con los requisitos de AISC 341, además para satisfacer la formación de rótula plástica, se debe suplementar riostras en el patín superior e inferior de la viga y se ubicará a una distancia de $d_v \ a \ 1.50d_v$ desde el perno más alejado de la cara de la columna.

**Viga IPN 450:** $1.50d_v = 1.5 * 45 \ cm = 67.50 \ cm$

**Viga IPE 400:** $1.50d_v = 1.5 * 40 \ cm = 60.00 \ cm$

**Viga IPE 360:** $1.50d_v = 1.5 * 36 \ cm = 54.00 \ cm$

### 3.6.2 Limitaciones de la columna.

Cuando exista una losa estructural de concreto con placa colaborante, la profundidad de la columna se limita a 920 mm, si la losa fuera maciza, el límite se reduciría a 360 mm. Ambas columnas cumplen con esta especificación. Los demás requerimientos se remiten a conexiones anteriores RBS y WUF. Las riostras se remiten a las especificaciones sísmicas AISC.

### 3.6.3 Detalles de Conexión.

- **Especificaciones del material de la placa.**

Las placas de patín (Flange Plate) a utilizar en esta conexión únicamente pueden ser de las siguientes especificaciones: ASTM A36 / A36M o A572 / A572M Grado 50 (345).

- **Soldaduras de placa de brida de viga**

Las placas de brida se conectarán a la brida de la columna utilizando soldaduras de ranura CJP y se considerarán críticas para la demanda. El respaldo, si se usa, se eliminará. El paso de la raíz debe ser retro excavado para soldar metal de soldadura y volver a soldar.

- **Soldaduras de conexión de corte de placa simple.**

La conexión de corte de placa simple se soldará a la brida de la columna. La conexión de placa única a brida de columna consistirá en soldaduras de ranura CJP, soldaduras de ranura PJP de dos lados o soldaduras de filete de dos lados.

- **Requisitos del perno en Bolted Flange Plate.**

Los pernos se colocarán simétricamente alrededor de los ejes de la viga y se limitarán a dos pernos por gramil. La longitud del grupo de tornillos no debe exceder la profundidad de la viga. Se deben usar agujeros estándar en las bridas de la viga. Las placas de brida de agujeros deben ser agujeros estándar o sobredimensionados. Los orificios de los pernos en las bridas de la viga y en las placas de las bridas se realizarán perforando o escariando.

Los pernos en las placas de brida deben ser conjuntos ASTM F3125 Grado A490, Grado A490M o Grado F2280. Los hilos se excluirán del plano de corte. El diámetro del perno está limitado a (28 mm) como máximo.

- **Cuñas de placa de brida (brida entre patín y placa).**

Se pueden usar cuñas con un espesor total máximo de 4 pulga (6 mm) entre placa de brida y brida de viga, *como se muestra en la ilustración 93*. Las cuñas, si es necesario, pueden ser cuñas de dedos o pueden hacerse con agujeros perforados o perforados.

### 3.6.4 Procedimiento de diseño.

*3.6.4.1 Momento probable máximo en la rótula plástica* $(M_{pr})$.

Está destinada a ocurrir cerca del final de la placa (ultimo gramil de pernos). La sección efectiva de la viga donde se dará la rótula plástica, tiene una cierta reducción el área por los orificios de los pernos, esta reducción se recalcula más adelante cuando se proporcionen los diámetros de pernos y orificios respectivamente. Siguiendo con lo estipulado, $Z_e$ se toma como el módulo plástico de la sección completa de la viga. En el diseño de la conexión RBS, se tienen el momento plástico de las vigas $M_{pe}$, a lo que se multiplicara por el factor de resistencia máxima de la conexión $C_{pr} = 1.20$ (iguales condiciones RBS).

$$M_{pr} = C_{pr} R_y F_y Z_x$$

**Viga IPN 450:** $M_{pr} = 78.93 * 1.2 = 94.71\ ton * m$

**Viga IPE 400:** $M_{pr} = 42.98 * 1.2 = 51.57\ ton * m$

**Viga IPE 360:** $M_{pr} = 33.51 * 1.2 = 40.21\ ton * m$

*3.6.4.2 Cálculo de diámetro de pernos para la placa de patín.*

Evitará la falla por ruptura en la brida de la viga. Para agujeros STD, y un grupo de pernos de máximo dos filas que es la limitación, el diámetro máximo del perno, calculado con los módulos de la viga es aquel que se presenta en la siguiente ecuación, donde la resistencia de fluencia mínima especificada $F_y = 2530$ kg/cm$^2$, la resistencia de tracción mínima especificada $F_u = 4077$ kg/cm$^2$, la resistencia esperada en comparación con la resistencia nominal del elemento estructural para la relación de fluencia $R_y = 1.30$ y la resistencia esperada en comparación con la resistencia nominal del elemento estructural para fractura $R_t = 1.15$.

$$d_b = \frac{b_f}{2}\left(1 - \frac{R_y F_y}{R_t F_u}\right) - 3\ (mm) \qquad (172)$$

**Viga IPN 450:** $d_b = 22.50\ mm$

**Viga IPE 400:** $d_b = 27.00\ mm$

**Viga IPE 360:** $d_b = 22.50\ mm$

De las especificaciones AISC/360 se escoge un diámetro de perno que cumpla con el límite, así también la distancia al borde mínima desde el centro del perno extremo al borde de la placa o ala de la viga en dirección del sismo $L_e$ y perpendicular a la carga $L_s$, respectivamente. De la tabla J3.4 AISC, para pernos de 7/8", se escogerá los siguientes valores:

- La distancia al borde mínima desde el centro del perno extremo al borde de la placa o ala de la viga en dirección perpendicular a la carga será: $L_s = 28\ mm$ como recomienda las especificaciones AISC/360 pero se escoge un valor mayor al límite de $L_s = 5\ cm$.

- La distancia al borde mínima desde el centro del perno extremo al borde de la placa o ala de la viga en dirección del sismo será el mismo que $L_s$ por ende, $L_e = 5\ cm$.

- En todos los pisos se usará pernos de $d_b = 7/8 = 22\ mm\ Grupo\ B - ASTM\ A490 - N$, considerando el caso critico de las roscas incluidas en el plano de corte.

### *3.6.4.3 Recalculo del Momento Probable Máximo.*

El recalculo del módulo plástico Z, se calcula reduciendo el primer momento de áreas de los orificios de los pernos, al módulo plástico de la sección completa Z. Este momento de área se toma respecto al eje neutro plástico, que para secciones simétricas coincide con el eje neutro elástico (C.G), *como se muestra en la Tabla 97*.

*Tabla 98. Recalculo de modulo plastico $Z_{neta}$ para conexión BFP*

| Elemento | Z (cm3) | $d$ (cm) | Y (orificio) | $d_o$ (cm) | $A_o$ (cm2) | y*A (cm3) | $Z_{neta}$ (cm3) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **IPN450** | 2400 | 45 | 21.29 | 2.4 | 5.83 | 124.13412 | 1903.46 |
| **IPE400** | 1307 | 40 | 19.33 | 2.4 | 3.24 | 62.613 | 1056.55 |
| **IPE360** | 1019 | 36 | 17.37 | 2.4 | 3.05 | 52.92852 | 807.29 |

*Fuente: Elaboracion Propia*

La articulación plástica en la conexión BFP está destinada a ocurrir en el último gramil de pernos de la conexión, a una distancia Sh de la cara de la columna. Debido a que la viga en esta sección tiene orificios por los pernos, el módulo plástico se recalcula para la sección neta en cada caso.

$$M_{pr} = C_{pr} R_y F_y Z_x \qquad (173)$$

**IPN 450:** $M_{pr} = 75.12\ ton \times m$

**IPE 400:** $M_{pr} = 41.70\ ton \times m$

**IPE 360:** $M_{pr} = 31.86\ ton \times m$

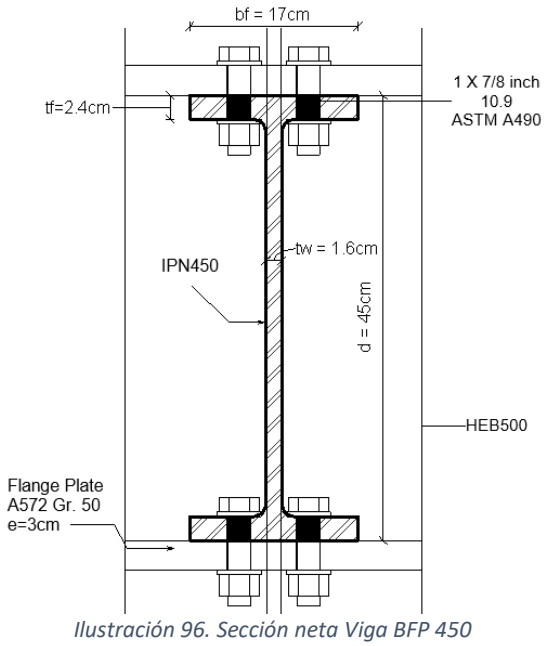



*Ilustración 96. Sección neta Viga BFP 450*
*Fuente: Elaboración Propia*

*3.6.4.4 Geometría de la placa.*

Se supone un espesor inicial de placa que se conectara a la brida de la viga $(t_{fp})$. Se estima el ancho de la placa $(b_{fp})$, considerando el calibre del perno, los requisitos de distancia al borde del perno y el ancho de la brida de la viga.

Para una iteración inicial se escoge las siguientes dimensiones de la placa, con la especificación de material igual al de la columna en todos los pisos: ASTM A572. El ancho de la placa $(b_{fp})$ y espesor $(t_{fp})$, para todos los casos se toman valores ≥ a los de la brida de la viga $b_f$ y $t_f$, respectivamente.

*Tabla 99. Geometria de la placa para conexión BFP*

| Parámetro | Elemento | | |
|---|---|---|---|
| | **IPN 450** | **IPE 400** | **IPE 360** |
| **Espesor de la placa $(t_{fp})$** | 2.50 $cm$ | 2.00 $cm$ | 2.00 $cm$ |
| **Ancho de la placa $(b_{fp})$** | 25.00 $cm$ | 23.00 $cm$ | 20.00 $cm$ |

*Fuente: Elaboración Propia*

*3.6.4.5* Resistencia nominal de cada perno**.**

La resistencia nominal de cada perno teniendo en cuenta la cizalla y el aplastamiento se determina:

$$r_n = min\begin{cases} 1.0F_{nv}A_b \\ 2.4F_{ub}d_b t_f \\ 2.4F_{up}d_b t_p \end{cases}$$

Donde:

- $A_b = 3.88\ cm^2$ → área nominal del perno $d_b = 7/8\ in = 2.22\ cm$
- $F_{nv} = 4780$ kg/cm2 → resistencia nominal cortante del perno A490-N para conexiones tipo aplastamiento (AISC360/Tabla J3.2)
- $F_{ub} = 4077$ kg/cm2 → resistencia ultima a la tensión de la viga
- $F_{up} = 4570$ kg/cm2 → resistencia ultima a la tensión de la placa

*Tabla 100. Resistencia nominal de cada perno para conexión BFP*

| Resistencia nominal perno $[ton]$ | ELEMENTO | | |
|---|---|---|---|
| | **IPN450** | **IPE400** | **IPE360** |
| **Corte del perno** | 18.54 | 18.54 | 18.54 |
| **Aplastamiento patín viga** | 52.84 | 29.36 | 27.62 |
| **Aplastamiento placa** | 60.94 | 48.75 | 48.75 |
| **Resistencia de diseño $(r_n)$** | 18.54 | 18.54 | 18.54 |

*Fuente: Elaboración Propia*

El estado límite de resistencia en la conexión empernada de placa a ala de viga de todos los pisos se define por el corte del perno: $r_n = 18.54\ ton$.

- **Seleccionar número de pernos.**

Según el AISC 358 para calcular el número de pernos en la conexión empernada de placa a viga es la siguiente ecuación, donde $\emptyset = 0.9\ (LRFD)$ y $d$ = profundidad viga.

$$n \geq \frac{1.25M_{pr}}{\emptyset \mathrm{r}_n(d + \mathrm{t}_{fp})} \qquad (174)$$

**Viga IPN 450:** $$n = \frac{1.25 * 75.12}{0.9 * 18.54 * (0.45 + 0.025)} = 11.84 \approx 14$$

**Viga IPE 400:** $$n = \frac{1.25 * 41.70}{0.9 * 18.54 * (0.40 + 0.02)} = 7.43 \approx 10$$

**Viga IPE 360:** $$n = \frac{1.25 * 31.86}{0.9 * 18.54 * (0.36 + 0.02)} = 6.28 \approx 8$$

Se escogen grupo de pernos pares, para una distribución simétrica en cada fila.

*3.6.4.6 Distancia a la rótula plástica dese la cara de la columna* $(S_h)$.

$$S_h = S_1 + s\left(\frac{n}{2} - 1\right) \quad (175)$$

La sección J3.3-AISC/360 especifica que el espaciamiento o paso mínimo entre tornillos que usen orificios STD, OVS o SSL, sea mínimo $2\frac{2}{3}d_b$, dejando el espacio libre suficiente para que entren las llaves que aprietan las tuercas. Los resultados de la distancia la rótula plástica dese la cara de la columna $(S_h)$, *se muestran en la Tabla 100*.

$$s = 3d_b + 1.60\ mm \quad (176)$$

$$s = 3 * 22 + 1.60 = 67.60\ mm \approx 7\ cm$$

La distancia $S_1$, se toma con referencia a la distancia al borde en dirección de la carga, por lo que se elige una distancia mayor de $S_1 = 7\ cm$ en todos los casos. $L_e = 7\ cm$.

*3.6.4.7 Fuerza de corte en la rótula plástica.*

Utilizando la misma ecuación de FEMA350 Sección 3.2.6, y con los pesos gravitacionales calculados para cada piso en el diseño de la conexión RBS, *como se muestran en la Tabla 100*.

$$V_h = (W_u * L_h)/2$$

*Tabla 101. Determinacion de la capacidaad a corte requerida por la viga y la conexión para conexión BFP*

| Elementos | $L_b$ | $S_h$ | $L_h$ | $D$ | $L'$ | $P$ | $W_u$ | $V_h$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **IPN450** | 5.50 $m$ | 49.00 $cm$ | 4.52 $m$ | 7726 $kg$ | 2700 $kg$ | 11.16 $ton$ | 2.22 $ton/m$ | 5.01 $ton$ |
| **IPE400** | 5.55 $m$ | 35.00 $cm$ | 4.85 $m$ | 7350 $kg$ | 2700 $kg$ | 10.71 $ton$ | 2.11 $ton/m$ | 5.11 $ton$ |
| **IPE360** | 5.55 $m$ | 28.00 $cm$ | 4.99 $m$ | 4850 $kg$ | 950 $kg$ | 6.49 $ton$ | 1.27 $ton/m$ | 3.16 $ton$ |

*Fuente: Elaboración Propia*

*3.6.4.8 Cortante producido por el efecto de carga sismica de capacidad limitada producida por el maximo momento probable.*

**Cortante producido por el efecto de carga sismica de capacidad limitada:**

$$V_{Mpr} = \frac{2M_{pr} + \frac{W_u * L_h^2}{2}}{L_h} \quad (177)$$

**Longitud entre rotulas plásticas:**

$$L_h = L - d_c - 2S_h \quad (178)$$

### *3.6.4.9 Momento máximo esperado en la cara de la columna* $(M_f)$.

**Momento máximo esperado en la cara de la columna:**

$$M_f = M_{pr} + V_{Mpr} S_h \quad (179)$$

**Fuerza en la placa, debido a $M_f$:**

$$F_{pr} = \frac{M_f}{(d_b + t_{fp})} \quad (180)$$

*Tabla 102. Momento máximo esperado en la cara de la columna $(M_f)$ y capacidaad a corte requerida por la viga y la conexión $(V_u)$ para conexión BFP*

| Elemento | $M_{pr}$ | $V_{Mpr}$ | $M_f$ | $F_{pr}$ |
|---|---|---|---|---|
| **IPN 450** | $75.12\ ton*m$ | $38.25\ ton$ | $93.86\ ton*m$ | $197.6\ ton$ |
| **IPE 400** | $41.70\ ton*m$ | $22.31\ ton$ | $49.50\ ton*m$ | $117.85\ ton$ |
| **IPE 360** | $31.86\ ton*m$ | $18.03\ ton$ | $36.90\ ton*m$ | $97.10\ ton$ |

*Fuente: Elaboración Propia*

### *3.6.4.10 Revisión de numero de pernos, debido a la fuerza máxima en la placa* $(F_{pr})$.

$$n \geq \frac{F_{pr}}{\emptyset r_n} \rightarrow \emptyset = 0.9\ (LRFD) \quad (181)$$

**Viga IPN 450:** $n = \frac{197.6}{0.9 * 18.54} = 11.84 \approx 14$

**Viga IPE 400:** $n = \frac{117.85}{0.9 * 18.54} = 7.06 \approx 10$

**Viga IPE 360:** $n = \frac{97.10}{0.9 * 18.54} = 5.81 \approx 8$

Como se puede verificar, el número de pernos de 7/8 in seleccionado para cada viga en los pisos correspondientes es satisfactorio.

### *3.6.4.11 Chequeo del espesor de la placa.*

$$t_{fp} \geq \frac{F_{pr}}{\emptyset F_y b_{fp}} \quad (182)$$

Donde:

- $\Phi_d = 1\ (LRFD) \rightarrow$ estados limites dúctiles.
- $F_y = 3520\ \text{kg/cm2} \rightarrow$ resistencia mínima a la fluencia de la placa.

**Viga IPN 450:** $t_{fp} = \frac{197.6}{1 * 3.520 * 25} = 2.24\ cm \approx 2.50\ cm$

**Viga IPE 400:** $t_{fp} = \frac{117.85}{1 * 3.520 * 20} = 1.67\ cm \approx 2.00\ cm$

**Viga IPE 360:** $t_p = \frac{97.10}{1 * 3.520 * 20} = 1.37\ cm \approx 2.00\ cm$

Como se puede observar, todas las placas satisfacen el espesor asumido inicialmente para absorber axialmente la fuerza del momento flector máximo en la cara de la columna ($F_{pr}$), con valores sobredimensionados, por lo que se modificaran el ancho ($b_{fp}$) y espesor de las placas ($t_{fp}$). El ancho se modificará hasta un límite máximo igual al ancho del patín de la columna ($b_{fc}$), que para los dos tipos de columnas dispuestas en todos los pisos del pórtico en análisis, HEB 500 y HEB4 50, $b_{fc} = 30cm$. Las dimensiones de las placas se modifican, *como se indica en la Tabla 102*.

*Tabla 103. Propiedades geometricas de la placa para conexión BFP*

| Parámetros | Elemento | | |
|---|---|---|---|
| | **IPN450** | **IPE400** | **IPE360** |
| $\boldsymbol{S_h}$ | 49.00 $cm$ | 35.00 $cm$ | 28.00 $cm$ |
| $\boldsymbol{L_e}$ | 7.00 $cm$ | 7.00 $cm$ | 7.00 $cm$ |
| $\boldsymbol{b_{fp}}$ | 25.00 $cm$ | 23.00 $cm$ | 20.00 $cm$ |
| $\boldsymbol{L_{fp} = S_h + L_e}$ | 56.00 $cm$ | 42.00 $cm$ | 35.00 $cm$ |
| $\boldsymbol{t_{fp}}$ | 25.00 $mm$ | 20.00 $mm$ | 20.00 $mm$ |
| $\boldsymbol{d_b}$ | $7/8\ inch = 28\ mm$ | $7/8\ inch = 28\ mm$ | $7/8\ inch = 28\ mm$ |
| $\boldsymbol{d_o(STD) = d_b + 1/8"}$ | 24.00 $mm$ | 24.00 $mm$ | 24.00 $mm$ |
| $\boldsymbol{A_{gt} = b_{fp} * t_{fp}}$ | 62.50 $cm^2$ | 46.00 $cm^2$ | 40.00 $cm^2$ |
| $\boldsymbol{A_{nt} = (b_{fp} - 2 * d_o) * t_{fp}}$ | 58.00 $cm^2$ | 36.40 $cm^2$ | 30.40 $cm^2$ |
| $\boldsymbol{A_{nv} = A_{gv} - nd_o t_p}$ | 38.85 $cm^2$ | 25.12 $cm^2$ | 21.28 $cm^2$ |

*Fuente: Elaboración Propia*

Esta revisión verifica el estado limite por fluencia de la placa, utilizando el área bruta $(A_g)$ de la misma. La siguiente verificación, analiza el estado límite de ruptura de la placa, utilizando el área de sección neta $(A_n)$, en un gramil de pernos, reduciendo una parte del área por los orificios.

### *3.6.4.12 Estado límite de ruptura de la placa.*

Según la especificación AISC 360 Sección JA.1b se determina la resistencia de ruptura de miembros conectores a tracción, en donde debe cumplir la siguiente condición:

$$F_{pr} \leq \emptyset R_{n.min} \qquad (183)$$

- $U = 1 \rightarrow$ Factor diferido de corte: Para miembros en los que cada uno de los componentes de su sección reciben la carga de corte, debido que la placa solo consta de un miembro único.
- $\emptyset = 0.75\ (LRFD)$.
- $F_u = 4570\ \text{kg/cm2} \rightarrow$ resistencia ultima a la tensión de la placa ASTMA A572.
- $A_e = A_e = A_n U \rightarrow$ Área neta efectiva de la placa en una hilera de pernos.

*Tabla 104. Verificacion del estado limite de ruptura de la placa para conexión BFP*

| Parametro | Formulación | Elemento | | |
|---|---|---|---|---|
| | | **IPN 450** | **IPE 400** | **IPE 360** |
| **Resistencia nominal a corte en fluencia de placa ($R_n$)** | $R_n = \emptyset[F_y * A_g] \rightarrow \emptyset = 1.00$ | 77.74 $ton$ | 47.51 $ton$ | 41.68 $ton$ |
| **Ruptura en corte de la placa ($R_n$)** | $R_n = \emptyset[F_u * A_e] \rightarrow \emptyset = 0.75$ | 198.78 $ton$ | 124.76 $ton$ | 101.19 |
| **Fuerza en la placa debido a Mf ($F_{pr}$)** | $F_{pr} = \frac{M_f}{(d + t_{fp})}$ | 197.60 $ton$ | 117.85 $ton$ | 97.10 $ton$ |
| **Verificacion** | $F_{pr} \leq \phi_n R_{n.min}$ | Cumple | Cumple | Cumple |

*Fuente: Elaboración Propia*

Como se puede verificar, todos los casos cumplen el límite de resistencia de tracción a la ruptura.

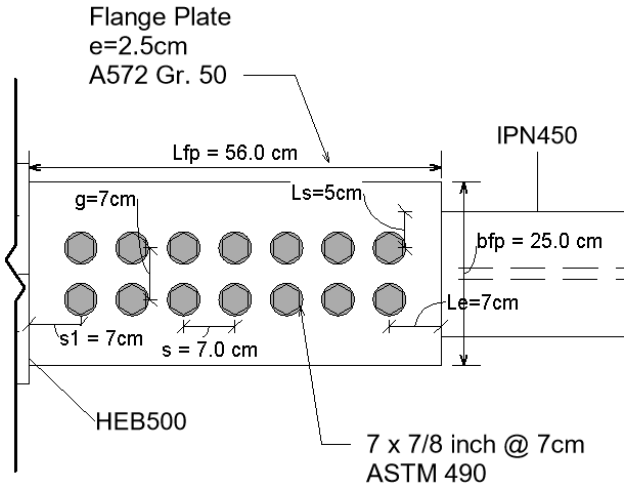



*Ilustración 97. Junta empernada Placa-Patín viga (Piso 4 – IPN 450)*
*Fuente: Elaboración Propi*

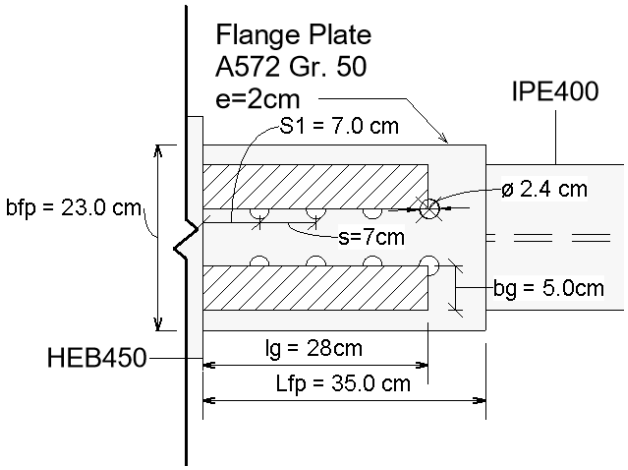



*Ilustración 98. Junta empernada Placa-Patín viga (Piso 4 – IPE 400)*
*Fuente: Elaboración Propia*

### *3.6.4.13 Chequeo de bloque de cortante en patín de viga.*

El bloque de cortante es un suceso de fractura, en donde el bloque experimenta una tensión en el ancho (b) y una cortante en el largo (L). La falla puede ser por fractura o por fluencia en una de las dos caras del bloque actuando simultáneamente. Las dimensiones y las áreas transversales del bloque se toman totales y netas, es decir reduciendo los orificios, *como se muestra en la Tabla 104*.

*Tabla 105. Dimensiones geométricas de la placa simple a corte elementos empernados para conexión BFP*

| Parametros | Formulacion | Elemento | | |
|---|---|---|---|---|
| | | IPN 450 | IPE 400 | IPE 360 |
| **Altura total del bloque $(L_g)$** | $L_g = S_h = S_1 + s\left(\frac{n}{2} - 1\right)$ | 49 $cm$ | 35 $cm$ | 28 $cm$ |
| **Altura neta del bloque $(L_n)$** | $L_n = S_h - \left(\frac{n}{2} - 1\right) d_o - \frac{d_o}{2}$ | 33.4 $cm$ | 26.6 $cm$ | 19.6 $cm$ |
| **Ancho total del bloque $(b_g)$** | $b_g = L_S$ | 5.00 $cm$ | 5.00 $cm$ | 5.00 $cm$ |
| **Ancho neto del bloque $(b_n)$** | $b_n = L_s - \frac{d_o}{2}$ | 3.80 $cm$ | 3.80 $cm$ | 3.80 $cm$ |
| **Area bruta del bloque $(A_{gv})$** | $A_{gv} = L_g * t_f$ | 122.5 $cm^2$ | 70 $cm^2$ | 56 $cm^2$ |
| **Area neta del bloque $(A_{nv})$** | $A_{nv} = L_n * t_f$ | 83.5 $cm^2$ | 53.2 $cm^2$ | 39.2 $cm^2$ |
| **Area bruta del bloque en sentido perpendicular donde actua la carga $(A_{gt})$** | $A_{gt} = b_g * t_f$ | 12.5 $cm^2$ | 12.5 $cm^2$ | 112.5 $cm^2$ |
| **Area neta del bloque en sentido perpendicular donde actua la carga $(A_{nt})$** | $A_{nt} = b_n * t_f$ | 9.5 $cm^2$ | 9.5 $cm^2$ | 9.5 $cm^2$ |

*Fuente: Elaboración Propia*

La determinacion de capacidad a corte de los elementos empernados se revisa para la fluencia en tension en la placa y el corte de la placa, ambas en funcion de la geometria y espesor que tenga la placa, *sus resultados se muestran en la Tabla 105*, para verificar el dimenionamiento de las placas deben cumplir las siguientes condicones:

$$0.6F_uA_{nv} \geq F_uA_{nt} \quad (184)$$

$$\emptyset * R_{n.min} \geq F_{pr}$$

Nota: Se multiplica por 2 debido a que el efecto se presenta con dos bloques por las dos filas de pernos que caracteriza la conexión BFP.

*Tabla 106. Chequeo de bloque de cortante en patín de viga para conexión BFP*

| Parametros | Formulacion | Elemento | | |
|---|---|---|---|---|
| | | IPN 450 | IPE 40 | IPE 360 |
| **Fractura por cortante, fluencia por tensión ($\emptyset R_n$)** | $\emptyset R_n = 2 * \emptyset[0.6F_yA_{gv} + F_uA_{nt}] \rightarrow \emptyset = 0.75$ | 329.03 $ton$ | 209.55 $ton$ | 177.67 $ton$ |
| **Fractura por cortante, fluencia por tensión ($\emptyset R_n$)** | $\emptyset R_n = 2 * \emptyset[0.6F_uA_{nv} + F_yA_{gt}] \rightarrow \emptyset = 0.75$ | 311.96 $ton$ | 215.97 $ton$ | 171.62 $ton$ |
| **Fuerza en la placa debido a $M_f$ ($F_{pr}$)** | $F_{pr} = \frac{M_f}{(d + t_{fp})}$ | 197.60 $ton$ | 117.85 $ton$ | 97.10 $ton$ |
| **Verificacion** | $0.6F_uA_{nv} \geq F_uA_{nt}$ | Cumple | Cumple | Cumple |
| | $\phi_n * R_{n.min} \geq F_{pr}$ | Cumple | Cumple | Cumple |

*Fuente: Elaboración Propia*

Como se puede verificar el límite de resistencia por bloque de cortante cumple en todos los casos.

### *3.6.4.14 Verificación por pandeo de la placa conectada a patín de viga.*

$$F_{pr} \leq \emptyset R_n$$

Al verificar el estado límite de pandeo por compresión de la placa, el AISC-358-7.6.11 indica que la longitud efectiva de pandeo $KL$ se tome como $0.65S_1$.

$$L_c = KL = 0.65S_1 \quad (185)$$

La placa tiende a pandearse en su eje de menor inercia, por lo que le radio de giro a considerar en el cálculo de la esbeltez es: $r = \sqrt{t_p^2/12}$.

Según las especificaciones J4.4 del AISC-360, la resistencia de elementos en compresión para estado límite de pandeo se calcula como sigue:

a) $Para\ \frac{L_c}{r} \leq 25;\ \phi P_n = \phi F_y A_g \rightarrow \emptyset = 0.90\ (LRFD)$ ⇒ Estamos en este caso en todos los perfiles

b) $Para\ \frac{L_c}{r} \geq 25;\ \phi P_n = \phi F_{cr} A_g \rightarrow \emptyset = 0.90\ (LRFD)$

*Tabla 107. Verificación resistencia a pandeo de la placa conectada a patín de viga para conexión BFP*

| Elemento | Longitud efectiva de pandeo ($L_c$) | Radio de giro ($r$) | Resistencia a compresión ($\phi P_n$) | Fuerza en la placa debido a $M_f$ ($F_{pr}$) | Verificación |
|---|---|---|---|---|---|
| **IPN 450** | 10.40 $cm$ | 0.72 $cm$ | 198.00 $ton$ | 191.20 $ton$ | Cumple |
| **IPE 400** | 11.70 $cm$ | 0.57 $cm$ | 145.72 $ton$ | 113.92 $ton$ | Cumple |
| **IPE 360** | 11.70 $cm$ | 0.57 $cm$ | 126.71 $ton$ | 95.57 $ton$ | Cumple |

*Fuente: Elaboración Propia*

### *3.6.4.15 Resistencia a corte de viga y junta viga-columna.*

Al igual que en el diseño de la conexión RBS la cortante ultima se determina mediante el momento máximo en la cara de la columna $M_f$ más el incremento por la carga gravitacional.

$$V_u = \frac{2 * M_{pr}}{L_h} + V_{grav};\ V_{grav} = W * S_h \therefore M_f = M_{pr} + V_h S_h$$

Debido a los cambios que se hicieron en la distribución de pernos en las conexiones de las vigas, la distancia entre rotulas plásticas $L_h$ se modifica, *como se muestra en la Tabla 107*.

*Tabla 108. Valores finales de resistencias con las dimensiones finales de la conexión BFP*

| Elemento | Distancia entre rotulas plásticas $(L_h)$ | Cortante $V_{Mpr}$ | Maximo momento probable en la cara de la columna $(M_f)$ | Fuerza en la placa debido a $M_f(F_{pr})$ | Cortante actuante $(V_u)$ |
|---|---|---|---|---|---|
| **IPN 450** | $4.48\ m$ | $38.50\ ton$ | $94.37\ \ ton * m$ | $191.2\ ton$ | $34.66\ ton$ |
| **IPE 400** | $4.77\ m$ | $22.51\ ton$ | $50.47\ ton * m$ | $113.92\ ton$ | $18.30\ ton$ |
| **IPE 360** | $4.77\ m$ | $16.38\ ton$ | $38.24\ ton * m$ | $95.57\ ton$ | $13.85\ ton$ |

*Fuente: Elaboracion Propia*

- **Límite de resistencia a cortante AISC-360-G2**

*En el apartado 3.3.3.11* se calculó la resistencia nominal a corte de las vigas y se comprobó que su diseño resiste la cortante actuante, en todos los casos.

$$\emptyset V_n \geq V_u$$

## 3.6.5 Diseño de conexión a corte con placa simple para la resistencia requerida $V_u$.

La placa simple se soldará al patín de la columna mediante soldadura (CJP), y se empernará a la viga con pernos ASTM 325 de ¾ in.

- **Recistencia nominal del perno a corte.**

Siguiendo el procedimiento de apartado xx, con la unica modificacion en la recistencia nominal a corte de pernos ASTM 325 N, con la espiga incluida en el plano de corte (caso critico).

Para la primera iteracion, se toma un espesor de la placa $t_p = 15mm$, en la viga 450 y $t_p = 10\ mm$ en la IPE 400 y IPE 360.

$$r_n = min\begin{cases} 1.0F_{nv}A_b \\ 2.4F_{ub}d_b t_w \\ 2.4F_{up}d_b t_p \end{cases}$$

- $d_b = 3/4\ in = 1.905\ cm.$
- $F_{nv} =$ 3880 kg/cm2 → resistencia nominal cortante del perno A325-N.
- $F_{ub} =$ 4077 kg/cm2 → resistencia ultima a la tensión de la viga.
- $F_{up} =$ 4570 kg/cm2 → resistencia ultima a la tensión de la placa ASTM A36.

*Tabla 109. Resistencia nominal de cada perno para conexión BFP*

| Resistencia nominal perno $[ton]$ | ELEMENTO | | |
|---|---|---|---|
| | **IPN450** | **IPE400** | **IPE360** |
| **Corte del perno** | 10.83 | 10.83 | 10.83 |
| **Aplastamiento alma viga** | 30.20 | 16.03 | 14.91 |
| **Aplastamiento placa** | 27.96 | 18.64 | 18.64 |
| $r_n$ | 10.83 | 10.83 | 10.83 |

*Fuente: Elaboración Propia*

- **Numero de pernos empleados.**

$$n = \frac{V_u}{\emptyset r_n} \rightarrow \emptyset = 0.75\ (LRFD) \quad (186)$$

**Viga IPN 450:** $n = \frac{(34.66)ton}{0.75*(10.83)} = 4.26 \approx 6$

**Viga IPE 400:** $n = \frac{(18.30)ton}{0.75*(10.83)} = 2.25 \approx 3$

**Viga IPE 360:** $n = \frac{(13.85)ton}{0.75*(10.83)} = 1.70 \approx 2$

- **Profundidad mínima de placa.**

La profundidad mínima de la placa se determina para resistir la cortante que llega a la conexión, teniendo en cuenta el coeficiente de corte de la placa ($C_P = 1.00$) y un factor de seguridad de $\emptyset = 1.00\ (LRFD)$.

$$d_{min} = \frac{V_u}{\emptyset 0.6 F_y t_P C_P} \quad (187)$$

**Viga IPN 450:** $d_{min} = \frac{34.66}{0.6 * 2.53 * 1.5 * 1} = 15.22\ cm$

**Viga IPE 400:** $d_{min} = \frac{18.30}{0.6 * 2.53 * 1 * 1} = 12.05\ cm$

**Viga IPE 360:** $d_{min} = \frac{13.85}{0.6 * 2.53 * 1 * 1} = 9.12\ cm$

- **Agujeros y distancias a borde en la distribucion de pernos.**

*Tabla 110. Agujeros y distancias a borde en la distribucion de pernos para conexión BFP*

| φ (inch) | φ (cm) | $L_e$ min (mm) | $L_s$ min (mm) | $S_{min}$ (cm) | φ STD (inch) | φ STD (cm) | $L_e$ (cm) | $L_s$ (cm) | S (cm) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **0.75** | 1.905 | 26 | 26 | 5.7 | 0.81 | 2.0638 | 5cm | 5cm | 7cm |

*Fuente: Elaboración Propia*

- **Revision espesor placa.**

Para la viga IPN Se toma un ancho de placa $b_{fp} = 2L_s + s = 2 * 5 + 7 = 17cm$; validando las distancia a borde minima, en dos hileras de pernos.

En las vigas IPE se colocara los pernos en una sola hilera y la placa tendra un ancho de $b_{fp} = 10\ cm$. El espesor de la placa se revisra para el estado limite de fluencia a tension de la placa.

$$t_p \geq \frac{V_u}{\emptyset F_y b_{fp}} \rightarrow \emptyset = 0.90\ (\text{LRFD}) \quad (188)$$

**Viga IPN 450:** $t_p \geq \frac{34.66}{0.9 * 2.53 * 17} = 0.89cm \approx 1.20\ cm$

**Viga IPE 400:** $t_p \geq \frac{18.30}{0.9 * 2.53 * 10} = 0.80\ cm \approx 1.00\ cm$

**Viga IPE 360:** $t_p \geq \frac{13.85}{0.9 * 2.53 * 10} = 0.60\ cm \approx 0.80\ cm$

Las placas en todos los casos, cumplen con los espesores inicialemte propuestos, y se ajustan a estos ultimos valores debido a que no se revisa ruptura de la paca.

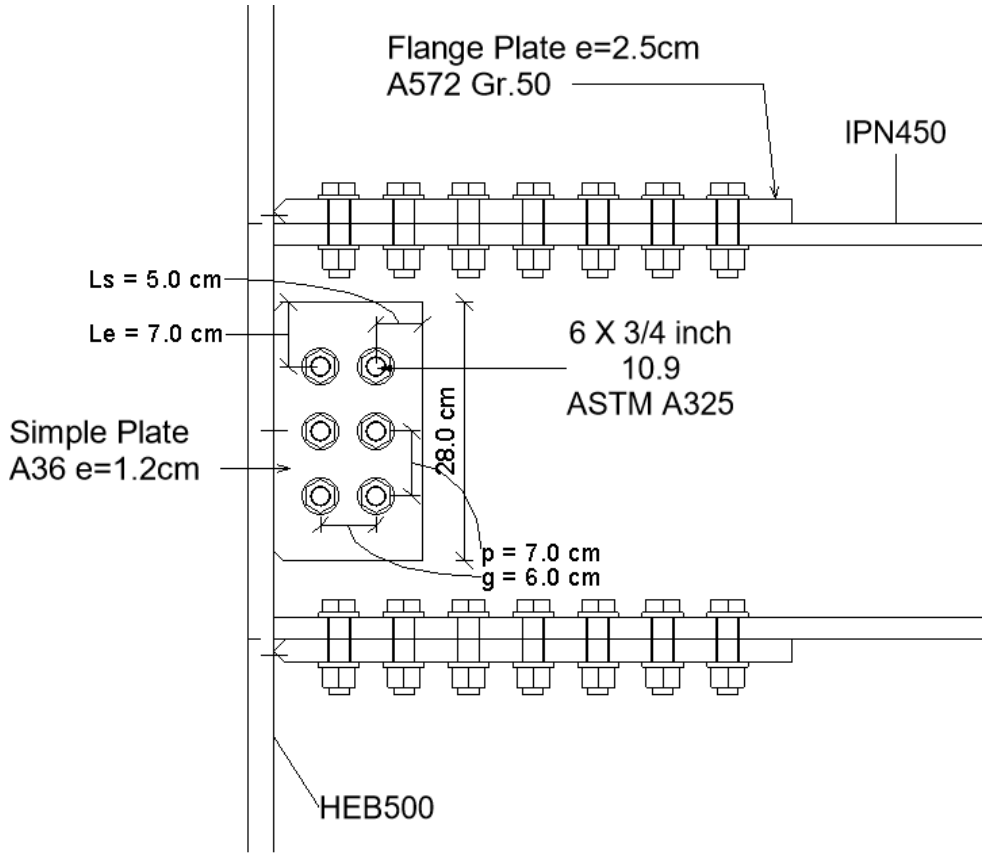



*Ilustración 99. Placa simple a corte BFP-IPN 450*
*Fuente: Elaboración Propia*

### 3.6.6 Verificacacion de placas de contuinidad.

*3.6.6.1 Requisitos de placas de continuidad.*

En el apartado 3.3.5.1 se analiza si las conexiones viga-columna necesitan placas de continuidad, debido que ambos perfiles empleados en las columnas (HEB 500 y HEB 450) su espesor de patín $(t_f)$ no es mayor a la relación $b_f/6$ por ende, en todos los casos de diseño de conexiones se necesita placas de continuidad.

*3.6.6.2 Geometría de las placas de continuidad.*

Para diferenciarse la nomenclatura de la placa de continuidad, con la plancha empernada a la viga de la conexión BFP, esta última se utilizará el subíndice fp, indicando que pertenece al patín de la viga (Flange Plate). Las dimensiones de la placa de continuidad necesarias para el cálculo, *se muestran en la ilustración 87*.

- **Ancho de placa $(b_f)$.**

Para columnas en forma de W en perfil I, las placas de continuidad, como mínimo, se extenderán desde la banda de la columna hasta un punto opuesto a las puntas de las bridas de viga más anchas.

- **Espesor de placa $(t_f)$.**

Debido a que en la conexión BFP la transferencia de carga lo realizan las placas conectadas al patin de a viga, las relaciones de espesor siguientes, se toma con respecto a la plancha de conexión.

- Para conexiones unilaterales (1 viga conectada), el espesor de la placa debe ser mínimo el 50% del espesor de la plancha de conexión $t_{pf}$.

- Para las columnas A-4 y E-4 que son columnas de esquina y tienen una sola viga sísmica conectada, la conexión es unilateral y el espesor de la placa para los tres pisos de análisis es el que se muestra en la Tabla 110.

- Para conexiones bilaterales (2 vigas conectadas), el grosor de la placa debe ser mínimo el 75% del espesor de la plancha $t_{fp}$ de conexión.

- Para el caso de las columnas intermedias B-4, C-4, D-4 la conexión es bilateral, debido a que a estas se conectan dos vigas sísmicas. En estas columnas el espesor de la placa mínimo para los diferentes pisos se calcula *como se muestra en la Tabla 110*.

Debido a que en el análisis del pórtico 4-PEM se han puntualizado tres casos, donde se tienen la unión de miembros con diferentes secciones y propiedades, que a su vez es una conexión representativa, de las tres plantas diferentes en el que se configura el edificio, el producto se sigue enfocando en obtener 3 conexiones para cada tipo, es por esto que se analizara en este caso las conexiones bilaterales, y los resultados serán los que se ensamblen para todas las columnas, incluyendo las de esquina, *como se muestra en la Tabla 110*.

*Tabla 111. Geometria de placa de continuidad para conexión BFP*

| Parámetro | Formulación | Viga IPN 450 y Columna HEB 500 | Viga IPE 400 y Columna HEB 450 | Viga IPE 360 y Columna HEB 450 |
|---|---|---|---|---|
| **Espesor mínimo de placa de continuidad (conexión unilateral)** | $t_{p.min} = 50\% * t_{fp}$ | $t_p \geq 1.25\ cm$ | $t_p \geq 1.00\ cm$ | $t_p \geq 1.00\ cm$ |
| **Espesor mínimo de placa de continuidad (conexión bilateral)** | $t_{p.min} = 75\% * t_{fp}$ | $t_p \geq 1.875\ cm$ | $t_p \geq 1.50\ cm$ | $t_p \geq 1.50\ cm$ |
| **Espesor escogido de placa de continuidad** | $t_p$ | $2.70\ cm$ | $2.00\ cm$ | $1.70\ cm$ |
| **Ancho para las placas de continuidad** | $b_{p.min} = \frac{b_f}{2} - \frac{t_w}{2}$ | $14.28\ cm$ | $14.30\ cm$ | $14.30\ cm$ |

*Fuente: Elaboración Propia*

*3.6.6.3 Resistencia requerida para diseño de placa.*

Para conexiones viga-columna en donde la brida de la viga esta soldada a la brida de la columna, la columna debe tener una resistencia disponible para resistir una aplicación de fuerza consistente del momento máximo probable en la cara de la columna $(M_f)$.

- **Carga solicitada en la placa.**

Para conexiones en las que el alma de la viga se une a la columna mediante conexiones atornilladas, $P_f$ se calcula suponiendo que únicamente las bridas de la columna transfieren el par de fuerzas, donde $\alpha_s = 1$ $(LRFD)$.

**Carga solicitada en la placa:**

$$P_f = \frac{M_f}{\alpha_s d^*} \quad (189)$$

**Distancia entre los centroides de las planchas conectadas a la viga:**

$$d^* = d + t_{fp} \quad (190)$$

**Placa para Viga IPN 450 y Columna HEB 500:** $P_f = \frac{94.37}{0.45 + 0.025} = 198.67\ ton$

**Placa para Viga IPE 400 y Columna HEB 450:** $P_f = \frac{50.47}{0.4 + 0.020} = 120.16\ ton$

**Placa para Viga IPE 360 y Columna HEB 450:** $P_f = \frac{38.24}{0.36 + 0.020} = 100.63\ ton$

*3.6.6.4 Revision a traccion y compresion de las placas.*

- **Estado límite de fluencia de la placa a tracción.**

Los atiesadores se necesitan para resistir las cargas concentradas de tracción deben ser diseñados de acuerdo con los requisitos de la Sección J4.1 del ACI 358 y deben ser soldados al ala cargada y al alma de la columna.

Este análisis realizado en la placa superior consiste en la capacidad de resistencia a la tensión ($\phi R_n$) que soporta el área de contacto entre la placa y la columna. Además, se debe considerar al área de las pacas de continuidad sometida a tracción como $A_g = b'_p * t_p * 2$.

*Tabla 112. Verificacion de la resistencia a tracion de la placa superior de continuidad para conexión BFP*

| Parámetro | Formulación | IPN 450 y HEB 500 | IPE 400 y HEB 450 | IPN 360 y HEB 450 |
|---|---|---|---|---|
| **Resistencia a fluencia en tracción de la placa de continuidad ($\phi R_n$)** | $\phi R_n = \phi * F_y * A_g$ | $208.30\ ton$ | $140.65\ ton$ | $140.65\ ton$ |
| **Verificación** | $\phi R_n \geq P_f$ | Cumple | Cumple | Cumple |

*Fuente: Elaboracion Propia*

*3.6.6.5 Revision a compresion (placa inferior).*

En la placa inferior de continuidad se verifica que la resistencia nominal a compresion ($\phi P_n$) sea mayor a la carga solicitada ($P_f$) para poder evitar que se de algún efecto de pandeo.

a) $Para\ \frac{L_c}{r} \leq 25;\ \phi P_n = \phi F_y A_g \ \rightarrow \emptyset = 0.90\ (LRFD)$

b) $Para\ \frac{L_c}{r} \geq 25;\ \phi P_n = \phi F_{cr} A_g \rightarrow \emptyset = 0.90\ (LRFD)$ ⟹ Estamos en este caso en todos los perfiles

*Tabla 113. Verificacion de la resistencia a compresion de la placa inferior de continuidad para conexión BFP*

| Parámetros | Ecuación | Elemento | | |
|---|---|---|---|---|
| | | IPN 450 | IPE 400 | IPE 360 |
| Longitud Lp | $L_p$ | $47.20\ cm$ | $42.40\ cm$ | $42.40\ cm$ |
| Longitud efectiva de pandeo | $L_c = KL_p$ | $35.40\ cm$ | $31.80\ cm$ | $31.80\ cm$ |
| Radio de giro | $r = \sqrt{(t_p)^2/12}$ | $0.77\ cm$ | $0.57\ cm$ | $0.57\ cm$ |
| Relación | $\frac{L_c}{r}$ | 45.97 | 55.78 | 55.78 |
| Esfuerzo critico de Euler | $F_e = \frac{\pi^2 E}{(L_c/r)^2}$ | $9527.54\frac{kg}{cm^2}$ | $6471.02\frac{kg}{cm^2}$ | $6471.02\frac{kg}{cm^2}$ |
| Esfuerzo Fcr | $F_{cr} = \left(0.658^{\frac{F_y}{F_e}}\right)F_y$ | $3257.50\frac{kg}{cm^2}$ | $3007.05\frac{kg}{cm^2}$ | $3007.05\frac{kg}{cm^2}$ |
| Resistencia a compresión | $\phi P_n = \phi F_{cr} A_g$ | $175.38\ ton$ | $120.16\ ton$ | $120.16\ ton$ |
| Verificación | $\phi P_n \geq P_f$ | Cumple | Cumple | Cumple |

*Fuente: Elaboracion Propia*

### 3.6.7 Soldadura de placa de continuidad.

Las placas de continuidad se deben soldar a las bridas de la columna utilizando soldaduras de penetración completa CJP, y a la banda de la columna o placas duplicadoras, según sea el caso, las soldaduras pueden ser ranuradas o de filete.

- **Resistencia requerida en sueldas.**

Se debe determinar tres capacidades de resistencia principales, la resistencia a la tracción de diseño de la placa de continuidad a los patines de la columna ($\emptyset T_n$), la capacidad al corte del area de contacto de la placa de continuidad con la columna ($\emptyset V_n$), estas resistencias tienen el mismo procedimiento que las conexión RBS lo que cambien son los resultados por tener espesores diferentes.

*Tabla 114. Resistencia requeridas para sueldas en placas de continuidad para conexión BFP*

| Elemento | Resistencia a la tracción de diseño de la placa de continuidad a los patines de la columna $(\emptyset * T_n')$ | Resistencia al corte del area de contacto de la placa de continuidad con la columna $(\emptyset * V_n')$ | Resistencia al corte en la zona panel del alma $(\emptyset * R_n')$ |
|---|---|---|---|
| IPN 450 HEB 500 | $194.68\ ton$ | $211.35\ ton$ | $153.12/2 = 76.56\ ton$ |
| IPE 400 HEB 450 | $144.51\ ton$ | $134.32\ ton$ | $136.85/2 = 68.43\ ton$ |
| IPE 360 HEB 450 | $144.51\ ton$ | $134.32\ ton$ | $136.85/2 = 68.43\ ton$ |

*Fuente: Elaboracion Propia*

Ya que la resitencia al corte del alma es la que se diseña la suelda, y esta tiene los mismos valores que la conexión RBS las longitudes de suelda seran las mismmas, es decir 35 cm para las placas en las columnas HEB 500 y 30 cm para las placas de las columnas HEB 450.

### 3.6.8 Verificacion de la zona de panel.

- **Verificación de la resistencia nominal a corte en el alma de la columna $R_n$.**

Como se está empleando los mismos perfiles (vigas y columnas) en todas las conexiones, la capacidad resistente ya fue calculada con anterioridad en la conexión RBS. Solo se debe verificar si esta capacidad soporta las nuevas fuerzas que se generan por la acción del máximo momento probable ($M_f$). Para $d_b$, se debe agregar dos veces el grosor de la placa de brida a la profundidad de la viga.

*Tabla 115. Verificación si es necesario la disposición de placas para reforzar la zona de panel nodal para conexión BFP*

| Parametro | Formulacion | Elemento | | |
|---|---|---|---|---|
| | | Viga IPN 450 | Viga IPE 400 | Viga IPE 360 |
| **Resistencia al corte requerido en las caras de la columna ($R_u$)** | $R_u = \frac{\sum M_f}{d_b - t_f} - \frac{2M_f}{hs}$ | $332.768\ ton$ | $206.687\ ton$ | $175.77\ ton$ |
| **Resistencia nominal a corte en el alma de la columna ($R_n$)** | $R_n$ | $153.12\ ton$ | $136.85\ ton$ | $136.85\ ton$ |
| **Verificación** | $R_u < \emptyset R_n$<br>$\emptyset = 1.00\ (LRFD)$ | $No\ Cumple$<br>Se requiere placas | $No\ Cumple$<br>Se requiere placas | $No\ Cumple$<br>Se requiere placas |

*Fuente: Elaboracion Propia*

- **Verificacion grosor de zona de panel.**

La verificacion del grosor de la zona de panel ya se realizo, sus resueltados *se muestan en la Tabla 84*.

- **Calculo espesor placa.**

Su analisis y deiseño se realizar empleando el mismo criterio y ecuacion utilizadas en el diseño de la conexión RBS por ende, la ecuacion para determinar el espesor de a placa es la siguiente:

$$t_p = \frac{R_u}{0.60 F_y d_c} - t_w$$

**Para Viga IPN 450 y Columna HEB 500:**

$$t_p = \frac{332.768}{0.60 * 3.52 * 50} - 1.45$$

$$t_{p.min} = 3.15 - 1.45$$

$$t_{p.min} = 1.70\ cm$$

**Para Viga IPE 400 y Columna HEB 450:**

$$t_p = \frac{206.687}{0.60 * 3.52 * 45} - 1.44$$

$$t_{p.min} = 2.18 - 1.44 = 0.74\ cm$$

$$t_{p.min} \approx 0.90\ cm\ (minimo)$$

**Para Viga IPE 400 y Columna HEB 450:**

$$t_p = \frac{175.77}{0.60 * 3.52 * 45} - 1.40$$

$$t_{p.min} = 1.85 - 1.44 = 0.41\ \text{cm}$$

$$t_{p.min} \approx 0.85\ cm\ (minimo)$$

### 3.6.9 Representación detallada de la conexión BFP.

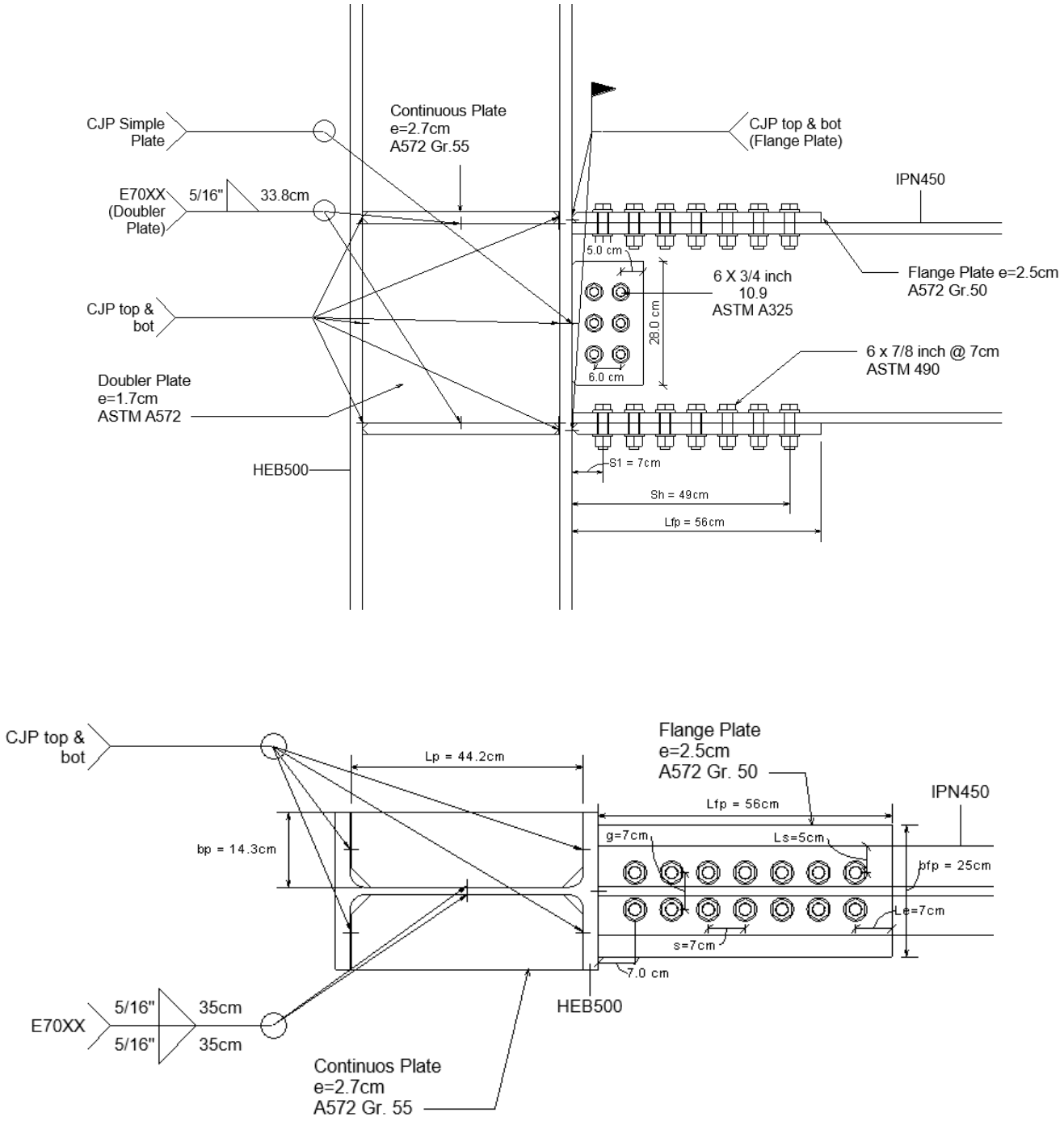



*Ilustración 100. Representación de la conexión BFP para viga IPN 450 y columna HEB 500*
*Fuente: Elaboración Propia*

# 4. Análisis por desempeño (no-lineal) de componentes locales (miembros y conexiones) y componente global (Push-over) de la estructura calibrada

## 4.1 Análisis estático no lineal (NSP).

Para finalizar con el presente estudio, luego de haber analizado la estructura con un análisis lineal estático (LSP), que la norma NEC-SE-DS, pide realizarse indispensablemente para todo tipo de estructura, así también se analizó la estructura mediante el método dinámico del modal espectral (LDP) que la norma exige para todo tipo de estructura irregular, que para el caso analizado, pero para un análisis más profundo de los efectos sísmicos sobre los componentes de la estructura fue necesario realizarlo, ajustando las fuerzas laterales de la combinación de modos donde participó el 90% de la masa total del edificio a las fuerzas obtenidas con el método LSP, teniendo una semejanza en los resultados de ambos análisis, *como se verifica en la Tabla 35*. El periodo de la estructura $T_n$ obtenido empíricamente por el método estático *en el apartado 2.8.1.1*, también se ajustó al periodo obtenido por el método dinámico, calibrando el margen de variabilidad que debe haber entre ambos (10%) según NEC.

El procedimiento estático no lineal (NSP), o también llamado "PUSH-OVER" utiliza técnicas y conceptos de la plastificación progresiva de los materiales y componentes estructurales que conforman el sistema sísmico. A diferencia del análisis no lineal dinámico (NDP) o también llamado historial de respuesta no lineal, requiere consideraciones específicas de la zona donde se emplaza la estructura, mediante espectros de demanda sísmica más específicos, que requiere estudios geofísicos de microzonificación sísmica para obtener una demanda sísmica con menor incertidumbre, a diferencia de los otros análisis que se pueden utilizar espectros más amplios y generales como un "espectro cantonal" que es la información geofísica que se encuentra en la norma NEC-SE-DS. Este último método al ser poco práctico y muy complejo utilizado únicamente en estructuras que presentan una alta irregularidad en planta como en elevación, así como también un modo fundamental de vibración torsional, que generalmente estas estructuras no se idealizan para un uso residencial común que es un objetivo de este proyecto. Con estas pautas el análisis (NDP) no se realizará conjeturando con lo que el código ASCE 41-17 y FEMA 356, donde se estudian los diferentes tipos de análisis para evaluación y potencialización de estructuras nuevas y existentes, especifican que este análisis se lo debe realizar por ingenieros con experiencia en diseño sísmico y procedimientos no lineales, debido a la alta complejidad en la percepción, conocimiento e ingenio que demanda un ingeniero para realizar este análisis.

EL PUSH-OVER consiste en un modelo matemático que incorpore el comportamiento no lineal de los componentes estructurales primarios, que son aquellos que resisten directamente la línea o transferencia de carga lateral de un sismo, como para el caso del sistema sísmico de estudio, un pórtico especial a momento (SMF), son todas las vigas, columnas, y conexiones (viga-columna). El sistema conformado por estos componentes descritos se someterá a una carga lateral o de EMPUJE que aumentará monotónica mente hasta alcanzar un desplazamiento objetivo o la degradación o perdida de estabilidad total de la estructura (COLAPSO) simulando las fuerzas inerciales laterales que demanda un terremoto. Para este proceso analítico se cumplirá con los requisitos, pautas y criterios de aceptabilidad de resultados de los códigos ASCE-41 Y FEMA 356 de análisis no lineal y códigos más específicos con ejemplos aplicativos como lo son FEMA 440 y ATC-40.

Para el planteo del modelo matemático y requisitos que deben cumplir los componentes adyacentes al subsistema sísmico como lo son los componentes secundarios (losa-vigas secundarias-paredes-entre otros) estas consideraciones serán descritas teóricamente ya que influyen significativamente en la consideración de los diafragmas de piso, que se consideran rígidos para reducir considerablemente los grados de libertad GDL a un sistema más práctico de analizar y con modos de vibración más exactos.

Cada aumento de monotónico de carga en el análisis PUSH-OVER debe registrar en las abscisas el desplazamiento del nodo de control que se encuentra en el centro de masa del techo del edificio (Nivel 7) y en las ordenadas la cortante basal, conformado la curva de capacidad de la estructura o curva PUSH-OVER. El modelo matemático debe considerar la degradación de la rigidez y la plastificación progresiva de cada componente primario sísmico, de igual manera mediante curvas de capacidad (fuerza-desplazamiento) o el equivalente diferencial (momento-rotación) que para el caso de las conexiones viga-columna, se ha utilizado el software IDEA StatiCa, el cual emplea modelos matemáticos de elementos finitos para calcular estas curvas, también las deformaciones y esfuerzos de cada componente que conforma las conexiones y de esta manera poder validar el diseño realizado en el capítulo 3.

Finalmente, la curva de capacidad global de la estructura, obtenida como resultado del análisis PUSH-OVER se debe contrastar con la demanda sísmica o espectro de respuesta sísmica real sin reducción (no considera factor R), *de la ilustración 58*, con la finalidad de obtener el punto de desempeño de la estructura y verificar con el nivel de desempeño sísmico adoptado. Es donde según la NEC-SE-DS especifica que para una estructura regular, con un sismo de diseño de un periodo de retorno $T_r = 475$ años que corresponde una tasa anual de excedencia del 2%, el nivel de desempeño a considerarse es el nivel de Colapso (CP).

*Tabla 116. Síntesis de filosofía de diseño*

| Nivel de desempeño estructural (prevención) | Elementos estructurales | Elementos no estructurales | Tasa anual de excedencia |
|---|---|---|---|
| Servicio | Ningún daño | Ningún daño | 0.023 |
| Daño | Ningún daño | Daños | 0.01389 |
| Colapso | Cierto grado de daño | Daños considerables | 0.00211 |

*Fuente: (NEC-SE-DS, 2015)*

## 4.2 Procedimiento de análisis.

Como se estableció anteriormente, los códigos a utilizarse para el análisis estático no lineal son los siguientes:

- ASCE-41.
- FEMA-356.
- FEMA-440.
- ATC-40.

Los procesos de análisis estáticos son efectivos cuando los modos de vibración más altos de la estructura no son significativos, lo cual es este caso pues *en la tabla 36* demuestra que la participación modal es del 80% en los dos primeros modos fundamentales donde la estructura vibra en “X” e “Y” traslacional mente, y en los primeros 5 modos acumula el 90% de la participación modal, que es el límite de modos a tomarse en cuenta en la combinación modal SQCC. El análisis modal espectral ASCE-41 se recomienda para edificios irregulares donde

sus ejes globales inerciales en planta no son ortogonales, como es el caso de un edificio triangular u otro tipo de prisma asimétrico.

En un análisis "no-lineal" implica la consideración explicita de la respuesta inelástica del material, posterior al límite elástico. El método PUSH-OVER utiliza estas consideraciones para estimar las deformaciones de la estructura y validar que efectivamente las consideraciones de diseño sismorresistente asumidas en el diseño son correctas o se asemejan al comportamiento real de la estructura.

### 4.2.1 Procedimiento No Lineal.

Cabe recalcar nuevamente que para la estructura en estudio la normativa local como internacional pide únicamente un análisis LSP de fuerzas laterales equivalentes que se encuentra descrito paso a paso en la NEC-SE-DS. Se procedieron con los análisis LDP Y NSP para fines investigativos del presente proyecto, donde se necesita reflejar un comportamiento casi real de la estructura antes un sismo, lo que es poco revelable únicamente en el análisis LSP. El procedimiento de análisis no lineal se permite para todos los edificios que cumplan las siguientes consideraciones:

- La relación de resistencia:

$\mu_{strength} < \mu_{max}$ → cuando $\mu_{strength} > \mu_{max}$ → Se realizará un análisis tiempo-historia NDP.

$$\mu_{strenght} = \frac{S_a}{C_s} C_m \qquad (191)$$

- Coeficiente sísmico:

$$C_s = V_y / W_i$$

### 4.2.2 Procedimiento del análisis estático no lineal (NSP).

El modelo matemático del sistema estructural debe contener explícitamente el comportamiento no-lineal (plástico) de los componentes primarios, teniendo en cuenta que los esfuerzos internos se aproximan a los criterios de aceptabilidad para el nivel de riesgo sísmico (CP). El aumento de cargas laterales mono tónicamente al que se someterá a la estructura representa las fuerzas inerciales del movimiento del suelo para un espectro determinado que en este caso es el espectro de diseño sin reducción *de la ilustración 58*, así como a los espectros de demanda sísmica adicionales de la *ilustración 138.* Los parámetros del modelo deben cumplir con requisitos *del inciso 2.3.1*.

El desplazamiento objetivo representa el desplazamiento máximo que puede experimentar la estructura para un nivel de riesgo sísmico seleccionado, en este caso (CP), el cual se calculara mediante *sección 4.2.6.3*.

### 4.2.3 Requisitos generales para NSP.

La selección de un nodo de control, la función de la fuerza sísmica lateral, la determinación del periodo fundamental de la estructura $T_a$ y el procedimiento del análisis debe cumplir con los siguientes requisitos de esta sección según ASCE.

- La función de la curva 'PUSH-OVER" "V vs Δ" que relaciona la cortante basal (ordenadas) y el desplazamiento del nodo de control (abscisas) se establecerá en un dominio para desplazamientos que oscilan entre 0 y 150% del desplazamiento objetivo, $\delta_t$, esto con el final de profundizar en el desempeño de la estructura en condiciones de carga extrema que supere los valores de análisis del nivel de riesgo CP. Este desplazamiento es un valor medio y puede tener una cierta dispersión del valor real.

- La carga gravitacional en incluirán en un estado inicial de la estructura, *según aparatado 4.2.4.1*.

- Las fuerzas laterales sísmicas se aplicarán horizontalmente en sentido positivo y negativo, que para este caso por la simetría del sistema, los resultados son iguales.

- El modelo matemático debe representar el comportamiento local de la función (fuerza-deformación) o análogamente (momento-rotación) captando explícitamente el desempeño plástico, la degradación de la resistencia y rigidez, y la resistencia residual, que para el caso de las conexiones se obtuvo por un análisis de rigidez-rotacional mediante software IDEA StatiCa estas funciones, correspondientes a las rotulas plásticas que se insertan en las fronteras de las vigas para los diferentes tipos de conexiones que la presenta tesis analiza. Para el caso de columnas, el comportamiento inelástico de estas se inserta por defecto mediante los parámetros que ETABS contiene de ASCE-41 para la inserción del momento plástico $(M_p)$ y rotación de fluencia $(\theta_y)$, considerando la reducción de resistencia por carga axial (P + M). En la definición de rotulas plásticas que se detalla más adelante, se denota en este análisis. Cuando estos efectos no se modelan explícitamente el factor de ductilidad limite $(\mu_{max})$ no es confiable y la inestabilidad dinámica no se puede evaluar más allá de los criterios de aceptación para la ductilidad de los componentes

- Los componentes primarios secundarios del sistema SRCS se incluirán en el modelo

### 4.2.4 Cargas a considerarse en el análisis.

#### *4.2.4.1 Cargas de gravedad* $(Q_g)$.

Las acciones causadas por cargas gravitacionales $(Q_g)$,deben considerarse en un estado inicial de la estructura, donde esta permanecerá en equilibrio estático, trabajando dentro del rango elástico, con una energía potencial elástica en reposo, que será la cual absorba las fuerzas inerciales sísmicas cuando ocurra un evento sísmico. La combinación de carga gravitacional de ASCE-41 para los procesos de análisis no lineales es la siguiente:

$$Q_g = Q_D + Q_L + Q_S \quad (192)$$

La acción causada por la carga muerta $(Q_D)$ y la acción causada por la cara viva $(Q_L)$ que actúan en el marco símico que se está analizando, se insertó en el modelo matemático, de acuerdo a las líneas de transferencia de carga entre la losa, vigas secundarias, y vigas principales. El grafico de las cargas gravitacionales que actúan en el sistema, *se muestra en la*

*ilustración 99*. Además, la acción causada por carga la viva $(Q_L)$ es igual al 25% de la carga viva no reducida obtenida de acuerdo con ASCE 7 pero no menos que la carga viva real.

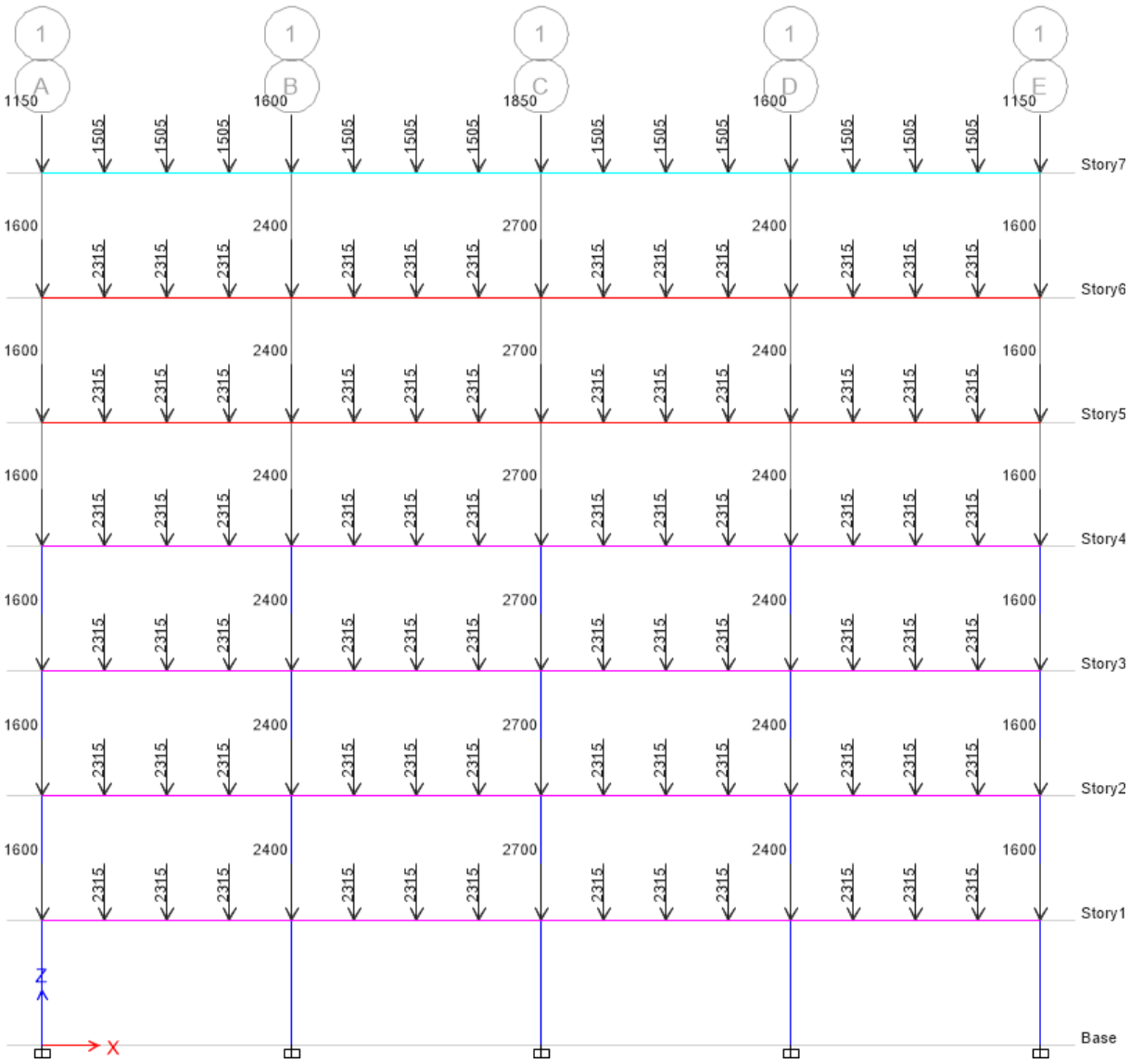



*Ilustración 101. Sobrecarga muerta en el Pórtico 4*
*Fuente: ETABS*

El patrón de carga "DEAD" que corresponde al peso propio de los elementos, se encuentra introducido por defecto en el modelo, según los materiales y secciones transversales que se están utilizando. El patrón de carga viva "LIVE" es semejante al diagrama *de la ilustración 99*, con la diferencia que la única línea de transferencia de carga se encuentra en las vigas secundarias. El caso de carga "Carga Permanente $(Q_D)$" combina los patrones "DEAD" y "Sobrecarga" para resumir la combinación en el modelo.

*4.2.4.2 Desplazamiento del nodo de control.*

El nodo de control debe encontrarse en el centro de masa del techo del edificio, debido a que cada piso está modelado como un diafragma rígido, el desplazamiento en cualquier punto de la planta es igual, por lo que el nudo de control se establecido en la esquina superior del edificio, *como se muestra en la ilustración 100*.

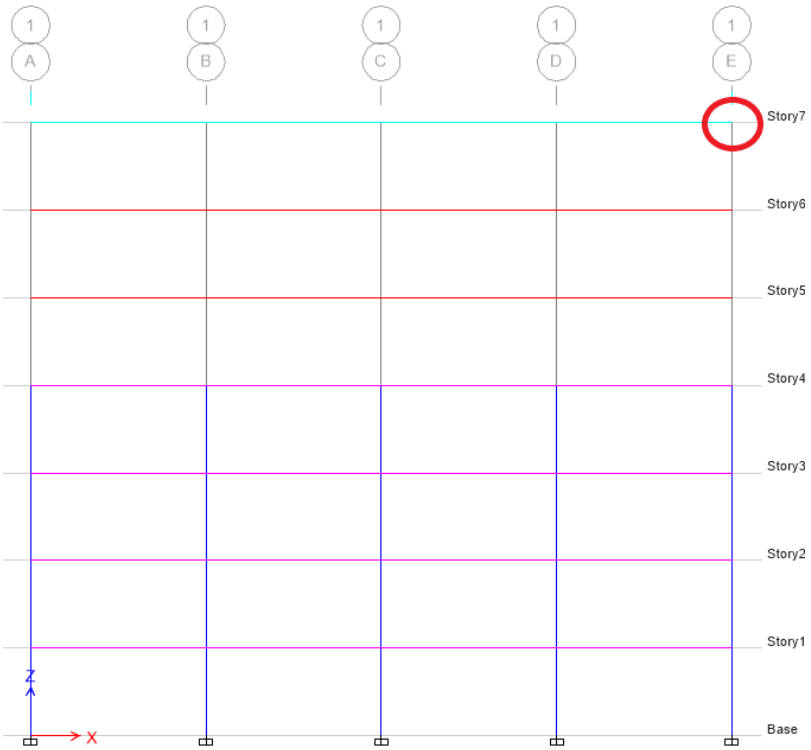



*Ilustración 102. Nodo de control del sistema estructural*
*Fuente: ETABS*

*4.2.4.3 Carga lateral de empuje.*

Las cargas laterales se aplicarán al sistema en cada diafragma de piso. La distribución y patrón vertical de estas fuerzas será proporcional a las fuerzas del modo de vibración fundamental de la estructura en la dirección "X", que según *muestra la tabla 37*, es el MODO 1.

La distribución lateral de fuerzas dinámicas en el análisis modal espectral LDP, *del apartado 2.8.2.2*, muestra la siguiente distribución (*tabla 35*), la cual debido al modelo equivalente del pórtico sísmico 2D SMF 4 en el que se realiza el análisis PUSH-OVER, las fuerzas laterales son semejantes; así también la cortante basal del pórtico equivalente es un 30.431/79.7597 = 40% del modelo en 3D, debido a que la fuerza restante es absorbida por el pórtico sísmico SMF 1 y por los componentes secundarios de la estructura.

Para el análisis se utilizará la distribución de fuerzas que *se muestra en la Tabla 117*.

*Tabla 117. Carga no lineal (Modelo 3D)*

| Piso | Vx | Fx | Fx/F1 | Fx (kg) |
|---|---|---|---|---|
| **Piso 7** | 20.2247 | 20.2247 | 4.33 | 4329 |
| **Piso 6** | 37.8374 | 17.6127 | 3.77 | 3770 |
| **Piso 5** | 49.1923 | 11.3549 | 2.43 | 2431 |
| **Piso 4** | 58.3529 | 9.1606 | 1.96 | 1961 |
| **Piso 3** | 67.2347 | 8.8818 | 1.90 | 1901 |
| **Piso 2** | 75.0879 | 7.8532 | 1.68 | 1681 |
| **Piso1** | 79.7597 | 4.6718 | 1.00 | 1000 |
| **BASE** | 79.7597 | 0 | | |

*Fuente: ETABS*

*Tabla 118. Carga no lineal (SMF 4)*

| Piso | Vx | Fx | Fx/F1 | Fx (kg) |
|---|---|---|---|---|
| **Piso 7** | 9.0359 | 9.0359 | 5.31 | 5306 |
| **Piso 6** | 15.2038 | 6.1679 | 3.62 | 3622 |
| **Piso 5** | 19.2595 | 4.0557 | 2.38 | 2382 |
| **Piso 4** | 22.5827 | 3.3232 | 1.95 | 1951 |
| **Piso 3** | 25.8516 | 3.2689 | 1.92 | 1920 |
| **Piso 2** | 28.7281 | 2.8765 | 1.69 | 1689 |
| **Piso1** | 30.431 | 1.7029 | 1.00 | 1000 |
| **BASE** | 30.431 | 0 | | |

*Fuente: ETABS*

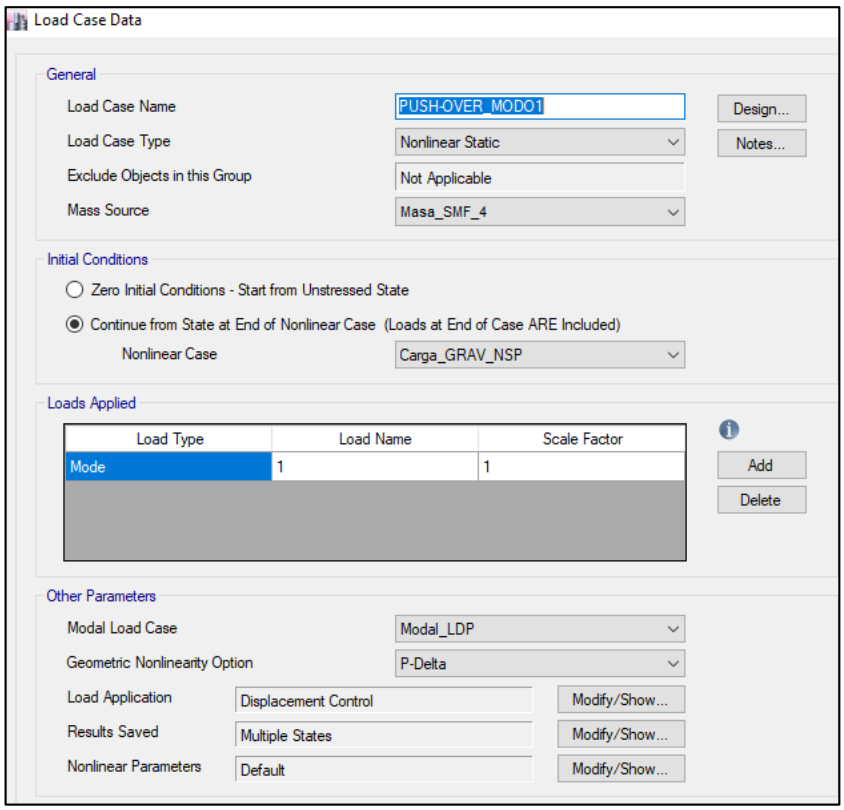



*Ilustración 103. Carga Push-over (Modo 1)*
*Fuente: ETABS*

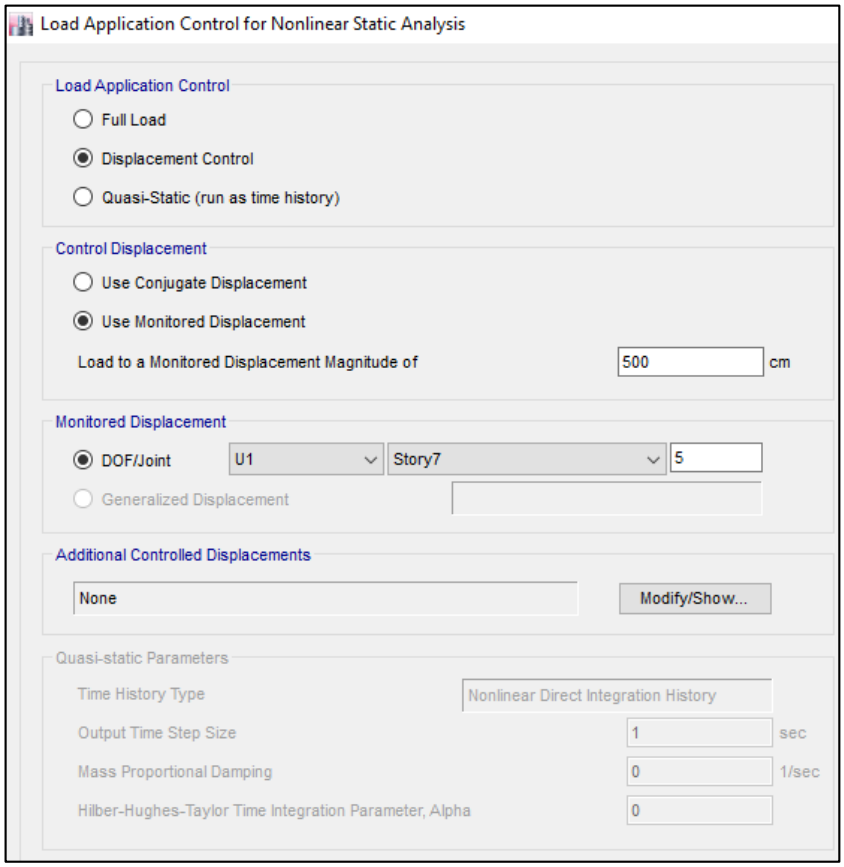



*Ilustración 104. Asignación nudo y desplazamiento de control*
*Fuente: ETABS*

*En la Tabla 118*, se presenta todos los casos de carga introducidos en el modelo matemático de la estructura.

*Tabla 119. Casos de carga*

| CASO DE CARGA | TIPO DE CARGA | DESCRIPCION DE LA CARGA |
|---|---|---|
| **Dead** | Estática Lineal | Peso propio de los elementos |
| **Sobrecarga_Dead** | Estática Lineal | Sobrecargas: *Apartado 2.2.1.1* |
| **Carga Permanente** | Estática Lineal | Combinación (Dead + Sobrecarga) |
| **Live** | Estática Lineal | Cargas vivas: *Apartado 2.2.1.2* |
| **Sismo_LSP_X** | Estática Lineal | Cargas estáticas laterales sísmicas equivalentes: *Apartado 2.8.1.2* |
| **Sismo_LDP_X** | Dinámica Lineal | Cargas dinámicas laterales sísmicas mediante modal espectral (SQCC): *Apartado 2.8.2.2* |
| **Carga_Grav_NSP** | Estática no lineal | Combinación de cargas según *apartado 4.2.4.1* para análisis no lineal (NSP) |
| **LATERAL** | Estática Lineal | Patrón de cargas laterales según combinación modal (SQCC) de modal espectral para empuje PUSH-OVER |
| **PUSH-OVER_MODO1** | Estática no lineal | Carga de empuje no lineal según patrón de cargas del MODO 1 (Modo fundamental de vibración) |
| **PUSH-OVER_FUERZAS** | Estática no lineal | Carga de empuje no lineal según el patrón de cargas LATERAL |

*Fuente: Elaboración Propia*

### 4.2.5 Curva PUSH-OVER – Espectro de capacidad.

La curva fuerza-desplazamiento entre la cortante basal y el desplazamiento del nodo de control se debe reemplazar por una curva ideal con el fin de estimar la rigidez efectiva $(K_e)$, y el límite elástico efectivo $(V_y)$, de la estructura, *como se muestra en la ilustración 103*. Así también para considerar el incremento de la relación de amortiguamiento $(\xi)$ que a su vez reduce el espectro de demanda sísmica según ATC-40.

- El primer tramo de la curva ideal (V-Δ) empieza en el origen y tiene una pendiente igual a la rigidez lateral efectiva de la estructura. La rigidez lateral efectiva se tomará en un 60 % del límite elástico efectivo $(V_y)$.

$$K_e = 0.6\frac{V_y}{\Delta_y} \qquad (193)$$

- El segundo segmento representa la pendiente positiva $(\alpha_1 K_e)$ de desempeño plástico del sistema posterior al rendimiento elástico del edificio, determinada por el punto $(V_d, \Delta_d)$ siendo un valor real y aproximado ante desplazamiento objetivo calculado, correspondiente a la cortante basal máxima hasta cruzar la primera línea, de manera que el área $A_1 = A_2$. Con esta configuración se puede calcular la ductilidad del sistema o componente estructural $\mu = \Delta_d/\Delta_y$.

- El tercer y último segmento representa la pendiente negativa de resistencia residual del sistema $(\alpha_2 K_e)$, determinada por el punto $(V_d, \Delta_d)$, y punto en el que la cortante basal es igual al 60% de la cortante elástica afectiva $0.6V_y$. En este último tramo la estructura pierde estabilidad debido a los efectos de segundo orden P-Δ, que mientras la estructura empieza a absorber menos carga debido a la falla local de los componentes primarios,

siendo estas cargas transferidas a los componentes no sismos que ayudan al no colapso de la estructura, la deriva es tan alta que el momento flector en las columnas aumenta y degrada completamente el sistema.

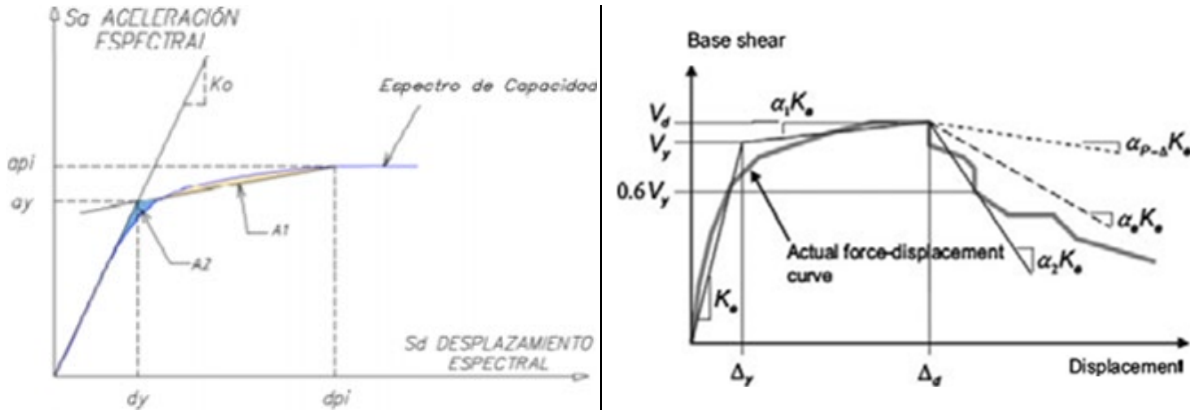



*Ilustración 105. Curvas de fuerza-desplazamiento idealizadas*
*Fuente: (ATC-40, 1996) y (FEMA-356, 2000)*

### 4.2.6 Análisis PUSH-OVER método de los coeficientes ASCE-41.

Para el análisis teórico por el método de los coeficientes se utilizará el MODELO 1 de los arquetipos *en la Tabla 131*, con la demanda sísmica del espectro en la ciudad de Pedernales, obteniendo así el desplazamiento objetivo o punto de desempeño de la estructura.

#### *4.2.6.1 Determinación del periodo fundamental de la estructura ($T_e$) para NSP.*

El cálculo del periodo fundamental de la estructura se basará en la curva "PUSH-OVER" "V-Δ" y se define con la siguiente ecuación:

$$T_e = T_i \sqrt{\frac{K_i}{K_e}} \qquad (194)$$

$$T_e = 1.069 * \sqrt{\frac{11.8918\ ton/cm}{11.8918\ ton/cm}} = 1.07\ s$$

Donde:

- Ti = 1.08 s = Período fundamental elástico (en segundos) en la dirección considerada calculada por análisis dinámico elástico (LDP), *como se muestra en la Tabla 34*.
- Ki = Rigidez lateral elástica del edificio en la dirección considerada calculada utilizando los requisitos de modelado, *tabla 119*.
- Ke = Rigidez lateral efectiva del edificio en la dirección considerada, *tabla 119*.

- **Datos de la curva de empuje - Modificación de desplazamiento ASCE 41-13.**

Estos son los datos para un análisis de transferencia de modificación de desplazamiento ASCE 41-13.

*Tabla 120. Datos de entrada generales – Push-over-RBS-1*

| Name | Push-over-RBS-1 | | |
|---|---|---|---|
| **Load Case** | $PUSH\text{-}OVER_{MODO1}$ | **Plot Type** | ASCE 41-13 NSP |
| **Demand Spectrum Input Data** | | | |
| **Damping Ratio** | 0.05 | **Source** | Defined Function |
| **Include SSI** | No | **Function Name** | Espectro Pedernales |
| **C2 Type** | Default Value | **Scale factor** | 2000 cm/sec² |
| **Cm Type** | Default Value | **Period Ts** | 1 seg |
| **Target Displacement Results** | | | |
| **Displacement $\Delta_d$** | 110.0082 cm | **Shear** | 282.5645 tonf |
| **Calculated Parameters** | | | |
| **C0** | 1.398424 | **Sa** | 2.79443 g |
| **C1** | 1.00 | **Alpha** | 0.021003 |
| **C2** | 1.00 | **uStrength** | 13.024468 |
| **Ti** | 1.069 seg | **Δy** | 21.9109 cm |
| **Te** | 1.069 seg | **Vy** | 260.5607 tonf |
| **Ki** | 11.8918 tonf/cm | **Weight** | 1214.43896 tonf |
| **Ke** | 11.8918 tonf/cm | **Cm** | 1.00 |

*Fuente: ETABS*

- **Push-over Plot.**

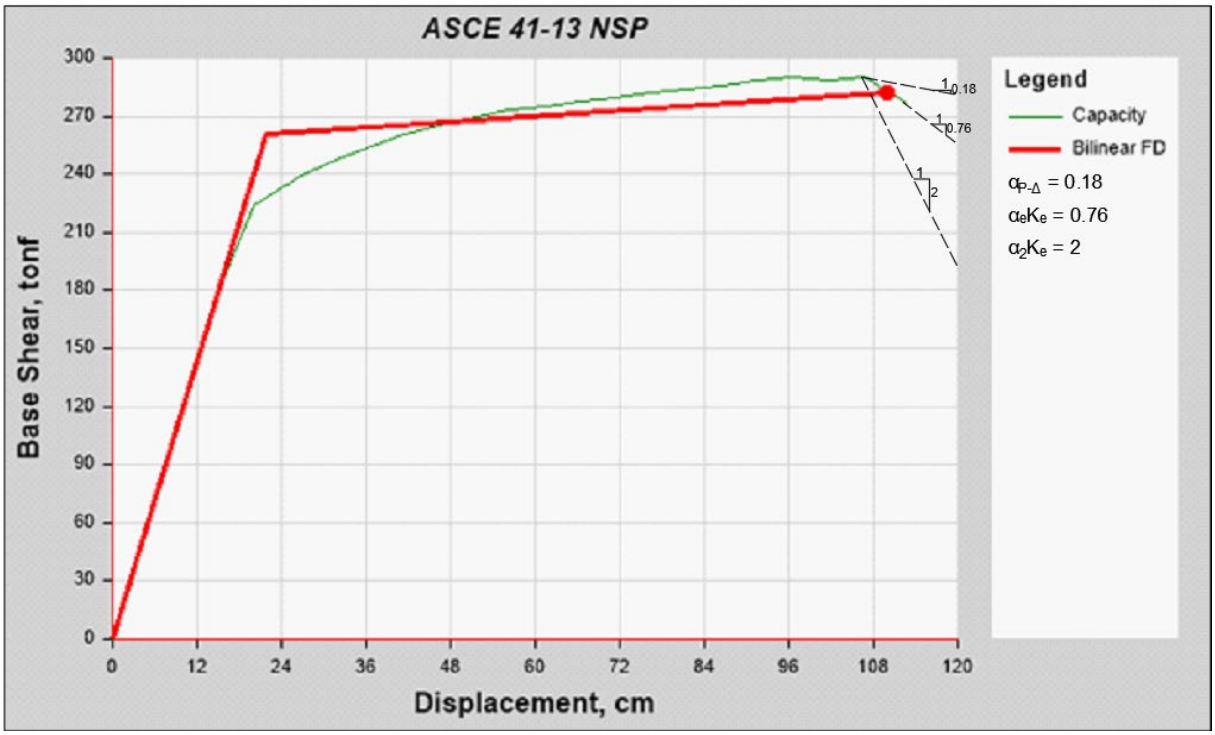



*Ilustración 106. Push-over Plot (Base Shear vs Displacement)*
*Fuente: ETABS*

*Tabla 121. Coordenadas de la curva de capacidad*

| Stteep | Monitored Displ (cm) | Base Force (tonf) | Steep | Monitored Displ (cm) | Base Force (tonf) |
|---|---|---|---|---|---|
| **1** | 0 | 0 | 12 | 66.3824 | 277.4049 |
| **2** | 5 | 59.4591 | 13 | 71.3824 | 279.5684 |
| **3** | 10 | 118.9191 | 14 | 76.3824 | 281.7719 |
| **4** | 15 | 178.3802 | 15 | 81.3824 | 283.9362 |
| **5** | 20.0608 | 223.8907 | 16 | 86.3824 | 286.1009 |
| **6** | 27.2741 | 240.4709 | 17 | 91.3824 | 288.266 |
| **7** | 32.9098 | 249.0847 | 18 | 96.3824 | 290.4315 |
| **8** | 41.4733 | 260.5999 | 19 | 101.6749 | 288.2769 |
| **9** | 48.306 | 266.9532 | 20 | 106.6749 | 290.3516 |
| **10** | 56.3824 | 273.079 | 21 | 112.6238 | 276.4667 |
| **11** | 61.3824 | 275.2417 | | | |

*Fuente: ETABS*

*4.2.6.2 Análisis de modelos matemáticos para NSP.*

Se desarrollará un modelo matemático separado que represente el sistema estructural sísmico a lo largo de los ejes X-Z, como es el caso del pórtico 4 para un análisis bidimensional. El código ASCE-41 permite el análisis independiente de los sistemas sísmicos en la dirección X e Y revisando previamente los efectos multidireccionales y torsionales que por la regularidad geométrica de la estructura, no se presentan estos efectos, por lo que se justifica el análisis del pórtico más solicitado sísmicamente en la dirección "X" que se está analizando.

*4.2.6.3 Desplazamiento objetivo para NSP ($\delta_t$) - Método de los coeficientes.*

El código ASCE 41-13 presenta el método de coeficientes para calcular el desplazamiento objetivo ($\delta_t$), tomado bajo las provisiones de ASCE 41. En cambio, ATC-40 y FEMA-440 presentan otro método llamado "Espectro de capacidad" que transforma la curva "PUSH-OVER" (V-Δ) a un espectro de capacidad en términos de pseudo-aceleraciones y pseudo-desplazamientos (Sa-Sd). Al igual que transforma el espectro de respuesta sísmica (Sa-T) a los mismos términos del espectro de capacidad, considerando el aumento de la relación de amortiguamiento $\xi = c/c_{cr}$ debido a la degradación del sistema en un comportamiento histerético, para de esta manera traslapar ambas curvas y encontrar el punto de desempeño, que vendría siendo el desplazamiento objetivo de la estructura según ASCE-41 siendo el desplazamiento máximo que puede experimentar la estructura para una demanda sísmica cualquiera, y finalmente verificar si la estructura se encuentra dentro del nivel de desempeño sísmicos adoptado que para este caso es CP (Colapso), de esta manera concluye el análisis por desempeño estructural.

En este capítulo el análisis PUSH-OVER (NSP) detalla las provisiones según código ASCE-440 mediante el método de los coeficientes. El software ETABS mediante el cual se realizará el modelo matemático del NSP, puede ejecutar el punto de desempeño o desplazamiento objetivo mediante método de coeficientes o espectro de capacidad, que, para fines investigativos del presente estudio, se ira contrarrestando los resultados.

- **Método de los coeficientes.**

EL desplazamiento objetivo mediante el código ASCE-41, se calcula considerando los coeficientes $C_0,\ C_1,\ C_2$, que se detallan a continuación.

$$\delta_t = C_0 C_1 C_2 (S_a g) \frac{T_e^2}{4\pi^2} \quad (195)$$

$$\delta_t = 1.398424 * 1.06784 * 1.02371 * (0.548 * 981) * \frac{1.07^2}{4\pi^2} = 23.83\ cm$$

Donde:

- $S_a$ = Aceleración del espectro de respuesta en el período fundamental efectivo $T_a$ y la relación de amortiguamiento del edificio $\xi = 5\%$ en la dirección considerada (X), *determinado en la Tabla 32*.

- $C_0$ = Factor de modificación que relaciona el desplazamiento del sistema equivalente de un grado de libertad (SDOF) con el desplazamiento del nodo de control en el edificio de varios grados de libertad (MDOF), calculado con la multiplicación del factor de participación modal del MODO 1 por la ordenada de la forma de vibración en el primer modo en el nodo de control o mediante la los valores que *se muestran en la Tabla 121*. También se puede tomar los valores obtenidos del software ETABS, *que se muestra en la Tabla 119*, que para nuestro análisis el valor de modificación $(C_0)$ fue obtenido de dicha tabla de $C_0 = 1.398424$.

*Tabla 122. Valor de modificación del factor $C_0$*

| | Shear Buildings[a] | | Other Buildings |
|---|---|---|---|
| Number of Stories | Triangular Load Pattern (1.1, 1.2, 1.3) | Uniform Load Pattern (2.1) | Any Load Pattern |
| 1 | 1.0 | 1.0 | 1.0 |
| 2 | 1.2 | 1.15 | 1.2 |
| 3 | 1.2 | 1.2 | 1.3 |
| 5 | 1.3 | 1.2 | 1.4 |
| 10+ | 1.3 | 1.2 | 1.5 |

*Fuente: (ASCE/SEI-41, 2013)*

- $C_1$ = Factor de modificación que relaciona los desplazamientos inelásticos máximos esperados $(\Delta_d)$ con los desplazamientos dentro del límite proporcional elástico $(\Delta_y)$. Para estructuras con periodos T > 1 s, se calcula como sigue:

$$C_1 = 1 + \frac{\mu_{strenght} - 1}{aT_e^2} \quad (196)$$

$$C_1 = 1 + \frac{5.66 - 1}{60 * 1.07^2} = 1.06784$$

- $C_2$ = Factor de modificación que representa el efecto de histéresis del sistema, la degradación de rigidez cíclica y la resistencia en el desplazamiento máximo de la estructura.

$$C_2 = 1 + \frac{1}{800}\left(\frac{\mu_{strenght} - 1}{T_e}\right)^2 \quad (197)$$

$$C_2 = 1 + \frac{1}{800}\left(\frac{5.66 - 1}{1.07}\right)^2 = 1.02371$$

- $a$ = Factor de clase de sitio, que para este análisis para un suelo tipo E.

  - $a = 130 \rightarrow Clase\ de\ Sitio\ A\ o\ B.$
  - $a = 90 \rightarrow Clase\ de\ Sitio\ C.$
  - $a = 60 \rightarrow Clase\ de\ Sitio\ D, E\ O\ F.$

- $T_e$ = Periodo fundamental efectivo del edificio en la dirección considerada, *determinado en el apartado 4.2.6.1*.

- $T_s$ = Periodo característico del espectro de respuesta, definido entre la transición de la aceleración constante (meseta) a la aceleración en un periodo unitario $T = 1.00\ s$.

$$T_s = S_{x1}/S_{xs} \quad (198)$$

$$T_s = 0.407/0.868 = 0.47\ s$$

*4.2.6.4 Relación entre la demanda sísmica y el coeficiente sísmico* ($\mu_{strenght}$).

- **$\mu_{strenght}$ = Relación entre la demanda sísmica ($S_a$) y el coeficiente sísmico ($C_s$).**

El uso del NSP no está permitido cuando $\mu_{strenght}$ excede $\mu_{max}$.

$$\mu_{strenght} = \frac{S_a}{C_s} = \frac{S_a}{V_y/W_i} C_m = \frac{0.548}{260/620} = 1.30$$

Donde:

- $V_y$ = La resistencia a la fluencia del edificio en la dirección considerada se calcula utilizando los resultados del NSP para la curva idealizada (bilineal) de (desplazamiento vs fuerza en la base), *determinado en la Tabla 119*.

- $W_i = D$ = Carga muerte total de la estructura, *como se muestra en la Tabla 122*. La masa total considera el total de carga muertas, lo que es igual a $W_i$. El modelo tridimensional analizado en el capítulo 2 se asemeja al peso calculado $W_i$ en el análisis LSP, mientras que en el análisis bidimensional utilizado en el PUSH-OVER, el sistema sísmico está cargado con casi la mitad de $W_i$ debido a que existen dos marcos sísmicos que absorben el sismo en "X" y la diferencia de masa corresponde al 20% de la participación modal que según *la Tabla 37* en el modo 1 y 2 la estructura vibra con aproximadamente el 80% de la masa, lo restante es sostenida únicamente por el sistema gravitacional y no infiere en la vibración de la estructura. Como se puede observar hay coherencia entre la simplificación de un modelo tridimensional a bidimensional.

*Tabla 123. Resumen de carga muerta toral de la estructura*

| MODELO | 3D | 2D |
|---|---|---|
| **Story** | **P (tonf)** | |
| **Story7** | 156.76 | 75.06 |
| **Story6** | 241.25 | 89.62 |
| **Story5** | 241.25 | 89.62 |
| **Story4** | 247.11 | 90.81 |
| **Story3** | 247.60 | 90.94 |
| **Story2** | 247.60 | 90.94 |
| **Story1** | 247.60 | 90.94 |
| **Base** | 5.63 | 1.41 |
| **W = D** | 1634.80 | 619.33 |

*Fuente: Elaboración Propia*

- $C_m$ = Factor de masa efectivo. Alternativamente, se permitirá $C_m$, tomado como el factor de participación en masa modal efectivo calculado para el modo fundamental usando un análisis de valor propio. El valor de este factor será $C_m = 1.00$, *como se muestra en la Tabla 119.*

- **$\mu_{max}$ = Capacidad o ductilidad máxima de la estructura, antes de perder estabilidad por efectos P-Δ.**

$$\mu_{max} = \frac{\Delta_d}{\Delta_y} + \frac{|\alpha_e|^{-h}}{4} \quad (199)$$

$$\mu_{max} = \frac{110.0082}{21.91} + \frac{|\alpha_e|^{-h}}{4}$$

$$\mu_{max} = \frac{|0.544|^{-1.01015}}{4} = 5.52$$

$\mu_{strenght} < \mu_{max} \rightarrow$ EL análisis PUSH-OVER es suficiente para identificar el desempeño o desplazamiento objetivo de la estructura según ASCE-7 para NSP, por lo que no se necesita un análisis TIEMPO-HISTORIA (NDP), lo que es lógico debido a la regularidad estructural del sistema sísmico, siendo un pórtico simétrico tanto geométricamente como físicamente debido a la simetría de cargas.

Donde:

- $\Delta_d$ = Menor del desplazamiento objetivo o desplazamiento correspondiente a la cizalladura máxima de la base, *definido como se muestra en la Tabla 119.*

- $\Delta_y$ = Desplazamiento con límite elástico efectivo, *definido en la Tabla 119.*

- $h$ = Factor que está en función del periodo fundamental efectivo del edificio en la dirección considerada.

$$h = 1 + 0.15\, ln(T_e) \quad (200)$$

$$h = 1 + 0.15\, ln(1.07) = 1.01015$$

- $\alpha_e$ = Relación de pendiente negativa efectiva posterior al rendimiento.

$$\alpha_e = \alpha_{P-\Delta} + \lambda(\alpha_2 - \alpha_{P-\Delta}) \quad (201)$$

$$\alpha_e = 0.18 + 0.2 * (2 - 0.18) = 0.544$$

- $\alpha_2$ = Relación de pendiente negativa posterior al rendimiento. Esta relación incluye efectos de P-Δ, degradación en el ciclo y degradación cíclica.

- $\alpha_{P-\Delta}$ = 0.18 = Relación de pendiente negativa causada por los efectos de P-Δ.

- λ = Factor de efecto de campo cercano.

  - $\lambda = 0.80\ si\ Sx1\ \geq 0.60\ para\ BSE - 2N.$
  - $\lambda = 0.20\ si\ Sx1 < 0.60\ para\ BSE - 2N.$

- BSE-2N: Terremoto de seguridad básico-2 para usar con el Objetivo de rendimiento básico equivalente a los nuevos estándares de construcción, tomado como el temblor de tierra basado en el Terremoto máximo considerado de riesgo (MCE R) factor Z según ASCE 7 en un sitio.

### 4.2.7 Criterios de aceptación del análisis NSP.

Para evaluar la aceptabilidad de rigidez, resistencia y ductilidad de los componentes de la estructura, estos se deben clasificar como acciones controladas por deformación (dúctiles) o controladas por fuerza (no dúctiles).

Para el presente caso de estudio, todos los componentes sísmicos deberían ser controlados por deformación, pues es un sistema (DES) "ductility especial system". Siendo componentes frágiles (controlados por fuerza) o protegidos por sobrerresistencia Ω únicamente las columnas que deben tener un comportamiento elástico ante cualquier demanda sísmica, permitiéndose únicamente el desarrollo de rotulas en las columnas base de la estructura, aun así debido a que las placas de las columnas son revisadas mediante los criterios de alta ductilidad, *en apartado 2.16.4.2*, estas siguen siendo controladas por deformación aunque se sobredimensionan o se protegen con Ω para asegurar su funcionamiento elástico.

Además de las columnas, las conexiones se diseñan protegidas con sobrerresistencia, debido a que las sueldas y pernos no experimentan la ductilidad necesaria para considerarse acciones controladas por deformación. Este análisis se presenta para cada tipo de conexión que se diseñó, verificando el cumplimiento del criterio de aceptación NSP.

Una vez analizado el tipo de acción de cada componente, estos deberán ser capaces de resistir fuerzas y deformaciones dentro de los criterios de aceptación para el nivel de desempleo sísmico CP.

*4.2.7.1 Componentes primarios y secundarios.*

Los componentes que afectan a la rigidez lateral del sistema se clasificaran como primarios o secundarios, aun si estas no forman parte del sistema resistente a cargas sísmicas SRCS.

- **Componentes primarios.**

Un componente que resista las fuerzas sísmicas en cualquier punto de la ruta de carga, así como también que participe o acomode las deformaciones (derivas o distorsión) de piso como es el caso de las vigas sísmicas y conexiones, diseñadas para generar rotulas plásticas con la ductilidad necesaria para generar distorsiones $\varphi > 0.04$ rad como lo especifica AISC-341 para pórticos especiales a momento se clasifican como componentes primarios.

El sistema sísmico como se detalla *en el apartado 2.11*, que resiste el movimiento del suelo en el sentido "X" (Modo fundamental de vibración) es resistido por los pórticos sísmicos 1 y 4, siendo este último el sistema analizado bidimensionalmente. De este sistema Special Moment Frame los componentes primarios son:

- Columnas
- Vigas
- Conexiones viga-columna
- Bases de columna o empalmes columna cimentación

Para fines de este estudio el ultimo componente no se estudió, siendo sumamente importante en la interacción suelo-estructura del sistema, que para fines de modelo se consideró las bases de la estructura totalmente restringidas.

- **Componentes secundarios.**

La designación de un componente secundario se analiza para los siguientes casos:

- Componentes que no contribuyen a resistir la demanda de un terremoto en ninguna dirección, como lo es el caso de mamposterías.

- Sistemas gravitaciones diseñados solo para resistir cargas verticales, como es el caso de la losa y vigas secundarias, teniendo una contribución poco significativa a la rigidez del sistema, en relación a los pórticos perimetrales "fuertes" que resisten el sismo.

- Detallado estructural necesario para asegurar el funcionamiento eficaz del sistema sísmico, como es el caso de arrostramientos laterales, torsionales, o mixtos. Así como el detallado de los diafragmas verticales como horizontales (paredes y pisos) que aseguren el comportamiento de un diafragma rígido o piso rígido que simplifique la vibración de la estructura o modos de menos grados de libertad, que se conceptualizan en el modelo matemático del sistema.

*4.2.7.2 Acciones Controladas por Deformación y Controladas por Fuerza.*

- **Componente de fuerza versus curvas de deformación.**

Las acciones se asignarán como controladas por deformación o fuerza mediante las curvas fuerza-desplazamiento o momento – rotación de cada componente, *como se muestra en la ilustración 105*.

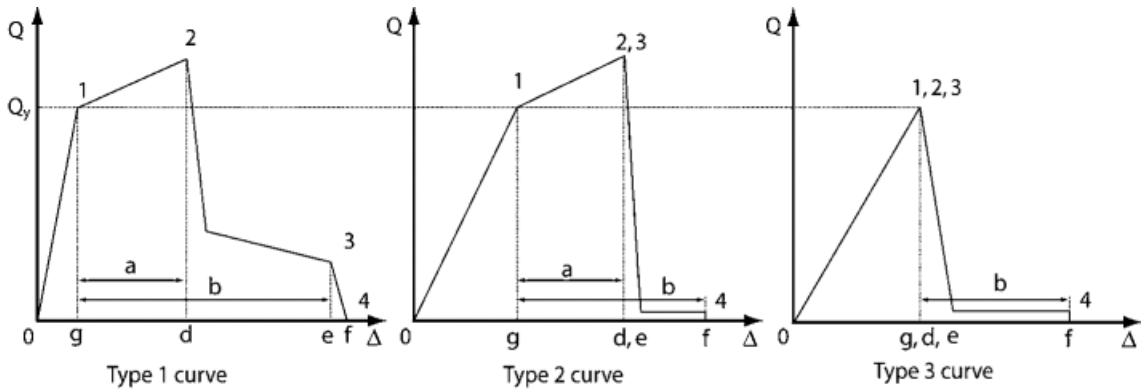



*Ilustración 107. Componente de fuerza versus curvas de deformación*
*Fuente: (ASCE/SEI-41, 2013)*

- La curva tipo 1 muestra un comportamiento dúctil del componente estructural, donde hay un rango elástico del punto 0 al 1, seguido por un comportamiento plástico de 1 a 3, seguida por pérdida de resistencia de carga en el punto 4. Las acciones de los componentes primarios que presenten este comportamiento se asignaran controladas por deformación si la capacidad de deformación plástica (ductilidad) es tal que $\boldsymbol{d \geq 2g}$, de lo contrario por fuerza. Este tipo de curva presentan las columnas y vigas. Para componentes secundarios, que se comporten con este patrón se catalogan como controladas por deformación para cualquier relación $d/g$.

- La curva tipo 2 se encuentra en la mayoría de las conexiones diseñadas que se presentaran posteriormente, debido a que el software IDEA StatiCa de donde se obtienen las curvas de rigidez rotacional de las conexiones, no consideran la degradación de resistencia desde el punto 2 a 4, estos puntos se modelan hipotéticamente, según las acciones controladas por deformación para análisis NSP, *de la Tabla 123*. Las acciones de los componentes primarios serán controladas por deformación si $\boldsymbol{e \geq 2g}$, de lo contrario sería por fuerza. Para componentes secundarios, las acciones por deformación deben cumplir $\boldsymbol{f \geq 2g}$, de contrario por fuerza.

- La curva tipo 3 presenta un comportamiento frágil, donde el rango elástico (0 a 1) es la única capacidad de resistencia del componente. Los componentes primarios que muestren este comportamiento serán controlados por fuerza, mientras que los secundarios pueden ser controlados por deformación si $\boldsymbol{f \geq 2g}$.

*Tabla 124. Parámetros de modelo de curva capacidad (rigidez) para acciones controladas por deformación de elementos de componentes estructurales para sistemas en acero*

| Component or Action | Modeling Parameters: Plastic Rotation Angle, Radians — *a* | Modeling Parameters: Plastic Rotation Angle, Radians — *b* | Modeling Parameters: Residual Strength Ratio — *c* | Acceptance Criteria: Plastic Rotation Angle, Radians — IO | Acceptance Criteria: Plastic Rotation Angle, Radians — LS | Acceptance Criteria: Plastic Rotation Angle, Radians — CP |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Beams—Flexure** | | | | | | |
| a. $\frac{b_f}{2t_f} \le \frac{52}{\sqrt{F_{ye}}}$ and $\frac{h}{t_w} \le \frac{418}{\sqrt{F_{ye}}}$ | $9\theta_y$ | $11\theta_y$ | 0.6 | $1\theta_y$ | $9\theta_y$ | $11\theta_y$ |
| b. $\frac{b_f}{2t_f} \ge \frac{65}{\sqrt{F_{ye}}}$ or $\frac{h}{t_w} \ge \frac{640}{\sqrt{F_{ye}}}$ | $4\theta_y$ | $6\theta_y$ | 0.2 | $0.25\theta_y$ | $3\theta_y$ | $4\theta_y$ |
| c. Other | Linear interpolation between the values on lines a and b for both flange slenderness (first term) and web slenderness (second term) shall be performed, and the lower resulting value shall be used | | | | | |
| **Columns—Flexure**[a,b] | | | | | | |
| For $P/P_{CL} < 0.2$ | | | | | | |
| a. $\frac{b_f}{2t_f} \le \frac{52}{\sqrt{F_{ye}}}$ and $\frac{h}{t_w} \le \frac{300}{\sqrt{F_{ye}}}$ | $9\theta_y$ | $11\theta_y$ | 0.6 | $1\theta_y$ | $9\theta_y$ | $11\theta_y$ |
| b. $\frac{b_f}{2t_f} \ge \frac{65}{\sqrt{F_{ye}}}$ or $\frac{h}{t_w} \ge \frac{460}{\sqrt{F_{ye}}}$ | $4\theta_y$ | $6\theta_y$ | 0.2 | $0.25\theta_y$ | $3\theta_y$ | $4\theta_y$ |
| c. Other | Linear interpolation between the values on lines a and b for both flange slenderness (first term) and web slenderness (second term) shall be performed, and the lower resulting value shall be used | | | | | |
| For $0.2 \le P/P_{CL} \le 0.5$ | | | | | | |
| a. $\frac{b_f}{2t_f} \le \frac{52}{\sqrt{F_{ye}}}$ and $\frac{h}{t_w} \le \frac{260}{\sqrt{F_{ye}}}$ | —[c] | —[d] | 0.2 | $0.25\theta_y$ | —[c] | —[d] |
| b. $\frac{b_f}{2t_f} \ge \frac{65}{\sqrt{F_{ye}}}$ or $\frac{h}{t_w} \ge \frac{400}{\sqrt{F_{ye}}}$ | $1\theta_y$ | $1.5\theta_y$ | 0.2 | $0.25\theta_y$ | $1.2\theta_y$ | $1.2\theta_y$ |
| c. Other | Linear interpolation between the values on lines a and b for both flange slenderness (first term) and web slenderness (second term) shall be performed, and the lower resulting value shall be used | | | | | |
| **Column Panel Zones** | $12\theta_y$ | $12\theta_y$ | 1.0 | $1\theta_y$ | $12\theta_y$ | $12\theta_y$ |
| **Fully Restrained Moment Connections**[f] | | | | | | |
| WUF[g] | 0.051–0.0013*d* | 0.043–0.00060*d* | 0.2 | 0.026–0.00065*d* | 0.0323–0.00045*d* | 0.043–0.00060*d* |
| Bottom haunch in WUF with slab | 0.026 | 0.036 | 0.2 | 0.013 | 0.0270 | 0.036 |
| Bottom haunch in WUF without slab | 0.018 | 0.023 | 0.2 | 0.009 | 0.0180 | 0.023 |
| Welded cover plate in WUF[g] | 0.056–0.0011*d* | 0.056–0.0011*d* | 0.2 | 0.028–0.00055*d* | 0.0420–0.00083*d* | 0.056–0.0011*d* |
| Improved WUF—Bolted web[g] | 0.021–0.00030*d* | 0.050–0.00060*d* | 0.2 | 0.010–0.00015*d* | 0.0375–0.00045*d* | 0.050–0.00060*d* |
| Improved WUF—Welded web | 0.041 | 0.054 | 0.2 | 0.020 | 0.0410 | 0.054 |
| Free flange[g] | 0.067–0.0012*d* | 0.094–0.0016*d* | 0.2 | 0.034–0.00060*d* | 0.0705–0.0012*d* | 0.094–0.0016*d* |
| Reduced beam section[g] | 0.050–0.00030*d* | 0.070–0.00030*d* | 0.2 | 0.025–0.00015*d* | 0.0525–0.00023*d* | 0.07–0.00030*d* |
| Welded flange plates | | | | | | |
| a. Flange plate net section | 0.03 | 0.06 | 0.2 | 0.015 | 0.0450 | 0.06 |
| b. Other limit states | Force controlled | | | | | |
| Welded bottom haunch | 0.027 | 0.047 | 0.2 | 0.014 | 0.0353 | 0.047 |
| Welded top and bottom haunches | 0.028 | 0.048 | 0.2 | 0.014 | 0.0360 | 0.048 |
| Welded cover—plated flanges | 0.031 | 0.031 | 0.2 | 0.016 | 0.0233 | 0.031 |
| **Partially Restrained Moment Connections** | | | | | | |
| Top and bottom clip angle[h] | | | | | | |
| a. Shear failure of rivet or bolt (Limit State 1)[i] | 0.036 | 0.048 | 0.200 | 0.008 | 0.030 | 0.040 |
| b. Tension failure of horizontal leg of angle (Limit State 2) | 0.012 | 0.018 | 0.800 | 0.003 | 0.010 | 0.015 |
| c. Tension failure of rivet or bolt (Limit State 3)[j] | 0.016 | 0.025 | 1.000 | 0.005 | 0.020 | 0.020 |
| d. Flexural failure of angle (Limit State 4) | 0.042 | 0.084 | 0.200 | 0.010 | 0.035 | 0.070 |
| Double Split Tee[h] | | | | | | |
| a. Shear failure of rivet or bolt (Limit State 1)[i] | 0.036 | 0.048 | 0.200 | 0.008 | 0.030 | 0.040 |
| b. Tension failure of rivet or bolt (Limit State 2)[j] | 0.016 | 0.024 | 0.800 | 0.005 | 0.020 | 0.020 |
| c. Tension failure of split Tee stem (Limit State 3) | 0.012 | 0.018 | 0.800 | 0.003 | 0.010 | 0.015 |
| d. Flexural failure of split Tee (Limit State 4) | 0.042 | 0.084 | 0.200 | 0.010 | 0.035 | 0.070 |
| Bolted Flange Plate[k] | | | | | | |
| a. Failure in net section of flange plate or shear failure of bolts or rivets[i] | 0.030 | 0.030 | 0.800 | 0.008 | 0.020 | 0.025 |

*Fuente: (ASCE/SEI-41, 2013)*

El sistema del pórtico 4, únicamente tiene componentes primarios, por lo que no se analizan componentes secundarios.

Para este caso de estudio, la acción preponderante es el momento accionando en el eje fuerte de las vigas $M_3$, *como se muestra en la ilustración 67*, combinado con la acción de la cortante sobre el alma de los perfiles $V_2$, que no demanda mayor solicitación como se verifico en las

revisiones de diseño, en el capítulo 2. Siendo motivo de análisis en las vigas sísmicas la acción combinada de $M_3$ - $V_2$, que, por la alta ductilidad de estas, las vigas son controladas por deformación.

Las columnas se encuentran sometidas a la combinación de acciones flexo-comprimidas (P - $M_3$) que se analizan mediante el método directo *de AISC en inciso 2.16.4*, siendo la flexión controlada por deformación debido a que son columnas de alta ductilidad.

Para los componentes viga y columna las acciones se determinan de acuerdo a las capacidades de deformación no-lineal especificado en ASCE-41-13.

Para los componentes conexiones el análisis de rigidez rotacional tiene el comportamiento de la curva tipo 2, debido a que el modelo matemático de IDEA StatiCa no considera la degradación estructural del punto 2 a 4, igual que las vigas las conexiones de los pórticos a momento se diseñan para la combinación de las acciones $M_3$ - $V_2$.

- **Relaciones de fuerza-deformación generalizadas de los componentes para representar los criterios de modelado y aceptación.**

*La ilustración 106*, muestra de forma general la curva (fuerza-deformación), utilizada para modelar el comportamiento no lineal de los elementos estructurales, así como los criterios de aceptación para un nivel de desempeño sísmico determinado.

Parecido al comportamiento *de la ilustración 106*, el rango lineal se presenta entre el punto A (componente sin carga) y punto de fluencia $f_y$ (B).

El tramo de B a C representa la ductilidad del componente, así como el endurecimiento o tenacidad del mismo, generalmente la línea B-C tienen una pendiente que varía entre el 0 y 10% de la pendiente elástica A-B.

El punto C determina la resistencia última del elemento seguida por la línea C-D que exhibe una degradación significativa del elemento donde los elementos únicamente pueden resistir cargas verticales, llegando a la degradación total en el punto E.

En el tramo C-D resulta complejo establecer un modelo matemático para que converjan los resultados en un análisis computarizado no lineal, como es el caso de IDEA StatiCa que únicamente registra el comportamiento hasta el punto C.

El código ASCE especifica que para evita esta inestabilidad computacional se considere el tramo C-D con una pendiente H: V (1:10). Alternativamente, se pueden realizar ensayos de laboratorio para determinar este comportamiento explícito para un componente en específico.

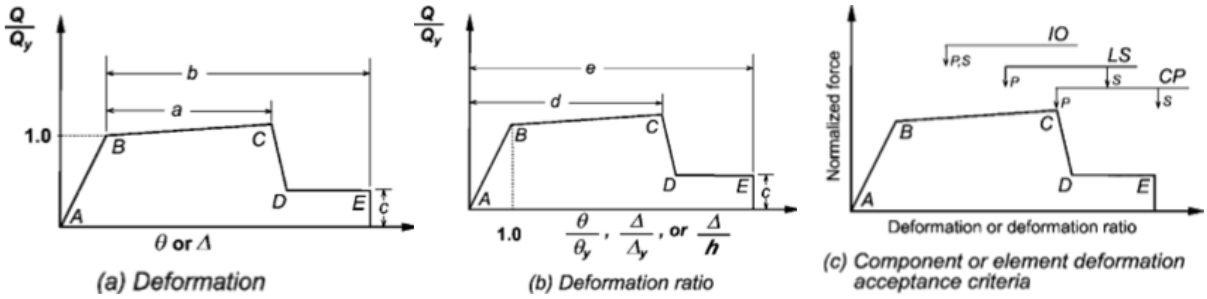



*Ilustración 108. Relaciones de fuerza-deformación generalizadas de los componentes para representar los criterios de modelado y aceptación*
*Fuente: (ASCE/SEI-41, 2013)*

En las columnas el modelo de la curva está acorde a la norma ASCE-41 para la combinación de acciones (P- $M_3$), que el software ETABS incorpora dentro de sus herramientas. Mientras que para las rotulas plásticas que se introducen en las fronteras de las vigas, se utilizó los resultados del cálculo de rigidez rotacional que se realizó en IDEA StatiCa, que genera la curva hasta el punto C, el punto D y E, se modela de acuerdo a la capacidad de deformación no lineal de las tablas ASCE-41 para cada tipo de conexión.

ETABS permite insertar la curva en términos de relaciones de fuerza con respecto a la fuerza efectiva de fluencia (Q/Qy) en el eje de las abscisas, frente a la relación de deformación (θ/θy, Δ/Δy o Δ/h) mediante los parámetros d, e y c.

- **Modelación de rotulas plásticas.**

Para insertar las rotulas plásticas ETABS permite su modelación manual o mediante las herramientas del programa para modelar automáticamente los componentes de la estructura, según las disposiciones ASCE-41.

- **Arquetipos estudiados.**

En la investigación se han analizado 18 arquetipos de conexiones viga-columna, utilizando el pórtico sísmico en 2D, con las 3 tipologías de conexiones que se han diseñado según disposiciones AISC-358 para conexiones precalificadas en capítulo 3, que son:

- RBS.
- WUF.
- BFP.

Los arquetipos se han introducido en el software para análisis de conexiones IDEA StatiCa, que utiliza modelos matemáticos de elementos finitos para analizar el estado ¨tensión-deformación" de cada componente de la conexión y valida los diseños realizados según el código que en este caso es AISC.

Así también Los resultados de este análisis se enfocan en el análisis de Rigidez de las juntas, para así obtener los parámetros (d, e, y c) de las curvas de rigidez rotacional, para ser insertadas en ETABS manualmente mediante rotulas plásticas.

El software valida la resistencia de diseño de la conexión para los efectos requeridos o fuerzas esperadas $(Q_{CE})$ que debe resistir, las cuales se obtienen para cada arquetipo del diseño en particular de las conexiones para los diferentes componentes de viga y columna que forman parte del sistema sísmico del pórtico en análisis, *como se muestra en la Tabla 124 y 125*.

*Tabla 125. Curvas Momento – Rotación (M-ϑ) para diferentes arquetipos de conexiones para definir el tipo de conexión según su rigidez*

| Curvas M-θ | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Puntos: | | Momento Diseño | A | | B (θy-My) | | C (θu-Mu) | | D %(θy-My) | | Rigidez | Tipo de conexión |
| Arquetipo | Nombre | M_Ceb (Ton-m) | M (Ton-m) | θ (rad) | My (Ton-m) | θy (rad) | My (Ton-m) | θu (rad) | Mr (Ton-m) | θr (rad) | K (MTon-m)/rad | |
| **Vigas** | | | | | | | | | | | | |
| 1 | IPN-450 | 54.65 | 0.000 | 0.000 | 60.581 | 0.010 | 94.020 | 0.932 | 25.020 | 1.030 | 6.060 | - |
| 2 | IPE-400 | 29.76 | 0.000 | 0.000 | 32.390 | 0.011 | 50.330 | 1.060 | 12.650 | 1.135 | 2.940 | - |
| 3 | IPE-360 | 23.20 | 0.000 | 0.000 | 25.850 | 0.012 | 39.270 | 1.142 | 9.320 | 1.263 | 2.110 | - |
| **Conexión RBS** | | | | | | | | | | | | |
| 1 | RBS-450-1 | 61.00 | 0.000 | 0.000 | 53.770 | 0.003 | 66.200 | 0.100 | 10.750 | 0.106 | 112.040 | Rígida |
| 2 | RBS-450-2 | 61.00 | 0.000 | 0.000 | 53.610 | 0.003 | 62.260 | 0.055 | 10.720 | 0.060 | 82.850 | Rígida |
| 3 | RBS-400-1 | 35.20 | 0.000 | 0.000 | 26.580 | 0.003 | 31.500 | 0.100 | 5.380 | 0.102 | 100.620 | Rígida |
| 4 | RBS-400-2 | 35.20 | 0.000 | 0.000 | 33.200 | 0.003 | 35.900 | 0.031 | 6.620 | 0.033 | ∞ | Rígida |
| 5 | RBS-360-1 | 25.80 | 0.000 | 0.000 | 22.760 | 0.003 | 27.500 | 0.093 | 4.550 | 0.098 | 64.860 | Rígida |
| 6 | RBS-360-2 | 25.80 | 0.000 | 0.000 | 22.320 | 0.003 | 27.650 | 0.072 | 4.650 | 0.074 | ∞ | Rígida |
| **Conexión WUF** | | | | | | | | | | | | |
| 7 | WUF-450-1 | 108.50 | 0.000 | 0.000 | 63.400 | 0.003 | 73.900 | 0.138 | 12.680 | 0.150 | ∞ | Rígida |
| 8 | WUF-450-2 | 108.50 | 0.000 | 0.000 | 65.000 | 0.003 | 74.180 | 0.150 | 13.000 | 0.162 | ∞ | Rígida |
| 9 | WUF-400-1 | 59.00 | 0.000 | 0.000 | 32.500 | 0.003 | 36.440 | 0.111 | 6.500 | 0.116 | ∞ | Rígida |
| 10 | WUF-400-2 | 59.00 | 0.000 | 0.000 | 29.650 | 0.003 | 36.440 | 0.093 | 5.930 | 0.098 | ∞ | Rígida |
| 11 | WUF-400-3 | 59.00 | 0.000 | 0.000 | 27.220 | 0.003 | 36.440 | 0.010 | 5.440 | 0.015 | ∞ | Rígida |
| 12 | WUF-360-1 | 46.00 | 0.000 | 0.000 | 31.600 | 0.003 | 36.400 | 0.104 | 6.500 | 0.110 | ∞ | Rígida |
| 13 | WUF-360-2 | 46.00 | 0.000 | 0.000 | 29.300 | 0.003 | 34.600 | 0.094 | 5.860 | 0.100 | ∞ | Rígida |
| 14 | WUF-360-3 | 46.00 | 0.000 | 0.000 | 29.070 | 0.003 | 36.440 | 0.010 | 5.810 | 0.015 | ∞ | Rígida |
| **Conexión BFP** | | | | | | | | | | | | |
| 15 | BFP-450-1 | 73.60 | 0.000 | 0.000 | 64.500 | 0.002 | 76.800 | 0.011 | 51.600 | 0.030 | 43.240 | Rígida |
| 16 | BFP-450-2 | 73.60 | 0.000 | 0.000 | 33.330 | 0.004 | 42.000 | 0.010 | 26.660 | 0.030 | 8.720 | Semi-Rígida |
| 17 | BFP-400-1 | 40.90 | 0.000 | 0.000 | 28.160 | 0.003 | 36.500 | 0.018 | 22.520 | 0.030 | 16.150 | Rígida |
| 18 | BFP-400-2 | 40.90 | 0.000 | 0.000 | 21.780 | 0.004 | 28.600 | 0.017 | 17.420 | 0.030 | 5.920 | Semi-Rígida |
| 19 | BFP-360-1 | 31.20 | 0.000 | 0.000 | 28.960 | 0.003 | 37.490 | 0.013 | 23.160 | 0.030 | 10.210 | Semi-Rígida |
| 20 | BFP-360-2 | 31.20 | 0.000 | 0.000 | 22.230 | 0.002 | 31.000 | 0.007 | 17.780 | 0.030 | 11.310 | Rígida |

*Fuente: ETABS*

*Tabla 126. Curvas Momento – Rotación (M-ϑ) para diferentes arquetipos de conexiones para definir la acción controlada*

| Curvas M-θ | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Puntos: | | A | | B (θy-My) | | C (θu-Mu) | | D %(θy-My) | | Criterio de aceptación | | | ACCION CONTROLADA |
| Arquetipo | Nombre | M (Ton-m) | θ (rad) | My (Ton-m) | θy (rad) | My (Ton-m) | θu (rad) | Mr (Ton-m) | θr (rad) | IO | LS | CP | |
| **Conexión RBS** | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | RBS-450-1 | 0.000 | 0.000 | 1.000 | 0.000 | 1.231 | 10.000 | 0.2 | 10.600 | 2.5 | 5.25 | 7 | DEFORMACIÓN |
| 2 | RBS-450-2 | 0.000 | 0.000 | 1.000 | 0.000 | 1.161 | 5.500 | 0.2 | 6.000 | 2.5 | 5.25 | 7 | DEFORMACIÓN |
| 3 | RBS-400-1 | 0.000 | 0.000 | 1.000 | 0.000 | 1.185 | 10.000 | 0.2 | 10.200 | 2.5 | 5.25 | 7 | DEFORMACIÓN |
| 4 | RBS-400-2 | 0.000 | 0.000 | 1.000 | 0.000 | 1.081 | 3.100 | 0.2 | 3.300 | 2.5 | 5.25 | 7 | DEFORMACIÓN |
| 5 | RBS-360-1 | 0.000 | 0.000 | 1.000 | 0.000 | 1.208 | 9.300 | 0.2 | 9.800 | 2.5 | 5.25 | 7 | DEFORMACIÓN |
| 6 | RBS-360-2 | 0.000 | 0.000 | 1.000 | 0.000 | 1.239 | 7.200 | 0.2 | 7.400 | 2.5 | 5.25 | 7 | DEFORMACIÓN |
| **Conexión WUF** | | | | | | | | | | | | | |
| 7 | WUF-450-1 | 0.000 | 0.000 | 1.000 | 0.000 | 1.166 | 13.800 | 0.2 | 15.000 | 2 | 4.1 | 5.4 | DEFORMACIÓN |
| 8 | WUF-450-2 | 0.000 | 0.000 | 1.000 | 0.000 | 1.141 | 15.000 | 0.2 | 16.200 | 2 | 4.1 | 5.4 | DEFORMACIÓN |
| 9 | WUF-400-1 | 0.000 | 0.000 | 1.000 | 0.000 | 1.121 | 11.100 | 0.2 | 11.600 | 2 | 4.1 | 5.4 | DEFORMACIÓN |
| 10 | WUF-400-2 | 0.000 | 0.000 | 1.000 | 0.000 | 1.229 | 9.300 | 0.2 | 9.800 | 2 | 4.1 | 5.4 | DEFORMACIÓN |
| 11 | WUF-400-3 | 0.000 | 0.000 | 1.000 | 0.000 | 1.339 | 1.000 | 0.2 | 1.500 | 2 | 4.1 | 5.4 | FUERZA |
| 12 | WUF-360-1 | 0.000 | 0.000 | 1.000 | 0.000 | 1.152 | 10.400 | 0.2 | 11.000 | 2 | 4.1 | 5.4 | DEFORMACIÓN |
| 13 | WUF-360-2 | 0.000 | 0.000 | 1.000 | 0.000 | 1.181 | 9.400 | 0.2 | 10.000 | 2 | 4.1 | 5.4 | DEFORMACIÓN |
| 14 | WUF-360-3 | 0.000 | 0.000 | 1.000 | 0.000 | 1.254 | 1.000 | 0.2 | 1.500 | 2 | 4.1 | 5.4 | FUERZA |
| **Conexión BFP** | | | | | | | | | | | | | |
| 15 | BFP-450-1 | 0.000 | 0.000 | 1.000 | 0.002 | 1.191 | 1.100 | 0.8 | 3.000 | 0.8 | 2 | 2.5 | FUERZA |
| 16 | BFP-450-2 | 0.000 | 0.000 | 1.000 | 0.004 | 1.260 | 1.000 | 0.8 | 3.000 | 0.8 | 2 | 2.5 | FUERZA |
| 17 | BFP-400-1 | 0.000 | 0.000 | 1.000 | 0.003 | 1.296 | 1.810 | 0.8 | 3.000 | 0.8 | 2 | 2.5 | FUERZA |
| 18 | BFP-400-2 | 0.000 | 0.000 | 1.000 | 0.004 | 1.313 | 1.650 | 0.8 | 3.000 | 0.8 | 2 | 2.5 | FUERZA |
| 19 | BFP-360-1 | 0.000 | 0.000 | 1.000 | 0.003 | 1.295 | 1.300 | 0.8 | 3.000 | 0.8 | 2 | 2.5 | FUERZA |
| 20 | BFP-360-2 | 0.000 | 0.000 | 1.000 | 0.002 | 1.395 | 0.700 | 0.8 | 3.000 | 0.8 | 2 | 2.5 | FUERZA |

*Fuente: ETABS*

*Tabla 127. Asignación Rotulas Plásticas*

| Asignación Rotulas Plásticas ETABS | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Puntos: | | Longitud eje | Depth col izq. | Depth col der. | Longitud libre | Ubicación Rotula Cara de columna | | Ubicación relativa Rotula | |
| Arquetipo | Nombre | | | | | END I | END J | END I | END J |
| **Conexión RBS** | | | | | | | | | |
| 1 | RBS-450-1 | 6 m | 0.50 m | 0.50 m | 5.50 m | 0.235 m | 0.235 m | 0.08 | 0.92 |
| 2 | RBS-450-2 | 6 m | 0.50 m | 0.50 m | 5.50 m | 0.319 m | 0.319 m | 0.09 | 0.91 |
| 3 | RBS-400-1 | 6 m | 0.45 m | 0.45 m | 5.55 m | 0.305 m | 0.305 m | 0.09 | 0.91 |
| 4 | RBS-400-2 | 6 m | 0.45 m | 0.45 m | 5.55 m | 0.320 m | 0.320 m | 0.09 | 0.91 |
| 5 | RBS-360-1 | 6 m | 0.45 m | 0.45 m | 5.55 m | 0.210 m | 0.210 m | 0.07 | 0.93 |
| 6 | RBS-360-2 | 6 m | 0.45 m | 0.45 m | 5.55 m | 0.281 m | 0.281 m | 0.08 | 0.92 |
| **Conexión WUF** | | | | | | | | | |
| 7 | WUF-450-1 | 6 m | 0.50 m | 0.50 m | 5.50 m | 0.000 m | 0.000 m | 0.04 | 0.96 |
| 8 | WUF-450-2 | 6 m | 0.50 m | 0.50 m | 5.50 m | 0.000 m | 0.000 m | 0.04 | 0.96 |
| 9 | WUF-400-1 | 6 m | 0.45 m | 0.45 m | 5.55 m | 0.000 m | 0.000 m | 0.04 | 0.96 |
| 10 | WUF-400-2 | 6 m | 0.45 m | 0.45 m | 5.55 m | 0.000 m | 0.000 m | 0.04 | 0.96 |
| 11 | WUF-400-3 | 6 m | 0.45 m | 0.45 m | 5.55 m | 0.000 m | 0.000 m | 0.04 | 0.96 |
| 12 | WUF-360-1 | 6 m | 0.45 m | 0.45 m | 5.55 m | 0.000 m | 0.000 m | 0.04 | 0.96 |
| 13 | WUF-360-2 | 6 m | 0.45 m | 0.45 m | 5.55 m | 0.000 m | 0.000 m | 0.04 | 0.96 |
| 14 | WUF-360-3 | 6 m | 0.45 m | 0.45 m | 5.55 m | 0.000 m | 0.000 m | 0.04 | 0.96 |
| **Conexión BFP** | | | | | | | | | |
| 15 | BFP-450-1 | 6 m | 0.50 m | 0.50 m | 5.50 m | 0.490 m | 0.490 m | 0.12 | 0.88 |
| 16 | BFP-450-2 | 6 m | 0.50 m | 0.50 m | 5.50 m | 0.490 m | 0.490 m | 0.12 | 0.88 |
| 17 | BFP-400-1 | 6 m | 0.45 m | 0.45 m | 5.55 m | 0.350 m | 0.350 m | 0.10 | 0.90 |
| 18 | BFP-400-2 | 6 m | 0.45 m | 0.45 m | 5.55 m | 0.210 m | 0.210 m | 0.07 | 0.93 |
| 19 | BFP-360-1 | 6 m | 0.45 m | 0.45 m | 5.55 m | 0.280 m | 0.280 m | 0.08 | 0.92 |
| 20 | BFP-360-2 | 6 m | 0.45 m | 0.45 m | 5.55 m | 0.280 m | 0.280 m | 0.08 | 0.92 |

*Fuente: ETABS*

*Tabla 128. Rotulas columnas*

| ROTULAS COLUMNAS | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | **hsx (altura piso)** | **Depth beam** | **Lb** | **END I** | **END J** |
| **1-4 PISO** | 3 m | 0.450 m | 2.550 m | 0.025 | 0.850 |
| **5-6 PISO** | 3 m | 0.400 m | 2.600 m | 0.025 | 0.867 |
| **7 PISO** | 3 m | 0.360 m | 2.640 m | 0.025 | 0.880 |

*Fuente: ETABS*

- **Introducción automáticos de curvas de capacidad, de componentes estructurales para sistemas de acero, según disposiciones ASCE-41 para análisis NSP.**

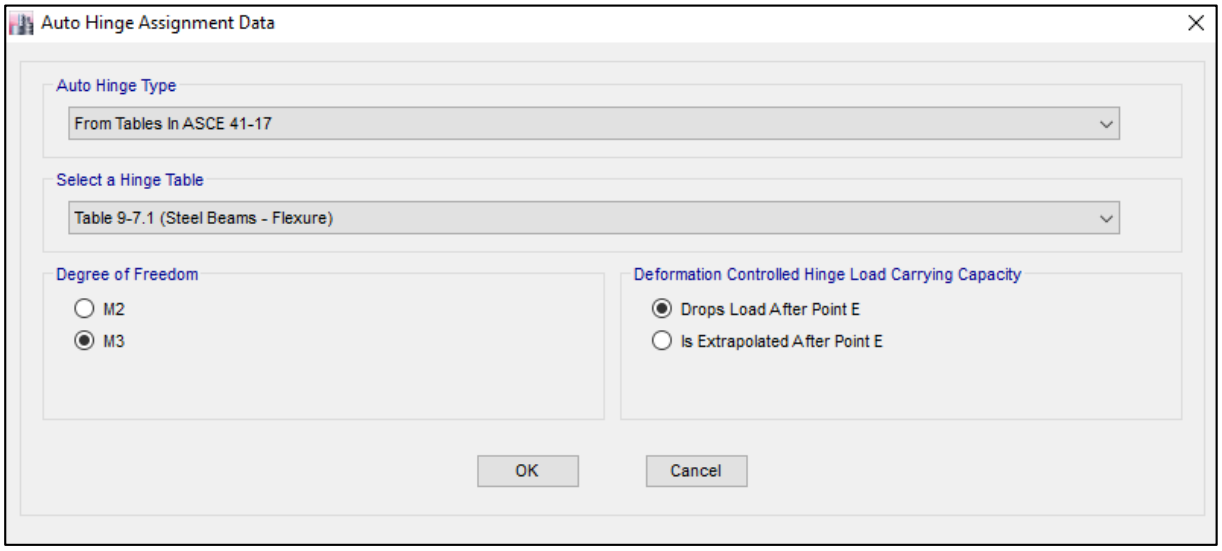



*Ilustración 109. Datos de asignación automática para las rotulas plasticas en las columnas*
*Fuente: Elaboracion Propia*

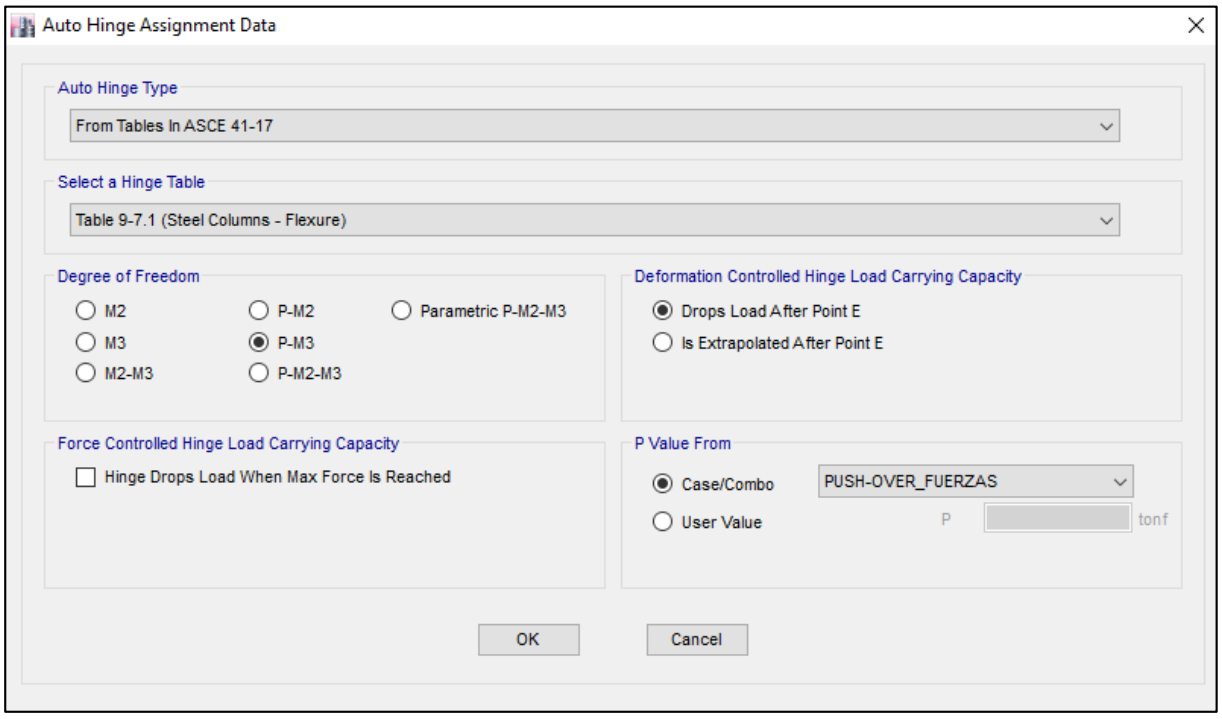



*Ilustración 110. Datos de asignación automática para las rotulas plasticas en las vigas*
*Fuente: Elaboracion Propi*

Para el caso de vigas, el modelo de las rotulas se introduce explícitamente para cada uno de ellas, de los análisis de rigidez rotacional realizado en IDEA StatiCa (*ilustración 109 y 110*).

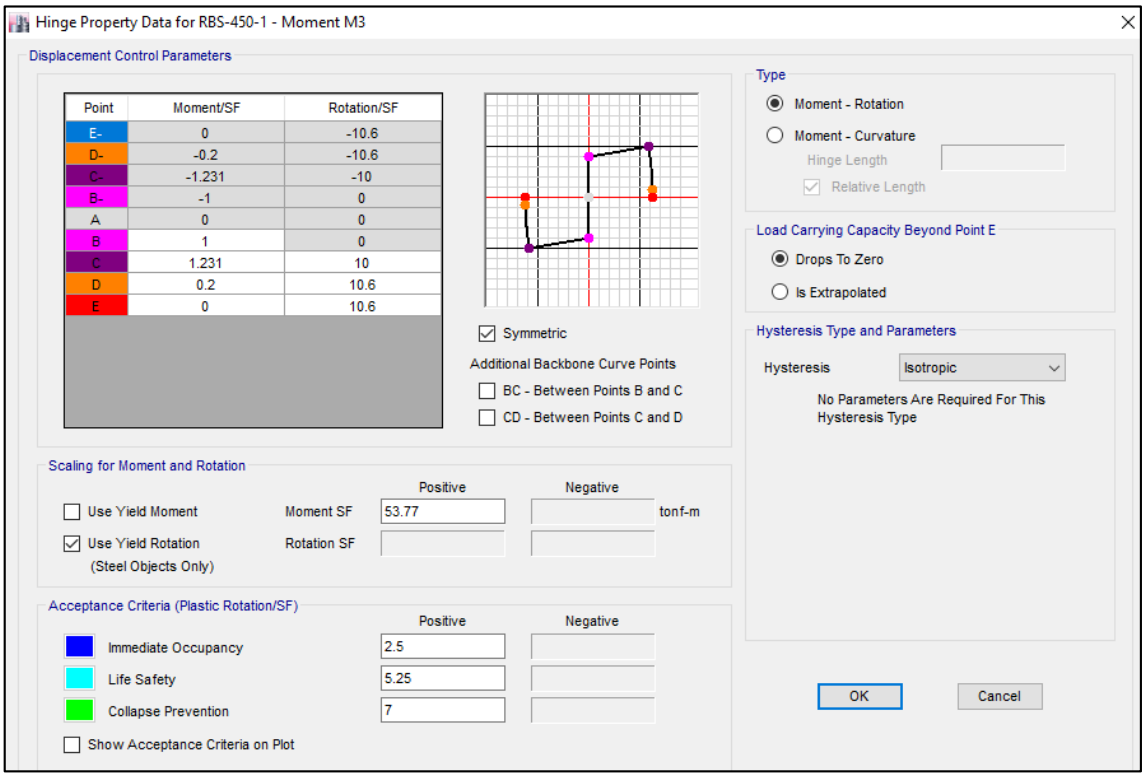



*Ilustración 111. Datos de las propiedades de las rotulas plasticas para la conexión RBS 450 modelo 1*
*Fuente: Elaboracion Propia*

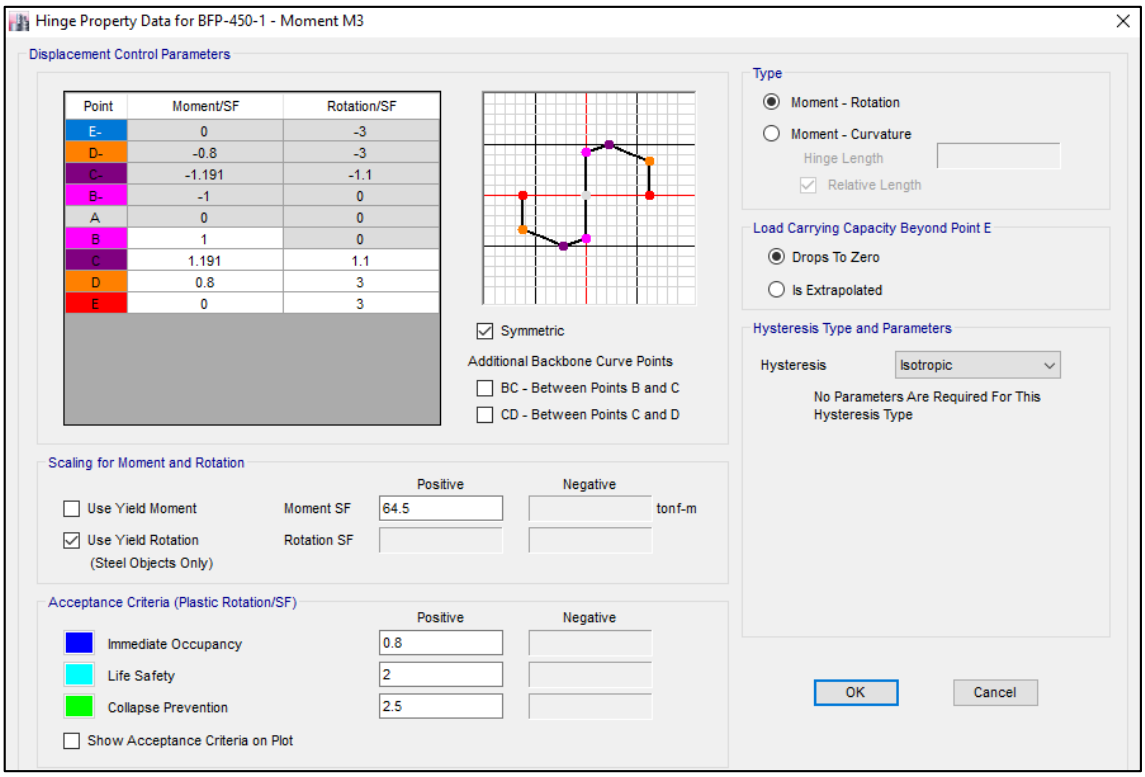



*Ilustración 112. Datos de las propiedades de las rotulas plasticas para la conexión BFP 450 modelo 1*
*Fuente: Elaboracion Propia*

- **Curvas Capacidad – Rotación de las Vigas Resistentes a Cargas Sísmicas.**

*Tabla 129. Curva de Capacidad de las Vigas Resistentes a Cargas Sísmicas*

| Point | VIGA IPN 450 | | VIGA IPE 400 | | VIGA IPE 400 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Moment | Curvature | Moment | Curvature | Moment | Curvature |
| | tonf-m | rad/m | tonf-m | rad/m | tonf-m | rad/m |
| A | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| B | 60.581 | 0.01 | 32.3919 | 0.011 | 25.2825 | 0.012 |
| 3 | 61.7249 | 0.025 | 33.0129 | 0.027 | 25.7689 | 0.03 |
| 4 | 63.2501 | 0.044 | 33.8409 | 0.049 | 26.4175 | 0.054 |
| 5 | 65.1566 | 0.069 | 34.876 | 0.076 | 27.2283 | 0.085 |
| 6 | 67.4445 | 0.099 | 36.1181 | 0.109 | 28.2011 | 0.121 |
| 7 | 70.1136 | 0.133 | 37.5672 | 0.147 | 29.3362 | 0.163 |
| 8 | 73.164 | 0.173 | 39.2233 | 0.19 | 30.6334 | 0.212 |
| 9 | 76.5957 | 0.217 | 41.0864 | 0.239 | 32.0927 | 0.266 |
| 10 | 79.3796 | 0.266 | 42.5922 | 0.293 | 33.2665 | 0.326 |
| 11 | 81.7669 | 0.32 | 43.8612 | 0.353 | 34.2543 | 0.393 |
| 12 | 84.3312 | 0.38 | 45.1998 | 0.418 | 35.2991 | 0.465 |
| 13 | 86.7199 | 0.444 | 46.4966 | 0.489 | 36.3149 | 0.544 |
| 14 | 89.2923 | 0.513 | 47.8932 | 0.565 | 37.4088 | 0.628 |
| 15 | 92.0484 | 0.587 | 49.3895 | 0.646 | 38.5808 | 0.719 |
| 16 | 94.6836 | 0.666 | 50.8229 | 0.733 | 39.7011 | 0.816 |
| 17 | 94.5041 | 0.749 | 50.7015 | 0.825 | 39.589 | 0.919 |
| 18 | 94.2709 | 0.838 | 50.5219 | 0.923 | 39.4362 | 1.027 |
| C | 94.0246 | 0.932 | 50.3324 | 1.026 | 39.275 | 1.142 |
| D | 25.0234 | 1.03 | 12.6577 | 1.135 | 9.325 | 1.263 |

*Fuente: ETABS*

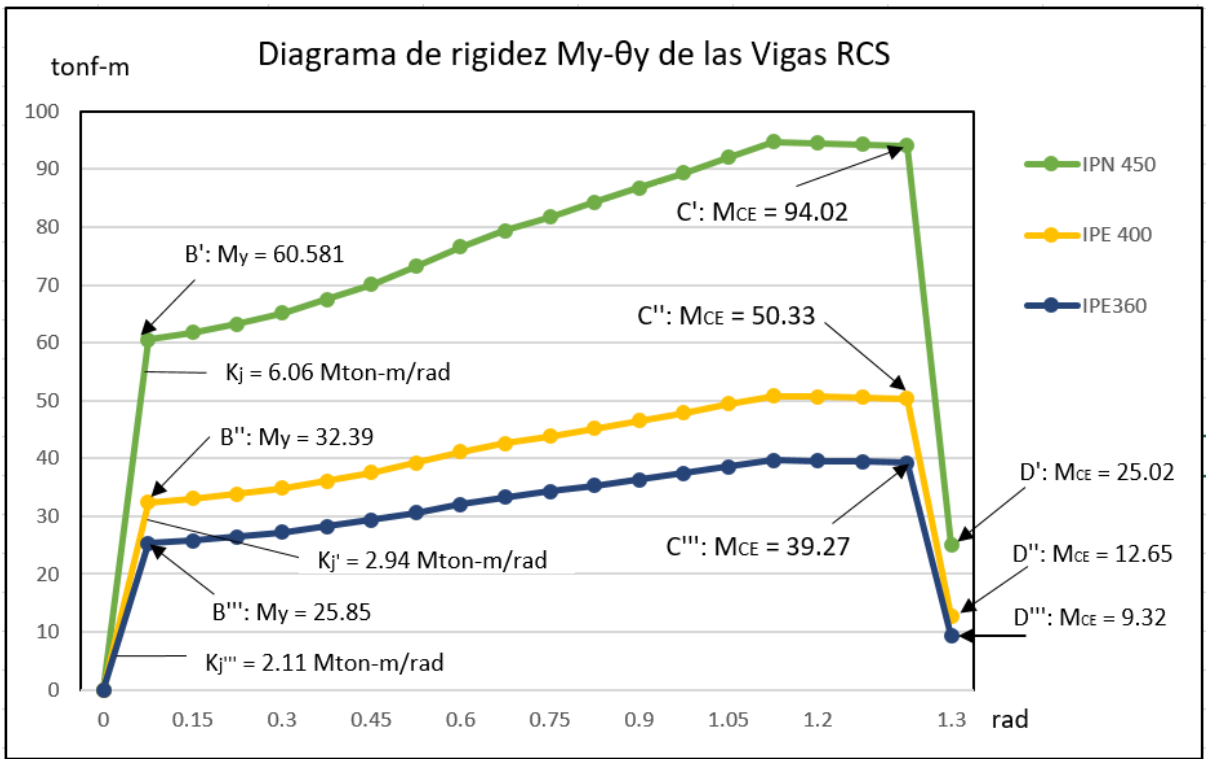



*Ilustración 113. Comparación de la de Rigidez (My-θy) de las Vigas Resistentes a Cargas Sísmicas*
*Fuente: Elaboración Propia*

*4.2.7.3 Modelación de las diferentes tipologías de conexiones en software IDEA StatiCa.*

- Conexión RBS para Viga IPN 450 – Columna HEB 500.

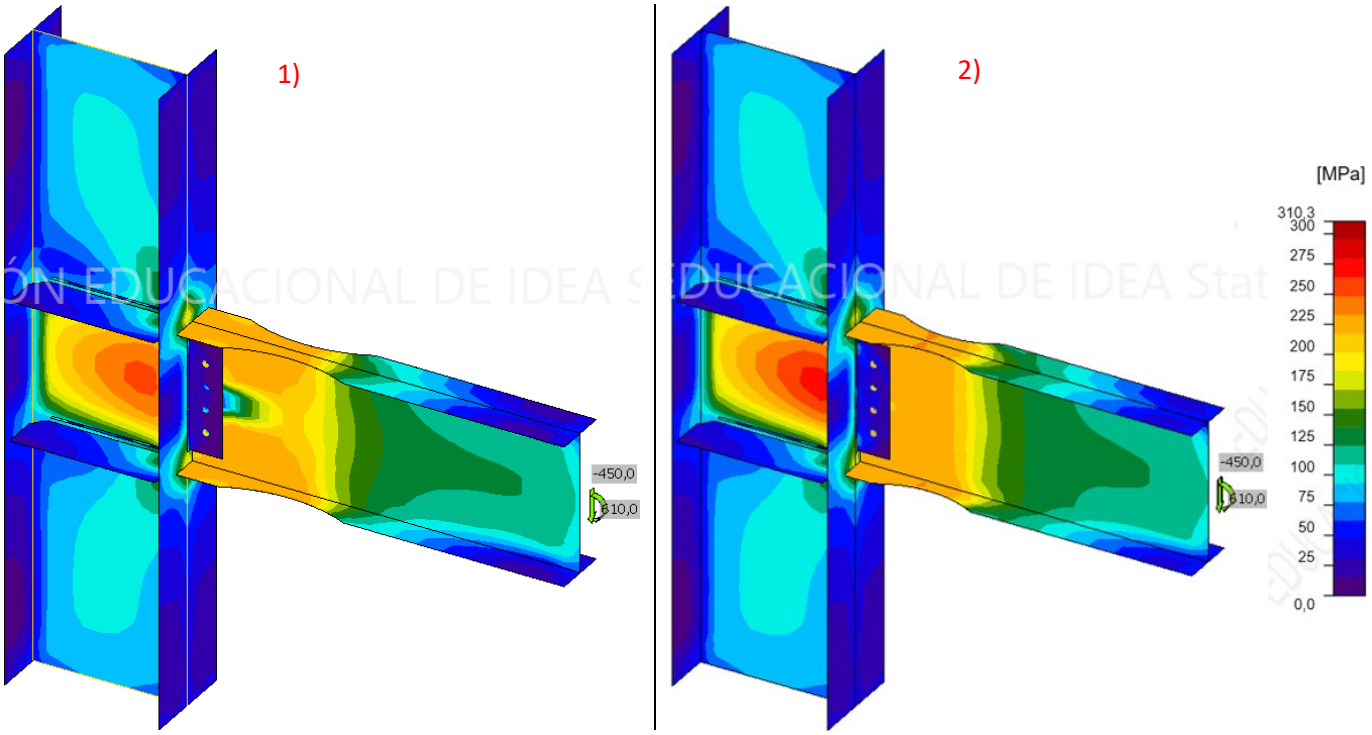



*Ilustración 114. Comparación de Tensión Equivalente de Conexión RBS Viga IPN 450 y Columna HEB 500 entre diseño 1) y 2)*
*Fuente: IDEA StatiCa*

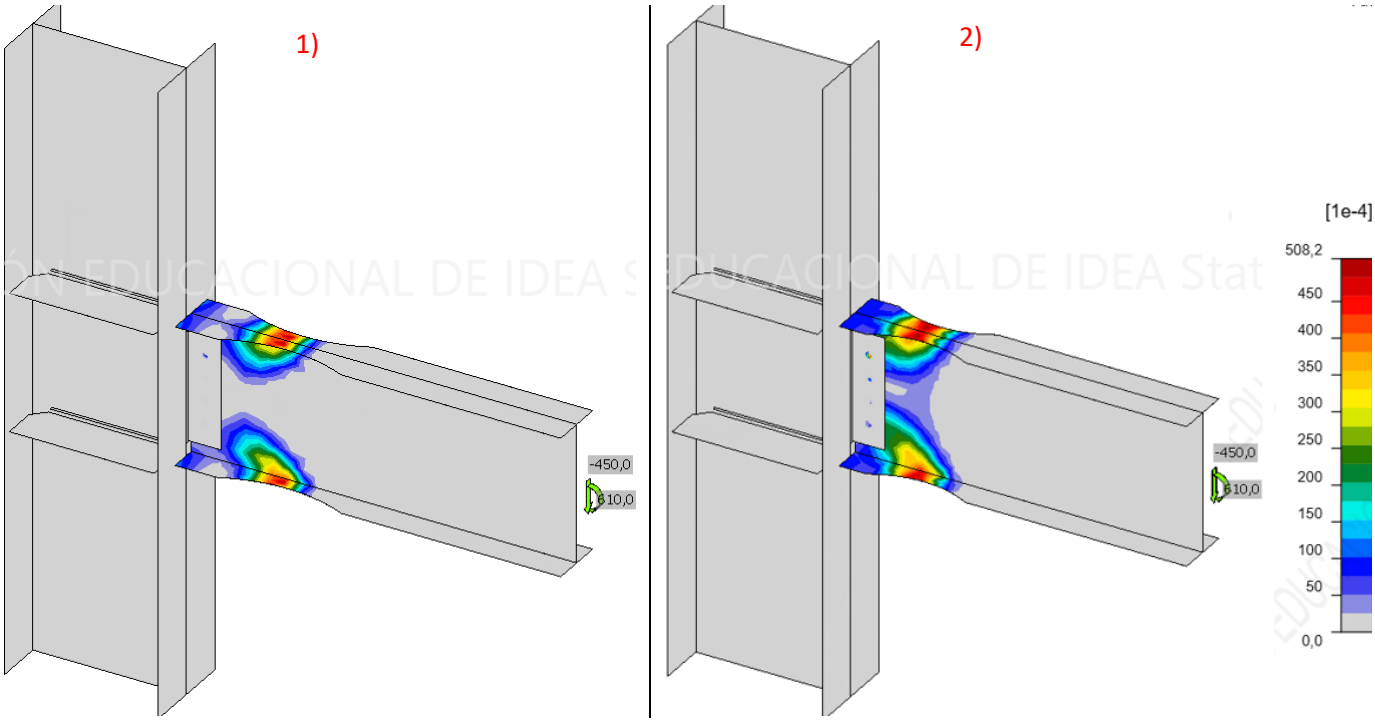



*Ilustración 115. Comparación Deformación Plástica de Conexión RBS Viga IPN 450 y Columna HEB 500 entre diseño 1) y 2)*
*Fuente: IDEA StatiCa*

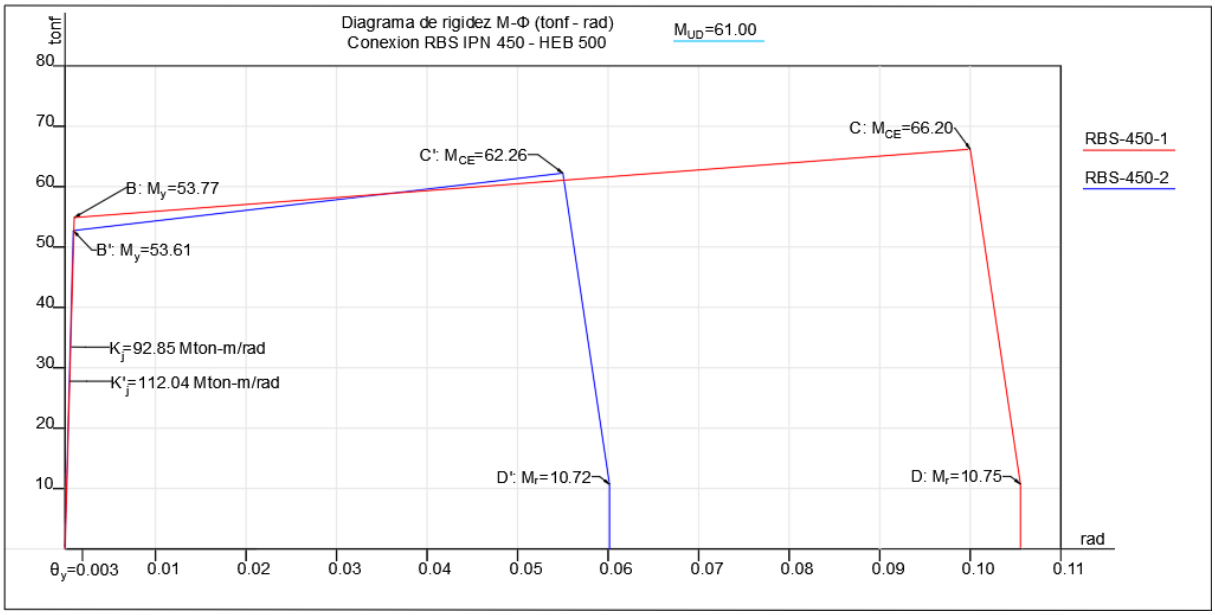



*Ilustración 116. Diagrama de rigidez My-ϑy para la conexión RBS IPN 450 – HEB 500*
*Fuente: Elaboración Propia*

- Conexión RBS para Viga IPE 400 – Columna HEB 450.

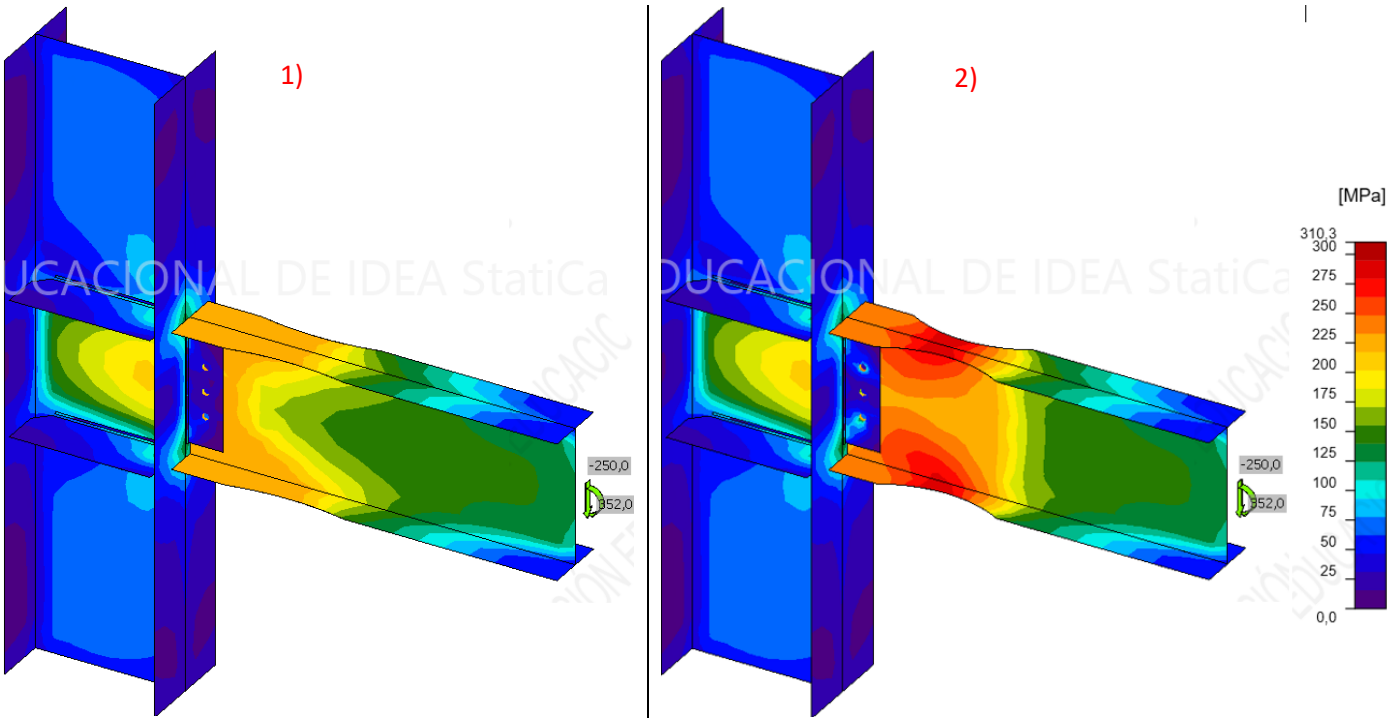



*Ilustración 117. Comparación de Tensión Equivalente de Conexión RBS Viga IPE 400 y Columna HEB 450 entre diseño 1) y 2)*
*Fuente: IDEA StatiCa*

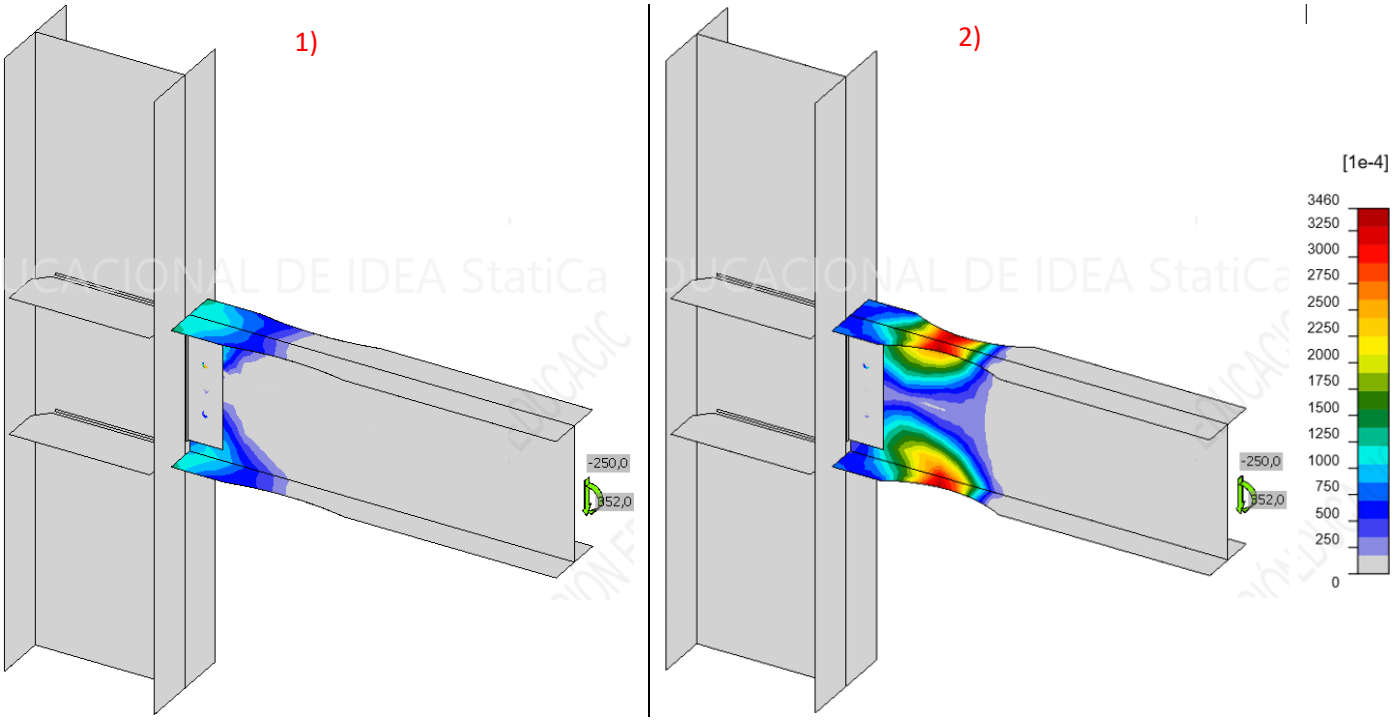



*Ilustración 118. Comparación Deformación Plástica de Conexión RBS Viga IPE 400 y Columna HEB 450 entre diseño 1) y 2)*
*Fuente: IDEA StatiCa*

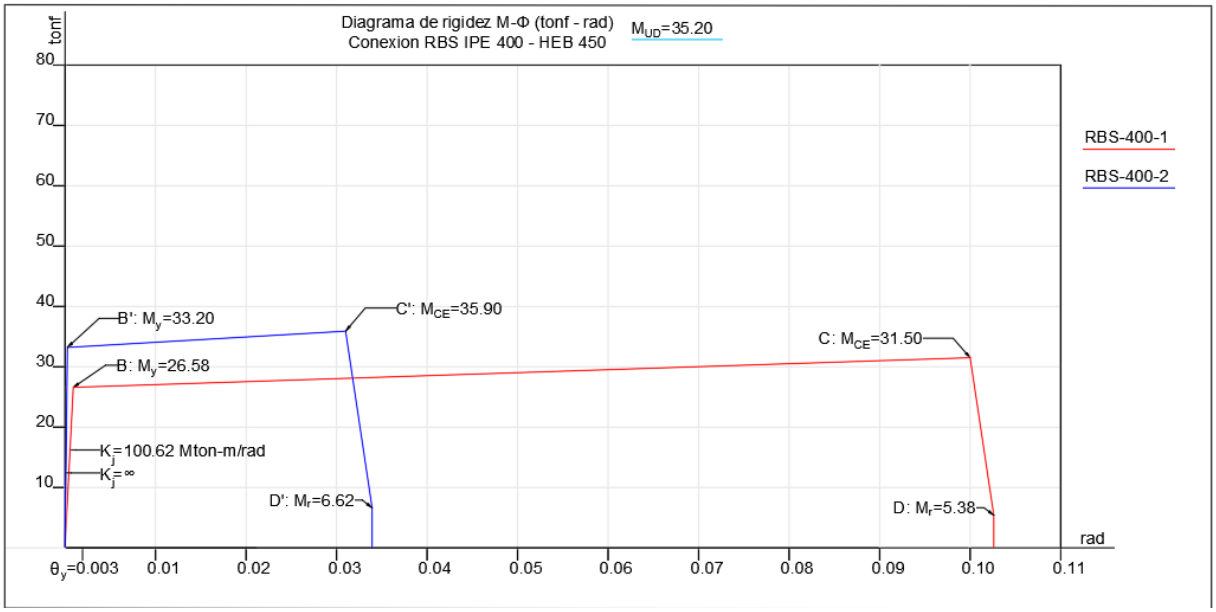



*Ilustración 119. Diagrama de rigidez My-ϑy para la conexión RBS IPE 400 – HEB 450*
*Fuente: Elaboración Propia*

- Conexión RBS para Viga IPE 360 – Columna HEB 450.

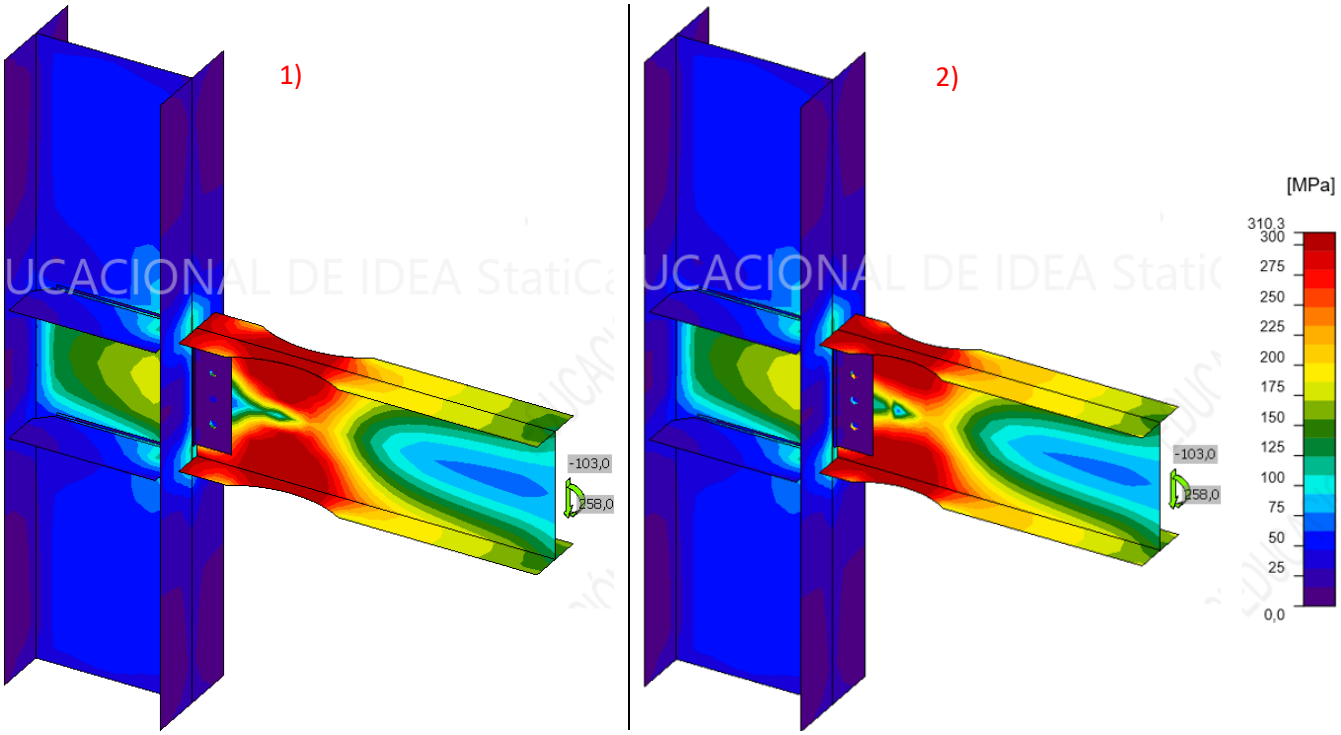



*Ilustración 120. Comparación de Tensión Equivalente de Conexión RBS Viga IPE 360 y Columna HEB 450 entre diseño 1) y 2)*
*Fuente: IDEA StatiCa*

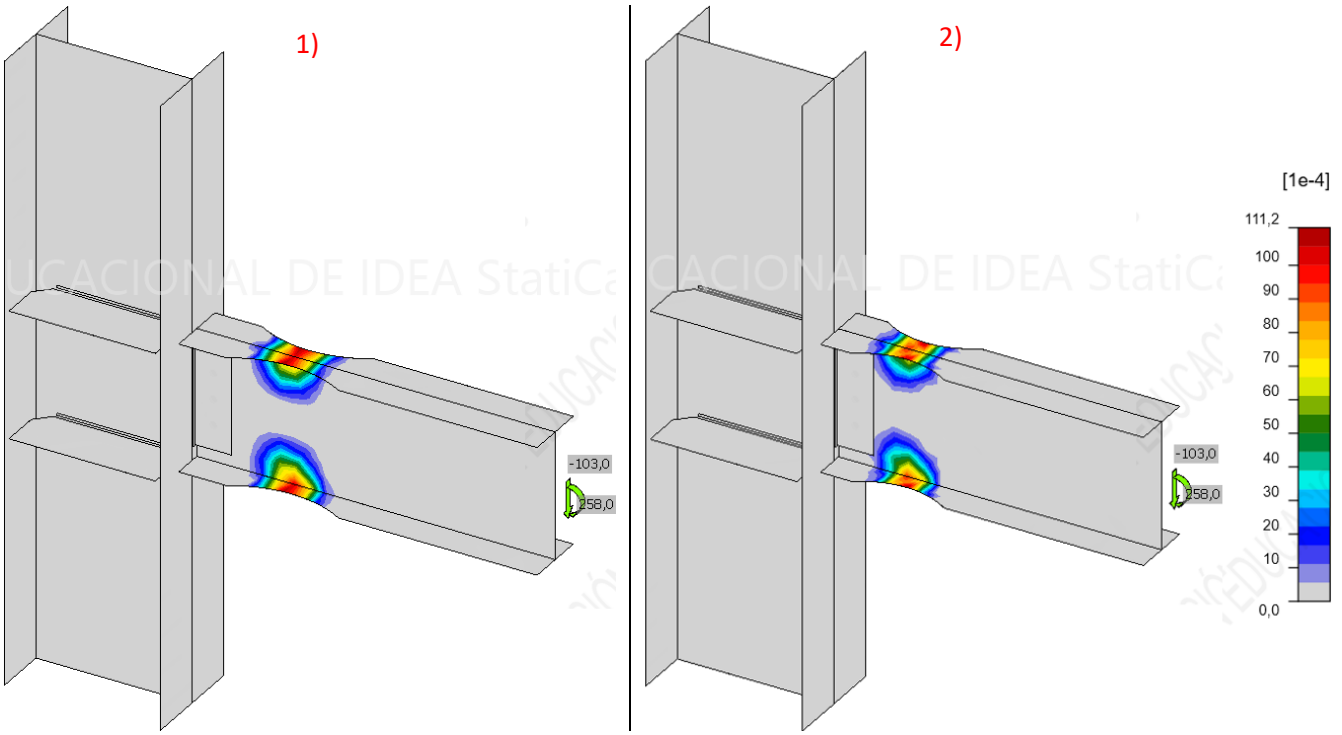



*Ilustración 121. Comparación Deformación Plástica de Conexión RBS Viga IPE 360 y Columna HEB 450 entre diseño 1) y 2)*
*Fuente: IDEA StatiCa*

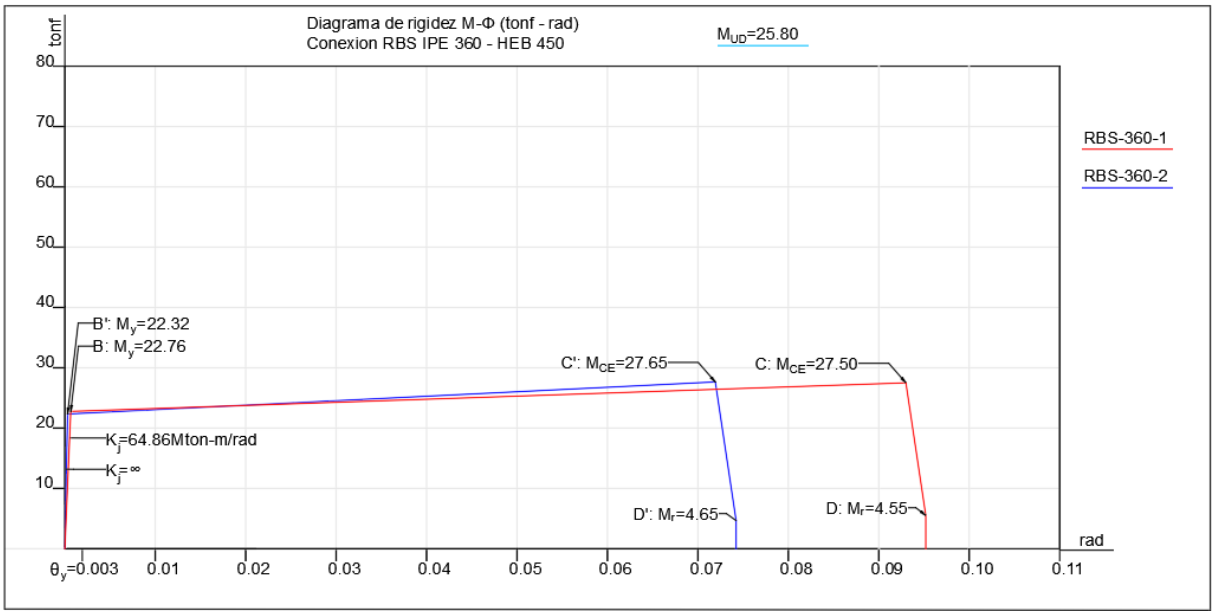



*Ilustración 122. Diagrama de rigidez My-ϑy para la conexión RBS IPE 360 – HEB 450*
*Fuente: Elaboración Propia*

- Conexión WUF - W para Viga IPN 450 – Columna HEB 500.

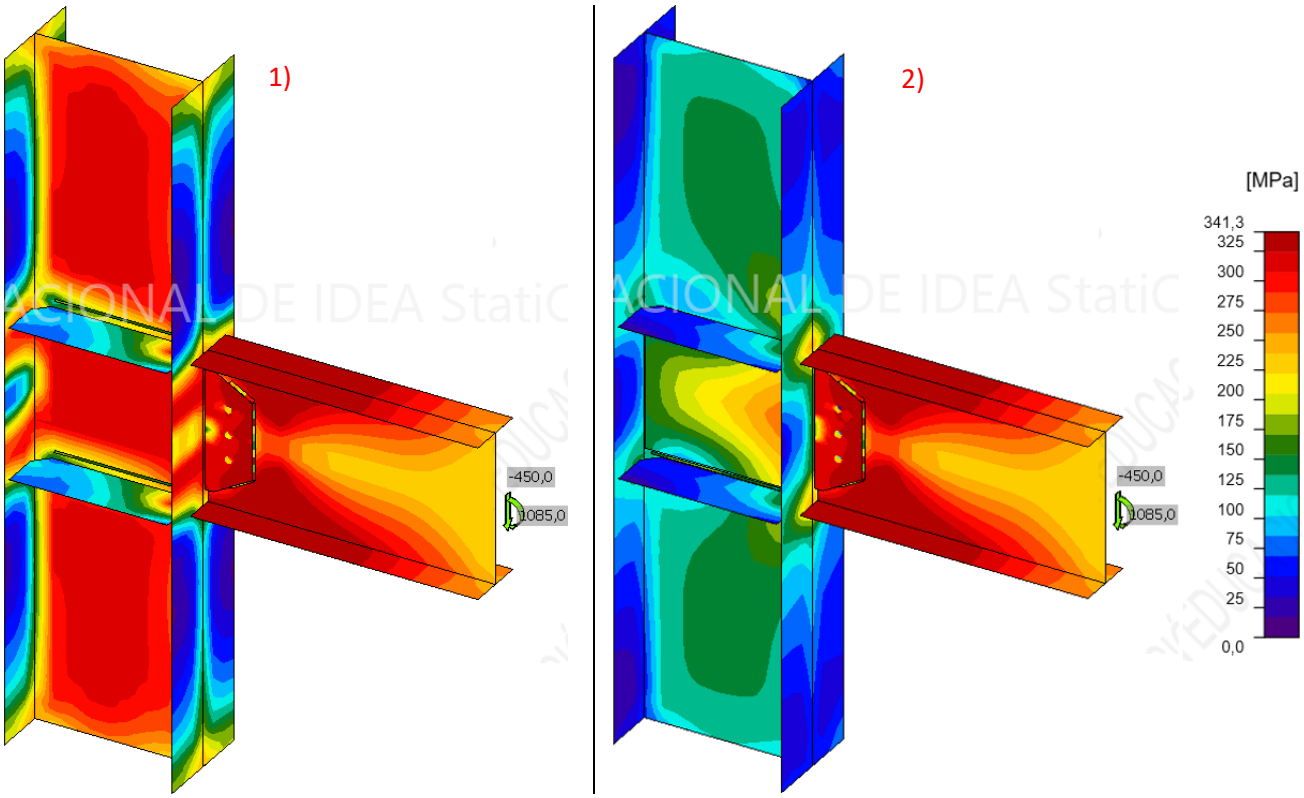



*Ilustración 123. Comparación de Tensión Equivalente de Conexión RBS Viga IPN 450 y Columna HEB 500 entre diseño 1) y 2)*
*Fuente: IDEA StatiCa*

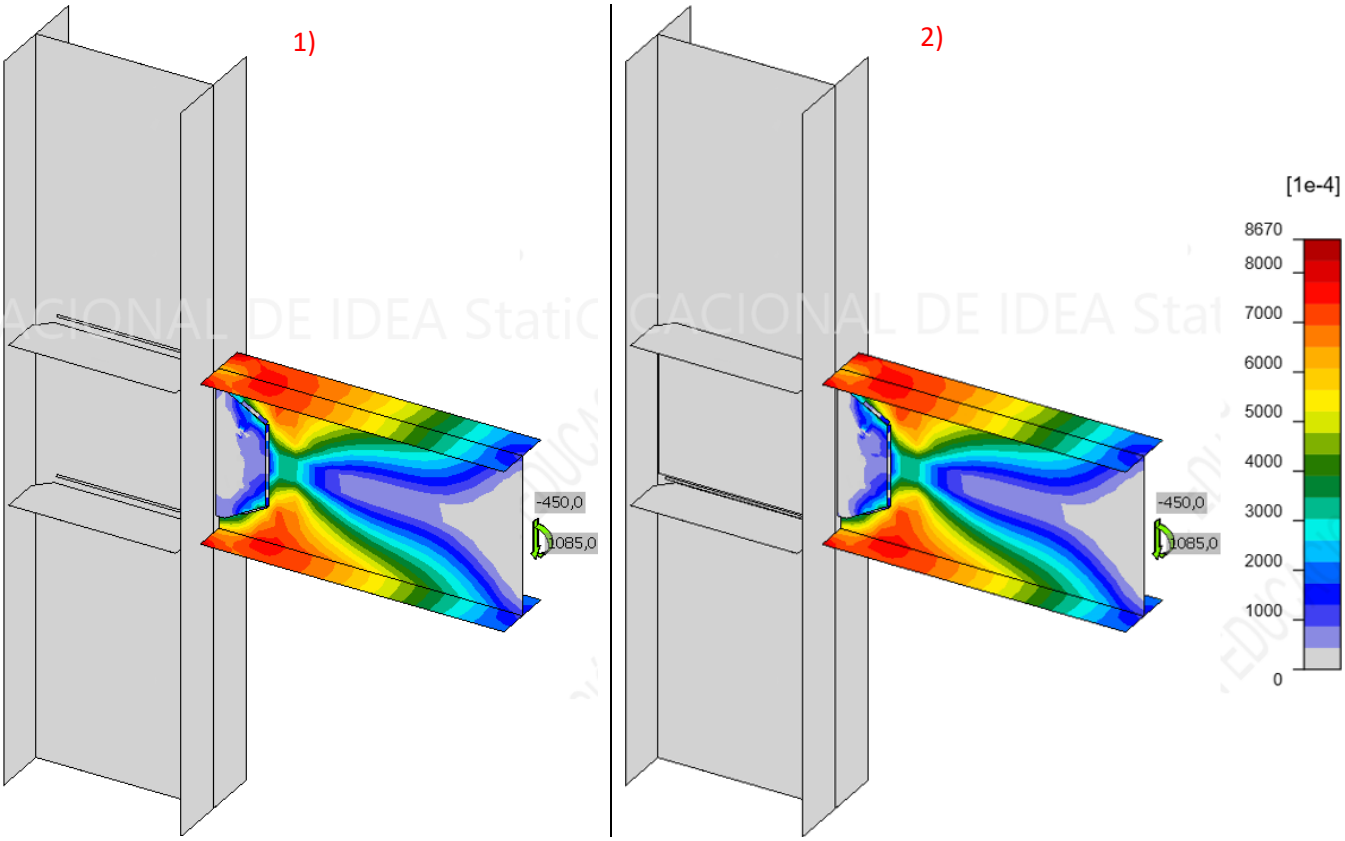



*Ilustración 124. Comparación Deformación Plástica de Conexión RBS Viga IPN 450 y Columna HEB 500 entre diseño 1) y 2)*
*Fuente: IDEA StatiCa*

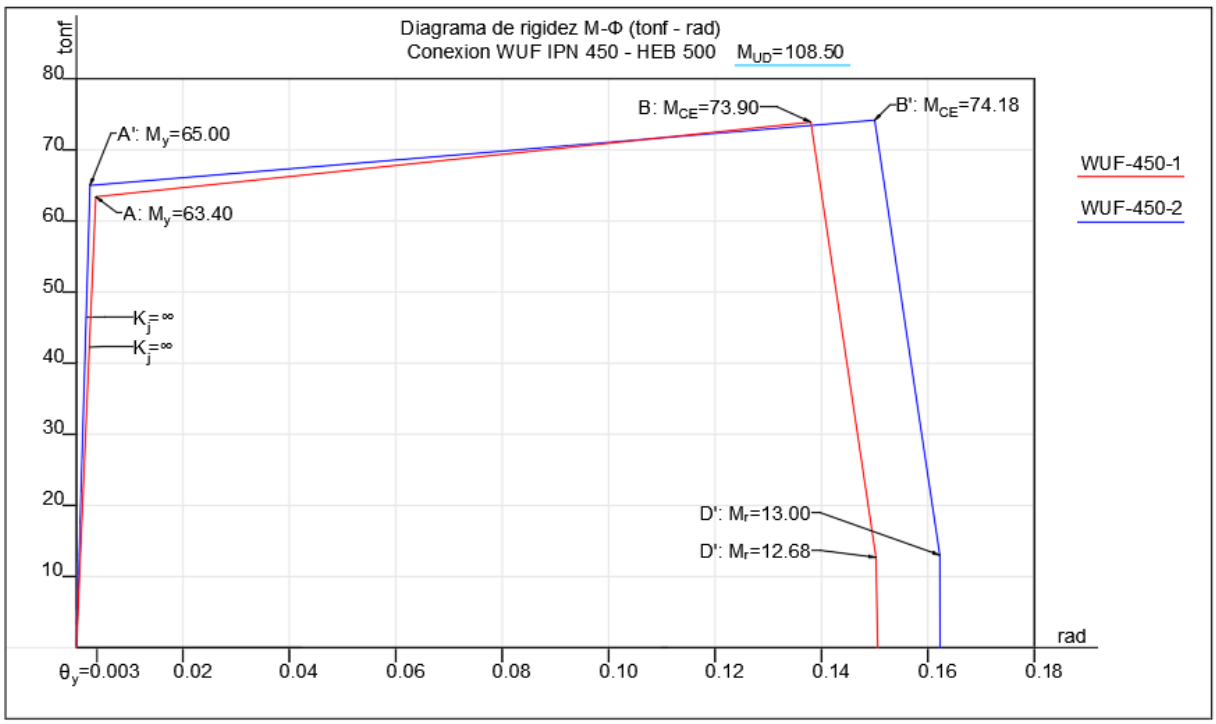



*Ilustración 125. Diagrama de rigidez My-ϑy para la conexión WUF-W IPN 450 – HEB 500*
*Fuente: Elaboración Propia*

- Conexión WUF - W para Viga IPE 400 – Columna HEB 450.

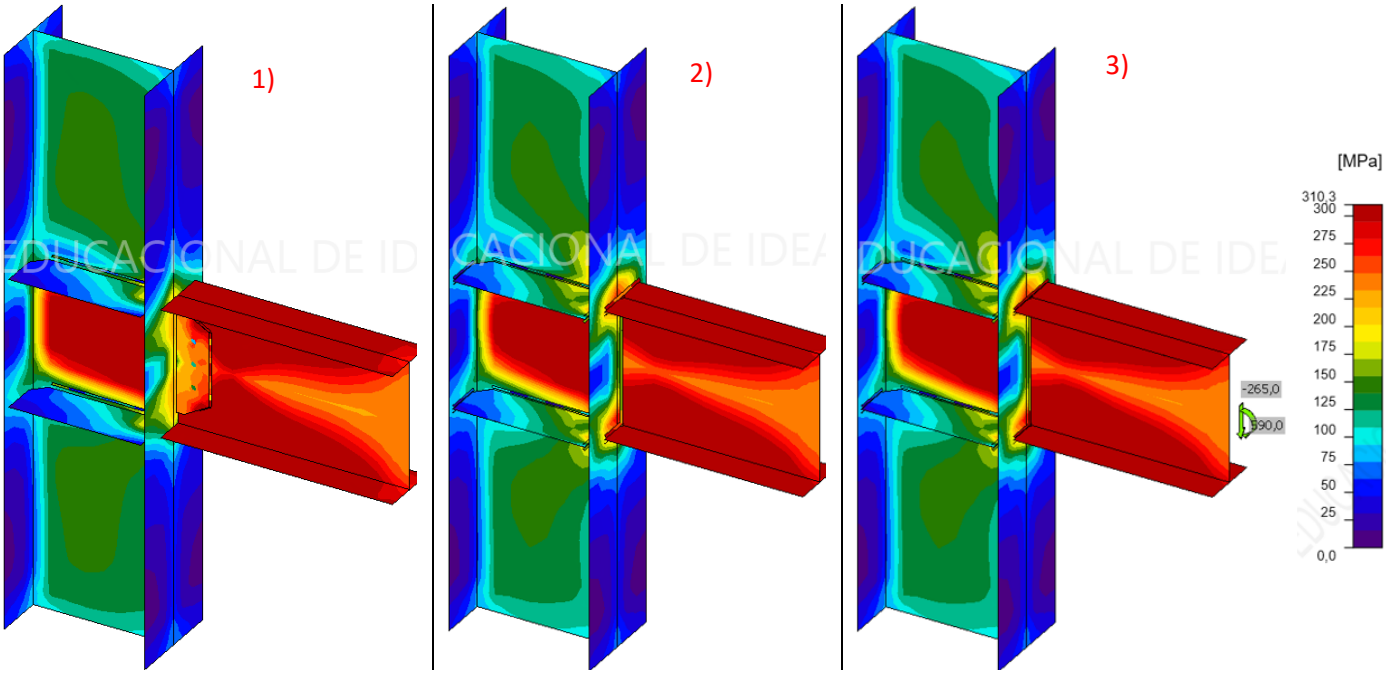



*Ilustración 126. Comparación Tensión Equivalente de Conexión RBS Viga IPE 400 y Columna HEB 450 entre diseño 1) - 2) - 3)*
*Fuente: IDEA StatiCa*

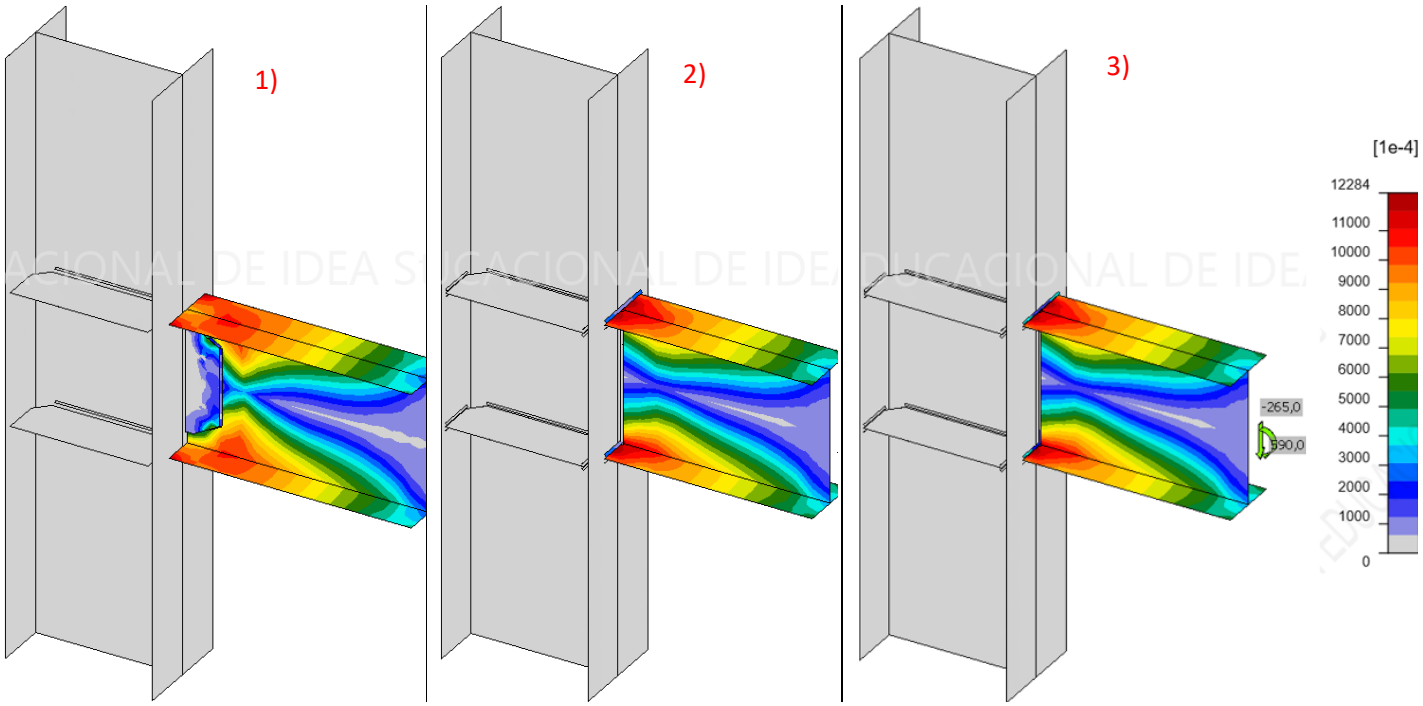



*Ilustración 127. Comparación Deformación Plástica Conexión RBS Viga IPE 400 y Columna HEB 450 entre diseño 1) - 2) - 3)*
*Fuente: IDEA StatiCa*

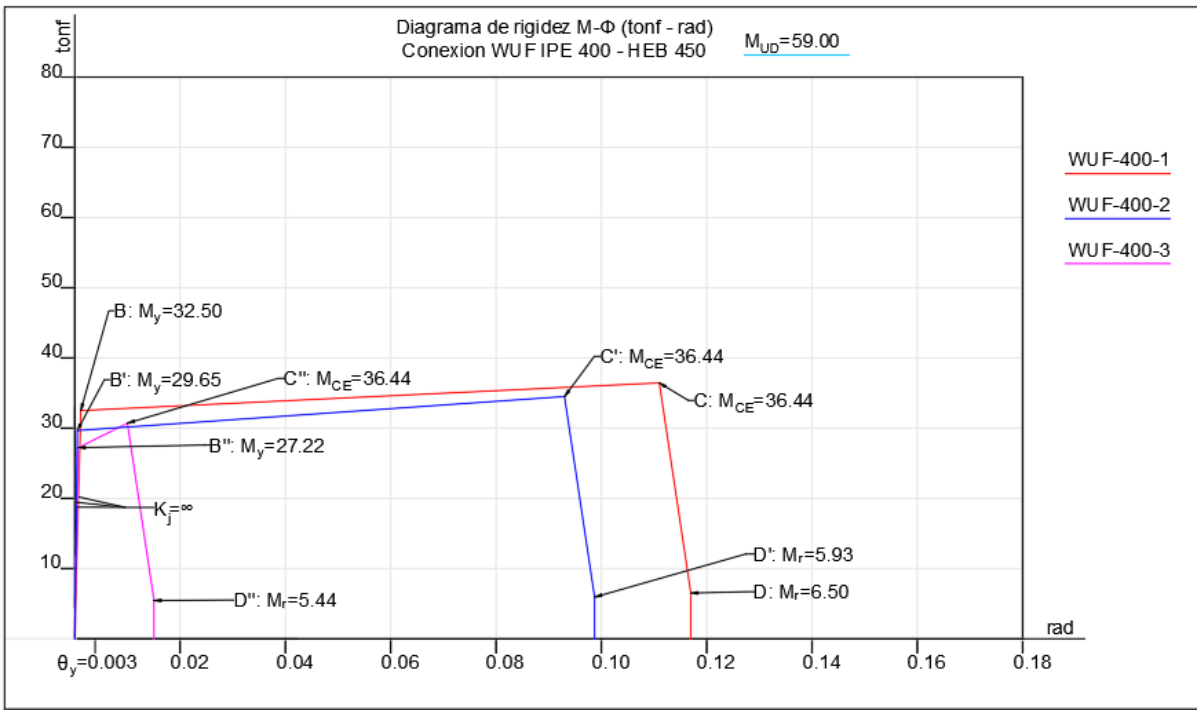



*Ilustración 128. Diagrama de rigidez My-ϑy para la conexión WUF-W IPE 400 – HEB 450*
*Fuente: Elaboración Propia*

- Conexión WUF - W para Viga IPE 360 – Columna HEB 450.

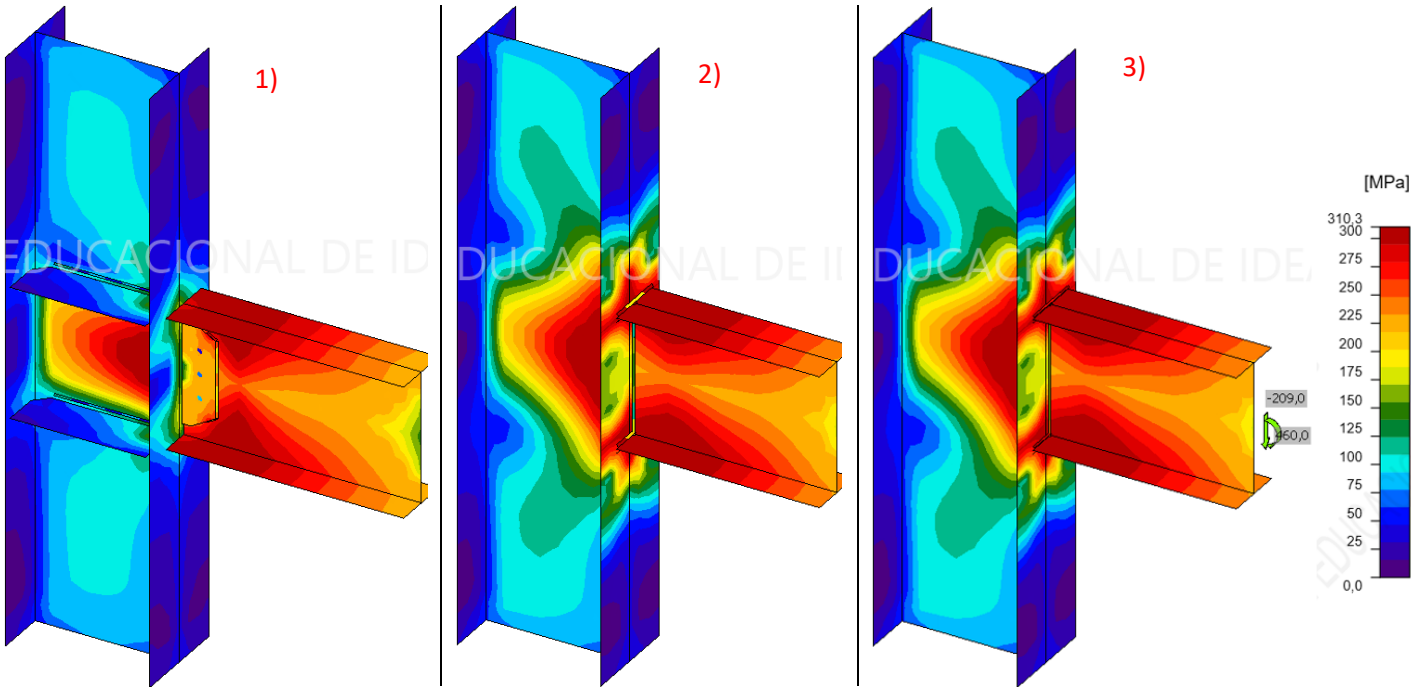



*Ilustración 129. Comparación Tensión Equivalente de Conexión RBS Viga IPE 360 y Columna HEB 450 entre diseño 1) - 2) - 3)*
*Fuente: IDEA StatiCa*

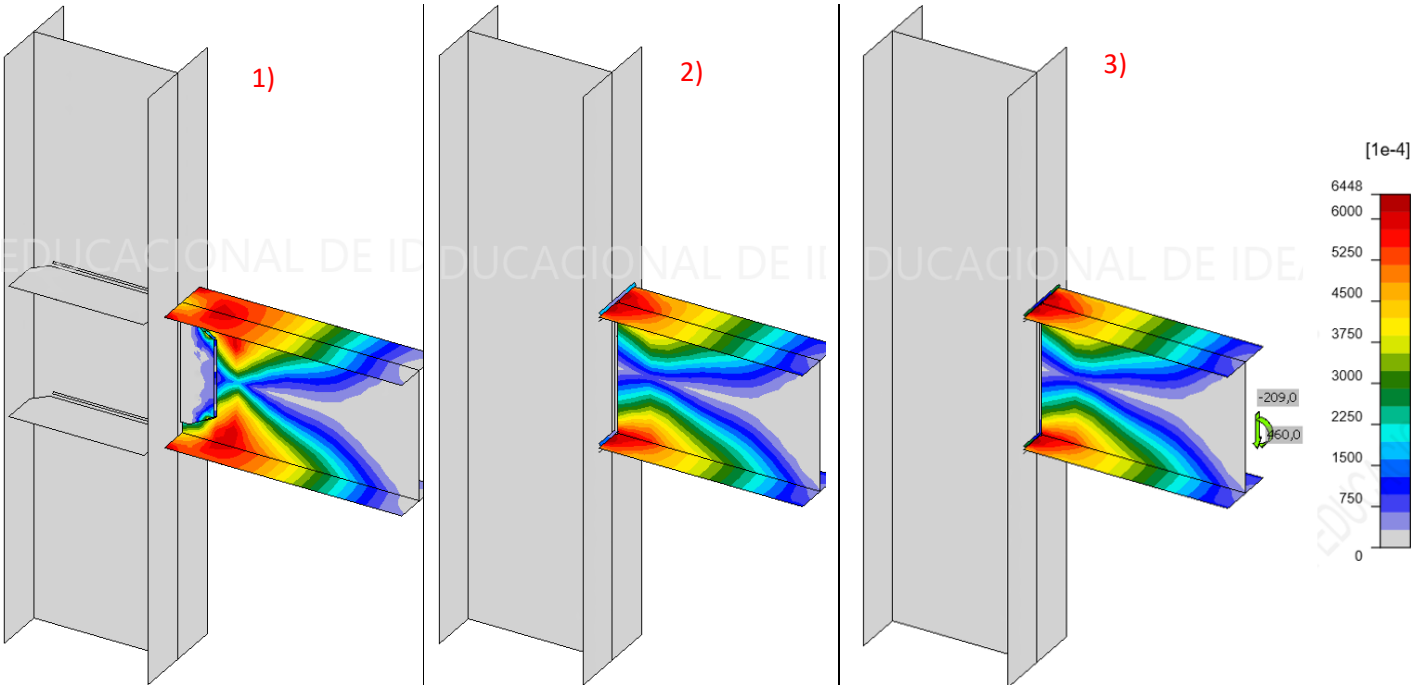



*Ilustración 130. Comparación Deformación Plástica Conexión RBS Viga IPE 360 y Columna HEB 450 entre diseño 1) - 2) - 3)*
*Fuente: IDEA StatiCa*

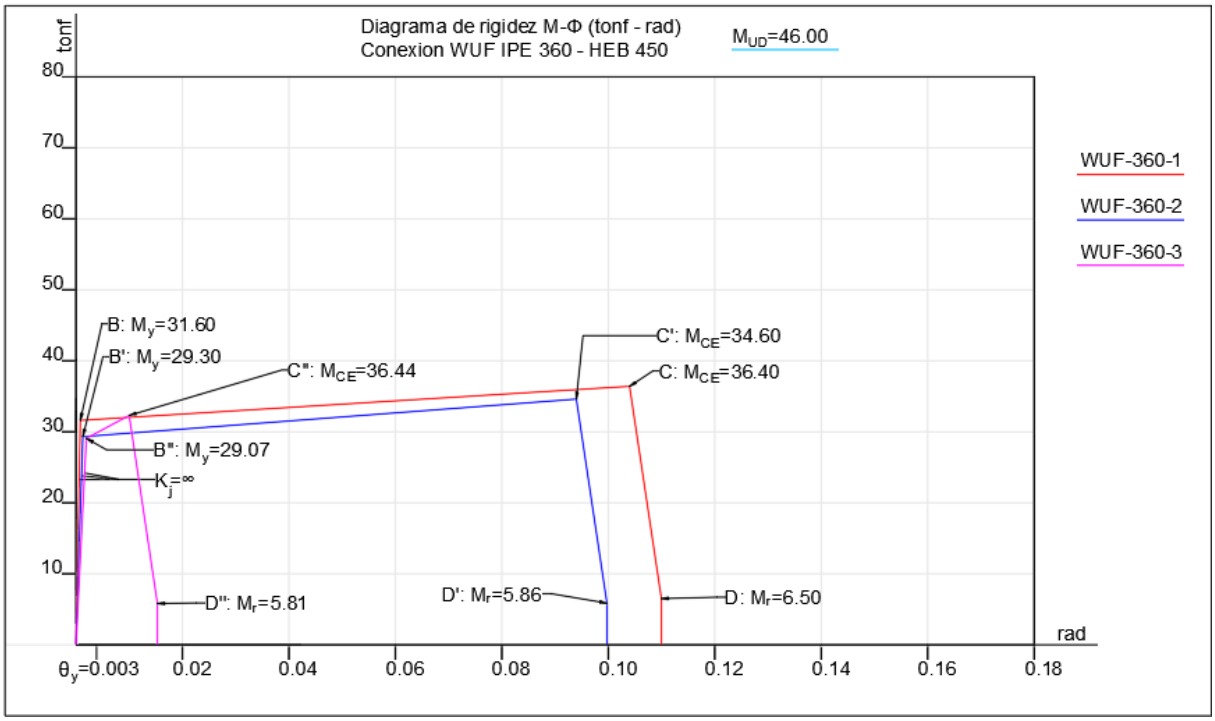



*Ilustración 131. Diagrama de rigidez My-ϑy para la conexión WUF-W IPE 360 – HEB 450*
*Fuente: Elaboración Propia*

- Conexión BFP para Viga IPN 450 – Columna HEB 500.

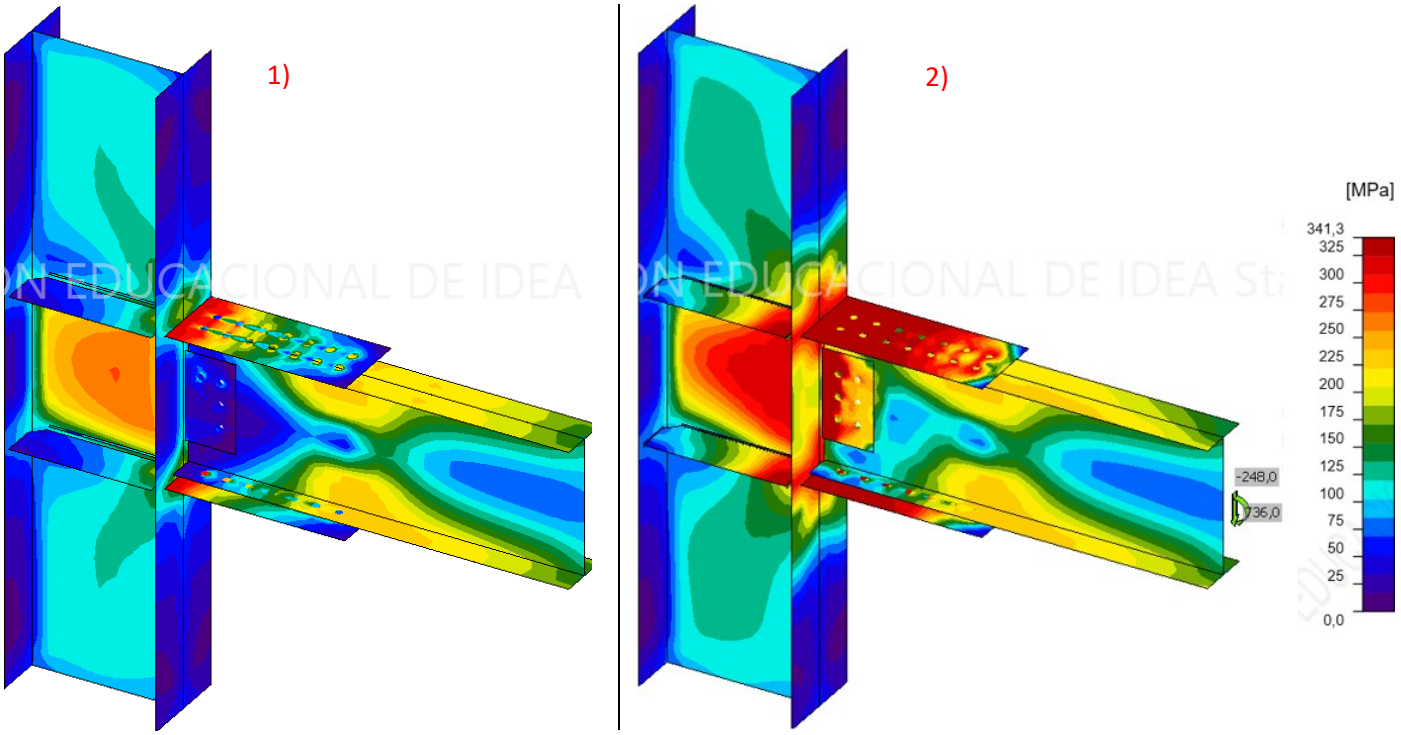



*Ilustración 132. Comparación de Tensión Equivalente de Conexión BFP Viga IPN 450 y Columna HEB 500 entre diseño 1) y 2)*
*Fuente: IDEA StatiCa*

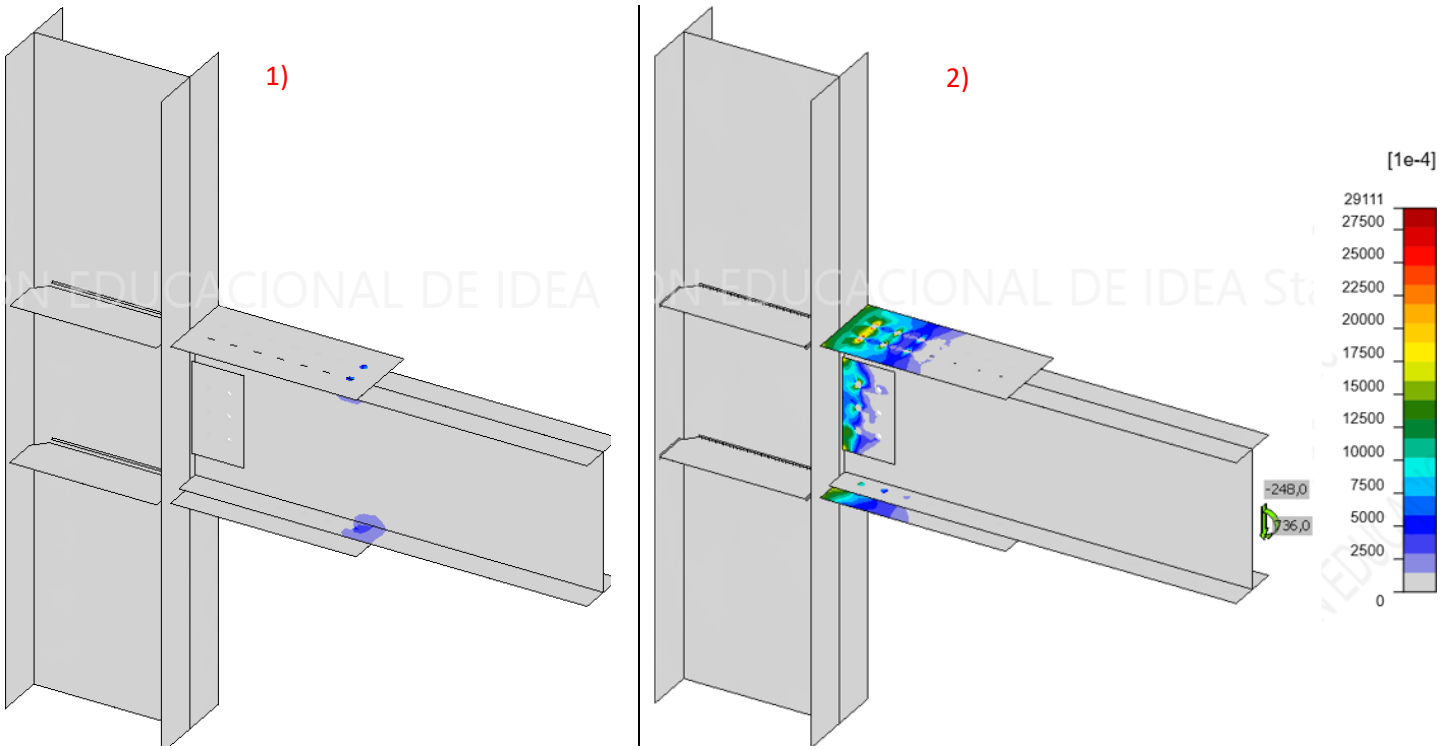



*Ilustración 133. Comparación Deformación Plástica de Conexión BFP Viga IPN 450 y Columna HEB 500 entre diseño 1) y 2)*
*Fuente: IDEA StatiCa*

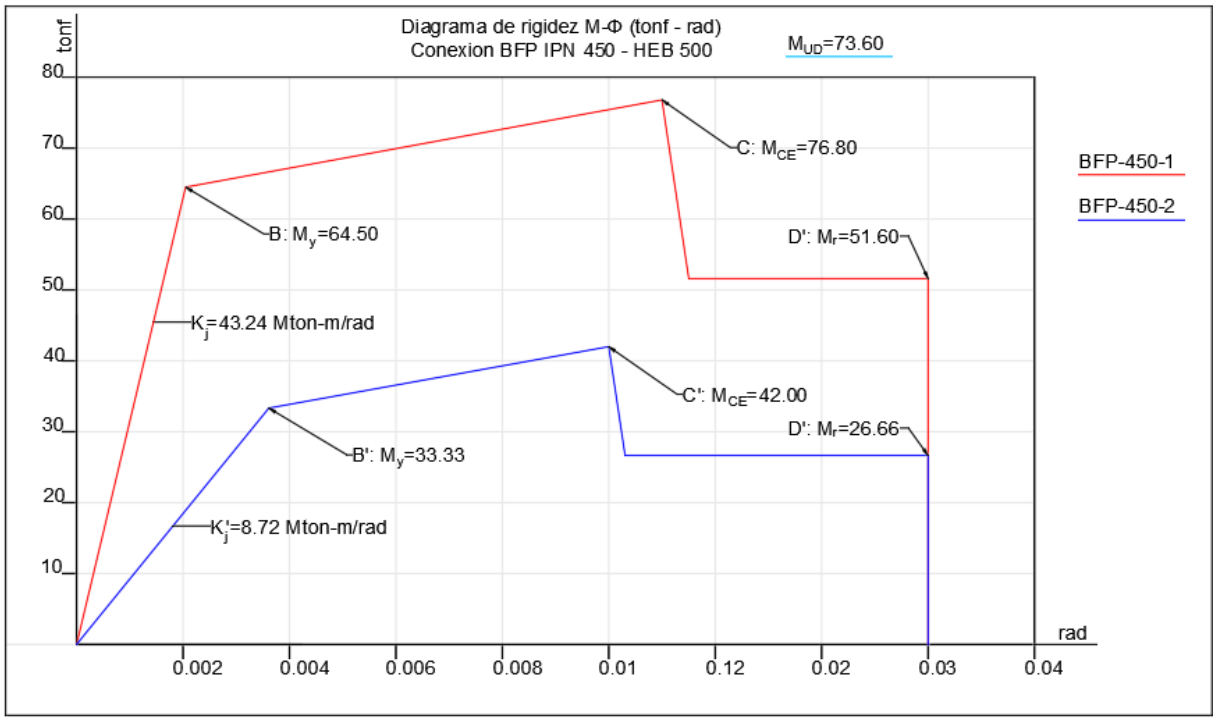



*Ilustración 134. Diagrama de rigidez My-ϑy para la conexión BFP IPN 450 – HEB 500*
*Fuente: Elaboración Propia*

- Conexión BFP para Viga IPE 400 – Columna HEB 450.

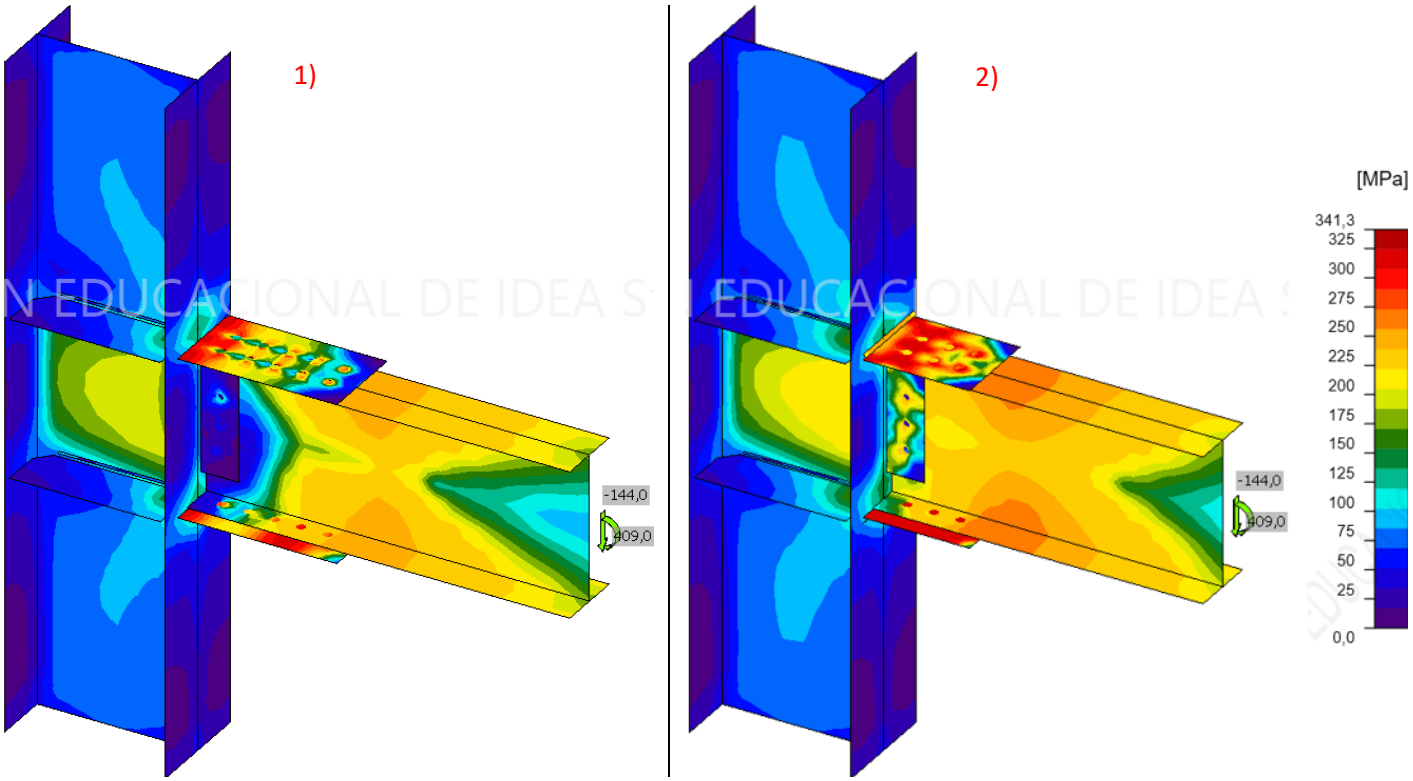



*Ilustración 135. Comparación de Tensión Equivalente de Conexión BFP Viga IPE 400 y Columna HEB 450 entre diseño 1) y 2)*
*Fuente: IDEA StatiCa*

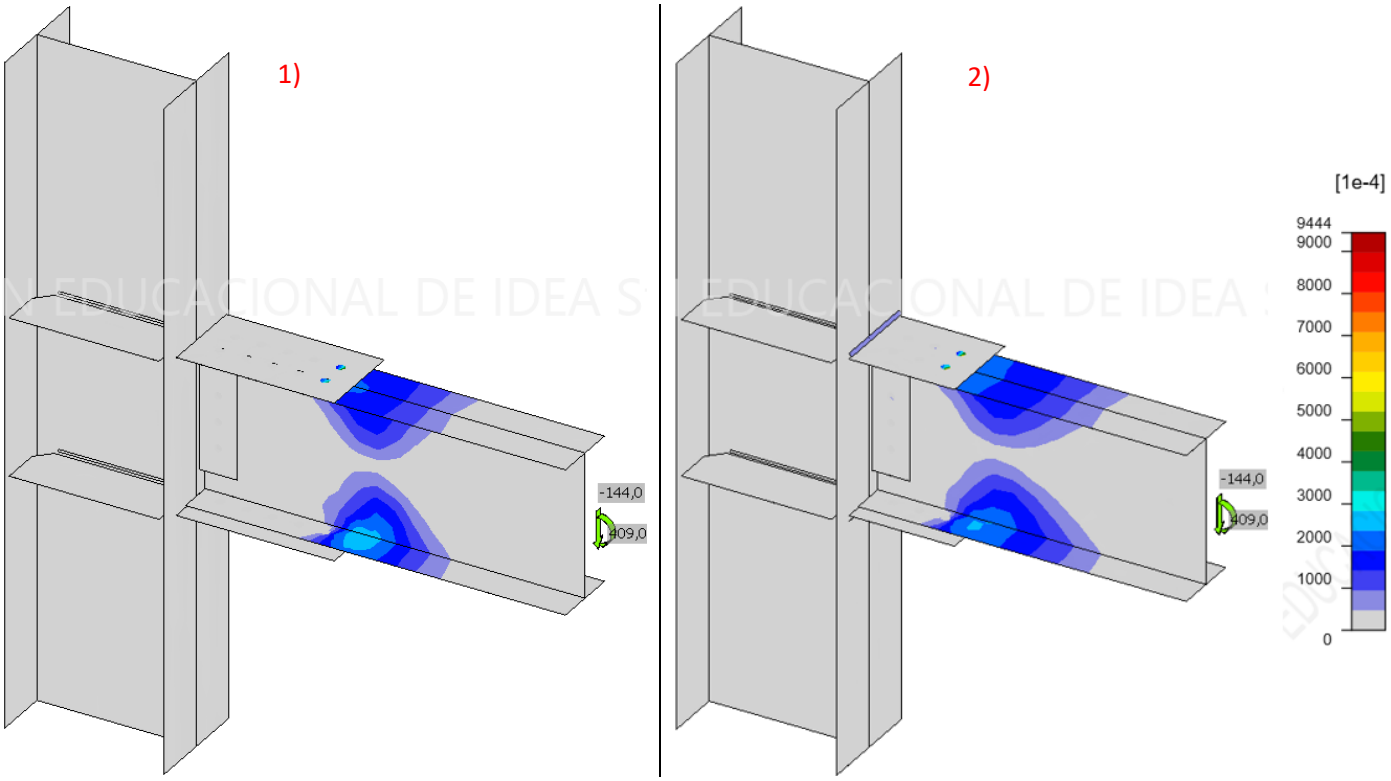



*Ilustración 136. Comparación Deformación Plástica de Conexión BFP Viga IPE 400 y Columna HEB 450 entre diseño 1) y 2)*
*Fuente: IDEA StatiCa*

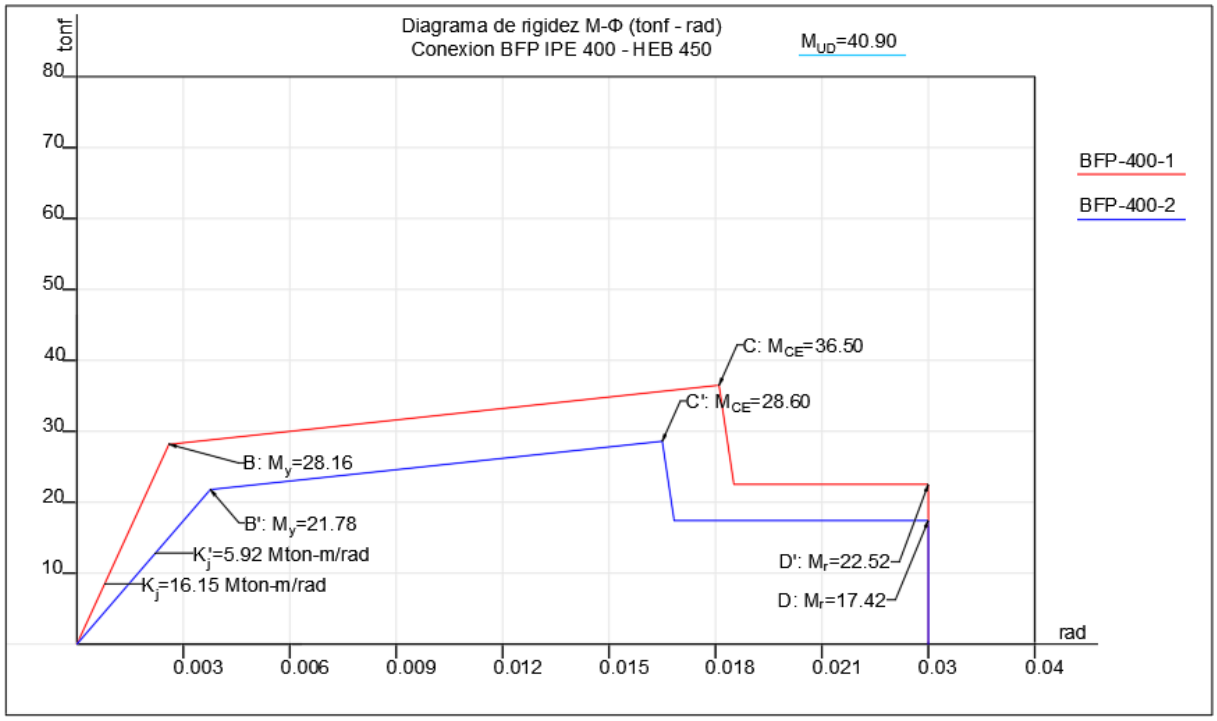



*Ilustración 137. Diagrama de rigidez My-ϑy para la conexión BFP IPE 400 – HEB 450*
*Fuente: Elaboración Propia*

- Conexión BFP para Viga IPE 360 – Columna HEB 450.

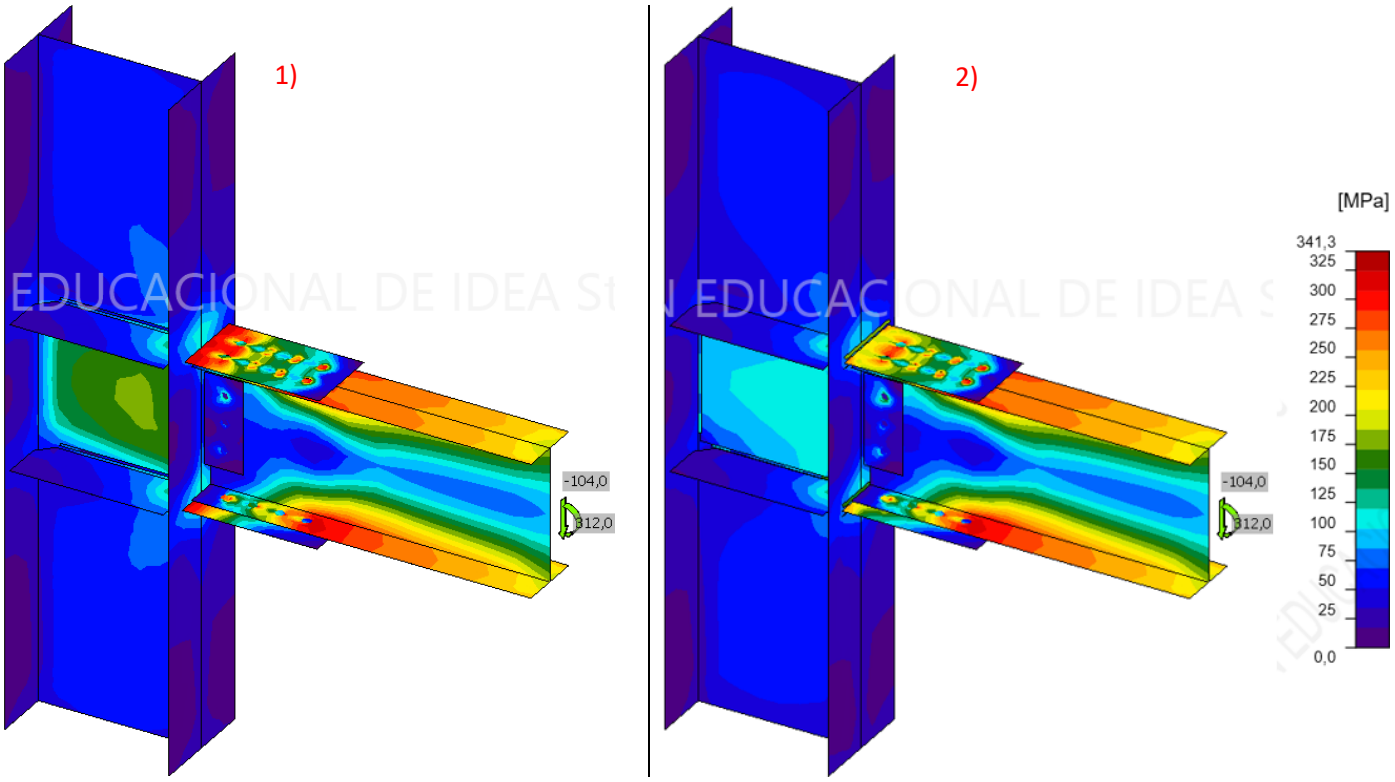



*Ilustración 138. Comparación de Tensión Equivalente de Conexión BFP Viga IPE 360 y Columna HEB 450 entre diseño 1) y 2)*
*Fuente: IDEA StatiCa*

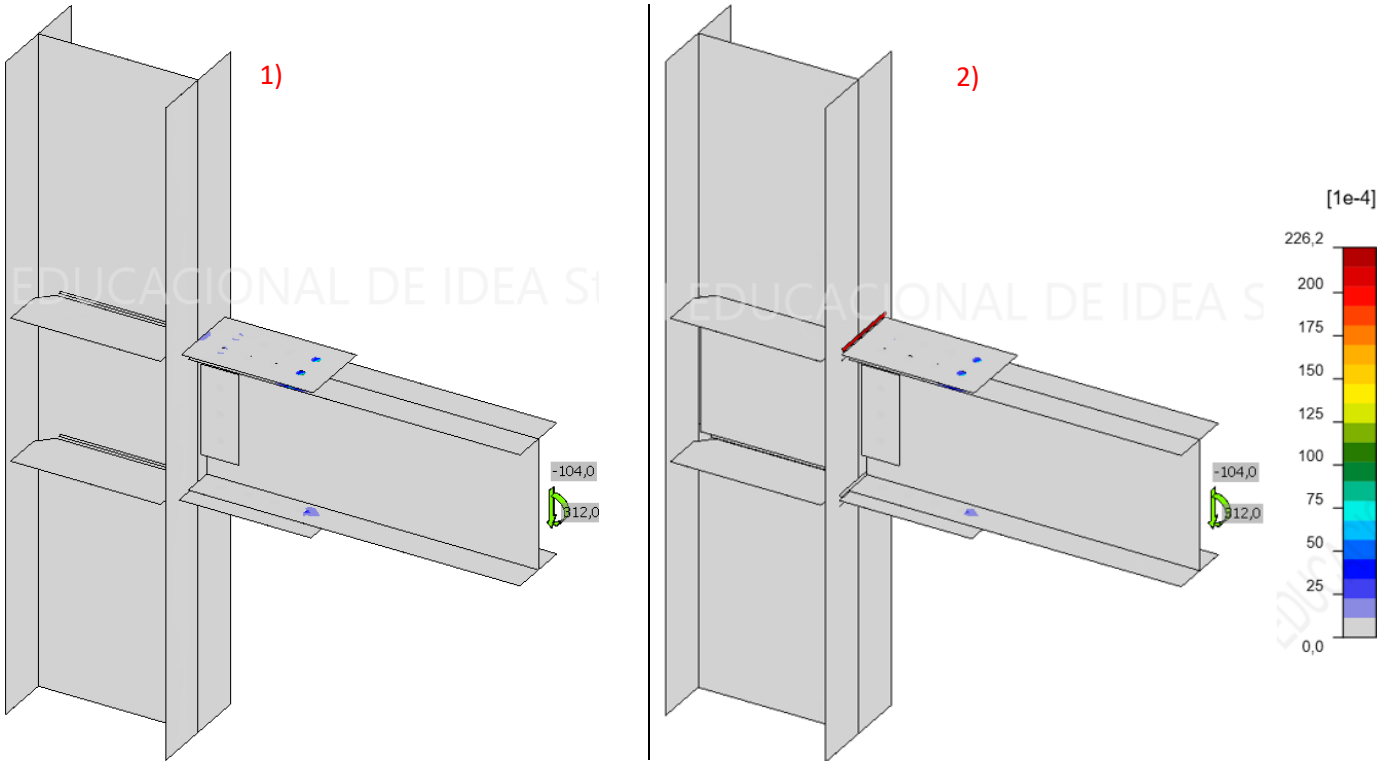



*Ilustración 139. Comparación Deformación Plástica de Conexión BFP Viga IPE 360 y Columna HEB 450 entre diseño 1) y 2)*
*Fuente: IDEA StatiCa*

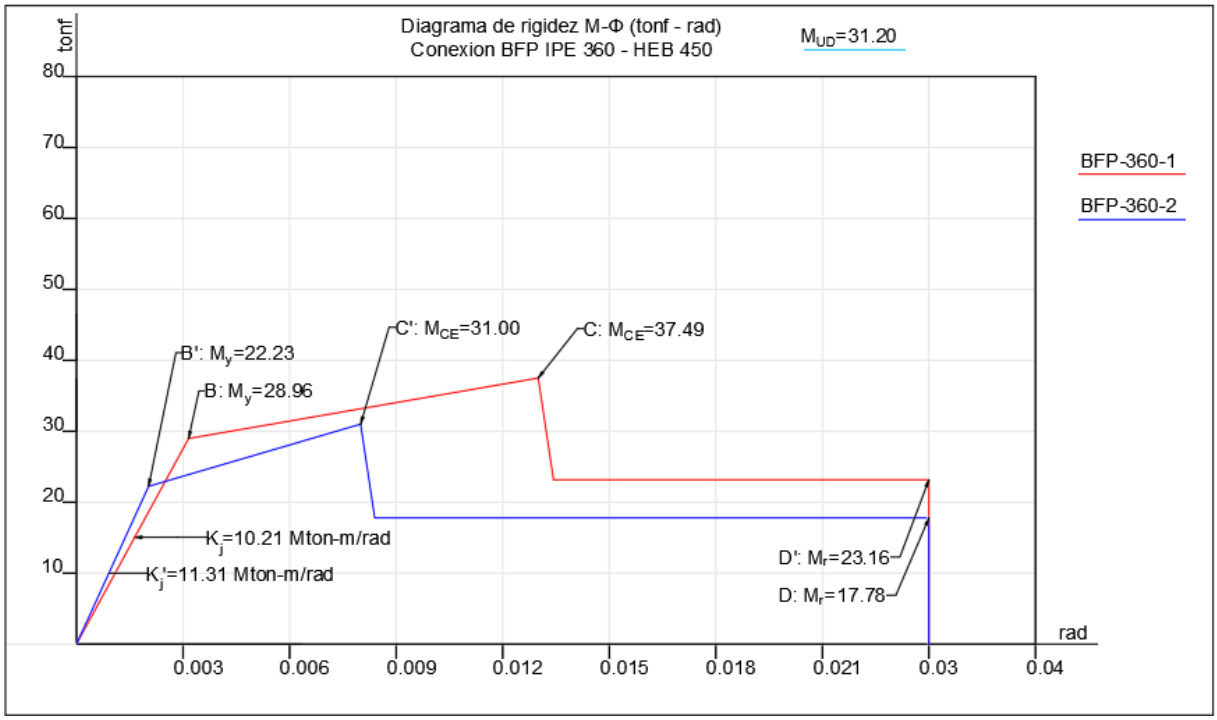



*Ilustración 140. Diagrama de rigidez My-ϑy para la conexión BFP IPE 360 – HEB 450*
*Fuente: Elaboración Propia*

### 4.2.8 Espectros de demanda sísmica.

Para determinar el punto de desempeño de la estructura o el desplazamiento objetivo ($\delta_t$), se puede utilizar el método de los coeficientes de ASCE-41 o el método del espectro de capacidad de FEMA-440.

El método de los coeficientes se resumió detalladamente *en el apartado 4.2.6.3*, para determinar el desplazamiento objetivo de la estructura en el sistema MODELO-1 para la demanda sísmica de la zona en estudio, que es en la ciudad de Cuenca, *como se muestra en la ilustración 58*.

Para determinar el punto de desempeño de todos los sistemas modelados en ETABS dentro de un análisis NSP, se utilizará el método del espectro de capacidad de FEMA-440, considerando que el software ETABS, dentro de su modelo matemático calcula todos los parámetros del análisis NSP.

Para tener varios rangos de desempeño de la estructura se utilizarán espectro de demanda sísmica adicionales a la de la zona en estudio, que es la ciudad de Cuenca, los mismos espectros son respuestas de la aceleración del suelo para sismos de diseño con un periodo de retorno Tr de 475 años, con la finalidad de subir de rango gradualmente se ha identificado un espectro en la ciudad de Quito con un tipo de suelo E y D, y en la ciudad de Pedernales con un suelo tipo E, esta última donde fue epicentro del terremoto en la costa ecuatoriana en Abril 2016.

*Tabla 130. Parámetros de Espectros de capacidad*

| Parámetros | Cuenca | Quito D | Quito E | Pedernales |
|---|---|---|---|---|
| **Factor de Zona, Z** | 0.25 | 0.4 | 0.4 | 0.5 |
| **Factor de importancia, I** | 1 | 1.3 | 1 | 1.3 |
| **Tipo de perfil del suelo** | D | D | E | E |
| **Coeficiente de reducción de respuesta sísmica, R** | 1 | 1 | 1 | 1 |
| **Tr (periodo de retorno, sismo de diseño)** | 475 | 475 | 475 | 475 |
| **Fa** | 1.40 | 1.20 | 1.00 | 0.85 |
| **Fd** | 1.45 | 1.19 | 1.60 | 1.50 |
| **Fs** | 1.06 | 1.28 | 1.90 | 2.00 |
| **n** | 2.48 | 2.48 | 2.48 | 2.48 |
| **Sa(meseta)** | 0.87 | 1.55 | 0.99 | 1.37 |
| **Te** | 1.07 | 1.07 | 1.07 | 1.07 |
| **Sa(Te)** | 0.49 | 0.82 | 0.99 | 1.37 |

*Fuente: Elaboración propia*

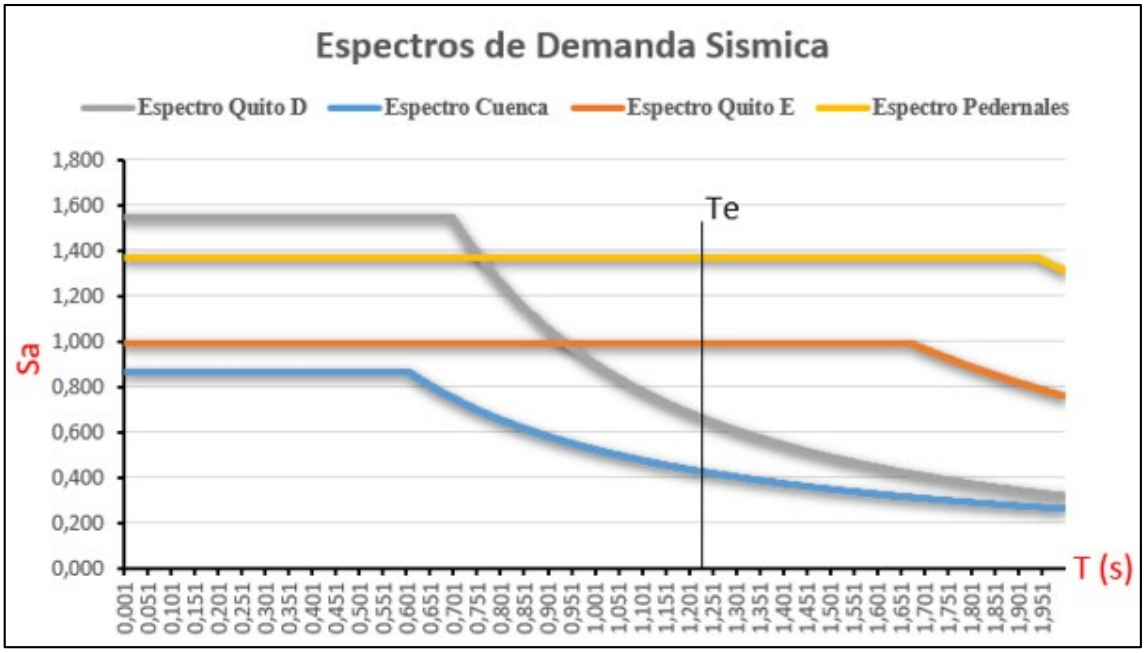



*Ilustración 141. Espectros de demanda sísmica para diferentes ciudades del Ecuador*
*Fuente: Elaboración Propia*

Para el análisis NSP, se utilizó los espectros de demanda sísmica, *que se muestra en la ilustración 138*, debido a que el sismo en la ciudad de pedantearles demanda más desempeño de la estructura que el sismo máximo de la zona en estudio, de igual manera se analizan los modelos estructurales con espectros en la ciudad de Quito con tipo de suelo E y D (*tabla 128)*, con la finalidad de observar objetivos de desempeño intermedios entre ocupación inmediata (IO) y prevención de colapso (CP). EL Sismo máximo que se analizó en la ciudad de Pedernales se utilizara para verificar el máximo desempeño de la estructura, verificando el punto de desempeño de los arquetipos con las distorsiones en el nivel prevención de colapso.

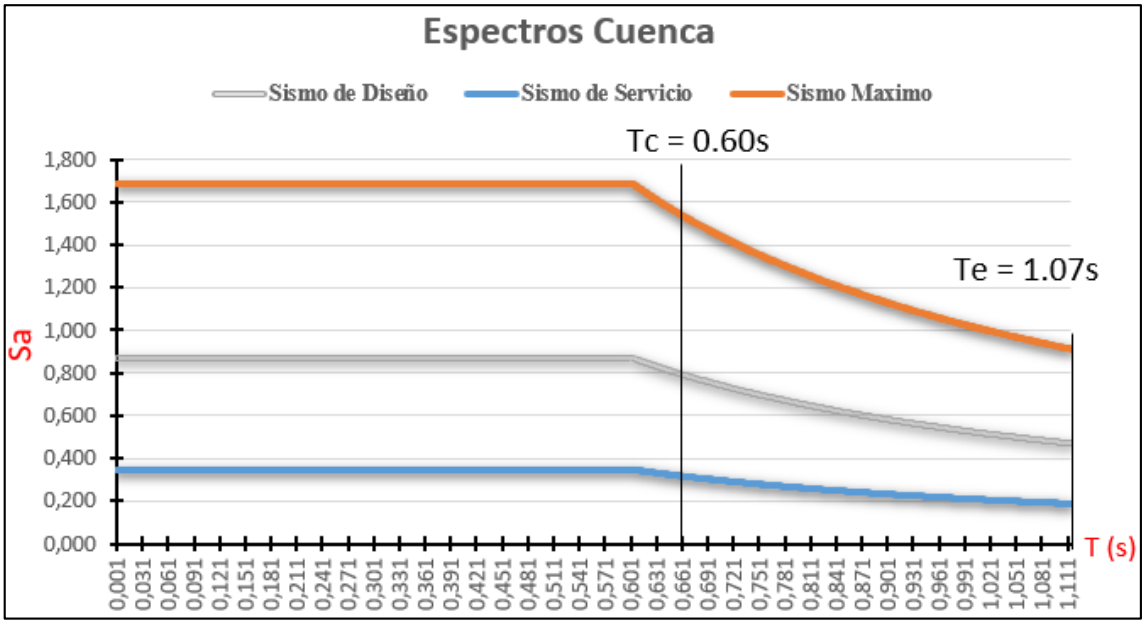



*Ilustración 142. Espectros de demanda sísmica en la ciudad de Cuenca*
*Fuente: Elaboración Propia*

### 4.2.9 Niveles de desempeño sísmico, objetivos de desempeño y niveles de demanda sísmica.

- **Niveles de desempeño sísmico.**

Los niveles de desempeño sísmico establecen rangos de daños permisibles en los componentes estructurales, y no estructurales dependiendo de la funcionalidad de la edificación y el nivel de importancia de esta para que continúe su operatividad o no luego del evento sísmico.

El reglamento ASCE-41 considera los siguientes 4 niveles de desempeño:

- Totalmente operacional (TO): daños despreciables o nulos.

- Ocupación inmediata (IO): grietas y daños leves en elementos estructurales.

- Seguridad de vida (LS): Daños considerables en algunos elementos y degradación del sistema SRCS, no se pierde la funcionalidad de la edificación luego del sismo y se incursiona en las primeras rotulas plásticas.

- Prevención de colapso (CP): Daños severos en elementos, incursión de fusibles, rotulas plásticas que disipan energía en las conexiones a momento del sistema SMF.

- **Objetivos de desempeño.**

El objetivo de desempeño es el grado o nivel de desempeño que se desea que tenga la estructura ante una demanda sísmica característica. ASCE-41 propone diferentes objetivos de desempeño según la funcionalidad de la estructura y su inferencia directa en la seguridad de vida de los ocupantes.

*Tabla 131. Objetivos y niveles de desempeño sísmico*

| Nivel de sismo | Descripción | Nivel de Demanda Sísmica | Periodo de retorno Tr (años) | Probabilidad excedencia en 50 años | Niveles de Desempeño Sísmico | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | Totalmente Operacional (TO) | Ocupación Inmediata (IO) | Seguridad de vida (LS) | Prevención de colapso (CP) |
| 1 | | Frecuente (menor) | 72 | 50% | OB | X | X | X |
| 2 | | Ocasional (moderado) | 225 | 20% | OEP | OB | X | X |
| 3 | Espectro Cuenca (Sismo Diseño) | Raro (severo) | 475 | 10% | OSC | OEP | OB | X |
| 4 | Espectro Pedernales | Muy raro (extremo) | 2500 | 2% | - | OSC | OEP | OB |
| OB: Objetivo Básico: Edificaciones de uso residencial<br>OEP: Objetivo Esencial y Peligroso: Estructuras de ocupación especial<br>OSC: Objetivo de Seguridad Critica: Edificaciones esenciales | | | | | | | | |

*Fuente: Elaboración Propia*

Para este caso de estudio el objetivo de desempeño es un OBJETIVO BASICO, siendo una edificación para uso residencial, como se ha mencionado dentro del presente capitulo, pudiendo llegar a un nivel de desempeño (CP) para un sismo muy raro con un periodo de retorno Tr de 2500 años.

- **Niveles de demanda sísmica.**

  - Sismo de servicio (SE): Sismo con un periodo de retorno Tr = 50 años y una probabilidad del 50% que ocurra cada 50 años. Se considera como un nivel de demanda sísmica frecuente, ya que puede ocurrir más de una vez durante la vida útil de la estructura.

  - Sismo de Diseño (DE): Sismo: Sismo con un periodo de retorno Tr = 475 años y una probabilidad del 10% que ocurra cada 50 años. Se considera como un nivel de demanda sísmica raro y severo, que puede ocurrir una vez durante la vida útil de la estructura. Este sismo se encuentra *en la ilustración 58*, y se utilizó las aceleraciones espectrales de NEC-SE-DS para diseñar el sistema SMF que analiza el presente estudio.

  - Sismo Máximo (ME): Sismo con un periodo de retorno Tr = 2500 años y una probabilidad del 2% que ocurra cada 50 años. Se considera como un nivel de demanda sísmica muy raro y extremo, que se utiliza para el diseño de estructuras esenciales y especiales.

### 4.2.10 Relación entre aceleraciones del suelo y periodos de retorno.

$$\frac{a_2}{a_1} = \left(\frac{T_2}{T_1}\right)^k \rightarrow a_2 = x a_1 \qquad (202)$$

Donde:

- $a_1 = S_a(T_a)$ = Aceleración del suelo del sismo de diseño del sistema en análisis.
- $T_1 = 475\ años$ = Periodo de retorno de sismo de diseño.
- $T_2$ = Periodo de retorno de sismo a determinar.
- $a_2$ = Aceleración del suelo de sismo a determinar.
- $k$ = 0.4.
- $x$ = Factor de relación de demanda con respecto al sismo de diseño

- **Sismo de servicio (SE):** $\frac{xa_1}{a_1} = \left(\frac{T_2}{T_1}\right)^k \rightarrow x = \left(\frac{T_2}{T_1}\right)^k = \left(\frac{50}{475}\right)^{0.4} = 0.40$
- **Sismo Máximo (ME):** $\frac{xa_1}{a_1} = \left(\frac{T_2}{T_1}\right)^k \rightarrow x = \left(\frac{T_2}{T_1}\right)^k = \left(\frac{2500}{475}\right)^{0.4} = 1.94$

### 4.2.11 Desplazamientos objetivos.

*La Tabla 130*, muestra los desplazamientos objetivos para cada nivel de desempeño, en función del desplazamiento lateral máximo en el nudo de control en el punto de desempeño ($\delta_u$) y la altura del edificio $h_T = 21.00\ m$. Para cumplir con los objetivos de desempeño, esta relación de $\delta_u/h_T$ debe ser menor a los valores presentados en la siguiente tabla, según sea el caso.

*Tabla 132. Relación entre niveles de desempeño y distorsión*

| Nivel de desempeño | Desplazamiento objetivo *Dt/H*, % |
|---|---|
| Totalmente Operacional | ≤ 0.2 |
| Operacional | ≤ 0.5 |
| Seguridad de Vida | ≤ 1.5 |
| Pre Colapso | ≤ 2.5 |
| Colapso | > 2.5 |

*Fuente: (Visión, 2000)*

## 5. Resultados del análisis por desempeño de la estructura calibrada

### 5.1 Curvas de capacidad PUSH OVER – Determinación de la ductilidad de la estructura.

Los modelos calibrados en el software ETABS con la definición de rotulas plásticas en los componentes viga y columna del sistema sísmico SMF dieron los siguientes resultados de capacidad no lineal (V-Δ) Push-over.

*Tabla 133. Arquetipos de modelos ensayados en ETABS en un análisis NSP (Push-over) de pórticos SMF ensamblados bajo diferentes tipologías de conexiones*

| TIPOLOGÍA DE CONEXIONES EN EL SRCS | MODELOS | Junta (Viga-Columna) SRCS | Conexión | DESCRIPCIÓN |
|---|---|---|---|---|
| TIPOLOGIA DE CONEXIÓN UNIFORME EN EL SISTEMA (MISMO TIPO) | Modelo 1 | H500-I450 | RBS-450-1 | Conexión Precalificada Diseño AISC/358 (Cap 3) |
| | | H450-I400 | RBS-400-1 | Conexión Precalificada Diseño AISC/358 (Cap 3) |
| | | H400-I360 | RBS-360-1 | Conexión Precalificada Diseño AISC/358 (Cap 3) |
| | Modelo 2 | H500-I450 | RBS-450-2 | Conexión modificada (sin diseño) Anexos |
| | | H450-I400 | RBS-400-2 | Conexión modificada (sin diseño) Anexos |
| | | H400-I360 | RBS-360-2 | Conexión modificada (sin diseño) Anexos |
| | Modelo 3 | H500-I450 | WUF-450-1 | Conexión Precalificada Diseño AISC/358 (Cap 3) |
| | | H450-I400 | WUF-400-1 | Conexión Precalificada Diseño AISC/358 (Cap 3) |
| | | H400-I360 | WUF-360-1 | Conexión Precalificada Diseño AISC/358 (Cap 3) |
| | Modelo 4 | H500-I450 | WUF-450-2 | Conexión modificada (sin diseño) Anexos |
| | | H450-I400 | WUF-400-2 | Conexión modificada (sin diseño) Anexos |
| | | H400-I360 | WUF-360-2 | Conexión modificada (sin diseño) Anexos |
| | Modelo 5 | H500-I450 | WUF-450-2 | Conexión modificada (sin diseño) Anexos |
| | | H450-I400 | WUF-400-3 | Conexión modificada (sin diseño) Anexos |
| | | H400-I360 | WUF-360-3 | Conexión modificada (sin diseño) Anexos |
| | Modelo 6 | H500-I450 | BFP-450-1 | Conexión Precalificada Diseño AISC/358 (Cap 3) |
| | | H450-I400 | BFP-400-1 | Conexión Precalificada Diseño AISC/358 (Cap 3) |
| | | H400-I360 | BFP-360-1 | Conexión Precalificada Diseño AISC/358 (Cap 3) |
| | Modelo 7 | H500-I450 | BFP-450-2 | Conexión modificada (sin diseño) Anexos |
| | | H450-I400 | BFP-400-2 | Conexión modificada (sin diseño) Anexos |
| | | H400-I360 | BFP-360-2 | Conexión modificada (sin diseño) Anexos |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| TIPOLOGIA DE CONEXIÓN DESIGUAL EN EL SISTEMA (DIFERENTE TIPO) | Modelo 8 | H500-I450 | RBS-450-1 | Conexión Precalificada Diseño AISC/358 (Cap 3) |
| | | H450-I400 | WUF-400-1 | Conexión Precalificada Diseño AISC/358 (Cap 3) |
| | | H400-I360 | BFP-360-1 | Conexión Precalificada Diseño AISC/358 (Cap 3) |
| | Modelo 9 | H500-I450 | WUF-450-2 | Conexión modificada (sin diseño) Anexos |
| | | H450-I400 | RBS-400-2 | Conexión modificada (sin diseño) Anexos |
| | | H400-I360 | BFP-360-2 | Conexión modificada (sin diseño) Anexos |
| | Modelo 10 | H500-I450 | RBS-450-2 | Conexión modificada (sin diseño) Anexos |
| | | H450-I400 | WUF-400-3 | Conexión modificada (sin diseño) Anexos |
| | | H400-I360 | WUF-360-3 | Conexión modificada (sin diseño) Anexos |

*Fuente: Elaboración Propia*

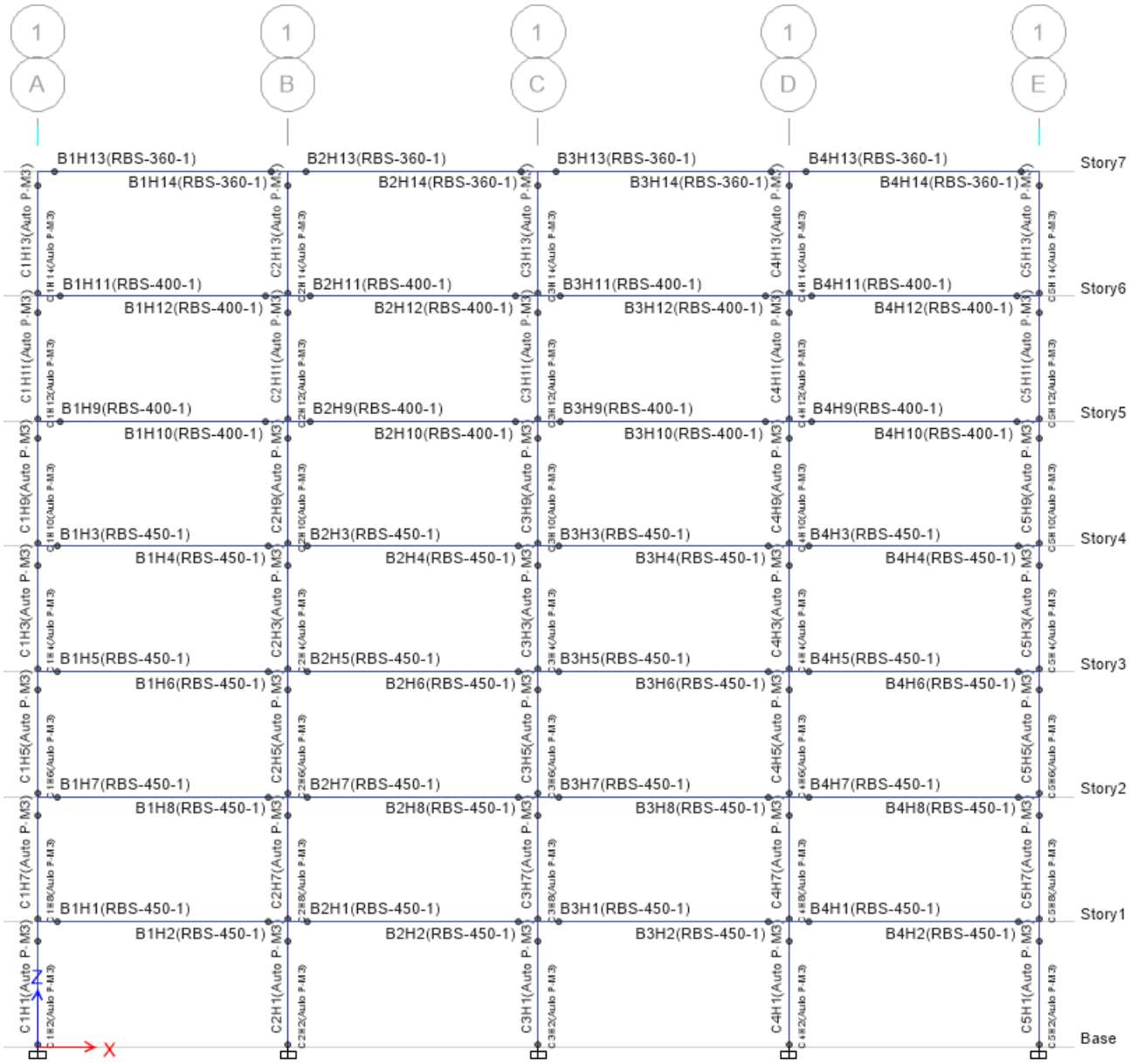



*Ilustración 143. Modelo 1, calibrado con conexión RBS-1 (código 1) diseñadas mediante disposiciones AISC*
*Fuente: ETABS*

- **Rotula plástica en Piso 5, vano 1 - Hinge Response - B1H9 (RBS-400-1) (Modelo 1) ETABS.**

- Datos de entrada generales.

Esta descripción resumida, muestra la salida de respuesta de la rótula plástica para una bisagra específica y un caso de carga seleccionado.

*Tabla 134. General Input Data*

| | | | |
|---|---|---|---|
| **Load Case** | PUSH-OVER$_{FUERZAS}$ | **Hinge** | B1H9 (RBS-400-1) |
| **Story** | Story5 | **Hinge DOF** | M3 |
| **Beam** | B1 | **Hinge Rel. Dist.** | 0.09 |

*Fuente: ETABS*

- Gráfico de respuesta de la rótula (Hinge Response Plot).

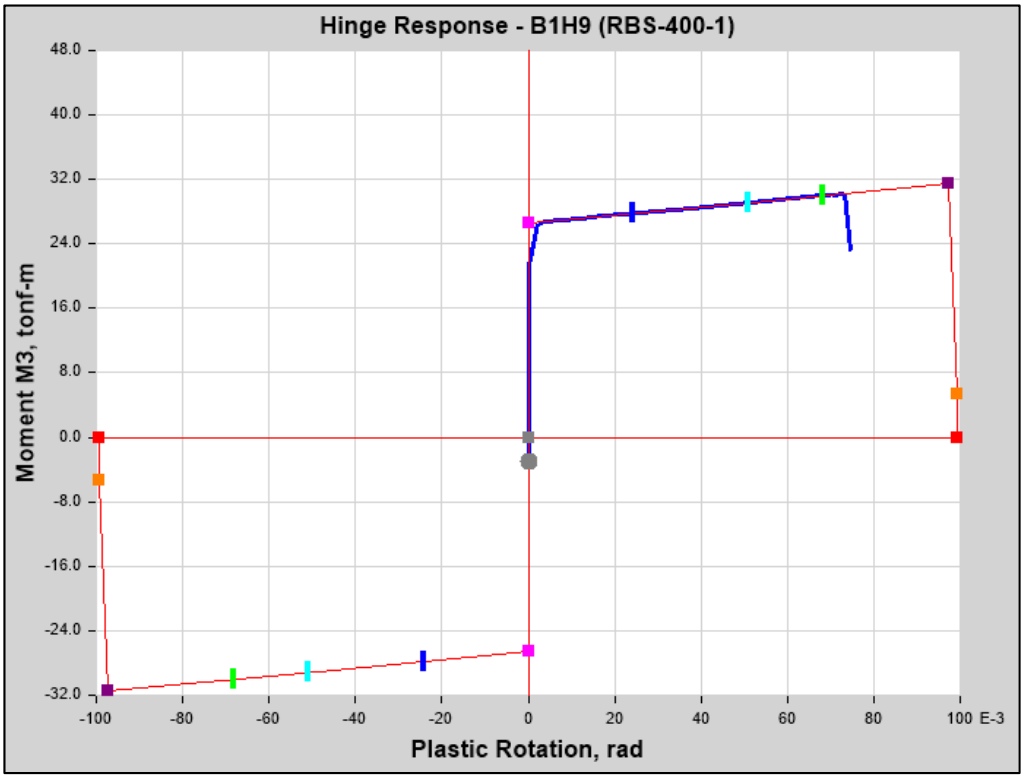



*Ilustración 144. Gráfico de respuesta de la rótula*
*Fuente: ETABS*

- Datos del paso actual (Current Step Data).

*Tabla 135. Current Step Data*

| | | | |
|---|---|---|---|
| **Step** | 0 | **Plastic Rotation Max** | 0 rad |
| | | **Plastic Rotation Min** | 0 rad |
| **Moment M3** | -3.0018 tonf-m | **Hinge State** | A to <=B |
| **Plastic Rotation** | 0 rad | **Hinge Status** | A to <=IO |

*Fuente: ETABS*

- Valores de respuesta (Response Values).

*Tabla 136. Hinge Response Values*

| Step | M3 | R3 | R3 Max | R3 Min | State | Status |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | tonf | rad | rad | rad | | |
| **0** | -3.0018 | 0 | 0 | 0 | A to <= B | A to <= IO |
| **1** | 5.1244 | 0 | 0 | 0 | A to <= B | A to <= IO |
| **2** | 13.252 | 0 | 0 | 0 | A to <= B | A to <= IO |
| **3** | 21.381 | 0 | 0 | 0 | A to <= B | A to <= IO |
| **4** | 26.6456 | 0.002072 | 0.002072 | 0 | B to <= C | A to <= IO |
| **5** | 26.8868 | 0.006853 | 0.006853 | 0 | B to <= C | A to <= IO |
| **6** | 27.1587 | 0.012243 | 0.012243 | 0 | B to <= C | A to <= IO |
| **7** | 27.4115 | 0.017253 | 0.017253 | 0 | B to <= C | A to <= IO |
| **8** | 27.6185 | 0.021356 | 0.021356 | 0 | B to <= C | A to <= IO |
| **9** | 27.8252 | 0.025455 | 0.025455 | 0 | B to <= C | IO to <=LS |
| **10** | 28.032 | 0.029553 | 0.029553 | 0 | B to <= C | IO to <= LS |
| **11** | 28.2393 | 0.033663 | 0.033663 | 0 | B to <= C | IO to <= LS |
| **12** | 28.4481 | 0.037802 | 0.037802 | 0 | B to <= C | IO to <= LS |
| **13** | 28.6167 | 0.041144 | 0.041144 | 0 | B to <= C | IO to <= LS |
| **14** | 28.7853 | 0.044486 | 0.044486 | 0 | B to <= C | IO to <= LS |
| **15** | 28.9552 | 0.047853 | 0.047853 | 0 | B to <= C | IO to <= LS |
| **16** | 29.1239 | 0.051196 | 0.051196 | 0 | B to <= C | LS to <= CP |
| **17** | 29.2925 | 0.054539 | 0.054539 | 0 | B to <= C | LS to <= CP |
| **18** | 29.4612 | 0.057883 | 0.057883 | 0 | B to <= C | LS to <= CP |
| **19** | 29.6299 | 0.061227 | 0.061227 | 0 | B to <= C | LS to <= CP |
| **20** | 29.7986 | 0.064571 | 0.064571 | 0 | B to <= C | LS to <= CP |
| **21** | 29.9691 | 0.06795 | 0.06795 | 0 | B to <= C | LS to <= CP |
| **22** | 30.064 | 0.070094 | 0.070094 | 0 | B to <= C | > CP |
| **23** | 30.2305 | 0.073396 | 0.073396 | 0 | B to <= C | > CP |
| **24** | 23.1388 | 0.074537 | 0.074537 | 0 | B to <= C | > CP |

*Fuente: ETABS*

- **Análisis desempeño-Push-over Curve - FEMA 440 Equivalent Linearization-(MODELO 1) ETABS (SISMO PEDERNALES).**

- Datos de entrada del espectro de demanda (Demand Spectrum Input Data).

Estos son los datos para análisis de transferencia de linealización equivalente a FEMA 440.

*Tabla 137. Demand Spectrum Input Data*

| **Name** | **Push-over1** | | |
|---|---|---|---|
| **Load Case** | $PUSH\text{-}OVER_{FUERZAS}$ | **Plot Type** | FEMA 440 EL |
| | | **Function Name** | $Espectro_{Pedernales}$ |
| **Source** | Defined Function | **Scale factor** | 9.81 m/sec² |

*Fuente: ETABS*

- Effective Period and Effective Damping Parameters.

*Tabla 138. Effective Period and Effective Damping Parameters*

| Damping Params | Default Value | Period Parameters | Default Value |
|---|---|---|---|
| **A** | 4.2 | G | 0.11 |
| **B** | -0.83 | H | -0.018 |
| **C** | 10 | I | 0.09 |
| **D** | 1.6 | J | 0.14 |
| **E** | 22 | K | 0.77 |
| **F** | 0.4 | L | 0.05 |

*Fuente: ETABS*

- Push-over Plot.

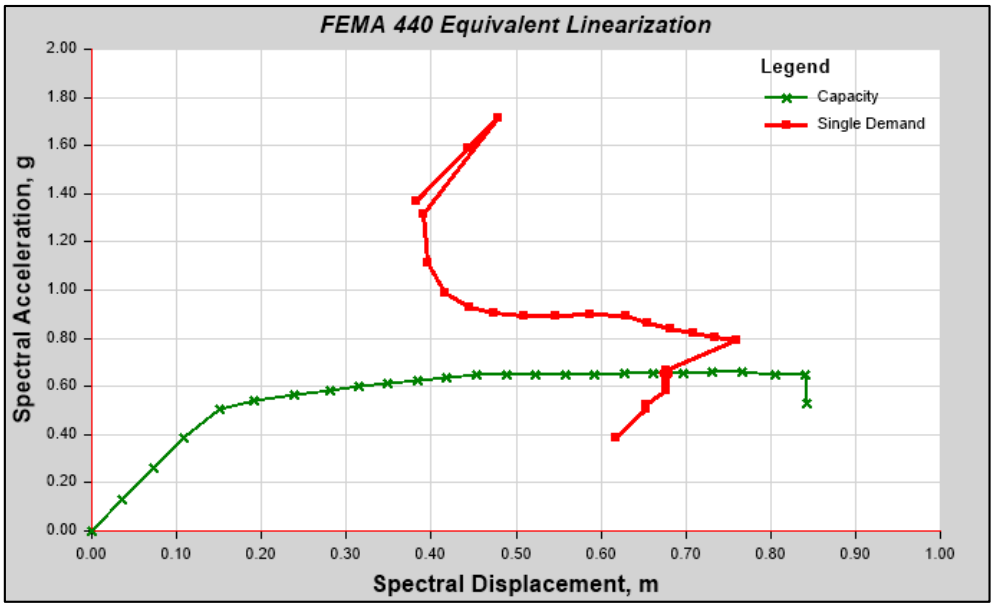



*Ilustración 145. Spectral Acceleration vs Spectral Displacement*
*Fuente: ETABS*

- Plot Items.

*Tabla 139. Plot Items*

| | |
|---|---|
| **Demand Spectra Ductility Ratios** | 1; 1.5; 2; 2.5 |
| **Constant Period Lines** | 0.5; 1; 1.5; 2 |

*Fuente: ETABS*

- Performance Point

*Tabla 140. Performance Point*

| | | | |
|---|---|---|---|
| **Point Found** | Yes | **T secant** | 2.039 seg |
| **Shear** | 286.7794 tonf | **T effective** | 1.801 seg |
| **Displacement** | 0.968234 m | **Ductility Ratio** | 4.226469 |
| **Sa** | 0.655161 | **Effective Damping** | 0.2003 |
| **Sd** | 0.676743 m | **Modification Factor** | 0.780662 |

*Fuente: ETABS*

- Tabulated Plot Coordinates

*Tabla 141. Capacity Curve Coordinates*

| Sd (m) | Sa (g) | Period (seg) | Sd (m) | Sa (g) | Period (seg) |
|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 1.06 | 0.488731 | 0.646184 | 1.745 |
| 0.03622 | 0.129763 | 1.06 | 0.523356 | 0.646947 | 1.805 |
| 0.072432 | 0.259429 | 1.06 | 0.557953 | 0.64824 | 1.861 |
| 0.108639 | 0.388999 | 1.06 | 0.59263 | 0.649892 | 1.916 |
| 0.149979 | 0.503644 | 1.095 | 0.627326 | 0.65187 | 1.968 |
| 0.191997 | 0.540791 | 1.196 | 0.662039 | 0.654116 | 2.019 |
| 0.239394 | 0.567164 | 1.304 | 0.696764 | 0.656585 | 2.067 |
| 0.281228 | 0.585517 | 1.391 | 0.731501 | 0.659242 | 2.114 |
| 0.315223 | 0.599296 | 1.455 | 0.766146 | 0.661967 | 2.159 |
| 0.349286 | 0.612493 | 1.515 | 0.805358 | 0.648501 | 2.236 |
| 0.38338 | 0.625181 | 1.571 | 0.840196 | 0.65136 | 2.279 |
| 0.417458 | 0.637326 | 1.624 | 0.842114 | 0.528661 | 2.532 |

*Fuente: ETABS*

- **Determinación de la ductilidad de la estructura - MODELO 1.**

  - Ductilidad.

*En la ilustración 140*, se muestra el pórtico sísmico SMF 4 conectado mediante el arquetipo RBS-1.

*Tabla 142. Curva PUSH-OVER Modelo 1*

| Curva PUSH-OVER Modelo 1 | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Step | Monitored Displ | Base Force | ROTULAS PLASTICAS | | | | |
| | m | tonf | A-IO | IO-LS | LS-CP | > CP | Total |
| 0 | 0.000 | 0.000 | 126 | 0 | 0 | 0 | 126 |
| 1 | 0.050 | 59.478 | 126 | 0 | 0 | 0 | 126 |
| 2 | 0.100 | 118.902 | 126 | 0 | 0 | 0 | 126 |
| 3 | 0.150 | 178.273 | 126 | 0 | 0 | 0 | 126 |
| 4 | 0.208 | 227.967 | 126 | 0 | 0 | 0 | 126 |
| 5 | 0.266 | 241.020 | 126 | 0 | 0 | 0 | 126 |
| 6 | 0.332 | 249.725 | 126 | 0 | 0 | 0 | 126 |
| 7 | 0.394 | 254.819 | 126 | 0 | 0 | 0 | 126 |
| 8 | 0.444 | 258.743 | 122 | 4 | 0 | 0 | 126 |
| 9 | 0.494 | 262.722 | 111 | 15 | 0 | 0 | 126 |
| 10 | 0.544 | 266.697 | 98 | 28 | 0 | 0 | 126 |
| 11 | 0.594 | 270.574 | 94 | 32 | 0 | 0 | 126 |
| 12 | 0.647 | 274.163 | 84 | 42 | 0 | 0 | 126 |
| 13 | 0.697 | 276.138 | 78 | 48 | 0 | 0 | 126 |
| 14 | 0.747 | 278.113 | 78 | 48 | 0 | 0 | 126 |
| 15 | 0.797 | 280.030 | 78 | 45 | 3 | 0 | 126 |
| 16 | 0.847 | 282.003 | 77 | 39 | 10 | 0 | 126 |
| 17 | 0.897 | 283.974 | 69 | 37 | 20 | 0 | 126 |
| 18 | 0.947 | 285.945 | 69 | 29 | 28 | 0 | 126 |
| 19 | 0.997 | 287.915 | 66 | 28 | 32 | 0 | 126 |
| 20 | 1.047 | 289.884 | 65 | 28 | 31 | 2 | 126 |
| 21 | 1.097 | 291.742 | 65 | 16 | 37 | 8 | 126 |
| 22 | 1.151 | 289.640 | 65 | 15 | 29 | 17 | 126 |
| 23 | 1.201 | 291.456 | 65 | 13 | 21 | 27 | 126 |
| 24 | 1.204 | 240.444 | 65 | 7 | 26 | 28 | 126 |

*Fuente: ETABS*

La ductilidad de la estructura se calcula dividiendo la deformación ultima del nudo de control $(\delta_u)$ sobre la deformación de plastificación $(\delta_y)$, donde la rigidez de la estructura cambia de pendiente, como se puede verificar en el caso del modelo 1, estos puntos se encuentra en el step 4 del espectro de capacidad, así como la primera rotula plástica se da en el step 8, cuando la estructura tiene una deformación lateral de $\delta = 44\ cm$.

$$\mu = \frac{\delta_u}{\delta_y} = \frac{1.201167}{0.208169} = 5.77 \qquad \frac{\mu}{R} = \frac{5.77}{6.30} = 91.58\%$$

En este caso el factor de ductilidad $\mu$ se asemeja al factor de reducción del coeficiente sísmico $R = 6.3$, se asemeja a la ductilidad que desempeña el sistema en un 91.74. Por lo que la normativa ecuatoriana NEC-15 propone un factor elevado de R = 8 para sistemas especiales a momento SMF, siendo conservador y aceptable el factor escogido de la normativa colombiana NSR-10.

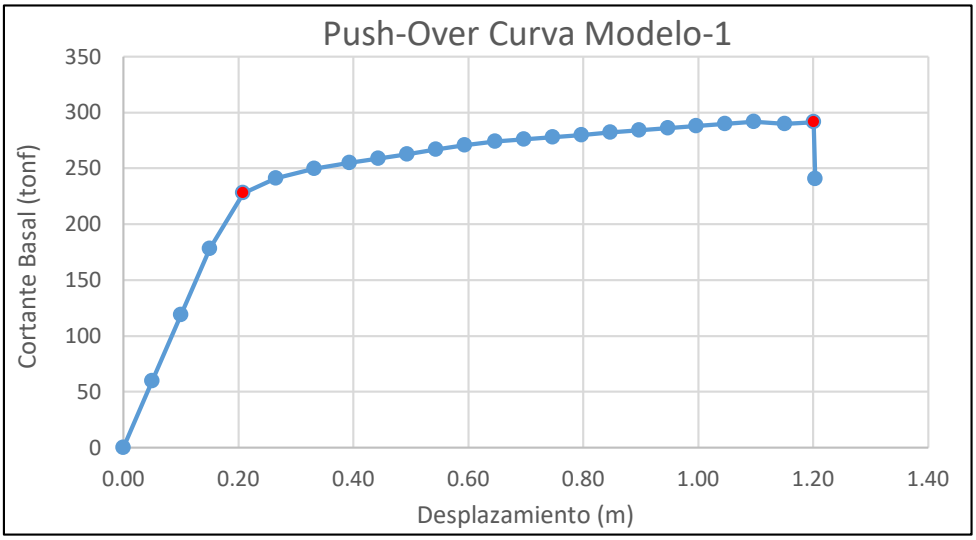



*Ilustración 146. Curvas de capacidad PUSH OVER - Modelo 1*
*Fuente: Elaboración Propia*

- Punto de desempeño (FEMA 440 – ATC-40).

*Tabla 143. Puntos de desempeño Modelo 1*

| PUNTOS DESEMPEÑO | | |
|---|---|---|
| **ESPECTRO** | Δ (m) | V (ton) |
| **CUENCA** | 0.166 | 192.221 |
| **QUITO D** | 0.274 | 242.105 |
| **QUITO E** | 0.602 | 271.135 |
| **PEDERNALES** | 0.968 | 286.779 |

*Fuente: Elaboración Propia*

*Tabla 144. Punto de desempeño FEMA 440 – ATC 40 (Linealización equivalente) para Modelo 1*

| FEMA 440 (Linealización equivalente) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Steep** | **Sd** | **Sa** | **Steep** | **Sd** | **Sa** |
| | **m** | **g** | | **m** | **g** |
| **0** | 0.000 | 0.000 | **13** | 0.4887 | 0.6462 |
| **1** | 0.036 | 0.130 | **14** | 0.5234 | 0.6469 |
| **2** | 0.072 | 0.259 | **15** | 0.5580 | 0.6482 |
| **3** | 0.109 | 0.389 | **16** | 0.5926 | 0.6499 |
| **4** | 0.150 | 0.504 | **17** | 0.6273 | 0.6519 |
| **5** | 0.192 | 0.541 | **18** | 0.6620 | 0.6541 |
| **6** | 0.239 | 0.567 | **19** | 0.6968 | 0.6566 |
| **7** | 0.281 | 0.586 | **20** | 0.7315 | 0.6592 |
| **8** | 0.315 | 0.599 | **21** | 0.7661 | 0.6620 |
| **9** | 0.349 | 0.612 | **22** | 0.8054 | 0.6485 |
| **10** | 0.383 | 0.625 | **23** | 0.8402 | 0.6514 |
| **11** | 0.417 | 0.637 | **24** | 0.8421 | 0.5287 |
| **12** | 0.454 | 0.646 | | | |

*Fuente: ETABS*

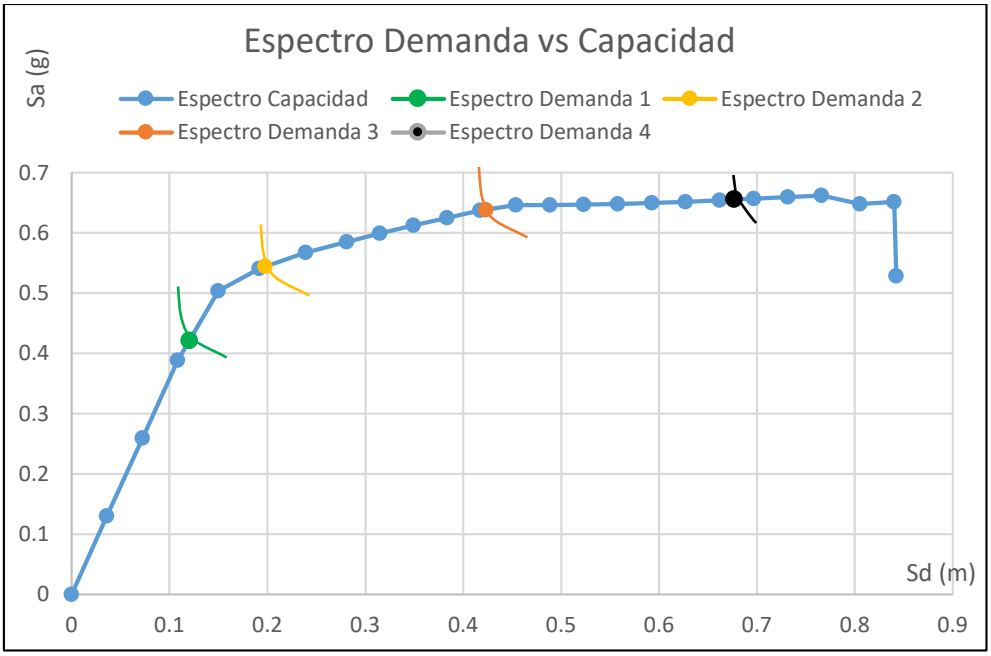



*Ilustración 147. Espectro Demanda versus Capacidad – Modelo 1*
*Fuente: Elaboración Propia*

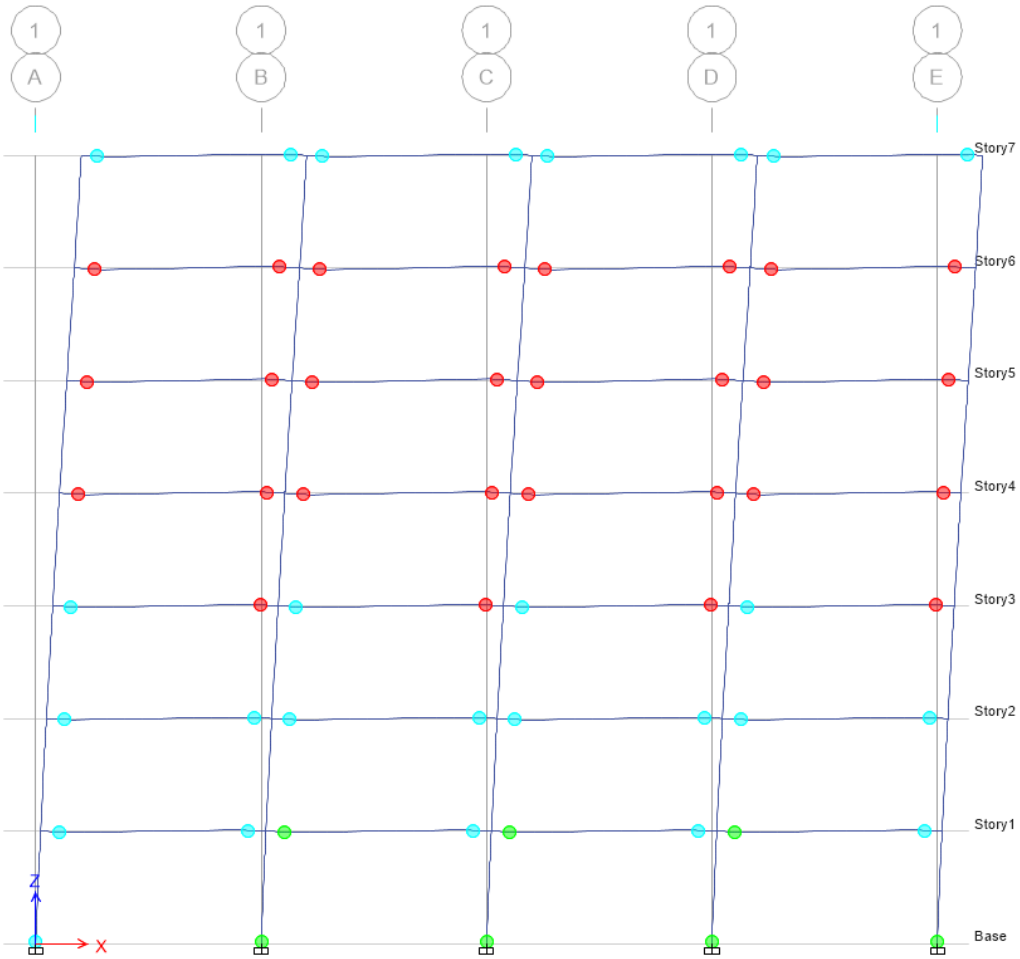



*Ilustración 148. Rotulas plásticas en el último paso (Step) del Push-over del modelo 1*
*Fuente: ETABS*

- **Determinación de la ductilidad de la estructura - MODELO 2.**

  - Ductilidad.

*Tabla 145. Curva PUSH-OVER Modelo 2*

| Curva PUSH-OVER Modelo 2 | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Step | Monitored Displ | Base Force | ROTULAS PLASTICAS | | | | |
| | m | tonf | A-IO | IO-LS | LS-CP | > CP | Total |
| 0 | 0.000 | 0.000 | 126 | 0 | 0 | 0 | 126 |
| 1 | 0.050 | 59.489 | 126 | 0 | 0 | 0 | 126 |
| 2 | 0.100 | 118.925 | 126 | 0 | 0 | 0 | 126 |
| 3 | 0.150 | 178.307 | 126 | 0 | 0 | 0 | 126 |
| 4 | 0.202 | 234.688 | 126 | 0 | 0 | 0 | 126 |
| 5 | 0.271 | 256.957 | 126 | 0 | 0 | 0 | 126 |
| 6 | 0.324 | 266.860 | 126 | 0 | 0 | 0 | 126 |
| 7 | 0.376 | 273.876 | 126 | 0 | 0 | 0 | 126 |
| 8 | 0.441 | 280.203 | 126 | 0 | 0 | 0 | 126 |
| 9 | 0.497 | 285.415 | 117 | 9 | 0 | 0 | 126 |
| 10 | 0.576 | 290.204 | 95 | 31 | 0 | 0 | 126 |
| 11 | 0.630 | 268.515 | 86 | 40 | 0 | 0 | 126 |
| 12 | 0.644 | 217.272 | 78 | 48 | 0 | 0 | 126 |

*Fuente: ETABS*

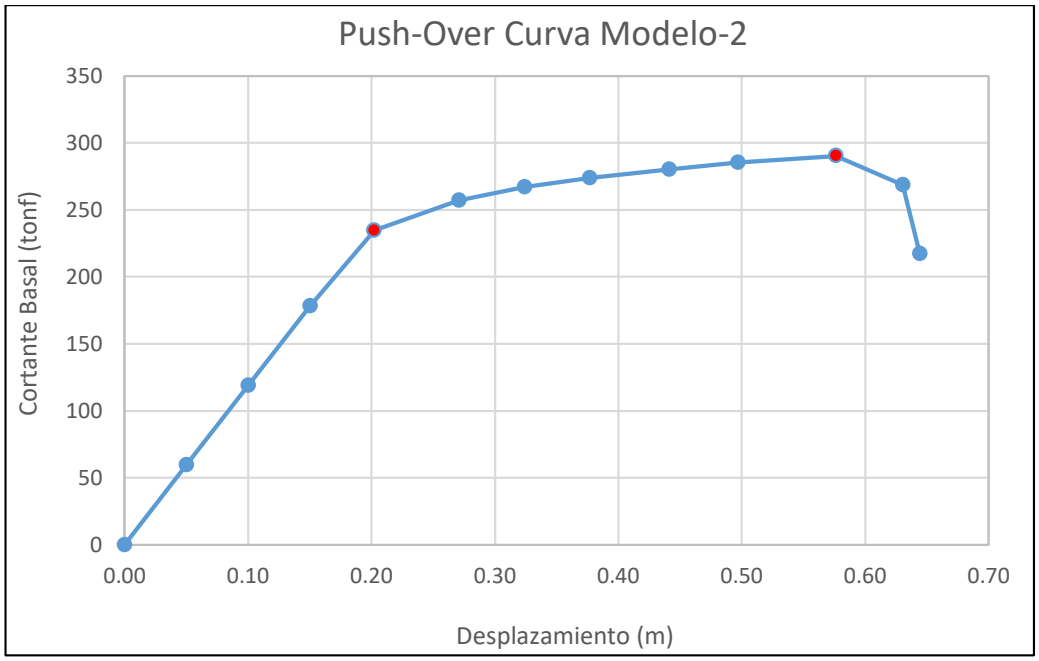



*Ilustración 149. Curvas de capacidad PUSH OVER - Modelo 2*
*Fuente: Elaboración Propia*

$$\mu = \frac{\delta_u}{\delta_y} = \frac{0.57}{0.15} = 3.8 \qquad \frac{\mu}{R} = \frac{3.8}{6.30} = 60.31\%$$

- Punto de desempeño (FEMA 440 – ATC-40).

*Tabla 146. Puntos de desempeño Modelo 2*

| PUNTOS DESEMPEÑO | | |
|---|---|---|
| **ESPECTRO** | Δ (m) | V (ton) |
| **CUENCA** | 0.166 | 195.899 |
| **QUITO E** | 0.518 | 286.688 |

*Fuente: Elaboración Propia*

*Tabla 147. Punto de desempeño FEMA 440 – ATC 40 (Linealización equivalente) para Modelo 2*

| FEMA 440 (Linealización equivalente) | | | |
|---|---|---|---|
| **Steep** | **Sd** | **Sa** | **Period** |
| | **m** | **g** | **seg** |
| **0** | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| **1** | 0.036 | 0.130 | 1.060 |
| **2** | 0.072 | 0.259 | 1.060 |
| **3** | 0.109 | 0.389 | 1.060 |
| **4** | 0.147 | 0.512 | 1.075 |
| **5** | 0.199 | 0.564 | 1.194 |
| **6** | 0.240 | 0.588 | 1.281 |
| **7** | 0.277 | 0.608 | 1.354 |
| **8** | 0.321 | 0.629 | 1.433 |
| **9** | 0.359 | 0.646 | 1.495 |
| **10** | 0.414 | 0.654 | 1.597 |
| **11** | 0.447 | 0.617 | 1.708 |

*Fuente: ETABS*

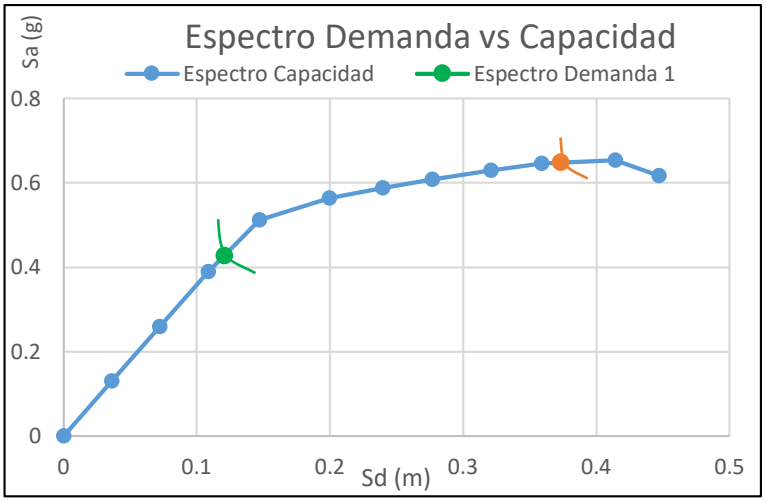



*Ilustración 150. Espectro Demanda versus Capacidad – Modelo 2*
*Fuente: Elaboración Propia*

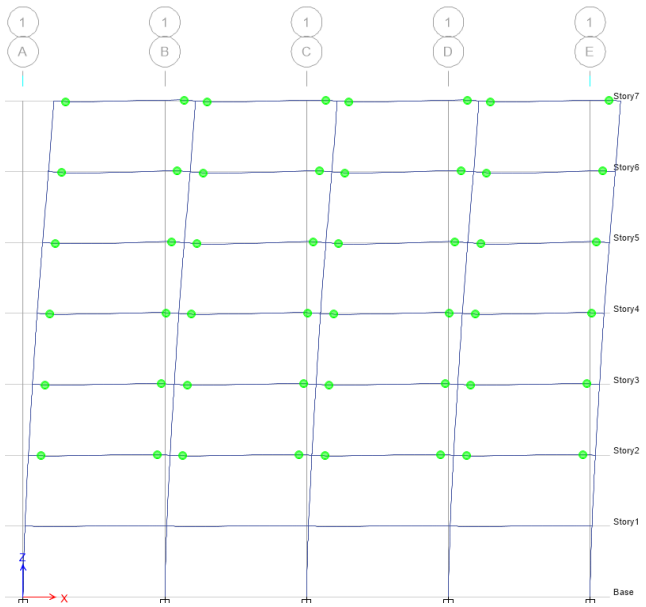



*Ilustración 151. Rotulas plásticas en el último paso (Step) del Push-over del modelo 2*
*Fuente: ETABS*

- **Determinación de la ductilidad de la estructura - MODELO 3.**

  - Ductilidad.

*Tabla 148. Cortante basal versus desplazamiento monitoreado - Modelo 3*

| Base Shear vs Monitored Displacement | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Step | Monitored Displ | Base Force | ROTULAS PLASTICAS | | | | |
| | m | tonf | A-IO | IO-LS | LS-CP | > CP | Total |
| 0 | 0.000 | 0.000 | 126 | 0 | 0 | 0 | 126 |
| 1 | 0.050 | 59.403 | 126 | 0 | 0 | 0 | 126 |
| 2 | 0.100 | 118.753 | 126 | 0 | 0 | 0 | 126 |
| 3 | 0.150 | 178.050 | 126 | 0 | 0 | 0 | 126 |
| 4 | 0.203 | 231.684 | 126 | 0 | 0 | 0 | 126 |
| 5 | 0.257 | 254.389 | 126 | 0 | 0 | 0 | 126 |
| 6 | 0.339 | 267.009 | 126 | 0 | 0 | 0 | 126 |
| 7 | 0.391 | 273.715 | 126 | 0 | 0 | 0 | 126 |
| 8 | 0.461 | 280.700 | 114 | 12 | 0 | 0 | 126 |
| 9 | 0.523 | 285.071 | 94 | 32 | 0 | 0 | 126 |
| 10 | 0.617 | 288.700 | 86 | 40 | 0 | 0 | 126 |
| 11 | 0.667 | 290.066 | 86 | 40 | 0 | 0 | 126 |
| 12 | 0.717 | 291.431 | 82 | 42 | 2 | 0 | 126 |
| 13 | 0.767 | 292.795 | 76 | 41 | 9 | 0 | 126 |
| 14 | 0.817 | 294.160 | 69 | 34 | 23 | 0 | 126 |
| 15 | 0.867 | 295.524 | 69 | 28 | 29 | 0 | 126 |
| 16 | 0.917 | 296.888 | 66 | 23 | 37 | 0 | 126 |
| 17 | 0.967 | 298.251 | 65 | 21 | 32 | 8 | 126 |
| 18 | 1.017 | 299.575 | 65 | 21 | 21 | 19 | 126 |
| 19 | 1.070 | 296.640 | 65 | 19 | 13 | 29 | 126 |
| 20 | 1.125 | 298.098 | 65 | 12 | 16 | 33 | 126 |
| 21 | 1.124 | 234.779 | 65 | 8 | 13 | 40 | 126 |

*Fuente: ETABS*

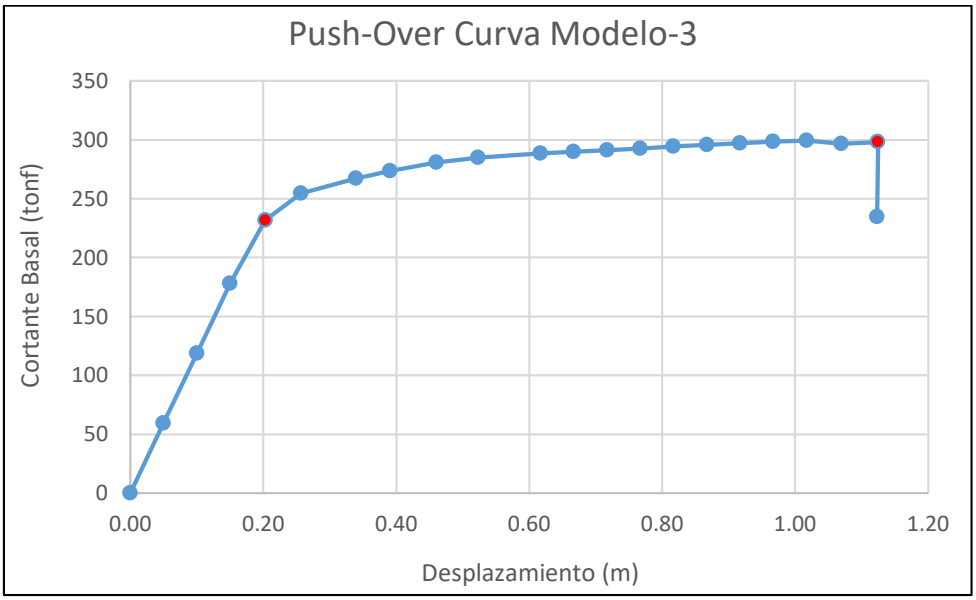



*Ilustración 152. Curvas de capacidad PUSH OVER - Modelo 3*
*Fuente: Elaboración Propia*

$$\mu = \frac{\delta_u}{\delta_y} = \frac{1.124706}{0.203001} = 5.54 \qquad \frac{\mu}{R} = \frac{5.54}{6.30} = 87.93\%$$

- Punto de desempeño (FEMA 440 – ATC-40).

*Tabla 149. Puntos de desempeño Modelo 3*

| PUNTOS DESEMPEÑO | | |
|---|---|---|
| **ESPECTRO** | Δ (m) | V (ton) |
| **CUENCA** | 0.167 | 195.026 |
| **QUITO E** | 0.489 | 282.706 |
| **PEDERNALES** | 0.955 | 297.918 |

*Fuente: Elaboración Propia*

*Tabla 150. Punto de desempeño FEMA 440 – ATC 40 (Linealización equivalente) para Modelo 3*

| FEMA 440 (Linealización equivalente) | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Steep** | **Sd** | **Sa** | **Period** | **Steep** | **Sd** | **Sa** | **Period** |
| | **m** | **g** | **seg** | | **m** | **g** | **seg** |
| **0** | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 10 | 0.441 | 0.661 | 1.640 |
| **1** | 0.036 | 0.130 | 1.061 | 11 | 0.476 | 0.661 | 1.703 |
| **2** | 0.072 | 0.259 | 1.061 | 12 | 0.511 | 0.661 | 1.764 |
| **3** | 0.109 | 0.389 | 1.061 | 13 | 0.546 | 0.662 | 1.821 |
| **4** | 0.146 | 0.510 | 1.075 | 14 | 0.581 | 0.663 | 1.877 |
| **5** | 0.185 | 0.566 | 1.148 | 15 | 0.615 | 0.665 | 1.931 |
| **6** | 0.246 | 0.602 | 1.283 | 16 | 0.650 | 0.666 | 1.982 |
| **7** | 0.284 | 0.619 | 1.360 | 17 | 0.685 | 0.668 | 2.032 |
| **8** | 0.334 | 0.639 | 1.450 | 18 | 0.720 | 0.670 | 2.080 |
| **9** | 0.377 | 0.655 | 1.522 | 19 | 0.758 | 0.655 | 2.159 |

*Fuente: ETABS*

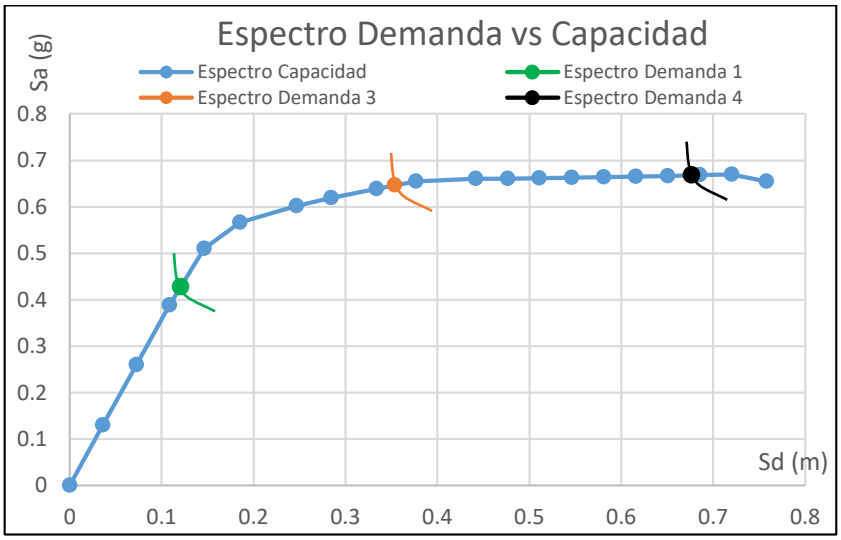



*Ilustración 153. Espectro Demanda versus Capacidad – Modelo 3*
*Fuente: Elaboración Propia*

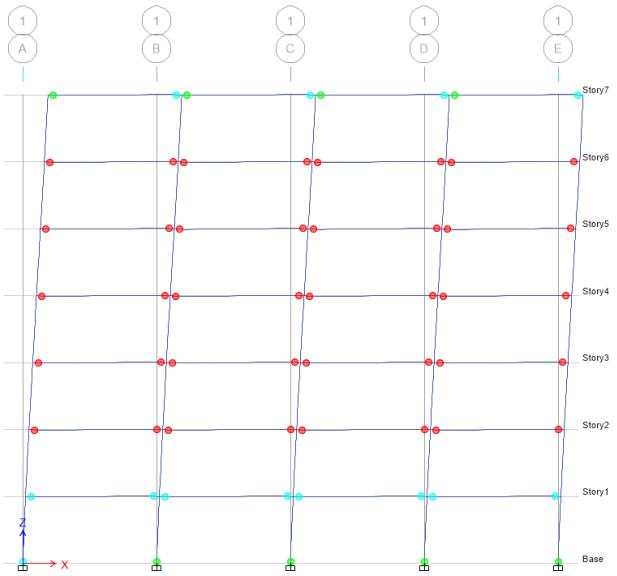



*Ilustración 154. Rotulas plásticas en el último paso (Step) del Push-over del modelo 3*
*Fuente: ETABS*

- **Determinación de la ductilidad de la estructura - MODELO 4.**

  - Ductilidad.

*Tabla 151. Cortante basal versus desplazamiento monitoreado - Modelo 4*

| Base Shear vs Monitored Displacement | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Step | Monitored Displ | Base Force | ROTULAS PLASTICAS | | | | |
| | m | tonf | A-IO | IO-LS | LS-CP | > CP | Total |
| 0 | 0.000 | 0.000 | 126 | 0 | 0 | 0 | 126 |
| 1 | 0.050 | 59.403 | 126 | 0 | 0 | 0 | 126 |
| 2 | 0.100 | 118.753 | 126 | 0 | 0 | 0 | 126 |
| 3 | 0.166 | 194.720 | 126 | 0 | 0 | 0 | 126 |
| 4 | 0.217 | 237.469 | 126 | 0 | 0 | 0 | 126 |
| 5 | 0.279 | 257.046 | 126 | 0 | 0 | 0 | 126 |
| 6 | 0.332 | 265.138 | 126 | 0 | 0 | 0 | 126 |
| 7 | 0.397 | 272.253 | 122 | 4 | 0 | 0 | 126 |
| 8 | 0.460 | 276.900 | 112 | 14 | 0 | 0 | 126 |
| 9 | 0.510 | 280.399 | 102 | 24 | 0 | 0 | 126 |
| 10 | 0.560 | 283.937 | 92 | 34 | 0 | 0 | 126 |
| 11 | 0.616 | 287.216 | 88 | 38 | 0 | 0 | 126 |
| 12 | 0.666 | 288.629 | 82 | 44 | 0 | 0 | 126 |
| 13 | 0.716 | 290.064 | 80 | 42 | 4 | 0 | 126 |
| 14 | 0.766 | 291.498 | 77 | 37 | 12 | 0 | 126 |
| 15 | 0.816 | 292.931 | 73 | 29 | 24 | 0 | 126 |
| 16 | 0.866 | 294.365 | 69 | 25 | 32 | 0 | 126 |
| 17 | 0.916 | 295.798 | 69 | 22 | 31 | 4 | 126 |
| 18 | 0.966 | 297.230 | 66 | 21 | 31 | 8 | 126 |
| 19 | 1.016 | 298.663 | 65 | 20 | 17 | 24 | 126 |
| 20 | 1.066 | 300.050 | 65 | 17 | 16 | 28 | 126 |
| 21 | 1.155 | 298.056 | 65 | 8 | 16 | 37 | 126 |
| 22 | 1.206 | 275.237 | 65 | 4 | 16 | 41 | 126 |

*Fuente: ETABS*

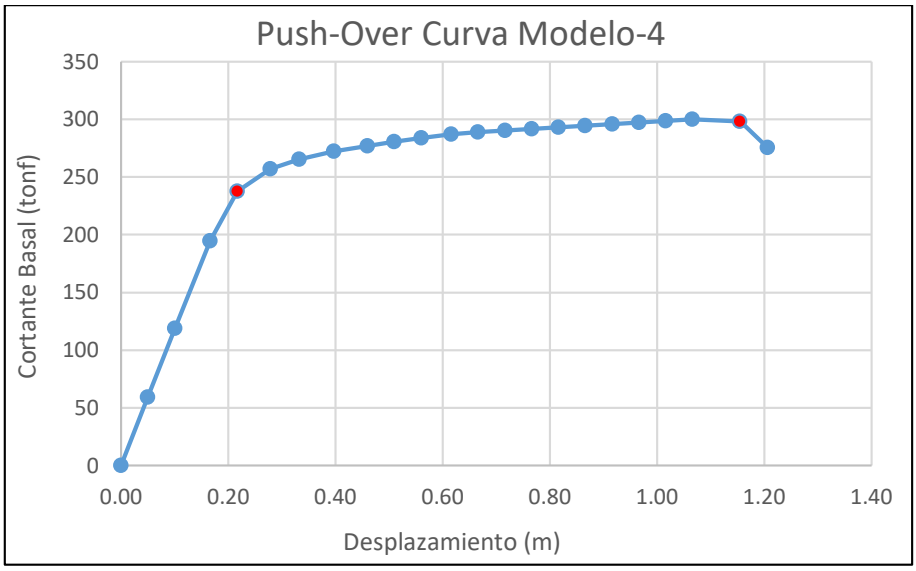



*Ilustración 155. Curvas de capacidad PUSH OVER - Modelo 4*
*Fuente: Elaboración Propia*

$$\mu = \frac{\delta_u}{\delta_y} = \frac{1.155198}{0.217097} = 5.32 \qquad \frac{\mu}{R} = \frac{5.32}{6.30} = 84.44\%$$

- Punto de desempeño (FEMA 440 – ATC-40).

*Tabla 152. Puntos de desempeño Modelo 4*

| PUNTOS DESEMPEÑO | | |
|---|---|---|
| **ESPECTRO** | Δ (m) | V (ton) |
| **CUENCA** | 0.157 | 184.171 |
| **QUITO E** | 0.489 | 278.906 |
| **PEDERNALES** | 0.991 | 297.937 |

*Fuente: Elaboración Propia*

*Tabla 153. Punto de desempeño FEMA 440 – ATC 40 (Linealización equivalente) para Modelo 4*

| FEMA 440 (Linealización equivalente) | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Steep** | **Sd** | **Sa** | **Period** | **Steep** | **Sd** | **Sa** | **Period** |
| | **m** | **g** | **seg** | | **m** | **g** | **seg** |
| **0** | 0.000 | 0.000 | 0.000 | **12** | 0.470 | 0.671 | 1.680 |
| **1** | 0.036 | 0.130 | 1.061 | **13** | 0.505 | 0.670 | 1.742 |
| **2** | 0.072 | 0.259 | 1.061 | **14** | 0.540 | 0.670 | 1.802 |
| **3** | 0.120 | 0.427 | 1.066 | **15** | 0.575 | 0.670 | 1.859 |
| **4** | 0.155 | 0.528 | 1.088 | **16** | 0.610 | 0.670 | 1.914 |
| **5** | 0.200 | 0.582 | 1.175 | **17** | 0.645 | 0.671 | 1.967 |
| **6** | 0.239 | 0.604 | 1.261 | **18** | 0.680 | 0.672 | 2.019 |
| **7** | 0.285 | 0.626 | 1.354 | **19** | 0.715 | 0.673 | 2.068 |
| **8** | 0.328 | 0.642 | 1.435 | **20** | 0.750 | 0.675 | 2.116 |
| **9** | 0.362 | 0.653 | 1.494 | **21** | 0.810 | 0.661 | 2.221 |
| **10** | 0.397 | 0.665 | 1.550 | **22** | 0.848 | 0.592 | 2.401 |
| **11** | 0.435 | 0.673 | 1.614 | | | | |

*Fuente: ETABS*

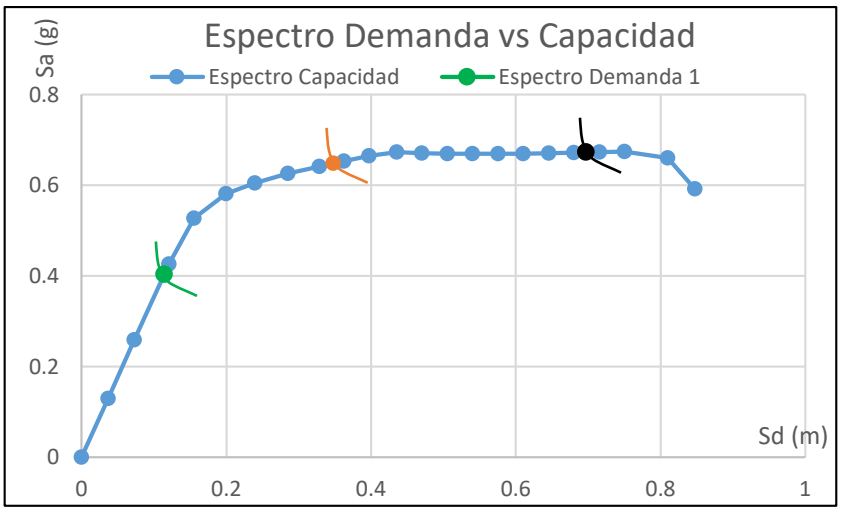



*Ilustración 156. Espectro Demanda versus Capacidad – Modelo 4*
*Fuente: Elaboración Propia*

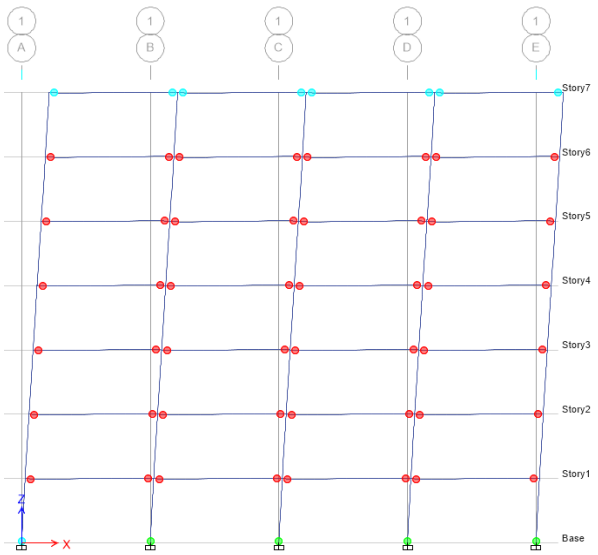



*Ilustración 157. Rotulas plásticas en el último paso (Step) del Push-over del modelo 4*
*Fuente: ETABS*

- **Determinación de la ductilidad de la estructura - MODELO 5**

  - Ductilidad.

*Tabla 154. Cortante basal versus desplazamiento monitoreado - Modelo 5*

| Base Shear vs Monitored Displacement | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Step | Monitored Displ | Base Force | ROTULAS PLASTICAS | | | | |
| | m | tonf | A-IO | IO-LS | LS-CP | > CP | Total |
| 0 | 0.000 | 0.000 | 126 | 0 | 0 | 0 | 126 |
| 1 | 0.050 | 59.403 | 126 | 0 | 0 | 0 | 126 |
| 2 | 0.100 | 118.753 | 126 | 0 | 0 | 0 | 126 |
| 3 | 0.151 | 177.549 | 126 | 0 | 0 | 0 | 126 |
| 4 | 0.202 | 227.705 | 126 | 0 | 0 | 0 | 126 |
| 5 | 0.253 | 256.205 | 126 | 0 | 0 | 0 | 126 |
| 6 | 0.319 | 248.967 | 122 | 4 | 0 | 0 | 126 |
| 7 | 0.299 | 199.269 | 119 | 7 | 0 | 0 | 126 |

*Fuente: ETABS*

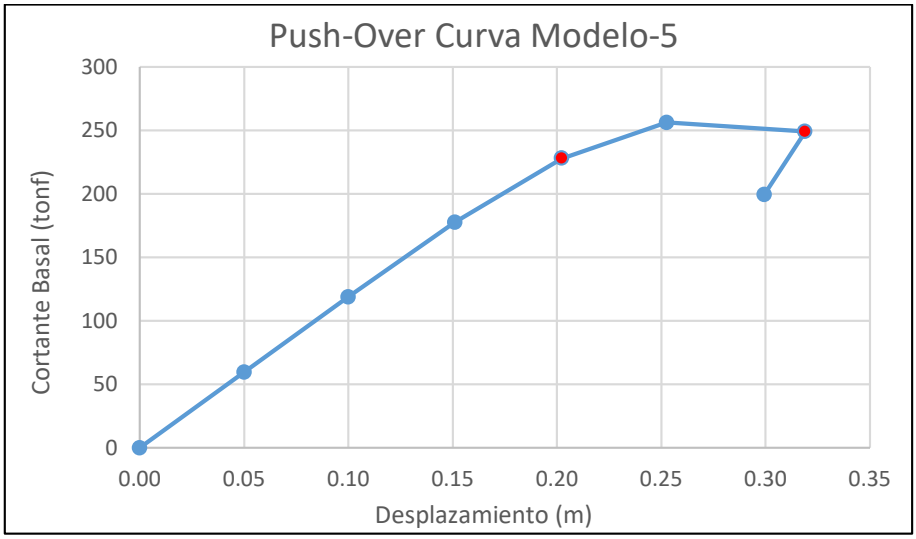



*Ilustración 158. Curvas de capacidad PUSH OVER - Modelo 5*
*Fuente: Elaboración Propia*

$$\mu = \frac{\delta_u}{\delta_y} = \frac{0.3190}{0.2023} = 1.57 \qquad \frac{\mu}{R} = \frac{1.57}{6.30} = 24.92\%$$

  - Punto de desempeño (FEMA 440 – ATC-40).

*Tabla 155. Puntos de desempeño Modelo 5*

| PUNTOS DESEMPEÑO | | |
|---|---|---|
| ESPECTRO | Δ (m) | V (ton) |
| CUENCA | 0.152 | 178.645 |
| QUITO D | 0.283 | 252.955 |

*Fuente: Elaboración Propia*

*Tabla 156. Punto de desempeño FEMA 440 – ATC 40 (Linealización equivalente) para Modelo 5*

| FEMA 440 (Linealización equivalente) | | | |
|---|---|---|---|
| Steep | Sd | Sa | Period |
| | m | g | seg |
| 0 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 1 | 0.036 | 0.130 | 1.061 |
| 2 | 0.072 | 0.259 | 1.061 |
| 3 | 0.109 | 0.388 | 1.064 |
| 4 | 0.145 | 0.504 | 1.077 |
| 5 | 0.181 | 0.572 | 1.129 |
| 6 | 0.228 | 0.576 | 1.263 |

*Fuente: ETABS*

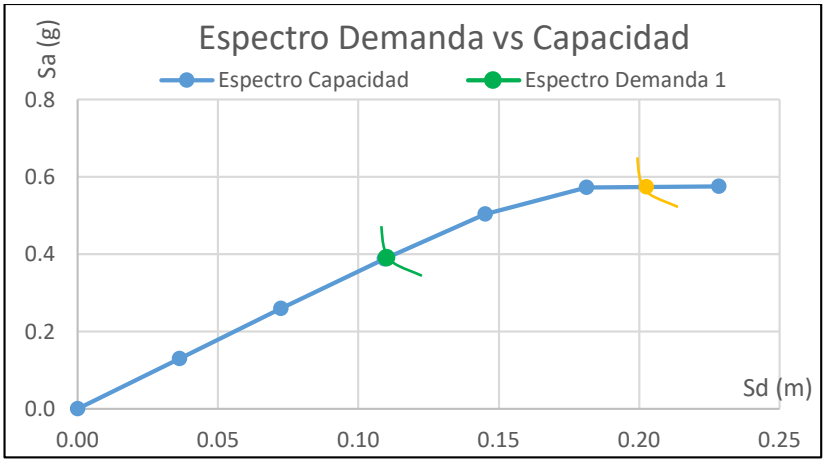



*Ilustración 159. Espectro Demanda versus Capacidad – Modelo 5*
*Fuente: Elaboración Propia*

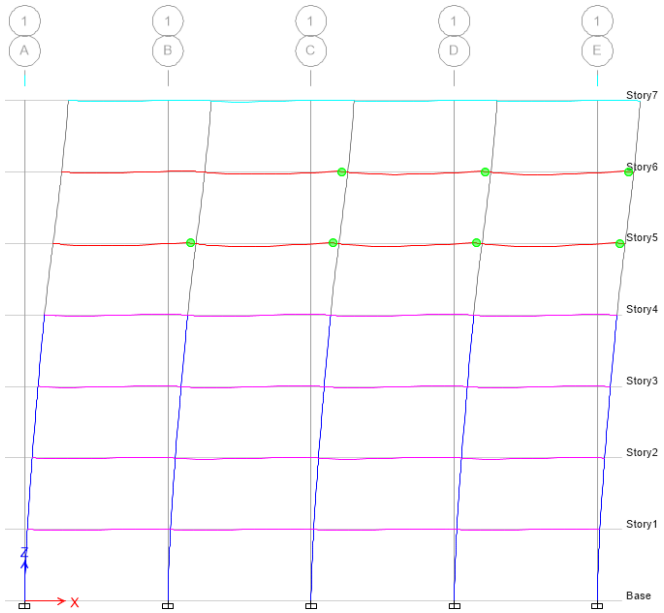



*Ilustración 160. Rotulas plásticas en el último paso (Step) del Push-over del modelo 5*
*Fuente: ETABS*

- **Determinación de la ductilidad de la estructura - MODELO 6.**

  - Ductilidad.

*Tabla 157. Cortante basal versus desplazamiento monitoreado - Modelo 6*

| Base Shear vs Monitored Displacement | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Step | Monitored Displ | Base Force | ROTULAS PLASTICAS | | | | |
| | m | tonf | A-IO | IO-LS | LS-CP | > CP | Total |
| 0 | 0.000 | 0.000 | 126 | 0 | 0 | 0 | 126 |
| 1 | 0.050 | 59.523 | 126 | 0 | 0 | 0 | 126 |
| 2 | 0.100 | 118.993 | 126 | 0 | 0 | 0 | 126 |
| 3 | 0.150 | 178.410 | 126 | 0 | 0 | 0 | 126 |
| 4 | 0.204 | 237.933 | 126 | 0 | 0 | 0 | 126 |
| 5 | 0.255 | 280.969 | 126 | 0 | 0 | 0 | 126 |
| 6 | 0.320 | 317.268 | 114 | 12 | 0 | 0 | 126 |
| 7 | 0.382 | 341.462 | 107 | 19 | 0 | 0 | 126 |
| 8 | 0.404 | 331.150 | 100 | 22 | 0 | 4 | 126 |

*Fuente: ETABS*

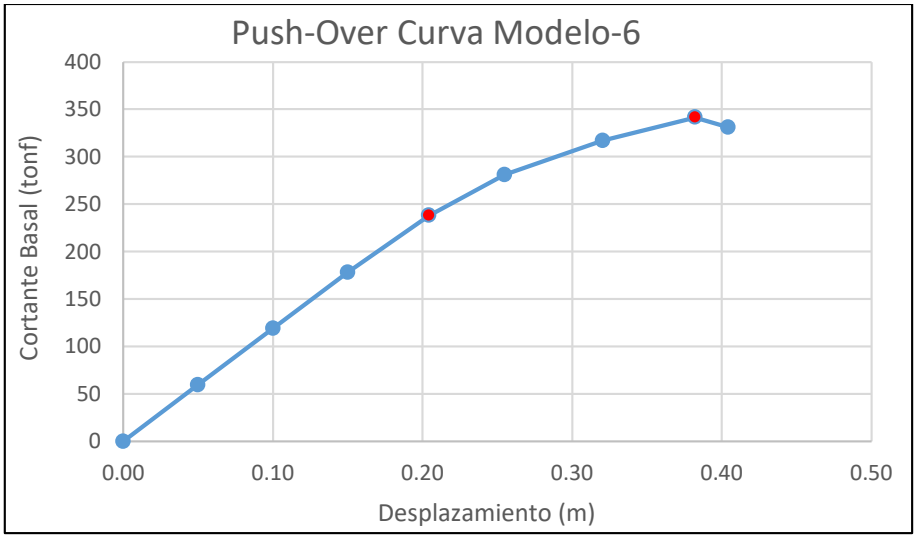



*Ilustración 161. Curvas de capacidad PUSH OVER - Modelo 6*
*Fuente: Elaboración Propia*

$$\mu = \frac{\delta_u}{\delta_y} = \frac{0.3822}{0.2043} = 1.87 \qquad \frac{\mu}{R} = \frac{1.87}{6.30} = 29.68\%$$

- Punto de desempeño (FEMA 440 – ATC-40).

*Tabla 158. Puntos de desempeño Modelo 6*

| PUNTOS DESEMPEÑO | | |
|---|---|---|
| **ESPECTRO** | Δ (m) | V (ton) |
| **CUENCA** | 0.167 | 197.433 |
| **QUITO D** | 0.310 | 311.329 |

*Fuente: Elaboración Propia*

*Tabla 159. Punto de desempeño FEMA 440 – ATC 40 (Linealización equivalente) para Modelo 6*

| FEMA 440 (Linealización equivalente) | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Steep** | **Sd** | **Sa** | **Period** | **Steep** | **Sd** | **Sa** | **Period** |
| | **m** | **g** | **seg** | | **m** | **g** | **seg** |
| **0** | 0.000 | 0.000 | 0.000 | **5** | 0.182 | 0.625 | 1.083 |
| **1** | 0.036 | 0.130 | 1.060 | **6** | 0.228 | 0.715 | 1.134 |
| **2** | 0.072 | 0.260 | 1.060 | **7** | 0.272 | 0.775 | 1.189 |
| **3** | 0.109 | 0.389 | 1.060 | **8** | 0.286 | 0.763 | 1.229 |
| **4** | 0.147 | 0.522 | 1.067 | | | | |

*Fuente: ETABS*

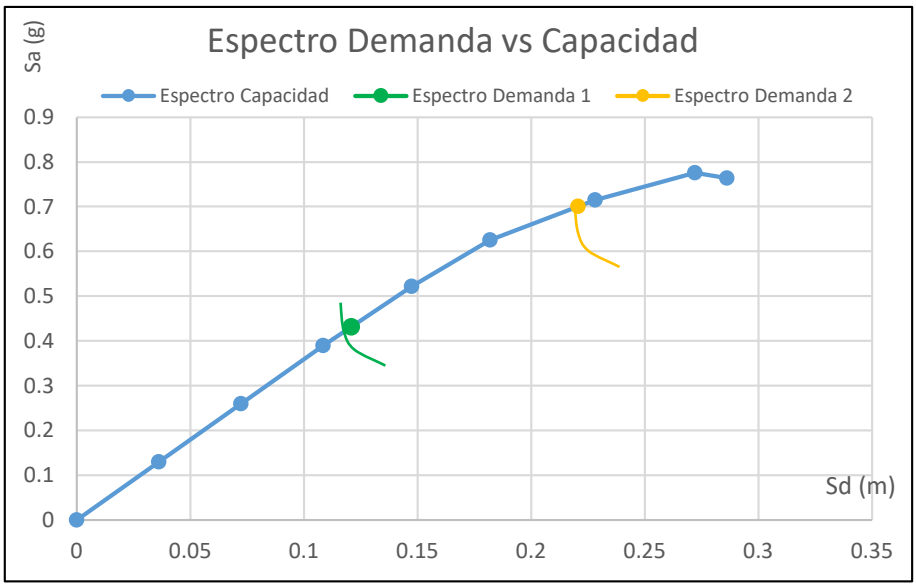



*Ilustración 162. Espectro Demanda versus Capacidad – Modelo 6*
*Fuente: Elaboración Propia*

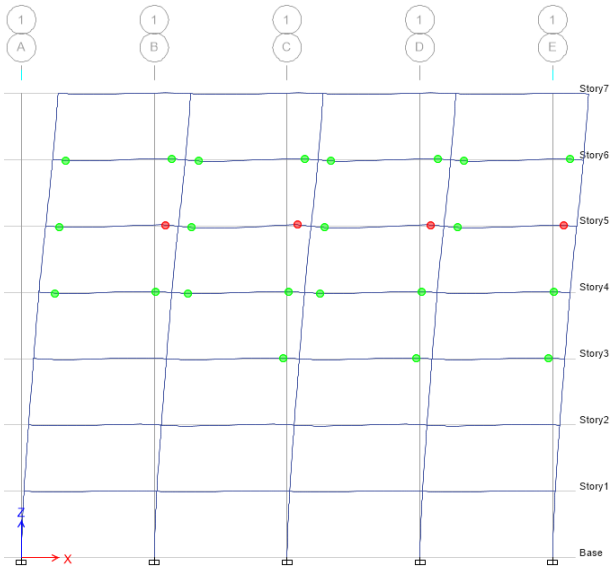



*Ilustración 163. Rotulas plásticas en el último paso (Step) del Push-over del modelo 6*
*Fuente: ETABS*

- **Determinación de la ductilidad de la estructura - MODELO 7.**

  - Ductilidad.

*Tabla 160. Cortante basal versus desplazamiento monitoreado - Modelo 7*

| Base Shear vs Monitored Displacement | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Step | Monitored Displ | Base Force | ROTULAS PLASTICAS | | | | |
| | m | tonf | A-IO | IO-LS | LS-CP | > CP | Total |
| 0 | 0.000 | 0.000 | 126 | 0 | 0 | 0 | 126 |
| 1 | 0.050 | 59.508 | 126 | 0 | 0 | 0 | 126 |
| 2 | 0.100 | 118.962 | 126 | 0 | 0 | 0 | 126 |
| 3 | 0.151 | 166.031 | 126 | 0 | 0 | 0 | 126 |
| 4 | 0.203 | 186.986 | 126 | 0 | 0 | 0 | 126 |
| 5 | 0.253 | 204.292 | 104 | 22 | 0 | 0 | 126 |
| 6 | 0.315 | 200.500 | 90 | 32 | 4 | 0 | 126 |
| 7 | 0.360 | 188.877 | 90 | 16 | 4 | 16 | 126 |

*Fuente: ETABS*

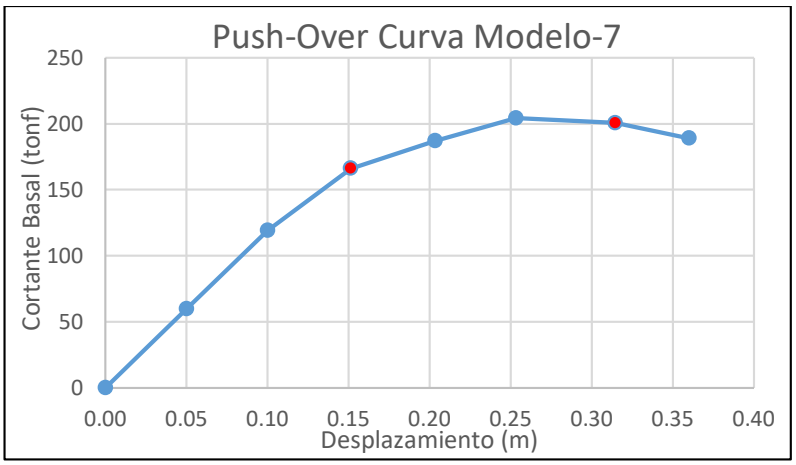



*Ilustración 164. Curvas de capacidad PUSH OVER - Modelo 6*
*Fuente: Elaboración Propia*

$$\mu = \frac{\delta_u}{\delta_y} = \frac{0.314656}{0.151359} = 2.07 \qquad \frac{\mu}{R} = \frac{2.07}{6.30} = 32.85\%$$

- Punto de desempeño (FEMA 440 – ATC-40).

*Tabla 161. Puntos de desempeño Modelo 7*

| PUNTOS DESEMPEÑO | | |
|---|---|---|
| **ESPECTRO** | Δ (m) | V (ton) |
| **CUENCA** | 0.145 | 160.576 |
| **QUITO D** | 0.267 | 203.481 |

*Fuente: Elaboración Propia*

*Tabla 162. Punto de desempeño FEMA 440 – ATC 40 (Linealización equivalente) para Modelo 7*

| FEMA 440 (Linealización equivalente) | | | |
|---|---|---|---|
| **Steep** | **Sd** | **Sa** | **Period** |
| | **m** | **g** | **seg** |
| **0** | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| **1** | 0.036 | 0.130 | 1.060 |
| **2** | 0.072 | 0.260 | 1.060 |
| **3** | 0.110 | 0.365 | 1.101 |
| **4** | 0.148 | 0.413 | 1.202 |
| **5** | 0.185 | 0.454 | 1.280 |
| **6** | 0.233 | 0.450 | 1.443 |
| **7** | 0.269 | 0.425 | 1.597 |

*Fuente: ETABS*

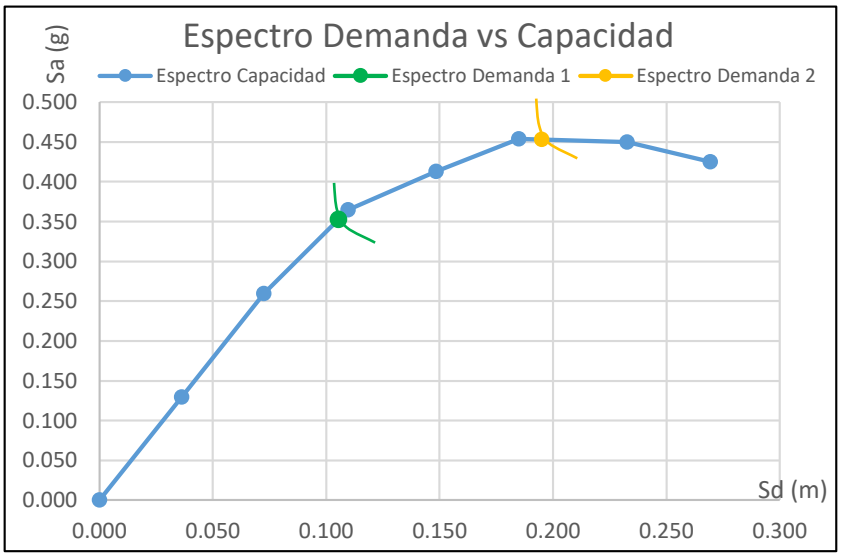



*Ilustración 165. Espectro Demanda versus Capacidad – Modelo 7*
*Fuente: Elaboración Propia*

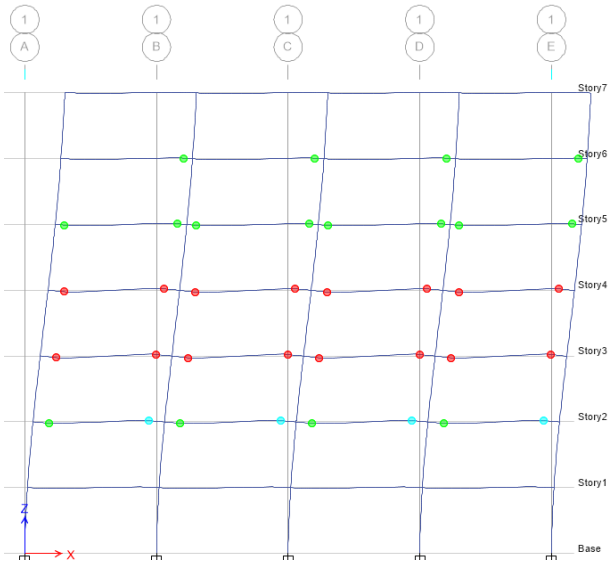



*Ilustración 166. Rotulas plásticas en el último paso (Step) del Push-over del modelo 7*
*Fuente: ETABS*

- **Determinación de la ductilidad de la estructura - MODELO 8.**

  - Ductilidad.

*Tabla 163. Cortante basal versus desplazamiento monitoreado - Modelo 8*

| Base Shear vs Monitored Displacement | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Step | Monitored Displ | Base Force | ROTULAS PLASTICAS | | | | |
| | m | tonf | A-IO | IO-LS | LS-CP | >CP | Total |
| 0 | 0.000 | 0.000 | 126 | 0 | 0 | 0 | 126 |
| 1 | 0.050 | 59.452 | 126 | 0 | 0 | 0 | 126 |
| 2 | 0.100 | 118.850 | 126 | 0 | 0 | 0 | 126 |
| 3 | 0.150 | 178.196 | 126 | 0 | 0 | 0 | 126 |
| 4 | 0.206 | 229.398 | 126 | 0 | 0 | 0 | 126 |
| 5 | 0.266 | 245.261 | 126 | 0 | 0 | 0 | 126 |
| 6 | 0.343 | 257.125 | 126 | 0 | 0 | 0 | 126 |
| 7 | 0.393 | 264.402 | 126 | 0 | 0 | 0 | 126 |
| 8 | 0.473 | 274.905 | 116 | 10 | 0 | 0 | 126 |
| 9 | 0.532 | 280.702 | 96 | 30 | 0 | 0 | 126 |
| 10 | 0.582 | 283.419 | 90 | 36 | 0 | 0 | 126 |
| 11 | 0.632 | 286.153 | 86 | 40 | 0 | 0 | 126 |
| 12 | 0.682 | 288.887 | 81 | 45 | 0 | 0 | 126 |
| 13 | 0.732 | 291.589 | 73 | 53 | 0 | 0 | 126 |
| 14 | 0.787 | 294.346 | 69 | 53 | 4 | 0 | 126 |
| 15 | 0.782 | 260.066 | 69 | 49 | 4 | 4 | 126 |

*Fuente: ETABS*

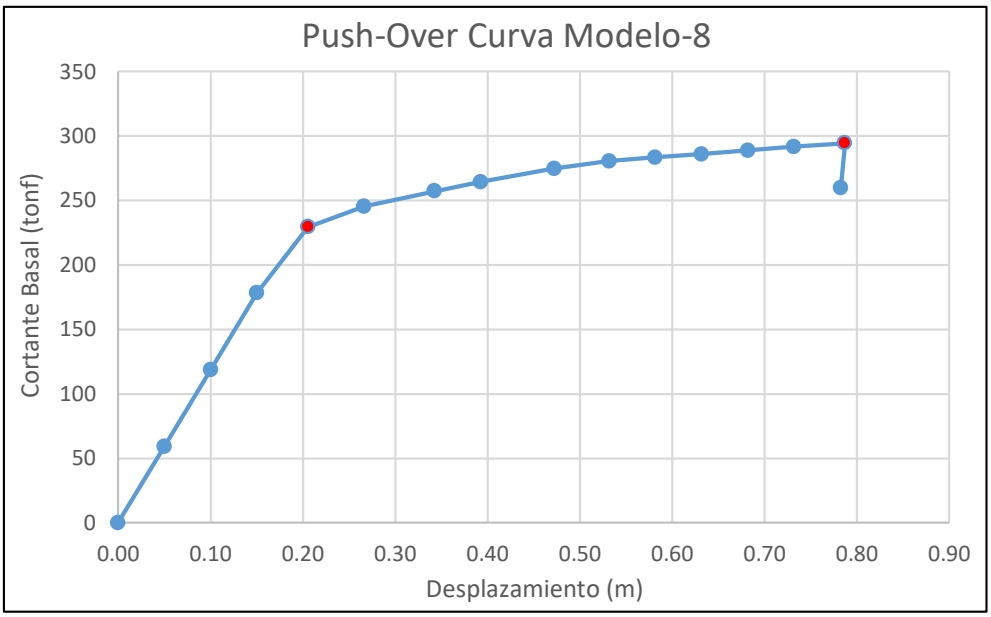



*Ilustración 167. Curvas de capacidad PUSH OVER - Modelo 8*
*Fuente: Elaboración Propia*

$$\mu = \frac{\delta_u}{\delta_y} = \frac{0.786865}{0.205595} = 3.82 \qquad \frac{\mu}{R} = \frac{3.83}{6.30} = 60.79\%$$

- Punto de desempeño (FEMA 440 – ATC-40).

*Tabla 164. Puntos de desempeño Modelo 8*

| PUNTOS DESEMPEÑO | | |
|---|---|---|
| **ESPECTRO** | Δ (m) | V (ton) |
| **CUENCA** | 0.166 | 193.115 |
| **QUITO D** | 0.272 | 246.048 |
| **QUITO E** | 0.551 | 281.763 |

*Fuente: Elaboración Propia*

*Tabla 165. Punto de desempeño FEMA 440 – ATC 40 (Linealización equivalente) para Modelo 8*

| FEMA 440 (Linealización equivalente) | | | |
|---|---|---|---|
| **Steep** | **Sd** | **Sa** | **Period** |
| | **m** | **g** | **seg** |
| **0** | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| **1** | 0.036 | 0.130 | 1.060 |
| **2** | 0.072 | 0.259 | 1.060 |
| **3** | 0.109 | 0.389 | 1.060 |
| **4** | 0.149 | 0.504 | 1.089 |
| **5** | 0.194 | 0.545 | 1.198 |
| **6** | 0.251 | 0.576 | 1.323 |
| **7** | 0.287 | 0.594 | 1.396 |
| **8** | 0.345 | 0.621 | 1.496 |
| **9** | 0.387 | 0.636 | 1.566 |
| **10** | 0.423 | 0.637 | 1.635 |
| **11** | 0.459 | 0.639 | 1.701 |
| **12** | 0.495 | 0.642 | 1.762 |
| **13** | 0.531 | 0.645 | 1.821 |
| **14** | 0.570 | 0.649 | 1.881 |

*Fuente: ETABS*

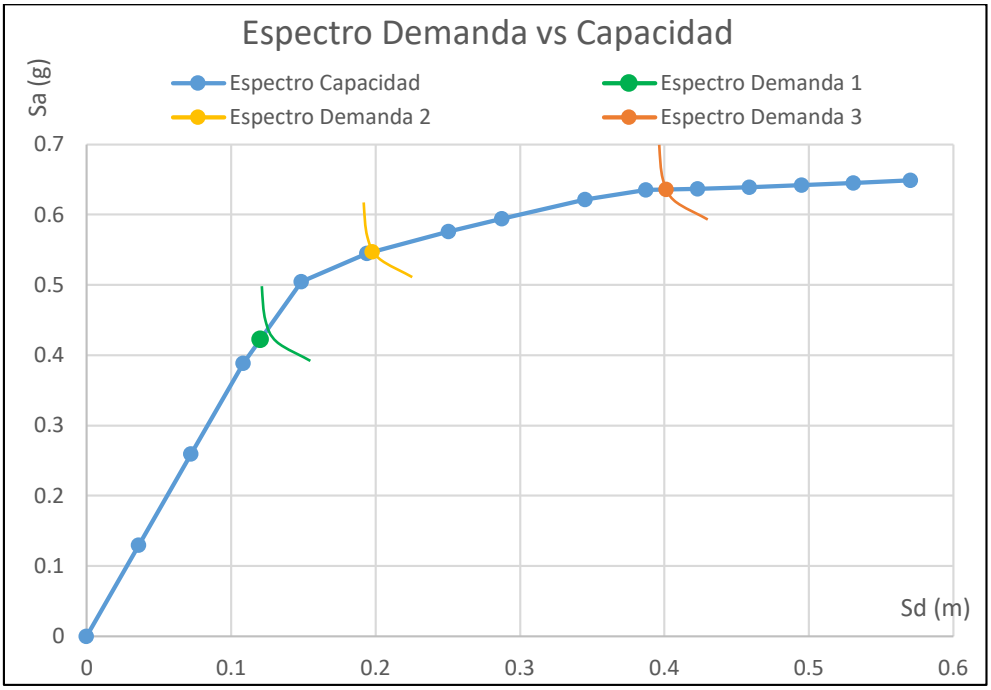



*Ilustración 168. Espectro Demanda versus Capacidad – Modelo 8*
*Fuente: Elaboración Propia*

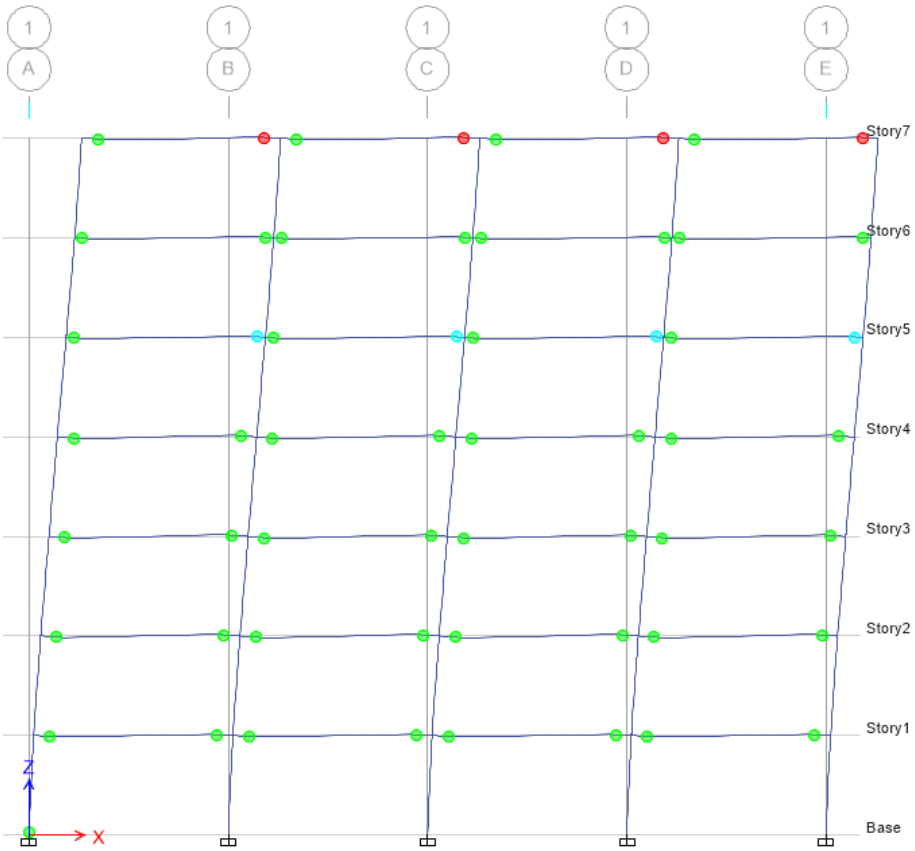



*Ilustración 169. Rotulas plásticas en el último paso (Step) del Push-over del modelo 8*
*Fuente: ETABS*

- **Determinación de la ductilidad de la estructura - 9.**

  - Ductilidad.

*Tabla 166. Cortante basal versus desplazamiento monitoreado - Modelo 9*

| Base Shear vs Monitored Displacement | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Step** | **Monitored Displ** | **Base Force** | **ROTULAS PLASTICAS** | | | | |
| | **m** | **tonf** | **A-IO** | **IO-LS** | **LS-CP** | **> CP** | **Total** |
| **0** | 0.000 | 0.000 | 126 | 0 | 0 | 0 | 126 |
| **1** | 0.050 | 59.436 | 126 | 0 | 0 | 0 | 126 |
| **2** | 0.100 | 118.818 | 126 | 0 | 0 | 0 | 126 |
| **3** | 0.150 | 178.147 | 126 | 0 | 0 | 0 | 126 |
| **4** | 0.203 | 239.177 | 126 | 0 | 0 | 0 | 126 |
| **5** | 0.254 | 264.665 | 126 | 0 | 0 | 0 | 126 |
| **6** | 0.305 | 273.910 | 126 | 0 | 0 | 0 | 126 |
| **7** | 0.362 | 281.224 | 126 | 0 | 0 | 0 | 126 |
| **8** | 0.430 | 289.091 | 124 | 2 | 0 | 0 | 126 |
| **9** | 0.498 | 295.943 | 106 | 20 | 0 | 0 | 126 |
| **10** | 0.548 | 298.408 | 98 | 28 | 0 | 0 | 126 |
| **11** | 0.610 | 300.438 | 90 | 36 | 0 | 0 | 126 |
| **12** | 0.633 | 242.392 | 78 | 43 | 1 | 4 | 126 |

*Fuente: ETABS*

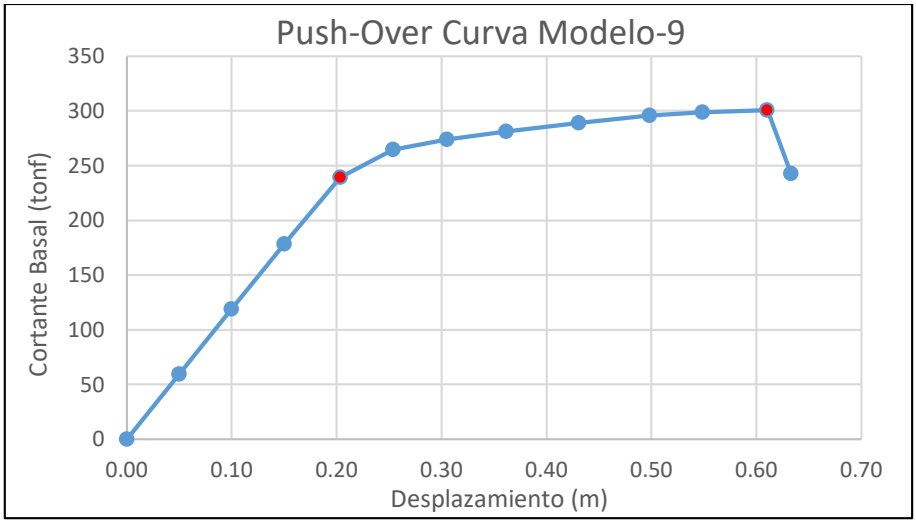



*Ilustración 170. Curvas de capacidad PUSH OVER - Modelo 9*
*Fuente: Elaboración Propia*

$$\mu = \frac{\delta_u}{\delta_y} = \frac{0.610455}{0.203489} = 3.00 \qquad \frac{\mu}{R} = \frac{3.00}{6.30} = 47.61\%$$

- Punto de desempeño (FEMA 440 – ATC-40).

*Tabla 167. Puntos de desempeño Modelo 9*

| PUNTOS DESEMPEÑO | | |
|---|---|---|
| **ESPECTRO** | Δ (m) | V (ton) |
| **CUENCA** | 0.167 | 197.861 |
| **QUITO D** | 0.279 | 269.174 |
| **QUITO E** | 0.455 | 291.555 |

*Fuente: Elaboración Propia*

*Tabla 168. Punto de desempeño FEMA 440 – ATC 40 (Linealización equivalente) para Modelo 9*

| FEMA 440 (Linealización equivalente) | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Steep** | **Sd** | **Sa** | **Period** | **Steep** | **Sd** | **Sa** | **Period** |
| | **m** | **g** | **seg** | | **m** | **g** | **seg** |
| **0** | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 7 | 0.265 | 0.626 | 1.306 |
| **1** | 0.036 | 0.130 | 1.060 | 8 | 0.315 | 0.648 | 1.398 |
| **2** | 0.072 | 0.259 | 1.061 | 9 | 0.364 | 0.665 | 1.485 |
| **3** | 0.109 | 0.389 | 1.061 | 10 | 0.401 | 0.664 | 1.559 |
| **4** | 0.147 | 0.522 | 1.066 | 11 | 0.445 | 0.665 | 1.641 |
| **5** | 0.185 | 0.581 | 1.132 | 12 | 0.448 | 0.553 | 1.805 |
| **6** | 0.224 | 0.606 | 1.220 | | | | |

*Fuente: ETABS*

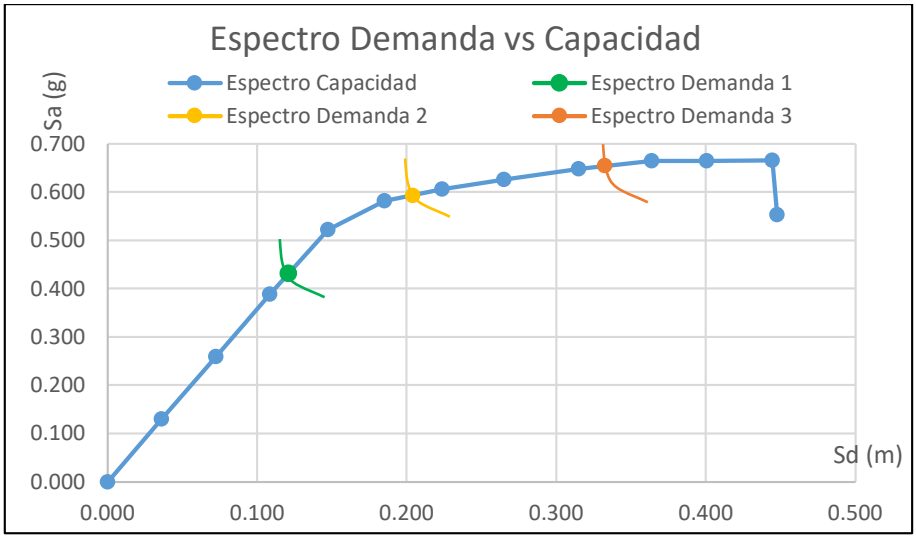



*Ilustración 171. Espectro Demanda versus Capacidad – Modelo 9*
*Fuente: Elaboración Propia*

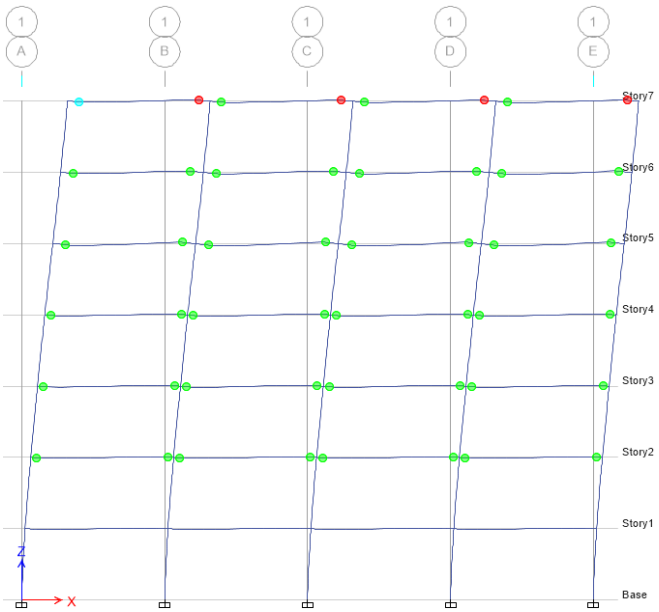



*Ilustración 172. Rotulas plásticas en el último paso (Step) del Push-over del modelo 9*
*Fuente: ETABS*

- **Determinación de la ductilidad de la estructura - MODELO 10.**

  - Ductilidad.

*Tabla 169. Cortante basal versus desplazamiento monitoreado - Modelo 10*

| TABLE: Base Shear vs Monitored Displacement | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Step | Monitored Displ | Base Force | ROTULAS PLASTICAS | | | | |
| | m | tonf | A-IO | IO-LS | LS-CP | > CP | Total |
| 0 | 0 | 0 | 126 | 0 | 0 | 0 | 126 |
| 1 | 0.05 | 59.4733 | 126 | 0 | 0 | 0 | 126 |
| 2 | 0.1 | 118.8932 | 126 | 0 | 0 | 0 | 126 |
| 3 | 0.155502 | 174.6744 | 126 | 0 | 0 | 0 | 126 |
| 4 | 0.211474 | 207.2546 | 126 | 0 | 0 | 0 | 126 |
| 5 | 0.261749 | 225.3988 | 110 | 16 | 0 | 0 | 126 |
| 6 | 0.302842 | 220.1957 | 110 | 9 | 7 | 0 | 126 |

*Fuente: ETABS*

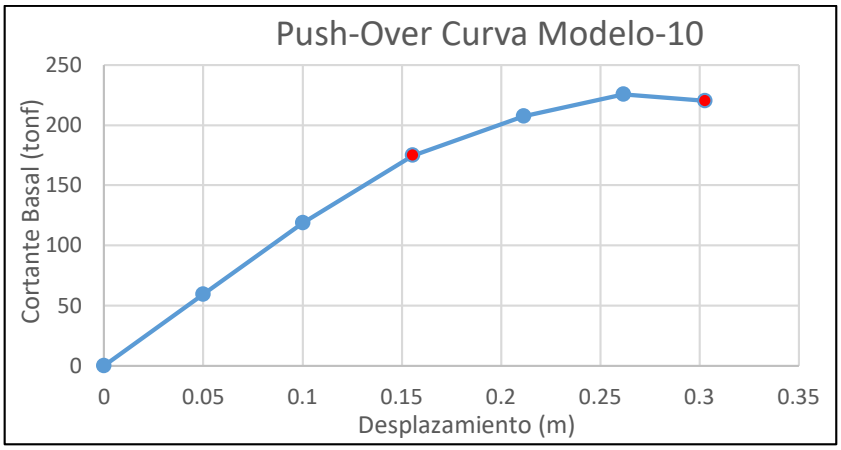



*Ilustración 173. Curvas de capacidad PUSH OVER - Modelo 10*
*Fuente: Elaboración Propia*

$$\mu = \frac{\delta_u}{\delta_y} = \frac{0.302842}{0.155502} = 1.95 \qquad \frac{\mu}{R} = \frac{1.95}{6.30} = 30.95\%$$

- Punto de desempeño (FEMA 440 – ATC-40).

*Tabla 170. Puntos de desempeño Modelo 10*

| PUNTOS DESEMPEÑO | | |
|---|---|---|
| **ESPECTRO** | Δ (m) | V (ton) |
| **CUENCA** | 0.149 | 167.643 |
| **QUITO D** | 0.272 | 224.150 |

*Fuente: Elaboración Propia*

*Tabla 171. Punto de desempeño FEMA 440 – ATC 40 (Linealización equivalente) para Modelo 10*

| FEMA 440 (Linealización equivalente) | | | |
|---|---|---|---|
| **Steep** | **Sd** | **Sa** | **Period** |
| | **m** | **g** | **seg** |
| **0** | 0 | 0 | 0 |
| **1** | 0.036213 | 0.129768 | 1.06 |
| **2** | 0.072419 | 0.259439 | 1.06 |
| **3** | 0.113064 | 0.384055 | 1.089 |
| **4** | 0.154211 | 0.463966 | 1.157 |
| **5** | 0.191769 | 0.50827 | 1.232 |
| **6** | 0.224455 | 0.501887 | 1.342 |

*Fuente: ETABS*

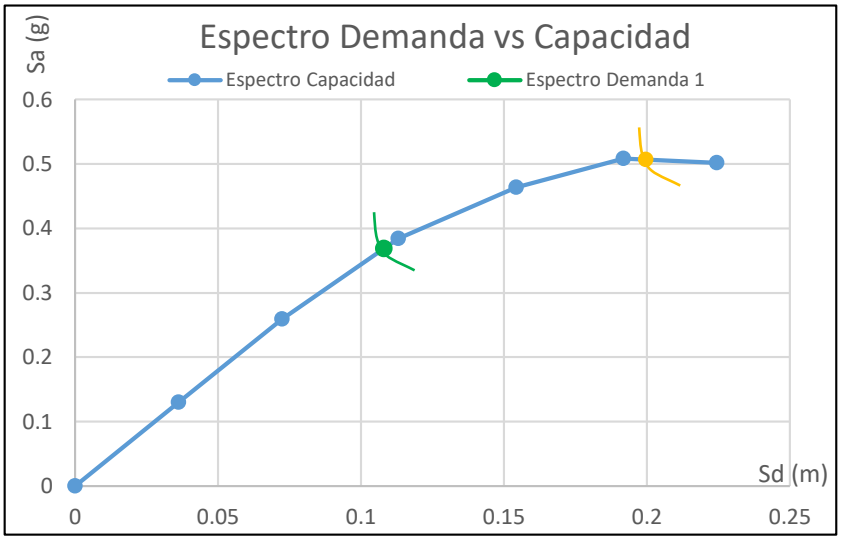



*Ilustración 174. Espectro Demanda versus Capacidad – Modelo 10*
*Fuente: Elaboración Propia*

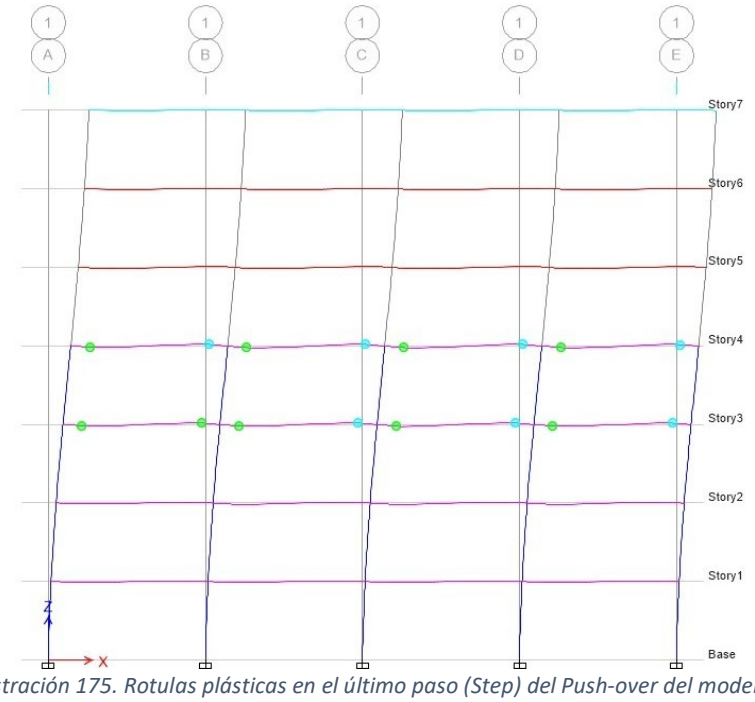



*Ilustración 175. Rotulas plásticas en el último paso (Step) del Push-over del modelo 10*
*Fuente: Elaboración Propia*

## 5.2 Comparación de la capacidad de los modelos.

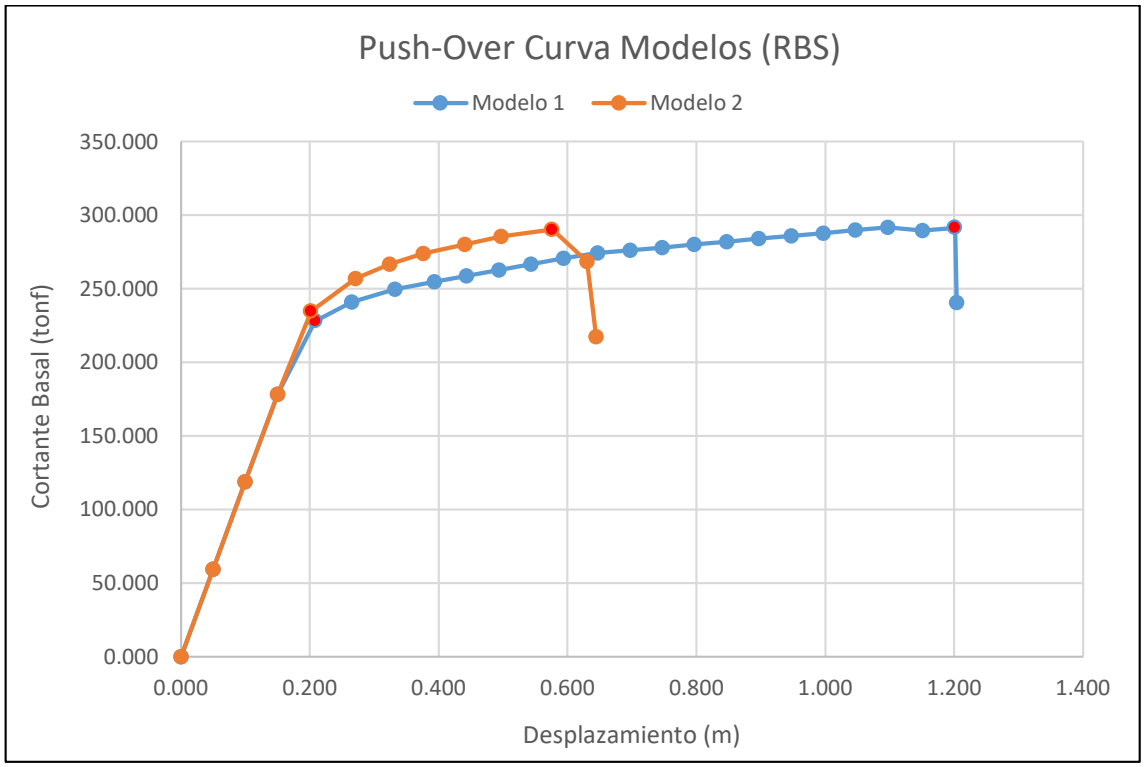



*Ilustración 176. Comparación de la capacidad (Cortante Basal) entre los modelados 1 y 2 de la conexión RBS*
*Fuente: Elaboración Propia*

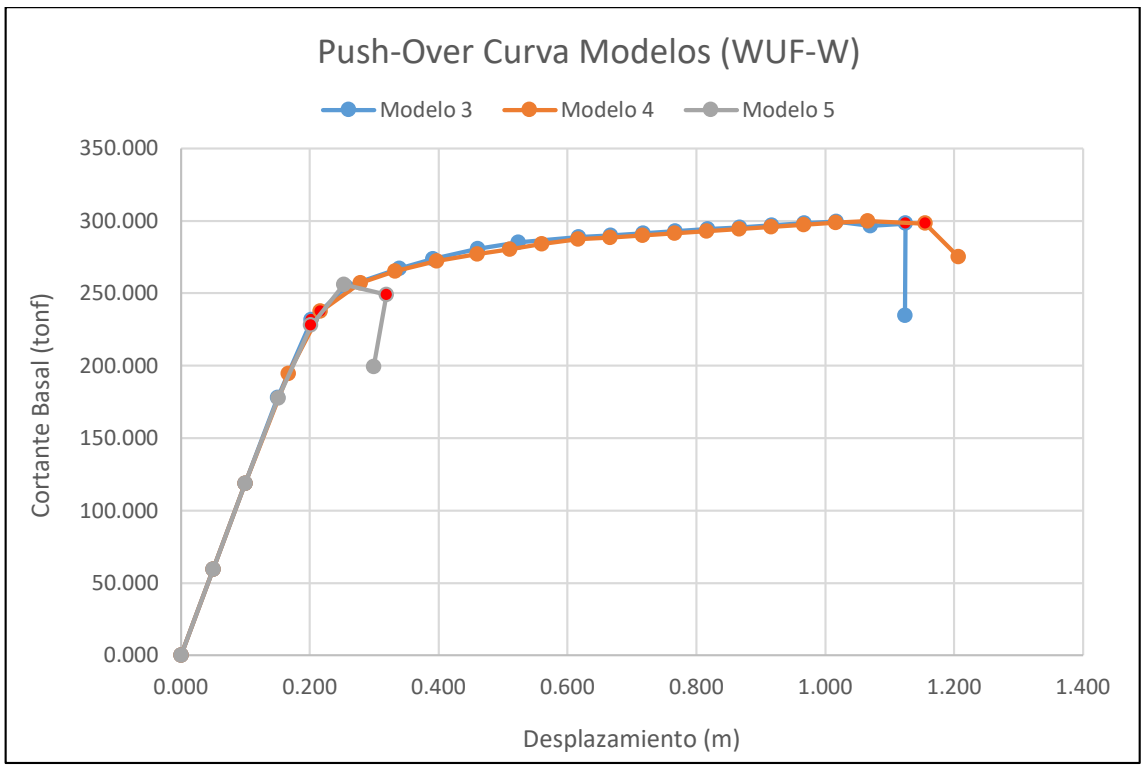



*Ilustración 177. Comparación de la capacidad (Cortante Basal) entre los modelados 3, 4 y 5- de la conexión WUF-W*

*Fuente: Elaboración Propia*

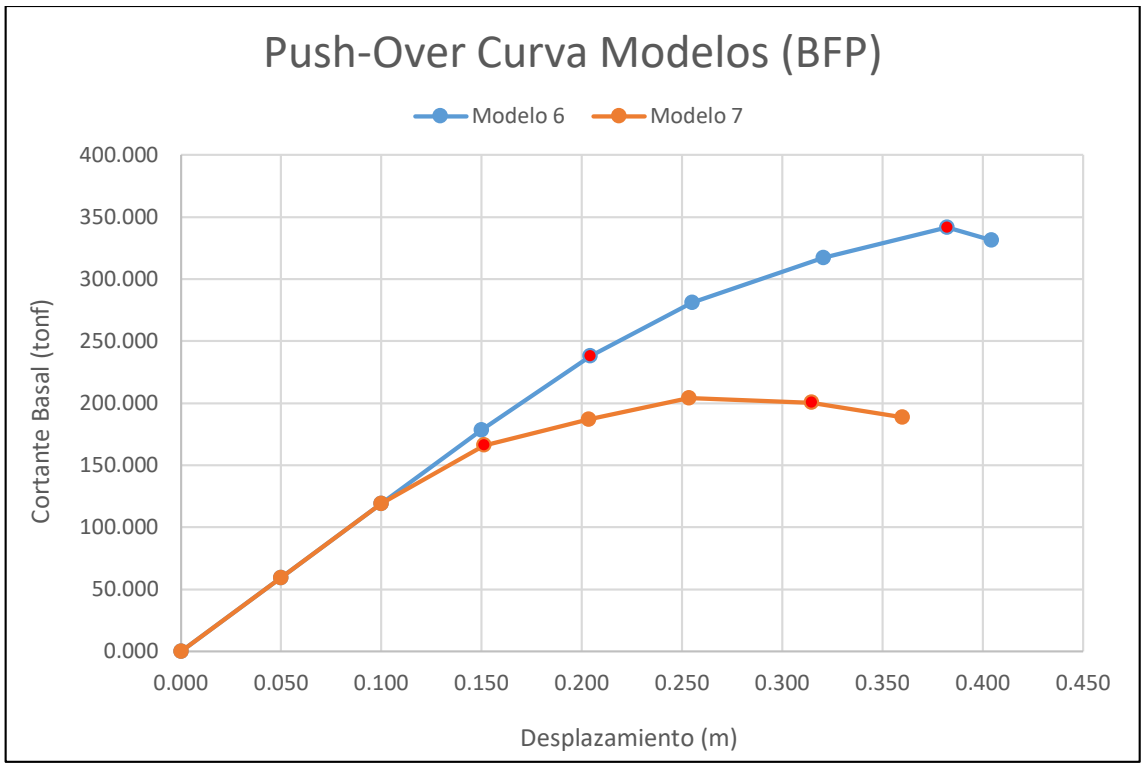



*Ilustración 178. Comparación de la capacidad (Cortante Basal) entre los modelados 6 y 7 de la conexión BFP*
*Fuente: Elaboración Propia*

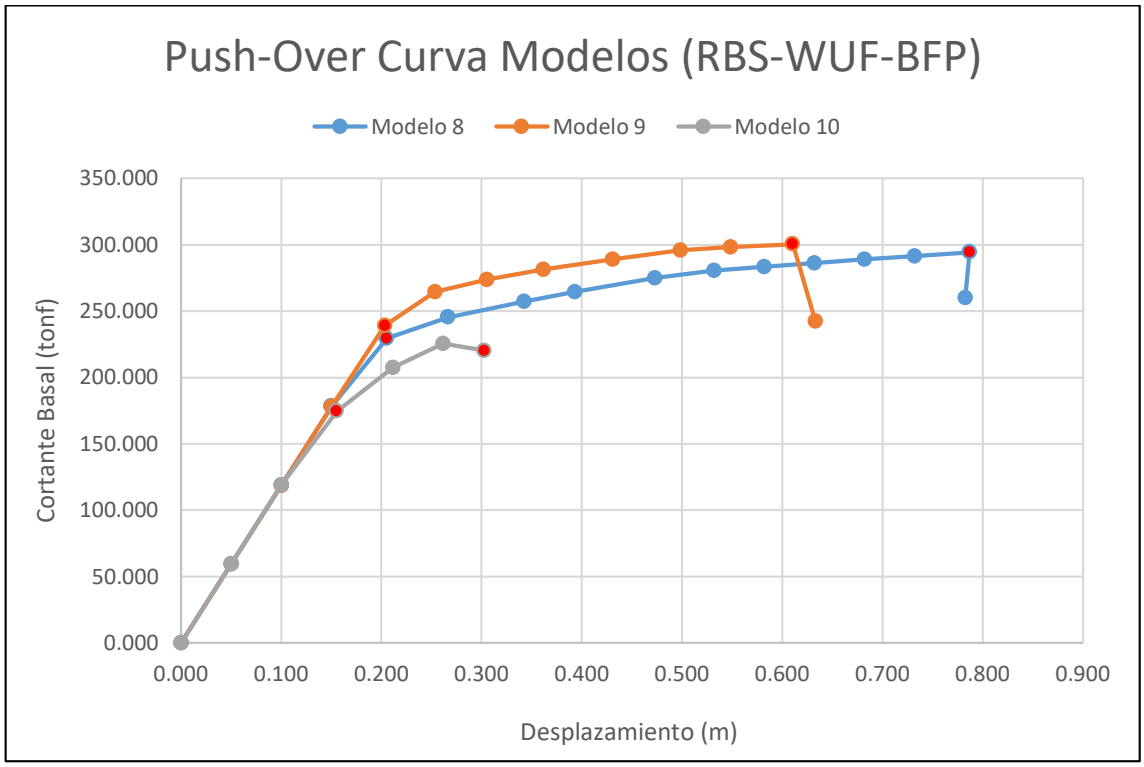



*Ilustración 179. Comparación capacidad (Cortante Basal) entre los modelados 8, 9 y 10 de la conexión RBS - WUF - BFP*
*Fuente: Elaboración Propia*

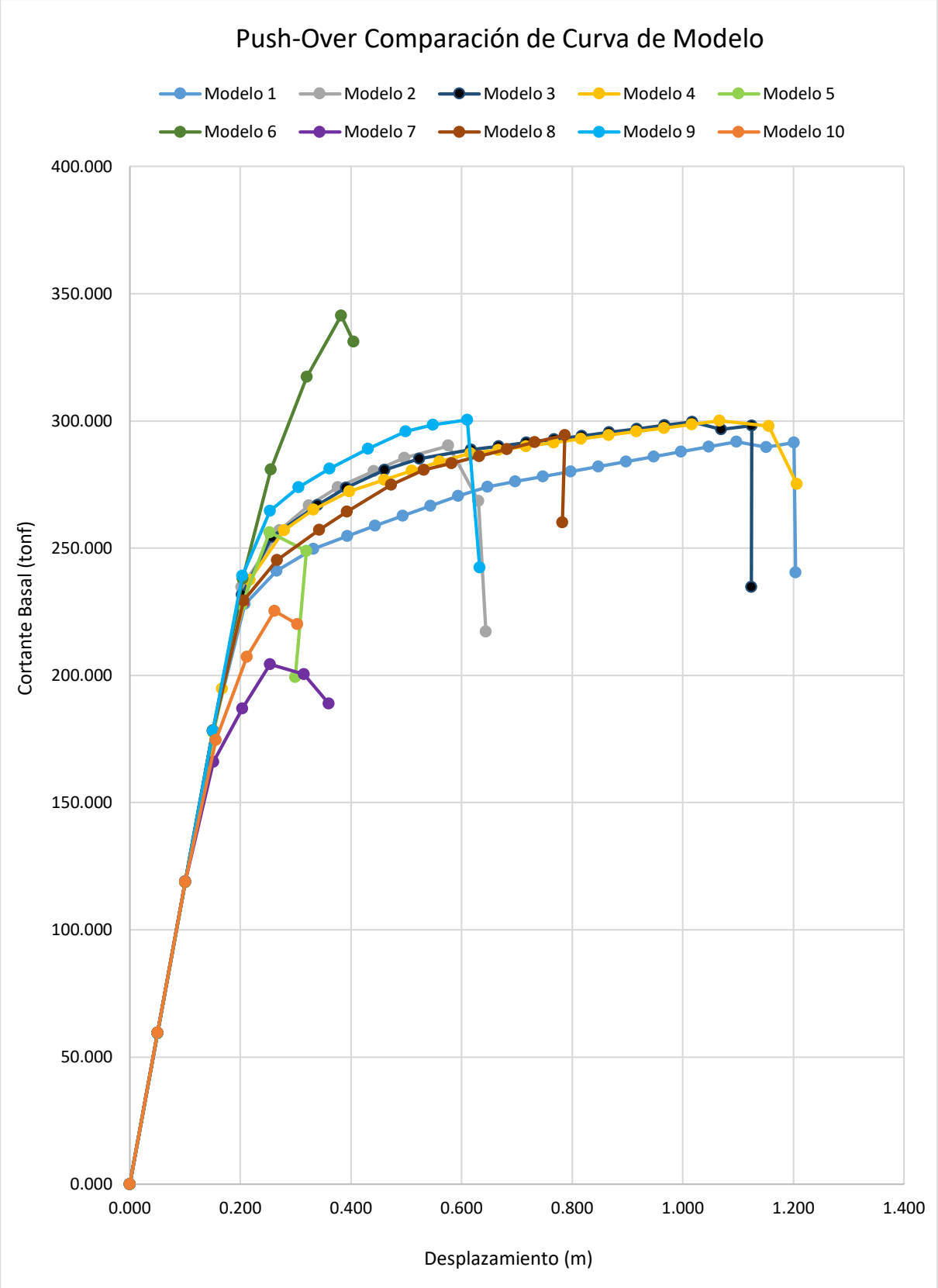



*Ilustración 180. Comparación capacidad (Cortante Basal) de todos los modelos*

*Fuente: Elaboración Propia*

## 6. Conclusiones y recomendaciones

Para cualquier obra o proyecto civil que en el medio ambiente demande una amenaza de carácter natural, socio cultural o antrópica, siendo la primera el caso de los sismos o terremotos, debido a que son amenazas atribuidas al entorno natural sin interferencia del hombre, el análisis sismorresistente produce un resultado seguro, practico y económico dentro de las obras civiles al servicio de la sociedad.

Todo anteproyecto de infraestructura de obra vertical (edificios) se visiona o se perfila desde un enfoque arquitectónico, seguido del carácter estructural, resistente, rígido y estable que debe tener el proyecto, estos segundos parámetros que no se visibilizan ni se aprecian a primera vista en cualquier edificio han sido estudiados y analizados por la ingeniería estructural clásica que se ha perfeccionado y reducido el cierto grado de incertidumbre en las teorías de hipótesis de cálculo y análisis estructural, como la teoría elástica, el trabajo virtual, la reciprocidad de Maxwell, el trabajo real de Castigliano, el cálculo matricial y los elementos finitos, que conjuntamente con el avance tecnológico que creció exponencialmente a finales del siglo XX y principios del siglo XXI ha facilitado el trabajo del ingeniero en el cálculo y diseño de estructuras sísmicas. En este proyecto se ocuparon softwares de elementos finitos como IDEA StatiCa que calcula las tensiones y deformaciónes unitarias de cada fibra y segmento de los microcomponentes que conforman una conexión estructural viga-columna de un pórtico especial a momento SMF, siendo esta junta la parte principal de estos sistemas estructurales. La tecnología seguirá reduciendo el grado de incertidumbre y el error relativo en el funcionamiento real de los sistemas estructurales; así mismo el presente proyecto utiliza un programa de cálculo, análisis y diseño estructural que es ETABS, en el cual se realizó los tres tipos de análisis: análisis estático lineal LSP, análisis dinámico lineal (Modal espectral) LDP y análisis estático no lineal (Push-over) NSP. Es de suma importancia para la ingeniería civil y estructural el avance, estudio y dominación de la informática y de los softwares que facilitan el cálculo para los ingenieros civiles.

Las estructuras verticales (edificios) en la cotidianidad son únicamente solicitadas a cargas verticales, pero las amenazas intangibles antes mencionadas pueden demandar a la estructura solicitaciones de cargas laterales como es el caso de los sismos, los vientos y otros fenómenos. En el Ecuador los sismos representan un alto nivel de peligro sísmico por su ubicación en la convergencia de la placas Nazca y Sudamericana, que lo posiciona en la zona del cinturón de fuego del pacifico, donde a diario el sistema geofísico nacional, registra eventos sísmicos en diferentes puntos del territorio; es por esto que el análisis y diseño sismorresistente en la ingeniería civil dentro del país tiene un grado alto de importancia por lo que el estudio debe ser profundo, estricto y dominando por los ingenieros.

El presente trabajo contempla un manual de diseño sísmico para edificios que utilicen como núcleo sísmico un sistema sísmico de pórticos especiales a momento (SMF O PEM); se pretende que el trabajo sirva como guía para los estudiantes o ingenieros que deseen ensamblar un proyecto vertical con este tipo de sistemas; estos sistemas se enfocan principalmente en el mecanismo estructural de las conexiones viga-columna donde se pretende que el sistema posea una rigidez y ductilidad suficiente para poder disipar la energía sísmica mediante la energía potencial elástica que se puntualiza en un fusible o rotula plástica, ubicada en un punto de la viga, mientras que la columna se asegure con un coeficiente de sobrerresistencia, para que en su zona de panel, donde se concentran los mayores esfuerzos, las tensiones no sobrepasen el

límite de fluencia $\boldsymbol{f_y}$, siendo este el concepto el concepto principal del funcionamiento de los sistemas aporticados especiales a momento.

La normativa local se basa directamente en la normativa estadounidense, pero el control de calidad de la manufactura de acero en el país puede alterar factores de desempeño que se adoptan dentro del diseño, como la sobrerresistencia **Ω**, ductilidad **R**, o el factor de calibración real de desplazamientos **Cd**; además el control de calidad estricto en la construcción con acero, al ensamblar estos sistemas en puntos críticos como sueldas de bridas entre viga y columna, sueldas entre la banda y la brida de la columna, conexiones atornilladas de tipo aplastamiento en donde la falla se puntualiza por el corte del perno o el abollamiento de las placas, o conexiones atornilladas de deslizamiento crítico, en donde la tuerca se ajusta con una sobrepresión para impedir el deslizamiento entre placas, produciendo una falla por la tensión axial del perno; son estos parámetros los que se deben estudiar diseñar, ensamblar y fiscalizar con altos índices de calidad y responsabilidad dentro de las consultorías y construcciones civiles para que los parámetros adoptados dentro de las normativas nacionales e internacionales se asemejen al comportamiento real de la estructura.

El presente proyecto analizó la ductilidad de los sistemas SMF para diferentes tipologías de conexiones precalificadas por el código norteamericano ACI 358; la investigación y los estudios en la universidad, dentro de la rama de obras civiles (acero) deben avanzar al ensamblaje de varias tipologías de conexiones no tipificadas o precalificadas que aprobando los criterios de aceptación de ciclos histeréticos que se presenta en el capítulo K del código AISC 341, se pueden precalificar y utilizar en diferentes estructuras para diferentes funciones y objetivos de desempeño que tenemos en nuestro entorno local.

En todo anteproyecto planteado, se debe configurar el sistema estructural con el objetivo principal de calibrar la propiedad intrínseca de la estructura, que es el periodo de vibración $\boldsymbol{T_e}$ y frecuencia natural $\boldsymbol{\omega_n}$, el cual depende únicamente de la rigidez y masa del sistema, siendo de la rigidez $\boldsymbol{K}$, de donde se deriva la fuerza restauradora sísmica necesaria para restablecer el sistema de un punto desplazado a su posición original mediante la un análisis basado en fuerzas o desplazamientos. Debido a la regularidad de la estructura estudiada, no se empleó un análisis basado en desplazamientos, pero se invita a los ingenieros y consultores a profundizar en este último método, pues la normativa lo exige para estructuras irregulares que dentro de esta investigación no es el caso. Dentro del análisis estático lineal LDP la normativa local NEC-SE-DS propone dos métodos, el Análisis basado en Fuerzas y en Desplazamientos, que en este proyecto se usó el primero por los motivos antes mencionados.

En el análisis dinámico lineal o Modal Espectral (LDP), se utilizó un espectro de diseño en la ciudad de Cuenca, con el cual se predimensionaron, revisaron y diseñaron los diferentes componentes estructurales, cumpliendo con los criterios de aceptación de diseño en acero estructural mediante normativa ASCE 360, 341 y 358. Este análisis también dio el patrón de cargas laterales que se aplicó en el análisis estático no lineal (NSP), que de acuerdo a las disposiciones para análisis no lineal (NSP) del ASCE-41, el patrón de cargas debe tener el comportamiento del Modo de vibración 1 de la estructura (modo de vibración fundamental de la estructura, en la dirección X).

El periodo de vibración de la estructura fueron: en el análisis **LSP** $\boldsymbol{T_e = 0.81s}$, en el **LDP** $\boldsymbol{T_e = 1.08s}$ y en el **NSP** $\boldsymbol{T_e = 1.07s}$. Como se puede ver el periodo calculado en el análisis LSP, utiliza un cálculo hipotético en función de la altura, el tipo de sistema y materiales del sistema sísmico; a diferencia del análisis modal espectral (LDP) que calcula el periodo en base a la rigidez y masa del sistema, así como el coeficiente de relación de amortiguamiento, que, para todos los casos de análisis, la norma y las disposiciones da un valor de $\boldsymbol{\xi = 5\%}$. Por otra parte, el análisis Push-Over (NSP) calcula el periodo de la estructura teniendo en cuenta la reducción de la relación de amortiguamiento, debido a que la estructura cuando entra en un funcionamiento plástico, la constante de amortiguación de la estructura $\boldsymbol{c}$ aumenta, debido a la disminución de rigidez, que es inversamente proporcional al amortiguamiento de la misma, así como a la relación entre el amortiguamiento criticó y el amortiguamiento del sistema ($\boldsymbol{\xi = c/c_{cr}}$); utilizando una relación de amortiguamiento efectiva ($\boldsymbol{\xi_{effc}}$) para la ecuación del espectro de capacidad de la estructura (curva Push-over), donde el software ETABS considera lo mencionado basado en los códigos ATC-40 que es estudiado y mejorado en el código FEMA-440 para el cálculo del espectro de capacidad y el punto de desempeño de la estructura, para cierta demanda sísmica (espectro de demanda).

El periodo de vibración de la estructura depende únicamente de la rigidez y la masa del sistema, y no de las acciones externas como es el movimiento del suelo y las fuerzas ortogonales y verticales que provoca un sismo. Producto de estas acciones externas, el sistema responde con una fuerza de restauración proporcional a la rigidez; se puede decir que una estructura rígida tendrá mayor solicitación sísmica que una flexible, debido a que la fuerza para restaurar un sistema rígido a su posición inicial es mayor que la de un sistema flexible, independientemente del periodo de vibración $\boldsymbol{T_e}$ de cada uno. Así mismo el sistema rígido tendrá un menor desplazamiento lateral del nudo de control, ubicado en el techo o último piso del pórtico, ya que la rigidez es inversamente proporcional al desplazamiento o deformación lateral del sistema, pudiendo la rigidez llegar a ser infinita con derivas menores al 1%, siendo no muy recomendable dentro de la ingeniería estructural y filosofía sismorresistente, pues los componentes deberían ser robustos, lo que arquitectónica y estéticamente no es lo correcto; pues como se mencionó anteriormente, en obras de infraestructura vertical lo que más se aprecia de un edificio es su carácter visual, a diferencia de los ingenieros que nos enfocamos en el núcleo estructural del edifico. Equilibrando ambas perspectivas no es factible que un edifico sea rígido y trabaje en un rango elástico, con derivas de piso <1%, sino la filosofía sismorresistente permite que la estructura se desplace hasta un valor aceptable, y mientras pierda rigidez, la resiliencia del sistema se compense con su tenacidad (filosofía de igualdad de energías), con una ductilidad ($\boldsymbol{\mu = 0.8R}$) que caracterice al sistema, pudiendo tener una capacidad mínima, moderada y especial de disipar energía, **OMF**, **IMF**, **SMF**, respectivamente; siendo el ultimo el caso de estudio.

Como se aprecia en el capítulo 5, de los resultados del análisis Push-Over, para diferentes arquetipos de sistemas ensamblados con las tres tipos de conexiones precalificadas diseñadas: RBS, WUF y BFP; los arquetipos modelados con las conexiones diseñadas, **con código número 1,** tienen un funcionamiento aceptable de ductilidad, rigidez, y resistencia, según los criterios de aceptación de ASCE-41, para el objetivo de desempeño de **prevención de colapso (CP)**, pues se aprecia que el factor de ductilidad asumido $\boldsymbol{R = 6.3}$ está muy cercano al real del sistema, para todos los modelos de **código 1**; con excepción de los modelos esta ensamblados con conexiones **BFP**, que tiene muy poca ductilidad como se aprecia en la curva de capacidad

de estas conexiones, no cumpliendo con la disposición del código sísmico AISC-341, que específica para conexiones en sistemas de pórticos especiales a momento (SMF), que estas deben tener una distorsión mínima de $\boldsymbol{\theta = 0.04\, rad}$, lo que ninguna conexión **BFP** cumple. Se puede decir que esta conexión no cumple con los criterios de aceptación para considerarse una conexión (**FR**) "**Fully Restrained**" como se considera en el código AISC-358, sino según los resultados cumple los estándares de una conexión (**PR**) "**Partially Restrained**" contemplada así en el código ASCE-41, siendo esta irregularidad de códigos.

Validando los resultados con el presente proyecto, se concluye que la conexión **BFP** no tiene un comportamiento aceptable para un sistema de alta ductilidad como lo son los pórticos **SMF**, recomendado el uso de esta conexión para pórticos de mediana y baja ductilidad (**OMF, IMF**) con factores $\boldsymbol{R < 4}$ según códigos locales e internacionales, pues su ductilidad es muy baja, aunque la resistencia sea aceptable y supere la carga de diseño o máxima solicitación como se aprecia en las curvas de capacidad de estas conexiones, obtenidas del análisis de rigidez rotacional de IDEA StatiCa. Técnicamente se puede objetar este comportamiento frágil (no dúctil) de las conexiones **BFP**, debido a que en un evento sísmico, durante la línea de transferencia de carga, la conexión resiste la fuerza lateral con las dos filas de pernos (no puede ser más) en cada brida de la viga, siendo cada perno diseñado bajo el criterio de conexiones tipo aplastamiento, como verifica el diseño en el capítulo 3, bajo disposiciones AISC-358, por lo que los estados de falla de las conexiones empernadas tipo aplastamiento son frágiles, pues los pernos, una vez superadas la resistencia admisible, y siendo el estado de falla cualquiera de los 7 que plantea Vinakkota para este tipo de conexiones, no permite un comportamiento dúctil de las fibras de la conexión, terminando así en una fractura rápida, tras pasar su resistencia admisible.

Las conexiones **RBS** y **WUF-W** mostraron resultados aceptables dentro de los criterios de aceptación de la normativa ASCE-41 y FEMA-358 para análisis no lineal NSP.

## 7. Lista de referencias


1. Aguirre, C. (S,f). *DISEÑO DE EDIFICIOS DE ACERO ESTRUCTURADOS EN BASE A MARCOS RÍGIDOS ESPECIALES.* CHILE: Departamento de Obras Civiles, Universidad Técnica Federico Santa María,.
2. AISC. (2011). *Steel Construction Manual - Fourteenth Edition.* American Institute of Steel Construction.
3. AISC. (2012). *Seismic Design Manual - Second Edition.* American Institute of Steel Construction .
4. Alvarez, M. G. (2012). *ANÁLISIS ESTÁTICO NO LINEAL Y ANÁLISIS DINÁMICO NO LINEAL DEL HOSPITAL DE VIELHA.* Barcelona: PROGRAMA DE MÁSTER EN INGENIERÍA DEL TERRENO E INGENIERÍA SÍSMICA.
5. American Psychological Association. (2010). *Manual de Publicaciones de la American Psychological Association* (6 ed.). (M. G. Frías, Trad.) México, México: El Manual Moderno.
6. ANSI/AISC-341. (2016). *Seismic Provisions for Structural Steel Buildings.* Chicago, Illinois: American Institute of Steel Construction.
7. ANSI/AISC-358. (2016). *Prequalofied Connections for Special and Intermediate Steel Moment Frames for Seismic Applications.* Chicago, Illinois: American Institute of Steel Construction.
8. ANSI/AISC-360. (2016). *Specification for Structural Steel Buildings.* Chicago, Illinois: American Instiute of Steel Construction.
9. ASCE/SEI-41. (2013). *Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings.* Reston, Virginia: American Society of Civil Engineers.
10. ASCE/SEI-7. (2010). *Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures.* Reston, Virginia: American Society of Civil Engineers.
11. ATC-40. (1996). *Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings - Volume1.* Applied Technology Council - California Seismic Safety Commission.
12. AWS-D1.1/D1.1. (2010). *Structural Welding Code - Steel.* LeJeune Road, Miami: American Welding Society - American National Standards Institute.
13. AWS-D1.8. (2009). *Structural Welding Code - Seismic Supplement.* LeJeune Road, Miami: American Welding Society - An American National Standard.
14. Cabrera, J. (2012). *DISEÑO SISMORRESISTENTE BASADO EN EL BALANCE ENERGÉTICO.* Civilgeeks - Ingenieria y construcion.
15. Chouhan, M. (2017). *Push-over Analysis of Steel Frame Structures with Different Types of Bracing System.* IJSTE - International Journal of Science Technology & Engineering | Volume 4 - Department of Civil Engineering.
16. Crisafulli, F. J. (2018). *Diseño sismorresistente de construcciones de acero - 5° edición.* Mendoza, Argentina: alacero - Asociacion Latinoamericana del Acero.
17. Crisafulli, F. J. (S, f). *Diseño sismorresistente de construcciones de acero.* DOCPLAYER.
18. DIPAC. (S,f). *Catalogo de Acero.* DISERVICIOS.
19. FEMA-350. (2000). *Recommended Seismic Design Criteria for New Steel Moment-Frame Buildings* . Program to Reduce the Earthquake Hazards of Steel Moment - Frame Structures - Federal Emergency Management Agency - (ATC) Applied Technology Council.
20. FEMA-351. (2000). *Recommended Seismic Evaluation and Upgrade Criteria for Existing Welded Steel Moment-Frame Buildings.* Program to Reduce the Earthquake Hazards of Steel Moment - Frame Structures - Federal Emergency Management Agency - (ATC) Applied Technology Council.

21. FEMA-355D. (2000). *State of the Art Report on Connection Performance.* Federal Emergency Management Agency - Program to Reduce the Earthquake Hazards of Steel Moment - Frame Structures.
22. FEMA-356. (2000). *PRESTANDARD AND COMMENTARY FOR THE SEISMIC REHABILITATION OF BUILDINGS.* Washington, D.C.: FEDERAL EMERGENCY MANAGEMENT AGENCY - AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS (ASCE).
23. FEMA-440. (2005). *IMPROVEMENT OF NONLINEAR STATIC SEISMIC ANALYSIS PROCEDURES.* Redwood City, California: Federal Emergency Management Agency - (ATC) Applied Technology Council.
24. FEMA-450-1. (2003). *NEHRP Recommended Provisions - for Seismic Regulations for New Buildings and Other Structures - Part 1: Provisions* . Washington, D.C.: Federal Emergency Management Agency - BUILDING SEISMIC SAFETY COUNCIL - Program on Improved Seismic Safety Provisions .
25. FEMA-P695. (2009). *Quantification of Building Seismic Performance.* Redwood City, California: Federal Emergency Management Agency - APPLIED TECHNOLOGY COUNCIL .
26. Gioncu, V. (2012). *Ductility Aspects of Steel Beams.* Acta Technica Napocensis: Civil Engineering & Architecture Vol. 55 - Politehnica University Timisoara, Faculty of Architecture, 2a Traian Lalescu, 300223,Timisoara.
27. Guerra, T. (2015). *Diseño de miembros sometidos a cargas axiales.* Instituto Universitario Politécnico Santiago Mariño - República Bolivariana de Venezuela - Ministerio del P. P. para la Educación Superior .
28. inesa . (S,f). *Diseño por Desempeño Sismico de Estructuras - Portico Resistente a Momento (Concreto Armado).* Civil Ingineering school consulting.
29. inesa. (S, f). *Diseño por desempeño sismico de edificacion (Aplicacion del analisis estatico no lineal).* TECH - civil engineering school consulting.
30. inesa. (S, f). *RESPUESTA DE ESTRUCTURAS A SISMOS.* TECH - civil engineering school consulting.
31. inesa. (S,f). *Dinamica de Sistemas de 1 Grado de Libertad.* TECH - civil engineering school consulting.
32. inesa. (S,f). *Dinamica de Sistemas de N Grados de Libertad.* TECH - civil engineering school consulting.
33. inesa. (S,f). *Diseño Sismorresistente de Estructuras de Acero - Aplicacion de las Normas ANSI/AISC 360, 341 y 358.* TECH - civil engineering school consulting.
34. inesa. (S,f). *Ductubilidad de secciones, miembros y porticos de acero.* TECH - civil engineering school consulting.
35. Kalibhat, M. G. (S, f). *SEISMIC PERFORMANCE OF CONCENTRIC BRACED STEEL FRAMES FROM PUSH-OVER ANALYSIS.* IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSR-JMCE) - International Conference on Innovations in Civil Engineering - SCMS School of Engineering and Technology.
36. Mamani, J. P. (2019). *COMPARACIÓN ENTRE LOS SISTEMAS DE ARRIOSTRAMIENTO LATERAL TIPO PORTICO ORDINARIO RESISTENTE A MOMENTO Y KNEE BRACED MOMENT FRAMES PARA UN GALPON CON RESTRICCIONES DE USO DE VANOS EN LA CIUDAD DE PIURA.* Piura, Perú: UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA - Facultad de Ingeniería Civil - Escuela profesional de Ingeniería Civil.
37. Martínez, P. Q. (2016). *ESTUDIO DE PELIGRO SÍSMICO DE ECUADOR Y PROPUESTA DE ESPECTROS DE DISEÑO PARA LA CIUDAD DE CUENCA.* Revista de Ingeniería Sísmica.

38. MIDUVI. (2016). *Guía práctica para el diseño de estructuras de acero de conformidad con la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC 2015.* Quito - Ecuador: Secretaría de Gestión de Riesgos, SGR - Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, MIDUVI - Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, PNUD - Oficina de Ayuda Humanitaria y Protección Civil de la Comisión Europea, ECHO.
39. MIDUVI. (2016). *Guía práctica para el diseño de estructuras de hormigón armado de conformidad con la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC 2015.* Quito - Ecuador: Secretaría de Gestión de Riesgos, SGR - Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, MIDUVI - Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, PNUD - Oficina de Ayuda Humanitaria y Protección Civil de la Comisión Europea, ECHO .
40. Mora, M. A. (2006). *Deficiencias, limitaciones, ventajas y desventajas de las metodologías de análisis sísmico no lineal.* Revista Ingenierías Universidad de Medellín.
41. NEC-SE-AC. (2014). *ESTRUCTURAS DE ACERO.* Quito - Ecuador: NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN - Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda - CAMICON Camara de la Industria de la Contruccion.
42. NEC-SE-CG. (2014). *CARGAS (NO SÍSMICAS).* Quito - Ecuador: NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN - Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda - CAMICON Camara de la Industria de la Contruccion.
43. NEC-SE-DS. (2015). *CARGAS SÍSMICAS DISEÑO SISMO RESISTENTE.* Quito - Ecuador: NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN - Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda - CAMICON Camara de la Industria de la Contruccion.
44. NEC-SE-RE. (2015). *REHABILITACIÓN SÍSMICA DE ESTRUCTURAS.* Quito - Ecuador: NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN - Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda - CAMICON Camara de la Industria de la Contruccion.
45. NOVACERO. (2019). *CONSTRUCCION - ESTRUCTURAS METÁLICAS Y MIXTAS.* CATÁLOGO ESTRUCTURAS METÁLICAS Y MIXTAS - Edición No. 3.
46. NSR-10 . (2010). *REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONSTRUCCIÓN SISMO RESISTENTE - TOMO 1.* Bogotá D.C - Colombia : Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica - Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial - COMISION ASESORA PERMANENTE PARA EL REGIMEN.
47. NSR-10. (1997). *Reglamento colombiano de construccion sismo resistente - Titulo A - Requisistos generales de diseño y construccion sismo resistente.* Bogota, Colombia: Secretaria de la Comision - Asociacion Colombiana de Ingeniera Sismica - Ministeria de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.
48. NSR-10. (2010). *REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONSTRUCCIÓN SISMO RESISTENTE .* Bogotá D.C - Colombia : Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica - Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial - COMISION ASESORA PERMANENTE PARA EL REGIMEN.
49. Ospina, L. O. (2018). *Diseño de una Estructura de Hormigón con Pórticos Resistentes a Momento Según NEC-15.* Quito: UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ - Colegio de Ciencias e Ingenierías.
50. Palma, E. (S,f). *OBRAS CIVILES ACERO ESTRUCTURAL.* Universidad Catolica de Cuenca - Programa de grado - Ingenieria Civil.
51. Peres, R. (2017). *Nonlinear Static Seismic Performance Assessment of Plan-Irregular Steel Structures.* Taylor y Francis - Journal of Earthquake Engineering.
52. Purca, R. B. (S,f). *RESUMEN: ATC-40 CAP. 8 PROCEDIMIENTO DE ANALISIS ESTATICO NO LINEAL.*
53. QUAKETEK ©. (S, f). *Aisladores y Disipadores Sísmicos. ¿Como decidir?* Quaketek .
54. SANGUIL, P. A. (2017). *ANÁLISIS COMPARATIVO DE UN EDIFICIO RESIDENCIAL, IRREGULAR DE 5 PISOS REALIZADO MEDIANTE 2 TIPOS DE CONEXIÓNES*

*PRECALIFICADAS POR EL AISC 358-10: CONEXIÓN DE PLANCHA DE ALA EMPERNADA (BFP) Y SECCIÓN DE VIGA REDUCIDA (RBS).* Ambato- Ecuador: UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL.

55. Sardar, S. (2018). *Evaluation of p-delta effect in structural seismic response.* MATEC Web of Conferences - Komar University of Science and Technology, Sulaymaniyah, Iraq.
56. Silva, O. J. (2020). *VENTAJAS Y USOS MÁS FRECUENTES DE LOS SISTEMAS: COMBINADO Y DUAL.* 360 EN CONCRETO - ARGOS.
57. Siomione, L. D. (2012). *Perfiles estructurales de alta resistencia de Arcelo reducen el peso y la huella de carbono de la Torre Diamante en Milán.* ARUP, Jacobs.
58. Sriramulu Vinnakota. (2006). *Estructuras de Acero Comportamiento y LRFD* . Mexico D.F.: McGraw Hill Interamericana S.A.
59. Torres, C. A. (2017). *Analisis estatico no lineal (Push-over) de estructura aporticada de hormigon armado con diferentes grados de ductibilidad, aplicando la norma sismoresistente colombiana 2010 (NRS-10).* Universitat Politecnica de Valencia - Escuela Tecnica Superior Ingenieros Insdustriales Valencia.
60. Totter, E. (2018). *Muros de Corte con Placa de Acero en la Rehabilitación de Estructuras Sísmicamente Vulnerables.* I Jornada de Divulgación de la Carrera de Ingeniería Civil. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Cuyo.
61. Vielma, J. C. (2014). *El efecto P-delta y su influencia sobre la ductilidad de las estructuras metálicas del Ecuador.* MASKANA - Departamento de Ingeniería Estructural, Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado - Departamento de Ciencias de la Tierra y la Construcción, Universidad de las Fuerzas Armadas.
62. Zhang, X. (2019). *Seismic performance of steel beam-to-column moment connections with different structural forms.* ELSEVIER - Department of Civil Engineering, Xi'an University of Architecture and Technology - Journal of Constructional Steel Research.

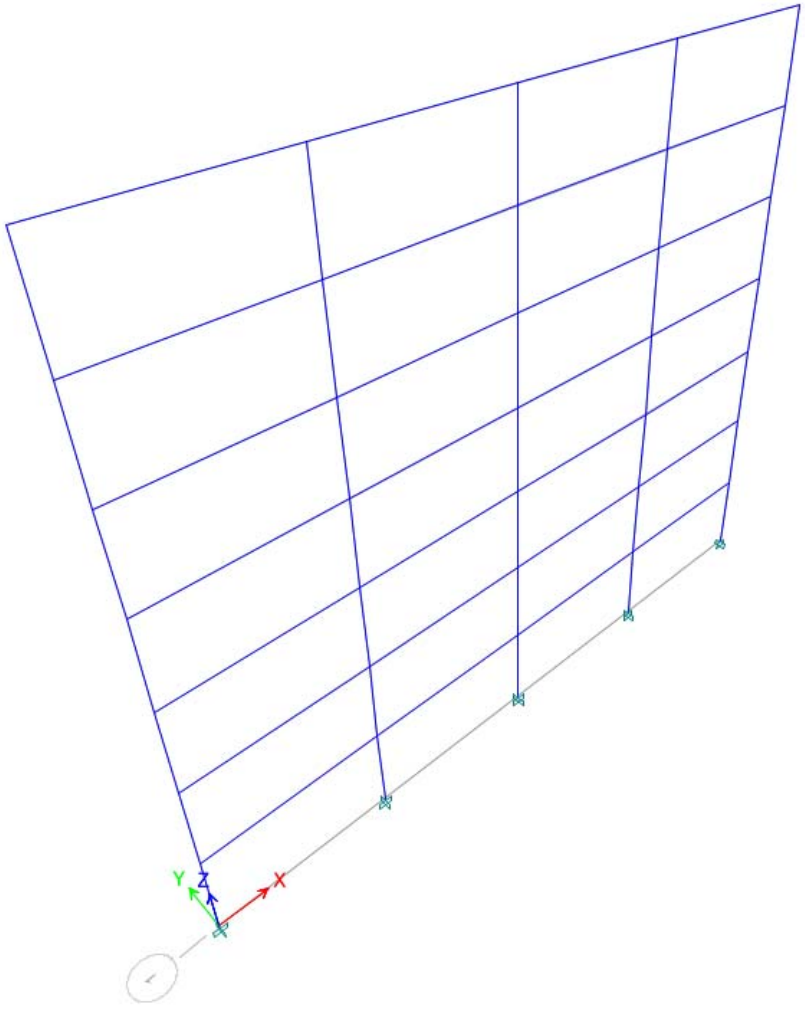
# 8. Apéndice-Anexos

Los anexos e informes de ETABS e IDEA StatiCa se presentan en formato digital debido a su extensa información.

# ANEXOS

# INFORME ETABS

ETABS® version 17
Integrated Building Design Software




# Project Report

Model File: SMF FINAL, Revision 0
02/10/2020

# Table of Contents


1. Structure Data 4
   - 1.1 Story Data 4
   - 1.2 Grid Data 4
   - 1.3 Point Coordinates 4
   - 1.4 Groups 4
2. Properties 6
   - 2.1 Materials 6
   - 2.2 Frame Sections 6
   - 2.3 Reinforcement Sizes 6
   - 2.4 Tendon Sections 6
3. Assignments 7
   - 3.1 Joint Assignments 7
   - 3.2 Frame Assignments 7
4. Loads 10
   - 4.1 Load Patterns 10
   - 4.2 Auto Seismic Loading 10
   - 4.3 Applied Loads 13
     - 4.3.1 Point Loads 13
     - 4.3.2 Line Loads 13
   - 4.4 Functions 17
     - 4.4.1 Response Spectrum Functions 17
   - 4.5 Load Cases 18
   - 4.6 Load Combinations 18
5. Analysis Results 20
   - 5.1 Structure Results 20
   - 5.2 Story Results 20
   - 5.3 Point Results 36
   - 5.4 Modal Results 39

# List of Tables


Table 1.1 Story Data 4
Table 1.2 Grid Systems 4
Table 1.3 Grid Lines 4
Table 1.4 Mass Summary by Story 4
Table 1.5 Group Definitions 4
Table 2.1 Material Properties - Summary 6
Table 2.2 Frame Sections - Summary 6
Table 2.3 Reinforcing Bar Sizes 6
Table 2.4 Tendon Section Properties 6
Table 3.1 Joint Assignments - Summary 7
Table 3.2 Frame Assignments - Summary 7
Table 4.1 Load Patterns 10
Table 4.3 Joint Loads - Force 13
Table 4.4 Frame Loads - Point 14
Table 4.5 Response Spectrum Function - Ecuador Norma NEC-SE-DS 2015 17
Table 4.6 Load Cases - Summary 18
Table 4.7 Load Combinations 19
Table 5.1 Base Reactions 20
Table 5.2 Story Drifts 21
Table 5.3 Story Max/Avg Drifts 24
Table 5.4 Story Forces 28
Table 5.5 Joint Reactions 36
Table 5.6 Modal Periods and Frequencies 39
Table 5.7 Modal Participating Mass Ratios 39
Table 5.8 Modal Load Participation Ratios 40
Table 5.9 Modal Direction Factors 40

# 1 Structure Data

This chapter provides model geometry information, including items such as story levels, point coordinates, and element connectivity.

## 1.1 Story Data

**Table 1.1 - Story Data**

| Name | Height m | Elevation m | Master Story | Similar To | Splice Story |
|---|---|---|---|---|---|
| Story7 | 3 | 21 | Yes | None | No |
| Story6 | 3 | 18 | No | Story5 | No |
| Story5 | 3 | 15 | Yes | None | No |
| Story4 | 3 | 12 | No | Story1 | No |
| Story3 | 3 | 9 | No | Story1 | No |
| Story2 | 3 | 6 | No | Story1 | No |
| Story1 | 3 | 3 | Yes | None | No |
| Base | 0 | 0 | No | None | No |

## 1.2 Grid Data

**Table 1.2 - Grid Systems**

| Name | Type | Story Range | X Origin m | Y Origin m | Rotation deg | Bubble Size m | Color |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| G1 | Cartesian | Default | 0 | 0 | 0 | 1.25 | ffa0a0a0 |

**Table 1.3 - Grid Lines**

| Grid System | Grid Direction | Grid ID | Visible | Bubble Location | Ordinate m |
|---|---|---|---|---|---|
| G1 | X | A | Yes | End | 0 |
| G1 | X | B | Yes | End | 6 |
| G1 | X | C | Yes | End | 12 |
| G1 | X | D | Yes | End | 18 |
| G1 | X | E | Yes | End | 24 |
| G1 | Y | 1 | Yes | Start | 0 |

## 1.3 Point Coordinates

**Table 1.4 - Mass Summary by Story**

| Story | UX tonf-s²/m | UY tonf-s²/m | UZ tonf-s²/m |
|---|---|---|---|
| Story7 | 7.65114 | 7.65114 | 0 |
| Story6 | 9.13574 | 9.13574 | 0 |
| Story5 | 9.13574 | 9.13574 | 0 |
| Story4 | 9.25704 | 9.25704 | 0 |
| Story3 | 9.26965 | 9.26965 | 0 |
| Story2 | 9.26965 | 9.26965 | 0 |
| Story1 | 9.26965 | 9.26965 | 0 |
| Base | 0.14347 | 0.14347 | 0 |

## 1.4 Groups

**Table 1.5 - Group Definitions**

| Name | Color |
|---|---|
| All | Yellow |

# 2 Properties

This chapter provides property information for materials, frame sections, shell sections, and links.

## 2.1 Materials

**Table 2.1 - Material Properties - Summary**

| Name | Type | E tonf/m² | v | Unit Weight tonf/m³ | Design Strengths |
|---|---|---|---|---|---|
| A36 | Steel | 20389019.16 | 0.3 | 7.849 | Fy=25310.51 tonf/m², Fu=40778.04 tonf/m² |
| A416Gr270 | Tendon | 20037484.34 | 0 | 7.849 | Fy=172322.37 tonf/m², Fu=189828.8 tonf/m² |
| A572Gr50 | Steel | 20389019.16 | 0.3 | 7.849 | Fy=35153.48 tonf/m², Fu=45699.53 tonf/m² |
| A615Gr60 | Rebar | 20389019.16 | 0.3 | 7.849 | Fy=42184.18 tonf/m², Fu=63276.27 tonf/m² |

## 2.2 Frame Sections

**Table 2.2 - Frame Sections - Summary**

| Name | Material | Shape |
|---|---|---|
| HEB450 | A572Gr50 | Steel I/Wide Flange |
| HEB500 | A572Gr50 | Steel I/Wide Flange |
| IPE360 | A36 | Steel I/Wide Flange |
| IPE400 | A36 | Steel I/Wide Flange |
| IPN450 | A36 | Steel I/Wide Flange |

## 2.3 Reinforcement Sizes

**Table 2.3 - Reinforcing Bar Sizes**

| Name | Diameter m | Area m² |
|---|---|---|
| 18 | 0.018 | 0.000255 |

## 2.4 Tendon Sections

**Table 2.4 - Tendon Section Properties**

| Name | Material | StrandArea m² | Color |
|---|---|---|---|
| Tendon1 | A416Gr270 | 9.9E-05 | Aqua |

# 3 Assignments

This chapter provides a listing of the assignments applied to the model.

## 3.1 Joint Assignments

**Table 3.1 - Joint Assignments - Summary**

| Story | Label | Unique Name | Diaphragm | Restraints |
|---|---|---|---|---|
| Story7 | 1 | 14 | From Area | |
| Story7 | 2 | 15 | From Area | |
| Story7 | 3 | 16 | From Area | |
| Story7 | 4 | 17 | From Area | |
| Story7 | 5 | 18 | From Area | |
| Story6 | 1 | 5 | From Area | |
| Story6 | 2 | 6 | From Area | |
| Story6 | 3 | 8 | From Area | |
| Story6 | 4 | 10 | From Area | |
| Story6 | 5 | 12 | From Area | |
| Story5 | 1 | 3 | From Area | |
| Story5 | 2 | 4 | From Area | |
| Story5 | 3 | 7 | From Area | |
| Story5 | 4 | 9 | From Area | |
| Story5 | 5 | 11 | From Area | |
| Story4 | 1 | 80 | From Area | |
| Story4 | 2 | 85 | From Area | |
| Story4 | 3 | 90 | From Area | |
| Story4 | 4 | 95 | From Area | |
| Story4 | 5 | 100 | From Area | |
| Story3 | 1 | 79 | From Area | |
| Story3 | 2 | 84 | From Area | |
| Story3 | 3 | 89 | From Area | |
| Story3 | 4 | 94 | From Area | |
| Story3 | 5 | 99 | From Area | |
| Story2 | 1 | 81 | From Area | |
| Story2 | 2 | 86 | From Area | |
| Story2 | 3 | 91 | From Area | |
| Story2 | 4 | 96 | From Area | |
| Story2 | 5 | 101 | From Area | |
| Story1 | 1 | 78 | From Area | |
| Story1 | 2 | 83 | From Area | |
| Story1 | 3 | 88 | From Area | |
| Story1 | 4 | 93 | From Area | |
| Story1 | 5 | 98 | From Area | |
| Base | 1 | 77 | From Area | UX; UY; UZ; RX; RY; RZ |
| Base | 2 | 82 | From Area | UX; UY; UZ; RX; RY; RZ |
| Base | 3 | 87 | From Area | UX; UY; UZ; RX; RY; RZ |
| Base | 4 | 92 | From Area | UX; UY; UZ; RX; RY; RZ |
| Base | 5 | 97 | From Area | UX; UY; UZ; RX; RY; RZ |

## 3.2 Frame Assignments

**Table 3.2 - Frame Assignments - Summary**

| Story | Label | Unique Name | Design Type | Length m | Analysis Section | Design Section | Max Station Spacing m | Min Number Stations | Added Mass tonf-s²/m² |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Story7 | C1 | 37 | Column | 3 | HEB450 | HEB450 | | 3 | |
| Story7 | C2 | 38 | Column | 3 | HEB450 | HEB450 | | 3 | |
| Story7 | C3 | 39 | Column | 3 | HEB450 | HEB450 | | 3 | |
| Story7 | C4 | 40 | Column | 3 | HEB450 | HEB450 | | 3 | |
| Story7 | C5 | 41 | Column | 3 | HEB450 | HEB450 | | 3 | |
| Story6 | C1 | 27 | Column | 3 | HEB450 | HEB450 | | 3 | |
| Story6 | C2 | 29 | Column | 3 | HEB450 | HEB450 | | 3 | |
| Story6 | C3 | 31 | Column | 3 | HEB450 | HEB450 | | 3 | |
| Story6 | C4 | 33 | Column | 3 | HEB450 | HEB450 | | 3 | |
| Story6 | C5 | 35 | Column | 3 | HEB450 | HEB450 | | 3 | |
| Story5 | C1 | 26 | Column | 3 | HEB450 | HEB450 | | 3 | |
| Story5 | C2 | 28 | Column | 3 | HEB450 | HEB450 | | 3 | |
| Story5 | C3 | 30 | Column | 3 | HEB450 | HEB450 | | 3 | |
| Story5 | C4 | 32 | Column | 3 | HEB450 | HEB450 | | 3 | |
| Story5 | C5 | 34 | Column | 3 | HEB450 | HEB450 | | 3 | |
| Story4 | C1 | 88 | Column | 3 | HEB500 | HEB500 | | 3 | |
| Story4 | C2 | 92 | Column | 3 | HEB500 | HEB500 | | 3 | |
| Story4 | C3 | 96 | Column | 3 | HEB500 | HEB500 | | 3 | |
| Story4 | C4 | 100 | Column | 3 | HEB500 | HEB500 | | 3 | |
| Story4 | C5 | 104 | Column | 3 | HEB500 | HEB500 | | 3 | |
| Story3 | C1 | 89 | Column | 3 | HEB500 | HEB500 | | 3 | |
| Story3 | C2 | 93 | Column | 3 | HEB500 | HEB500 | | 3 | |
| Story3 | C3 | 97 | Column | 3 | HEB500 | HEB500 | | 3 | |
| Story3 | C4 | 101 | Column | 3 | HEB500 | HEB500 | | 3 | |
| Story3 | C5 | 105 | Column | 3 | HEB500 | HEB500 | | 3 | |
| Story2 | C1 | 90 | Column | 3 | HEB500 | HEB500 | | 3 | |
| Story2 | C2 | 94 | Column | 3 | HEB500 | HEB500 | | 3 | |
| Story2 | C3 | 98 | Column | 3 | HEB500 | HEB500 | | 3 | |
| Story2 | C4 | 102 | Column | 3 | HEB500 | HEB500 | | 3 | |
| Story2 | C5 | 106 | Column | 3 | HEB500 | HEB500 | | 3 | |
| Story1 | C1 | 87 | Column | 3 | HEB500 | HEB500 | | 3 | |
| Story1 | C2 | 91 | Column | 3 | HEB500 | HEB500 | | 3 | |
| Story1 | C3 | 95 | Column | 3 | HEB500 | HEB500 | | 3 | |
| Story1 | C4 | 99 | Column | 3 | HEB500 | HEB500 | | 3 | |
| Story1 | C5 | 103 | Column | 3 | HEB500 | HEB500 | | 3 | |
| Story7 | B1 | 42 | Beam | 6 | IPE360 | IPE360 | 0.5 | | 0.2 |
| Story7 | B2 | 43 | Beam | 6 | IPE360 | IPE360 | 0.5 | | 0.2 |
| Story7 | B3 | 47 | Beam | 6 | IPE360 | IPE360 | 0.5 | | 0.2 |
| Story7 | B4 | 48 | Beam | 6 | IPE360 | IPE360 | 0.5 | | 0.2 |
| Story6 | B1 | 19 | Beam | 6 | IPE400 | IPE400 | 0.5 | | 0.2 |
| Story6 | B2 | 21 | Beam | 6 | IPE400 | IPE400 | 0.5 | | 0.2 |
| Story6 | B3 | 23 | Beam | 6 | IPE400 | IPE400 | 0.5 | | 0.2 |
| Story6 | B4 | 25 | Beam | 6 | IPE400 | IPE400 | 0.5 | | 0.2 |
| Story5 | B1 | 18 | Beam | 6 | IPE400 | IPE400 | 0.5 | | 0.2 |
| Story5 | B2 | 20 | Beam | 6 | IPE400 | IPE400 | 0.5 | | 0.2 |
| Story5 | B3 | 22 | Beam | 6 | IPE400 | IPE400 | 0.5 | | 0.2 |
| Story5 | B4 | 24 | Beam | 6 | IPE400 | IPE400 | 0.5 | | 0.2 |

**Table 3.2 - Frame Assignments - Summary (continued)**

| Story | Label | Unique Name | Design Type | Length m | Analysis Section | Design Section | Max Station Spacing m | Min Number Stations | Added Mass tonf-s²/m² |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Story4 | B1 | 2 | Beam | 6 | IPN450 | IPN450 | 0.5 | | 0.2 |
| Story4 | B2 | 6 | Beam | 6 | IPN450 | IPN450 | 0.5 | | 0.2 |
| Story4 | B3 | 10 | Beam | 6 | IPN450 | IPN450 | 0.5 | | 0.2 |
| Story4 | B4 | 14 | Beam | 6 | IPN450 | IPN450 | 0.5 | | 0.2 |
| Story3 | B1 | 3 | Beam | 6 | IPN450 | IPN450 | 0.5 | | 0.2 |
| Story3 | B2 | 7 | Beam | 6 | IPN450 | IPN450 | 0.5 | | 0.2 |
| Story3 | B3 | 11 | Beam | 6 | IPN450 | IPN450 | 0.5 | | 0.2 |
| Story3 | B4 | 15 | Beam | 6 | IPN450 | IPN450 | 0.5 | | 0.2 |
| Story2 | B1 | 4 | Beam | 6 | IPN450 | IPN450 | 0.5 | | 0.2 |
| Story2 | B2 | 8 | Beam | 6 | IPN450 | IPN450 | 0.5 | | 0.2 |
| Story2 | B3 | 12 | Beam | 6 | IPN450 | IPN450 | 0.5 | | 0.2 |
| Story2 | B4 | 16 | Beam | 6 | IPN450 | IPN450 | 0.5 | | 0.2 |
| Story1 | B1 | 1 | Beam | 6 | IPN450 | IPN450 | 0.5 | | 0.2 |
| Story1 | B2 | 5 | Beam | 6 | IPN450 | IPN450 | 0.5 | | 0.2 |
| Story1 | B3 | 9 | Beam | 6 | IPN450 | IPN450 | 0.5 | | 0.2 |
| Story1 | B4 | 13 | Beam | 6 | IPN450 | IPN450 | 0.5 | | 0.2 |

# 4 Loads

This chapter provides loading information as applied to the model.

## 4.1 Load Patterns

**Table 4.1 - Load Patterns**

| Name | Type | Self Weight Multiplier | Auto Load |
|---|---|---|---|
| Dead | Dead | 1 | |
| Live | Live | 0 | |
| $\text{Sobrecarga}_{\text{Dead}}$ | Superimposed Dead | 0 | |
| $\text{Sismo}_{\text{LSP}}$ | Seismic | 0 | User Coefficient |
| $\text{LATERAL}_{\text{NSP}}$ | Other | 0 | |

## 4.2 Auto Seismic Loading

## User Coefficient Auto Seismic Load Calculation

This calculation presents the automatically generated lateral seismic loads for load pattern $\text{Sismo}_{\text{LSP}}$ using the user input coefficients, as calculated by ETABS.

**Direction and Eccentricity**

Direction = X + Eccentricity Y

Eccentricity Ratio = 5% for all diaphragms

**Factors and Coefficients**

**Equivalent Lateral Forces**

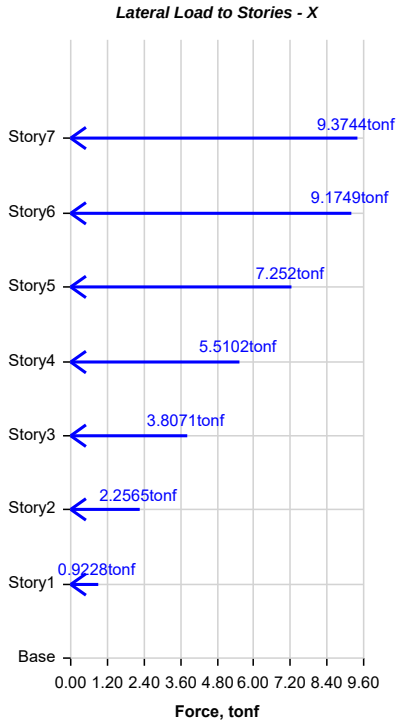
Base Shear Coefficient, C $C = 0.062$

Base Shear, V $V = CW$

**Calculated Base Shear**

| Direction | Period Used (sec) | C | W (tonf) | V (tonf) |
|---|---|---|---|---|
| X + Ecc. Y | 0 | 0 | 617.70708 | 38.2978 |

**Applied Story Forces**




| Story | Elevation m | X-Dir tonf | Y-Dir tonf |
|---|---|---|---|
| Story7 | 21 | 9.3744 | 0 |
| Story6 | 18 | 9.1749 | 0 |
| Story5 | 15 | 7.252 | 0 |
| Story4 | 12 | 5.5102 | 0 |
| Story3 | 9 | 3.8071 | 0 |
| Story2 | 6 | 2.2565 | 0 |
| Story1 | 3 | 0.9228 | 0 |
| Base | 0 | 0 | 0 |

## 4.3 Applied Loads

### 4.3.1 Point Loads

**Table 4.3 - Joint Loads - Force**

| Story | Label | Unique Name | Load Pattern | FX tonf | FY tonf | FZ tonf | MX tonf-m | MY tonf-m | MZ tonf-m | XDim m | YDim m |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Story7 | 1 | 14 | Sobrecarga$_{Dead}$ | 0 | 0 | -1.15 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Story7 | 2 | 15 | Sobrecarga$_{Dead}$ | 0 | 0 | -1.6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Story7 | 3 | 16 | Sobrecarga$_{Dead}$ | 0 | 0 | -1.85 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Story7 | 4 | 17 | Sobrecarga$_{Dead}$ | 0 | 0 | -1.6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Story7 | 5 | 18 | Sobrecarga$_{Dead}$ | 0 | 0 | -1.15 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Story6 | 1 | 5 | Sobrecarga$_{Dead}$ | 0 | 0 | -1.6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Story6 | 2 | 6 | Sobrecarga$_{Dead}$ | 0 | 0 | -2.4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Story6 | 3 | 8 | Sobrecarga$_{Dead}$ | 0 | 0 | -2.7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Story6 | 4 | 10 | Sobrecarga$_{Dead}$ | 0 | 0 | -2.4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Story6 | 5 | 12 | Sobrecarga$_{Dead}$ | 0 | 0 | -1.6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Story5 | 1 | 3 | Sobrecarga$_{Dead}$ | 0 | 0 | -1.6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Story5 | 2 | 4 | Sobrecarga$_{Dead}$ | 0 | 0 | -2.4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Story5 | 3 | 7 | Sobrecarga$_{Dead}$ | 0 | 0 | -2.7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Story5 | 4 | 9 | Sobrecarga$_{Dead}$ | 0 | 0 | -2.4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Story5 | 5 | 11 | Sobrecarga$_{Dead}$ | 0 | 0 | -1.6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Story4 | 1 | 80 | Sobrecarga$_{Dead}$ | 0 | 0 | -1.6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Story4 | 2 | 85 | Sobrecarga$_{Dead}$ | 0 | 0 | -2.4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Story4 | 3 | 90 | Sobrecarga$_{Dead}$ | 0 | 0 | -2.7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Story4 | 4 | 95 | Sobrecarga$_{Dead}$ | 0 | 0 | -2.4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Story4 | 5 | 100 | Sobrecarga$_{Dead}$ | 0 | 0 | -1.6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Story3 | 1 | 79 | Sobrecarga$_{Dead}$ | 0 | 0 | -1.6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Story3 | 2 | 84 | Sobrecarga$_{Dead}$ | 0 | 0 | -2.4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Story3 | 3 | 89 | Sobrecarga$_{Dead}$ | 0 | 0 | -2.7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Story3 | 4 | 94 | Sobrecarga$_{Dead}$ | 0 | 0 | -2.4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Story3 | 5 | 99 | Sobrecarga$_{Dead}$ | 0 | 0 | -1.6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Story2 | 1 | 81 | Sobrecarga$_{Dead}$ | 0 | 0 | -1.6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Story2 | 2 | 86 | Sobrecarga$_{Dead}$ | 0 | 0 | -2.4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Story2 | 3 | 91 | Sobrecarga$_{Dead}$ | 0 | 0 | -2.7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Story2 | 4 | 96 | Sobrecarga$_{Dead}$ | 0 | 0 | -2.4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Story2 | 5 | 101 | Sobrecarga$_{Dead}$ | 0 | 0 | -1.6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Story1 | 1 | 78 | Sobrecarga$_{Dead}$ | 0 | 0 | -1.6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Story1 | 2 | 83 | Sobrecarga$_{Dead}$ | 0 | 0 | -2.4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Story1 | 3 | 88 | Sobrecarga$_{Dead}$ | 0 | 0 | -2.7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Story1 | 4 | 93 | Sobrecarga$_{Dead}$ | 0 | 0 | -2.4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Story1 | 5 | 98 | Sobrecarga$_{Dead}$ | 0 | 0 | -1.6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Base | 1 | 77 | Sobrecarga$_{Dead}$ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Base | 2 | 82 | Sobrecarga$_{Dead}$ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Base | 3 | 87 | Sobrecarga$_{Dead}$ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Base | 4 | 92 | Sobrecarga$_{Dead}$ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Base | 5 | 97 | Sobrecarga$_{Dead}$ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Story7 | 1 | 14 | LATERAL$_{NSP}$ | 5.306 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Story6 | 1 | 5 | LATERAL$_{NSP}$ | 3.622 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Story5 | 1 | 3 | LATERAL$_{NSP}$ | 2.382 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Story4 | 1 | 80 | LATERAL$_{NSP}$ | 1.951 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Story3 | 1 | 79 | LATERAL$_{NSP}$ | 1.92 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Story2 | 1 | 81 | LATERAL$_{NSP}$ | 1.689 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Story1 | 1 | 78 | LATERAL$_{NSP}$ | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

### 4.3.2 Line Loads

**Table 4.4 - Frame Loads - Point**

| Story | Label | Unique Name | Design Type | Load Pattern | Load Type | Direction | Relative Distance | Absolute Distance m | Force tonf |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Story7 | B1 | 42 | Beam | Live | Force | Gravity | 0.25 | 1.5 | 0.315 |
| Story7 | B1 | 42 | Beam | Live | Force | Gravity | 0.5 | 3 | 0.315 |
| Story7 | B1 | 42 | Beam | Live | Force | Gravity | 0.75 | 4.5 | 0.315 |
| Story7 | B2 | 43 | Beam | Live | Force | Gravity | 0.25 | 1.5 | 0.315 |
| Story7 | B2 | 43 | Beam | Live | Force | Gravity | 0.5 | 3 | 0.315 |
| Story7 | B2 | 43 | Beam | Live | Force | Gravity | 0.75 | 4.5 | 0.315 |
| Story7 | B3 | 47 | Beam | Live | Force | Gravity | 0.25 | 1.5 | 0.315 |
| Story7 | B3 | 47 | Beam | Live | Force | Gravity | 0.5 | 3 | 0.315 |
| Story7 | B3 | 47 | Beam | Live | Force | Gravity | 0.75 | 4.5 | 0.315 |
| Story7 | B4 | 48 | Beam | Live | Force | Gravity | 0.25 | 1.5 | 0.315 |
| Story7 | B4 | 48 | Beam | Live | Force | Gravity | 0.5 | 3 | 0.315 |
| Story7 | B4 | 48 | Beam | Live | Force | Gravity | 0.75 | 4.5 | 0.315 |
| Story6 | B1 | 19 | Beam | Live | Force | Gravity | 0.25 | 1.5 | 0.9 |
| Story6 | B1 | 19 | Beam | Live | Force | Gravity | 0.5 | 3 | 0.9 |
| Story6 | B1 | 19 | Beam | Live | Force | Gravity | 0.75 | 4.5 | 0.9 |
| Story6 | B2 | 21 | Beam | Live | Force | Gravity | 0.25 | 1.5 | 0.9 |
| Story6 | B2 | 21 | Beam | Live | Force | Gravity | 0.5 | 3 | 0.9 |
| Story6 | B2 | 21 | Beam | Live | Force | Gravity | 0.75 | 4.5 | 0.9 |
| Story6 | B3 | 23 | Beam | Live | Force | Gravity | 0.25 | 1.5 | 0.9 |
| Story6 | B3 | 23 | Beam | Live | Force | Gravity | 0.5 | 3 | 0.9 |
| Story6 | B3 | 23 | Beam | Live | Force | Gravity | 0.75 | 4.5 | 0.9 |
| Story6 | B4 | 25 | Beam | Live | Force | Gravity | 0.25 | 1.5 | 0.9 |
| Story6 | B4 | 25 | Beam | Live | Force | Gravity | 0.5 | 3 | 0.9 |
| Story6 | B4 | 25 | Beam | Live | Force | Gravity | 0.75 | 4.5 | 0.9 |
| Story5 | B1 | 18 | Beam | Live | Force | Gravity | 0.25 | 1.5 | 0.9 |
| Story5 | B1 | 18 | Beam | Live | Force | Gravity | 0.5 | 3 | 0.9 |
| Story5 | B1 | 18 | Beam | Live | Force | Gravity | 0.75 | 4.5 | 0.9 |
| Story5 | B2 | 20 | Beam | Live | Force | Gravity | 0.25 | 1.5 | 0.9 |
| Story5 | B2 | 20 | Beam | Live | Force | Gravity | 0.5 | 3 | 0.9 |
| Story5 | B2 | 20 | Beam | Live | Force | Gravity | 0.75 | 4.5 | 0.9 |
| Story5 | B3 | 22 | Beam | Live | Force | Gravity | 0.25 | 1.5 | 0.9 |
| Story5 | B3 | 22 | Beam | Live | Force | Gravity | 0.5 | 3 | 0.9 |
| Story5 | B3 | 22 | Beam | Live | Force | Gravity | 0.75 | 4.5 | 0.9 |
| Story5 | B4 | 24 | Beam | Live | Force | Gravity | 0.25 | 1.5 | 0.9 |
| Story5 | B4 | 24 | Beam | Live | Force | Gravity | 0.5 | 3 | 0.9 |
| Story5 | B4 | 24 | Beam | Live | Force | Gravity | 0.75 | 4.5 | 0.9 |
| Story4 | B1 | 2 | Beam | Live | Force | Gravity | 0.25 | 1.5 | 0.9 |
| Story4 | B1 | 2 | Beam | Live | Force | Gravity | 0.5 | 3 | 0.9 |
| Story4 | B1 | 2 | Beam | Live | Force | Gravity | 0.75 | 4.5 | 0.9 |
| Story4 | B2 | 6 | Beam | Live | Force | Gravity | 0.25 | 1.5 | 0.9 |
| Story4 | B2 | 6 | Beam | Live | Force | Gravity | 0.5 | 3 | 0.9 |
| Story4 | B2 | 6 | Beam | Live | Force | Gravity | 0.75 | 4.5 | 0.9 |
| Story4 | B3 | 10 | Beam | Live | Force | Gravity | 0.25 | 1.5 | 0.9 |
| Story4 | B3 | 10 | Beam | Live | Force | Gravity | 0.5 | 3 | 0.9 |
| Story4 | B3 | 10 | Beam | Live | Force | Gravity | 0.75 | 4.5 | 0.9 |
| Story4 | B4 | 14 | Beam | Live | Force | Gravity | 0.25 | 1.5 | 0.9 |
| Story4 | B4 | 14 | Beam | Live | Force | Gravity | 0.5 | 3 | 0.9 |

**Table 4.4 - Frame Loads - Point (continued)**

| Story | Label | Unique Name | Design Type | Load Pattern | Load Type | Direction | Relative Distance | Absolute Distance m | Force tonf |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Story4 | B4 | 14 | Beam | Live | Force | Gravity | 0.75 | 4.5 | 0.9 |
| Story3 | B1 | 3 | Beam | Live | Force | Gravity | 0.25 | 1.5 | 0.9 |
| Story3 | B1 | 3 | Beam | Live | Force | Gravity | 0.5 | 3 | 0.9 |
| Story3 | B1 | 3 | Beam | Live | Force | Gravity | 0.75 | 4.5 | 0.9 |
| Story3 | B2 | 7 | Beam | Live | Force | Gravity | 0.25 | 1.5 | 0.9 |
| Story3 | B2 | 7 | Beam | Live | Force | Gravity | 0.5 | 3 | 0.9 |
| Story3 | B2 | 7 | Beam | Live | Force | Gravity | 0.75 | 4.5 | 0.9 |
| Story3 | B3 | 11 | Beam | Live | Force | Gravity | 0.25 | 1.5 | 0.9 |
| Story3 | B3 | 11 | Beam | Live | Force | Gravity | 0.5 | 3 | 0.9 |
| Story3 | B3 | 11 | Beam | Live | Force | Gravity | 0.75 | 4.5 | 0.9 |
| Story3 | B4 | 15 | Beam | Live | Force | Gravity | 0.25 | 1.5 | 0.9 |
| Story3 | B4 | 15 | Beam | Live | Force | Gravity | 0.5 | 3 | 0.9 |
| Story3 | B4 | 15 | Beam | Live | Force | Gravity | 0.75 | 4.5 | 0.9 |
| Story2 | B1 | 4 | Beam | Live | Force | Gravity | 0.25 | 1.5 | 0.9 |
| Story2 | B1 | 4 | Beam | Live | Force | Gravity | 0.5 | 3 | 0.9 |
| Story2 | B1 | 4 | Beam | Live | Force | Gravity | 0.75 | 4.5 | 0.9 |
| Story2 | B2 | 8 | Beam | Live | Force | Gravity | 0.25 | 1.5 | 0.9 |
| Story2 | B2 | 8 | Beam | Live | Force | Gravity | 0.5 | 3 | 0.9 |
| Story2 | B2 | 8 | Beam | Live | Force | Gravity | 0.75 | 4.5 | 0.9 |
| Story2 | B3 | 12 | Beam | Live | Force | Gravity | 0.25 | 1.5 | 0.9 |
| Story2 | B3 | 12 | Beam | Live | Force | Gravity | 0.5 | 3 | 0.9 |
| Story2 | B3 | 12 | Beam | Live | Force | Gravity | 0.75 | 4.5 | 0.9 |
| Story2 | B4 | 16 | Beam | Live | Force | Gravity | 0.25 | 1.5 | 0.9 |
| Story2 | B4 | 16 | Beam | Live | Force | Gravity | 0.5 | 3 | 0.9 |
| Story2 | B4 | 16 | Beam | Live | Force | Gravity | 0.75 | 4.5 | 0.9 |
| Story1 | B1 | 1 | Beam | Live | Force | Gravity | 0.25 | 1.5 | 0.9 |
| Story1 | B1 | 1 | Beam | Live | Force | Gravity | 0.5 | 3 | 0.9 |
| Story1 | B1 | 1 | Beam | Live | Force | Gravity | 0.75 | 4.5 | 0.9 |
| Story1 | B2 | 5 | Beam | Live | Force | Gravity | 0.25 | 1.5 | 0.9 |
| Story1 | B2 | 5 | Beam | Live | Force | Gravity | 0.5 | 3 | 0.9 |
| Story1 | B2 | 5 | Beam | Live | Force | Gravity | 0.75 | 4.5 | 0.9 |
| Story1 | B3 | 9 | Beam | Live | Force | Gravity | 0.25 | 1.5 | 0.9 |
| Story1 | B3 | 9 | Beam | Live | Force | Gravity | 0.5 | 3 | 0.9 |
| Story1 | B3 | 9 | Beam | Live | Force | Gravity | 0.75 | 4.5 | 0.9 |
| Story1 | B4 | 13 | Beam | Live | Force | Gravity | 0.25 | 1.5 | 0.9 |
| Story1 | B4 | 13 | Beam | Live | Force | Gravity | 0.5 | 3 | 0.9 |
| Story1 | B4 | 13 | Beam | Live | Force | Gravity | 0.75 | 4.5 | 0.9 |
| Story7 | B1 | 42 | Beam | Sobrecarga $_{Dead}$ | Force | Gravity | 0.25 | 1.5 | 1.505 |
| Story7 | B1 | 42 | Beam | Sobrecarga $_{Dead}$ | Force | Gravity | 0.5 | 3 | 1.505 |
| Story7 | B1 | 42 | Beam | Sobrecarga $_{Dead}$ | Force | Gravity | 0.75 | 4.5 | 1.505 |
| Story7 | B2 | 43 | Beam | Sobrecarga $_{Dead}$ | Force | Gravity | 0.25 | 1.5 | 1.505 |
| Story7 | B2 | 43 | Beam | Sobrecarga $_{Dead}$ | Force | Gravity | 0.5 | 3 | 1.505 |
| Story7 | B2 | 43 | Beam | Sobrecarga $_{Dead}$ | Force | Gravity | 0.75 | 4.5 | 1.505 |
| Story7 | B3 | 47 | Beam | Sobrecarga $_{Dead}$ | Force | Gravity | 0.25 | 1.5 | 1.505 |
| Story7 | B3 | 47 | Beam | Sobrecarga $_{Dead}$ | Force | Gravity | 0.5 | 3 | 1.505 |
| Story7 | B3 | 47 | Beam | Sobrecarga $_{Dead}$ | Force | Gravity | 0.75 | 4.5 | 1.505 |
| Story7 | B4 | 48 | Beam | Sobrecarga $_{Dead}$ | Force | Gravity | 0.25 | 1.5 | 1.505 |
| Story7 | B4 | 48 | Beam | Sobrecarga $_{Dead}$ | Force | Gravity | 0.5 | 3 | 1.505 |

**Table 4.4 - Frame Loads - Point (continued)**

| Story | Label | Unique Name | Design Type | Load Pattern | Load Type | Direction | Relative Distance | Absolute Distance m | Force tonf |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Story7 | B4 | 48 | Beam | Sobrecarga Dead | Force | Gravity | 0.75 | 4.5 | 1.505 |
| Story6 | B1 | 19 | Beam | Sobrecarga Dead | Force | Gravity | 0.25 | 1.5 | 2.315 |
| Story6 | B1 | 19 | Beam | Sobrecarga Dead | Force | Gravity | 0.5 | 3 | 2.315 |
| Story6 | B1 | 19 | Beam | Sobrecarga Dead | Force | Gravity | 0.75 | 4.5 | 2.315 |
| Story6 | B2 | 21 | Beam | Sobrecarga Dead | Force | Gravity | 0.25 | 1.5 | 2.315 |
| Story6 | B2 | 21 | Beam | Sobrecarga Dead | Force | Gravity | 0.5 | 3 | 2.315 |
| Story6 | B2 | 21 | Beam | Sobrecarga Dead | Force | Gravity | 0.75 | 4.5 | 2.315 |
| Story6 | B3 | 23 | Beam | Sobrecarga Dead | Force | Gravity | 0.25 | 1.5 | 2.315 |
| Story6 | B3 | 23 | Beam | Sobrecarga Dead | Force | Gravity | 0.5 | 3 | 2.315 |
| Story6 | B3 | 23 | Beam | Sobrecarga Dead | Force | Gravity | 0.75 | 4.5 | 2.315 |
| Story6 | B4 | 25 | Beam | Sobrecarga Dead | Force | Gravity | 0.25 | 1.5 | 2.315 |
| Story6 | B4 | 25 | Beam | Sobrecarga Dead | Force | Gravity | 0.5 | 3 | 2.315 |
| Story6 | B4 | 25 | Beam | Sobrecarga Dead | Force | Gravity | 0.75 | 4.5 | 2.315 |
| Story5 | B1 | 18 | Beam | Sobrecarga Dead | Force | Gravity | 0.25 | 1.5 | 2.315 |
| Story5 | B1 | 18 | Beam | Sobrecarga Dead | Force | Gravity | 0.5 | 3 | 2.315 |
| Story5 | B1 | 18 | Beam | Sobrecarga Dead | Force | Gravity | 0.75 | 4.5 | 2.315 |
| Story5 | B2 | 20 | Beam | Sobrecarga Dead | Force | Gravity | 0.25 | 1.5 | 2.315 |
| Story5 | B2 | 20 | Beam | Sobrecarga Dead | Force | Gravity | 0.5 | 3 | 2.315 |
| Story5 | B2 | 20 | Beam | Sobrecarga Dead | Force | Gravity | 0.75 | 4.5 | 2.315 |
| Story5 | B3 | 22 | Beam | Sobrecarga Dead | Force | Gravity | 0.25 | 1.5 | 2.315 |
| Story5 | B3 | 22 | Beam | Sobrecarga Dead | Force | Gravity | 0.5 | 3 | 2.315 |
| Story5 | B3 | 22 | Beam | Sobrecarga Dead | Force | Gravity | 0.75 | 4.5 | 2.315 |
| Story5 | B4 | 24 | Beam | Sobrecarga Dead | Force | Gravity | 0.25 | 1.5 | 2.315 |
| Story5 | B4 | 24 | Beam | Sobrecarga Dead | Force | Gravity | 0.5 | 3 | 2.315 |
| Story5 | B4 | 24 | Beam | Sobrecarga Dead | Force | Gravity | 0.75 | 4.5 | 2.315 |
| Story4 | B1 | 2 | Beam | Sobrecarga Dead | Force | Gravity | 0.25 | 1.5 | 2.315 |
| Story4 | B1 | 2 | Beam | Sobrecarga Dead | Force | Gravity | 0.5 | 3 | 2.315 |
| Story4 | B1 | 2 | Beam | Sobrecarga Dead | Force | Gravity | 0.75 | 4.5 | 2.315 |
| Story4 | B2 | 6 | Beam | Sobrecarga Dead | Force | Gravity | 0.25 | 1.5 | 2.315 |
| Story4 | B2 | 6 | Beam | Sobrecarga Dead | Force | Gravity | 0.5 | 3 | 2.315 |
| Story4 | B2 | 6 | Beam | Sobrecarga Dead | Force | Gravity | 0.75 | 4.5 | 2.315 |
| Story4 | B3 | 10 | Beam | Sobrecarga Dead | Force | Gravity | 0.25 | 1.5 | 2.315 |
| Story4 | B3 | 10 | Beam | Sobrecarga Dead | Force | Gravity | 0.5 | 3 | 2.315 |
| Story4 | B3 | 10 | Beam | Sobrecarga Dead | Force | Gravity | 0.75 | 4.5 | 2.315 |
| Story4 | B4 | 14 | Beam | Sobrecarga Dead | Force | Gravity | 0.25 | 1.5 | 2.315 |
| Story4 | B4 | 14 | Beam | Sobrecarga Dead | Force | Gravity | 0.5 | 3 | 2.315 |
| Story4 | B4 | 14 | Beam | Sobrecarga Dead | Force | Gravity | 0.75 | 4.5 | 2.315 |
| Story3 | B1 | 3 | Beam | Sobrecarga Dead | Force | Gravity | 0.25 | 1.5 | 2.315 |
| Story3 | B1 | 3 | Beam | Sobrecarga Dead | Force | Gravity | 0.5 | 3 | 2.315 |
| Story3 | B1 | 3 | Beam | Sobrecarga Dead | Force | Gravity | 0.75 | 4.5 | 2.315 |
| Story3 | B2 | 7 | Beam | Sobrecarga Dead | Force | Gravity | 0.25 | 1.5 | 2.315 |
| Story3 | B2 | 7 | Beam | Sobrecarga Dead | Force | Gravity | 0.5 | 3 | 2.315 |
| Story3 | B2 | 7 | Beam | Sobrecarga Dead | Force | Gravity | 0.75 | 4.5 | 2.315 |
| Story3 | B3 | 11 | Beam | Sobrecarga Dead | Force | Gravity | 0.25 | 1.5 | 2.315 |
| Story3 | B3 | 11 | Beam | Sobrecarga Dead | Force | Gravity | 0.5 | 3 | 2.315 |
| Story3 | B3 | 11 | Beam | Sobrecarga Dead | Force | Gravity | 0.75 | 4.5 | 2.315 |
| Story3 | B4 | 15 | Beam | Sobrecarga Dead | Force | Gravity | 0.25 | 1.5 | 2.315 |
| Story3 | B4 | 15 | Beam | Sobrecarga Dead | Force | Gravity | 0.5 | 3 | 2.315 |

**Table 4.4 - Frame Loads - Point (continued)**

| Story | Label | Unique Name | Design Type | Load Pattern | Load Type | Direction | Relative Distance | Absolute Distance m | Force tonf |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Story3 | B4 | 15 | Beam | Sobrecarga Dead | Force | Gravity | 0.75 | 4.5 | 2.315 |
| Story2 | B1 | 4 | Beam | Sobrecarga Dead | Force | Gravity | 0.25 | 1.5 | 2.315 |
| Story2 | B1 | 4 | Beam | Sobrecarga Dead | Force | Gravity | 0.5 | 3 | 2.315 |
| Story2 | B1 | 4 | Beam | Sobrecarga Dead | Force | Gravity | 0.75 | 4.5 | 2.315 |
| Story2 | B2 | 8 | Beam | Sobrecarga Dead | Force | Gravity | 0.25 | 1.5 | 2.315 |
| Story2 | B2 | 8 | Beam | Sobrecarga Dead | Force | Gravity | 0.5 | 3 | 2.315 |
| Story2 | B2 | 8 | Beam | Sobrecarga Dead | Force | Gravity | 0.75 | 4.5 | 2.315 |
| Story2 | B3 | 12 | Beam | Sobrecarga Dead | Force | Gravity | 0.25 | 1.5 | 2.315 |
| Story2 | B3 | 12 | Beam | Sobrecarga Dead | Force | Gravity | 0.5 | 3 | 2.315 |
| Story2 | B3 | 12 | Beam | Sobrecarga Dead | Force | Gravity | 0.75 | 4.5 | 2.315 |
| Story2 | B4 | 16 | Beam | Sobrecarga Dead | Force | Gravity | 0.25 | 1.5 | 2.315 |
| Story2 | B4 | 16 | Beam | Sobrecarga Dead | Force | Gravity | 0.5 | 3 | 2.315 |
| Story2 | B4 | 16 | Beam | Sobrecarga Dead | Force | Gravity | 0.75 | 4.5 | 2.315 |
| Story1 | B1 | 1 | Beam | Sobrecarga Dead | Force | Gravity | 0.25 | 1.5 | 2.315 |
| Story1 | B1 | 1 | Beam | Sobrecarga Dead | Force | Gravity | 0.5 | 3 | 2.315 |
| Story1 | B1 | 1 | Beam | Sobrecarga Dead | Force | Gravity | 0.75 | 4.5 | 2.315 |
| Story1 | B2 | 5 | Beam | Sobrecarga Dead | Force | Gravity | 0.25 | 1.5 | 2.315 |
| Story1 | B2 | 5 | Beam | Sobrecarga Dead | Force | Gravity | 0.5 | 3 | 2.315 |
| Story1 | B2 | 5 | Beam | Sobrecarga Dead | Force | Gravity | 0.75 | 4.5 | 2.315 |
| Story1 | B3 | 9 | Beam | Sobrecarga Dead | Force | Gravity | 0.25 | 1.5 | 2.315 |
| Story1 | B3 | 9 | Beam | Sobrecarga Dead | Force | Gravity | 0.5 | 3 | 2.315 |
| Story1 | B3 | 9 | Beam | Sobrecarga Dead | Force | Gravity | 0.75 | 4.5 | 2.315 |
| Story1 | B4 | 13 | Beam | Sobrecarga Dead | Force | Gravity | 0.25 | 1.5 | 2.315 |
| Story1 | B4 | 13 | Beam | Sobrecarga Dead | Force | Gravity | 0.5 | 3 | 2.315 |
| Story1 | B4 | 13 | Beam | Sobrecarga Dead | Force | Gravity | 0.75 | 4.5 | 2.315 |

## 4.4 Functions

### 4.4.1 Response Spectrum Functions

**Table 4.5 - Response Spectrum Function - Ecuador Norma NEC-SE-DS 2015 (Part 1 of 2)**

| Name | Period sec | Acceleration | Damping | Zone Coefficient | η Coefficient | Fa | Fd | Soil Type | Behavior Factor |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Espectro Diseño | 0 | 0.137778 | 5 | 0.25 | 2.48 | 1.4 | 1.45 | D | 1.06 |
| Espectro Diseño | 0.1 | 0.137778 | | | | | | | |
| Espectro Diseño | 0.2 | 0.137778 | | | | | | | |
| Espectro Diseño | 0.3 | 0.137778 | | | | | | | |
| Espectro Diseño | 0.4 | 0.137778 | | | | | | | |
| Espectro Diseño | 0.5 | 0.137778 | | | | | | | |
| Espectro Diseño | 0.6 | 0.137778 | | | | | | | |
| Espectro Diseño | 0.7 | 0.110381 | | | | | | | |
| Espectro Diseño | 0.8 | 0.090346 | | | | | | | |
| Espectro Diseño | 0.9 | 0.075714 | | | | | | | |
| Espectro Diseño | 1 | 0.064646 | | | | | | | |
| Espectro Diseño | 1.2 | 0.049178 | | | | | | | |
| Espectro Diseño | 1.5 | 0.035189 | | | | | | | |
| Espectro Diseño | 1.7 | 0.029165 | | | | | | | |
| Espectro Diseño | 2 | 0.022856 | | | | | | | |
| Espectro Diseño | 2.5 | 0.016354 | | | | | | | |

**Table 4.5 - Response Spectrum Function - Ecuador Norma NEC-SE-DS 2015 (Part 1 of 2, continued)**

| Name | Period sec | Acceleration | Damping | Zone Coefficient | η Coefficient | Fa | Fd | Soil Type | Behavior Factor |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Espectro Diseño | 3 | 0.012441 | | | | | | | |
| Espectro Diseño | 3.5 | 0.009873 | | | | | | | |
| Espectro Diseño | 4 | 0.008081 | | | | | | | |
| Espectro Diseño | 5 | 0.005782 | | | | | | | |
| Espectro Diseño | 8 | 0.002857 | | | | | | | |
| Espectro Diseño | 11 | 0.001772 | | | | | | | |
| Espectro Diseño | 15 | 0.001113 | | | | | | | |

**Table 4.5 - Response Spectrum Function - Ecuador Norma NEC-SE-DS 2015 (Part 2 of 2)**

| Name | Importance Factor | R |
|---|---|---|
| Espectro Diseño | 1 | 6.3 |
| Espectro Diseño | | |
| Espectro Diseño | | |
| Espectro Diseño | | |
| Espectro Diseño | | |
| Espectro Diseño | | |
| Espectro Diseño | | |
| Espectro Diseño | | |
| Espectro Diseño | | |
| Espectro Diseño | | |
| Espectro Diseño | | |
| Espectro Diseño | | |
| Espectro Diseño | | |
| Espectro Diseño | | |
| Espectro Diseño | | |
| Espectro Diseño | | |
| Espectro Diseño | | |
| Espectro Diseño | | |
| Espectro Diseño | | |
| Espectro Diseño | | |
| Espectro Diseño | | |
| Espectro Diseño | | |
| Espectro Diseño | | |
| Espectro Diseño | | |

## 4.5 Load Cases

**Table 4.6 - Load Cases - Summary**

| Name | Type |
|---|---|
| Dead | Linear Static |
| Sobrecarga Dead | Linear Static |
| Carga Permanente | Linear Static |
| Live | Linear Static |
| Sismo LSP | Linear Static |
| Sismo LDP | Response Spectrum |
| Carga GRAV | Nonlinear Static |
| LATERAL | Linear Static |
| PUSH-OVER MODO1 | Nonlinear Static |
| PUSH-OVER FUERZAS | Nonlinear Static |

## 4.6 Load Combinations

**Table 4.7 - Load Combinations**

| Name | Load Case/Combo | Scale Factor | Type | Auto |
|---|---|---|---|---|
| 1.4D | Carga $_{Permanente}$ | 1.4 | Linear Add | No |
| 1.2D+1.6L | Carga $_{Permanente}$ | 1.2 | Linear Add | No |
| 1.2D+1.6L | Live | 1.6 | | No |
| 1.2D+L+E (LSP) | Carga $_{Permanente}$ | 1.2 | Linear Add | No |
| 1.2D+L+E (LSP) | Live | 1 | | No |
| 1.2D+L+E (LSP) | Sismo $_{LSP}$ | 1 | | No |
| 1.2D+L+E (LDP) | Carga $_{Permanente}$ | 1.2 | Linear Add | No |
| 1.2D+L+E (LDP) | Live | 1 | | No |
| 1.2D+L+E (LDP) | Sismo $_{LDP}$ | 1 | | No |
| 0.9D+E (LSP) | Carga $_{Permanente}$ | 0.9 | Linear Add | No |
| 0.9D+E (LSP) | Sismo $_{LSP}$ | 1 | | No |
| 0.9D+E (LDP) | Carga $_{Permanente}$ | 0.9 | Linear Add | No |
| 0.9D+E (LDP) | Sismo $_{LDP}$ | 1 | | No |
| Envolvente (Limites de recistencia) | 1.4D | 1 | Envelope | No |
| Envolvente (Limites de recistencia) | 1.2D+1.6L | 1 | | No |
| Envolvente (Limites de recistencia) | 1.2D+L+E (LSP) | 1 | | No |
| Envolvente (Limites de recistencia) | 1.2D+L+E (LDP) | 1 | | No |
| Envolvente (Limites de recistencia) | 0.9D+E (LSP) | 1 | | No |
| Envolvente (Limites de recistencia) | 0.9D+E (LDP) | 1 | | No |
| D+L (servicio) | Carga $_{Permanente}$ | 1 | Linear Add | No |
| D+L (servicio) | Live | 1 | | No |
| DStlD1 | Dead | 1 | Linear Add | Yes |
| DStlD1 | Sobrecarga $_{Dead}$ | 1 | | No |
| DStlD1 | Carga $_{Permanente}$ | 1 | | No |
| DStlD2 | Dead | 1 | Linear Add | Yes |
| DStlD2 | Sobrecarga $_{Dead}$ | 1 | | No |
| DStlD2 | Carga $_{Permanente}$ | 1 | | No |
| DStlD2 | Live | 1 | | No |

# 5 Analysis Results

This chapter provides analysis results.

## 5.1 Structure Results

**Table 5.1 - Base Reactions**

| Load Case/Combo | FX tonf | FY tonf | FZ tonf | MX tonf-m | MY tonf-m | MZ tonf-m | X m | Y m | Z m |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Dead | 0 | 0 | 34.5851 | 0 | -415.0212 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Sobrecarga $_{Dead}$ | 0 | 0 | 256.29 | 0 | -3075.48 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Carga $_{Permanente}$ | 0 | 0 | 290.8751 | 0 | -3490.5012 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Live | 0 | 0 | 68.58 | 0 | -822.96 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Sismo $_{LSP}$ | -38.2978 | 0 | 0 | 0 | -587.4836 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Sismo $_{LDP}$ Max | 30.4311 | 0 | 0 | 0 | 417.2592 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Carga $_{GRAV}$ Max | 0 | 0 | 354.2526 | 0 | -4251.0313 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Carga $_{GRAV}$ Min | 0 | 0 | 354.2526 | 0 | -4251.0313 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| LATERAL | -17.87 | 0 | 0 | 0 | -266.178 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| PUSH-OVER $_{MODO1}$ Max | 290.4323 | 0 | 354.2526 | 0 | 97.9612 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| PUSH-OVER $_{MODO1}$ Min | 0 | 0 | 354.2526 | 0 | -4251.0313 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| PUSH-OVER $_{FUERZAS}$ Max | 0 | 0 | 354.2526 | 0 | -4251.0313 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| PUSH-OVER $_{FUERZAS}$ Min | -291.7421 | 0 | 354.2526 | 0 | -8597.5317 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1.4D | 0 | 0 | 407.2251 | 0 | -4886.7017 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1.2D+1.6L | 0 | 0 | 458.7781 | 0 | -5505.3375 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1.2D+L+E (LSP) | -38.2978 | 0 | 417.6301 | 0 | -5599.045 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1.2D+L+E (LDP) Max | 30.4311 | 0 | 417.6301 | 0 | -4594.3022 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1.2D+L+E (LDP) Min | -30.4311 | 0 | 417.6301 | 0 | -5428.8207 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0.9D+E (LSP) | -38.2978 | 0 | 261.7876 | 0 | -3728.9346 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0.9D+E (LDP) Max | 30.4311 | 0 | 261.7876 | 0 | -2724.1919 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0.9D+E (LDP) Min | -30.4311 | 0 | 261.7876 | 0 | -3558.7103 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Envolvente (Limites de recistencia) Max | 30.4311 | 0 | 458.7781 | 0 | -2724.1919 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Envolvente (Limites de recistencia) Min | -38.2978 | 0 | 261.7876 | 0 | -5599.045 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| D+L (servicio) | 0 | 0 | 359.4551 | 0 | -4313.4612 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| DStlD1 | 0 | 0 | 581.7502 | 0 | -6981.0024 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| DStlD2 | 0 | 0 | 650.3302 | 0 | -7803.9624 | 0 | 0 | 0 | 0 |

## 5.2 Story Results

**Table 5.2 - Story Drifts**

| Story | Load Case/Combo | Direction | Drift | Label | X m | Y m | Z m |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Story7 | Dead | X | 3E-06 | 5 | 24 | 0 | 21 |
| Story7 | Sobrecarga $_{Dead}$ | X | 5.2E-05 | 5 | 24 | 0 | 21 |
| Story7 | Carga $_{Permanente}$ | X | 5.6E-05 | 5 | 24 | 0 | 21 |
| Story7 | Live | X | 1.1E-05 | 5 | 24 | 0 | 21 |
| Story7 | Sismo $_{LSP}$ | X | 0.00128 | 5 | 24 | 0 | 21 |
| Story7 | Sismo $_{LDP}$ Max | X | 0.001052 | 1 | 0 | 0 | 21 |
| Story7 | Carga $_{GRAV}$ Max | X | 6.7E-05 | 5 | 24 | 0 | 21 |
| Story7 | Carga $_{GRAV}$ Min | X | 6.7E-05 | 5 | 24 | 0 | 21 |
| Story7 | LATERAL | X | 0.00069 | 1 | 0 | 0 | 21 |
| Story7 | PUSH-OVER $_{MODO1}$ Max | X | 6.7E-05 | 5 | 24 | 0 | 21 |
| Story7 | PUSH-OVER $_{MODO1}$ Min | X | 0.048841 | 5 | 24 | 0 | 21 |
| Story7 | PUSH-OVER $_{FUERZAS}$ Max | X | 0.064345 | 1 | 0 | 0 | 21 |
| Story7 | PUSH-OVER $_{FUERZAS}$ Min | X | 6.7E-05 | 5 | 24 | 0 | 21 |
| Story7 | 1.4D | X | 7.8E-05 | 5 | 24 | 0 | 21 |
| Story7 | 1.2D+1.6L | X | 8.4E-05 | 5 | 24 | 0 | 21 |
| Story7 | 1.2D+L+E (LSP) | X | 0.001358 | 1 | 0 | 0 | 21 |
| Story7 | 1.2D+L+E (LDP) Max | X | 0.001129 | 1 | 0 | 0 | 21 |
| Story7 | 1.2D+L+E (LDP) Min | X | 0.001129 | 5 | 24 | 0 | 21 |
| Story7 | 0.9D+E (LSP) | X | 0.00133 | 1 | 0 | 0 | 21 |
| Story7 | 0.9D+E (LDP) Max | X | 0.001102 | 1 | 0 | 0 | 21 |
| Story7 | 0.9D+E (LDP) Min | X | 0.001102 | 5 | 24 | 0 | 21 |
| Story7 | Envolvente (Limites de recistencia) Max | X | 0.001358 | 1 | 0 | 0 | 21 |
| Story7 | Envolvente (Limites de recistencia) Min | X | 0.001129 | 5 | 24 | 0 | 21 |
| Story7 | D+L (servicio) | X | 6.7E-05 | 5 | 24 | 0 | 21 |
| Story7 | DStlD1 | X | 0.000111 | 5 | 24 | 0 | 21 |
| Story7 | DStlD2 | X | 0.000122 | 5 | 24 | 0 | 21 |
| Story6 | Dead | X | 4.912E-07 | 1 | 0 | 0 | 18 |
| Story6 | Sobrecarga $_{Dead}$ | X | 6E-06 | 5 | 24 | 0 | 18 |
| Story6 | Carga $_{Permanente}$ | X | 5E-06 | 5 | 24 | 0 | 18 |
| Story6 | Live | X | 6E-06 | 5 | 24 | 0 | 18 |
| Story6 | Sismo $_{LSP}$ | X | 0.0017 | 3 | 12 | 0 | 18 |
| Story6 | Sismo $_{LDP}$ Max | X | 0.001315 | 3 | 12 | 0 | 18 |
| Story6 | Carga $_{GRAV}$ Max | X | 9E-06 | 5 | 24 | 0 | 18 |
| Story6 | Carga $_{GRAV}$ Min | X | 9E-06 | 5 | 24 | 0 | 18 |
| Story6 | LATERAL | X | 0.000832 | 1 | 0 | 0 | 18 |
| Story6 | PUSH-OVER $_{MODO1}$ Max | X | 9E-06 | 5 | 24 | 0 | 18 |
| Story6 | PUSH-OVER $_{MODO1}$ Min | X | 0.055436 | 3 | 12 | 0 | 18 |
| Story6 | PUSH-OVER $_{FUERZAS}$ Max | X | 0.067625 | 1 | 0 | 0 | 18 |
| Story6 | PUSH-OVER $_{FUERZAS}$ Min | X | 9E-06 | 5 | 24 | 0 | 18 |
| Story6 | 1.4D | X | 7E-06 | 5 | 24 | 0 | 18 |
| Story6 | 1.2D+1.6L | X | 1.5E-05 | 5 | 24 | 0 | 18 |
| Story6 | 1.2D+L+E (LSP) | X | 0.001706 | 2 | 6 | 0 | 18 |
| Story6 | 1.2D+L+E (LDP) Max | X | 0.001321 | 2 | 6 | 0 | 18 |
| Story6 | 1.2D+L+E (LDP) Min | X | 0.001321 | 4 | 18 | 0 | 18 |
| Story6 | 0.9D+E (LSP) | X | 0.001702 | 2 | 6 | 0 | 18 |
| Story6 | 0.9D+E (LDP) Max | X | 0.001317 | 2 | 6 | 0 | 18 |
| Story6 | 0.9D+E (LDP) Min | X | 0.001317 | 4 | 18 | 0 | 18 |
| Story6 | Envolvente (Limites de recistencia) Max | X | 0.001706 | 2 | 6 | 0 | 18 |

**Table 5.2 - Story Drifts (continued)**

| Story | Load Case/Combo | Direction | Drift | Label | X m | Y m | Z m |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Story6 | Envolvente (Limites de recistencia) Min | X | 0.001321 | 4 | 18 | 0 | 18 |
| Story6 | D+L (servicio) | X | 1.1E-05 | 5 | 24 | 0 | 18 |
| Story6 | DStlD1 | X | 1.1E-05 | 5 | 24 | 0 | 18 |
| Story6 | DStlD2 | X | 1.6E-05 | 5 | 24 | 0 | 18 |
| Story5 | Dead | X | 3.09E-07 | 1 | 0 | 0 | 15 |
| Story5 | Sobrecarga $_{Dead}$ | X | 5E-06 | 1 | 0 | 0 | 15 |
| Story5 | Carga $_{Permanente}$ | X | 5E-06 | 1 | 0 | 0 | 15 |
| Story5 | Live | X | 1E-06 | 1 | 0 | 0 | 15 |
| Story5 | Sismo $_{LSP}$ | X | 0.001862 | 3 | 12 | 0 | 15 |
| Story5 | Sismo $_{LDP}$ Max | X | 0.001361 | 3 | 12 | 0 | 15 |
| Story5 | Carga $_{GRAV}$ Max | X | 6E-06 | 1 | 0 | 0 | 15 |
| Story5 | Carga $_{GRAV}$ Min | X | 6E-06 | 1 | 0 | 0 | 15 |
| Story5 | LATERAL | X | 0.000851 | 1 | 0 | 0 | 15 |
| Story5 | PUSH-OVER $_{MODO1}$ Max | X | 6E-06 | 1 | 0 | 0 | 15 |
| Story5 | PUSH-OVER $_{MODO1}$ Min | X | 0.059 | 3 | 12 | 0 | 15 |
| Story5 | PUSH-OVER $_{FUERZAS}$ Max | X | 0.066322 | 1 | 0 | 0 | 15 |
| Story5 | PUSH-OVER $_{FUERZAS}$ Min | X | 6E-06 | 1 | 0 | 0 | 15 |
| Story5 | 1.4D | X | 7E-06 | 1 | 0 | 0 | 15 |
| Story5 | 1.2D+1.6L | X | 8E-06 | 1 | 0 | 0 | 15 |
| Story5 | 1.2D+L+E (LSP) | X | 0.001863 | 4 | 18 | 0 | 15 |
| Story5 | 1.2D+L+E (LDP) Max | X | 0.001363 | 5 | 24 | 0 | 15 |
| Story5 | 1.2D+L+E (LDP) Min | X | 0.001363 | 1 | 0 | 0 | 15 |
| Story5 | 0.9D+E (LSP) | X | 0.001862 | 4 | 18 | 0 | 15 |
| Story5 | 0.9D+E (LDP) Max | X | 0.001362 | 4 | 18 | 0 | 15 |
| Story5 | 0.9D+E (LDP) Min | X | 0.001362 | 2 | 6 | 0 | 15 |
| Story5 | Envolvente (Limites de recistencia) Max | X | 0.001863 | 4 | 18 | 0 | 15 |
| Story5 | Envolvente (Limites de recistencia) Min | X | 0.001363 | 1 | 0 | 0 | 15 |
| Story5 | D+L (servicio) | X | 6E-06 | 1 | 0 | 0 | 15 |
| Story5 | DStlD1 | X | 1E-05 | 1 | 0 | 0 | 15 |
| Story5 | DStlD2 | X | 1.1E-05 | 1 | 0 | 0 | 15 |
| Story4 | Dead | X | 1E-06 | 5 | 24 | 0 | 12 |
| Story4 | Sobrecarga $_{Dead}$ | X | 4E-06 | 5 | 24 | 0 | 12 |
| Story4 | Carga $_{Permanente}$ | X | 4E-06 | 5 | 24 | 0 | 12 |
| Story4 | Live | X | 1E-06 | 5 | 24 | 0 | 12 |
| Story4 | Sismo $_{LSP}$ | X | 0.001738 | 1 | 0 | 0 | 12 |
| Story4 | Sismo $_{LDP}$ Max | X | 0.001239 | 5 | 24 | 0 | 12 |
| Story4 | Carga $_{GRAV}$ Max | X | 5E-06 | 5 | 24 | 0 | 12 |
| Story4 | Carga $_{GRAV}$ Min | X | 5E-06 | 5 | 24 | 0 | 12 |
| Story4 | LATERAL | X | 0.000758 | 1 | 0 | 0 | 12 |
| Story4 | PUSH-OVER $_{MODO1}$ Max | X | 5E-06 | 5 | 24 | 0 | 12 |
| Story4 | PUSH-OVER $_{MODO1}$ Min | X | 0.058285 | 1 | 0 | 0 | 12 |
| Story4 | PUSH-OVER $_{FUERZAS}$ Max | X | 0.061098 | 1 | 0 | 0 | 12 |
| Story4 | PUSH-OVER $_{FUERZAS}$ Min | X | 5E-06 | 5 | 24 | 0 | 12 |
| Story4 | 1.4D | X | 6E-06 | 5 | 24 | 0 | 12 |
| Story4 | 1.2D+1.6L | X | 7E-06 | 5 | 24 | 0 | 12 |
| Story4 | 1.2D+L+E (LSP) | X | 0.001744 | 1 | 0 | 0 | 12 |
| Story4 | 1.2D+L+E (LDP) Max | X | 0.001245 | 1 | 0 | 0 | 12 |
| Story4 | 1.2D+L+E (LDP) Min | X | 0.001245 | 5 | 24 | 0 | 12 |
| Story4 | 0.9D+E (LSP) | X | 0.001742 | 1 | 0 | 0 | 12 |

**Table 5.2 - Story Drifts (continued)**

| Story | Load Case/Combo | Direction | Drift | Label | X m | Y m | Z m |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Story4 | 0.9D+E (LDP) Max | X | 0.001243 | 1 | 0 | 0 | 12 |
| Story4 | 0.9D+E (LDP) Min | X | 0.001243 | 5 | 24 | 0 | 12 |
| Story4 | Envolvente (Limites de recistencia) Max | X | 0.001744 | 1 | 0 | 0 | 12 |
| Story4 | Envolvente (Limites de recistencia) Min | X | 0.001245 | 5 | 24 | 0 | 12 |
| Story4 | D+L (servicio) | X | 6E-06 | 5 | 24 | 0 | 12 |
| Story4 | DStlD1 | X | 9E-06 | 5 | 24 | 0 | 12 |
| Story4 | DStlD2 | X | 1E-05 | 5 | 24 | 0 | 12 |
| Story3 | Dead | X | 8.125E-08 | 4 | 18 | 0 | 9 |
| Story3 | Sobrecarga $_{Dead}$ | X | 1E-06 | 4 | 18 | 0 | 9 |
| Story3 | Carga $_{Permanente}$ | X | 1E-06 | 4 | 18 | 0 | 9 |
| Story3 | Live | X | 2.316E-07 | 4 | 18 | 0 | 9 |
| Story3 | Sismo $_{LSP}$ | X | 0.001803 | 2 | 6 | 0 | 9 |
| Story3 | Sismo $_{LDP}$ Max | X | 0.001309 | 2 | 6 | 0 | 9 |
| Story3 | Carga $_{GRAV}$ Max | X | 1E-06 | 4 | 18 | 0 | 9 |
| Story3 | Carga $_{GRAV}$ Min | X | 1E-06 | 4 | 18 | 0 | 9 |
| Story3 | LATERAL | X | 0.000791 | 1 | 0 | 0 | 9 |
| Story3 | PUSH-OVER $_{MODO1}$ Max | X | 1E-06 | 4 | 18 | 0 | 9 |
| Story3 | PUSH-OVER $_{MODO1}$ Min | X | 0.057366 | 4 | 18 | 0 | 9 |
| Story3 | PUSH-OVER $_{FUERZAS}$ Max | X | 0.057147 | 4 | 18 | 0 | 9 |
| Story3 | PUSH-OVER $_{FUERZAS}$ Min | X | 1E-06 | 4 | 18 | 0 | 9 |
| Story3 | 1.4D | X | 1E-06 | 4 | 18 | 0 | 9 |
| Story3 | 1.2D+1.6L | X | 1E-06 | 4 | 18 | 0 | 9 |
| Story3 | 1.2D+L+E (LSP) | X | 0.001804 | 2 | 6 | 0 | 9 |
| Story3 | 1.2D+L+E (LDP) Max | X | 0.00131 | 2 | 6 | 0 | 9 |
| Story3 | 1.2D+L+E (LDP) Min | X | 0.00131 | 4 | 18 | 0 | 9 |
| Story3 | 0.9D+E (LSP) | X | 0.001804 | 2 | 6 | 0 | 9 |
| Story3 | 0.9D+E (LDP) Max | X | 0.00131 | 2 | 6 | 0 | 9 |
| Story3 | 0.9D+E (LDP) Min | X | 0.00131 | 4 | 18 | 0 | 9 |
| Story3 | Envolvente (Limites de recistencia) Max | X | 0.001804 | 2 | 6 | 0 | 9 |
| Story3 | Envolvente (Limites de recistencia) Min | X | 0.00131 | 4 | 18 | 0 | 9 |
| Story3 | D+L (servicio) | X | 1E-06 | 4 | 18 | 0 | 9 |
| Story3 | DStlD1 | X | 2E-06 | 4 | 18 | 0 | 9 |
| Story3 | DStlD2 | X | 2E-06 | 4 | 18 | 0 | 9 |
| Story2 | Dead | X | 3.885E-07 | 5 | 24 | 0 | 6 |
| Story2 | Sobrecarga $_{Dead}$ | X | 5E-06 | 5 | 24 | 0 | 6 |
| Story2 | Carga $_{Permanente}$ | X | 5E-06 | 5 | 24 | 0 | 6 |
| Story2 | Live | X | 2E-06 | 5 | 24 | 0 | 6 |
| Story2 | Sismo $_{LSP}$ | X | 0.001714 | 1 | 0 | 0 | 6 |
| Story2 | Sismo $_{LDP}$ Max | X | 0.001289 | 1 | 0 | 0 | 6 |
| Story2 | Carga $_{GRAV}$ Max | X | 7E-06 | 5 | 24 | 0 | 6 |
| Story2 | Carga $_{GRAV}$ Min | X | 7E-06 | 5 | 24 | 0 | 6 |
| Story2 | LATERAL | X | 0.000777 | 1 | 0 | 0 | 6 |
| Story2 | PUSH-OVER $_{MODO1}$ Max | X | 7E-06 | 5 | 24 | 0 | 6 |
| Story2 | PUSH-OVER $_{MODO1}$ Min | X | 0.053681 | 5 | 24 | 0 | 6 |
| Story2 | PUSH-OVER $_{FUERZAS}$ Max | X | 0.051475 | 5 | 24 | 0 | 6 |
| Story2 | PUSH-OVER $_{FUERZAS}$ Min | X | 7E-06 | 5 | 24 | 0 | 6 |
| Story2 | 1.4D | X | 7E-06 | 5 | 24 | 0 | 6 |
| Story2 | 1.2D+1.6L | X | 1E-05 | 5 | 24 | 0 | 6 |
| Story2 | 1.2D+L+E (LSP) | X | 0.001722 | 1 | 0 | 0 | 6 |

**Table 5.2 - Story Drifts (continued)**

| Story | Load Case/Combo | Direction | Drift | Label | X m | Y m | Z m |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Story2 | 1.2D+L+E (LDP) Max | X | 0.001297 | 1 | 0 | 0 | 6 |
| Story2 | 1.2D+L+E (LDP) Min | X | 0.001297 | 5 | 24 | 0 | 6 |
| Story2 | 0.9D+E (LSP) | X | 0.001719 | 1 | 0 | 0 | 6 |
| Story2 | 0.9D+E (LDP) Max | X | 0.001294 | 1 | 0 | 0 | 6 |
| Story2 | 0.9D+E (LDP) Min | X | 0.001294 | 5 | 24 | 0 | 6 |
| Story2 | Envolvente (Limites de recistencia) Max | X | 0.001722 | 1 | 0 | 0 | 6 |
| Story2 | Envolvente (Limites de recistencia) Min | X | 0.001297 | 5 | 24 | 0 | 6 |
| Story2 | D+L (servicio) | X | 7E-06 | 5 | 24 | 0 | 6 |
| Story2 | DStlD1 | X | 1.1E-05 | 5 | 24 | 0 | 6 |
| Story2 | DStlD2 | X | 1.3E-05 | 5 | 24 | 0 | 6 |
| Story1 | Dead | X | 1E-06 | 1 | 0 | 0 | 3 |
| Story1 | Sobrecarga $_{Dead}$ | X | 7E-06 | 1 | 0 | 0 | 3 |
| Story1 | Carga $_{Permanente}$ | X | 8E-06 | 1 | 0 | 0 | 3 |
| Story1 | Live | X | 3E-06 | 1 | 0 | 0 | 3 |
| Story1 | Sismo $_{LSP}$ | X | 0.001033 | 3 | 12 | 0 | 3 |
| Story1 | Sismo $_{LDP}$ Max | X | 0.0008 | 3 | 12 | 0 | 3 |
| Story1 | Carga $_{GRAV}$ Max | X | 1E-05 | 1 | 0 | 0 | 3 |
| Story1 | Carga $_{GRAV}$ Min | X | 1E-05 | 1 | 0 | 0 | 3 |
| Story1 | LATERAL | X | 0.000479 | 1 | 0 | 0 | 3 |
| Story1 | PUSH-OVER $_{MODO1}$ Max | X | 1E-05 | 1 | 0 | 0 | 3 |
| Story1 | PUSH-OVER $_{MODO1}$ Min | X | 0.043803 | 1 | 0 | 0 | 3 |
| Story1 | PUSH-OVER $_{FUERZAS}$ Max | X | 0.041856 | 1 | 0 | 0 | 3 |
| Story1 | PUSH-OVER $_{FUERZAS}$ Min | X | 1E-05 | 1 | 0 | 0 | 3 |
| Story1 | 1.4D | X | 1.1E-05 | 1 | 0 | 0 | 3 |
| Story1 | 1.2D+1.6L | X | 1.3E-05 | 1 | 0 | 0 | 3 |
| Story1 | 1.2D+L+E (LSP) | X | 0.001036 | 4 | 18 | 0 | 3 |
| Story1 | 1.2D+L+E (LDP) Max | X | 0.000804 | 4 | 18 | 0 | 3 |
| Story1 | 1.2D+L+E (LDP) Min | X | 0.000804 | 2 | 6 | 0 | 3 |
| Story1 | 0.9D+E (LSP) | X | 0.001034 | 4 | 18 | 0 | 3 |
| Story1 | 0.9D+E (LDP) Max | X | 0.000801 | 4 | 18 | 0 | 3 |
| Story1 | 0.9D+E (LDP) Min | X | 0.000801 | 2 | 6 | 0 | 3 |
| Story1 | Envolvente (Limites de recistencia) Max | X | 0.001036 | 4 | 18 | 0 | 3 |
| Story1 | Envolvente (Limites de recistencia) Min | X | 0.000804 | 2 | 6 | 0 | 3 |
| Story1 | D+L (servicio) | X | 1E-05 | 1 | 0 | 0 | 3 |
| Story1 | DStlD1 | X | 1.5E-05 | 1 | 0 | 0 | 3 |
| Story1 | DStlD2 | X | 1.8E-05 | 1 | 0 | 0 | 3 |

**Table 5.3 - Story Max/Avg Drifts**

| Story | Load Case/Combo | Direction | Max Drift m | Avg Drift m | Ratio |
|---|---|---|---|---|---|
| Story7 | Dead | X | 1E-05 | 0 | 198100000000 |
| Story7 | Sobrecarga $_{Dead}$ | X | 0.000157 | 0 | 518800000000 |
| Story7 | Carga $_{Permanente}$ | X | 0.000167 | 0 | 474600000000 |
| Story7 | Live | X | 3.3E-05 | 0 | 420500000000 |
| Story7 | Sismo $_{LSP}$ | X | 0.00384 | 0.003814 | 1.007 |
| Story7 | Sismo $_{LDP}$ Max | X | 0.003155 | 0.003137 | 1.006 |
| Story7 | Carga $_{GRAV}$ Max | X | 0.0002 | 0 | 469500000000 |
| Story7 | Carga $_{GRAV}$ Min | X | 0.0002 | 0 | 469500000000 |

**Table 5.3 - Story Max/Avg Drifts (continued)**

| Story | Load Case/Combo | Direction | Max Drift m | Avg Drift m | Ratio |
|---|---|---|---|---|---|
| Story7 | LATERAL | X | 0.00207 | 0.001972 | 1.05 |
| Story7 | PUSH-OVER $_{MODO1}$ Max | X | 0.0002 | 0 | 469500000000 |
| Story7 | PUSH-OVER $_{MODO1}$ Min | X | 0.146522 | 0.146086 | 1.003 |
| Story7 | PUSH-OVER $_{FUERZAS}$ Max | X | 0.193034 | 0.191039 | 1.01 |
| Story7 | PUSH-OVER $_{FUERZAS}$ Min | X | 0.0002 | 0 | 469500000000 |
| Story7 | 1.4D | X | 0.000234 | 0 | 474600000000 |
| Story7 | 1.2D+1.6L | X | 0.000253 | 0 | 462300000000 |
| Story7 | 1.2D+L+E (LSP) | X | 0.004073 | 0.00384 | 1.061 |
| Story7 | 1.2D+L+E (LDP) Max | X | 0.003387 | 0.003155 | 1.074 |
| Story7 | 1.2D+L+E (LDP) Min | X | 0.003387 | 0.003155 | 1.074 |
| Story7 | 0.9D+E (LSP) | X | 0.00399 | 0.00384 | 1.039 |
| Story7 | 0.9D+E (LDP) Max | X | 0.003305 | 0.003155 | 1.048 |
| Story7 | 0.9D+E (LDP) Min | X | 0.003305 | 0.003155 | 1.048 |
| Story7 | Envolvente (Limites de recistencia) Max | X | 0.004073 | 0.003881 | 1.049 |
| Story7 | Envolvente (Limites de recistencia) Min | X | 0.003387 | 0.003196 | 1.06 |
| Story7 | D+L (servicio) | X | 0.0002 | 0 | 464800000000 |
| Story7 | DStlD1 | X | 0.000334 | 0 | 474700000000 |
| Story7 | DStlD2 | X | 0.000367 | 0 | 469300000000 |
| Story6 | Dead | X | 1E-06 | 0 | 34299808909 |
| Story6 | Sobrecarga $_{Dead}$ | X | 1.7E-05 | 0 | 66562829833 |
| Story6 | Carga $_{Permanente}$ | X | 1.6E-05 | 0 | 52364854427 |
| Story6 | Live | X | 1.7E-05 | 0 | 248700000000 |
| Story6 | Sismo $_{LSP}$ | X | 0.005101 | 0.00509 | 1.002 |
| Story6 | Sismo $_{LDP}$ Max | X | 0.003946 | 0.003936 | 1.003 |
| Story6 | Carga $_{GRAV}$ Max | X | 2.6E-05 | 0 | 70050468660 |
| Story6 | Carga $_{GRAV}$ Min | X | 2.6E-05 | 0 | 70050468660 |
| Story6 | LATERAL | X | 0.002495 | 0.002431 | 1.027 |
| Story6 | PUSH-OVER $_{MODO1}$ Max | X | 2.6E-05 | 0 | 70050468660 |
| Story6 | PUSH-OVER $_{MODO1}$ Min | X | 0.166307 | 0.16612 | 1.001 |
| Story6 | PUSH-OVER $_{FUERZAS}$ Max | X | 0.202874 | 0.201816 | 1.005 |
| Story6 | PUSH-OVER $_{FUERZAS}$ Min | X | 2.6E-05 | 0 | 70050468660 |
| Story6 | 1.4D | X | 2.2E-05 | 0 | 52364761117 |
| Story6 | 1.2D+1.6L | X | 4.6E-05 | 0 | 96684045230 |
| Story6 | 1.2D+L+E (LSP) | X | 0.005117 | 0.00508 | 1.007 |
| Story6 | 1.2D+L+E (LDP) Max | X | 0.003962 | 0.003926 | 1.009 |
| Story6 | 1.2D+L+E (LDP) Min | X | 0.003962 | 0.003926 | 1.009 |
| Story6 | 0.9D+E (LSP) | X | 0.005106 | 0.005085 | 1.004 |
| Story6 | 0.9D+E (LDP) Max | X | 0.003951 | 0.003931 | 1.005 |
| Story6 | 0.9D+E (LDP) Min | X | 0.003951 | 0.003931 | 1.005 |
| Story6 | Envolvente (Limites de recistencia) Max | X | 0.005117 | 0.005091 | 1.005 |
| Story6 | Envolvente (Limites de recistencia) Min | X | 0.003962 | 0.003937 | 1.006 |
| Story6 | D+L (servicio) | X | 3.3E-05 | 0 | 87593523032 |
| Story6 | DStlD1 | X | 3.2E-05 | 0 | 52371822500 |
| Story6 | DStlD2 | X | 4.9E-05 | 0 | 71724407545 |
| Story5 | Dead | X | 1E-06 | 0 | 19655110844 |
| Story5 | Sobrecarga $_{Dead}$ | X | 1.4E-05 | 0 | 46269527538 |
| Story5 | Carga $_{Permanente}$ | X | 1.5E-05 | 0 | 42606096633 |
| Story5 | Live | X | 3E-06 | 0 | 43777322186 |

**Table 5.3 - Story Max/Avg Drifts (continued)**

| Story | Load Case/Combo | Direction | Max Drift m | Avg Drift m | Ratio |
|---|---|---|---|---|---|
| Story5 | Sismo $_{LSP}$ | X | 0.005585 | 0.005575 | 1.002 |
| Story5 | Sismo $_{LDP}$ Max | X | 0.004082 | 0.004075 | 1.002 |
| Story5 | Carga $_{GRAV}$ Max | X | 1.8E-05 | 0 | 42645116918 |
| Story5 | Carga $_{GRAV}$ Min | X | 1.8E-05 | 0 | 42645116918 |
| Story5 | LATERAL | X | 0.002554 | 0.002509 | 1.018 |
| Story5 | PUSH-OVER $_{MODO1}$ Max | X | 1.8E-05 | 0 | 42645116918 |
| Story5 | PUSH-OVER $_{MODO1}$ Min | X | 0.177001 | 0.176905 | 1.001 |
| Story5 | PUSH-OVER $_{FUERZAS}$ Max | X | 0.198966 | 0.198249 | 1.004 |
| Story5 | PUSH-OVER $_{FUERZAS}$ Min | X | 1.8E-05 | 0 | 42645116918 |
| Story5 | 1.4D | X | 2.1E-05 | 0 | 42606164122 |
| Story5 | 1.2D+1.6L | X | 2.3E-05 | 0 | 42872925616 |
| Story5 | 1.2D+L+E (LSP) | X | 0.00559 | 0.005567 | 1.004 |
| Story5 | 1.2D+L+E (LDP) Max | X | 0.004089 | 0.004068 | 1.005 |
| Story5 | 1.2D+L+E (LDP) Min | X | 0.004089 | 0.004068 | 1.005 |
| Story5 | 0.9D+E (LSP) | X | 0.005586 | 0.00557 | 1.003 |
| Story5 | 0.9D+E (LDP) Max | X | 0.004085 | 0.00407 | 1.004 |
| Story5 | 0.9D+E (LDP) Min | X | 0.004085 | 0.00407 | 1.004 |
| Story5 | Envolvente (Limites de recistencia) Max | X | 0.00559 | 0.005571 | 1.003 |
| Story5 | Envolvente (Limites de recistencia) Min | X | 0.004089 | 0.004072 | 1.004 |
| Story5 | D+L (servicio) | X | 1.8E-05 | 0 | 42818130677 |
| Story5 | DStlD1 | X | 2.9E-05 | 0 | 42611451433 |
| Story5 | DStlD2 | X | 3.3E-05 | 0 | 42727569588 |
| Story4 | Dead | X | 2E-06 | 0 | 43791272474 |
| Story4 | Sobrecarga $_{Dead}$ | X | 1.1E-05 | 0 | 32277063925 |
| Story4 | Carga $_{Permanente}$ | X | 1.3E-05 | 0 | 33820028768 |
| Story4 | Live | X | 3E-06 | 0 | 38309316055 |
| Story4 | Sismo $_{LSP}$ | X | 0.005213 | 0.0052 | 1.002 |
| Story4 | Sismo $_{LDP}$ Max | X | 0.003716 | 0.003707 | 1.002 |
| Story4 | Carga $_{GRAV}$ Max | X | 1.6E-05 | 0 | 34169983540 |
| Story4 | Carga $_{GRAV}$ Min | X | 1.6E-05 | 0 | 34169983540 |
| Story4 | LATERAL | X | 0.002273 | 0.002263 | 1.005 |
| Story4 | PUSH-OVER $_{MODO1}$ Max | X | 1.6E-05 | 0 | 34169983540 |
| Story4 | PUSH-OVER $_{MODO1}$ Min | X | 0.174854 | 0.174714 | 1.001 |
| Story4 | PUSH-OVER $_{FUERZAS}$ Max | X | 0.183293 | 0.183068 | 1.001 |
| Story4 | PUSH-OVER $_{FUERZAS}$ Min | X | 1.6E-05 | 0 | 34169983540 |
| Story4 | 1.4D | X | 1.8E-05 | 0 | 33820091727 |
| Story4 | 1.2D+1.6L | X | 2.1E-05 | 0 | 34847785606 |
| Story4 | 1.2D+L+E (LSP) | X | 0.005232 | 0.005208 | 1.005 |
| Story4 | 1.2D+L+E (LDP) Max | X | 0.003735 | 0.003714 | 1.006 |
| Story4 | 1.2D+L+E (LDP) Min | X | 0.003735 | 0.003714 | 1.006 |
| Story4 | 0.9D+E (LSP) | X | 0.005225 | 0.005206 | 1.004 |
| Story4 | 0.9D+E (LDP) Max | X | 0.003728 | 0.003712 | 1.004 |
| Story4 | 0.9D+E (LDP) Min | X | 0.003728 | 0.003712 | 1.004 |
| Story4 | Envolvente (Limites de recistencia) Max | X | 0.005232 | 0.00521 | 1.004 |
| Story4 | Envolvente (Limites de recistencia) Min | X | 0.003735 | 0.003716 | 1.005 |
| Story4 | D+L (servicio) | X | 1.7E-05 | 0 | 34637603042 |
| Story4 | DStlD1 | X | 2.6E-05 | 0 | 33821240774 |
| Story4 | DStlD2 | X | 3E-05 | 0 | 34270821914 |

**Table 5.3 - Story Max/Avg Drifts (continued)**

| Story | Load Case/Combo | Direction | Max Drift m | Avg Drift m | Ratio |
|---|---|---|---|---|---|
| Story3 | Dead | X | 2.437E-07 | 0 | 5249458297 |
| Story3 | Sobrecarga Dead | X | 2E-06 | 0 | 7098296379 |
| Story3 | Carga Permanente | X | 2E-06 | 0 | 6842388386 |
| Story3 | Live | X | 1E-06 | 0 | 9355862465 |
| Story3 | Sismo LSP | X | 0.005409 | 0.005408 | 1 |
| Story3 | Sismo LDP Max | X | 0.003927 | 0.003927 | 1 |
| Story3 | Carga GRAV Max | X | 3E-06 | 0 | 7056139992 |
| Story3 | Carga GRAV Min | X | 3E-06 | 0 | 7056139992 |
| Story3 | LATERAL | X | 0.002374 | 0.002368 | 1.002 |
| Story3 | PUSH-OVER MODO1 Max | X | 3E-06 | 0 | 7056139992 |
| Story3 | PUSH-OVER MODO1 Min | X | 0.172099 | 0.171989 | 1.001 |
| Story3 | PUSH-OVER FUERZAS Max | X | 0.171441 | 0.171413 | 1 |
| Story3 | PUSH-OVER FUERZAS Min | X | 3E-06 | 0 | 7056139992 |
| Story3 | 1.4D | X | 3E-06 | 0 | 6842387926 |
| Story3 | 1.2D+1.6L | X | 4E-06 | 0 | 7412024855 |
| Story3 | 1.2D+L+E (LSP) | X | 0.005412 | 0.005408 | 1.001 |
| Story3 | 1.2D+L+E (LDP) Max | X | 0.00393 | 0.003927 | 1.001 |
| Story3 | 1.2D+L+E (LDP) Min | X | 0.00393 | 0.003927 | 1.001 |
| Story3 | 0.9D+E (LSP) | X | 0.005411 | 0.005408 | 1 |
| Story3 | 0.9D+E (LDP) Max | X | 0.003929 | 0.003927 | 1.001 |
| Story3 | 0.9D+E (LDP) Min | X | 0.003929 | 0.003927 | 1.001 |
| Story3 | Envolvente (Limites de recistencia) Max | X | 0.005412 | 0.005409 | 1.001 |
| Story3 | Envolvente (Limites de recistencia) Min | X | 0.00393 | 0.003928 | 1.001 |
| Story3 | D+L (servicio) | X | 3E-06 | 0 | 7295273491 |
| Story3 | DStlD1 | X | 5E-06 | 0 | 6843269771 |
| Story3 | DStlD2 | X | 5E-06 | 0 | 7092079059 |
| Story2 | Dead | X | 1E-06 | 0 | 29180314372 |
| Story2 | Sobrecarga Dead | X | 1.5E-05 | 0 | 60094274954 |
| Story2 | Carga Permanente | X | 1.6E-05 | 0 | 55779600782 |
| Story2 | Live | X | 6E-06 | 0 | 93681587715 |
| Story2 | Sismo LSP | X | 0.005141 | 0.005131 | 1.002 |
| Story2 | Sismo LDP Max | X | 0.003866 | 0.003858 | 1.002 |
| Story2 | Carga GRAV Max | X | 2.1E-05 | 0 | 59074764331 |
| Story2 | Carga GRAV Min | X | 2.1E-05 | 0 | 59074764331 |
| Story2 | LATERAL | X | 0.002331 | 0.00231 | 1.009 |
| Story2 | PUSH-OVER MODO1 Max | X | 2.1E-05 | 0 | 59074764331 |
| Story2 | PUSH-OVER MODO1 Min | X | 0.161043 | 0.160103 | 1.006 |
| Story2 | PUSH-OVER FUERZAS Max | X | 0.154424 | 0.15399 | 1.003 |
| Story2 | PUSH-OVER FUERZAS Min | X | 2.1E-05 | 0 | 59074764331 |
| Story2 | 1.4D | X | 2.2E-05 | 0 | 55779354134 |
| Story2 | 1.2D+1.6L | X | 2.9E-05 | 0 | 64327679004 |
| Story2 | 1.2D+L+E (LSP) | X | 0.005166 | 0.005141 | 1.005 |
| Story2 | 1.2D+L+E (LDP) Max | X | 0.003891 | 0.003866 | 1.006 |
| Story2 | 1.2D+L+E (LDP) Min | X | 0.003891 | 0.003866 | 1.006 |
| Story2 | 0.9D+E (LSP) | X | 0.005156 | 0.005137 | 1.004 |
| Story2 | 0.9D+E (LDP) Max | X | 0.003881 | 0.003864 | 1.004 |
| Story2 | 0.9D+E (LDP) Min | X | 0.003881 | 0.003864 | 1.004 |
| Story2 | Envolvente (Limites de recistencia) Max | X | 0.005166 | 0.005143 | 1.005 |

**Table 5.3 - Story Max/Avg Drifts (continued)**

| Story | Load Case/Combo | Direction | Max Drift m | Avg Drift m | Ratio |
|---|---|---|---|---|---|
| Story2 | Envolvente (Limites de recistencia) Min | X | 0.003891 | 0.00387 | 1.006 |
| Story2 | D+L (servicio) | X | 2.2E-05 | 0 | 62573761925 |
| Story2 | DStlD1 | X | 3.2E-05 | 0 | 55787988136 |
| Story2 | DStlD2 | X | 3.8E-05 | 0 | 59518869965 |
| Story1 | Dead | X | 2E-06 | 0 | 87258490018 |
| Story1 | Sobrecarga $_{Dead}$ | X | 2.1E-05 | 0 | 183000000000 |
| Story1 | Carga $_{Permanente}$ | X | 2.3E-05 | 0 | 169600000000 |
| Story1 | Live | X | 8E-06 | 0 | 265800000000 |
| Story1 | Sismo $_{LSP}$ | X | 0.0031 | 0.003084 | 1.005 |
| Story1 | Sismo $_{LDP}$ Max | X | 0.0024 | 0.002387 | 1.005 |
| Story1 | Carga $_{GRAV}$ Max | X | 2.9E-05 | 0 | 177900000000 |
| Story1 | Carga $_{GRAV}$ Min | X | 2.9E-05 | 0 | 177900000000 |
| Story1 | LATERAL | X | 0.001436 | 0.001414 | 1.016 |
| Story1 | PUSH-OVER $_{MODO1}$ Max | X | 2.9E-05 | 0 | 177900000000 |
| Story1 | PUSH-OVER $_{MODO1}$ Min | X | 0.131408 | 0.130369 | 1.008 |
| Story1 | PUSH-OVER $_{FUERZAS}$ Max | X | 0.125567 | 0.124704 | 1.007 |
| Story1 | PUSH-OVER $_{FUERZAS}$ Min | X | 2.9E-05 | 0 | 177900000000 |
| Story1 | 1.4D | X | 3.2E-05 | 0 | 169600000000 |
| Story1 | 1.2D+1.6L | X | 4E-05 | 0 | 191300000000 |
| Story1 | 1.2D+L+E (LSP) | X | 0.003109 | 0.00307 | 1.013 |
| Story1 | 1.2D+L+E (LDP) Max | X | 0.002411 | 0.002374 | 1.015 |
| Story1 | 1.2D+L+E (LDP) Min | X | 0.002411 | 0.002374 | 1.015 |
| Story1 | 0.9D+E (LSP) | X | 0.003102 | 0.003074 | 1.009 |
| Story1 | 0.9D+E (LDP) Max | X | 0.002404 | 0.002378 | 1.011 |
| Story1 | 0.9D+E (LDP) Min | X | 0.002404 | 0.002378 | 1.011 |
| Story1 | Envolvente (Limites de recistencia) Max | X | 0.003109 | 0.003078 | 1.01 |
| Story1 | Envolvente (Limites de recistencia) Min | X | 0.002411 | 0.002382 | 1.012 |
| Story1 | D+L (servicio) | X | 3.1E-05 | 0 | 186900000000 |
| Story1 | DStlD1 | X | 4.6E-05 | 0 | 169600000000 |
| Story1 | DStlD2 | X | 5.4E-05 | 0 | 179100000000 |

**Table 5.4 - Story Forces**

| Story | Load Case/Combo | Location | P tonf | VX tonf | VY tonf | T tonf-m | MX tonf-m | MY tonf-m |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Story7 | Dead | Top | 1.3695 | 0 | 0 | 0 | 0 | -16.434 |
| Story7 | Dead | Bottom | 3.9361 | 0 | 0 | 0 | 0 | -47.2337 |
| Story7 | Sobrecarga $_{Dead}$ | Top | 25.41 | 0 | 0 | 0 | 0 | -304.92 |
| Story7 | Sobrecarga $_{Dead}$ | Bottom | 25.41 | 0 | 0 | 0 | 0 | -304.92 |
| Story7 | Carga $_{Permanente}$ | Top | 26.7795 | 0 | 0 | 0 | 0 | -321.354 |
| Story7 | Carga $_{Permanente}$ | Bottom | 29.3461 | 0 | 0 | 0 | 0 | -352.1537 |
| Story7 | Live | Top | 3.78 | 0 | 0 | 0 | 0 | -45.36 |
| Story7 | Live | Bottom | 3.78 | 0 | 0 | 0 | 0 | -45.36 |
| Story7 | Sismo $_{LSP}$ | Top | 0 | -9.3744 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Story7 | Sismo $_{LSP}$ | Bottom | 0 | -9.3744 | 0 | 0 | 0 | -28.1232 |
| Story7 | Sismo $_{LDP}$ Max | Top | 0 | 9.0359 | 0 | 0 | 0 | 5.791E-07 |
| Story7 | Sismo $_{LDP}$ Max | Bottom | 0 | 9.0366 | 0 | 0 | 0 | 27.1088 |
| Story7 | Carga $_{GRAV}$ Max | Top | 31.3475 | 0 | 0 | 0 | 0 | -376.1694 |
| Story7 | Carga $_{GRAV}$ Max | Bottom | 34.1708 | 0 | 0 | 0 | 0 | -410.0491 |

**Table 5.4 - Story Forces (continued)**

| Story | Load Case/Combo | Location | P tonf | VX tonf | VY tonf | T tonf-m | MX tonf-m | MY tonf-m |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Story7 | Carga $_{GRAV}$ Min | Top | 31.3475 | 0 | 0 | 0 | 0 | -376.1694 |
| Story7 | Carga $_{GRAV}$ Min | Bottom | 34.1708 | 0 | 0 | 0 | 0 | -410.0491 |
| Story7 | LATERAL | Top | 0 | -5.306 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Story7 | LATERAL | Bottom | 0 | -5.306 | 0 | 0 | 0 | -15.918 |
| Story7 | PUSH-OVER $_{MODO1}$ Max | Top | 31.3475 | 63.3861 | 0 | 0 | 0 | -376.164 |
| Story7 | PUSH-OVER $_{MODO1}$ Max | Bottom | 34.1708 | 63.3922 | 0 | 0 | 0 | -219.8838 |
| Story7 | PUSH-OVER $_{MODO1}$ Min | Top | 31.3475 | 0 | 0 | 0 | 0 | -376.1696 |
| Story7 | PUSH-OVER $_{MODO1}$ Min | Bottom | 34.1708 | 0 | 0 | 0 | 0 | -410.0491 |
| Story7 | PUSH-OVER $_{FUERZAS}$ Max | Top | 31.3475 | 0 | 0 | 0 | 0 | -376.1694 |
| Story7 | PUSH-OVER $_{FUERZAS}$ Max | Bottom | 34.1708 | 0 | 0 | 0 | 0 | -410.0491 |
| Story7 | PUSH-OVER $_{FUERZAS}$ Min | Top | 31.3475 | -86.6246 | 0 | 0 | 0 | -376.5721 |
| Story7 | PUSH-OVER $_{FUERZAS}$ Min | Bottom | 34.1708 | -86.6247 | 0 | 0 | 0 | -670.2877 |
| Story7 | 1.4D | Top | 37.4913 | 0 | 0 | 0 | 0 | -449.8956 |
| Story7 | 1.4D | Bottom | 41.0846 | 0 | 0 | 0 | 0 | -493.0152 |
| Story7 | 1.2D+1.6L | Top | 38.1834 | 0 | 0 | 0 | 0 | -458.2008 |
| Story7 | 1.2D+1.6L | Bottom | 41.2634 | 0 | 0 | 0 | 0 | -495.1604 |
| Story7 | 1.2D+L+E (LSP) | Top | 35.9154 | -9.3744 | 0 | 0 | 0 | -430.9848 |
| Story7 | 1.2D+L+E (LSP) | Bottom | 38.9954 | -9.3744 | 0 | 0 | 0 | -496.0676 |
| Story7 | 1.2D+L+E (LDP) Max | Top | 35.9154 | 9.0359 | 0 | 0 | 0 | -430.9848 |
| Story7 | 1.2D+L+E (LDP) Max | Bottom | 38.9954 | 9.0366 | 0 | 0 | 0 | -440.8356 |
| Story7 | 1.2D+L+E (LDP) Min | Top | 35.9154 | -9.0359 | 0 | 0 | 0 | -430.9848 |
| Story7 | 1.2D+L+E (LDP) Min | Bottom | 38.9954 | -9.0366 | 0 | 0 | 0 | -495.0532 |
| Story7 | 0.9D+E (LSP) | Top | 24.1016 | -9.3744 | 0 | 0 | 0 | -289.2186 |
| Story7 | 0.9D+E (LSP) | Bottom | 26.4115 | -9.3744 | 0 | 0 | 0 | -345.0615 |
| Story7 | 0.9D+E (LDP) Max | Top | 24.1016 | 9.0359 | 0 | 0 | 0 | -289.2186 |
| Story7 | 0.9D+E (LDP) Max | Bottom | 26.4115 | 9.0366 | 0 | 0 | 0 | -289.8295 |
| Story7 | 0.9D+E (LDP) Min | Top | 24.1016 | -9.0359 | 0 | 0 | 0 | -289.2186 |
| Story7 | 0.9D+E (LDP) Min | Bottom | 26.4115 | -9.0366 | 0 | 0 | 0 | -344.0471 |
| Story7 | Envolvente (Limites de recistencia) Max | Top | 38.1834 | 9.0359 | 0 | 0 | 0 | -289.2186 |
| Story7 | Envolvente (Limites de recistencia) Max | Bottom | 41.2634 | 9.0366 | 0 | 0 | 0 | -289.8295 |
| Story7 | Envolvente (Limites de recistencia) Min | Top | 24.1016 | -9.3744 | 0 | 0 | 0 | -458.2008 |
| Story7 | Envolvente (Limites de recistencia) Min | Bottom | 26.4115 | -9.3744 | 0 | 0 | 0 | -496.0676 |
| Story7 | D+L (servicio) | Top | 30.5595 | 0 | 0 | 0 | 0 | -366.714 |
| Story7 | D+L (servicio) | Bottom | 33.1261 | 0 | 0 | 0 | 0 | -397.5137 |
| Story7 | DStlD1 | Top | 53.559 | 0 | 0 | 0 | 0 | -642.708 |
| Story7 | DStlD1 | Bottom | 58.6923 | 0 | 0 | 0 | 0 | -704.3074 |
| Story7 | DStlD2 | Top | 57.339 | 0 | 0 | 0 | 0 | -688.068 |
| Story7 | DStlD2 | Bottom | 62.4723 | 0 | 0 | 0 | 0 | -749.6674 |
| Story6 | Dead | Top | 5.5279 | 0 | 0 | 0 | 0 | -66.3351 |
| Story6 | Dead | Bottom | 8.0946 | 0 | 0 | 0 | 0 | -97.1348 |
| Story6 | Sobrecarga $_{Dead}$ | Top | 63.89 | 0 | 0 | 0 | 0 | -766.68 |
| Story6 | Sobrecarga $_{Dead}$ | Bottom | 63.89 | 0 | 0 | 0 | 0 | -766.68 |
| Story6 | Carga $_{Permanente}$ | Top | 69.4179 | 0 | 0 | 0 | 0 | -833.0151 |
| Story6 | Carga $_{Permanente}$ | Bottom | 71.9846 | 0 | 0 | 0 | 0 | -863.8148 |
| Story6 | Live | Top | 14.58 | 0 | 0 | 0 | 0 | -174.96 |
| Story6 | Live | Bottom | 14.58 | 0 | 0 | 0 | 0 | -174.96 |
| Story6 | Sismo $_{LSP}$ | Top | 0 | -18.5493 | 0 | 0 | 0 | -28.1232 |
| Story6 | Sismo $_{LSP}$ | Bottom | 0 | -18.5493 | 0 | 0 | 0 | -83.771 |
| Story6 | Sismo $_{LDP}$ Max | Top | 0 | 15.2038 | 0 | 0 | 0 | 27.1088 |

**Table 5.4 - Story Forces (continued)**

| Story | Load Case/Combo | Location | P tonf | VX tonf | VY tonf | T tonf-m | MX tonf-m | MY tonf-m |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Story6 | Sismo $_{LDP}$ Max | Bottom | 0 | 15.2042 | 0 | 0 | 0 | 71.3012 |
| Story6 | Carga $_{GRAV}$ Max | Top | 83.6497 | 0 | 0 | 0 | 0 | -1003.7966 |
| Story6 | Carga $_{GRAV}$ Max | Bottom | 86.473 | 0 | 0 | 0 | 0 | -1037.6763 |
| Story6 | Carga $_{GRAV}$ Min | Top | 83.6497 | 0 | 0 | 0 | 0 | -1003.7966 |
| Story6 | Carga $_{GRAV}$ Min | Bottom | 86.473 | 0 | 0 | 0 | 0 | -1037.6763 |
| Story6 | LATERAL | Top | 0 | -8.928 | 0 | 0 | 0 | -15.918 |
| Story6 | LATERAL | Bottom | 0 | -8.928 | 0 | 0 | 0 | -42.702 |
| Story6 | PUSH-OVER $_{MODO1}$ Max | Top | 83.6497 | 130.8277 | 0 | 0 | 0 | -813.6519 |
| Story6 | PUSH-OVER $_{MODO1}$ Max | Bottom | 86.473 | 130.833 | 0 | 0 | 0 | -455.0371 |
| Story6 | PUSH-OVER $_{MODO1}$ Min | Top | 83.6497 | 0 | 0 | 0 | 0 | -1003.7966 |
| Story6 | PUSH-OVER $_{MODO1}$ Min | Bottom | 86.473 | 0 | 0 | 0 | 0 | -1037.6763 |
| Story6 | PUSH-OVER $_{FUERZAS}$ Max | Top | 83.6497 | 0 | 0 | 0 | 0 | -1003.7966 |
| Story6 | PUSH-OVER $_{FUERZAS}$ Max | Bottom | 86.473 | 0 | 0 | 0 | 0 | -1037.6763 |
| Story6 | PUSH-OVER $_{FUERZAS}$ Min | Top | 83.6497 | -145.7567 | 0 | 0 | 0 | -1264.2931 |
| Story6 | PUSH-OVER $_{FUERZAS}$ Min | Bottom | 86.473 | -145.7567 | 0 | 0 | 0 | -1735.4003 |
| Story6 | 1.4D | Top | 97.1851 | 0 | 0 | 0 | 0 | -1166.2212 |
| Story6 | 1.4D | Bottom | 100.7784 | 0 | 0 | 0 | 0 | -1209.3407 |
| Story6 | 1.2D+1.6L | Top | 106.6295 | 0 | 0 | 0 | 0 | -1279.5542 |
| Story6 | 1.2D+1.6L | Bottom | 109.7095 | 0 | 0 | 0 | 0 | -1316.5137 |
| Story6 | 1.2D+L+E (LSP) | Top | 97.8815 | -18.5493 | 0 | 0 | 0 | -1202.7014 |
| Story6 | 1.2D+L+E (LSP) | Bottom | 100.9615 | -18.5493 | 0 | 0 | 0 | -1295.3088 |
| Story6 | 1.2D+L+E (LDP) Max | Top | 97.8815 | 15.2038 | 0 | 0 | 0 | -1147.4694 |
| Story6 | 1.2D+L+E (LDP) Max | Bottom | 100.9615 | 15.2042 | 0 | 0 | 0 | -1140.2366 |
| Story6 | 1.2D+L+E (LDP) Min | Top | 97.8815 | -15.2038 | 0 | 0 | 0 | -1201.6869 |
| Story6 | 1.2D+L+E (LDP) Min | Bottom | 100.9615 | -15.2042 | 0 | 0 | 0 | -1282.8389 |
| Story6 | 0.9D+E (LSP) | Top | 62.4761 | -18.5493 | 0 | 0 | 0 | -777.8368 |
| Story6 | 0.9D+E (LSP) | Bottom | 64.7861 | -18.5493 | 0 | 0 | 0 | -861.2043 |
| Story6 | 0.9D+E (LDP) Max | Top | 62.4761 | 15.2038 | 0 | 0 | 0 | -722.6048 |
| Story6 | 0.9D+E (LDP) Max | Bottom | 64.7861 | 15.2042 | 0 | 0 | 0 | -706.1321 |
| Story6 | 0.9D+E (LDP) Min | Top | 62.4761 | -15.2038 | 0 | 0 | 0 | -776.8224 |
| Story6 | 0.9D+E (LDP) Min | Bottom | 64.7861 | -15.2042 | 0 | 0 | 0 | -848.7345 |
| Story6 | Envolvente (Limites de recistencia) Max | Top | 106.6295 | 15.2038 | 0 | 0 | 0 | -722.6048 |
| Story6 | Envolvente (Limites de recistencia) Max | Bottom | 109.7095 | 15.2042 | 0 | 0 | 0 | -706.1321 |
| Story6 | Envolvente (Limites de recistencia) Min | Top | 62.4761 | -18.5493 | 0 | 0 | 0 | -1279.5542 |
| Story6 | Envolvente (Limites de recistencia) Min | Bottom | 64.7861 | -18.5493 | 0 | 0 | 0 | -1316.5137 |
| Story6 | D+L (servicio) | Top | 83.9979 | 0 | 0 | 0 | 0 | -1007.9751 |
| Story6 | D+L (servicio) | Bottom | 86.5646 | 0 | 0 | 0 | 0 | -1038.7748 |
| Story6 | DStlD1 | Top | 138.8359 | 0 | 0 | 0 | 0 | -1666.0303 |
| Story6 | DStlD1 | Bottom | 143.9691 | 0 | 0 | 0 | 0 | -1727.6296 |
| Story6 | DStlD2 | Top | 153.4159 | 0 | 0 | 0 | 0 | -1840.9903 |
| Story6 | DStlD2 | Bottom | 158.5491 | 0 | 0 | 0 | 0 | -1902.5896 |
| Story5 | Dead | Top | 9.6864 | 0 | 0 | 0 | 0 | -116.2362 |
| Story5 | Dead | Bottom | 12.253 | 0 | 0 | 0 | 0 | -147.0359 |
| Story5 | Sobrecarga $_{Dead}$ | Top | 102.37 | 0 | 0 | 0 | 0 | -1228.44 |
| Story5 | Sobrecarga $_{Dead}$ | Bottom | 102.37 | 0 | 0 | 0 | 0 | -1228.44 |
| Story5 | Carga $_{Permanente}$ | Top | 112.0564 | 0 | 0 | 0 | 0 | -1344.6762 |
| Story5 | Carga $_{Permanente}$ | Bottom | 114.623 | 0 | 0 | 0 | 0 | -1375.4759 |
| Story5 | Live | Top | 25.38 | 0 | 0 | 0 | 0 | -304.56 |
| Story5 | Live | Bottom | 25.38 | 0 | 0 | 0 | 0 | -304.56 |

**Table 5.4 - Story Forces (continued)**

| Story | Load Case/Combo | Location | P tonf | VX tonf | VY tonf | T tonf-m | MX tonf-m | MY tonf-m |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Story5 | Sismo $_{LSP}$ | Top | 0 | -25.8012 | 0 | 0 | 0 | -83.771 |
| Story5 | Sismo $_{LSP}$ | Bottom | 0 | -25.8012 | 0 | 0 | 0 | -161.1748 |
| Story5 | Sismo $_{LDP}$ Max | Top | 0 | 19.2595 | 0 | 0 | 0 | 71.3012 |
| Story5 | Sismo $_{LDP}$ Max | Bottom | 0 | 19.2598 | 0 | 0 | 0 | 125.8445 |
| Story5 | Carga $_{GRAV}$ Max | Top | 135.952 | 0 | 0 | 0 | 0 | -1631.4239 |
| Story5 | Carga $_{GRAV}$ Max | Bottom | 138.7753 | 0 | 0 | 0 | 0 | -1665.3035 |
| Story5 | Carga $_{GRAV}$ Min | Top | 135.952 | 0 | 0 | 0 | 0 | -1631.4239 |
| Story5 | Carga $_{GRAV}$ Min | Bottom | 138.7753 | 0 | 0 | 0 | 0 | -1665.3035 |
| Story5 | LATERAL | Top | 0 | -11.31 | 0 | 0 | 0 | -42.702 |
| Story5 | LATERAL | Bottom | 0 | -11.31 | 0 | 0 | 0 | -76.632 |
| Story5 | PUSH-OVER $_{MODO1}$ Max | Top | 135.952 | 187.0399 | 0 | 0 | 0 | -1048.7905 |
| Story5 | PUSH-OVER $_{MODO1}$ Max | Bottom | 138.7753 | 187.0442 | 0 | 0 | 0 | -521.5327 |
| Story5 | PUSH-OVER $_{MODO1}$ Min | Top | 135.952 | 0 | 0 | 0 | 0 | -1631.4239 |
| Story5 | PUSH-OVER $_{MODO1}$ Min | Bottom | 138.7753 | 0 | 0 | 0 | 0 | -1665.3035 |
| Story5 | PUSH-OVER $_{FUERZAS}$ Max | Top | 135.952 | 0 | 0 | 0 | 0 | -1631.4239 |
| Story5 | PUSH-OVER $_{FUERZAS}$ Max | Bottom | 138.7753 | 0 | 0 | 0 | 0 | -1665.3035 |
| Story5 | PUSH-OVER $_{FUERZAS}$ Min | Top | 135.952 | -184.6448 | 0 | 0 | 0 | -2329.3044 |
| Story5 | PUSH-OVER $_{FUERZAS}$ Min | Bottom | 138.7753 | -184.6447 | 0 | 0 | 0 | -2917.0796 |
| Story5 | 1.4D | Top | 156.8789 | 0 | 0 | 0 | 0 | -1882.5467 |
| Story5 | 1.4D | Bottom | 160.4722 | 0 | 0 | 0 | 0 | -1925.6663 |
| Story5 | 1.2D+1.6L | Top | 175.0756 | 0 | 0 | 0 | 0 | -2100.9075 |
| Story5 | 1.2D+1.6L | Bottom | 178.1556 | 0 | 0 | 0 | 0 | -2137.8671 |
| Story5 | 1.2D+L+E (LSP) | Top | 159.8476 | -25.8012 | 0 | 0 | 0 | -2001.9425 |
| Story5 | 1.2D+L+E (LSP) | Bottom | 162.9276 | -25.8012 | 0 | 0 | 0 | -2116.3058 |
| Story5 | 1.2D+L+E (LDP) Max | Top | 159.8476 | 19.2595 | 0 | 0 | 0 | -1846.8703 |
| Story5 | 1.2D+L+E (LDP) Max | Bottom | 162.9276 | 19.2598 | 0 | 0 | 0 | -1829.2865 |
| Story5 | 1.2D+L+E (LDP) Min | Top | 159.8476 | -19.2595 | 0 | 0 | 0 | -1989.4727 |
| Story5 | 1.2D+L+E (LDP) Min | Bottom | 162.9276 | -19.2598 | 0 | 0 | 0 | -2080.9756 |
| Story5 | 0.9D+E (LSP) | Top | 100.8507 | -25.8012 | 0 | 0 | 0 | -1293.9796 |
| Story5 | 0.9D+E (LSP) | Bottom | 103.1607 | -25.8012 | 0 | 0 | 0 | -1399.1031 |
| Story5 | 0.9D+E (LDP) Max | Top | 100.8507 | 19.2595 | 0 | 0 | 0 | -1138.9074 |
| Story5 | 0.9D+E (LDP) Max | Bottom | 103.1607 | 19.2598 | 0 | 0 | 0 | -1112.0838 |
| Story5 | 0.9D+E (LDP) Min | Top | 100.8507 | -19.2595 | 0 | 0 | 0 | -1281.5098 |
| Story5 | 0.9D+E (LDP) Min | Bottom | 103.1607 | -19.2598 | 0 | 0 | 0 | -1363.7728 |
| Story5 | Envolvente (Limites de recistencia) Max | Top | 175.0756 | 19.2595 | 0 | 0 | 0 | -1138.9074 |
| Story5 | Envolvente (Limites de recistencia) Max | Bottom | 178.1556 | 19.2598 | 0 | 0 | 0 | -1112.0838 |
| Story5 | Envolvente (Limites de recistencia) Min | Top | 100.8507 | -25.8012 | 0 | 0 | 0 | -2100.9075 |
| Story5 | Envolvente (Limites de recistencia) Min | Bottom | 103.1607 | -25.8012 | 0 | 0 | 0 | -2137.8671 |
| Story5 | D+L (servicio) | Top | 137.4364 | 0 | 0 | 0 | 0 | -1649.2362 |
| Story5 | D+L (servicio) | Bottom | 140.003 | 0 | 0 | 0 | 0 | -1680.0359 |
| Story5 | DStlD1 | Top | 224.1127 | 0 | 0 | 0 | 0 | -2689.3525 |
| Story5 | DStlD1 | Bottom | 229.246 | 0 | 0 | 0 | 0 | -2750.9518 |
| Story5 | DStlD2 | Top | 249.4927 | 0 | 0 | 0 | 0 | -2993.9125 |
| Story5 | DStlD2 | Bottom | 254.626 | 0 | 0 | 0 | 0 | -3055.5118 |
| Story4 | Dead | Top | 15.0221 | 0 | 0 | 0 | 0 | -180.2656 |
| Story4 | Dead | Bottom | 17.836 | 0 | 0 | 0 | 0 | -214.0322 |
| Story4 | Sobrecarga $_{Dead}$ | Top | 140.85 | 0 | 0 | 0 | 0 | -1690.2 |
| Story4 | Sobrecarga $_{Dead}$ | Bottom | 140.85 | 0 | 0 | 0 | 0 | -1690.2 |
| Story4 | Carga $_{Permanente}$ | Top | 155.8721 | 0 | 0 | 0 | 0 | -1870.4656 |

**Table 5.4 - Story Forces (continued)**

| Story | Load Case/Combo | Location | P tonf | VX tonf | VY tonf | T tonf-m | MX tonf-m | MY tonf-m |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Story4 | Carga $_{Permanente}$ | Bottom | 158.686 | 0 | 0 | 0 | 0 | -1904.2322 |
| Story4 | Live | Top | 36.18 | 0 | 0 | 0 | 0 | -434.16 |
| Story4 | Live | Bottom | 36.18 | 0 | 0 | 0 | 0 | -434.16 |
| Story4 | Sismo $_{LSP}$ | Top | 0 | -31.3115 | 0 | 0 | 0 | -161.1748 |
| Story4 | Sismo $_{LSP}$ | Bottom | 0 | -31.3115 | 0 | 0 | 0 | -255.1092 |
| Story4 | Sismo $_{LDP}$ Max | Top | 0 | 22.5827 | 0 | 0 | 0 | 125.8445 |
| Story4 | Sismo $_{LDP}$ Max | Bottom | 0 | 22.583 | 0 | 0 | 0 | 187.8918 |
| Story4 | Carga $_{GRAV}$ Max | Top | 189.5493 | 0 | 0 | 0 | 0 | -2274.5922 |
| Story4 | Carga $_{GRAV}$ Max | Bottom | 192.6446 | 0 | 0 | 0 | 0 | -2311.7354 |
| Story4 | Carga $_{GRAV}$ Min | Top | 189.5493 | 0 | 0 | 0 | 0 | -2274.5922 |
| Story4 | Carga $_{GRAV}$ Min | Bottom | 192.6446 | 0 | 0 | 0 | 0 | -2311.7354 |
| Story4 | LATERAL | Top | 0 | -13.261 | 0 | 0 | 0 | -76.632 |
| Story4 | LATERAL | Bottom | 0 | -13.261 | 0 | 0 | 0 | -116.415 |
| Story4 | PUSH-OVER $_{MODO1}$ Max | Top | 189.5493 | 231.3015 | 0 | 0 | 0 | -1130.8224 |
| Story4 | PUSH-OVER $_{MODO1}$ Max | Bottom | 192.6446 | 231.3053 | 0 | 0 | 0 | -474.0382 |
| Story4 | PUSH-OVER $_{MODO1}$ Min | Top | 189.5493 | 0 | 0 | 0 | 0 | -2274.5922 |
| Story4 | PUSH-OVER $_{MODO1}$ Min | Bottom | 192.6446 | 0 | 0 | 0 | 0 | -2311.7354 |
| Story4 | PUSH-OVER $_{FUERZAS}$ Max | Top | 189.5493 | 0 | 0 | 0 | 0 | -2274.5922 |
| Story4 | PUSH-OVER $_{FUERZAS}$ Max | Bottom | 192.6446 | 0 | 0 | 0 | 0 | -2311.7354 |
| Story4 | PUSH-OVER $_{FUERZAS}$ Min | Top | 189.5493 | -216.4964 | 0 | 0 | 0 | -3526.5004 |
| Story4 | PUSH-OVER $_{FUERZAS}$ Min | Bottom | 192.6446 | -216.4964 | 0 | 0 | 0 | -4213.1386 |
| Story4 | 1.4D | Top | 218.221 | 0 | 0 | 0 | 0 | -2618.6519 |
| Story4 | 1.4D | Bottom | 222.1604 | 0 | 0 | 0 | 0 | -2665.9251 |
| Story4 | 1.2D+1.6L | Top | 244.9346 | 0 | 0 | 0 | 0 | -2939.2147 |
| Story4 | 1.2D+1.6L | Bottom | 248.3112 | 0 | 0 | 0 | 0 | -2979.7347 |
| Story4 | 1.2D+L+E (LSP) | Top | 223.2266 | -31.3115 | 0 | 0 | 0 | -2839.8935 |
| Story4 | 1.2D+L+E (LSP) | Bottom | 226.6032 | -31.3115 | 0 | 0 | 0 | -2974.3479 |
| Story4 | 1.2D+L+E (LDP) Max | Top | 223.2266 | 22.5827 | 0 | 0 | 0 | -2552.8742 |
| Story4 | 1.2D+L+E (LDP) Max | Bottom | 226.6032 | 22.583 | 0 | 0 | 0 | -2531.3469 |
| Story4 | 1.2D+L+E (LDP) Min | Top | 223.2266 | -22.5827 | 0 | 0 | 0 | -2804.5633 |
| Story4 | 1.2D+L+E (LDP) Min | Bottom | 226.6032 | -22.583 | 0 | 0 | 0 | -2907.1304 |
| Story4 | 0.9D+E (LSP) | Top | 140.2849 | -31.3115 | 0 | 0 | 0 | -1844.5938 |
| Story4 | 0.9D+E (LSP) | Bottom | 142.8174 | -31.3115 | 0 | 0 | 0 | -1968.9182 |
| Story4 | 0.9D+E (LDP) Max | Top | 140.2849 | 22.5827 | 0 | 0 | 0 | -1557.5745 |
| Story4 | 0.9D+E (LDP) Max | Bottom | 142.8174 | 22.583 | 0 | 0 | 0 | -1525.9172 |
| Story4 | 0.9D+E (LDP) Min | Top | 140.2849 | -22.5827 | 0 | 0 | 0 | -1809.2636 |
| Story4 | 0.9D+E (LDP) Min | Bottom | 142.8174 | -22.583 | 0 | 0 | 0 | -1901.7008 |
| Story4 | Envolvente (Limites de recistencia) Max | Top | 244.9346 | 22.5827 | 0 | 0 | 0 | -1557.5745 |
| Story4 | Envolvente (Limites de recistencia) Max | Bottom | 248.3112 | 22.583 | 0 | 0 | 0 | -1525.9172 |
| Story4 | Envolvente (Limites de recistencia) Min | Top | 140.2849 | -31.3115 | 0 | 0 | 0 | -2939.2147 |
| Story4 | Envolvente (Limites de recistencia) Min | Bottom | 142.8174 | -31.3115 | 0 | 0 | 0 | -2979.7347 |
| Story4 | D+L (servicio) | Top | 192.0521 | 0 | 0 | 0 | 0 | -2304.6256 |
| Story4 | D+L (servicio) | Bottom | 194.866 | 0 | 0 | 0 | 0 | -2338.3922 |
| Story4 | DStlD1 | Top | 311.7443 | 0 | 0 | 0 | 0 | -3740.9312 |
| Story4 | DStlD1 | Bottom | 317.372 | 0 | 0 | 0 | 0 | -3808.4644 |
| Story4 | DStlD2 | Top | 347.9243 | 0 | 0 | 0 | 0 | -4175.0912 |
| Story4 | DStlD2 | Bottom | 353.552 | 0 | 0 | 0 | 0 | -4242.6244 |
| Story3 | Dead | Top | 20.6052 | 0 | 0 | 0 | 0 | -247.262 |
| Story3 | Dead | Bottom | 23.419 | 0 | 0 | 0 | 0 | -281.0286 |

**Table 5.4 - Story Forces (continued)**

| Story | Load Case/Combo | Location | P tonf | VX tonf | VY tonf | T tonf-m | MX tonf-m | MY tonf-m |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Story3 | Sobrecarga Dead | Top | 179.33 | 0 | 0 | 0 | 0 | -2151.96 |
| Story3 | Sobrecarga Dead | Bottom | 179.33 | 0 | 0 | 0 | 0 | -2151.96 |
| Story3 | Carga Permanente | Top | 199.9352 | 0 | 0 | 0 | 0 | -2399.222 |
| Story3 | Carga Permanente | Bottom | 202.749 | 0 | 0 | 0 | 0 | -2432.9886 |
| Story3 | Live | Top | 46.98 | 0 | 0 | 0 | 0 | -563.76 |
| Story3 | Live | Bottom | 46.98 | 0 | 0 | 0 | 0 | -563.76 |
| Story3 | Sismo LSP | Top | 0 | -35.1186 | 0 | 0 | 0 | -255.1092 |
| Story3 | Sismo LSP | Bottom | 0 | -35.1186 | 0 | 0 | 0 | -360.4649 |
| Story3 | Sismo LDP Max | Top | 0 | 25.8516 | 0 | 0 | 0 | 187.8918 |
| Story3 | Sismo LDP Max | Bottom | 0 | 25.8519 | 0 | 0 | 0 | 257.4496 |
| Story3 | Carga GRAV Max | Top | 243.4187 | 0 | 0 | 0 | 0 | -2921.0241 |
| Story3 | Carga GRAV Max | Bottom | 246.514 | 0 | 0 | 0 | 0 | -2958.1674 |
| Story3 | Carga GRAV Min | Top | 243.4187 | 0 | 0 | 0 | 0 | -2921.0241 |
| Story3 | Carga GRAV Min | Bottom | 246.514 | 0 | 0 | 0 | 0 | -2958.1674 |
| Story3 | LATERAL | Top | 0 | -15.181 | 0 | 0 | 0 | -116.415 |
| Story3 | LATERAL | Bottom | 0 | -15.181 | 0 | 0 | 0 | -161.958 |
| Story3 | PUSH-OVER MODO1 Max | Top | 243.4187 | 263.5551 | 0 | 0 | 0 | -1083.3372 |
| Story3 | PUSH-OVER MODO1 Max | Bottom | 246.514 | 263.5578 | 0 | 0 | 0 | -329.7812 |
| Story3 | PUSH-OVER MODO1 Min | Top | 243.4187 | 0 | 0 | 0 | 0 | -2921.0241 |
| Story3 | PUSH-OVER MODO1 Min | Bottom | 246.514 | 0 | 0 | 0 | 0 | -2958.1674 |
| Story3 | PUSH-OVER FUERZAS Max | Top | 243.4187 | 0 | 0 | 0 | 0 | -2921.0241 |
| Story3 | PUSH-OVER FUERZAS Max | Bottom | 246.514 | 0 | 0 | 0 | 0 | -2958.1674 |
| Story3 | PUSH-OVER FUERZAS Min | Top | 243.4187 | -247.842 | 0 | 0 | 0 | -4822.5187 |
| Story3 | PUSH-OVER FUERZAS Min | Bottom | 246.514 | -247.8419 | 0 | 0 | 0 | -5603.2026 |
| Story3 | 1.4D | Top | 279.9092 | 0 | 0 | 0 | 0 | -3358.9107 |
| Story3 | 1.4D | Bottom | 283.8487 | 0 | 0 | 0 | 0 | -3406.184 |
| Story3 | 1.2D+1.6L | Top | 315.0902 | 0 | 0 | 0 | 0 | -3781.0823 |
| Story3 | 1.2D+1.6L | Bottom | 318.4669 | 0 | 0 | 0 | 0 | -3821.6023 |
| Story3 | 1.2D+L+E (LSP) | Top | 286.9022 | -35.1186 | 0 | 0 | 0 | -3697.9356 |
| Story3 | 1.2D+L+E (LSP) | Bottom | 290.2789 | -35.1186 | 0 | 0 | 0 | -3843.8112 |
| Story3 | 1.2D+L+E (LDP) Max | Top | 286.9022 | 25.8516 | 0 | 0 | 0 | -3254.9346 |
| Story3 | 1.2D+L+E (LDP) Max | Bottom | 290.2789 | 25.8519 | 0 | 0 | 0 | -3225.8967 |
| Story3 | 1.2D+L+E (LDP) Min | Top | 286.9022 | -25.8516 | 0 | 0 | 0 | -3630.7181 |
| Story3 | 1.2D+L+E (LDP) Min | Bottom | 290.2789 | -25.8519 | 0 | 0 | 0 | -3740.7959 |
| Story3 | 0.9D+E (LSP) | Top | 179.9416 | -35.1186 | 0 | 0 | 0 | -2414.409 |
| Story3 | 0.9D+E (LSP) | Bottom | 182.4741 | -35.1186 | 0 | 0 | 0 | -2550.1546 |
| Story3 | 0.9D+E (LDP) Max | Top | 179.9416 | 25.8516 | 0 | 0 | 0 | -1971.408 |
| Story3 | 0.9D+E (LDP) Max | Bottom | 182.4741 | 25.8519 | 0 | 0 | 0 | -1932.2401 |
| Story3 | 0.9D+E (LDP) Min | Top | 179.9416 | -25.8516 | 0 | 0 | 0 | -2347.1915 |
| Story3 | 0.9D+E (LDP) Min | Bottom | 182.4741 | -25.8519 | 0 | 0 | 0 | -2447.1393 |
| Story3 | Envolvente (Limites de recistencia) Max | Top | 315.0902 | 25.8516 | 0 | 0 | 0 | -1971.408 |
| Story3 | Envolvente (Limites de recistencia) Max | Bottom | 318.4669 | 25.8519 | 0 | 0 | 0 | -1932.2401 |
| Story3 | Envolvente (Limites de recistencia) Min | Top | 179.9416 | -35.1186 | 0 | 0 | 0 | -3781.0823 |
| Story3 | Envolvente (Limites de recistencia) Min | Bottom | 182.4741 | -35.1186 | 0 | 0 | 0 | -3843.8112 |
| Story3 | D+L (servicio) | Top | 246.9152 | 0 | 0 | 0 | 0 | -2962.982 |
| Story3 | D+L (servicio) | Bottom | 249.729 | 0 | 0 | 0 | 0 | -2996.7486 |
| Story3 | DStlD1 | Top | 399.8703 | 0 | 0 | 0 | 0 | -4798.4439 |
| Story3 | DStlD1 | Bottom | 405.4981 | 0 | 0 | 0 | 0 | -4865.9771 |
| Story3 | DStlD2 | Top | 446.8503 | 0 | 0 | 0 | 0 | -5362.2039 |

**Table 5.4 - Story Forces (continued)**

| Story | Load Case/Combo | Location | P tonf | VX tonf | VY tonf | T tonf-m | MX tonf-m | MY tonf-m |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Story3 | DStlD2 | Bottom | 452.4781 | 0 | 0 | 0 | 0 | -5429.7371 |
| Story2 | Dead | Top | 26.1882 | 0 | 0 | 0 | 0 | -314.2583 |
| Story2 | Dead | Bottom | 29.0021 | 0 | 0 | 0 | 0 | -348.0249 |
| Story2 | Sobrecarga $_{Dead}$ | Top | 217.81 | 0 | 0 | 0 | 0 | -2613.72 |
| Story2 | Sobrecarga $_{Dead}$ | Bottom | 217.81 | 0 | 0 | 0 | 0 | -2613.72 |
| Story2 | Carga $_{Permanente}$ | Top | 243.9982 | 0 | 0 | 0 | 0 | -2927.9783 |
| Story2 | Carga $_{Permanente}$ | Bottom | 246.8121 | 0 | 0 | 0 | 0 | -2961.7449 |
| Story2 | Live | Top | 57.78 | 0 | 0 | 0 | 0 | -693.36 |
| Story2 | Live | Bottom | 57.78 | 0 | 0 | 0 | 0 | -693.36 |
| Story2 | Sismo $_{LSP}$ | Top | 0 | -37.375 | 0 | 0 | 0 | -360.4649 |
| Story2 | Sismo $_{LSP}$ | Bottom | 0 | -37.375 | 0 | 0 | 0 | -472.59 |
| Story2 | Sismo $_{LDP}$ Max | Top | 0 | 28.7281 | 0 | 0 | 0 | 257.4496 |
| Story2 | Sismo $_{LDP}$ Max | Bottom | 0 | 28.7283 | 0 | 0 | 0 | 334.4213 |
| Story2 | Carga $_{GRAV}$ Max | Top | 297.288 | 0 | 0 | 0 | 0 | -3567.4561 |
| Story2 | Carga $_{GRAV}$ Max | Bottom | 300.3833 | 0 | 0 | 0 | 0 | -3604.5994 |
| Story2 | Carga $_{GRAV}$ Min | Top | 297.288 | 0 | 0 | 0 | 0 | -3567.4561 |
| Story2 | Carga $_{GRAV}$ Min | Bottom | 300.3833 | 0 | 0 | 0 | 0 | -3604.5994 |
| Story2 | LATERAL | Top | 0 | -16.87 | 0 | 0 | 0 | -161.958 |
| Story2 | LATERAL | Bottom | 0 | -16.87 | 0 | 0 | 0 | -212.568 |
| Story2 | PUSH-OVER $_{MODO1}$ Max | Top | 297.288 | 283.0785 | 0 | 0 | 0 | -939.071 |
| Story2 | PUSH-OVER $_{MODO1}$ Max | Bottom | 300.3833 | 283.0804 | 0 | 0 | 0 | -126.9681 |
| Story2 | PUSH-OVER $_{MODO1}$ Min | Top | 297.288 | 0 | 0 | 0 | 0 | -3567.4561 |
| Story2 | PUSH-OVER $_{MODO1}$ Min | Bottom | 300.3833 | 0 | 0 | 0 | 0 | -3604.5994 |
| Story2 | PUSH-OVER $_{FUERZAS}$ Max | Top | 297.288 | 0 | 0 | 0 | 0 | -3567.4561 |
| Story2 | PUSH-OVER $_{FUERZAS}$ Max | Bottom | 300.3833 | 0 | 0 | 0 | 0 | -3604.5994 |
| Story2 | PUSH-OVER $_{FUERZAS}$ Min | Top | 297.288 | -275.4162 | 0 | 0 | 0 | -6212.5576 |
| Story2 | PUSH-OVER $_{FUERZAS}$ Min | Bottom | 300.3833 | -275.4161 | 0 | 0 | 0 | -7075.894 |
| Story2 | 1.4D | Top | 341.5975 | 0 | 0 | 0 | 0 | -4099.1696 |
| Story2 | 1.4D | Bottom | 345.5369 | 0 | 0 | 0 | 0 | -4146.4428 |
| Story2 | 1.2D+1.6L | Top | 385.2458 | 0 | 0 | 0 | 0 | -4622.9499 |
| Story2 | 1.2D+1.6L | Bottom | 388.6225 | 0 | 0 | 0 | 0 | -4663.4699 |
| Story2 | 1.2D+L+E (LSP) | Top | 350.5778 | -37.375 | 0 | 0 | 0 | -4567.3988 |
| Story2 | 1.2D+L+E (LSP) | Bottom | 353.9545 | -37.375 | 0 | 0 | 0 | -4720.0439 |
| Story2 | 1.2D+L+E (LDP) Max | Top | 350.5778 | 28.7281 | 0 | 0 | 0 | -3949.4844 |
| Story2 | 1.2D+L+E (LDP) Max | Bottom | 353.9545 | 28.7283 | 0 | 0 | 0 | -3913.0326 |
| Story2 | 1.2D+L+E (LDP) Min | Top | 350.5778 | -28.7281 | 0 | 0 | 0 | -4464.3835 |
| Story2 | 1.2D+L+E (LDP) Min | Bottom | 353.9545 | -28.7283 | 0 | 0 | 0 | -4581.8751 |
| Story2 | 0.9D+E (LSP) | Top | 219.5984 | -37.375 | 0 | 0 | 0 | -2995.6454 |
| Story2 | 0.9D+E (LSP) | Bottom | 222.1309 | -37.375 | 0 | 0 | 0 | -3138.1604 |
| Story2 | 0.9D+E (LDP) Max | Top | 219.5984 | 28.7281 | 0 | 0 | 0 | -2377.7309 |
| Story2 | 0.9D+E (LDP) Max | Bottom | 222.1309 | 28.7283 | 0 | 0 | 0 | -2331.1491 |
| Story2 | 0.9D+E (LDP) Min | Top | 219.5984 | -28.7281 | 0 | 0 | 0 | -2892.63 |
| Story2 | 0.9D+E (LDP) Min | Bottom | 222.1309 | -28.7283 | 0 | 0 | 0 | -2999.9917 |
| Story2 | Envolvente (Limites de recistencia) Max | Top | 385.2458 | 28.7281 | 0 | 0 | 0 | -2377.7309 |
| Story2 | Envolvente (Limites de recistencia) Max | Bottom | 388.6225 | 28.7283 | 0 | 0 | 0 | -2331.1491 |
| Story2 | Envolvente (Limites de recistencia) Min | Top | 219.5984 | -37.375 | 0 | 0 | 0 | -4622.9499 |
| Story2 | Envolvente (Limites de recistencia) Min | Bottom | 222.1309 | -37.375 | 0 | 0 | 0 | -4720.0439 |
| Story2 | D+L (servicio) | Top | 301.7782 | 0 | 0 | 0 | 0 | -3621.3383 |
| Story2 | D+L (servicio) | Bottom | 304.5921 | 0 | 0 | 0 | 0 | -3655.1049 |

**Table 5.4 - Story Forces (continued)**

| Story | Load Case/Combo | Location | P tonf | VX tonf | VY tonf | T tonf-m | MX tonf-m | MY tonf-m |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Story2 | DStlD1 | Top | 487.9964 | 0 | 0 | 0 | 0 | -5855.9566 |
| Story2 | DStlD1 | Bottom | 493.6241 | 0 | 0 | 0 | 0 | -5923.4898 |
| Story2 | DStlD2 | Top | 545.7764 | 0 | 0 | 0 | 0 | -6549.3166 |
| Story2 | DStlD2 | Bottom | 551.4041 | 0 | 0 | 0 | 0 | -6616.8498 |
| Story1 | Dead | Top | 31.7712 | 0 | 0 | 0 | 0 | -381.2546 |
| Story1 | Dead | Bottom | 34.5851 | 0 | 0 | 0 | 0 | -415.0212 |
| Story1 | Sobrecarga $_{Dead}$ | Top | 256.29 | 0 | 0 | 0 | 0 | -3075.48 |
| Story1 | Sobrecarga $_{Dead}$ | Bottom | 256.29 | 0 | 0 | 0 | 0 | -3075.48 |
| Story1 | Carga $_{Permanente}$ | Top | 288.0612 | 0 | 0 | 0 | 0 | -3456.7346 |
| Story1 | Carga $_{Permanente}$ | Bottom | 290.8751 | 0 | 0 | 0 | 0 | -3490.5012 |
| Story1 | Live | Top | 68.58 | 0 | 0 | 0 | 0 | -822.96 |
| Story1 | Live | Bottom | 68.58 | 0 | 0 | 0 | 0 | -822.96 |
| Story1 | Sismo $_{LSP}$ | Top | 0 | -38.2978 | 0 | 0 | 0 | -472.59 |
| Story1 | Sismo $_{LSP}$ | Bottom | 0 | -38.2978 | 0 | 0 | 0 | -587.4836 |
| Story1 | Sismo $_{LDP}$ Max | Top | 0 | 30.431 | 0 | 0 | 0 | 334.4213 |
| Story1 | Sismo $_{LDP}$ Max | Bottom | 0 | 30.4311 | 0 | 0 | 0 | 417.2592 |
| Story1 | Carga $_{GRAV}$ Max | Top | 351.1573 | 0 | 0 | 0 | 0 | -4213.8881 |
| Story1 | Carga $_{GRAV}$ Max | Bottom | 354.2526 | 0 | 0 | 0 | 0 | -4251.0313 |
| Story1 | Carga $_{GRAV}$ Min | Top | 351.1573 | 0 | 0 | 0 | 0 | -4213.8881 |
| Story1 | Carga $_{GRAV}$ Min | Bottom | 354.2526 | 0 | 0 | 0 | 0 | -4251.0313 |
| Story1 | LATERAL | Top | 0 | -17.87 | 0 | 0 | 0 | -212.568 |
| Story1 | LATERAL | Bottom | 0 | -17.87 | 0 | 0 | 0 | -266.178 |
| Story1 | PUSH-OVER $_{MODO1}$ Max | Top | 351.1573 | 290.4324 | 0 | 0 | 0 | -736.2662 |
| Story1 | PUSH-OVER $_{MODO1}$ Max | Bottom | 354.2526 | 290.4323 | 0 | 0 | 0 | 97.9612 |
| Story1 | PUSH-OVER $_{MODO1}$ Min | Top | 351.1573 | 0 | 0 | 0 | 0 | -4213.8881 |
| Story1 | PUSH-OVER $_{MODO1}$ Min | Bottom | 354.2526 | 0 | 0 | 0 | 0 | -4251.0313 |
| Story1 | PUSH-OVER $_{FUERZAS}$ Max | Top | 351.1573 | 0 | 0 | 0 | 0 | -4213.8881 |
| Story1 | PUSH-OVER $_{FUERZAS}$ Max | Bottom | 354.2526 | 0 | 0 | 0 | 0 | -4251.0313 |
| Story1 | PUSH-OVER $_{FUERZAS}$ Min | Top | 351.1573 | -291.742 | 0 | 0 | 0 | -7685.1957 |
| Story1 | PUSH-OVER $_{FUERZAS}$ Min | Bottom | 354.2526 | -291.7421 | 0 | 0 | 0 | -8597.5317 |
| Story1 | 1.4D | Top | 403.2857 | 0 | 0 | 0 | 0 | -4839.4285 |
| Story1 | 1.4D | Bottom | 407.2251 | 0 | 0 | 0 | 0 | -4886.7017 |
| Story1 | 1.2D+1.6L | Top | 455.4015 | 0 | 0 | 0 | 0 | -5464.8175 |
| Story1 | 1.2D+1.6L | Bottom | 458.7781 | 0 | 0 | 0 | 0 | -5505.3375 |
| Story1 | 1.2D+L+E (LSP) | Top | 414.2535 | -38.2978 | 0 | 0 | 0 | -5443.6316 |
| Story1 | 1.2D+L+E (LSP) | Bottom | 417.6301 | -38.2978 | 0 | 0 | 0 | -5599.045 |
| Story1 | 1.2D+L+E (LDP) Max | Top | 414.2535 | 30.431 | 0 | 0 | 0 | -4636.6203 |
| Story1 | 1.2D+L+E (LDP) Max | Bottom | 417.6301 | 30.4311 | 0 | 0 | 0 | -4594.3022 |
| Story1 | 1.2D+L+E (LDP) Min | Top | 414.2535 | -30.431 | 0 | 0 | 0 | -5305.4628 |
| Story1 | 1.2D+L+E (LDP) Min | Bottom | 417.6301 | -30.4311 | 0 | 0 | 0 | -5428.8207 |
| Story1 | 0.9D+E (LSP) | Top | 259.2551 | -38.2978 | 0 | 0 | 0 | -3583.6512 |
| Story1 | 0.9D+E (LSP) | Bottom | 261.7876 | -38.2978 | 0 | 0 | 0 | -3728.9346 |
| Story1 | 0.9D+E (LDP) Max | Top | 259.2551 | 30.431 | 0 | 0 | 0 | -2776.6399 |
| Story1 | 0.9D+E (LDP) Max | Bottom | 261.7876 | 30.4311 | 0 | 0 | 0 | -2724.1919 |
| Story1 | 0.9D+E (LDP) Min | Top | 259.2551 | -30.431 | 0 | 0 | 0 | -3445.4824 |
| Story1 | 0.9D+E (LDP) Min | Bottom | 261.7876 | -30.4311 | 0 | 0 | 0 | -3558.7103 |
| Story1 | Envolvente (Limites de recistencia) Max | Top | 455.4015 | 30.431 | 0 | 0 | 0 | -2776.6399 |
| Story1 | Envolvente (Limites de recistencia) Max | Bottom | 458.7781 | 30.4311 | 0 | 0 | 0 | -2724.1919 |
| Story1 | Envolvente (Limites de recistencia) Min | Top | 259.2551 | -38.2978 | 0 | 0 | 0 | -5464.8175 |

**Table 5.4 - Story Forces (continued)**

| Story | Load Case/Combo | Location | P tonf | VX tonf | VY tonf | T tonf-m | MX tonf-m | MY tonf-m |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Story1 | Envolvente (Limites de recistencia) Min | Bottom | 261.7876 | -38.2978 | 0 | 0 | 0 | -5599.045 |
| Story1 | D+L (servicio) | Top | 356.6412 | 0 | 0 | 0 | 0 | -4279.6946 |
| Story1 | D+L (servicio) | Bottom | 359.4551 | 0 | 0 | 0 | 0 | -4313.4612 |
| Story1 | DStlD1 | Top | 576.1224 | 0 | 0 | 0 | 0 | -6913.4692 |
| Story1 | DStlD1 | Bottom | 581.7502 | 0 | 0 | 0 | 0 | -6981.0024 |
| Story1 | DStlD2 | Top | 644.7024 | 0 | 0 | 0 | 0 | -7736.4292 |
| Story1 | DStlD2 | Bottom | 650.3302 | 0 | 0 | 0 | 0 | -7803.9624 |

## 5.3 Point Results

**Table 5.5 - Joint Reactions**

| Story | Joint Label | Unique Name | Load Case/Combo | FX tonf | FY tonf | FZ tonf | MX tonf-m | MY tonf-m | MZ tonf-m |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Base | 1 | 77 | Dead | 0.088 | 0 | 5.7799 | 0 | 0.0764 | 0 |
| Base | 1 | 77 | Sobrecarga $_{Dead}$ | 1.1147 | 0 | 34.4253 | 0 | 0.9691 | 0 |
| Base | 1 | 77 | Carga $_{Permanente}$ | 1.2027 | 0 | 40.2052 | 0 | 1.0455 | 0 |
| Base | 1 | 77 | Live | 0.4274 | 0 | 8.7097 | 0 | 0.3703 | 0 |
| Base | 1 | 77 | Sismo $_{LSP}$ | -6.3426 | 0 | -20.838 | 0 | -17.0975 | 0 |
| Base | 1 | 77 | Sismo $_{LDP}$ Max | 5.0743 | 0 | 14.7451 | 0 | 13.3513 | 0 |
| Base | 1 | 77 | Carga $_{GRAV}$ Max | 1.5367 | 0 | 48.5805 | 0 | 1.3352 | 0 |
| Base | 1 | 77 | Carga $_{GRAV}$ Min | 1.5367 | 0 | 48.5805 | 0 | 1.3352 | 0 |
| Base | 1 | 77 | LATERAL | -3.0542 | 0 | -9.5183 | 0 | -8.0709 | 0 |
| Base | 1 | 77 | PUSH-OVER $_{MODO1}$ Max | 42.5716 | 0 | 189.671 | 0 | 183.6325 | 0 |
| Base | 1 | 77 | PUSH-OVER $_{MODO1}$ Min | 1.5367 | 0 | 48.5805 | 0 | 1.3352 | 0 |
| Base | 1 | 77 | PUSH-OVER $_{FUERZAS}$ Max | 1.5367 | 0 | 48.5805 | 0 | 1.3352 | 0 |
| Base | 1 | 77 | PUSH-OVER $_{FUERZAS}$ Min | -56.0792 | 0 | -91.8582 | 0 | -203.177 | 0 |
| Base | 1 | 77 | 1.4D | 1.6838 | 0 | 56.2872 | 0 | 1.4636 | 0 |
| Base | 1 | 77 | 1.2D+1.6L | 2.1271 | 0 | 62.1817 | 0 | 1.8471 | 0 |
| Base | 1 | 77 | 1.2D+L+E (LSP) | -4.4719 | 0 | 36.1179 | 0 | -15.4726 | 0 |
| Base | 1 | 77 | 1.2D+L+E (LDP) Max | 6.9449 | 0 | 71.7009 | 0 | 14.9762 | 0 |
| Base | 1 | 77 | 1.2D+L+E (LDP) Min | -3.2036 | 0 | 42.2108 | 0 | -11.7264 | 0 |
| Base | 1 | 77 | 0.9D+E (LSP) | -5.2601 | 0 | 15.3466 | 0 | -16.1566 | 0 |
| Base | 1 | 77 | 0.9D+E (LDP) Max | 6.1567 | 0 | 50.9297 | 0 | 14.2922 | 0 |
| Base | 1 | 77 | 0.9D+E (LDP) Min | -3.9918 | 0 | 21.4396 | 0 | -12.4104 | 0 |
| Base | 1 | 77 | Envolvente (Limites de recistencia) Max | 6.9449 | 0 | 71.7009 | 0 | 14.9762 | 0 |
| Base | 1 | 77 | Envolvente (Limites de recistencia) Min | -5.2601 | 0 | 15.3466 | 0 | -16.1566 | 0 |
| Base | 1 | 77 | D+L (servicio) | 1.6301 | 0 | 48.9149 | 0 | 1.4158 | 0 |
| Base | 1 | 77 | DStlD1 | 2.4054 | 0 | 80.4103 | 0 | 2.0909 | 0 |
| Base | 1 | 77 | DStlD2 | 2.8328 | 0 | 89.12 | 0 | 2.4613 | 0 |
| Base | 2 | 82 | Dead | 0.0043 | 0 | 7.6615 | 0 | 0.0065 | 0 |
| Base | 2 | 82 | Sobrecarga $_{Dead}$ | 0.0665 | 0 | 61.6559 | 0 | 0.0935 | 0 |
| Base | 2 | 82 | Carga $_{Permanente}$ | 0.0708 | 0 | 69.3174 | 0 | 0.1 | 0 |
| Base | 2 | 82 | Live | 0.0191 | 0 | 16.9986 | 0 | 0.0298 | 0 |
| Base | 2 | 82 | Sismo $_{LSP}$ | -8.5416 | 0 | 0.3054 | 0 | -18.9403 | 0 |
| Base | 2 | 82 | Sismo $_{LDP}$ Max | 6.7661 | 0 | 0.2386 | 0 | 14.7756 | 0 |
| Base | 2 | 82 | Carga $_{GRAV}$ Max | 0.0874 | 0 | 84.7484 | 0 | 0.1249 | 0 |
| Base | 2 | 82 | Carga $_{GRAV}$ Min | 0.0874 | 0 | 84.7484 | 0 | 0.1249 | 0 |
| Base | 2 | 82 | LATERAL | -4.009 | 0 | 0.2293 | 0 | -8.7962 | 0 |
| Base | 2 | 82 | PUSH-OVER $_{MODO1}$ Max | 72.288 | 0 | 85.6735 | 0 | 210.003 | 0 |
| Base | 2 | 82 | PUSH-OVER $_{MODO1}$ Min | 0.0874 | 0 | 83.322 | 0 | 0.1249 | 0 |

**Table 5.5 - Joint Reactions (continued)**

| Story | Joint Label | Unique Name | Load Case/Combo | FX tonf | FY tonf | FZ tonf | MX tonf-m | MY tonf-m | MZ tonf-m |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Base | 2 | 82 | PUSH-OVER $_{FUERZAS}$ Max | 0.0874 | 0 | 88.1723 | 0 | 0.1249 | 0 |
| Base | 2 | 82 | PUSH-OVER $_{FUERZAS}$ Min | -72.0804 | 0 | 84.5177 | 0 | -212.4164 | 0 |
| Base | 2 | 82 | 1.4D | 0.0991 | 0 | 97.0443 | 0 | 0.14 | 0 |
| Base | 2 | 82 | 1.2D+1.6L | 0.1154 | 0 | 110.3786 | 0 | 0.1676 | 0 |
| Base | 2 | 82 | 1.2D+L+E (LSP) | -8.4376 | 0 | 100.4848 | 0 | -18.7905 | 0 |
| Base | 2 | 82 | 1.2D+L+E (LDP) Max | 6.8701 | 0 | 100.418 | 0 | 14.9253 | 0 |
| Base | 2 | 82 | 1.2D+L+E (LDP) Min | -6.6621 | 0 | 99.9408 | 0 | -14.6258 | 0 |
| Base | 2 | 82 | 0.9D+E (LSP) | -8.4778 | 0 | 62.691 | 0 | -18.8503 | 0 |
| Base | 2 | 82 | 0.9D+E (LDP) Max | 6.8298 | 0 | 62.6242 | 0 | 14.8656 | 0 |
| Base | 2 | 82 | 0.9D+E (LDP) Min | -6.7024 | 0 | 62.1471 | 0 | -14.6856 | 0 |
| Base | 2 | 82 | Envolvente (Limites de recistencia) Max | 6.8701 | 0 | 110.3786 | 0 | 14.9253 | 0 |
| Base | 2 | 82 | Envolvente (Limites de recistencia) Min | -8.4778 | 0 | 62.1471 | 0 | -18.8503 | 0 |
| Base | 2 | 82 | D+L (servicio) | 0.0899 | 0 | 86.3159 | 0 | 0.1298 | 0 |
| Base | 2 | 82 | DStlD1 | 0.1416 | 0 | 138.6347 | 0 | 0.2 | 0 |
| Base | 2 | 82 | DStlD2 | 0.1607 | 0 | 155.6333 | 0 | 0.2298 | 0 |
| Base | 3 | 87 | Dead | 0 | 0 | 7.7024 | 0 | 0 | 0 |
| Base | 3 | 87 | Sobrecarga $_{Dead}$ | 0 | 0 | 64.1276 | 0 | 0 | 0 |
| Base | 3 | 87 | Carga $_{Permanente}$ | 0 | 0 | 71.83 | 0 | 0 | 0 |
| Base | 3 | 87 | Live | 0 | 0 | 17.1634 | 0 | 0 | 0 |
| Base | 3 | 87 | Sismo $_{LSP}$ | -8.5295 | 0 | 0 | 0 | -18.9607 | 0 |
| Base | 3 | 87 | Sismo $_{LDP}$ Max | 6.7523 | 0 | 0 | 0 | 14.7886 | 0 |
| Base | 3 | 87 | Carga $_{GRAV}$ Max | 0 | 0 | 87.5948 | 0 | 0 | 0 |
| Base | 3 | 87 | Carga $_{GRAV}$ Min | 0 | 0 | 87.5948 | 0 | 0 | 0 |
| Base | 3 | 87 | LATERAL | -3.9533 | 0 | 0.0639 | 0 | -8.7129 | 0 |
| Base | 3 | 87 | PUSH-OVER $_{MODO1}$ Max | 71.3475 | 0 | 87.9049 | 0 | 210.6763 | 0 |
| Base | 3 | 87 | PUSH-OVER $_{MODO1}$ Min | 0 | 0 | 87.4866 | 0 | 0 | 0 |
| Base | 3 | 87 | PUSH-OVER $_{FUERZAS}$ Max | 0 | 0 | 88.186 | 0 | 0 | 0 |
| Base | 3 | 87 | PUSH-OVER $_{FUERZAS}$ Min | -70.5196 | 0 | 86.4234 | 0 | -210.1982 | 0 |
| Base | 3 | 87 | 1.4D | 0 | 0 | 100.5621 | 0 | 0 | 0 |
| Base | 3 | 87 | 1.2D+1.6L | 0 | 0 | 113.6576 | 0 | 0 | 0 |
| Base | 3 | 87 | 1.2D+L+E (LSP) | -8.5295 | 0 | 103.3595 | 0 | -18.9607 | 0 |
| Base | 3 | 87 | 1.2D+L+E (LDP) Max | 6.7523 | 0 | 103.3595 | 0 | 14.7886 | 0 |
| Base | 3 | 87 | 1.2D+L+E (LDP) Min | -6.7523 | 0 | 103.3595 | 0 | -14.7886 | 0 |
| Base | 3 | 87 | 0.9D+E (LSP) | -8.5295 | 0 | 64.647 | 0 | -18.9607 | 0 |
| Base | 3 | 87 | 0.9D+E (LDP) Max | 6.7523 | 0 | 64.647 | 0 | 14.7886 | 0 |
| Base | 3 | 87 | 0.9D+E (LDP) Min | -6.7523 | 0 | 64.647 | 0 | -14.7886 | 0 |
| Base | 3 | 87 | Envolvente (Limites de recistencia) Max | 6.7523 | 0 | 113.6576 | 0 | 14.7886 | 0 |
| Base | 3 | 87 | Envolvente (Limites de recistencia) Min | -8.5295 | 0 | 64.647 | 0 | -18.9607 | 0 |
| Base | 3 | 87 | D+L (servicio) | 0 | 0 | 88.9935 | 0 | 0 | 0 |

**Table 5.5 - Joint Reactions (continued)**

| Story | Joint Label | Unique Name | Load Case/Combo | FX tonf | FY tonf | FZ tonf | MX tonf-m | MY tonf-m | MZ tonf-m |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Base | 3 | 87 | DStlD1 | 0 | 0 | 143.6601 | 0 | 0 | 0 |
| Base | 3 | 87 | DStlD2 | 0 | 0 | 160.8235 | 0 | 0 | 0 |
| Base | 4 | 92 | Dead | -0.0043 | 0 | 7.6615 | 0 | -0.0065 | 0 |
| Base | 4 | 92 | Sobrecarga $_{Dead}$ | -0.0665 | 0 | 61.6559 | 0 | -0.0935 | 0 |
| Base | 4 | 92 | Carga $_{Permanente}$ | -0.0708 | 0 | 69.3174 | 0 | -0.1 | 0 |
| Base | 4 | 92 | Live | -0.0191 | 0 | 16.9986 | 0 | -0.0298 | 0 |
| Base | 4 | 92 | Sismo $_{LSP}$ | -8.5416 | 0 | -0.3054 | 0 | -18.9403 | 0 |
| Base | 4 | 92 | Sismo $_{LDP}$ Max | 6.7661 | 0 | 0.2386 | 0 | 14.7756 | 0 |
| Base | 4 | 92 | Carga $_{GRAV}$ Max | -0.0874 | 0 | 84.7484 | 0 | -0.1249 | 0 |
| Base | 4 | 92 | Carga $_{GRAV}$ Min | -0.0874 | 0 | 84.7484 | 0 | -0.1249 | 0 |
| Base | 4 | 92 | LATERAL | -3.9303 | 0 | -0.1015 | 0 | -8.6497 | 0 |
| Base | 4 | 92 | PUSH-OVER $_{MODO1}$ Max | 70.4333 | 0 | 86.7399 | 0 | 210.615 | 0 |
| Base | 4 | 92 | PUSH-OVER $_{MODO1}$ Min | -0.0874 | 0 | 84.7484 | 0 | -0.1249 | 0 |
| Base | 4 | 92 | PUSH-OVER $_{FUERZAS}$ Max | -0.0874 | 0 | 85.2033 | 0 | -0.1249 | 0 |
| Base | 4 | 92 | PUSH-OVER $_{FUERZAS}$ Min | -70.1217 | 0 | 83.6794 | 0 | -210.6293 | 0 |
| Base | 4 | 92 | 1.4D | -0.0991 | 0 | 97.0443 | 0 | -0.14 | 0 |
| Base | 4 | 92 | 1.2D+1.6L | -0.1154 | 0 | 110.3786 | 0 | -0.1676 | 0 |
| Base | 4 | 92 | 1.2D+L+E (LSP) | -8.6456 | 0 | 99.874 | 0 | -19.0901 | 0 |
| Base | 4 | 92 | 1.2D+L+E (LDP) Max | 6.6621 | 0 | 100.418 | 0 | 14.6258 | 0 |
| Base | 4 | 92 | 1.2D+L+E (LDP) Min | -6.8701 | 0 | 99.9408 | 0 | -14.9253 | 0 |
| Base | 4 | 92 | 0.9D+E (LSP) | -8.6053 | 0 | 62.0802 | 0 | -19.0303 | 0 |
| Base | 4 | 92 | 0.9D+E (LDP) Max | 6.7024 | 0 | 62.6242 | 0 | 14.6856 | 0 |
| Base | 4 | 92 | 0.9D+E (LDP) Min | -6.8298 | 0 | 62.1471 | 0 | -14.8656 | 0 |
| Base | 4 | 92 | Envolvente (Limites de recistencia) Max | 6.7024 | 0 | 110.3786 | 0 | 14.6856 | 0 |
| Base | 4 | 92 | Envolvente (Limites de recistencia) Min | -8.6456 | 0 | 62.0802 | 0 | -19.0901 | 0 |
| Base | 4 | 92 | D+L (servicio) | -0.0899 | 0 | 86.3159 | 0 | -0.1298 | 0 |
| Base | 4 | 92 | DStlD1 | -0.1416 | 0 | 138.6347 | 0 | -0.2 | 0 |
| Base | 4 | 92 | DStlD2 | -0.1607 | 0 | 155.6333 | 0 | -0.2298 | 0 |
| Base | 5 | 97 | Dead | -0.088 | 0 | 5.7799 | 0 | -0.0764 | 0 |
| Base | 5 | 97 | Sobrecarga $_{Dead}$ | -1.1147 | 0 | 34.4253 | 0 | -0.9691 | 0 |
| Base | 5 | 97 | Carga $_{Permanente}$ | -1.2027 | 0 | 40.2052 | 0 | -1.0455 | 0 |
| Base | 5 | 97 | Live | -0.4274 | 0 | 8.7097 | 0 | -0.3703 | 0 |
| Base | 5 | 97 | Sismo $_{LSP}$ | -6.3426 | 0 | 20.838 | 0 | -17.0975 | 0 |
| Base | 5 | 97 | Sismo $_{LDP}$ Max | 5.0743 | 0 | 14.7451 | 0 | 13.3513 | 0 |
| Base | 5 | 97 | Carga $_{GRAV}$ Max | -1.5367 | 0 | 48.5805 | 0 | -1.3352 | 0 |
| Base | 5 | 97 | Carga $_{GRAV}$ Min | -1.5367 | 0 | 48.5805 | 0 | -1.3352 | 0 |
| Base | 5 | 97 | LATERAL | -2.9233 | 0 | 9.3266 | 0 | -7.7945 | 0 |
| Base | 5 | 97 | PUSH-OVER $_{MODO1}$ Max | 76.8978 | 0 | 48.5805 | 0 | 219.1173 | 0 |
| Base | 5 | 97 | PUSH-OVER $_{MODO1}$ Min | -1.5367 | 0 | -94.1279 | 0 | -1.3352 | 0 |
| Base | 5 | 97 | PUSH-OVER $_{FUERZAS}$ Max | -1.5367 | 0 | 190.8387 | 0 | -1.3352 | 0 |
| Base | 5 | 97 | PUSH-OVER $_{FUERZAS}$ Min | -50.9981 | 0 | 48.5805 | 0 | -193.8144 | 0 |
| Base | 5 | 97 | 1.4D | -1.6838 | 0 | 56.2872 | 0 | -1.4636 | 0 |
| Base | 5 | 97 | 1.2D+1.6L | -2.1271 | 0 | 62.1817 | 0 | -1.8471 | 0 |

**Table 5.5 - Joint Reactions (continued)**

| Story | Joint Label | Unique Name | Load Case/Combo | FX tonf | FY tonf | FZ tonf | MX tonf-m | MY tonf-m | MZ tonf-m |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Base | 5 | 97 | 1.2D+L+E (LSP) | -8.2132 | 0 | 77.7939 | 0 | -18.7224 | 0 |
| Base | 5 | 97 | 1.2D+L+E (LDP) Max | 3.2036 | 0 | 71.7009 | 0 | 11.7264 | 0 |
| Base | 5 | 97 | 1.2D+L+E (LDP) Min | -6.9449 | 0 | 42.2108 | 0 | -14.9762 | 0 |
| Base | 5 | 97 | 0.9D+E (LSP) | -7.425 | 0 | 57.0226 | 0 | -18.0384 | 0 |
| Base | 5 | 97 | 0.9D+E (LDP) Max | 3.9918 | 0 | 50.9297 | 0 | 12.4104 | 0 |
| Base | 5 | 97 | 0.9D+E (LDP) Min | -6.1567 | 0 | 21.4396 | 0 | -14.2922 | 0 |
| Base | 5 | 97 | Envolvente (Limites de recistencia) Max | 3.9918 | 0 | 77.7939 | 0 | 12.4104 | 0 |
| Base | 5 | 97 | Envolvente (Limites de recistencia) Min | -8.2132 | 0 | 21.4396 | 0 | -18.7224 | 0 |
| Base | 5 | 97 | D+L (servicio) | -1.6301 | 0 | 48.9149 | 0 | -1.4158 | 0 |
| Base | 5 | 97 | DStlD1 | -2.4054 | 0 | 80.4103 | 0 | -2.0909 | 0 |
| Base | 5 | 97 | DStlD2 | -2.8328 | 0 | 89.12 | 0 | -2.4613 | 0 |

## 5.4 Modal Results

**Table 5.6 - Modal Periods and Frequencies**

| Case | Mode | Period sec | Frequency cyc/sec | Circular Frequency rad/sec | Eigenvalue rad²/sec² |
|---|---|---|---|---|---|
| Modal $_{LDP}$ | 1 | 1.079 | 0.927 | 5.8255 | 33.9369 |
| Modal $_{LDP}$ | 2 | 0.383 | 2.614 | 16.4229 | 269.7113 |
| Modal $_{LDP}$ | 3 | 0.197 | 5.068 | 31.8427 | 1013.9548 |
| Modal $_{LDP}$ | 4 | 0.126 | 7.91 | 49.6992 | 2470.0059 |
| Modal $_{LDP}$ | 5 | 0.087 | 11.469 | 72.0597 | 5192.6059 |
| Modal $_{LDP}$ | 6 | 0.081 | 12.351 | 77.6048 | 6022.5022 |
| Modal $_{LDP}$ | 7 | 0.074 | 13.493 | 84.7805 | 7187.7308 |
| Modal $_{LDP}$ | 8 | 0.068 | 14.669 | 92.1708 | 8495.4594 |
| Modal $_{LDP}$ | 9 | 0.062 | 16.13 | 101.3499 | 10271.808 |
| Modal $_{LDP}$ | 10 | 0.059 | 17.003 | 106.8325 | 11413.1903 |
| Modal $_{LDP}$ | 11 | 0.056 | 17.834 | 112.0535 | 12555.9788 |
| Modal $_{LDP}$ | 12 | 0.053 | 18.873 | 118.5812 | 14061.5001 |
| Modal $_{LDP}$ | 13 | 0.046 | 21.756 | 136.6986 | 18686.5147 |
| Modal $_{LDP}$ | 14 | 0.044 | 22.594 | 141.9606 | 20152.8224 |

**Table 5.7 - Modal Participating Mass Ratios (Part 1 of 2)**

| Case | Mode | Period sec | UX | UY | UZ | Sum UX | Sum UY | Sum UZ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Modal $_{LDP}$ | 1 | 1.079 | 0.7697 | 0 | 0 | 0.7697 | 0 | 0 |
| Modal $_{LDP}$ | 2 | 0.383 | 0.1264 | 0 | 0 | 0.8961 | 0 | 0 |
| Modal $_{LDP}$ | 3 | 0.197 | 0.0494 | 0 | 0 | 0.9455 | 0 | 0 |
| Modal $_{LDP}$ | 4 | 0.126 | 0.0271 | 0 | 0 | 0.9725 | 0 | 0 |
| Modal $_{LDP}$ | 5 | 0.087 | 0.0157 | 0 | 0 | 0.9882 | 0 | 0 |
| Modal $_{LDP}$ | 6 | 0.081 | 0 | 0 | 0 | 0.9882 | 0 | 0 |
| Modal $_{LDP}$ | 7 | 0.074 | 0 | 0 | 0 | 0.9882 | 0 | 0 |
| Modal $_{LDP}$ | 8 | 0.068 | 0.0078 | 0 | 0 | 0.996 | 0 | 0 |
| Modal $_{LDP}$ | 9 | 0.062 | 0 | 0 | 0 | 0.996 | 0 | 0 |
| Modal $_{LDP}$ | 10 | 0.059 | 0 | 0 | 0 | 0.996 | 0 | 0 |
| Modal $_{LDP}$ | 11 | 0.056 | 0.0038 | 0 | 0 | 0.9999 | 0 | 0 |
| Modal $_{LDP}$ | 12 | 0.053 | 0 | 0 | 0 | 0.9999 | 0 | 0 |
| Modal $_{LDP}$ | 13 | 0.046 | 0 | 0 | 0 | 0.9999 | 0 | 0 |
| Modal $_{LDP}$ | 14 | 0.044 | 0 | 0 | 0 | 0.9999 | 0 | 0 |

**Table 5.7 - Modal Participating Mass Ratios (Part 2 of 2)**

| Case | Mode | RX | RY | RZ | Sum RX | Sum RY | Sum RZ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Modal LDP | 1 | 0 | 0.2335 | 0 | 0 | 0.2335 | 0 |
| Modal LDP | 2 | 0 | 0.4525 | 0 | 0 | 0.686 | 0 |
| Modal LDP | 3 | 0 | 0.1331 | 0 | 0 | 0.8191 | 0 |
| Modal LDP | 4 | 0 | 0.0965 | 0 | 0 | 0.9156 | 0 |
| Modal LDP | 5 | 0 | 0.0455 | 0 | 0 | 0.9611 | 0 |
| Modal LDP | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.9611 | 0 |
| Modal LDP | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.9611 | 0 |
| Modal LDP | 8 | 0 | 0.0255 | 0 | 0 | 0.9866 | 0 |
| Modal LDP | 9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.9866 | 0 |
| Modal LDP | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.9866 | 0 |
| Modal LDP | 11 | 0 | 0.013 | 0 | 0 | 0.9996 | 0 |
| Modal LDP | 12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.9996 | 0 |
| Modal LDP | 13 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.9996 | 0 |
| Modal LDP | 14 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.9996 | 0 |

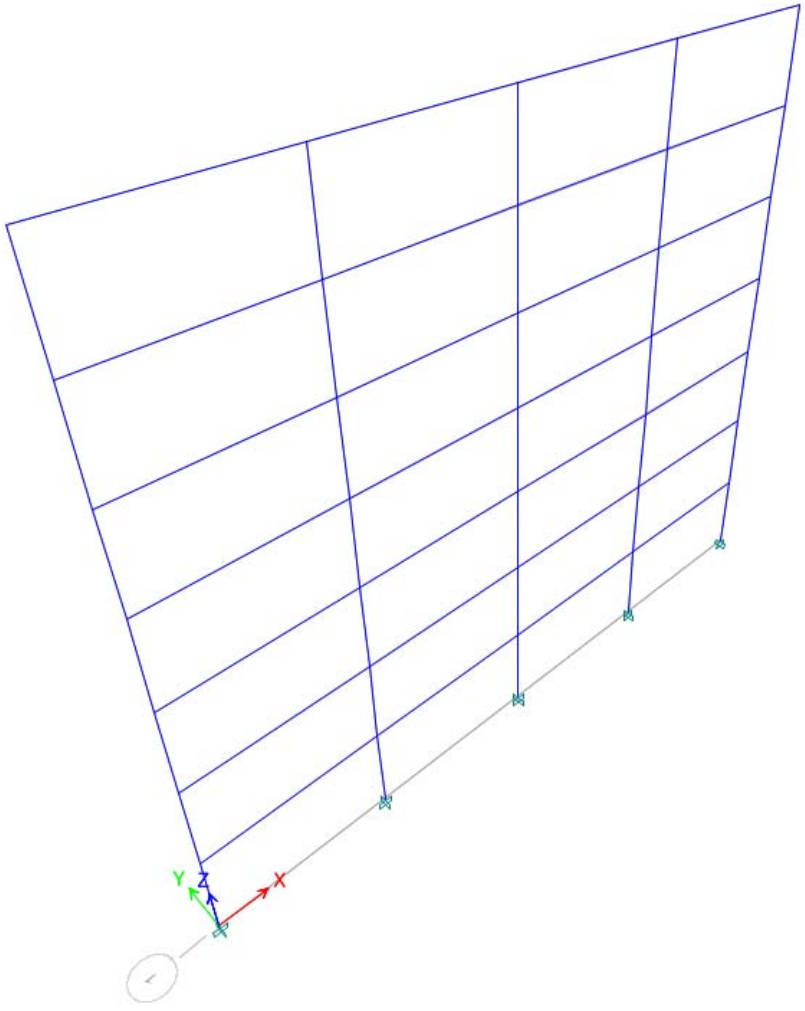
**Table 5.8 - Modal Load Participation Ratios**

| Case | Item Type | Item | Static % | Dynamic % |
|---|---|---|---|---|
| Modal LDP | Acceleration | UX | 100 | 99.99 |
| Modal LDP | Acceleration | UY | 0 | 0 |
| Modal LDP | Acceleration | UZ | 0 | 0 |

**Table 5.9 - Modal Direction Factors**

| Case | Mode | Period sec | UX | UY | UZ | RZ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Modal LDP | 1 | 1.079 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| Modal LDP | 2 | 0.383 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| Modal LDP | 3 | 0.197 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| Modal LDP | 4 | 0.126 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| Modal LDP | 5 | 0.087 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| Modal LDP | 6 | 0.081 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| Modal LDP | 7 | 0.074 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| Modal LDP | 8 | 0.068 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| Modal LDP | 9 | 0.062 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| Modal LDP | 10 | 0.059 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| Modal LDP | 11 | 0.056 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| Modal LDP | 12 | 0.053 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| Modal LDP | 13 | 0.046 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| Modal LDP | 14 | 0.044 | 1 | 0 | 0 | 0 |

ETABS® version 17
Integrated Building Design Software




# Summary Report

Model File: SMF FINAL, Revision 0
02/10/2020

# 1 Loads

This chapter provides loading information as applied to the model.

## 1.1 Load Patterns

**Table 1.1 - Load Patterns**

| Name | Type | Self Weight Multiplier | Auto Load |
|---|---|---|---|
| Dead | Dead | 1 | |
| Live | Live | 0 | |
| Sobrecarga $_{Dead}$ | Superimposed Dead | 0 | |
| Sismo $_{LSP}$ | Seismic | 0 | User Coefficient |
| LATERAL $_{NSP}$ | Other | 0 | |

## 1.2 Load Cases

**Table 1.2 - Load Cases - Summary**

| Name | Type |
|---|---|
| Dead | Linear Static |
| Sobrecarga $_{Dead}$ | Linear Static |
| Carga $_{Permanente}$ | Linear Static |
| Live | Linear Static |
| Sismo $_{LSP}$ | Linear Static |
| Sismo $_{LDP}$ | Response Spectrum |
| Carga $_{GRAV}$ | Nonlinear Static |
| LATERAL | Linear Static |
| PUSH-OVER $_{MODO1}$ | Nonlinear Static |
| PUSH-OVER $_{FUERZAS}$ | Nonlinear Static |

# 2 Analysis Results

This chapter provides analysis results.

## 2.1 Structure Results

**Table 2.1 - Base Reactions**

| Load Case/Combo | FX tonf | FY tonf | FZ tonf | MX tonf-m | MY tonf-m | MZ tonf-m | X m | Y m | Z m |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Dead | 0 | 0 | 34.5851 | 0 | -415.0212 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Sobrecarga $_{Dead}$ | 0 | 0 | 256.29 | 0 | -3075.48 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Carga $_{Permanente}$ | 0 | 0 | 290.8751 | 0 | -3490.5012 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Live | 0 | 0 | 68.58 | 0 | -822.96 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Sismo $_{LSP}$ | -38.2978 | 0 | 0 | 0 | -587.4836 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Sismo $_{LDP}$ Max | 30.4311 | 0 | 0 | 0 | 417.2592 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Carga $_{GRAV}$ Max | 0 | 0 | 354.2526 | 0 | -4251.0313 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Carga $_{GRAV}$ Min | 0 | 0 | 354.2526 | 0 | -4251.0313 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| LATERAL | -17.87 | 0 | 0 | 0 | -266.178 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| PUSH-OVER $_{MODO1}$ Max | 290.4323 | 0 | 354.2526 | 0 | 97.9612 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| PUSH-OVER $_{MODO1}$ Min | 0 | 0 | 354.2526 | 0 | -4251.0313 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| PUSH-OVER $_{FUERZAS}$ Max | 0 | 0 | 354.2526 | 0 | -4251.0313 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| PUSH-OVER $_{FUERZAS}$ Min | -291.7421 | 0 | 354.2526 | 0 | -8597.5317 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1.4D | 0 | 0 | 407.2251 | 0 | -4886.7017 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1.2D+1.6L | 0 | 0 | 458.7781 | 0 | -5505.3375 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1.2D+L+E (LSP) | -38.2978 | 0 | 417.6301 | 0 | -5599.045 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1.2D+L+E (LDP) Max | 30.4311 | 0 | 417.6301 | 0 | -4594.3022 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1.2D+L+E (LDP) Min | -30.4311 | 0 | 417.6301 | 0 | -5428.8207 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0.9D+E (LSP) | -38.2978 | 0 | 261.7876 | 0 | -3728.9346 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0.9D+E (LDP) Max | 30.4311 | 0 | 261.7876 | 0 | -2724.1919 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0.9D+E (LDP) Min | -30.4311 | 0 | 261.7876 | 0 | -3558.7103 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Envolvente (Limites de recistencia) Max | 30.4311 | 0 | 458.7781 | 0 | -2724.1919 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Envolvente (Limites de recistencia) Min | -38.2978 | 0 | 261.7876 | 0 | -5599.045 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| D+L (servicio) | 0 | 0 | 359.4551 | 0 | -4313.4612 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| DStlD1 | 0 | 0 | 581.7502 | 0 | -6981.0024 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| DStlD2 | 0 | 0 | 650.3302 | 0 | -7803.9624 | 0 | 0 | 0 | 0 |

**Table 2.2 - Response Spectrum Modal Information**

| Response Spectrum Case | Modal case | Mode | Period sec | Damping Ratio | U1 Acceleration m/sec² | U2 Acceleration m/sec² | U3 Acceleration m/sec² | U1 Amplitude m | U2 Amplitude m | U3 Amplitude m |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Sismo $_{LDP}$ | Modal $_{LDP}$ | 1 | 1.079 | 0.05 | 0.5744 | 0 | 0 | 0.369075 | 0 | 0 |
| Sismo $_{LDP}$ | Modal $_{LDP}$ | 2 | 0.383 | 0.05 | 1.3511 | 0 | 0 | 0.044264 | 0 | 0 |
| Sismo $_{LDP}$ | Modal $_{LDP}$ | 3 | 0.197 | 0.05 | 1.3511 | 0 | 0 | 0.007358 | 0 | 0 |
| Sismo $_{LDP}$ | Modal $_{LDP}$ | 4 | 0.126 | 0.05 | 1.3511 | 0 | 0 | 0.002236 | 0 | 0 |
| Sismo $_{LDP}$ | Modal $_{LDP}$ | 5 | 0.087 | 0.05 | 1.3511 | 0 | 0 | -0.000811 | 0 | 0 |

**Table 2.2 - Response Spectrum Modal Information (continued)**

| Response Spectrum Case | Modal case | Mode | Period sec | Damping Ratio | U1 Acceleration m/sec² | U2 Acceleration m/sec² | U3 Acceleration m/sec² | U1 Amplitude m | U2 Amplitude m | U3 Amplitude m |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Sismo LDP | Modal LDP | 6 | 0.081 | 0.05 | 1.3511 | 0 | 0 | -2.937E-12 | 0 | 0 |
| Sismo LDP | Modal LDP | 7 | 0.074 | 0.05 | 1.3511 | 0 | 0 | 1.768E-11 | 0 | 0 |
| Sismo LDP | Modal LDP | 8 | 0.068 | 0.05 | 1.3511 | 0 | 0 | 0.000349 | 0 | 0 |
| Sismo LDP | Modal LDP | 9 | 0.062 | 0.05 | 1.3511 | 0 | 0 | -4.053E-11 | 0 | 0 |
| Sismo LDP | Modal LDP | 10 | 0.059 | 0.05 | 1.3511 | 0 | 0 | 1.912E-11 | 0 | 0 |
| Sismo LDP | Modal LDP | 11 | 0.056 | 0.05 | 1.3511 | 0 | 0 | 0.000166 | 0 | 0 |
| Sismo LDP | Modal LDP | 12 | 0.053 | 0.05 | 1.3511 | 0 | 0 | 4.737E-12 | 0 | 0 |
| Sismo LDP | Modal LDP | 13 | 0.046 | 0.05 | 1.3511 | 0 | 0 | -3.868E-12 | 0 | 0 |
| Sismo LDP | Modal LDP | 14 | 0.044 | 0.05 | 1.3511 | 0 | 0 | 1.634E-07 | 0 | 0 |

## 2.2 Story Results

**Table 2.3 - Story Drifts**

| Story | Load Case/Combo | Direction | Drift | Label | X m | Y m | Z m |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Story7 | Dead | X | 3E-06 | 5 | 24 | 0 | 21 |
| Story7 | Sobrecarga Dead | X | 5.2E-05 | 5 | 24 | 0 | 21 |
| Story7 | Carga Permanente | X | 5.6E-05 | 5 | 24 | 0 | 21 |
| Story7 | Live | X | 1.1E-05 | 5 | 24 | 0 | 21 |
| Story7 | Sismo LSP | X | 0.00128 | 5 | 24 | 0 | 21 |
| Story7 | Sismo LDP Max | X | 0.001052 | 1 | 0 | 0 | 21 |
| Story7 | Carga GRAV Max | X | 6.7E-05 | 5 | 24 | 0 | 21 |
| Story7 | Carga GRAV Min | X | 6.7E-05 | 5 | 24 | 0 | 21 |
| Story7 | LATERAL | X | 0.00069 | 1 | 0 | 0 | 21 |
| Story7 | PUSH-OVER MODO1 Max | X | 6.7E-05 | 5 | 24 | 0 | 21 |
| Story7 | PUSH-OVER MODO1 Min | X | 0.048841 | 5 | 24 | 0 | 21 |
| Story7 | PUSH-OVER FUERZAS Max | X | 0.064345 | 1 | 0 | 0 | 21 |
| Story7 | PUSH-OVER FUERZAS Min | X | 6.7E-05 | 5 | 24 | 0 | 21 |
| Story7 | 1.4D | X | 7.8E-05 | 5 | 24 | 0 | 21 |
| Story7 | 1.2D+1.6L | X | 8.4E-05 | 5 | 24 | 0 | 21 |
| Story7 | 1.2D+L+E (LSP) | X | 0.001358 | 1 | 0 | 0 | 21 |
| Story7 | 1.2D+L+E (LDP) Max | X | 0.001129 | 1 | 0 | 0 | 21 |
| Story7 | 1.2D+L+E (LDP) Min | X | 0.001129 | 5 | 24 | 0 | 21 |
| Story7 | 0.9D+E (LSP) | X | 0.00133 | 1 | 0 | 0 | 21 |
| Story7 | 0.9D+E (LDP) Max | X | 0.001102 | 1 | 0 | 0 | 21 |
| Story7 | 0.9D+E (LDP) Min | X | 0.001102 | 5 | 24 | 0 | 21 |
| Story7 | Envolvente (Limites de recistencia) Max | X | 0.001358 | 1 | 0 | 0 | 21 |
| Story7 | Envolvente (Limites de recistencia) Min | X | 0.001129 | 5 | 24 | 0 | 21 |
| Story7 | D+L (servicio) | X | 6.7E-05 | 5 | 24 | 0 | 21 |
| Story7 | DStlD1 | X | 0.000111 | 5 | 24 | 0 | 21 |

**Table 2.3 - Story Drifts (continued)**

| Story | Load Case/Combo | Direction | Drift | Label | X m | Y m | Z m |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Story7 | DStlD2 | X | 0.000122 | 5 | 24 | 0 | 21 |
| Story6 | Dead | X | 4.912E-07 | 1 | 0 | 0 | 18 |
| Story6 | Sobrecarga $_{Dead}$ | X | 6E-06 | 5 | 24 | 0 | 18 |
| Story6 | Carga $_{Permanente}$ | X | 5E-06 | 5 | 24 | 0 | 18 |
| Story6 | Live | X | 6E-06 | 5 | 24 | 0 | 18 |
| Story6 | Sismo $_{LSP}$ | X | 0.0017 | 3 | 12 | 0 | 18 |
| Story6 | Sismo $_{LDP}$ Max | X | 0.001315 | 3 | 12 | 0 | 18 |
| Story6 | Carga $_{GRAV}$ Max | X | 9E-06 | 5 | 24 | 0 | 18 |
| Story6 | Carga $_{GRAV}$ Min | X | 9E-06 | 5 | 24 | 0 | 18 |
| Story6 | LATERAL | X | 0.000832 | 1 | 0 | 0 | 18 |
| Story6 | PUSH-OVER $_{MODO1}$ Max | X | 9E-06 | 5 | 24 | 0 | 18 |
| Story6 | PUSH-OVER $_{MODO1}$ Min | X | 0.055436 | 3 | 12 | 0 | 18 |
| Story6 | PUSH-OVER $_{FUERZAS}$ Max | X | 0.067625 | 1 | 0 | 0 | 18 |
| Story6 | PUSH-OVER $_{FUERZAS}$ Min | X | 9E-06 | 5 | 24 | 0 | 18 |
| Story6 | 1.4D | X | 7E-06 | 5 | 24 | 0 | 18 |
| Story6 | 1.2D+1.6L | X | 1.5E-05 | 5 | 24 | 0 | 18 |
| Story6 | 1.2D+L+E (LSP) | X | 0.001706 | 2 | 6 | 0 | 18 |
| Story6 | 1.2D+L+E (LDP) Max | X | 0.001321 | 2 | 6 | 0 | 18 |
| Story6 | 1.2D+L+E (LDP) Min | X | 0.001321 | 4 | 18 | 0 | 18 |
| Story6 | 0.9D+E (LSP) | X | 0.001702 | 2 | 6 | 0 | 18 |
| Story6 | 0.9D+E (LDP) Max | X | 0.001317 | 2 | 6 | 0 | 18 |
| Story6 | 0.9D+E (LDP) Min | X | 0.001317 | 4 | 18 | 0 | 18 |
| Story6 | Envolvente (Limites de recistencia) Max | X | 0.001706 | 2 | 6 | 0 | 18 |
| Story6 | Envolvente (Limites de recistencia) Min | X | 0.001321 | 4 | 18 | 0 | 18 |
| Story6 | D+L (servicio) | X | 1.1E-05 | 5 | 24 | 0 | 18 |
| Story6 | DStlD1 | X | 1.1E-05 | 5 | 24 | 0 | 18 |
| Story6 | DStlD2 | X | 1.6E-05 | 5 | 24 | 0 | 18 |
| Story5 | Dead | X | 3.09E-07 | 1 | 0 | 0 | 15 |
| Story5 | Sobrecarga $_{Dead}$ | X | 5E-06 | 1 | 0 | 0 | 15 |
| Story5 | Carga $_{Permanente}$ | X | 5E-06 | 1 | 0 | 0 | 15 |
| Story5 | Live | X | 1E-06 | 1 | 0 | 0 | 15 |
| Story5 | Sismo $_{LSP}$ | X | 0.001862 | 3 | 12 | 0 | 15 |
| Story5 | Sismo $_{LDP}$ Max | X | 0.001361 | 3 | 12 | 0 | 15 |
| Story5 | Carga $_{GRAV}$ Max | X | 6E-06 | 1 | 0 | 0 | 15 |
| Story5 | Carga $_{GRAV}$ Min | X | 6E-06 | 1 | 0 | 0 | 15 |
| Story5 | LATERAL | X | 0.000851 | 1 | 0 | 0 | 15 |
| Story5 | PUSH-OVER $_{MODO1}$ Max | X | 6E-06 | 1 | 0 | 0 | 15 |
| Story5 | PUSH-OVER $_{MODO1}$ Min | X | 0.059 | 3 | 12 | 0 | 15 |
| Story5 | PUSH-OVER $_{FUERZAS}$ Max | X | 0.066322 | 1 | 0 | 0 | 15 |
| Story5 | PUSH-OVER $_{FUERZAS}$ Min | X | 6E-06 | 1 | 0 | 0 | 15 |
| Story5 | 1.4D | X | 7E-06 | 1 | 0 | 0 | 15 |
| Story5 | 1.2D+1.6L | X | 8E-06 | 1 | 0 | 0 | 15 |
| Story5 | 1.2D+L+E (LSP) | X | 0.001863 | 4 | 18 | 0 | 15 |
| Story5 | 1.2D+L+E (LDP) Max | X | 0.001363 | 5 | 24 | 0 | 15 |
| Story5 | 1.2D+L+E (LDP) Min | X | 0.001363 | 1 | 0 | 0 | 15 |
| Story5 | 0.9D+E (LSP) | X | 0.001862 | 4 | 18 | 0 | 15 |
| Story5 | 0.9D+E (LDP) Max | X | 0.001362 | 4 | 18 | 0 | 15 |
| Story5 | 0.9D+E (LDP) Min | X | 0.001362 | 2 | 6 | 0 | 15 |
| Story5 | Envolvente (Limites de recistencia) Max | X | 0.001863 | 4 | 18 | 0 | 15 |

**Table 2.3 - Story Drifts (continued)**

| Story | Load Case/Combo | Direction | Drift | Label | X m | Y m | Z m |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Story5 | Envolvente (Limites de recistencia) Min | X | 0.001363 | 1 | 0 | 0 | 15 |
| Story5 | D+L (servicio) | X | 6E-06 | 1 | 0 | 0 | 15 |
| Story5 | DStlD1 | X | 1E-05 | 1 | 0 | 0 | 15 |
| Story5 | DStlD2 | X | 1.1E-05 | 1 | 0 | 0 | 15 |
| Story4 | Dead | X | 1E-06 | 5 | 24 | 0 | 12 |
| Story4 | Sobrecarga $_{Dead}$ | X | 4E-06 | 5 | 24 | 0 | 12 |
| Story4 | Carga $_{Permanente}$ | X | 4E-06 | 5 | 24 | 0 | 12 |
| Story4 | Live | X | 1E-06 | 5 | 24 | 0 | 12 |
| Story4 | Sismo $_{LSP}$ | X | 0.001738 | 1 | 0 | 0 | 12 |
| Story4 | Sismo $_{LDP}$ Max | X | 0.001239 | 5 | 24 | 0 | 12 |
| Story4 | Carga $_{GRAV}$ Max | X | 5E-06 | 5 | 24 | 0 | 12 |
| Story4 | Carga $_{GRAV}$ Min | X | 5E-06 | 5 | 24 | 0 | 12 |
| Story4 | LATERAL | X | 0.000758 | 1 | 0 | 0 | 12 |
| Story4 | PUSH-OVER $_{MODO1}$ Max | X | 5E-06 | 5 | 24 | 0 | 12 |
| Story4 | PUSH-OVER $_{MODO1}$ Min | X | 0.058285 | 1 | 0 | 0 | 12 |
| Story4 | PUSH-OVER $_{FUERZAS}$ Max | X | 0.061098 | 1 | 0 | 0 | 12 |
| Story4 | PUSH-OVER $_{FUERZAS}$ Min | X | 5E-06 | 5 | 24 | 0 | 12 |
| Story4 | 1.4D | X | 6E-06 | 5 | 24 | 0 | 12 |
| Story4 | 1.2D+1.6L | X | 7E-06 | 5 | 24 | 0 | 12 |
| Story4 | 1.2D+L+E (LSP) | X | 0.001744 | 1 | 0 | 0 | 12 |
| Story4 | 1.2D+L+E (LDP) Max | X | 0.001245 | 1 | 0 | 0 | 12 |
| Story4 | 1.2D+L+E (LDP) Min | X | 0.001245 | 5 | 24 | 0 | 12 |
| Story4 | 0.9D+E (LSP) | X | 0.001742 | 1 | 0 | 0 | 12 |
| Story4 | 0.9D+E (LDP) Max | X | 0.001243 | 1 | 0 | 0 | 12 |
| Story4 | 0.9D+E (LDP) Min | X | 0.001243 | 5 | 24 | 0 | 12 |
| Story4 | Envolvente (Limites de recistencia) Max | X | 0.001744 | 1 | 0 | 0 | 12 |
| Story4 | Envolvente (Limites de recistencia) Min | X | 0.001245 | 5 | 24 | 0 | 12 |
| Story4 | D+L (servicio) | X | 6E-06 | 5 | 24 | 0 | 12 |
| Story4 | DStlD1 | X | 9E-06 | 5 | 24 | 0 | 12 |
| Story4 | DStlD2 | X | 1E-05 | 5 | 24 | 0 | 12 |
| Story3 | Dead | X | 8.125E-08 | 4 | 18 | 0 | 9 |
| Story3 | Sobrecarga $_{Dead}$ | X | 1E-06 | 4 | 18 | 0 | 9 |
| Story3 | Carga $_{Permanente}$ | X | 1E-06 | 4 | 18 | 0 | 9 |
| Story3 | Live | X | 2.316E-07 | 4 | 18 | 0 | 9 |
| Story3 | Sismo $_{LSP}$ | X | 0.001803 | 2 | 6 | 0 | 9 |
| Story3 | Sismo $_{LDP}$ Max | X | 0.001309 | 2 | 6 | 0 | 9 |
| Story3 | Carga $_{GRAV}$ Max | X | 1E-06 | 4 | 18 | 0 | 9 |
| Story3 | Carga $_{GRAV}$ Min | X | 1E-06 | 4 | 18 | 0 | 9 |
| Story3 | LATERAL | X | 0.000791 | 1 | 0 | 0 | 9 |
| Story3 | PUSH-OVER $_{MODO1}$ Max | X | 1E-06 | 4 | 18 | 0 | 9 |
| Story3 | PUSH-OVER $_{MODO1}$ Min | X | 0.057366 | 4 | 18 | 0 | 9 |
| Story3 | PUSH-OVER $_{FUERZAS}$ Max | X | 0.057147 | 4 | 18 | 0 | 9 |
| Story3 | PUSH-OVER $_{FUERZAS}$ Min | X | 1E-06 | 4 | 18 | 0 | 9 |
| Story3 | 1.4D | X | 1E-06 | 4 | 18 | 0 | 9 |
| Story3 | 1.2D+1.6L | X | 1E-06 | 4 | 18 | 0 | 9 |
| Story3 | 1.2D+L+E (LSP) | X | 0.001804 | 2 | 6 | 0 | 9 |
| Story3 | 1.2D+L+E (LDP) Max | X | 0.00131 | 2 | 6 | 0 | 9 |
| Story3 | 1.2D+L+E (LDP) Min | X | 0.00131 | 4 | 18 | 0 | 9 |
| Story3 | 0.9D+E (LSP) | X | 0.001804 | 2 | 6 | 0 | 9 |

**Table 2.3 - Story Drifts (continued)**

| Story | Load Case/Combo | Direction | Drift | Label | X m | Y m | Z m |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Story3 | 0.9D+E (LDP) Max | X | 0.00131 | 2 | 6 | 0 | 9 |
| Story3 | 0.9D+E (LDP) Min | X | 0.00131 | 4 | 18 | 0 | 9 |
| Story3 | Envolvente (Limites de recistencia) Max | X | 0.001804 | 2 | 6 | 0 | 9 |
| Story3 | Envolvente (Limites de recistencia) Min | X | 0.00131 | 4 | 18 | 0 | 9 |
| Story3 | D+L (servicio) | X | 1E-06 | 4 | 18 | 0 | 9 |
| Story3 | DStlD1 | X | 2E-06 | 4 | 18 | 0 | 9 |
| Story3 | DStlD2 | X | 2E-06 | 4 | 18 | 0 | 9 |
| Story2 | Dead | X | 3.885E-07 | 5 | 24 | 0 | 6 |
| Story2 | Sobrecarga $_{Dead}$ | X | 5E-06 | 5 | 24 | 0 | 6 |
| Story2 | Carga $_{Permanente}$ | X | 5E-06 | 5 | 24 | 0 | 6 |
| Story2 | Live | X | 2E-06 | 5 | 24 | 0 | 6 |
| Story2 | Sismo $_{LSP}$ | X | 0.001714 | 1 | 0 | 0 | 6 |
| Story2 | Sismo $_{LDP}$ Max | X | 0.001289 | 1 | 0 | 0 | 6 |
| Story2 | Carga $_{GRAV}$ Max | X | 7E-06 | 5 | 24 | 0 | 6 |
| Story2 | Carga $_{GRAV}$ Min | X | 7E-06 | 5 | 24 | 0 | 6 |
| Story2 | LATERAL | X | 0.000777 | 1 | 0 | 0 | 6 |
| Story2 | PUSH-OVER $_{MODO1}$ Max | X | 7E-06 | 5 | 24 | 0 | 6 |
| Story2 | PUSH-OVER $_{MODO1}$ Min | X | 0.053681 | 5 | 24 | 0 | 6 |
| Story2 | PUSH-OVER $_{FUERZAS}$ Max | X | 0.051475 | 5 | 24 | 0 | 6 |
| Story2 | PUSH-OVER $_{FUERZAS}$ Min | X | 7E-06 | 5 | 24 | 0 | 6 |
| Story2 | 1.4D | X | 7E-06 | 5 | 24 | 0 | 6 |
| Story2 | 1.2D+1.6L | X | 1E-05 | 5 | 24 | 0 | 6 |
| Story2 | 1.2D+L+E (LSP) | X | 0.001722 | 1 | 0 | 0 | 6 |
| Story2 | 1.2D+L+E (LDP) Max | X | 0.001297 | 1 | 0 | 0 | 6 |
| Story2 | 1.2D+L+E (LDP) Min | X | 0.001297 | 5 | 24 | 0 | 6 |
| Story2 | 0.9D+E (LSP) | X | 0.001719 | 1 | 0 | 0 | 6 |
| Story2 | 0.9D+E (LDP) Max | X | 0.001294 | 1 | 0 | 0 | 6 |
| Story2 | 0.9D+E (LDP) Min | X | 0.001294 | 5 | 24 | 0 | 6 |
| Story2 | Envolvente (Limites de recistencia) Max | X | 0.001722 | 1 | 0 | 0 | 6 |
| Story2 | Envolvente (Limites de recistencia) Min | X | 0.001297 | 5 | 24 | 0 | 6 |
| Story2 | D+L (servicio) | X | 7E-06 | 5 | 24 | 0 | 6 |
| Story2 | DStlD1 | X | 1.1E-05 | 5 | 24 | 0 | 6 |
| Story2 | DStlD2 | X | 1.3E-05 | 5 | 24 | 0 | 6 |
| Story1 | Dead | X | 1E-06 | 1 | 0 | 0 | 3 |
| Story1 | Sobrecarga $_{Dead}$ | X | 7E-06 | 1 | 0 | 0 | 3 |
| Story1 | Carga $_{Permanente}$ | X | 8E-06 | 1 | 0 | 0 | 3 |
| Story1 | Live | X | 3E-06 | 1 | 0 | 0 | 3 |
| Story1 | Sismo $_{LSP}$ | X | 0.001033 | 3 | 12 | 0 | 3 |
| Story1 | Sismo $_{LDP}$ Max | X | 0.0008 | 3 | 12 | 0 | 3 |
| Story1 | Carga $_{GRAV}$ Max | X | 1E-05 | 1 | 0 | 0 | 3 |
| Story1 | Carga $_{GRAV}$ Min | X | 1E-05 | 1 | 0 | 0 | 3 |
| Story1 | LATERAL | X | 0.000479 | 1 | 0 | 0 | 3 |
| Story1 | PUSH-OVER $_{MODO1}$ Max | X | 1E-05 | 1 | 0 | 0 | 3 |
| Story1 | PUSH-OVER $_{MODO1}$ Min | X | 0.043803 | 1 | 0 | 0 | 3 |
| Story1 | PUSH-OVER $_{FUERZAS}$ Max | X | 0.041856 | 1 | 0 | 0 | 3 |
| Story1 | PUSH-OVER $_{FUERZAS}$ Min | X | 1E-05 | 1 | 0 | 0 | 3 |
| Story1 | 1.4D | X | 1.1E-05 | 1 | 0 | 0 | 3 |
| Story1 | 1.2D+1.6L | X | 1.3E-05 | 1 | 0 | 0 | 3 |
| Story1 | 1.2D+L+E (LSP) | X | 0.001036 | 4 | 18 | 0 | 3 |

**Table 2.3 - Story Drifts (continued)**

| Story | Load Case/Combo | Direction | Drift | Label | X m | Y m | Z m |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Story1 | 1.2D+L+E (LDP) Max | X | 0.000804 | 4 | 18 | 0 | 3 |
| Story1 | 1.2D+L+E (LDP) Min | X | 0.000804 | 2 | 6 | 0 | 3 |
| Story1 | 0.9D+E (LSP) | X | 0.001034 | 4 | 18 | 0 | 3 |
| Story1 | 0.9D+E (LDP) Max | X | 0.000801 | 4 | 18 | 0 | 3 |
| Story1 | 0.9D+E (LDP) Min | X | 0.000801 | 2 | 6 | 0 | 3 |
| Story1 | Envolvente (Limites de recistencia) Max | X | 0.001036 | 4 | 18 | 0 | 3 |
| Story1 | Envolvente (Limites de recistencia) Min | X | 0.000804 | 2 | 6 | 0 | 3 |
| Story1 | D+L (servicio) | X | 1E-05 | 1 | 0 | 0 | 3 |
| Story1 | DStlD1 | X | 1.5E-05 | 1 | 0 | 0 | 3 |
| Story1 | DStlD2 | X | 1.8E-05 | 1 | 0 | 0 | 3 |

**Table 2.4 - Story Forces**

| Story | Load Case/Combo | Location | P tonf | VX tonf | VY tonf | T tonf-m | MX tonf-m | MY tonf-m |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Story7 | Dead | Top | 1.3695 | 0 | 0 | 0 | 0 | -16.434 |
| Story7 | Dead | Bottom | 3.9361 | 0 | 0 | 0 | 0 | -47.2337 |
| Story7 | Sobrecarga $_{Dead}$ | Top | 25.41 | 0 | 0 | 0 | 0 | -304.92 |
| Story7 | Sobrecarga $_{Dead}$ | Bottom | 25.41 | 0 | 0 | 0 | 0 | -304.92 |
| Story7 | Carga $_{Permanente}$ | Top | 26.7795 | 0 | 0 | 0 | 0 | -321.354 |
| Story7 | Carga $_{Permanente}$ | Bottom | 29.3461 | 0 | 0 | 0 | 0 | -352.1537 |
| Story7 | Live | Top | 3.78 | 0 | 0 | 0 | 0 | -45.36 |
| Story7 | Live | Bottom | 3.78 | 0 | 0 | 0 | 0 | -45.36 |
| Story7 | Sismo $_{LSP}$ | Top | 0 | -9.3744 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Story7 | Sismo $_{LSP}$ | Bottom | 0 | -9.3744 | 0 | 0 | 0 | -28.1232 |
| Story7 | Sismo $_{LDP}$ Max | Top | 0 | 9.0359 | 0 | 0 | 0 | 5.791E-07 |
| Story7 | Sismo $_{LDP}$ Max | Bottom | 0 | 9.0366 | 0 | 0 | 0 | 27.1088 |
| Story7 | Carga $_{GRAV}$ Max | Top | 31.3475 | 0 | 0 | 0 | 0 | -376.1694 |
| Story7 | Carga $_{GRAV}$ Max | Bottom | 34.1708 | 0 | 0 | 0 | 0 | -410.0491 |
| Story7 | Carga $_{GRAV}$ Min | Top | 31.3475 | 0 | 0 | 0 | 0 | -376.1694 |
| Story7 | Carga $_{GRAV}$ Min | Bottom | 34.1708 | 0 | 0 | 0 | 0 | -410.0491 |
| Story7 | LATERAL | Top | 0 | -5.306 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Story7 | LATERAL | Bottom | 0 | -5.306 | 0 | 0 | 0 | -15.918 |
| Story7 | PUSH-OVER $_{MODO1}$ Max | Top | 31.3475 | 63.3861 | 0 |  | 0 | -376.164 |
| Story7 | PUSH-OVER $_{MODO1}$ Max | Bottom | 34.1708 | 63.3922 | 0 | 0 | 0 | -219.8838 |
| Story7 | PUSH-OVER $_{MODO1}$ Min | Top | 31.3475 | 0 | 0 | 0 | 0 | -376.1696 |
| Story7 | PUSH-OVER $_{MODO1}$ Min | Bottom | 34.1708 | 0 | 0 | 0 | 0 | -410.0491 |
| Story7 | PUSH-OVER $_{FUERZAS}$ Max | Top | 31.3475 | 0 | 0 | 0 | 0 | -376.1694 |
| Story7 | PUSH-OVER $_{FUERZAS}$ Max | Bottom | 34.1708 | 0 | 0 | 0 | 0 | -410.0491 |
| Story7 | PUSH-OVER $_{FUERZAS}$ Min | Top | 31.3475 | -86.6246 | 0 | 0 | 0 | -376.5721 |
| Story7 | PUSH-OVER $_{FUERZAS}$ Min | Bottom | 34.1708 | -86.6247 | 0 | 0 | 0 | -670.2877 |
| Story7 | 1.4D | Top | 37.4913 | 0 | 0 | 0 | 0 | -449.8956 |
| Story7 | 1.4D | Bottom | 41.0846 | 0 | 0 | 0 | 0 | -493.0152 |
| Story7 | 1.2D+1.6L | Top | 38.1834 | 0 | 0 | 0 | 0 | -458.2008 |
| Story7 | 1.2D+1.6L | Bottom | 41.2634 | 0 | 0 | 0 | 0 | -495.1604 |
| Story7 | 1.2D+L+E (LSP) | Top | 35.9154 | -9.3744 | 0 | 0 | 0 | -430.9848 |
| Story7 | 1.2D+L+E (LSP) | Bottom | 38.9954 | -9.3744 | 0 | 0 | 0 | -496.0676 |
| Story7 | 1.2D+L+E (LDP) Max | Top | 35.9154 | 9.0359 | 0 | 0 | 0 | -430.9848 |
| Story7 | 1.2D+L+E (LDP) Max | Bottom | 38.9954 | 9.0366 | 0 | 0 | 0 | -440.8356 |
| Story7 | 1.2D+L+E (LDP) Min | Top | 35.9154 | -9.0359 | 0 | 0 | 0 | -430.9848 |

**Table 2.4 - Story Forces (continued)**

| Story | Load Case/Combo | Location | P tonf | VX tonf | VY tonf | T tonf-m | MX tonf-m | MY tonf-m |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Story7 | 1.2D+L+E (LDP) Min | Bottom | 38.9954 | -9.0366 | 0 | 0 | 0 | -495.0532 |
| Story7 | 0.9D+E (LSP) | Top | 24.1016 | -9.3744 | 0 | 0 | 0 | -289.2186 |
| Story7 | 0.9D+E (LSP) | Bottom | 26.4115 | -9.3744 | 0 | 0 | 0 | -345.0615 |
| Story7 | 0.9D+E (LDP) Max | Top | 24.1016 | 9.0359 | 0 | 0 | 0 | -289.2186 |
| Story7 | 0.9D+E (LDP) Max | Bottom | 26.4115 | 9.0366 | 0 | 0 | 0 | -289.8295 |
| Story7 | 0.9D+E (LDP) Min | Top | 24.1016 | -9.0359 | 0 | 0 | 0 | -289.2186 |
| Story7 | 0.9D+E (LDP) Min | Bottom | 26.4115 | -9.0366 | 0 | 0 | 0 | -344.0471 |
| Story7 | Envolvente (Limites de recistencia) Max | Top | 38.1834 | 9.0359 | 0 | 0 | 0 | -289.2186 |
| Story7 | Envolvente (Limites de recistencia) Max | Bottom | 41.2634 | 9.0366 | 0 | 0 | 0 | -289.8295 |
| Story7 | Envolvente (Limites de recistencia) Min | Top | 24.1016 | -9.3744 | 0 | 0 | 0 | -458.2008 |
| Story7 | Envolvente (Limites de recistencia) Min | Bottom | 26.4115 | -9.3744 | 0 | 0 | 0 | -496.0676 |
| Story7 | D+L (servicio) | Top | 30.5595 | 0 | 0 | 0 | 0 | -366.714 |
| Story7 | D+L (servicio) | Bottom | 33.1261 | 0 | 0 | 0 | 0 | -397.5137 |
| Story7 | DStlD1 | Top | 53.559 | 0 | 0 | 0 | 0 | -642.708 |
| Story7 | DStlD1 | Bottom | 58.6923 | 0 | 0 | 0 | 0 | -704.3074 |
| Story7 | DStlD2 | Top | 57.339 | 0 | 0 | 0 | 0 | -688.068 |
| Story7 | DStlD2 | Bottom | 62.4723 | 0 | 0 | 0 | 0 | -749.6674 |
| Story6 | Dead | Top | 5.5279 | 0 | 0 | 0 | 0 | -66.3351 |
| Story6 | Dead | Bottom | 8.0946 | 0 | 0 | 0 | 0 | -97.1348 |
| Story6 | Sobrecarga $_{Dead}$ | Top | 63.89 | 0 | 0 | 0 | 0 | -766.68 |
| Story6 | Sobrecarga $_{Dead}$ | Bottom | 63.89 | 0 | 0 | 0 | 0 | -766.68 |
| Story6 | Carga $_{Permanente}$ | Top | 69.4179 | 0 | 0 | 0 | 0 | -833.0151 |
| Story6 | Carga $_{Permanente}$ | Bottom | 71.9846 | 0 | 0 | 0 | 0 | -863.8148 |
| Story6 | Live | Top | 14.58 | 0 | 0 | 0 | 0 | -174.96 |
| Story6 | Live | Bottom | 14.58 | 0 | 0 | 0 | 0 | -174.96 |
| Story6 | Sismo $_{LSP}$ | Top | 0 | -18.5493 | 0 | 0 | 0 | -28.1232 |
| Story6 | Sismo $_{LSP}$ | Bottom | 0 | -18.5493 | 0 | 0 | 0 | -83.771 |
| Story6 | Sismo $_{LDP}$ Max | Top | 0 | 15.2038 | 0 | 0 | 0 | 27.1088 |
| Story6 | Sismo $_{LDP}$ Max | Bottom | 0 | 15.2042 | 0 | 0 | 0 | 71.3012 |
| Story6 | Carga $_{GRAV}$ Max | Top | 83.6497 | 0 | 0 | 0 | 0 | -1003.7966 |
| Story6 | Carga $_{GRAV}$ Max | Bottom | 86.473 | 0 | 0 | 0 | 0 | -1037.6763 |
| Story6 | Carga $_{GRAV}$ Min | Top | 83.6497 | 0 | 0 | 0 | 0 | -1003.7966 |
| Story6 | Carga $_{GRAV}$ Min | Bottom | 86.473 | 0 | 0 | 0 | 0 | -1037.6763 |
| Story6 | LATERAL | Top | 0 | -8.928 | 0 | 0 | 0 | -15.918 |
| Story6 | LATERAL | Bottom | 0 | -8.928 | 0 | 0 | 0 | -42.702 |
| Story6 | PUSH-OVER $_{MODO1}$ Max | Top | 83.6497 | 130.8277 | 0 | 0 | 0 | -813.6519 |
| Story6 | PUSH-OVER $_{MODO1}$ Max | Bottom | 86.473 | 130.833 | 0 | 0 | 0 | -455.0371 |
| Story6 | PUSH-OVER $_{MODO1}$ Min | Top | 83.6497 | 0 | 0 | 0 | 0 | -1003.7966 |
| Story6 | PUSH-OVER $_{MODO1}$ Min | Bottom | 86.473 | 0 | 0 | 0 | 0 | -1037.6763 |
| Story6 | PUSH-OVER $_{FUERZAS}$ Max | Top | 83.6497 | 0 | 0 | 0 | 0 | -1003.7966 |
| Story6 | PUSH-OVER $_{FUERZAS}$ Max | Bottom | 86.473 | 0 | 0 | 0 | 0 | -1037.6763 |
| Story6 | PUSH-OVER $_{FUERZAS}$ Min | Top | 83.6497 | -145.7567 | 0 | 0 | 0 | -1264.2931 |
| Story6 | PUSH-OVER $_{FUERZAS}$ Min | Bottom | 86.473 | -145.7567 | 0 | 0 | 0 | -1735.4003 |
| Story6 | 1.4D | Top | 97.1851 | 0 | 0 | 0 | 0 | -1166.2212 |
| Story6 | 1.4D | Bottom | 100.7784 | 0 | 0 | 0 | 0 | -1209.3407 |
| Story6 | 1.2D+1.6L | Top | 106.6295 | 0 | 0 | 0 | 0 | -1279.5542 |
| Story6 | 1.2D+1.6L | Bottom | 109.7095 | 0 | 0 | 0 | 0 | -1316.5137 |
| Story6 | 1.2D+L+E (LSP) | Top | 97.8815 | -18.5493 | 0 | 0 | 0 | -1202.7014 |
| Story6 | 1.2D+L+E (LSP) | Bottom | 100.9615 | -18.5493 | 0 | 0 | 0 | -1295.3088 |

**Table 2.4 - Story Forces (continued)**

| Story | Load Case/Combo | Location | P tonf | VX tonf | VY tonf | T tonf-m | MX tonf-m | MY tonf-m |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Story6 | 1.2D+L+E (LDP) Max | Top | 97.8815 | 15.2038 | 0 | 0 | 0 | -1147.4694 |
| Story6 | 1.2D+L+E (LDP) Max | Bottom | 100.9615 | 15.2042 | 0 | 0 | 0 | -1140.2366 |
| Story6 | 1.2D+L+E (LDP) Min | Top | 97.8815 | -15.2038 | 0 | 0 | 0 | -1201.6869 |
| Story6 | 1.2D+L+E (LDP) Min | Bottom | 100.9615 | -15.2042 | 0 | 0 | 0 | -1282.8389 |
| Story6 | 0.9D+E (LSP) | Top | 62.4761 | -18.5493 | 0 | 0 | 0 | -777.8368 |
| Story6 | 0.9D+E (LSP) | Bottom | 64.7861 | -18.5493 | 0 | 0 | 0 | -861.2043 |
| Story6 | 0.9D+E (LDP) Max | Top | 62.4761 | 15.2038 | 0 | 0 | 0 | -722.6048 |
| Story6 | 0.9D+E (LDP) Max | Bottom | 64.7861 | 15.2042 | 0 | 0 | 0 | -706.1321 |
| Story6 | 0.9D+E (LDP) Min | Top | 62.4761 | -15.2038 | 0 | 0 | 0 | -776.8224 |
| Story6 | 0.9D+E (LDP) Min | Bottom | 64.7861 | -15.2042 | 0 | 0 | 0 | -848.7345 |
| Story6 | Envolvente (Limites de recistencia) Max | Top | 106.6295 | 15.2038 | 0 | 0 | 0 | -722.6048 |
| Story6 | Envolvente (Limites de recistencia) Max | Bottom | 109.7095 | 15.2042 | 0 | 0 | 0 | -706.1321 |
| Story6 | Envolvente (Limites de recistencia) Min | Top | 62.4761 | -18.5493 | 0 | 0 | 0 | -1279.5542 |
| Story6 | Envolvente (Limites de recistencia) Min | Bottom | 64.7861 | -18.5493 | 0 | 0 | 0 | -1316.5137 |
| Story6 | D+L (servicio) | Top | 83.9979 | 0 | 0 | 0 | 0 | -1007.9751 |
| Story6 | D+L (servicio) | Bottom | 86.5646 | 0 | 0 | 0 | 0 | -1038.7748 |
| Story6 | DStlD1 | Top | 138.8359 | 0 | 0 | 0 | 0 | -1666.0303 |
| Story6 | DStlD1 | Bottom | 143.9691 | 0 | 0 | 0 | 0 | -1727.6296 |
| Story6 | DStlD2 | Top | 153.4159 | 0 | 0 | 0 | 0 | -1840.9903 |
| Story6 | DStlD2 | Bottom | 158.5491 | 0 | 0 | 0 | 0 | -1902.5896 |
| Story5 | Dead | Top | 9.6864 | 0 | 0 | 0 | 0 | -116.2362 |
| Story5 | Dead | Bottom | 12.253 | 0 | 0 | 0 | 0 | -147.0359 |
| Story5 | Sobrecarga $_{Dead}$ | Top | 102.37 | 0 | 0 | 0 | 0 | -1228.44 |
| Story5 | Sobrecarga $_{Dead}$ | Bottom | 102.37 | 0 | 0 | 0 | 0 | -1228.44 |
| Story5 | Carga $_{Permanente}$ | Top | 112.0564 | 0 | 0 | 0 | 0 | -1344.6762 |
| Story5 | Carga $_{Permanente}$ | Bottom | 114.623 | 0 | 0 | 0 | 0 | -1375.4759 |
| Story5 | Live | Top | 25.38 | 0 | 0 | 0 | 0 | -304.56 |
| Story5 | Live | Bottom | 25.38 | 0 | 0 | 0 | 0 | -304.56 |
| Story5 | Sismo $_{LSP}$ | Top | 0 | -25.8012 | 0 | 0 | 0 | -83.771 |
| Story5 | Sismo $_{LSP}$ | Bottom | 0 | -25.8012 | 0 | 0 | 0 | -161.1748 |
| Story5 | Sismo $_{LDP}$ Max | Top | 0 | 19.2595 | 0 | 0 | 0 | 71.3012 |
| Story5 | Sismo $_{LDP}$ Max | Bottom | 0 | 19.2598 | 0 | 0 | 0 | 125.8445 |
| Story5 | Carga $_{GRAV}$ Max | Top | 135.952 | 0 | 0 | 0 | 0 | -1631.4239 |
| Story5 | Carga $_{GRAV}$ Max | Bottom | 138.7753 | 0 | 0 | 0 | 0 | -1665.3035 |
| Story5 | Carga $_{GRAV}$ Min | Top | 135.952 | 0 | 0 | 0 | 0 | -1631.4239 |
| Story5 | Carga $_{GRAV}$ Min | Bottom | 138.7753 | 0 | 0 | 0 | 0 | -1665.3035 |
| Story5 | LATERAL | Top | 0 | -11.31 | 0 | 0 | 0 | -42.702 |
| Story5 | LATERAL | Bottom | 0 | -11.31 | 0 | 0 | 0 | -76.632 |
| Story5 | PUSH-OVER $_{MODO1}$ Max | Top | 135.952 | 187.0399 | 0 | 0 | 0 | -1048.7905 |
| Story5 | PUSH-OVER $_{MODO1}$ Max | Bottom | 138.7753 | 187.0442 | 0 | 0 | 0 | -521.5327 |
| Story5 | PUSH-OVER $_{MODO1}$ Min | Top | 135.952 | 0 | 0 | 0 | 0 | -1631.4239 |
| Story5 | PUSH-OVER $_{MODO1}$ Min | Bottom | 138.7753 | 0 | 0 | 0 | 0 | -1665.3035 |
| Story5 | PUSH-OVER $_{FUERZAS}$ Max | Top | 135.952 | 0 | 0 | 0 | 0 | -1631.4239 |
| Story5 | PUSH-OVER $_{FUERZAS}$ Max | Bottom | 138.7753 | 0 | 0 | 0 | 0 | -1665.3035 |
| Story5 | PUSH-OVER $_{FUERZAS}$ Min | Top | 135.952 | -184.6448 | 0 | 0 | 0 | -2329.3044 |
| Story5 | PUSH-OVER $_{FUERZAS}$ Min | Bottom | 138.7753 | -184.6447 | 0 | 0 | 0 | -2917.0796 |
| Story5 | 1.4D | Top | 156.8789 | 0 | 0 | 0 | 0 | -1882.5467 |
| Story5 | 1.4D | Bottom | 160.4722 | 0 | 0 | 0 | 0 | -1925.6663 |
| Story5 | 1.2D+1.6L | Top | 175.0756 | 0 | 0 | 0 | 0 | -2100.9075 |

**Table 2.4 - Story Forces (continued)**

| Story | Load Case/Combo | Location | P tonf | VX tonf | VY tonf | T tonf-m | MX tonf-m | MY tonf-m |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Story5 | 1.2D+1.6L | Bottom | 178.1556 | 0 | 0 | 0 | 0 | -2137.8671 |
| Story5 | 1.2D+L+E (LSP) | Top | 159.8476 | -25.8012 | 0 | 0 | 0 | -2001.9425 |
| Story5 | 1.2D+L+E (LSP) | Bottom | 162.9276 | -25.8012 | 0 | 0 | 0 | -2116.3058 |
| Story5 | 1.2D+L+E (LDP) Max | Top | 159.8476 | 19.2595 | 0 | 0 | 0 | -1846.8703 |
| Story5 | 1.2D+L+E (LDP) Max | Bottom | 162.9276 | 19.2598 | 0 | 0 | 0 | -1829.2865 |
| Story5 | 1.2D+L+E (LDP) Min | Top | 159.8476 | -19.2595 | 0 | 0 | 0 | -1989.4727 |
| Story5 | 1.2D+L+E (LDP) Min | Bottom | 162.9276 | -19.2598 | 0 | 0 | 0 | -2080.9756 |
| Story5 | 0.9D+E (LSP) | Top | 100.8507 | -25.8012 | 0 | 0 | 0 | -1293.9796 |
| Story5 | 0.9D+E (LSP) | Bottom | 103.1607 | -25.8012 | 0 | 0 | 0 | -1399.1031 |
| Story5 | 0.9D+E (LDP) Max | Top | 100.8507 | 19.2595 | 0 | 0 | 0 | -1138.9074 |
| Story5 | 0.9D+E (LDP) Max | Bottom | 103.1607 | 19.2598 | 0 | 0 | 0 | -1112.0838 |
| Story5 | 0.9D+E (LDP) Min | Top | 100.8507 | -19.2595 | 0 | 0 | 0 | -1281.5098 |
| Story5 | 0.9D+E (LDP) Min | Bottom | 103.1607 | -19.2598 | 0 | 0 | 0 | -1363.7728 |
| Story5 | Envolvente (Limites de recistencia) Max | Top | 175.0756 | 19.2595 | 0 | 0 | 0 | -1138.9074 |
| Story5 | Envolvente (Limites de recistencia) Max | Bottom | 178.1556 | 19.2598 | 0 | 0 | 0 | -1112.0838 |
| Story5 | Envolvente (Limites de recistencia) Min | Top | 100.8507 | -25.8012 | 0 | 0 | 0 | -2100.9075 |
| Story5 | Envolvente (Limites de recistencia) Min | Bottom | 103.1607 | -25.8012 | 0 | 0 | 0 | -2137.8671 |
| Story5 | D+L (servicio) | Top | 137.4364 | 0 | 0 | 0 | 0 | -1649.2362 |
| Story5 | D+L (servicio) | Bottom | 140.003 | 0 | 0 | 0 | 0 | -1680.0359 |
| Story5 | DStlD1 | Top | 224.1127 | 0 | 0 | 0 | 0 | -2689.3525 |
| Story5 | DStlD1 | Bottom | 229.246 | 0 | 0 | 0 | 0 | -2750.9518 |
| Story5 | DStlD2 | Top | 249.4927 | 0 | 0 | 0 | 0 | -2993.9125 |
| Story5 | DStlD2 | Bottom | 254.626 | 0 | 0 | 0 | 0 | -3055.5118 |
| Story4 | Dead | Top | 15.0221 | 0 | 0 | 0 | 0 | -180.2656 |
| Story4 | Dead | Bottom | 17.836 | 0 | 0 | 0 | 0 | -214.0322 |
| Story4 | Sobrecarga $_{Dead}$ | Top | 140.85 | 0 | 0 | 0 | 0 | -1690.2 |
| Story4 | Sobrecarga $_{Dead}$ | Bottom | 140.85 | 0 | 0 | 0 | 0 | -1690.2 |
| Story4 | Carga $_{Permanente}$ | Top | 155.8721 | 0 | 0 | 0 | 0 | -1870.4656 |
| Story4 | Carga $_{Permanente}$ | Bottom | 158.686 | 0 | 0 | 0 | 0 | -1904.2322 |
| Story4 | Live | Top | 36.18 | 0 | 0 | 0 | 0 | -434.16 |
| Story4 | Live | Bottom | 36.18 | 0 | 0 | 0 | 0 | -434.16 |
| Story4 | Sismo $_{LSP}$ | Top | 0 | -31.3115 | 0 | 0 | 0 | -161.1748 |
| Story4 | Sismo $_{LSP}$ | Bottom | 0 | -31.3115 | 0 | 0 | 0 | -255.1092 |
| Story4 | Sismo $_{LDP}$ Max | Top | 0 | 22.5827 | 0 | 0 | 0 | 125.8445 |
| Story4 | Sismo $_{LDP}$ Max | Bottom | 0 | 22.583 | 0 | 0 | 0 | 187.8918 |
| Story4 | Carga $_{GRAV}$ Max | Top | 189.5493 | 0 | 0 | 0 | 0 | -2274.5922 |
| Story4 | Carga $_{GRAV}$ Max | Bottom | 192.6446 | 0 | 0 | 0 | 0 | -2311.7354 |
| Story4 | Carga $_{GRAV}$ Min | Top | 189.5493 | 0 | 0 | 0 | 0 | -2274.5922 |
| Story4 | Carga $_{GRAV}$ Min | Bottom | 192.6446 | 0 | 0 | 0 | 0 | -2311.7354 |
| Story4 | LATERAL | Top | 0 | -13.261 | 0 | 0 | 0 | -76.632 |
| Story4 | LATERAL | Bottom | 0 | -13.261 | 0 | 0 | 0 | -116.415 |
| Story4 | PUSH-OVER $_{MODO1}$ Max | Top | 189.5493 | 231.3015 | 0 | 0 | 0 | -1130.8224 |
| Story4 | PUSH-OVER $_{MODO1}$ Max | Bottom | 192.6446 | 231.3053 | 0 | 0 | 0 | -474.0382 |
| Story4 | PUSH-OVER $_{MODO1}$ Min | Top | 189.5493 | 0 | 0 | 0 | 0 | -2274.5922 |
| Story4 | PUSH-OVER $_{MODO1}$ Min | Bottom | 192.6446 | 0 | 0 | 0 | 0 | -2311.7354 |
| Story4 | PUSH-OVER $_{FUERZAS}$ Max | Top | 189.5493 | 0 | 0 | 0 | 0 | -2274.5922 |
| Story4 | PUSH-OVER $_{FUERZAS}$ Max | Bottom | 192.6446 | 0 | 0 | 0 | 0 | -2311.7354 |
| Story4 | PUSH-OVER $_{FUERZAS}$ Min | Top | 189.5493 | -216.4964 | 0 | 0 | 0 | -3526.5004 |
| Story4 | PUSH-OVER $_{FUERZAS}$ Min | Bottom | 192.6446 | -216.4964 | 0 | 0 | 0 | -4213.1386 |

**Table 2.4 - Story Forces (continued)**

| Story | Load Case/Combo | Location | P tonf | VX tonf | VY tonf | T tonf-m | MX tonf-m | MY tonf-m |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Story4 | 1.4D | Top | 218.221 | 0 | 0 | 0 | 0 | -2618.6519 |
| Story4 | 1.4D | Bottom | 222.1604 | 0 | 0 | 0 | 0 | -2665.9251 |
| Story4 | 1.2D+1.6L | Top | 244.9346 | 0 | 0 | 0 | 0 | -2939.2147 |
| Story4 | 1.2D+1.6L | Bottom | 248.3112 | 0 | 0 | 0 | 0 | -2979.7347 |
| Story4 | 1.2D+L+E (LSP) | Top | 223.2266 | -31.3115 | 0 | 0 | 0 | -2839.8935 |
| Story4 | 1.2D+L+E (LSP) | Bottom | 226.6032 | -31.3115 | 0 | 0 | 0 | -2974.3479 |
| Story4 | 1.2D+L+E (LDP) Max | Top | 223.2266 | 22.5827 | 0 | 0 | 0 | -2552.8742 |
| Story4 | 1.2D+L+E (LDP) Max | Bottom | 226.6032 | 22.583 | 0 | 0 | 0 | -2531.3469 |
| Story4 | 1.2D+L+E (LDP) Min | Top | 223.2266 | -22.5827 | 0 | 0 | 0 | -2804.5633 |
| Story4 | 1.2D+L+E (LDP) Min | Bottom | 226.6032 | -22.583 | 0 | 0 | 0 | -2907.1304 |
| Story4 | 0.9D+E (LSP) | Top | 140.2849 | -31.3115 | 0 | 0 | 0 | -1844.5938 |
| Story4 | 0.9D+E (LSP) | Bottom | 142.8174 | -31.3115 | 0 | 0 | 0 | -1968.9182 |
| Story4 | 0.9D+E (LDP) Max | Top | 140.2849 | 22.5827 | 0 | 0 | 0 | -1557.5745 |
| Story4 | 0.9D+E (LDP) Max | Bottom | 142.8174 | 22.583 | 0 | 0 | 0 | -1525.9172 |
| Story4 | 0.9D+E (LDP) Min | Top | 140.2849 | -22.5827 | 0 | 0 | 0 | -1809.2636 |
| Story4 | 0.9D+E (LDP) Min | Bottom | 142.8174 | -22.583 | 0 | 0 | 0 | -1901.7008 |
| Story4 | Envolvente (Limites de recistencia) Max | Top | 244.9346 | 22.5827 | 0 | 0 | 0 | -1557.5745 |
| Story4 | Envolvente (Limites de recistencia) Max | Bottom | 248.3112 | 22.583 | 0 | 0 | 0 | -1525.9172 |
| Story4 | Envolvente (Limites de recistencia) Min | Top | 140.2849 | -31.3115 | 0 | 0 | 0 | -2939.2147 |
| Story4 | Envolvente (Limites de recistencia) Min | Bottom | 142.8174 | -31.3115 | 0 | 0 | 0 | -2979.7347 |
| Story4 | D+L (servicio) | Top | 192.0521 | 0 | 0 | 0 | 0 | -2304.6256 |
| Story4 | D+L (servicio) | Bottom | 194.866 | 0 | 0 | 0 | 0 | -2338.3922 |
| Story4 | DStlD1 | Top | 311.7443 | 0 | 0 | 0 | 0 | -3740.9312 |
| Story4 | DStlD1 | Bottom | 317.372 | 0 | 0 | 0 | 0 | -3808.4644 |
| Story4 | DStlD2 | Top | 347.9243 | 0 | 0 | 0 | 0 | -4175.0912 |
| Story4 | DStlD2 | Bottom | 353.552 | 0 | 0 | 0 | 0 | -4242.6244 |
| Story3 | Dead | Top | 20.6052 | 0 | 0 | 0 | 0 | -247.262 |
| Story3 | Dead | Bottom | 23.419 | 0 | 0 | 0 | 0 | -281.0286 |
| Story3 | Sobrecarga $_{Dead}$ | Top | 179.33 | 0 | 0 | 0 | 0 | -2151.96 |
| Story3 | Sobrecarga $_{Dead}$ | Bottom | 179.33 | 0 | 0 | 0 | 0 | -2151.96 |
| Story3 | Carga $_{Permanente}$ | Top | 199.9352 | 0 | 0 | 0 | 0 | -2399.222 |
| Story3 | Carga $_{Permanente}$ | Bottom | 202.749 | 0 | 0 | 0 | 0 | -2432.9886 |
| Story3 | Live | Top | 46.98 | 0 | 0 | 0 | 0 | -563.76 |
| Story3 | Live | Bottom | 46.98 | 0 | 0 | 0 | 0 | -563.76 |
| Story3 | Sismo $_{LSP}$ | Top | 0 | -35.1186 | 0 | 0 | 0 | -255.1092 |
| Story3 | Sismo $_{LSP}$ | Bottom | 0 | -35.1186 | 0 | 0 | 0 | -360.4649 |
| Story3 | Sismo $_{LDP}$ Max | Top | 0 | 25.8516 | 0 | 0 | 0 | 187.8918 |
| Story3 | Sismo $_{LDP}$ Max | Bottom | 0 | 25.8519 | 0 | 0 | 0 | 257.4496 |
| Story3 | Carga $_{GRAV}$ Max | Top | 243.4187 | 0 | 0 | 0 | 0 | -2921.0241 |
| Story3 | Carga $_{GRAV}$ Max | Bottom | 246.514 | 0 | 0 | 0 | 0 | -2958.1674 |
| Story3 | Carga $_{GRAV}$ Min | Top | 243.4187 | 0 | 0 | 0 | 0 | -2921.0241 |
| Story3 | Carga $_{GRAV}$ Min | Bottom | 246.514 | 0 | 0 | 0 | 0 | -2958.1674 |
| Story3 | LATERAL | Top | 0 | -15.181 | 0 | 0 | 0 | -116.415 |
| Story3 | LATERAL | Bottom | 0 | -15.181 | 0 | 0 | 0 | -161.958 |
| Story3 | PUSH-OVER $_{MODO1}$ Max | Top | 243.4187 | 263.5551 | 0 | 0 | 0 | -1083.3372 |
| Story3 | PUSH-OVER $_{MODO1}$ Max | Bottom | 246.514 | 263.5578 | 0 | 0 | 0 | -329.7812 |
| Story3 | PUSH-OVER $_{MODO1}$ Min | Top | 243.4187 | 0 | 0 | 0 | 0 | -2921.0241 |
| Story3 | PUSH-OVER $_{MODO1}$ Min | Bottom | 246.514 | 0 | 0 | 0 | 0 | -2958.1674 |
| Story3 | PUSH-OVER $_{FUERZAS}$ Max | Top | 243.4187 | 0 | 0 | 0 | 0 | -2921.0241 |

**Table 2.4 - Story Forces (continued)**

| Story | Load Case/Combo | Location | P tonf | VX tonf | VY tonf | T tonf-m | MX tonf-m | MY tonf-m |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Story3 | PUSH-OVER $_{FUERZAS}$ Max | Bottom | 246.514 | 0 | 0 | 0 | 0 | -2958.1674 |
| Story3 | PUSH-OVER $_{FUERZAS}$ Min | Top | 243.4187 | -247.842 | 0 | 0 | 0 | -4822.5187 |
| Story3 | PUSH-OVER $_{FUERZAS}$ Min | Bottom | 246.514 | -247.8419 | 0 | 0 | 0 | -5603.2026 |
| Story3 | 1.4D | Top | 279.9092 | 0 | 0 | 0 | 0 | -3358.9107 |
| Story3 | 1.4D | Bottom | 283.8487 | 0 | 0 | 0 | 0 | -3406.184 |
| Story3 | 1.2D+1.6L | Top | 315.0902 | 0 | 0 | 0 | 0 | -3781.0823 |
| Story3 | 1.2D+1.6L | Bottom | 318.4669 | 0 | 0 | 0 | 0 | -3821.6023 |
| Story3 | 1.2D+L+E (LSP) | Top | 286.9022 | -35.1186 | 0 | 0 | 0 | -3697.9356 |
| Story3 | 1.2D+L+E (LSP) | Bottom | 290.2789 | -35.1186 | 0 | 0 | 0 | -3843.8112 |
| Story3 | 1.2D+L+E (LDP) Max | Top | 286.9022 | 25.8516 | 0 | 0 | 0 | -3254.9346 |
| Story3 | 1.2D+L+E (LDP) Max | Bottom | 290.2789 | 25.8519 | 0 | 0 | 0 | -3225.8967 |
| Story3 | 1.2D+L+E (LDP) Min | Top | 286.9022 | -25.8516 | 0 | 0 | 0 | -3630.7181 |
| Story3 | 1.2D+L+E (LDP) Min | Bottom | 290.2789 | -25.8519 | 0 | 0 | 0 | -3740.7959 |
| Story3 | 0.9D+E (LSP) | Top | 179.9416 | -35.1186 | 0 | 0 | 0 | -2414.409 |
| Story3 | 0.9D+E (LSP) | Bottom | 182.4741 | -35.1186 | 0 | 0 | 0 | -2550.1546 |
| Story3 | 0.9D+E (LDP) Max | Top | 179.9416 | 25.8516 | 0 | 0 | 0 | -1971.408 |
| Story3 | 0.9D+E (LDP) Max | Bottom | 182.4741 | 25.8519 | 0 | 0 | 0 | -1932.2401 |
| Story3 | 0.9D+E (LDP) Min | Top | 179.9416 | -25.8516 | 0 | 0 | 0 | -2347.1915 |
| Story3 | 0.9D+E (LDP) Min | Bottom | 182.4741 | -25.8519 | 0 | 0 | 0 | -2447.1393 |
| Story3 | Envolvente (Limites de recistencia) Max | Top | 315.0902 | 25.8516 | 0 | 0 | 0 | -1971.408 |
| Story3 | Envolvente (Limites de recistencia) Max | Bottom | 318.4669 | 25.8519 | 0 | 0 | 0 | -1932.2401 |
| Story3 | Envolvente (Limites de recistencia) Min | Top | 179.9416 | -35.1186 | 0 | 0 | 0 | -3781.0823 |
| Story3 | Envolvente (Limites de recistencia) Min | Bottom | 182.4741 | -35.1186 | 0 | 0 | 0 | -3843.8112 |
| Story3 | D+L (servicio) | Top | 246.9152 | 0 | 0 | 0 | 0 | -2962.982 |
| Story3 | D+L (servicio) | Bottom | 249.729 | 0 | 0 | 0 | 0 | -2996.7486 |
| Story3 | DStlD1 | Top | 399.8703 | 0 | 0 | 0 | 0 | -4798.4439 |
| Story3 | DStlD1 | Bottom | 405.4981 | 0 | 0 | 0 | 0 | -4865.9771 |
| Story3 | DStlD2 | Top | 446.8503 | 0 | 0 | 0 | 0 | -5362.2039 |
| Story3 | DStlD2 | Bottom | 452.4781 | 0 | 0 | 0 | 0 | -5429.7371 |
| Story2 | Dead | Top | 26.1882 | 0 | 0 | 0 | 0 | -314.2583 |
| Story2 | Dead | Bottom | 29.0021 | 0 | 0 | 0 | 0 | -348.0249 |
| Story2 | Sobrecarga $_{Dead}$ | Top | 217.81 | 0 | 0 | 0 | 0 | -2613.72 |
| Story2 | Sobrecarga $_{Dead}$ | Bottom | 217.81 | 0 | 0 | 0 | 0 | -2613.72 |
| Story2 | Carga $_{Permanente}$ | Top | 243.9982 | 0 | 0 | 0 | 0 | -2927.9783 |
| Story2 | Carga $_{Permanente}$ | Bottom | 246.8121 | 0 | 0 | 0 | 0 | -2961.7449 |
| Story2 | Live | Top | 57.78 | 0 | 0 | 0 | 0 | -693.36 |
| Story2 | Live | Bottom | 57.78 | 0 | 0 | 0 | 0 | -693.36 |
| Story2 | Sismo $_{LSP}$ | Top | 0 | -37.375 | 0 | 0 | 0 | -360.4649 |
| Story2 | Sismo $_{LSP}$ | Bottom | 0 | -37.375 | 0 | 0 | 0 | -472.59 |
| Story2 | Sismo $_{LDP}$ Max | Top | 0 | 28.7281 | 0 | 0 | 0 | 257.4496 |
| Story2 | Sismo $_{LDP}$ Max | Bottom | 0 | 28.7283 | 0 | 0 | 0 | 334.4213 |
| Story2 | Carga $_{GRAV}$ Max | Top | 297.288 | 0 | 0 | 0 | 0 | -3567.4561 |
| Story2 | Carga $_{GRAV}$ Max | Bottom | 300.3833 | 0 | 0 | 0 | 0 | -3604.5994 |
| Story2 | Carga $_{GRAV}$ Min | Top | 297.288 | 0 | 0 | 0 | 0 | -3567.4561 |
| Story2 | Carga $_{GRAV}$ Min | Bottom | 300.3833 | 0 | 0 | 0 | 0 | -3604.5994 |
| Story2 | LATERAL | Top | 0 | -16.87 | 0 | 0 | 0 | -161.958 |
| Story2 | LATERAL | Bottom | 0 | -16.87 | 0 | 0 | 0 | -212.568 |
| Story2 | PUSH-OVER $_{MODO1}$ Max | Top | 297.288 | 283.0785 | 0 | 0 | 0 | -939.071 |
| Story2 | PUSH-OVER $_{MODO1}$ Max | Bottom | 300.3833 | 283.0804 | 0 | 0 | 0 | -126.9681 |

**Table 2.4 - Story Forces (continued)**

| Story | Load Case/Combo | Location | P tonf | VX tonf | VY tonf | T tonf-m | MX tonf-m | MY tonf-m |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Story2 | PUSH-OVER $_{MODO1}$ Min | Top | 297.288 | 0 | 0 | 0 | 0 | -3567.4561 |
| Story2 | PUSH-OVER $_{MODO1}$ Min | Bottom | 300.3833 | 0 | 0 | 0 | 0 | -3604.5994 |
| Story2 | PUSH-OVER $_{FUERZAS}$ Max | Top | 297.288 | 0 | 0 | 0 | 0 | -3567.4561 |
| Story2 | PUSH-OVER $_{FUERZAS}$ Max | Bottom | 300.3833 | 0 | 0 | 0 | 0 | -3604.5994 |
| Story2 | PUSH-OVER $_{FUERZAS}$ Min | Top | 297.288 | -275.4162 | 0 | 0 | 0 | -6212.5576 |
| Story2 | PUSH-OVER $_{FUERZAS}$ Min | Bottom | 300.3833 | -275.4161 | 0 | 0 | 0 | -7075.894 |
| Story2 | 1.4D | Top | 341.5975 | 0 | 0 | 0 | 0 | -4099.1696 |
| Story2 | 1.4D | Bottom | 345.5369 | 0 | 0 | 0 | 0 | -4146.4428 |
| Story2 | 1.2D+1.6L | Top | 385.2458 | 0 | 0 | 0 | 0 | -4622.9499 |
| Story2 | 1.2D+1.6L | Bottom | 388.6225 | 0 | 0 | 0 | 0 | -4663.4699 |
| Story2 | 1.2D+L+E (LSP) | Top | 350.5778 | -37.375 | 0 | 0 | 0 | -4567.3988 |
| Story2 | 1.2D+L+E (LSP) | Bottom | 353.9545 | -37.375 | 0 | 0 | 0 | -4720.0439 |
| Story2 | 1.2D+L+E (LDP) Max | Top | 350.5778 | 28.7281 | 0 | 0 | 0 | -3949.4844 |
| Story2 | 1.2D+L+E (LDP) Max | Bottom | 353.9545 | 28.7283 | 0 | 0 | 0 | -3913.0326 |
| Story2 | 1.2D+L+E (LDP) Min | Top | 350.5778 | -28.7281 | 0 | 0 | 0 | -4464.3835 |
| Story2 | 1.2D+L+E (LDP) Min | Bottom | 353.9545 | -28.7283 | 0 | 0 | 0 | -4581.8751 |
| Story2 | 0.9D+E (LSP) | Top | 219.5984 | -37.375 | 0 | 0 | 0 | -2995.6454 |
| Story2 | 0.9D+E (LSP) | Bottom | 222.1309 | -37.375 | 0 | 0 | 0 | -3138.1604 |
| Story2 | 0.9D+E (LDP) Max | Top | 219.5984 | 28.7281 | 0 | 0 | 0 | -2377.7309 |
| Story2 | 0.9D+E (LDP) Max | Bottom | 222.1309 | 28.7283 | 0 | 0 | 0 | -2331.1491 |
| Story2 | 0.9D+E (LDP) Min | Top | 219.5984 | -28.7281 | 0 | 0 | 0 | -2892.63 |
| Story2 | 0.9D+E (LDP) Min | Bottom | 222.1309 | -28.7283 | 0 | 0 | 0 | -2999.9917 |
| Story2 | Envolvente (Limites de recistencia) Max | Top | 385.2458 | 28.7281 | 0 | 0 | 0 | -2377.7309 |
| Story2 | Envolvente (Limites de recistencia) Max | Bottom | 388.6225 | 28.7283 | 0 | 0 | 0 | -2331.1491 |
| Story2 | Envolvente (Limites de recistencia) Min | Top | 219.5984 | -37.375 | 0 | 0 | 0 | -4622.9499 |
| Story2 | Envolvente (Limites de recistencia) Min | Bottom | 222.1309 | -37.375 | 0 | 0 | 0 | -4720.0439 |
| Story2 | D+L (servicio) | Top | 301.7782 | 0 | 0 | 0 | 0 | -3621.3383 |
| Story2 | D+L (servicio) | Bottom | 304.5921 | 0 | 0 | 0 | 0 | -3655.1049 |
| Story2 | DStlD1 | Top | 487.9964 | 0 | 0 | 0 | 0 | -5855.9566 |
| Story2 | DStlD1 | Bottom | 493.6241 | 0 | 0 | 0 | 0 | -5923.4898 |
| Story2 | DStlD2 | Top | 545.7764 | 0 | 0 | 0 | 0 | -6549.3166 |
| Story2 | DStlD2 | Bottom | 551.4041 | 0 | 0 | 0 | 0 | -6616.8498 |
| Story1 | Dead | Top | 31.7712 | 0 | 0 | 0 | 0 | -381.2546 |
| Story1 | Dead | Bottom | 34.5851 | 0 | 0 | 0 | 0 | -415.0212 |
| Story1 | Sobrecarga $_{Dead}$ | Top | 256.29 | 0 | 0 | 0 | 0 | -3075.48 |
| Story1 | Sobrecarga $_{Dead}$ | Bottom | 256.29 | 0 | 0 | 0 | 0 | -3075.48 |
| Story1 | Carga $_{Permanente}$ | Top | 288.0612 | 0 | 0 | 0 | 0 | -3456.7346 |
| Story1 | Carga $_{Permanente}$ | Bottom | 290.8751 | 0 | 0 | 0 | 0 | -3490.5012 |
| Story1 | Live | Top | 68.58 | 0 | 0 | 0 | 0 | -822.96 |
| Story1 | Live | Bottom | 68.58 | 0 | 0 | 0 | 0 | -822.96 |
| Story1 | Sismo $_{LSP}$ | Top | 0 | -38.2978 | 0 | 0 | 0 | -472.59 |
| Story1 | Sismo $_{LSP}$ | Bottom | 0 | -38.2978 | 0 | 0 | 0 | -587.4836 |
| Story1 | Sismo $_{LDP}$ Max | Top | 0 | 30.431 | 0 | 0 | 0 | 334.4213 |
| Story1 | Sismo $_{LDP}$ Max | Bottom | 0 | 30.4311 | 0 | 0 | 0 | 417.2592 |
| Story1 | Carga $_{GRAV}$ Max | Top | 351.1573 | 0 | 0 | 0 | 0 | -4213.8881 |
| Story1 | Carga $_{GRAV}$ Max | Bottom | 354.2526 | 0 | 0 | 0 | 0 | -4251.0313 |
| Story1 | Carga $_{GRAV}$ Min | Top | 351.1573 | 0 | 0 | 0 | 0 | -4213.8881 |
| Story1 | Carga $_{GRAV}$ Min | Bottom | 354.2526 | 0 | 0 | 0 | 0 | -4251.0313 |
| Story1 | LATERAL | Top | 0 | -17.87 | 0 | 0 | 0 | -212.568 |

**Table 2.4 - Story Forces (continued)**

| Story | Load Case/Combo | Location | P tonf | VX tonf | VY tonf | T tonf-m | MX tonf-m | MY tonf-m |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Story1 | LATERAL | Bottom | 0 | -17.87 | 0 | 0 | 0 | -266.178 |
| Story1 | PUSH-OVER $_{MODO1}$ Max | Top | 351.1573 | 290.4324 | 0 | 0 | 0 | -736.2662 |
| Story1 | PUSH-OVER $_{MODO1}$ Max | Bottom | 354.2526 | 290.4323 | 0 | 0 | 0 | 97.9612 |
| Story1 | PUSH-OVER $_{MODO1}$ Min | Top | 351.1573 | 0 | 0 | 0 | 0 | -4213.8881 |
| Story1 | PUSH-OVER $_{MODO1}$ Min | Bottom | 354.2526 | 0 | 0 | 0 | 0 | -4251.0313 |
| Story1 | PUSH-OVER $_{FUERZAS}$ Max | Top | 351.1573 | 0 | 0 | 0 | 0 | -4213.8881 |
| Story1 | PUSH-OVER $_{FUERZAS}$ Max | Bottom | 354.2526 | 0 | 0 | 0 | 0 | -4251.0313 |
| Story1 | PUSH-OVER $_{FUERZAS}$ Min | Top | 351.1573 | -291.742 | 0 | 0 | 0 | -7685.1957 |
| Story1 | PUSH-OVER $_{FUERZAS}$ Min | Bottom | 354.2526 | -291.7421 | 0 | 0 | 0 | -8597.5317 |
| Story1 | 1.4D | Top | 403.2857 | 0 | 0 | 0 | 0 | -4839.4285 |
| Story1 | 1.4D | Bottom | 407.2251 | 0 | 0 | 0 | 0 | -4886.7017 |
| Story1 | 1.2D+1.6L | Top | 455.4015 | 0 | 0 | 0 | 0 | -5464.8175 |
| Story1 | 1.2D+1.6L | Bottom | 458.7781 | 0 | 0 | 0 | 0 | -5505.3375 |
| Story1 | 1.2D+L+E (LSP) | Top | 414.2535 | -38.2978 | 0 | 0 | 0 | -5443.6316 |
| Story1 | 1.2D+L+E (LSP) | Bottom | 417.6301 | -38.2978 | 0 | 0 | 0 | -5599.045 |
| Story1 | 1.2D+L+E (LDP) Max | Top | 414.2535 | 30.431 | 0 | 0 | 0 | -4636.6203 |
| Story1 | 1.2D+L+E (LDP) Max | Bottom | 417.6301 | 30.4311 | 0 | 0 | 0 | -4594.3022 |
| Story1 | 1.2D+L+E (LDP) Min | Top | 414.2535 | -30.431 | 0 | 0 | 0 | -5305.4628 |
| Story1 | 1.2D+L+E (LDP) Min | Bottom | 417.6301 | -30.4311 | 0 | 0 | 0 | -5428.8207 |
| Story1 | 0.9D+E (LSP) | Top | 259.2551 | -38.2978 | 0 | 0 | 0 | -3583.6512 |
| Story1 | 0.9D+E (LSP) | Bottom | 261.7876 | -38.2978 | 0 | 0 | 0 | -3728.9346 |
| Story1 | 0.9D+E (LDP) Max | Top | 259.2551 | 30.431 | 0 | 0 | 0 | -2776.6399 |
| Story1 | 0.9D+E (LDP) Max | Bottom | 261.7876 | 30.4311 | 0 | 0 | 0 | -2724.1919 |
| Story1 | 0.9D+E (LDP) Min | Top | 259.2551 | -30.431 | 0 | 0 | 0 | -3445.4824 |
| Story1 | 0.9D+E (LDP) Min | Bottom | 261.7876 | -30.4311 | 0 | 0 | 0 | -3558.7103 |
| Story1 | Envolvente (Limites de recistencia) Max | Top | 455.4015 | 30.431 | 0 | 0 | 0 | -2776.6399 |
| Story1 | Envolvente (Limites de recistencia) Max | Bottom | 458.7781 | 30.4311 | 0 | 0 | 0 | -2724.1919 |
| Story1 | Envolvente (Limites de recistencia) Min | Top | 259.2551 | -38.2978 | 0 | 0 | 0 | -5464.8175 |
| Story1 | Envolvente (Limites de recistencia) Min | Bottom | 261.7876 | -38.2978 | 0 | 0 | 0 | -5599.045 |
| Story1 | D+L (servicio) | Top | 356.6412 | 0 | 0 | 0 | 0 | -4279.6946 |
| Story1 | D+L (servicio) | Bottom | 359.4551 | 0 | 0 | 0 | 0 | -4313.4612 |
| Story1 | DStlD1 | Top | 576.1224 | 0 | 0 | 0 | 0 | -6913.4692 |
| Story1 | DStlD1 | Bottom | 581.7502 | 0 | 0 | 0 | 0 | -6981.0024 |
| Story1 | DStlD2 | Top | 644.7024 | 0 | 0 | 0 | 0 | -7736.4292 |
| Story1 | DStlD2 | Bottom | 650.3302 | 0 | 0 | 0 | 0 | -7803.9624 |

**Table 2.5 - Story Stiffness**

| Story | Load Case | Shear X tonf | Drift X m | Stiffness X tonf/m | Shear Y tonf | Drift Y m | Stiffness Y tonf/m |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Story7 | Sismo $_{LSP}$ | 9.3744 | 0.003814 | 2457.792 | 0 | 0 | 0 |
| Story6 | Sismo $_{LSP}$ | 18.5493 | 0.00509 | 3644.124 | 0 | 0 | 0 |
| Story5 | Sismo $_{LSP}$ | 25.8012 | 0.005575 | 4627.767 | 0 | 0 | 0 |
| Story4 | Sismo $_{LSP}$ | 31.3115 | 0.0052 | 6020.875 | 0 | 0 | 0 |
| Story3 | Sismo $_{LSP}$ | 35.1186 | 0.005408 | 6493.472 | 0 | 0 | 0 |
| Story2 | Sismo $_{LSP}$ | 37.375 | 0.005131 | 7284.755 | 0 | 0 | 0 |
| Story1 | Sismo $_{LSP}$ | 38.2978 | 0.003084 | 12419.918 | 0 | 0 | 0 |
| Story7 | Sismo $_{LDP}$ | 9.0366 | 0.003137 | 2880.62 | 0 | 0 | 0 |
| Story6 | Sismo $_{LDP}$ | 15.2042 | 0.003936 | 3863.039 | 0 | 0 | 0 |

**Table 2.5 - Story Stiffness (continued)**

| Story | Load Case | Shear X tonf | Drift X m | Stiffness X tonf/m | Shear Y tonf | Drift Y m | Stiffness Y tonf/m |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Story5 | Sismo LDP | 19.2598 | 0.004075 | 4726.414 | 0 | 0 | 0 |
| Story4 | Sismo LDP | 22.583 | 0.003707 | 6091.536 | 0 | 0 | 0 |
| Story3 | Sismo LDP | 25.8519 | 0.003927 | 6583.561 | 0 | 0 | 0 |
| Story2 | Sismo LDP | 28.7283 | 0.003858 | 7445.782 | 0 | 0 | 0 |
| Story1 | Sismo LDP | 30.4311 | 0.002387 | 12750.162 | 0 | 0 | 0 |

## 2.3 Modal Results

**Table 2.6 - Modal Participating Mass Ratios (Part 1 of 2)**

| Case | Mode | Period sec | UX | UY | UZ | Sum UX | Sum UY | Sum UZ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Modal LDP | 1 | 1.079 | 0.7697 | 0 | 0 | 0.7697 | 0 | 0 |
| Modal LDP | 2 | 0.383 | 0.1264 | 0 | 0 | 0.8961 | 0 | 0 |
| Modal LDP | 3 | 0.197 | 0.0494 | 0 | 0 | 0.9455 | 0 | 0 |
| Modal LDP | 4 | 0.126 | 0.0271 | 0 | 0 | 0.9725 | 0 | 0 |
| Modal LDP | 5 | 0.087 | 0.0157 | 0 | 0 | 0.9882 | 0 | 0 |
| Modal LDP | 6 | 0.081 | 0 | 0 | 0 | 0.9882 | 0 | 0 |
| Modal LDP | 7 | 0.074 | 0 | 0 | 0 | 0.9882 | 0 | 0 |
| Modal LDP | 8 | 0.068 | 0.0078 | 0 | 0 | 0.996 | 0 | 0 |
| Modal LDP | 9 | 0.062 | 0 | 0 | 0 | 0.996 | 0 | 0 |
| Modal LDP | 10 | 0.059 | 0 | 0 | 0 | 0.996 | 0 | 0 |
| Modal LDP | 11 | 0.056 | 0.0038 | 0 | 0 | 0.9999 | 0 | 0 |
| Modal LDP | 12 | 0.053 | 0 | 0 | 0 | 0.9999 | 0 | 0 |
| Modal LDP | 13 | 0.046 | 0 | 0 | 0 | 0.9999 | 0 | 0 |
| Modal LDP | 14 | 0.044 | 0 | 0 | 0 | 0.9999 | 0 | 0 |

**Table 2.6 - Modal Participating Mass Ratios (Part 2 of 2)**

| Case | Mode | RX | RY | RZ | Sum RX | Sum RY | Sum RZ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Modal LDP | 1 | 0 | 0.2335 | 0 | 0 | 0.2335 | 0 |
| Modal LDP | 2 | 0 | 0.4525 | 0 | 0 | 0.686 | 0 |
| Modal LDP | 3 | 0 | 0.1331 | 0 | 0 | 0.8191 | 0 |
| Modal LDP | 4 | 0 | 0.0965 | 0 | 0 | 0.9156 | 0 |
| Modal LDP | 5 | 0 | 0.0455 | 0 | 0 | 0.9611 | 0 |
| Modal LDP | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.9611 | 0 |
| Modal LDP | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.9611 | 0 |
| Modal LDP | 8 | 0 | 0.0255 | 0 | 0 | 0.9866 | 0 |
| Modal LDP | 9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.9866 | 0 |
| Modal LDP | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.9866 | 0 |
| Modal LDP | 11 | 0 | 0.013 | 0 | 0 | 0.9996 | 0 |
| Modal LDP | 12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.9996 | 0 |
| Modal LDP | 13 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.9996 | 0 |
| Modal LDP | 14 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.9996 | 0 |

**Table 2.7 - Modal Load Participation Ratios**

| Case | Item Type | Item | Static % | Dynamic % |
|---|---|---|---|---|
| Modal LDP | Acceleration | UX | 100 | 99.99 |
| Modal LDP | Acceleration | UY | 0 | 0 |
| Modal LDP | Acceleration | UZ | 0 | 0 |

**Table 2.8 - Modal Direction Factors**

| Case | Mode | Period sec | UX | UY | UZ | RZ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Modal $_{LDP}$ | 1 | 1.079 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| Modal $_{LDP}$ | 2 | 0.383 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| Modal $_{LDP}$ | 3 | 0.197 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| Modal $_{LDP}$ | 4 | 0.126 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| Modal $_{LDP}$ | 5 | 0.087 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| Modal $_{LDP}$ | 6 | 0.081 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| Modal $_{LDP}$ | 7 | 0.074 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| Modal $_{LDP}$ | 8 | 0.068 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| Modal $_{LDP}$ | 9 | 0.062 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| Modal $_{LDP}$ | 10 | 0.059 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| Modal $_{LDP}$ | 11 | 0.056 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| Modal $_{LDP}$ | 12 | 0.053 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| Modal $_{LDP}$ | 13 | 0.046 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| Modal $_{LDP}$ | 14 | 0.044 | 1 | 0 | 0 | 0 |

# INFORME IDEASTATICA

# IDEASTATICA:
# ANALISIS DE RIGIDEZ

## Datos del proyecto

| | |
|---|---|
| Nombre del proyecto | Conexiones SMF 4 |
| Número del Proyecto | |
| Autor | Tapia & Arbito |
| Descripción | Conexiones AISC 358 |
| Fecha | 30/09/2020 |
| Normativa de cálculo | AISC 360-16 |

## Material

| | |
|---|---|
| Acero | A572 Gr.50, A36, A572 Gr.55 |
| Hormigón | 4000 psi |

VERSION EDUCACIONAL DE IDEA StatiCa

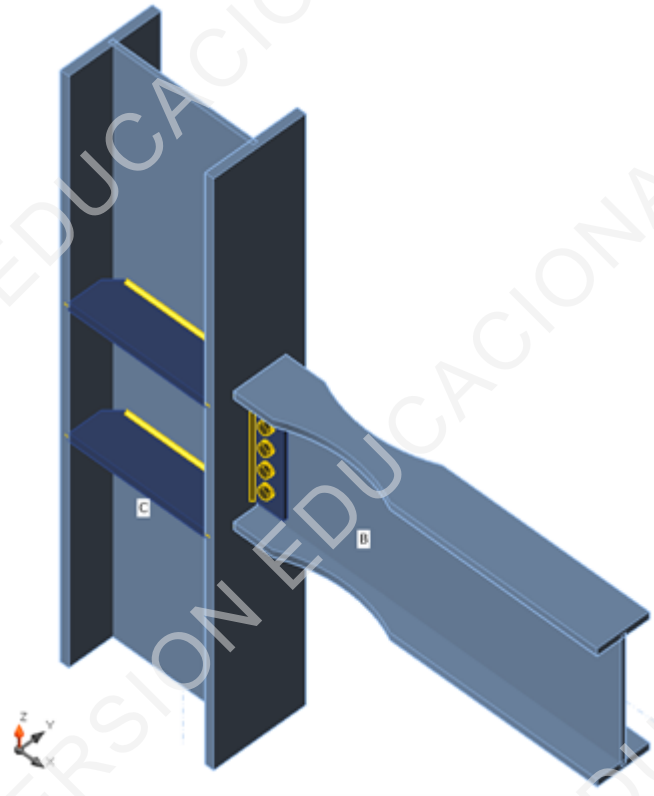
# Ítem del proyecto RBS-450-1

## Diseño

| | |
|---|---|
| Nombre | RBS-450-1 |
| Descripción | Conexion H500-I450 |
| Análisis | Rigidez |
| Normativa de cálculo | AISC - LRFD |

### Elementos estructurales

| Nombre | Sección transversal | β – Dirección [°] | γ - Inclinación [°] | α - Rotación [°] | Desplazamiento ex [mm] | Desplazamiento ey [mm] | Desplazamiento ez [mm] | Fuerzas en |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| C | 3 - HEB500 | 0.0 | -90.0 | 0.0 | 0 | 0 | 0 | Nudo |
| B | 4 - IPN450 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0 | 0 | 0 | Nudo |

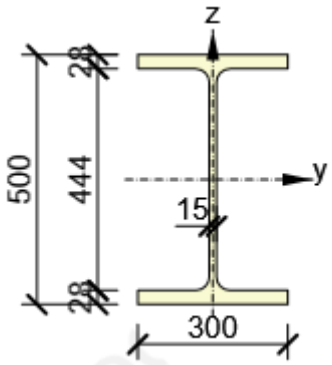
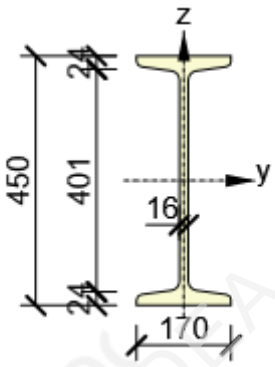



### Secciones

| Nombre | Material |
|---|---|
| 3 - HEB500 | A572 Gr.50 |
| 4 - IPN450 | A36 |

VERSION EDUCACIONAL DE IDEA StatiCa

## Secciones

| Nombre | Material | Dibujo |
|---|---|---|
| 3 - HEB500 | A572 Gr.50 |   |
| 4 - IPN450 | A36 |   |

## Tornillos

| Nombre | Conjunto de tornillo | Diámetro [mm] | fu [MPa] | Área bruta [mm$^2$] |
|---|---|---|---|---|
| 3/4 A325 | 3/4 A325 | 19 | 825.0 | 285 |

## Cargas

| Nombre | Elemento | N [kN] | Vy [kN] | Vz [kN] | Mx [kNm] | My [kNm] | Mz [kNm] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| LE1 | B | 0.0 | 0.0 | -450.0 | 0.0 | 610.0 | 0.0 |

# Verificación

## Rigidez rotacional

| Nombre | Comp. | Cargas | Mj,Rd [kNm] | Sj,ini [MNm/rad] | Φc [rad] | L [m] | Sj,R [MNm/rad] | Sj,P [MNm/rad] | Clase |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| B | My | LE1 | 628.3 | 928.5 | 0.106 | 6.00 | 305.7 | 30.6 | Rígido |

## Rigidez rotacional secante

| Nombre | Comp. | Cargas | M [kNm] | Sjs [MNm/rad] | Φ [rad] |
|---|---|---|---|---|---|
| B | My | LE1 | 610.0 | 108.5 | 0.006 |

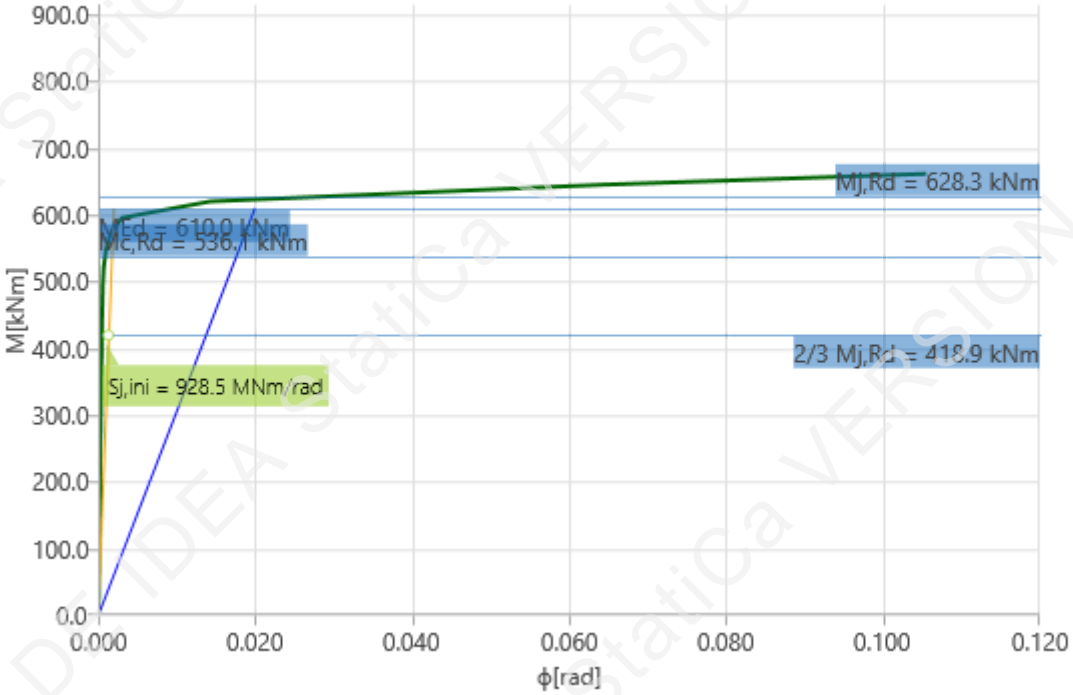



Diagrama de rigidez My - ϕy, LE1

# Listado de material

## Operaciones

| Nombre | Placas [mm] | Forma | Nr. | Soldaduras [mm] | Longitud [mm] | Tornillos | Nr. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| CUT1 | | | | Bisel: a = 24.3<br>Bisel: a = 16.2 | 340.0<br>425.7 | | |
| STIFF1 | P27.0x142.7-444.0 (A572 Gr.50) | | 4 | | | | |
| OPN1 | P24.3x1185.0-170.0 (A36) | | 1 | | | | |
| OPN2 | P24.3x1185.0-170.0 (A36) | | 1 | | | | |
| FP1 | P15.0x100.0-341.7 (A36) | | 1 | tendón de soldadura simple: a = 5.7 | 341.7 | 3/4 A325 | 4 |

## Soldaduras

| Tipo | Material | Espesor de garganta [mm] | Tamaño de pierna [mm] | Longitud [mm] |
|---|---|---|---|---|
| Bisel | E70xx | - | - | 340.0 |
| Bisel | E70xx | - | - | 425.7 |
| tendón de soldadura simple | E70xx | 5.7 | 8.0 | 341.7 |
| Doble tendón de soldadura | E70xx | 5.7 | 8.0 | 1400.0 |
| Bisel | E70xx | - | - | 838.0 |

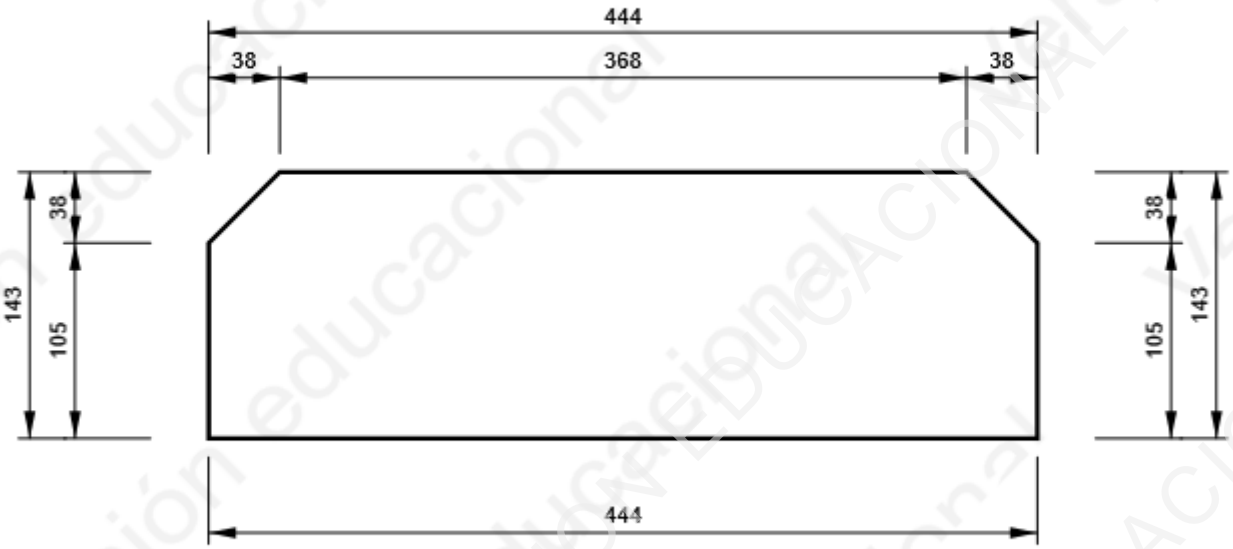
## Tornillos

| Nombre | Longitud de agarre [mm] | Cuenta |
|---|---|---|
| 3/4 A325 | 31 | 4 |

## Dibujo

### STIFF1

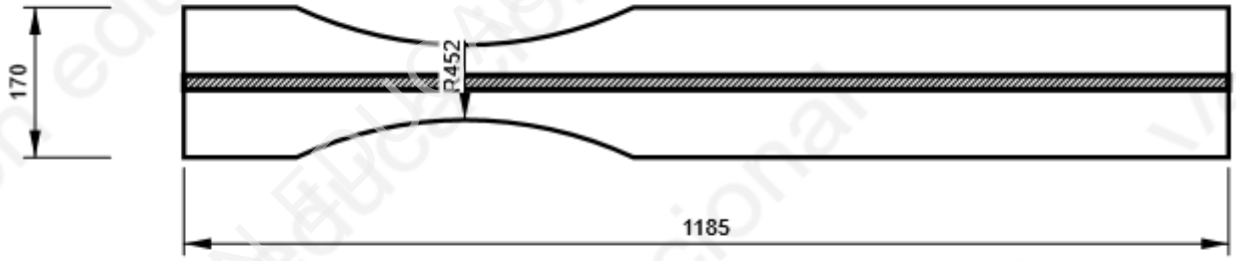
**P27.0x444-143 (A572 Gr.50)**




Versión educacional DE IDEA StatiCa VERSION EDUCACIONAL

## OPN1

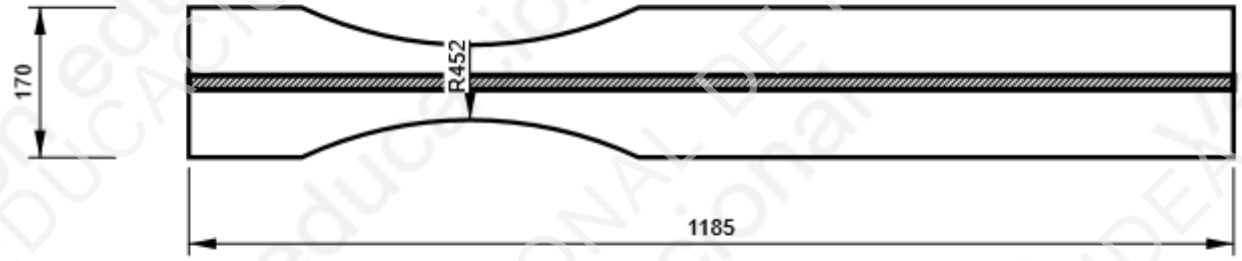
**P24.3x170-1185 (A36)**




VERSIÓN EDUCACIONAL DE IDEA StatiCa

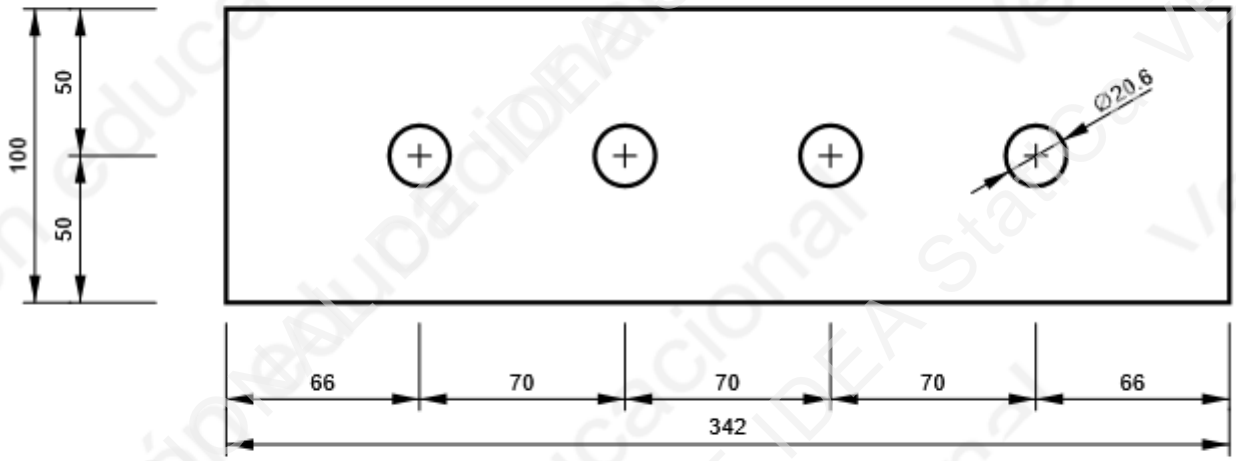
## OPN2

**P24.3x170-1185 (A36)**



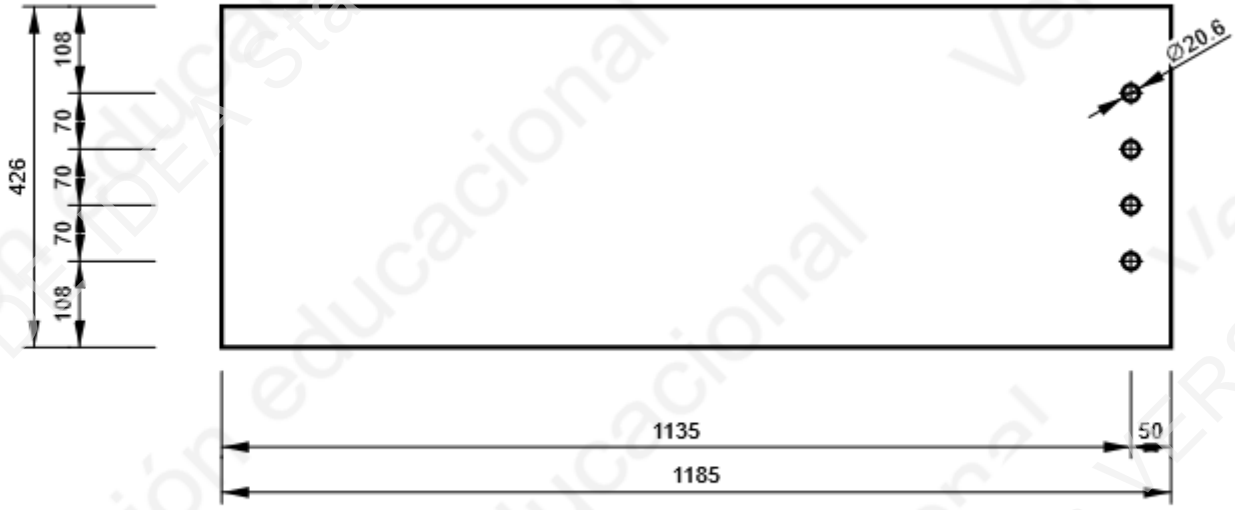
## FP1

**P15.0x342-100 (A36)**




VERSIÓN EDUCACIONAL DE IDEA StatiCa

## B, IPN450 - Alma 1:




Versión educacional DE IDEA StatiCa VERSION EDUCACIONAL DE IDEA StatiCa

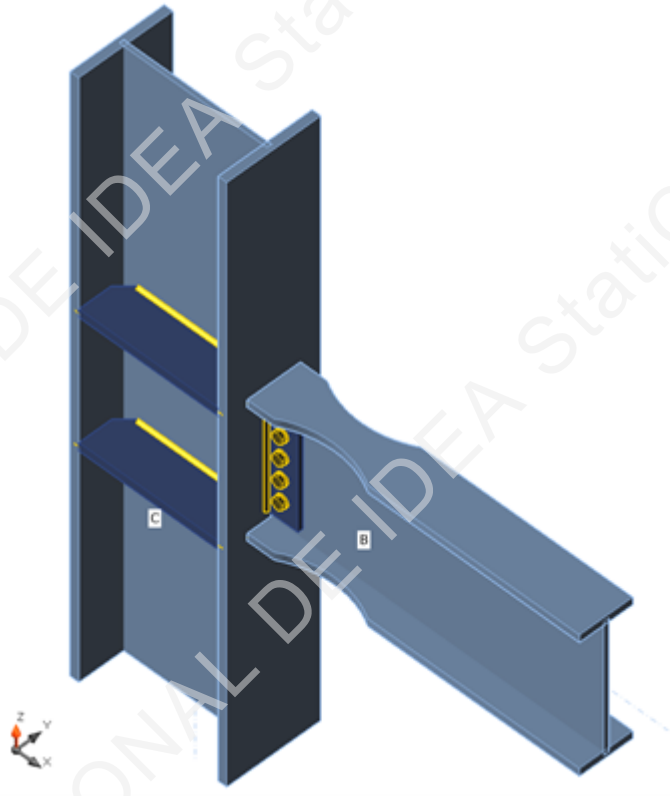
# Ítem del proyecto RBS-450-2

## Diseño

| | |
|---|---|
| Nombre | RBS-450-2 |
| Descripción | Conexion H500-I450 |
| Análisis | Rigidez |
| Normativa de cálculo | AISC - LRFD |

### Elementos estructurales

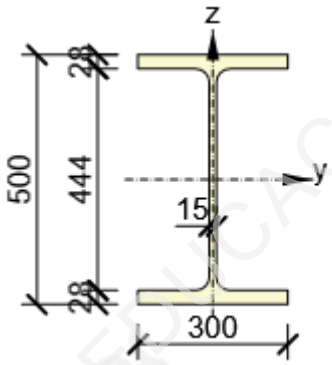
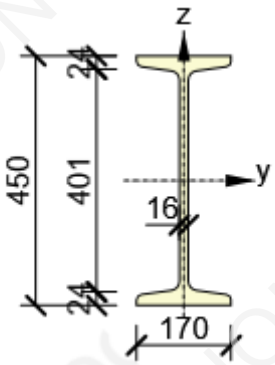
| Nombre | Sección transversal | β – Dirección [°] | γ - Inclinación [°] | α - Rotación [°] | Desplazamiento ex [mm] | Desplazamiento ey [mm] | Desplazamiento ez [mm] | Fuerzas en |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| C | 3 - HEB500 | 0.0 | -90.0 | 0.0 | 0 | 0 | 0 | Nudo |
| B | 4 - IPN450 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0 | 0 | 0 | Nudo |




### Secciones

| Nombre | Material |
|---|---|
| 3 - HEB500 | A572 Gr.50 |
| 4 - IPN450 | A36 |

## Secciones

| Nombre | Material | Dibujo |
|---|---|---|
| 3 - HEB500 | A572 Gr.50 |   |
| 4 - IPN450 | A36 |   |

## Tornillos

| Nombre | Conjunto de tornillo | Diámetro [mm] | fu [MPa] | Área bruta [mm$^2$] |
|---|---|---|---|---|
| 3/4 A325 | 3/4 A325 | 19 | 825.0 | 285 |

## Cargas

| Nombre | Elemento | N [kN] | Vy [kN] | Vz [kN] | Mx [kNm] | My [kNm] | Mz [kNm] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| LE1 | B | 0.0 | 0.0 | -450.0 | 0.0 | 610.0 | 0.0 |

# Verificación

## Rigidez rotacional

| Nombre | Comp. | Cargas | Mj,Rd [kNm] | Sj,ini [MNm/rad] | Φc [rad] | L [m] | Sj,R [MNm/rad] | Sj,P [MNm/rad] | Clase |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| B | My | LE1 | 600.4 | 1120.4 | 0.055 | 6.00 | 305.7 | 30.6 | Rígido |

## Rigidez rotacional secante

| Nombre | Comp. | Cargas | M [kNm] | Sjs [MNm/rad] | Φ [rad] |
|---|---|---|---|---|---|
| B | My | LE1 | 610.0 | 34.4 | 0.018 |

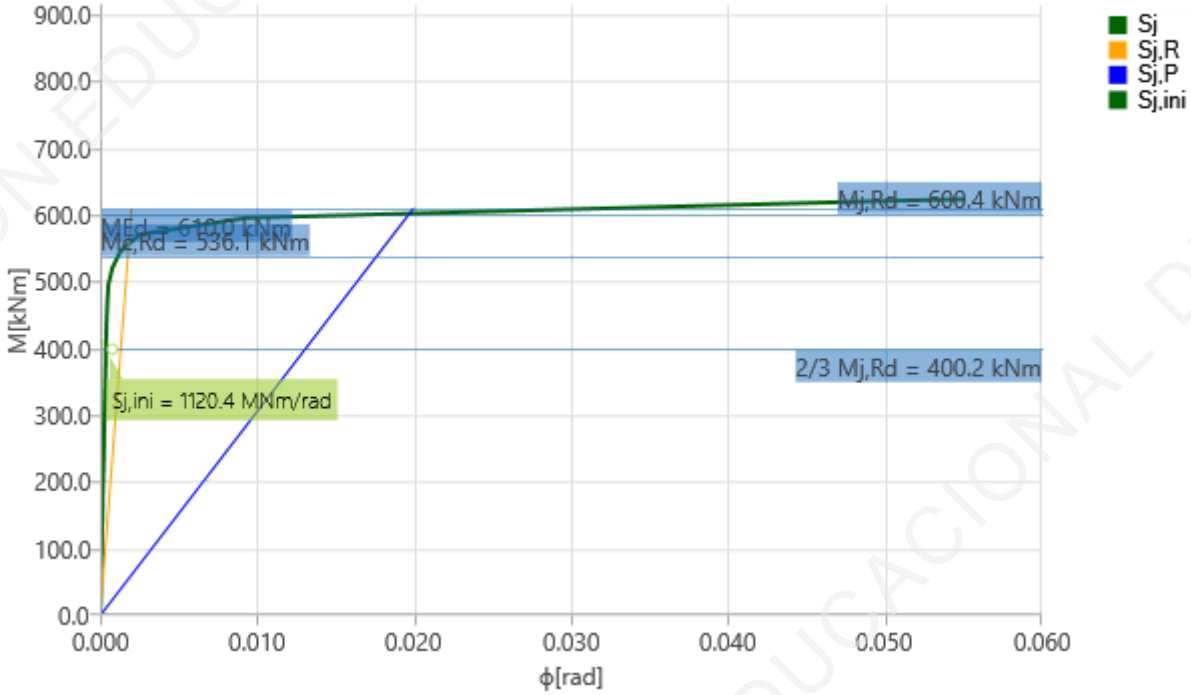



Diagrama de rigidez My - ϕy, LE1

# Listado de material

## Operaciones

| Nombre | Placas [mm] | Forma | Nr. | Soldaduras [mm] | Longitud [mm] | Tornillos | Nr. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| CUT1 | | | | Bisel: a = 24.3<br>Bisel: a = 16.2 | 340.0<br>425.7 | | |
| STIFF1 | P27.0x142.7-444.0 (A572 Gr.50) | | 4 | | | | |
| OPN1 | P24.3x1060.0-170.0 (A36) | | 1 | | | | |
| OPN2 | P24.3x1060.0-170.0 (A36) | | 1 | | | | |
| FP1 | P15.0x100.0-341.7 (A36) | | 1 | tendón de soldadura simple: a = 5.7 | 341.7 | 3/4 A325 | 4 |

## Soldaduras

| Tipo | Material | Espesor de garganta [mm] | Tamaño de pierna [mm] | Longitud [mm] |
|---|---|---|---|---|
| Bisel | E70xx | - | - | 340.0 |
| Bisel | E70xx | - | - | 425.7 |
| tendón de soldadura simple | E70xx | 5.7 | 8.0 | 341.7 |
| Doble tendón de soldadura | E70xx | 5.7 | 8.0 | 1400.0 |
| Bisel | E70xx | - | - | 838.0 |

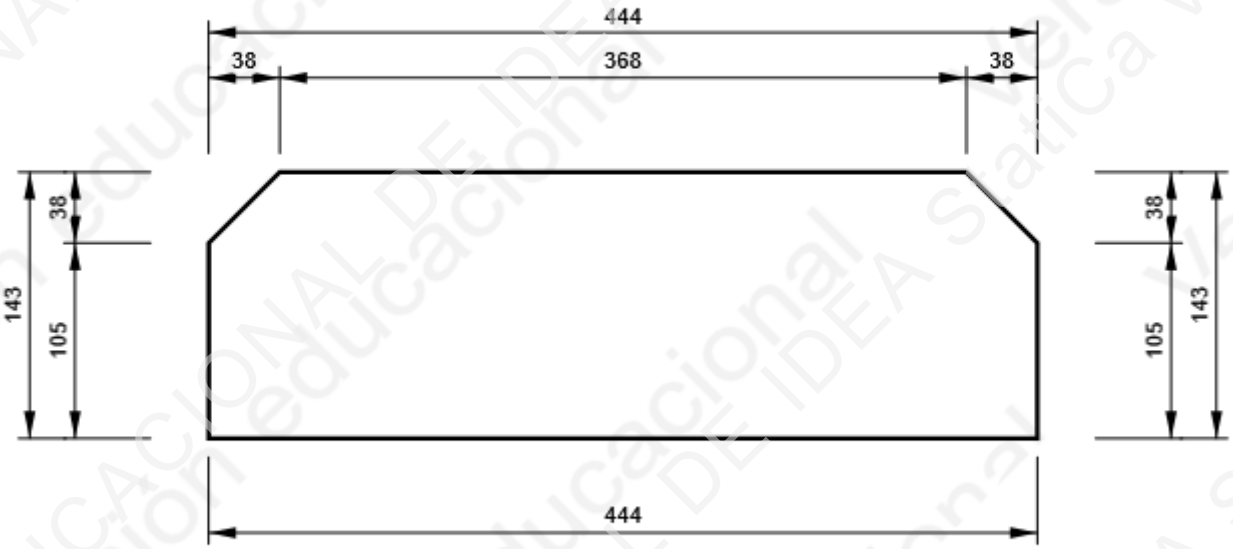
## Tornillos

| Nombre | Longitud de agarre [mm] | Cuenta |
|---|---|---|
| 3/4 A325 | 31 | 4 |

## Dibujo

### STIFF1

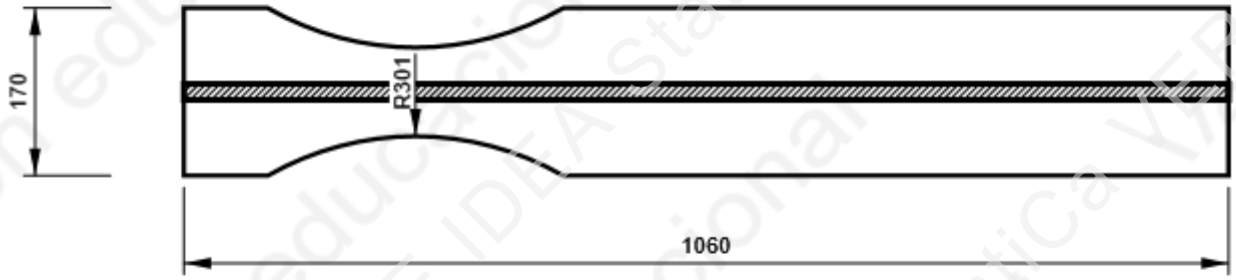
**P27.0x444-143 (A572 Gr.50)**




VERSIÓN EDUCACIONAL DE IDEA StatiCa

## OPN1

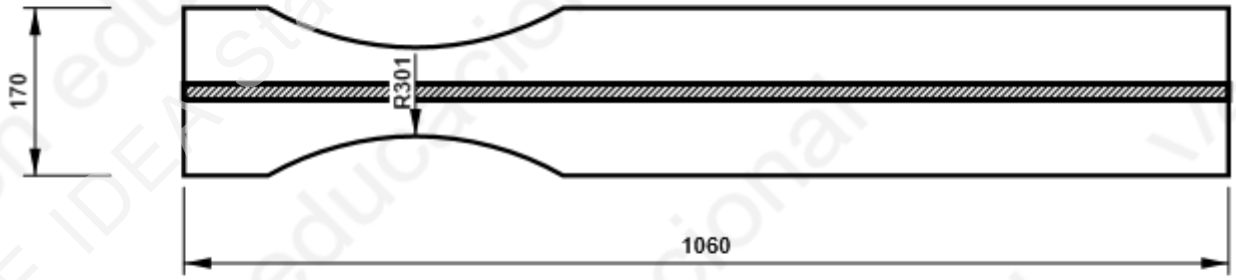
**P24.3x170-1060 (A36)**




Versión educacional
VERSION EDUCACIONAL DE IDEA StatiCa

## OPN2

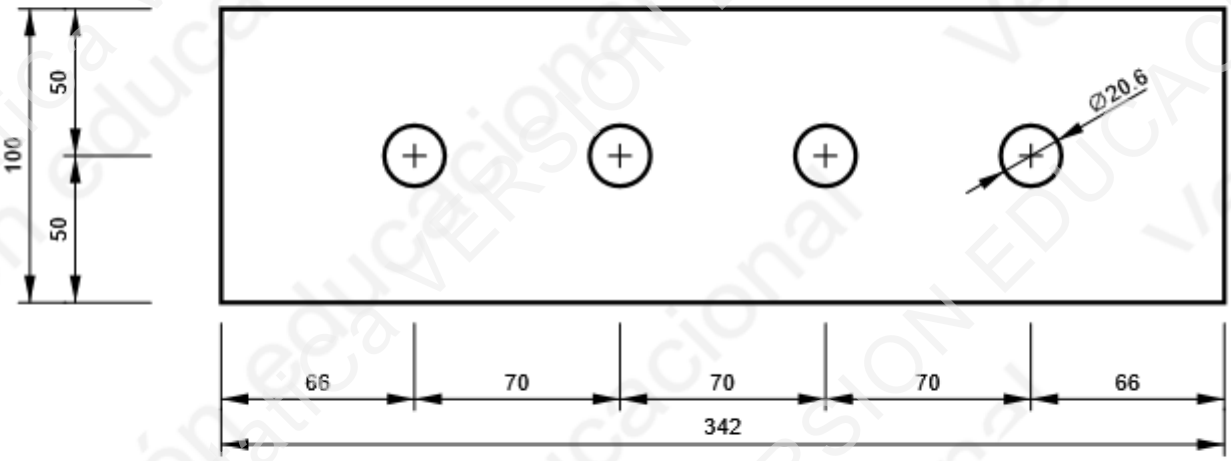
**P24.3x170-1060 (A36)**




VERSIÓN EDUCACIONAL DE IDEA StatiCa

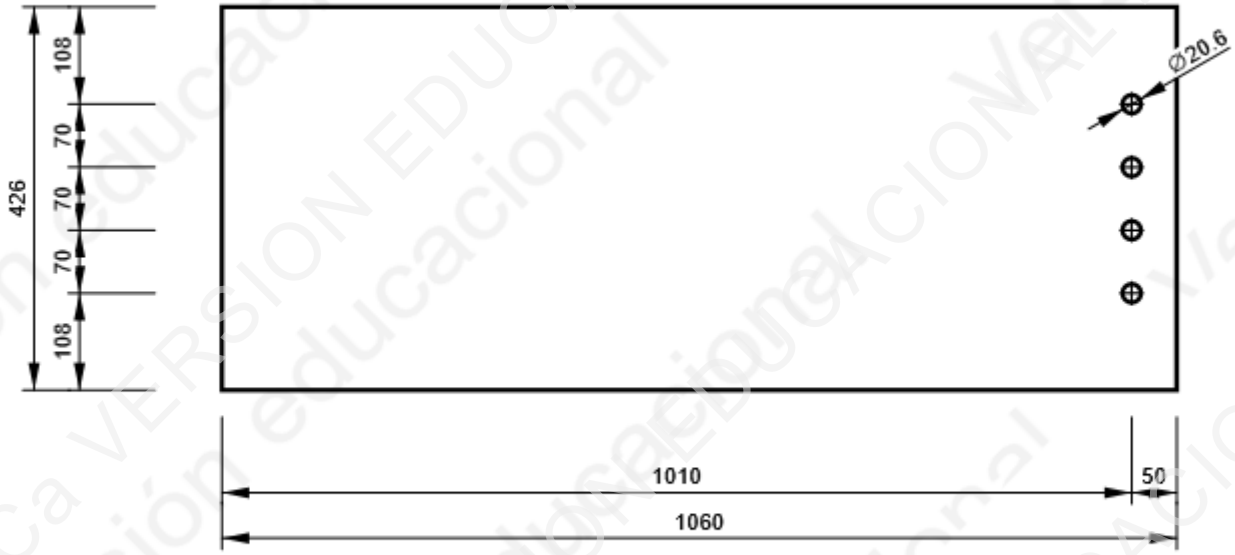
## FP1

**P15.0x342-100 (A36)**




Versión educacional VERSIÓN EDUCACIONAL DE IDEA StatiCa

## B, IPN450 - Alma 1:




Versión educacional
VERSION EDUCACIONAL DE IDEA StatiCa

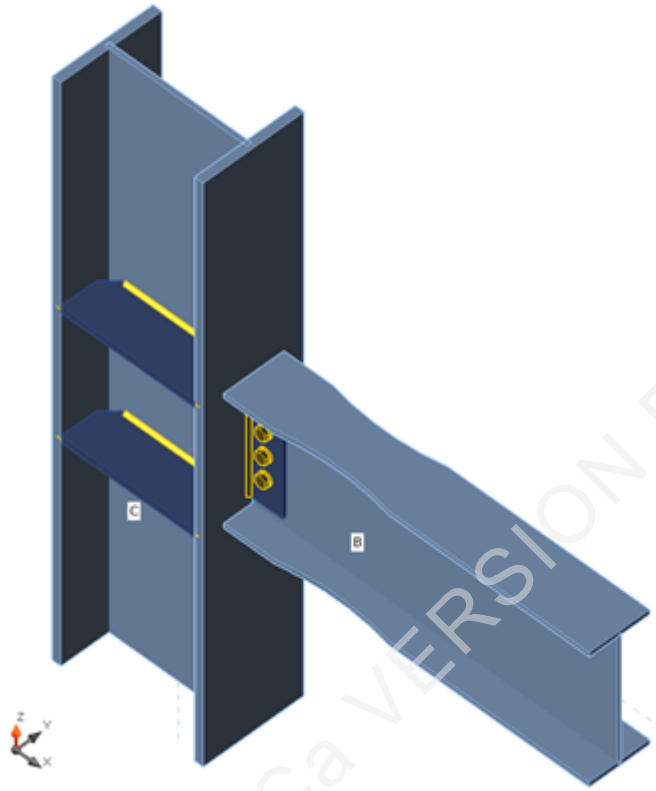
# Ítem del proyecto RBS-400-1

## Diseño

| | |
|---|---|
| Nombre | RBS-400-1 |
| Descripción | Conexion H450-I400 |
| Análisis | Rigidez |
| Normativa de cálculo | AISC - LRFD |

### Elementos estructurales

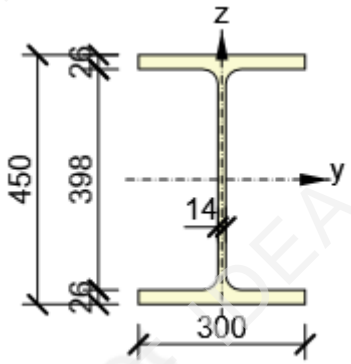
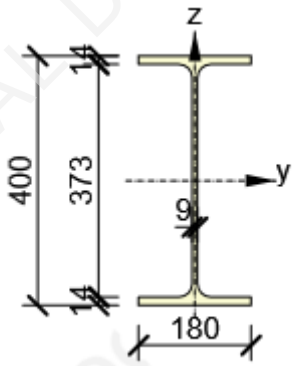
| Nombre | Sección transversal | β – Dirección [°] | γ - Inclinación [°] | α - Rotación [°] | Desplazamiento ex [mm] | Desplazamiento ey [mm] | Desplazamiento ez [mm] | Fuerzas en |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| C | 7 - HEB450 | 0.0 | -90.0 | 0.0 | 0 | 0 | 0 | Nudo |
| B | 8 - IPE400 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0 | 0 | 0 | Nudo |




### Secciones

| Nombre | Material |
|---|---|
| 7 - HEB450 | A572 Gr.50 |
| 8 - IPE400 | A36 |

## Secciones

| Nombre | Material | Dibujo |
|---|---|---|
| 7 - HEB450 | A572 Gr.50 |   |
| 8 - IPE400 | A36 |   |

## Tornillos

| Nombre | Conjunto de tornillo | Diámetro [mm] | fu [MPa] | Área bruta [mm$^2$] |
|---|---|---|---|---|
| 3/4 A325 | 3/4 A325 | 19 | 825.0 | 285 |

## Cargas

| Nombre | Elemento | N [kN] | Vy [kN] | Vz [kN] | Mx [kNm] | My [kNm] | Mz [kNm] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| LE1 | B | 0.0 | 0.0 | -250.0 | 0.0 | 352.0 | 0.0 |

# Verificación

## Rigidez rotacional

| Nombre | Comp. | Cargas | Mj,Rd [kNm] | Sj,ini [MNm/rad] | Φc [rad] | L [m] | Sj,R [MNm/rad] | Sj,P [MNm/rad] | Clase |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| B | My | LE1 | 351.7 | ∞ | 0.031 | 6.00 | 154.2 | 15.4 | Rígido |

## Rigidez rotacional secante

| Nombre | Comp. | Cargas | M [kNm] | Sjs [MNm/rad] | Φ [rad] |
|---|---|---|---|---|---|
| B | My | LE1 | 352.0 | 47.6 | 0.007 |

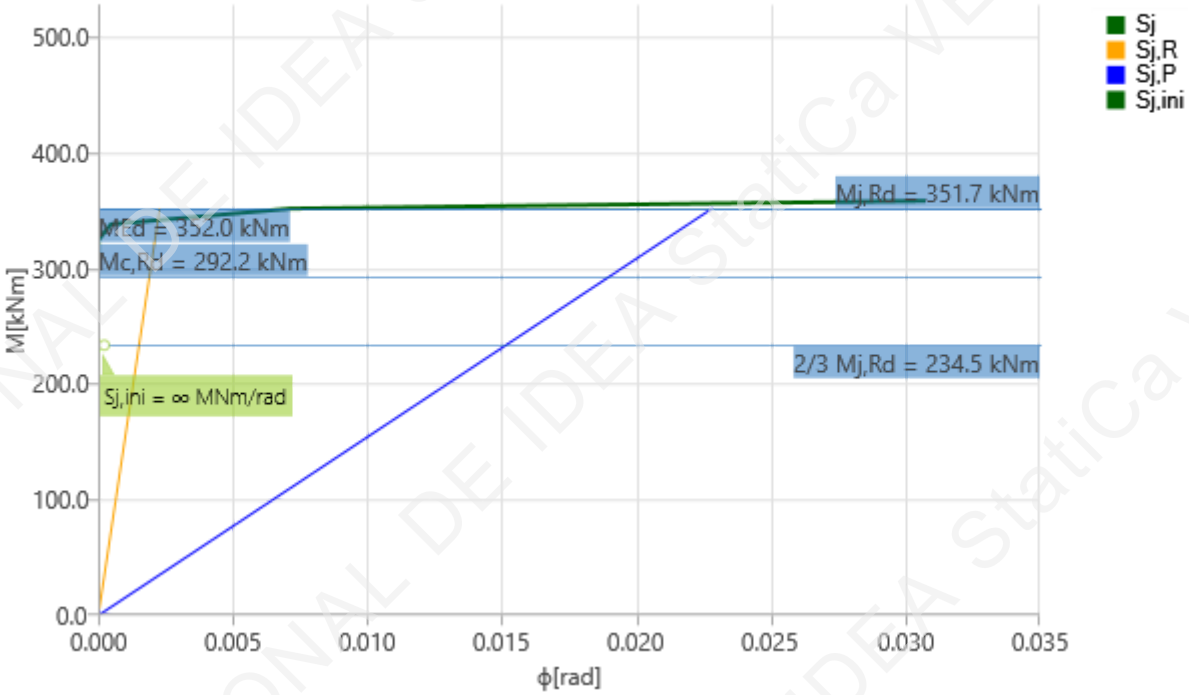



Diagrama de rigidez My - ϕy, LE1

# Listado de material

## Operaciones

| Nombre | Placas [mm] | Forma | Nr. | Soldaduras [mm] | Longitud [mm] | Tornillos | Nr. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| CUT1 | | | | Bisel: a = 13.5<br>Bisel: a = 8.6 | 360.0<br>386.5 | | |
| STIFF1 | P20.0x143.0-398.0 (A572 Gr.50) | | 4 | | | | |
| OPN1 | P13.5x1090.0-180.0 (A36) | | 1 | | | | |
| OPN2 | P13.5x1090.0-180.0 (A36) | | 1 | | | | |
| FP1 | P10.0x100.0-312.0 (A36) | | 1 | tendón de soldadura simple: a = 5.7 | 312.0 | 3/4 A325 | 3 |

## Soldaduras

| Tipo | Material | Espesor de garganta [mm] | Tamaño de pierna [mm] | Longitud [mm] |
|---|---|---|---|---|
| Bisel | E70xx | - | - | 360.0 |
| Bisel | E70xx | - | - | 386.5 |
| tendón de soldadura simple | E70xx | 5.7 | 8.0 | 312.0 |
| Doble tendón de soldadura | E70xx | 5.7 | 8.0 | 1200.0 |
| Bisel | E70xx | - | - | 840.0 |

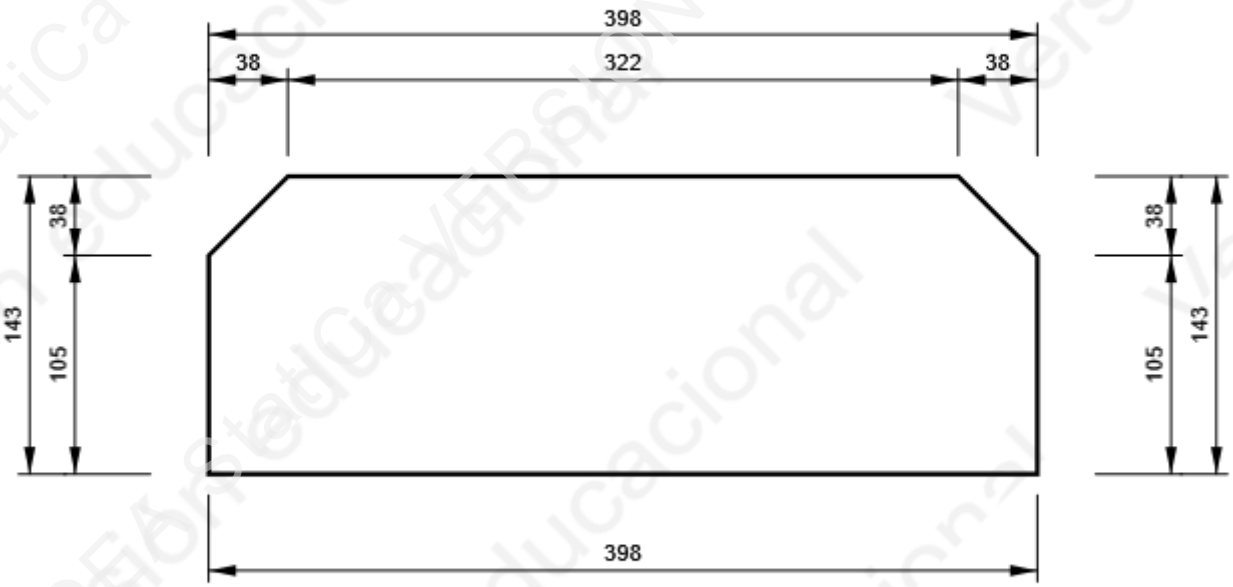
## Tornillos

| Nombre | Longitud de agarre [mm] | Cuenta |
|---|---|---|
| 3/4 A325 | 19 | 3 |

## Dibujo

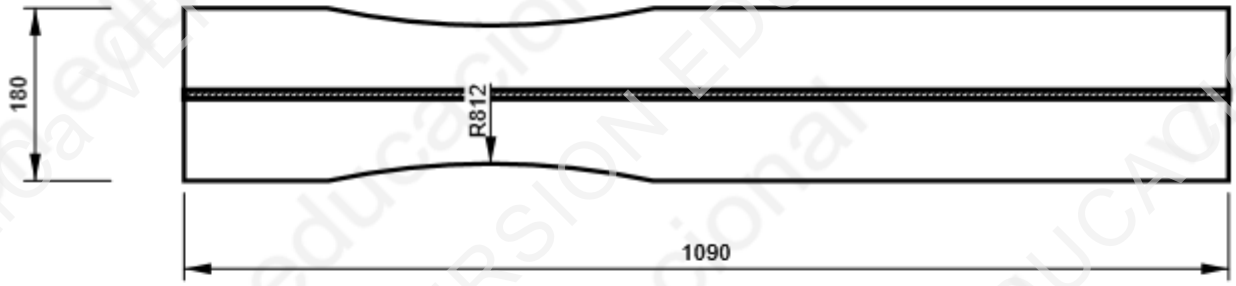
### STIFF1

**P20.0x398-143 (A572 Gr.50)**



## OPN1

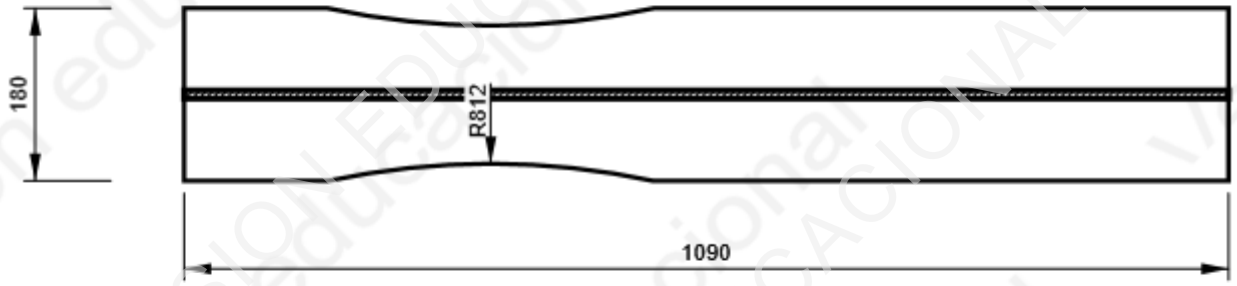
**P13.5x180-1090 (A36)**




Versión educacional VERSIÓN EDUCACIONAL DE IDEA StatiCa

## OPN2

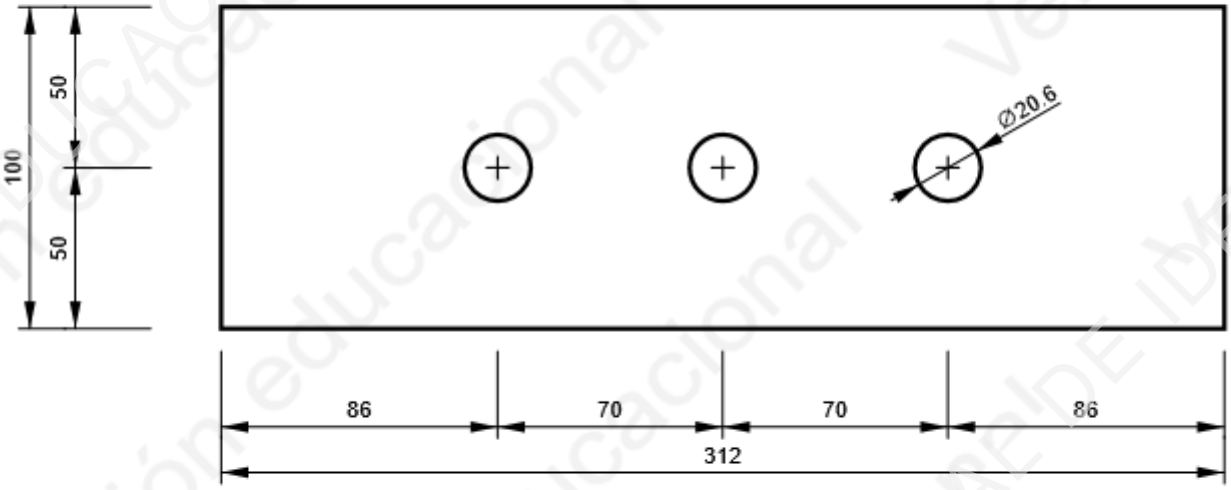
**P13.5x180-1090 (A36)**




Versión educacional DE IDEA StatiCa VERSION EDUCACIONAL

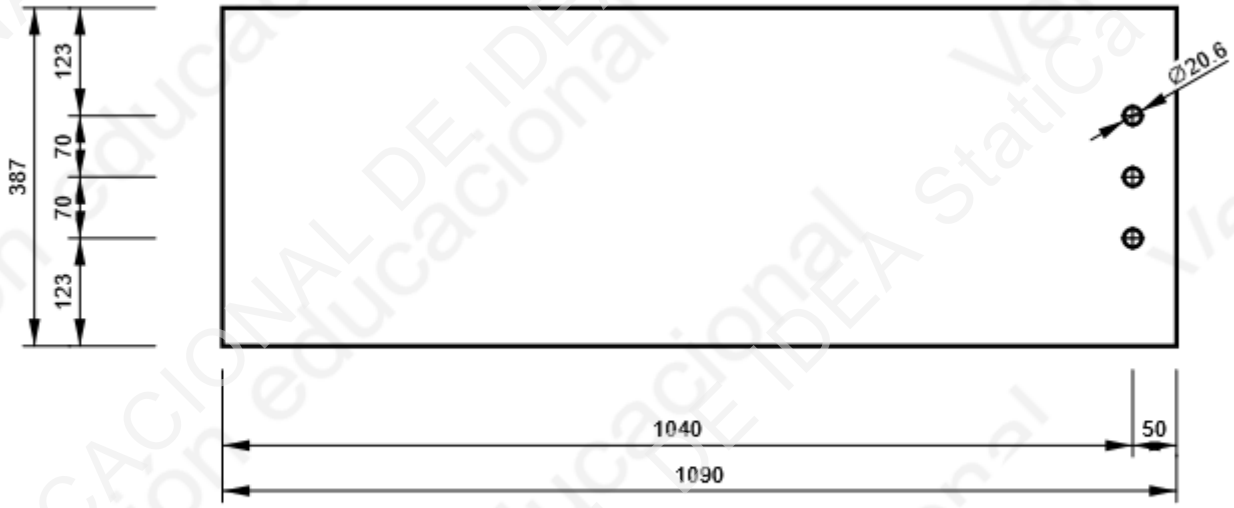
## FP1

**P10.0x312-100 (A36)**




Versión educacional DE IDEA StatiCa VERSION EDUCACIONAL

## B, IPE400 - Alma 1:



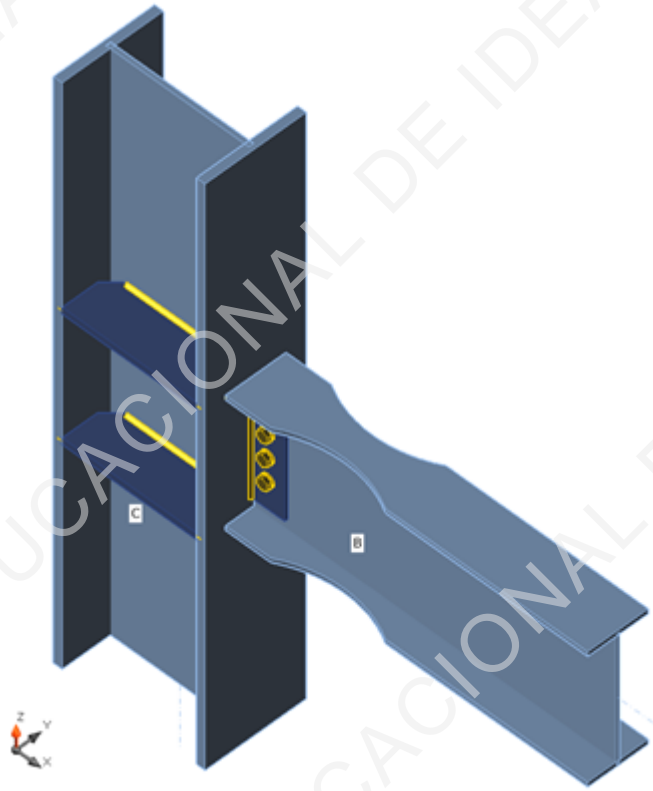
# Ítem del proyecto RBS-400-2

## Diseño

| | |
|---|---|
| Nombre | RBS-400-2 |
| Descripción | Conexion H450-I400 |
| Análisis | Rigidez |
| Normativa de cálculo | AISC - LRFD |

### Elementos estructurales

| Nombre | Sección transversal | β – Dirección [°] | γ - Inclinación [°] | α - Rotación [°] | Desplazamiento ex [mm] | Desplazamiento ey [mm] | Desplazamiento ez [mm] | Fuerzas en |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| C | 7 - HEB450 | 0.0 | -90.0 | 0.0 | 0 | 0 | 0 | Nudo |
| B | 8 - IPE400 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0 | 0 | 0 | Nudo |

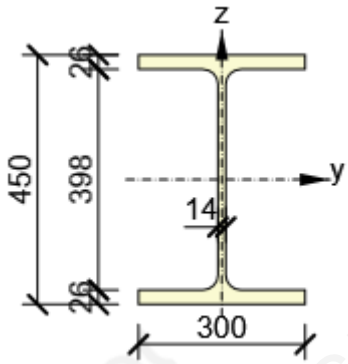
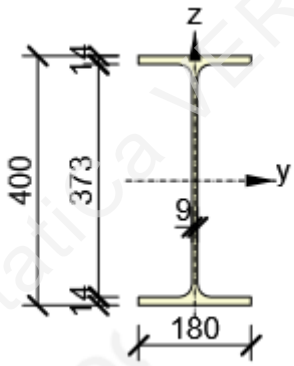


### Secciones

| Nombre | Material |
|---|---|
| 7 - HEB450 | A572 Gr.50 |
| 8 - IPE400 | A36 |

VERSION EDUCACIONAL DE IDEA StatiCa

## Secciones

| Nombre | Material | Dibujo |
|---|---|---|
| 7 - HEB450 | A572 Gr.50 |  |
| 8 - IPE400 | A36 |  |

## Tornillos

| Nombre | Conjunto de tornillo | Diámetro [mm] | fu [MPa] | Área bruta [mm$^2$] |
|---|---|---|---|---|
| 3/4 A325 | 3/4 A325 | 19 | 825.0 | 285 |

## Cargas

| Nombre | Elemento | N [kN] | Vy [kN] | Vz [kN] | Mx [kNm] | My [kNm] | Mz [kNm] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| LE1 | B | 0.0 | 0.0 | -250.0 | 0.0 | 352.0 | 0.0 |

# Verificación

## Rigidez rotacional

| Nombre | Comp. | Cargas | Mj,Rd [kNm] | Sj,ini [MNm/rad] | Φc [rad] | L [m] | Sj,R [MNm/rad] | Sj,P [MNm/rad] | Clase |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| B | My | LE1 | 297.6 | 1006.2 | 0.107 | 6.00 | 154.2 | 15.4 | Rígido |

## Rigidez rotacional secante

| Nombre | Comp. | Cargas | M [kNm] | Sjs [MNm/rad] | Φ [rad] |
|---|---|---|---|---|---|
| B | My | LE1 | 352.0 | 0.0 | 0.352 |

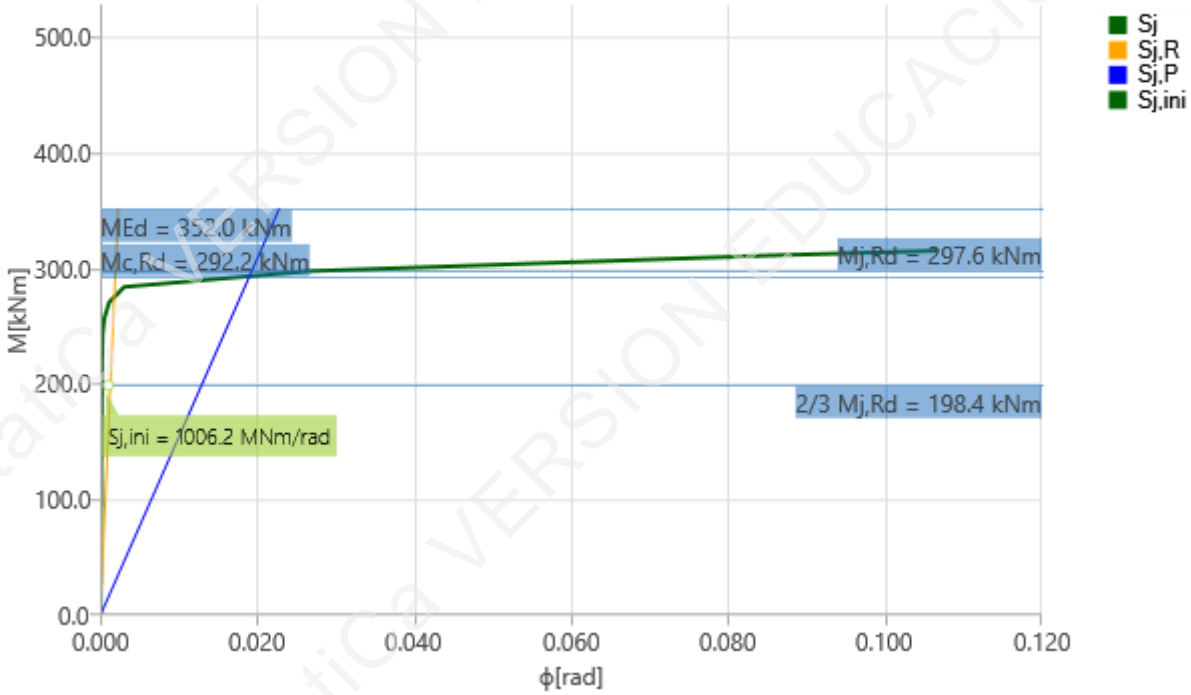



Diagrama de rigidez My - ϕy, LE1

# Listado de material

## Operaciones

| Nombre | Placas [mm] | Forma | Nr. | Soldaduras [mm] | Longitud [mm] | Tornillos | Nr. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| CUT1 | | | | Bisel: a = 13.5<br>Bisel: a = 8.6 | 360.0<br>386.5 | | |
| STIFF1 | P20.0x143.0-398.0 (A572 Gr.50) | | 4 | | | | |
| OPN1 | P13.5x1075.0-180.0 (A36) | | 1 | | | | |
| OPN2 | P13.5x1075.0-180.0 (A36) | | 1 | | | | |
| FP1 | P10.0x100.0-312.0 (A36) | | 1 | tendón de soldadura simple: a = 5.7 | 312.0 | 3/4 A325 | 3 |

## Soldaduras

| Tipo | Material | Espesor de garganta [mm] | Tamaño de pierna [mm] | Longitud [mm] |
|---|---|---|---|---|
| Bisel | E70xx | - | - | 360.0 |
| Bisel | E70xx | - | - | 386.5 |
| tendón de soldadura simple | E70xx | 5.7 | 8.0 | 312.0 |
| Doble tendón de soldadura | E70xx | 5.7 | 8.0 | 1200.0 |
| Bisel | E70xx | - | - | 840.0 |

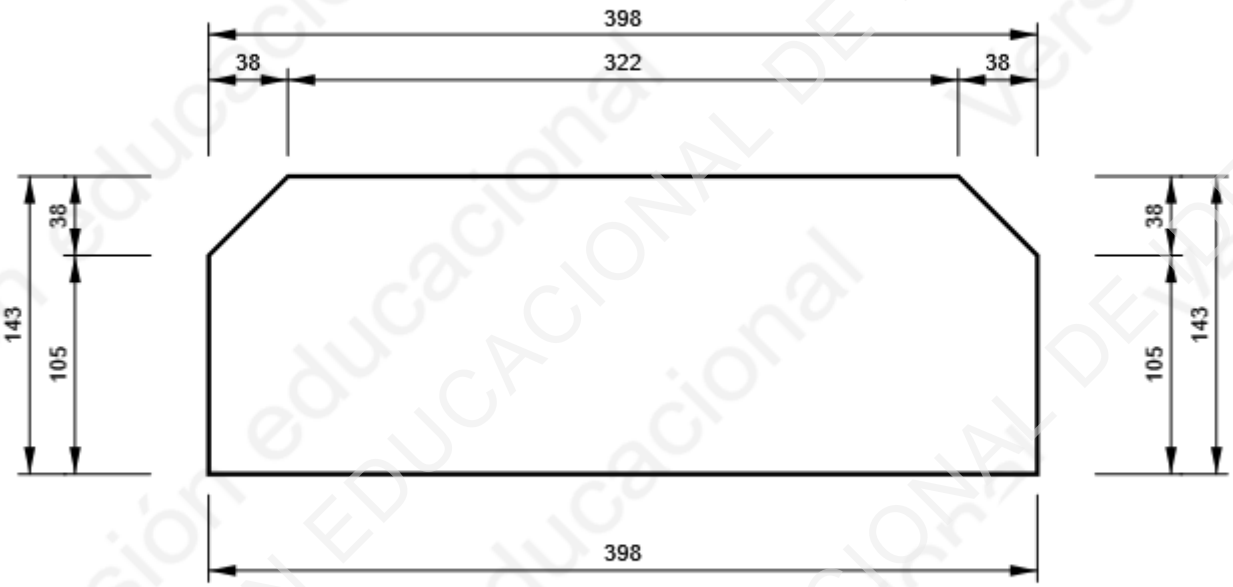
## Tornillos

| Nombre | Longitud de agarre [mm] | Cuenta |
|---|---|---|
| 3/4 A325 | 19 | 3 |

## Dibujo

### STIFF1

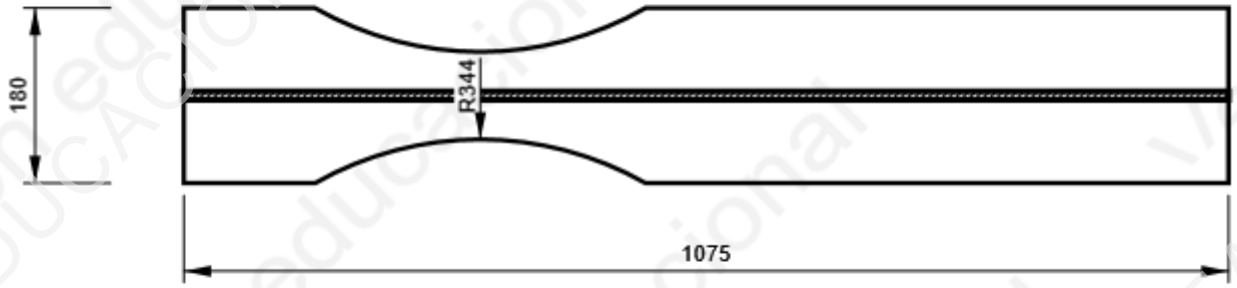
**P20.0x398-143 (A572 Gr.50)**




Versión educacional
VERSION EDUCACIONAL DE IDEA StatiCa

## OPN1

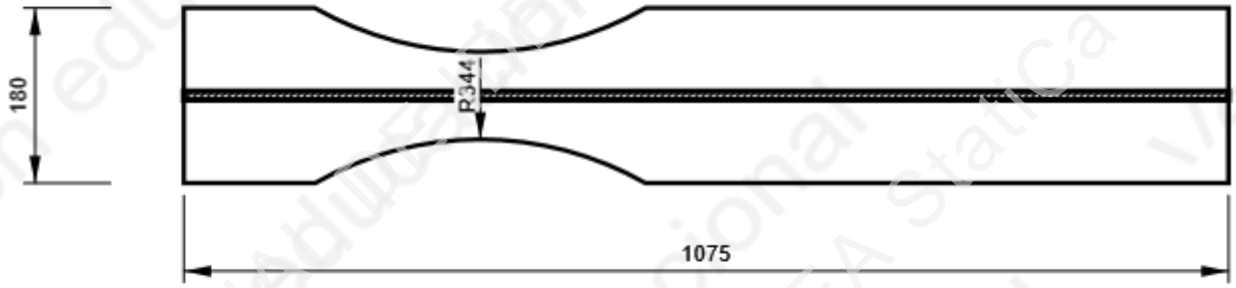
**P13.5x180-1075 (A36)**




Versión educacional
VERSION EDUCACIONAL DE IDEA StatiCa

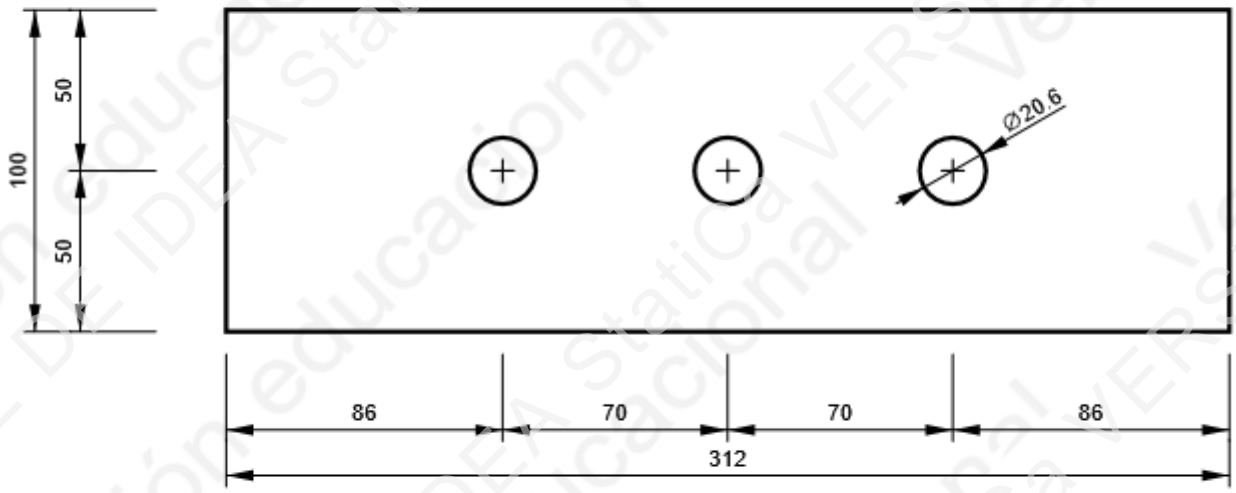
## OPN2

**P13.5x180-1075 (A36)**



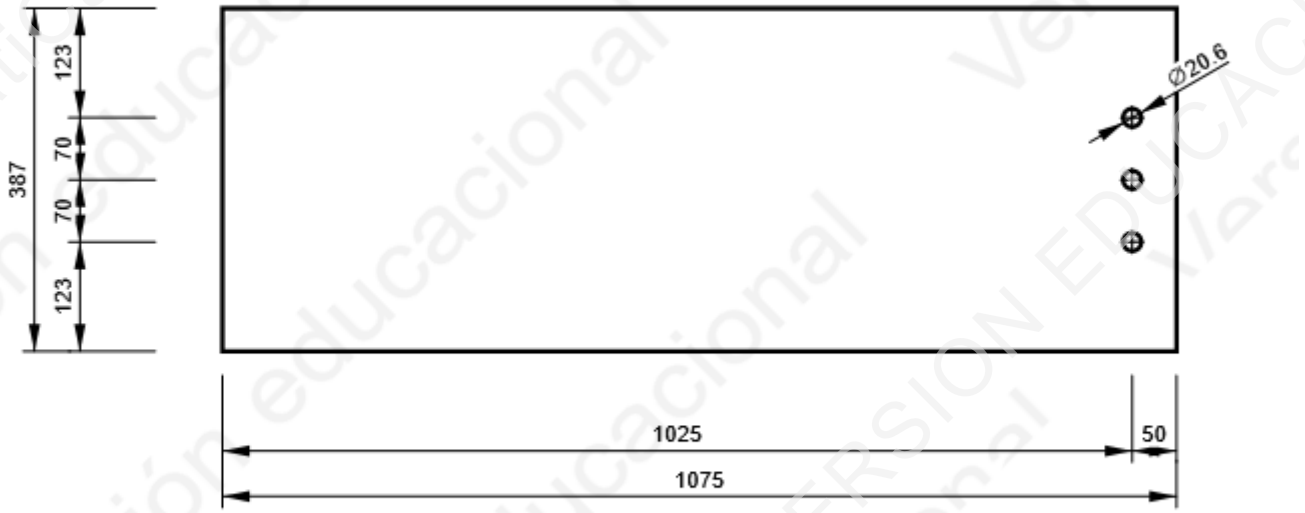
## FP1

**P10.0x312-100 (A36)**




Versión educacional DE IDEA StatiCa VERSION EDUCACIONAL

## B, IPE400 - Alma 1:




Versión educacional VERSION EDUCACIONAL DE IDEA StatiCa

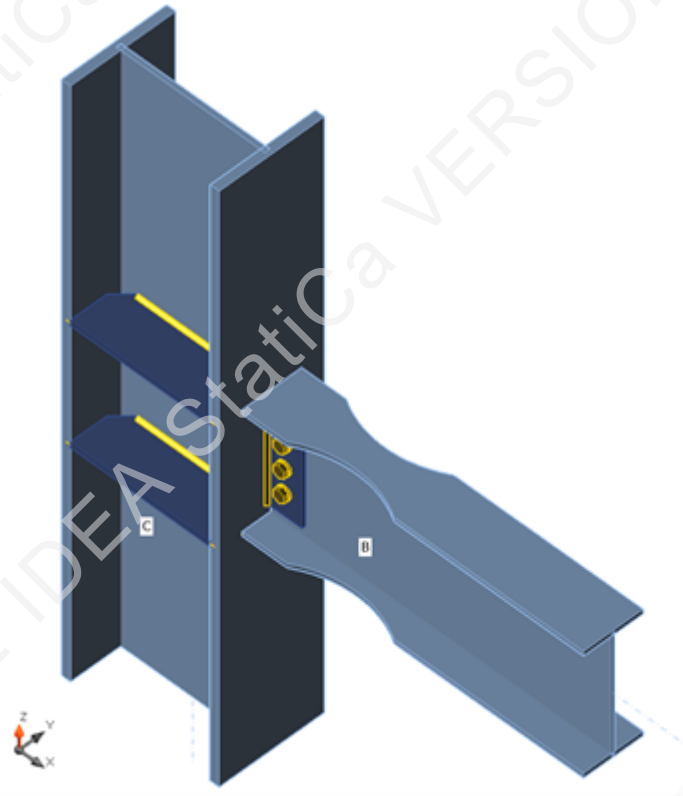
# Ítem del proyecto RBS-360-1

## Diseño

| | |
|---|---|
| Nombre | RBS-360-1 |
| Descripción | Conexion H450-I360 |
| Análisis | Rigidez |
| Normativa de cálculo | AISC - LRFD |

### Elementos estructurales

| Nombre | Sección transversal | β – Dirección [°] | γ - Inclinación [°] | α - Rotación [°] | Desplazamiento ex [mm] | Desplazamiento ey [mm] | Desplazamiento ez [mm] | Fuerzas en |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| C | 7 - HEB450 | 0.0 | -90.0 | 0.0 | 0 | 0 | 0 | Nudo |
| B | 9 - IPE360 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0 | 0 | 0 | Nudo |



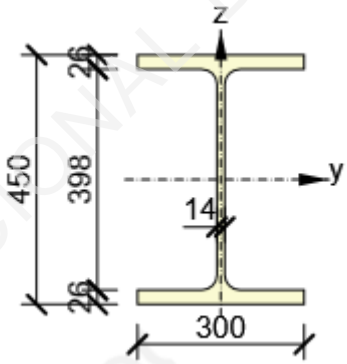
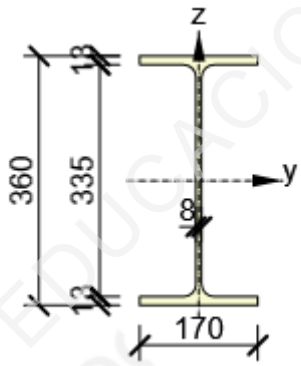

### Secciones

| Nombre | Material |
|---|---|
| 7 - HEB450 | A572 Gr.50 |
| 9 - IPE360 | A572 Gr.50 |

VERSION EDUCACIONAL DE IDEA StatiCa

**Proyecto:** Conexiones SMF 4
**Proyecto nº:**
**Autor:** Tapia & Arbito

## Secciones

| Nombre | Material | Dibujo |
|---|---|---|
| 7 - HEB450 | A572 Gr.50 |   |
| 9 - IPE360 | A572 Gr.50 |   |

## Tornillos

| Nombre | Conjunto de tornillo | Diámetro [mm] | fu [MPa] | Área bruta [mm$^2$] |
|---|---|---|---|---|
| 3/4 A325 | 3/4 A325 | 19 | 825.0 | 285 |

## Cargas

| Nombre | Elemento | N [kN] | Vy [kN] | Vz [kN] | Mx [kNm] | My [kNm] | Mz [kNm] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| LE1 | B | 0.0 | 0.0 | -103.0 | 0.0 | 258.0 | 0.0 |

# Verificación

## Rigidez rotacional

| Nombre | Comp. | Cargas | Mj,Rd [kNm] | Sj,ini [MNm/rad] | Φc [rad] | L [m] | Sj,R [MNm/rad] | Sj,P [MNm/rad] | Clase |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| B | My | LE1 | 263.7 | 648.6 | 0.093 | 6.00 | 108.5 | 10.8 | Rígido |

## Rigidez rotacional secante

| Nombre | Comp. | Cargas | M [kNm] | Sjs [MNm/rad] | Φ [rad] |
|---|---|---|---|---|---|
| B | My | LE1 | 258.0 | 39.2 | 0.007 |

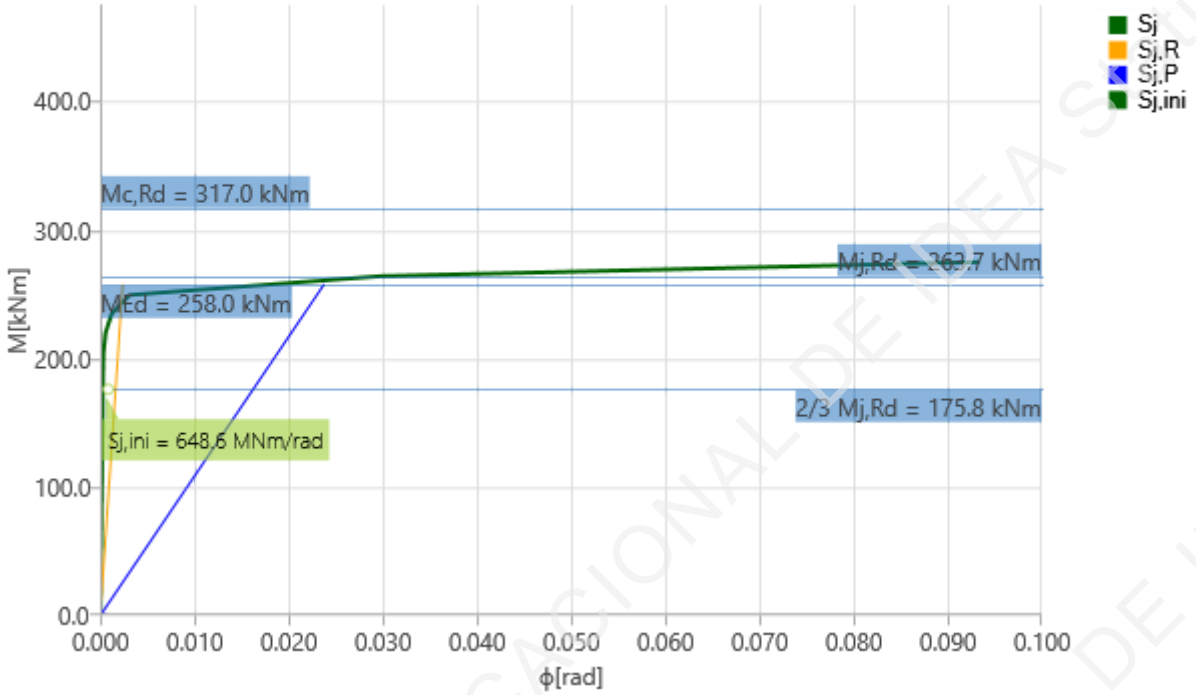
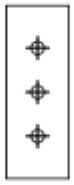



Diagrama de rigidez My - ϕy, LE1

VERSION EDUCACIONAL DE IDEA StatiCa

# Listado de material

## Operaciones

| Nombre | Placas [mm] | Forma | Nr. | Soldaduras [mm] | Longitud [mm] | Tornillos | Nr. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| CUT1 | | | | Bisel: a = 12.7<br>Bisel: a = 8.0 | 340.0<br>347.3 | | |
| STIFF1 | P17.0x143.0-398.0 (A572 Gr.50) | | 4 | | | | |
| OPN1 | P12.7x974.0-170.0 (A572 Gr.50) | | 1 | | | | |
| OPN2 | P12.7x974.0-170.0 (A572 Gr.50) | | 1 | | | | |
| FP1 | P10.0x100.0-274.6 (A36) |  | 1 | tendón de soldadura simple: a = 5.7 | 274.6 | 3/4 A325 | 3 |

## Soldaduras

| Tipo | Material | Espesor de garganta [mm] | Tamaño de pierna [mm] | Longitud [mm] |
|---|---|---|---|---|
| Bisel | E70xx | - | - | 340.0 |
| Bisel | E70xx | - | - | 347.3 |
| tendón de soldadura simple | E70xx | 5.7 | 8.0 | 274.6 |
| Doble tendón de soldadura | E70xx | 5.7 | 8.0 | 1200.0 |
| Bisel | E70xx | - | - | 840.0 |

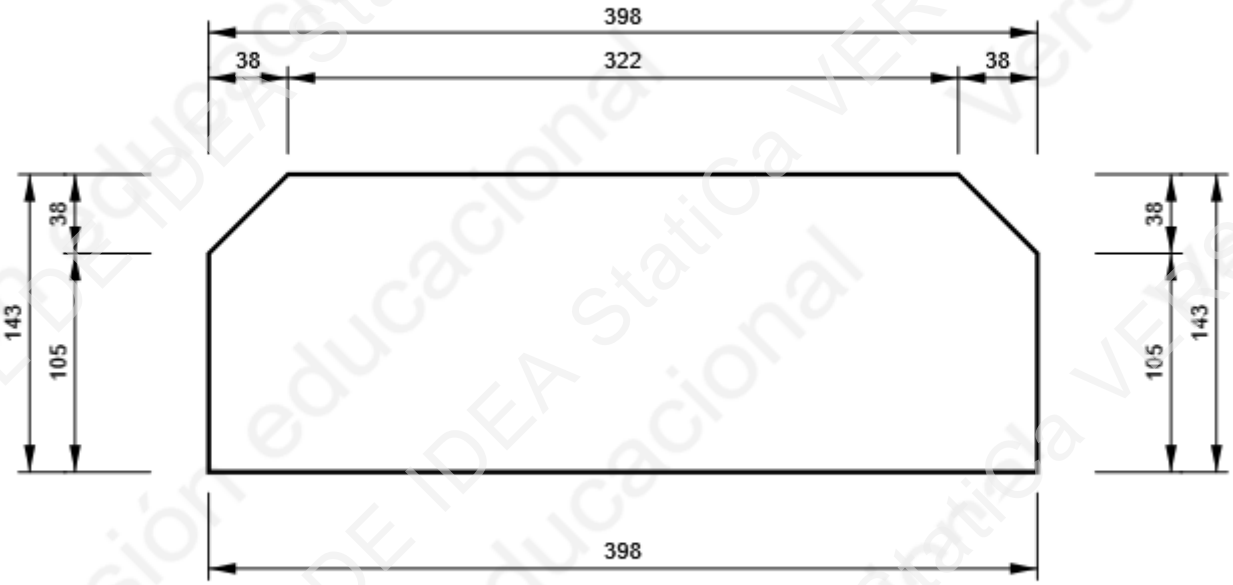
## Tornillos

| Nombre | Longitud de agarre [mm] | Cuenta |
|---|---|---|
| 3/4 A325 | 18 | 3 |

## Dibujo

### STIFF1

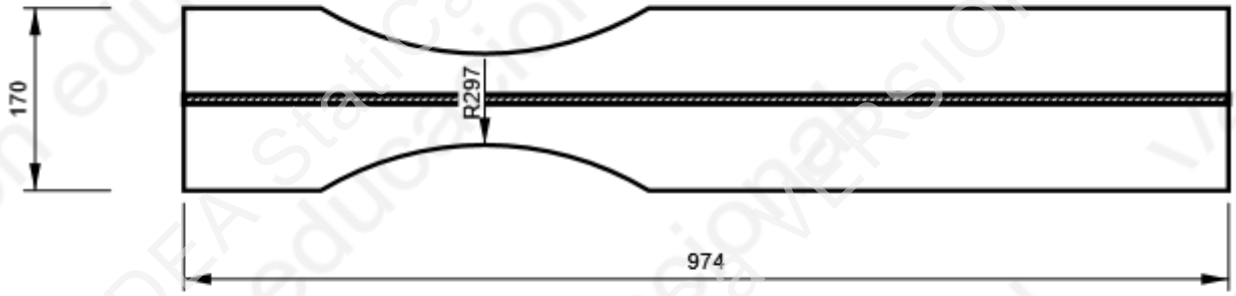
**P17.0x398-143 (A572 Gr.50)**




Versión educacional de IDEA StatiCa

## OPN1

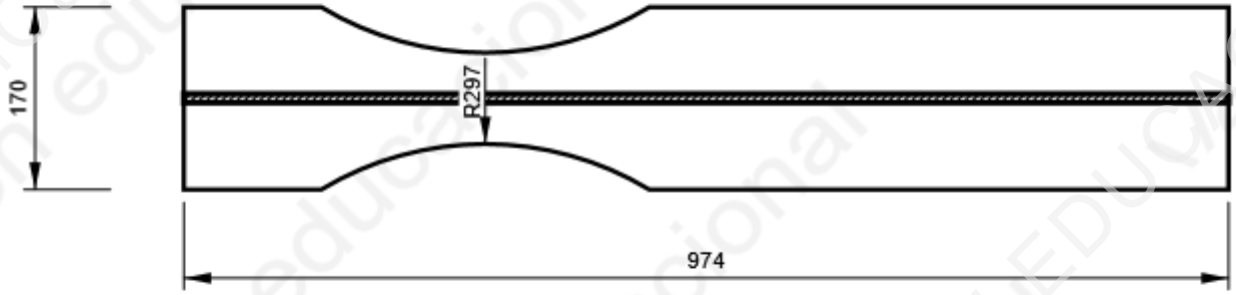
**P12.7x170-974 (A572 Gr.50)**




Versión educacional DE IDEA StatiCa VERSION EDUCACIONAL

## OPN2

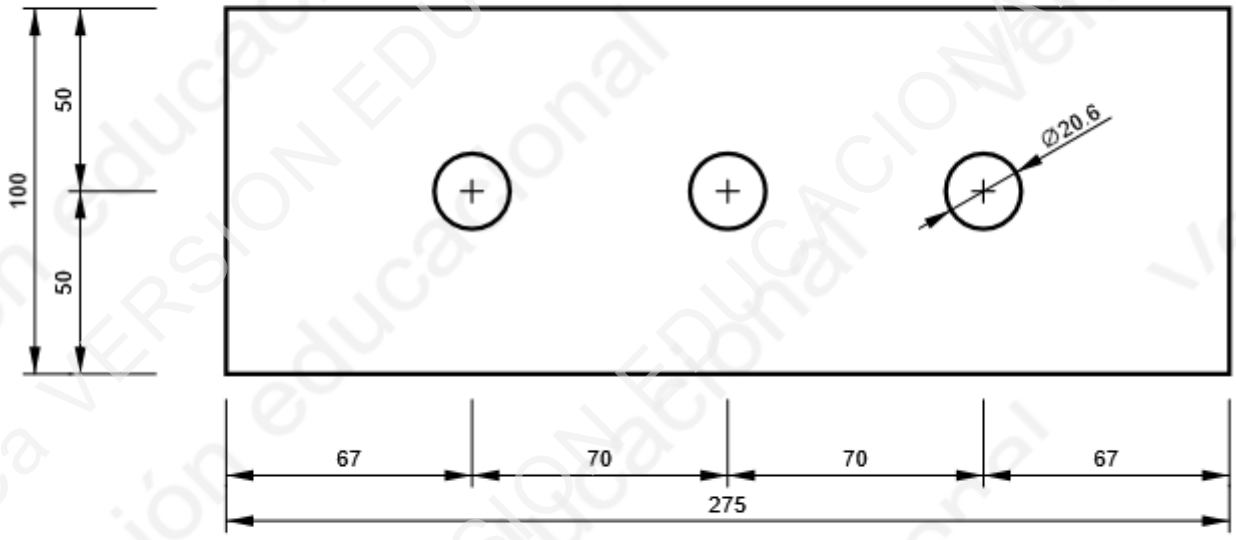
**P12.7x170-974 (A572 Gr.50)**



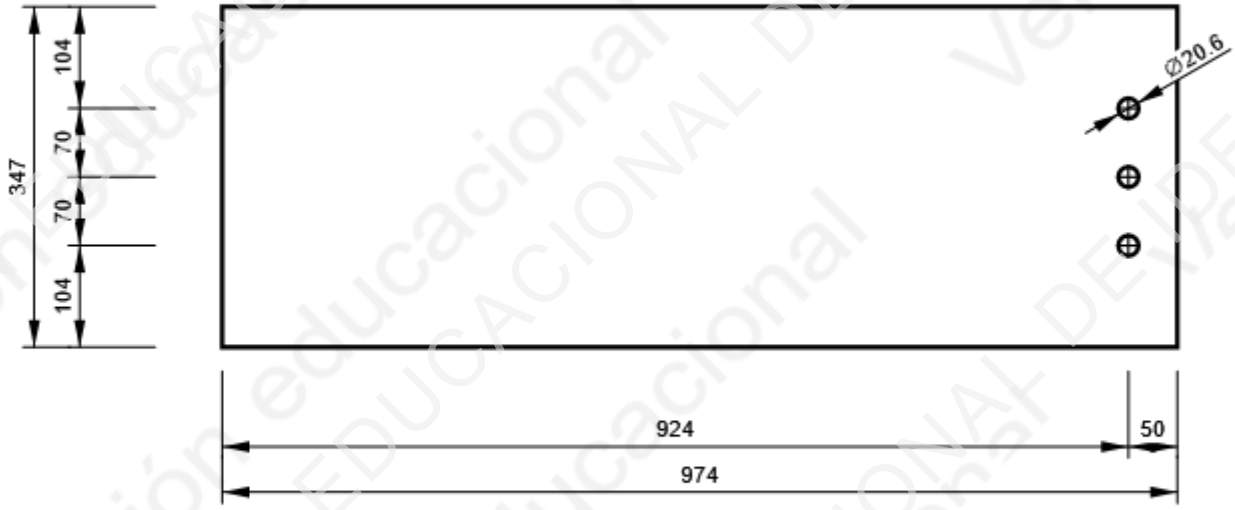

Versión educacional de IDEA StatiCa VERSION EDUCACIONAL

## FP1

**P10.0x275-100 (A36)**



## B, IPE360 - Alma 1:




Versión educacional DE IDEA StatiCa VERSION EDUCACIONAL

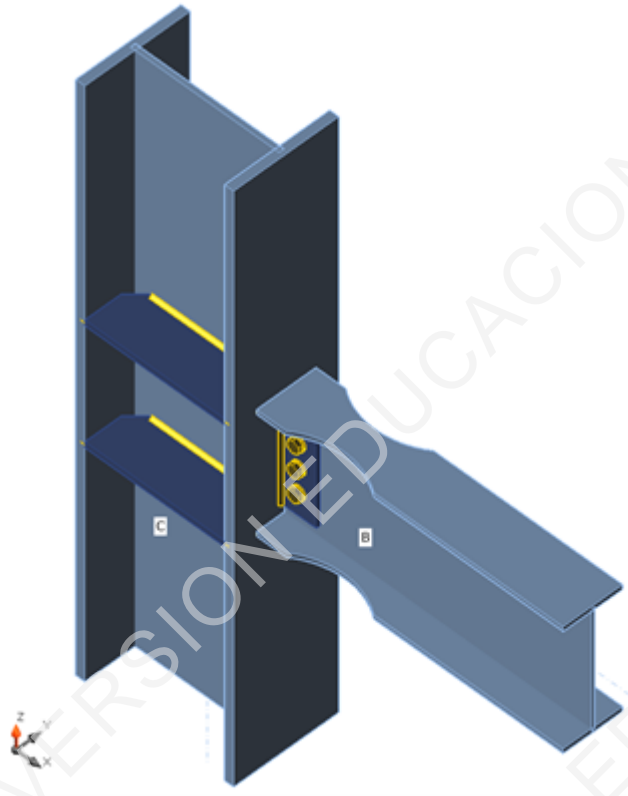
# Ítem del proyecto RBS-360-2

## Diseño

| | |
|---|---|
| Nombre | RBS-360-2 |
| Descripción | Conexion H450-I360 |
| Análisis | Rigidez |
| Normativa de cálculo | AISC - LRFD |

### Elementos estructurales

| Nombre | Sección transversal | β – Dirección [°] | γ - Inclinación [°] | α - Rotación [°] | Desplazamiento ex [mm] | Desplazamiento ey [mm] | Desplazamiento ez [mm] | Fuerzas en |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| C | 7 - HEB450 | 0.0 | -90.0 | 0.0 | 0 | 0 | 0 | Nudo |
| B | 9 - IPE360 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0 | 0 | 0 | Nudo |

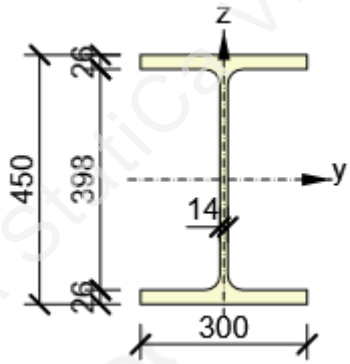
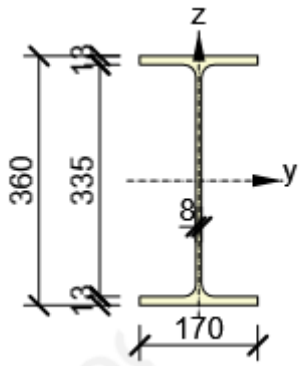



### Secciones

| Nombre | Material |
|---|---|
| 7 - HEB450 | A572 Gr.50 |
| 9 - IPE360 | A572 Gr.50 |

VERSION EDUCACIONAL DE IDEA StatiCa

## Secciones

| Nombre | Material | Dibujo |
|---|---|---|
| 7 - HEB450 | A572 Gr.50 |   |
| 9 - IPE360 | A572 Gr.50 |   |

## Tornillos

| Nombre | Conjunto de tornillo | Diámetro [mm] | fu [MPa] | Área bruta [mm$^2$] |
|---|---|---|---|---|
| 3/4 A325 | 3/4 A325 | 19 | 825.0 | 285 |

## Cargas

| Nombre | Elemento | N [kN] | Vy [kN] | Vz [kN] | Mx [kNm] | My [kNm] | Mz [kNm] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| LE1 | B | 0.0 | 0.0 | -103.0 | 0.0 | 258.0 | 0.0 |

# Verificación

## Rigidez rotacional

| Nombre | Comp. | Cargas | Mj,Rd [kNm] | Sj,ini [MNm/rad] | Φc [rad] | L [m] | Sj,R [MNm/rad] | Sj,P [MNm/rad] | Clase |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| B | My | LE1 | 265.6 | ∞ | 0.072 | 6.00 | 108.5 | 10.8 | Rígido |

## Rigidez rotacional secante

| Nombre | Comp. | Cargas | M [kNm] | Sjs [MNm/rad] | Φ [rad] |
|---|---|---|---|---|---|
| B | My | LE1 | 258.0 | 52.3 | 0.005 |

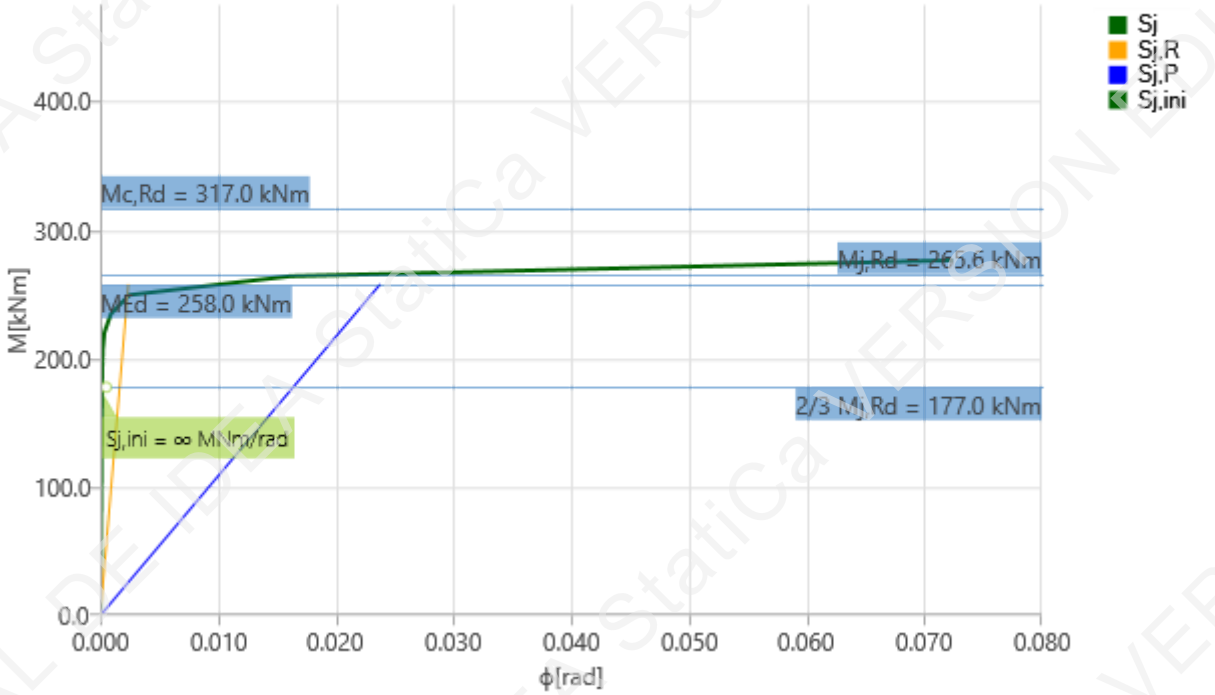



Diagrama de rigidez My - ϕy, LE1

# Listado de material

## Operaciones

| Nombre | Placas [mm] | Forma | Nr. | Soldaduras [mm] | Longitud [mm] | Tornillos | Nr. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| CUT1 | | | | Bisel: a = 12.7<br>Bisel: a = 8.0 | 340.0<br>347.3 | | |
| STIFF1 | P17.0x143.0-398.0 (A572 Gr.50) | | 4 | | | | |
| OPN1 | P12.7x875.0-170.0 (A572 Gr.50) | | 1 | | | | |
| OPN2 | P12.7x875.0-170.0 (A572 Gr.50) | | 1 | | | | |
| FP1 | P10.0x100.0-274.6 (A36) | | 1 | tendón de soldadura simple: a = 5.7 | 274.6 | 3/4 A325 | 3 |

## Soldaduras

| Tipo | Material | Espesor de garganta [mm] | Tamaño de pierna [mm] | Longitud [mm] |
|---|---|---|---|---|
| Bisel | E70xx | - | - | 340.0 |
| Bisel | E70xx | - | - | 347.3 |
| tendón de soldadura simple | E70xx | 5.7 | 8.0 | 274.6 |
| Doble tendón de soldadura | E70xx | 5.7 | 8.0 | 1200.0 |
| Bisel | E70xx | - | - | 840.0 |

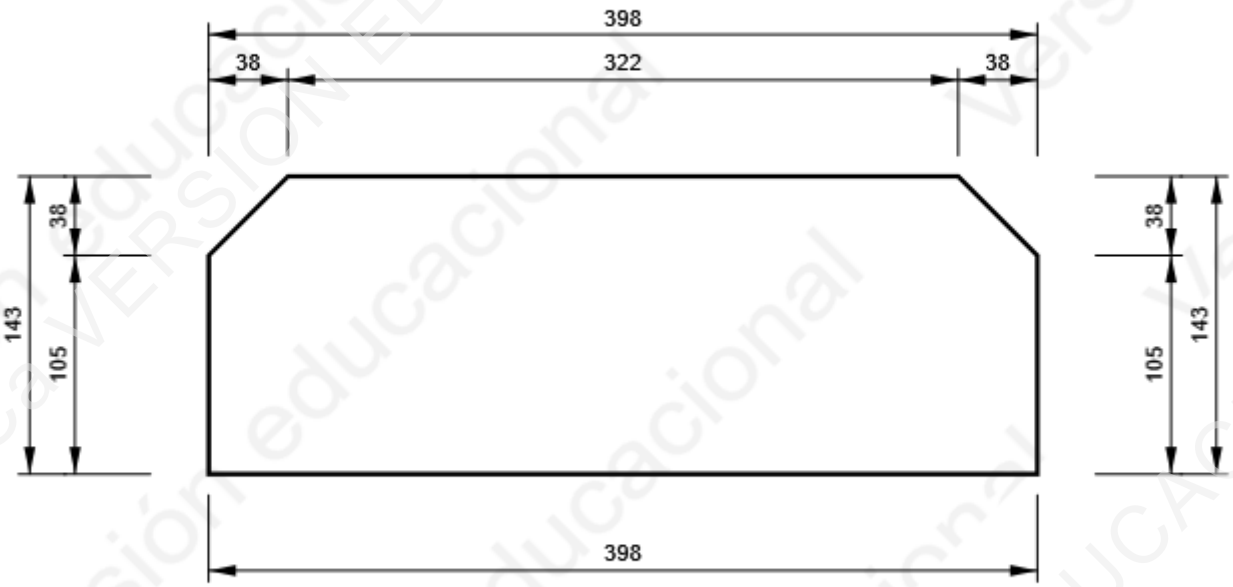
## Tornillos

| Nombre | Longitud de agarre [mm] | Cuenta |
|---|---|---|
| 3/4 A325 | 18 | 3 |

## Dibujo

### STIFF1

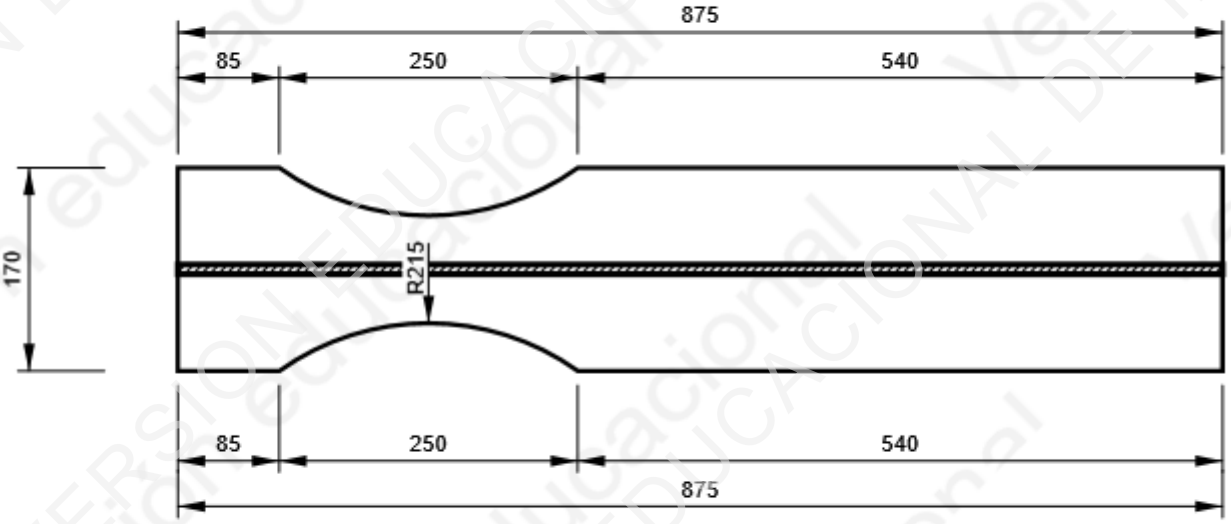
**P17.0x398-143 (A572 Gr.50)**




VERSIÓN EDUCACIONAL DE IDEA StatiCa

## OPN1

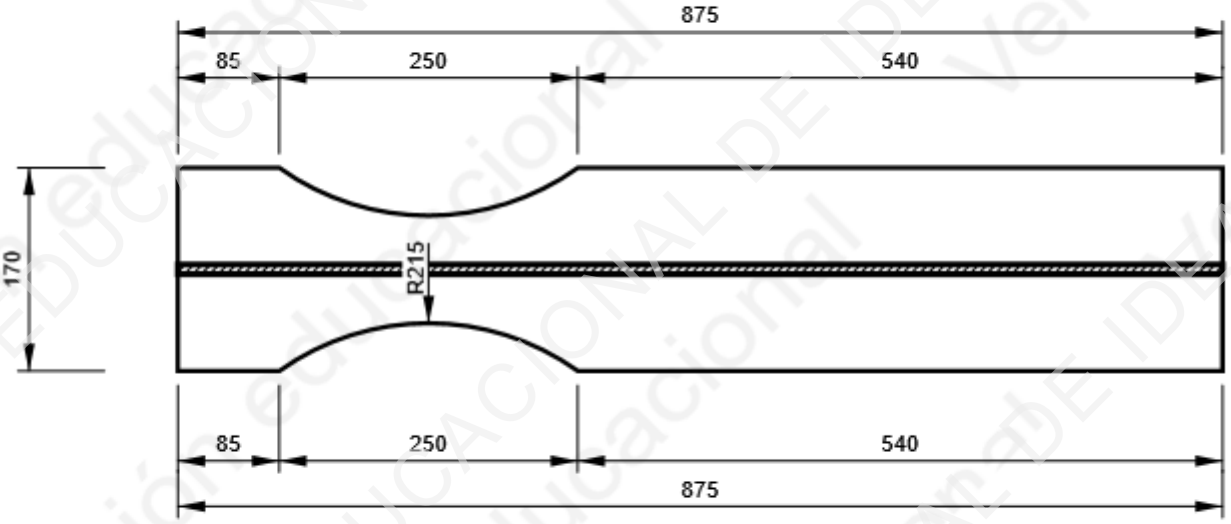
**P12.7x170-875 (A572 Gr.50)**




Versión educacional DE IDEA StatiCa VERSION EDUCACIONAL

## OPN2

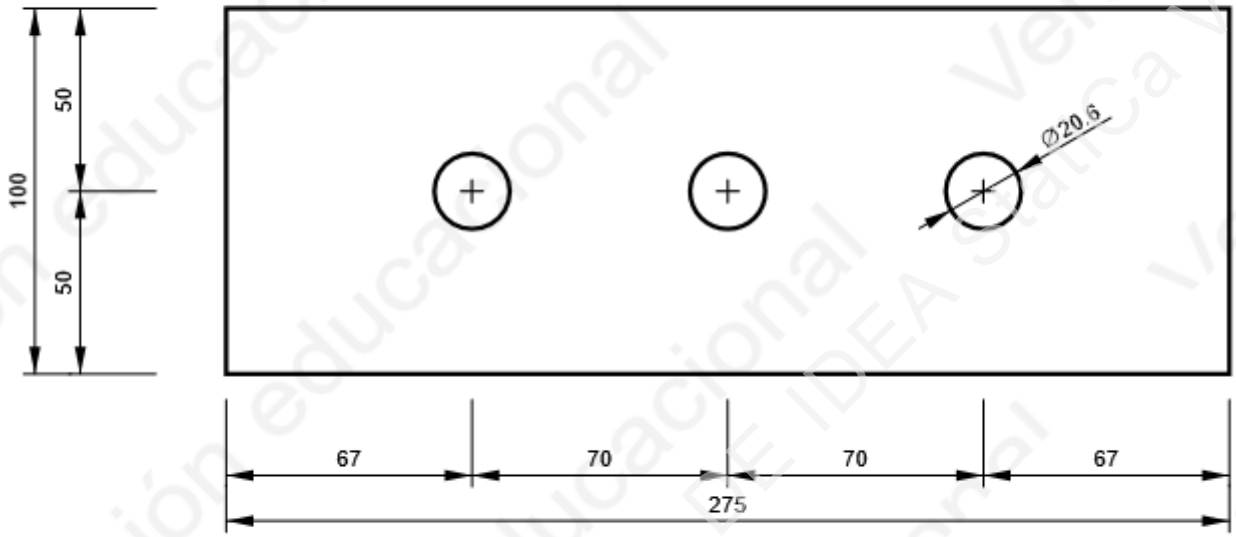
**P12.7x170-875 (A572 Gr.50)**




Versión educacional DE IDEA StatiCa VERSION EDUCACIONAL DE IDEA StatiCa

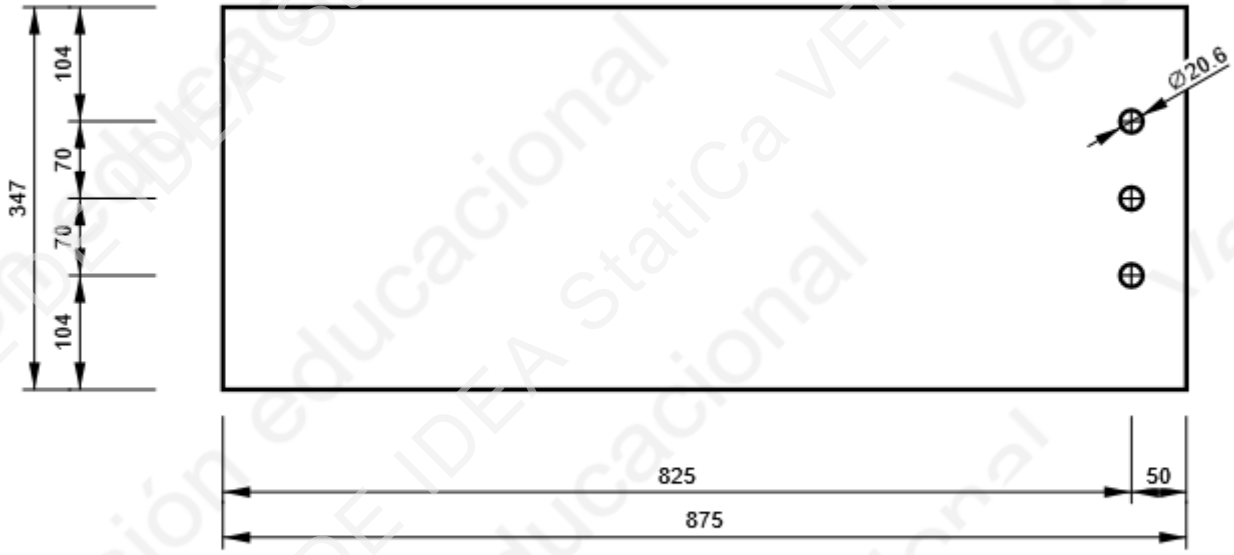
## FP1

**P10.0x275-100 (A36)**




VERSIÓN EDUCACIONAL DE IDEA StatiCa

## B, IPE360 - Alma 1:



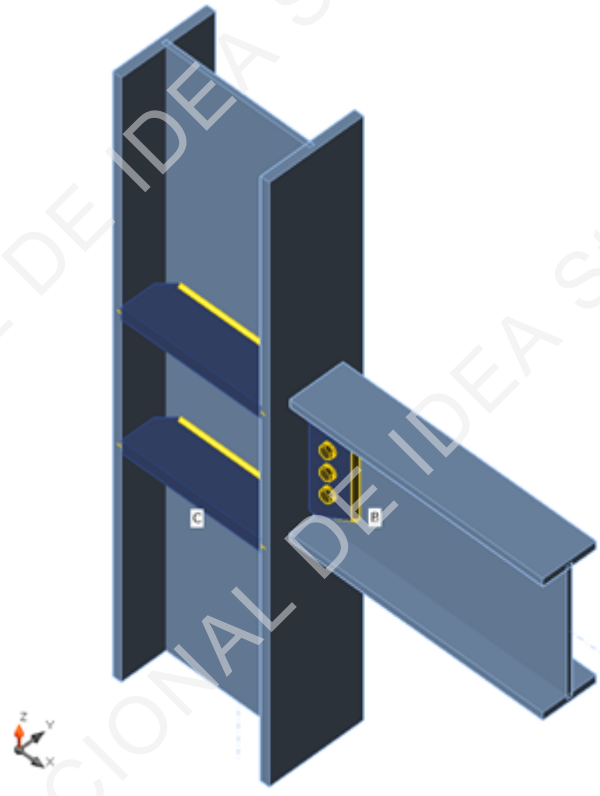
# Ítem del proyecto WUF-450-1

## Diseño

| | |
|---|---|
| Nombre | WUF-450-1 |
| Descripción | Conexion H500-I450 |
| Análisis | Rigidez |
| Normativa de cálculo | AISC - LRFD |

### Elementos estructurales

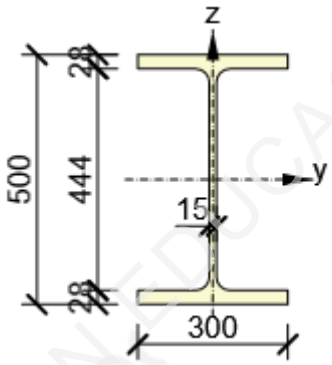
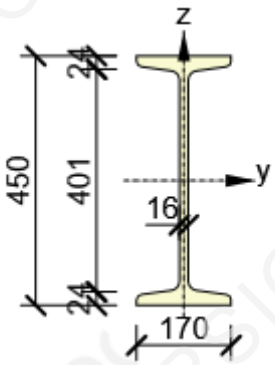
| Nombre | Sección transversal | β – Dirección [°] | γ - Inclinación [°] | α - Rotación [°] | Desplazamiento ex [mm] | Desplazamiento ey [mm] | Desplazamiento ez [mm] | Fuerzas en |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| C | 3 - HEB500 | 0.0 | -90.0 | 0.0 | 0 | 0 | 0 | Nudo |
| B | 4 - IPN450 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0 | 0 | 0 | Nudo |



### Secciones

| Nombre | Material |
|---|---|
| 3 - HEB500 | A572 Gr.50 |
| 4 - IPN450 | A36 |

## Secciones

| Nombre | Material | Dibujo |
|---|---|---|
| 3 - HEB500 | A572 Gr.50 |   |
| 4 - IPN450 | A36 |   |

## Tornillos

| Nombre | Conjunto de tornillo | Diámetro [mm] | fu [MPa] | Área bruta [mm$^2$] |
|---|---|---|---|---|
| 3/4 A325 | 3/4 A325 | 19 | 825.0 | 285 |

## Cargas

| Nombre | Elemento | N [kN] | Vy [kN] | Vz [kN] | Mx [kNm] | My [kNm] | Mz [kNm] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| LE1 | B | 0.0 | 0.0 | -450.0 | 0.0 | 1085.0 | 0.0 |

# Verificación

## Rigidez rotacional

| Nombre | Comp. | Cargas | Mj,Rd [kNm] | Sj,ini [MNm/rad] | Φc [rad] | L [m] | Sj,R [MNm/rad] | Sj,P [MNm/rad] | Clase |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| B | My | LE1 | 698.9 | ∞ | 0.150 | 6.00 | 305.7 | 30.6 | Rígido |

## Rigidez rotacional secante

| Nombre | Comp. | Cargas | M [kNm] | Sjs [MNm/rad] | Φ [rad] |
|---|---|---|---|---|---|
| B | My | LE1 | 1085.0 | 0.0 | 1.893 |

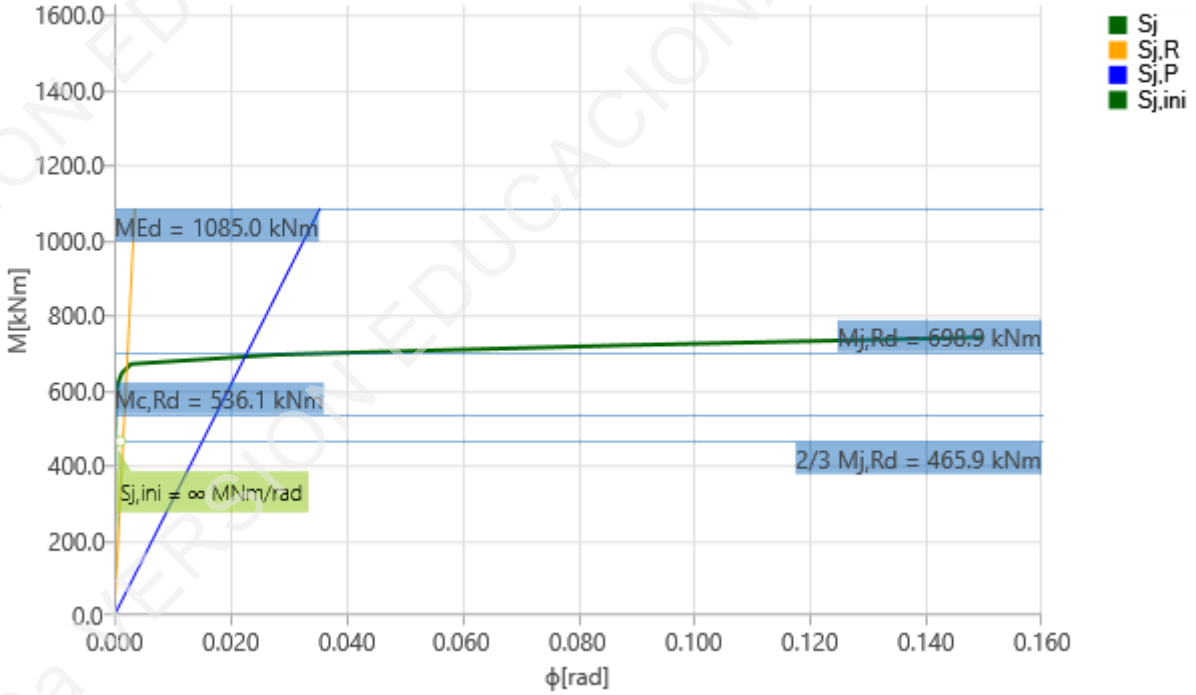



Diagrama de rigidez My - ϕy, LE1

## Listado de material

### Operaciones

| Nombre | Placas [mm] | Forma | Nr. | Soldaduras [mm] | Longitud [mm] | Tornillos | Nr. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| CUT1 | | | | Bisel: a = 24.3<br>Bisel: a = 16.2 | 340.0<br>425.7 | | |
| STIFF1 | P40.0x142.7-444.0 (A572 Gr.55) | | 4 | | | | |
| FP1 | P15.0x132.8-341.7 (A572 Gr.50) | | 1 | Bisel: a = 15.0 | 341.7 | 3/4 A325 | 3 |

IDEA StatiCa VERSIÓN EDUCACIONAL DE IDEA StatiCa

## Soldaduras

| Tipo | Material | Espesor de garganta [mm] | Tamaño de pierna [mm] | Longitud [mm] |
|---|---|---|---|---|
| Bisel | E70xx | - | - | 340.0 |
| Bisel | E70xx | - | - | 425.7 |
| Bisel | E70xx | - | - | 341.7 |
| Doble tendón de soldadura | E70xx | 5.7 | 8.0 | 1400.0 |
| Bisel | E70xx | - | - | 838.0 |
| tendón de soldadura simple | E70xx | 9.2 | 13.0 | 149.0 |
| tendón de soldadura simple | E70xx | 9.2 | 13.0 | 217.5 |

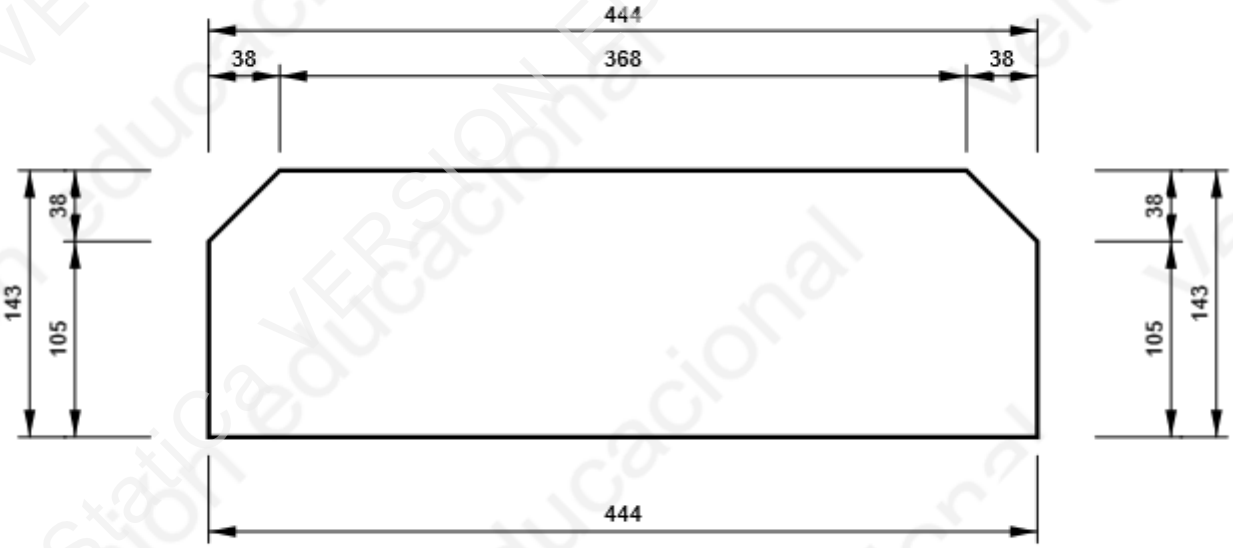
## Tornillos

| Nombre | Longitud de agarre [mm] | Cuenta |
|---|---|---|
| 3/4 A325 | 31 | 3 |

## Dibujo

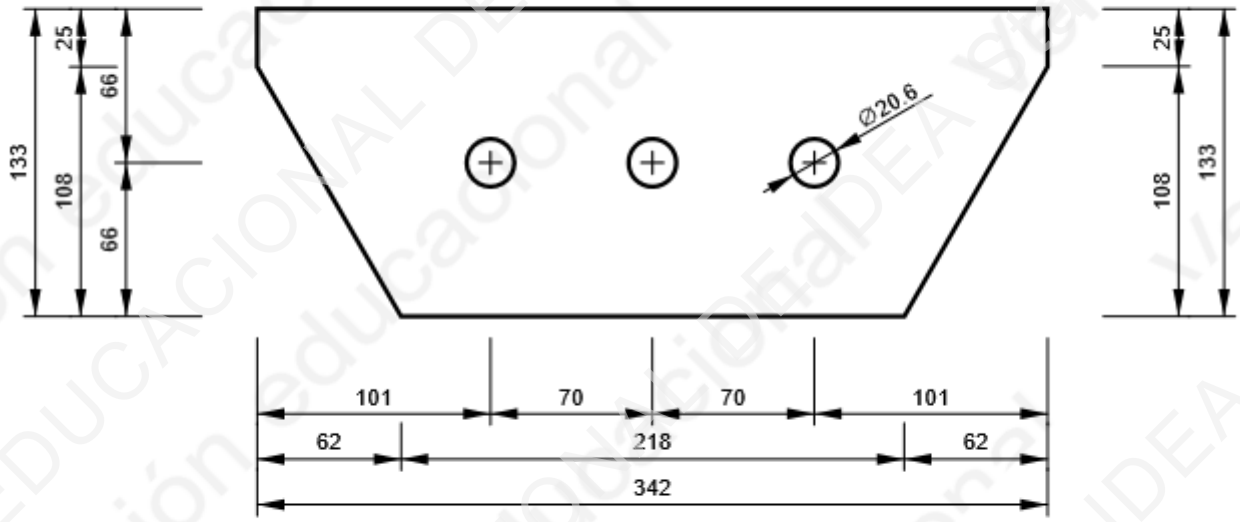
## STIFF1

**P40.0x444-143 (A572 Gr.55)**

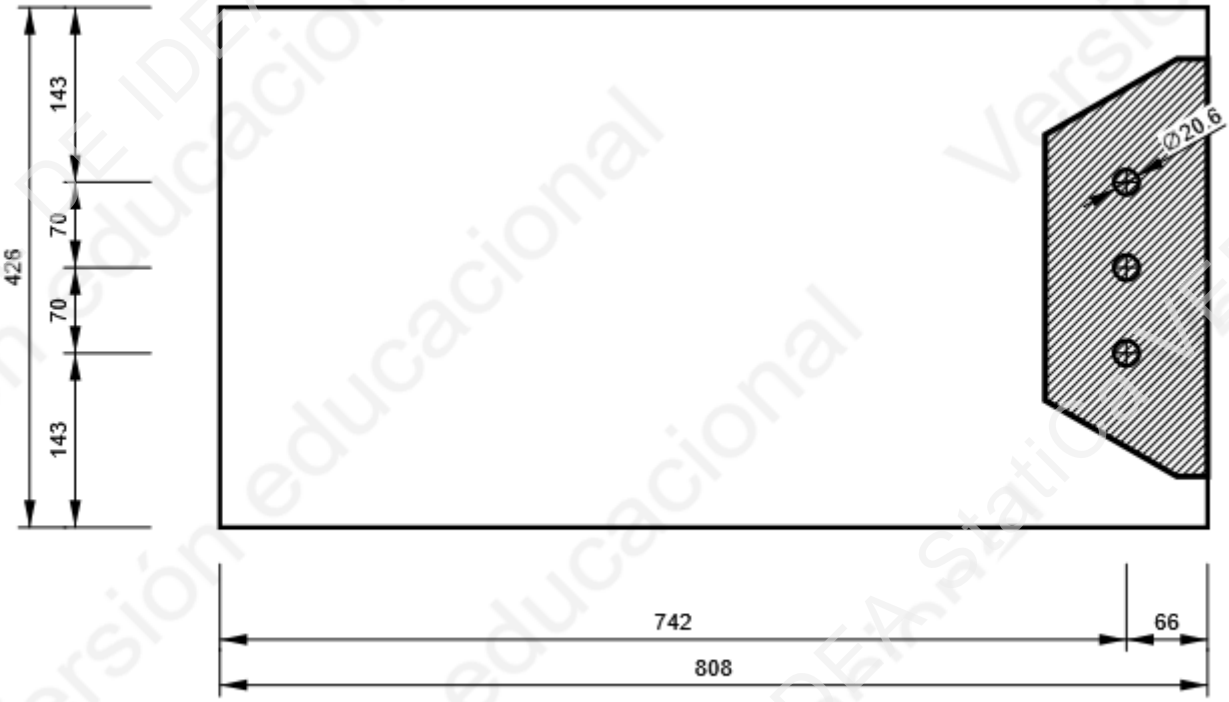


## FP1

**P15.0x342-133 (A572 Gr.50)**



## B, IPN450 - Alma 1:



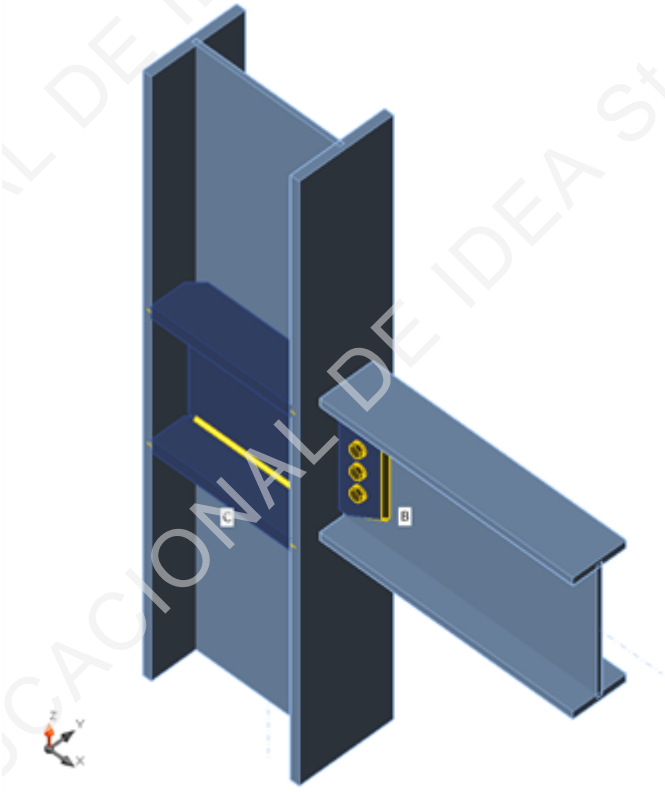
# Ítem del proyecto WUF-450-2

## Diseño

| | |
|---|---|
| Nombre | WUF-450-2 |
| Descripción | Conexion H500-I450 |
| Análisis | Rigidez |
| Normativa de cálculo | AISC - LRFD |

### Elementos estructurales

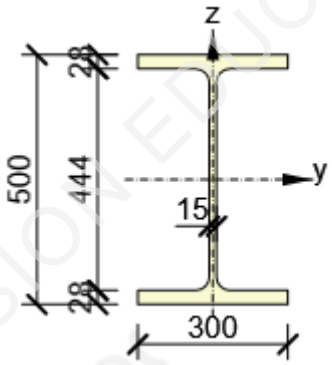
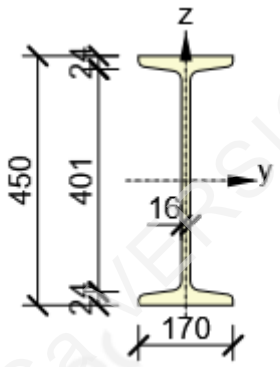
| Nombre | Sección transversal | β – Dirección [°] | γ - Inclinación [°] | α - Rotación [°] | Desplazamiento ex [mm] | Desplazamiento ey [mm] | Desplazamiento ez [mm] | Fuerzas en |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| C | 3 - HEB500 | 0.0 | -90.0 | 0.0 | 0 | 0 | 0 | Nudo |
| B | 4 - IPN450 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0 | 0 | 0 | Nudo |



### Secciones

| Nombre | Material |
|---|---|
| 3 - HEB500 | A572 Gr.50 |
| 4 - IPN450 | A36 |

## Secciones

| Nombre | Material | Dibujo |
|---|---|---|
| 3 - HEB500 | A572 Gr.50 |   |
| 4 - IPN450 | A36 |   |

## Tornillos

| Nombre | Conjunto de tornillo | Diámetro [mm] | fu [MPa] | Área bruta [mm$^2$] |
|---|---|---|---|---|
| 3/4 A325 | 3/4 A325 | 19 | 825.0 | 285 |

## Cargas

| Nombre | Elemento | N [kN] | Vy [kN] | Vz [kN] | Mx [kNm] | My [kNm] | Mz [kNm] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| LE1 | B | 0.0 | 0.0 | -450.0 | 0.0 | 1085.0 | 0.0 |

# Verificación

## Rigidez rotacional

| Nombre | Comp. | Cargas | Mj,Rd [kNm] | Sj,ini [MNm/rad] | Φc [rad] | L [m] | Sj,R [MNm/rad] | Sj,P [MNm/rad] | Clase |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| B | My | LE1 | 698.9 | ∞ | 0.138 | 6.00 | 305.7 | 30.6 | Rígido |

## Rigidez rotacional secante

| Nombre | Comp. | Cargas | M [kNm] | Sjs [MNm/rad] | Φ [rad] |
|---|---|---|---|---|---|
| B | My | LE1 | 1085.0 | 0.0 | 1.883 |

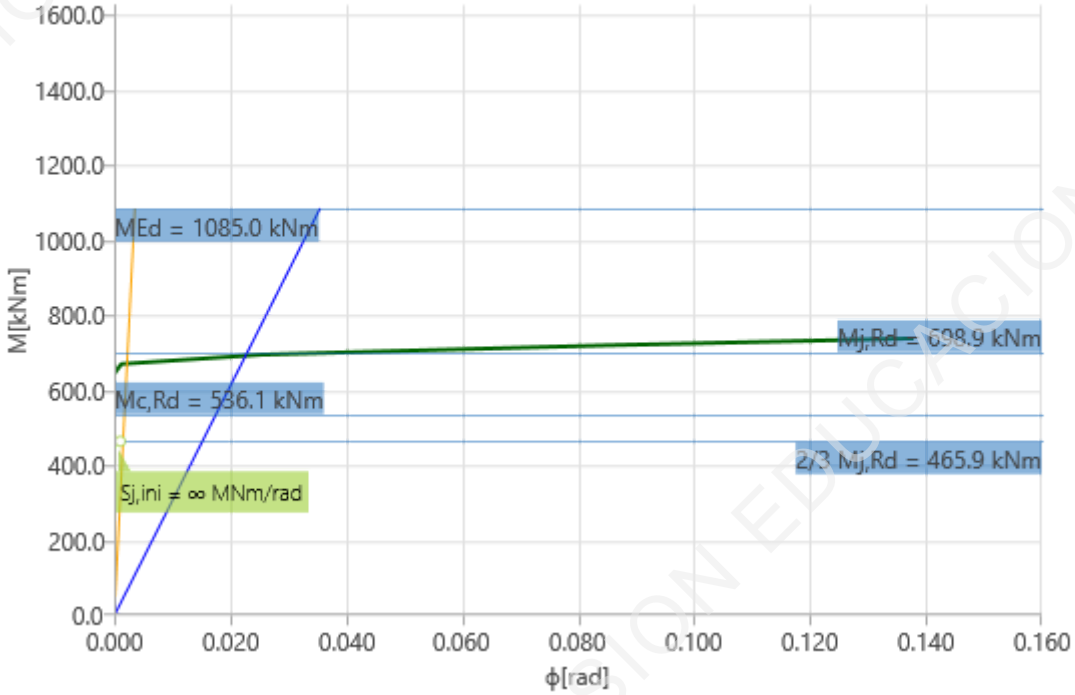
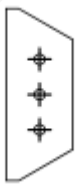



Diagrama de rigidez My - ϕy, LE1

## Listado de material

### Operaciones

| Nombre | Placas [mm] | Forma | Nr. | Soldaduras [mm] | Longitud [mm] | Tornillos | Nr. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| CUT1 | | | | Bisel: a = 24.3<br>Bisel: a = 16.2 | 340.0<br>425.7 | | |
| STIFF1 | P40.0x142.7-444.0 (A572 Gr.55) | | 4 | Bisel: a = 28.0<br>Bisel: a = 14.5 | 838.0<br>1472.0 | | |
| FP1 | P15.0x132.8-341.7 (A572 Gr.50) |  | 1 | Bisel: a = 15.0 | 341.7 | 3/4 A325 | 3 |
| SP 1 | P25.0x444.0-384.0 (A572 Gr.50) | | 1 | | | | |

## Soldaduras

| Tipo | Material | Espesor de garganta [mm] | Tamaño de pierna [mm] | Longitud [mm] |
|---|---|---|---|---|
| Bisel | E70xx | - | - | 340.0 |
| Bisel | E70xx | - | - | 425.7 |
| Bisel | E70xx | - | - | 838.0 |
| Bisel | E70xx | - | - | 1472.0 |
| Bisel | E70xx | - | - | 341.7 |
| tendón de soldadura simple | E70xx | 9.2 | 13.0 | 149.0 |
| tendón de soldadura simple | E70xx | 9.2 | 13.0 | 217.5 |
| Bisel | E70xx | - | - | 768.0 |
| tendón de soldadura simple | E70xx | 5.7 | 8.0 | 786.0 |

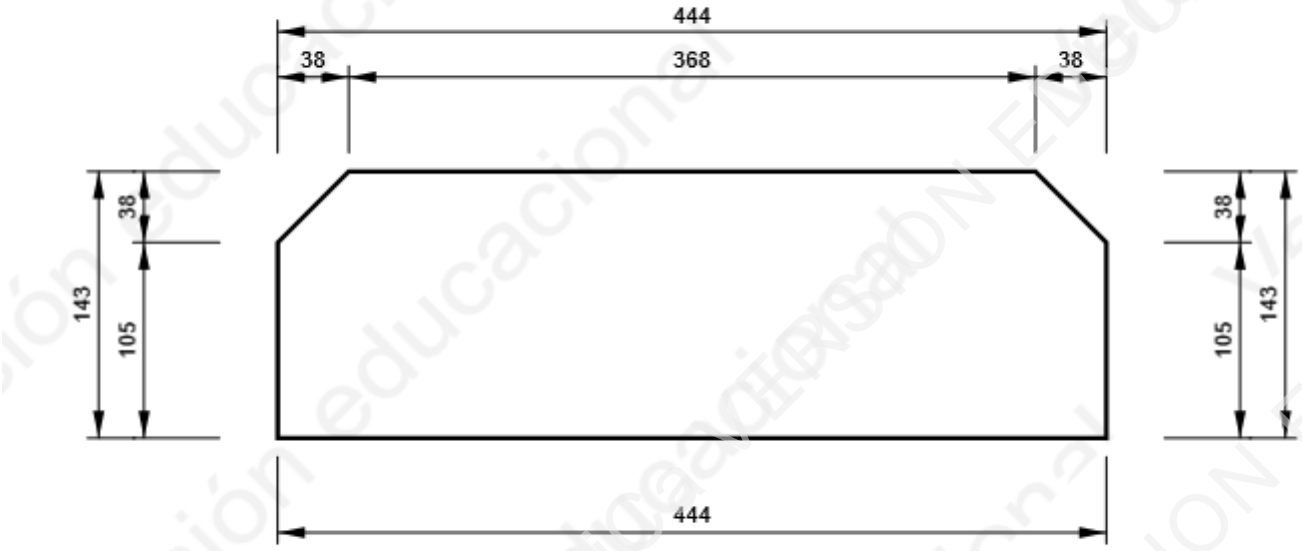
## Tornillos

| Nombre | Longitud de agarre [mm] | Cuenta |
|---|---|---|
| 3/4 A325 | 31 | 3 |

## Dibujo

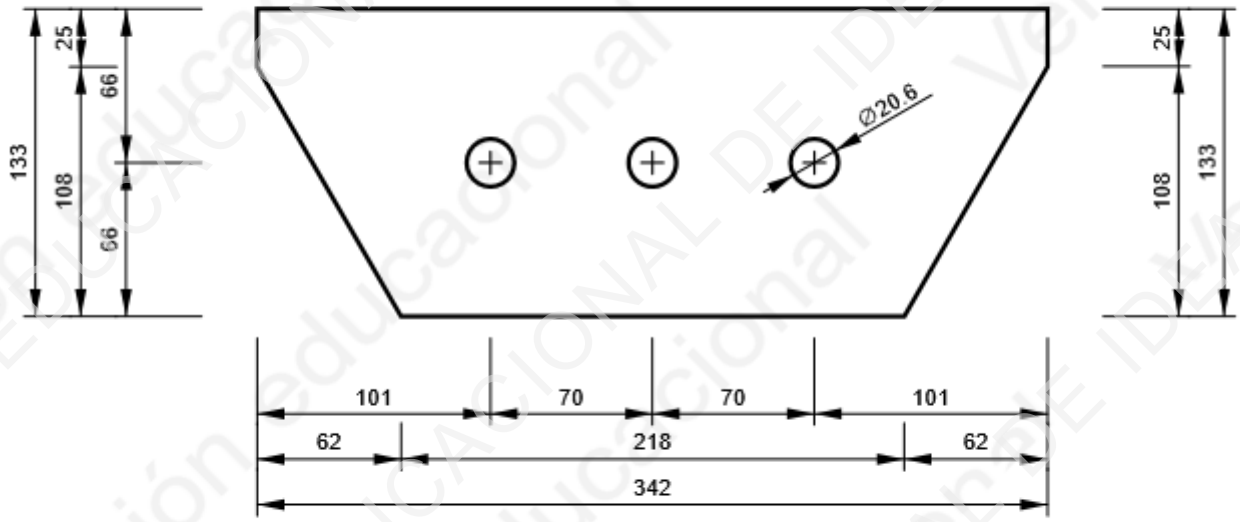
## STIFF1

**P40.0x444-143 (A572 Gr.55)**



## FP1

**P15.0x342-133 (A572 Gr.50)**



## SP 1

**P25.0x384-444 (A572 Gr.50)**

VERSIÓN EDUCACIONAL DE IDEA StatiCa

## B, IPN450 - Alma 1:

Versión educacional
EDUCACIONAL DE IDEA StatiCa

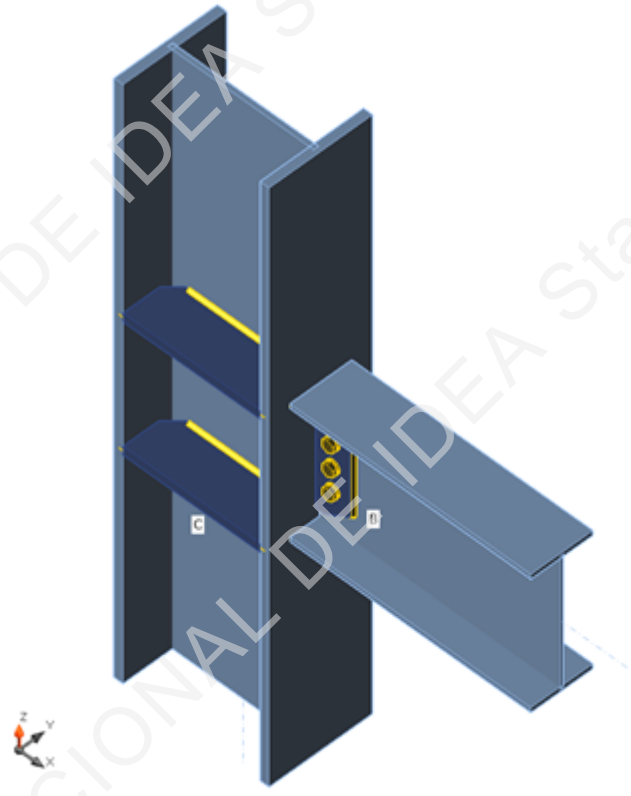
# Ítem del proyecto WUF-400-1

## Diseño

| | |
|---|---|
| Nombre | WUF-400-1 |
| Descripción | Conexion H500-I400 |
| Análisis | Rigidez |
| Normativa de cálculo | AISC - LRFD |

### Elementos estructurales

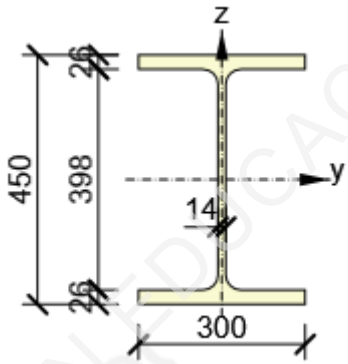
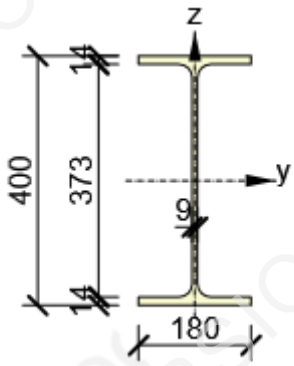
| Nombre | Sección transversal | β – Dirección [°] | γ - Inclinación [°] | α - Rotación [°] | Desplazamiento ex [mm] | Desplazamiento ey [mm] | Desplazamiento ez [mm] | Fuerzas en |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| C | 7 - HEB450 | 0.0 | -90.0 | 0.0 | 0 | 0 | 0 | Nudo |
| B | 8 - IPE400 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0 | 0 | 0 | Nudo |



### Secciones

| Nombre | Material |
|---|---|
| 7 - HEB450 | A572 Gr.50 |
| 8 - IPE400 | A36 |

## Secciones

| Nombre | Material | Dibujo |
|---|---|---|
| 7 - HEB450 | A572 Gr.50 |   |
| 8 - IPE400 | A36 |   |

## Tornillos

| Nombre | Conjunto de tornillo | Diámetro [mm] | fu [MPa] | Área bruta [mm$^2$] |
|---|---|---|---|---|
| 3/4 A325 | 3/4 A325 | 19 | 825.0 | 285 |

## Cargas

| Nombre | Elemento | N [kN] | Vy [kN] | Vz [kN] | Mx [kNm] | My [kNm] | Mz [kNm] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| LE1 | B | 0.0 | 0.0 | -265.0 | 0.0 | 590.0 | 0.0 |

# Verificación

## Rigidez rotacional

| Nombre | Comp. | Cargas | Mj,Rd [kNm] | Sj,ini [MNm/rad] | Φc [rad] | L [m] | Sj,R [MNm/rad] | Sj,P [MNm/rad] | Clase |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| B | My | LE1 | 347.5 | ∞ | 0.111 | 6.00 | 154.2 | 15.4 | Rígido |

## Rigidez rotacional secante

| Nombre | Comp. | Cargas | M [kNm] | Sjs [MNm/rad] | Φ [rad] |
|---|---|---|---|---|---|
| B | My | LE1 | 590.0 | 0.0 | 2.376 |

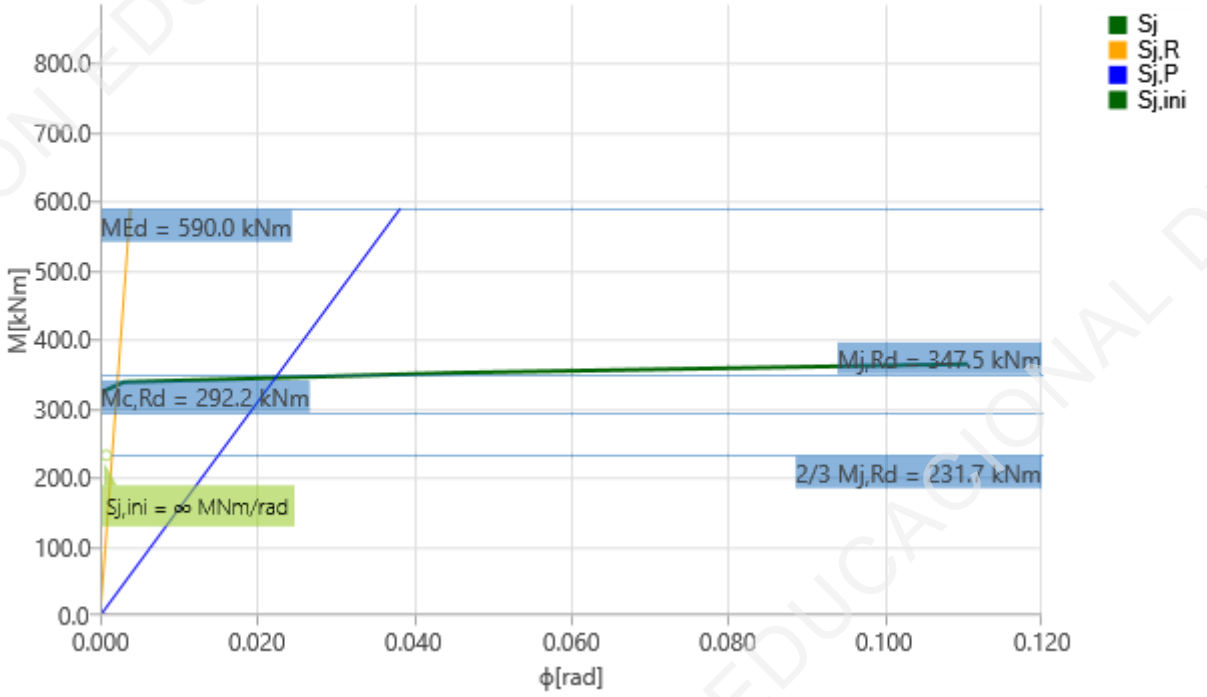



Diagrama de rigidez My - ϕy, LE1

## Listado de material

### Operaciones

| Nombre | Placas [mm] | Forma | Nr. | Soldaduras [mm] | Longitud [mm] | Tornillos | Nr. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| CUT1 | | | | Bisel: a = 13.5<br>Bisel: a = 8.6 | 360.0<br>386.5 | | |
| STIFF1 | P26.0x143.0-398.0 (A572 Gr.50) | | 4 | | | | |
| FP1 | P10.0x100.0-312.0 (A36) | | 1 | Bisel: a = 10.0 | 312.0 | 3/4 A325 | 3 |

## Soldaduras

| Tipo | Material | Espesor de garganta [mm] | Tamaño de pierna [mm] | Longitud [mm] |
|---|---|---|---|---|
| Bisel | E70xx | - | - | 360.0 |
| Bisel | E70xx | - | - | 386.5 |
| Bisel | E70xx | - | - | 312.0 |
| Doble tendón de soldadura | E70xx | 5.7 | 8.0 | 1200.0 |
| Bisel | E70xx | - | - | 840.0 |
| tendón de soldadura simple | E70xx | 5.7 | 8.0 | 224.4 |
| tendón de soldadura simple | E70xx | 5.7 | 8.0 | 75.4 |

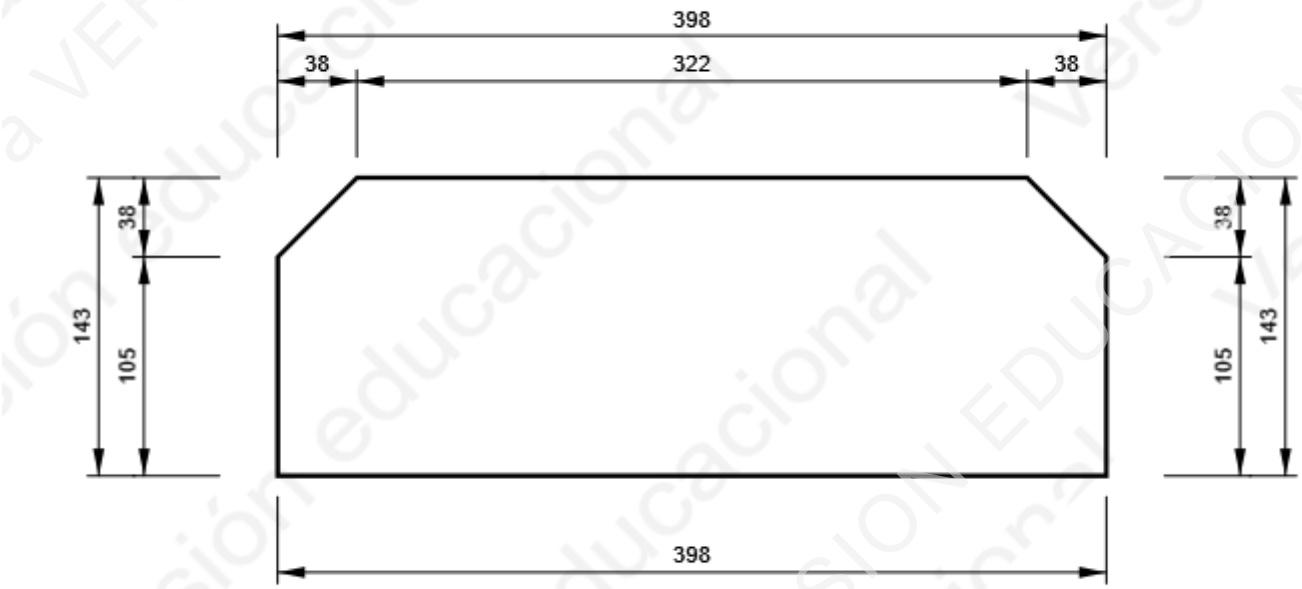
## Tornillos

| Nombre | Longitud de agarre [mm] | Cuenta |
|---|---|---|
| 3/4 A325 | 19 | 3 |

## Dibujo

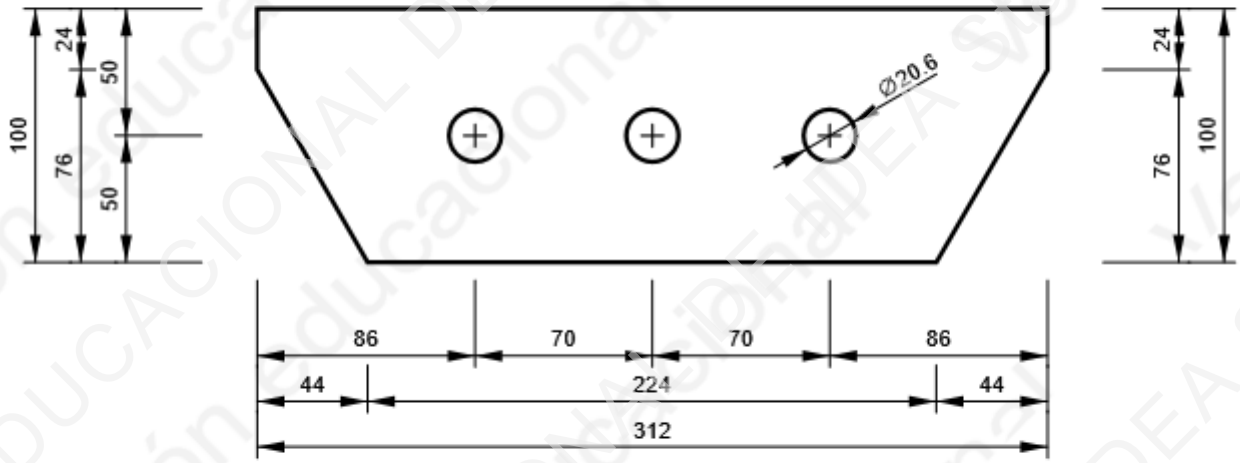
## STIFF1

**P26.0x398-143 (A572 Gr.50)**



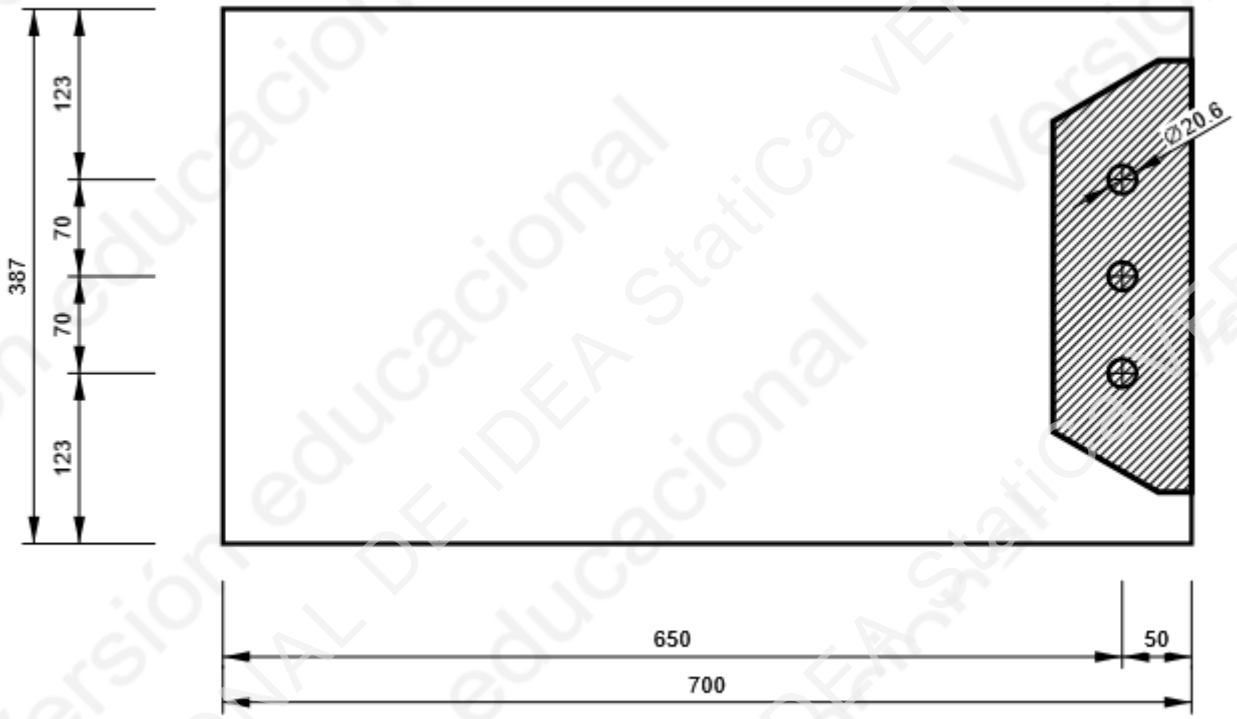
## FP1

**P10.0x312-100 (A36)**




VERSIÓN EDUCACIONAL DE IDEA StatiCa

## B, IPE400 - Alma 1:




Versión educacional
VERSION EDUCACIONAL DE IDEA StatiCa

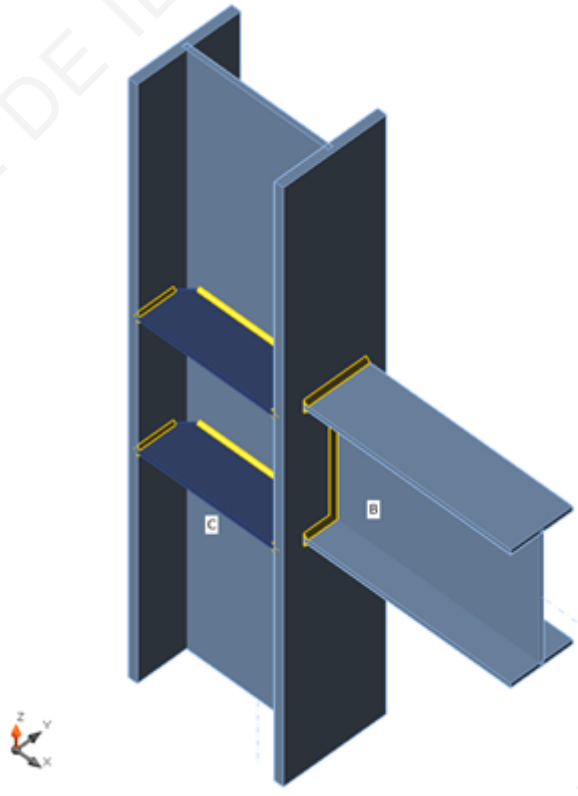
# Ítem del proyecto WUF-400-2

## Diseño

| | |
|---|---|
| Nombre | WUF-400-2 |
| Descripción | Conexion H500-I400 |
| Análisis | Rigidez |
| Normativa de cálculo | AISC - LRFD |

### Elementos estructurales

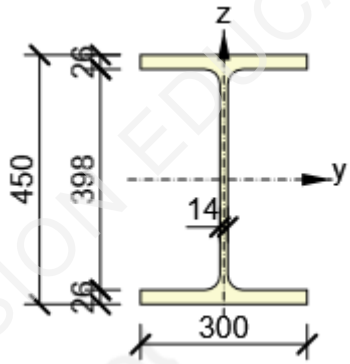
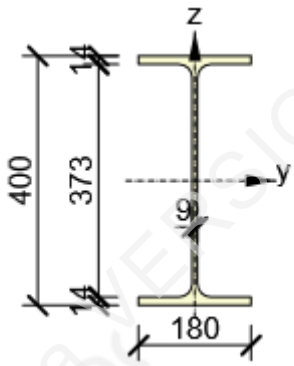
| Nombre | Sección transversal | β – Dirección [°] | γ - Inclinación [°] | α - Rotación [°] | Desplazamiento ex [mm] | Desplazamiento ey [mm] | Desplazamiento ez [mm] | Fuerzas en |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| C | 7 - HEB450 | 0.0 | -90.0 | 0.0 | 0 | 0 | 0 | Nudo |
| B | 8 - IPE400 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0 | 0 | 0 | Nudo |




### Secciones

| Nombre | Material |
|---|---|
| 7 - HEB450 | A572 Gr.50 |
| 8 - IPE400 | A36 |

## Secciones

| Nombre | Material | Dibujo |
|---|---|---|
| 7 - HEB450 | A572 Gr.50 |   |
| 8 - IPE400 | A36 |   |

## Cargas

| Nombre | Elemento | N [kN] | Vy [kN] | Vz [kN] | Mx [kNm] | My [kNm] | Mz [kNm] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| LE1 | B | 0.0 | 0.0 | -265.0 | 0.0 | 590.0 | 0.0 |

# Verificación

## Rigidez rotacional

| Nombre | Comp. | Cargas | Mj,Rd [kNm] | Sj,ini [MNm/rad] | Φc [rad] | L [m] | Sj,R [MNm/rad] | Sj,P [MNm/rad] | Clase |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| B | My | LE1 | 328.9 | ∞ | 0.093 | 6.00 | 154.2 | 15.4 | Rígido |

## Rigidez rotacional secante

| Nombre | Comp. | Cargas | M [kNm] | Sjs [MNm/rad] | Φ [rad] |
|---|---|---|---|---|---|
| B | My | LE1 | 590.0 | 0.0 | 2.320 |

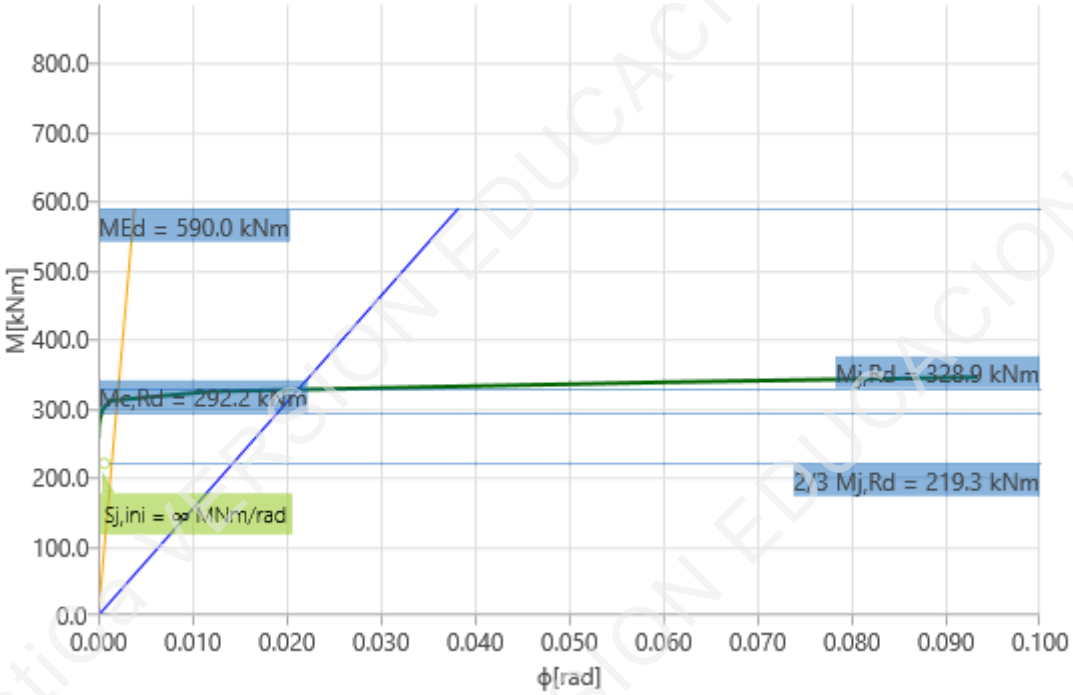



Diagrama de rigidez My - ϕy, LE1

## Listado de material

### Operaciones

| Nombre | Placas [mm] | Forma | Nr. | Soldaduras [mm] | Longitud [mm] | Tornillos | Nr. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| CUT1 | | | | Doble tendón de soldadura: a = 8.5 | 746.5 | | |
| STIFF1 | P14.0x143.0-398.0 (A572 Gr.50) | | 4 | Doble tendón de soldadura: a = 5.7 | 2128.0 | | |

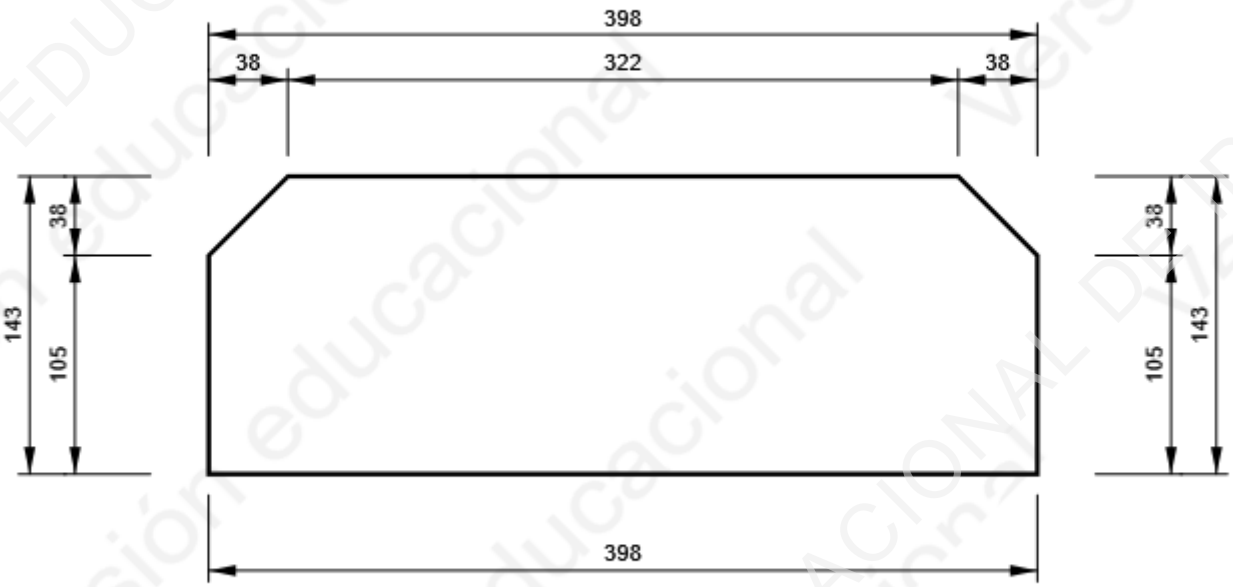
### Soldaduras

| Tipo | Material | Espesor de garganta [mm] | Tamaño de pierna [mm] | Longitud [mm] |
|---|---|---|---|---|
| Doble tendón de soldadura | E70xx | 8.5 | 12.0 | 746.5 |
| Doble tendón de soldadura | E70xx | 5.7 | 8.0 | 2128.0 |

### Dibujo

### STIFF1

**P14.0x398-143 (A572 Gr.50)**




IDEA StatiCa VERSION EDUCACIONAL

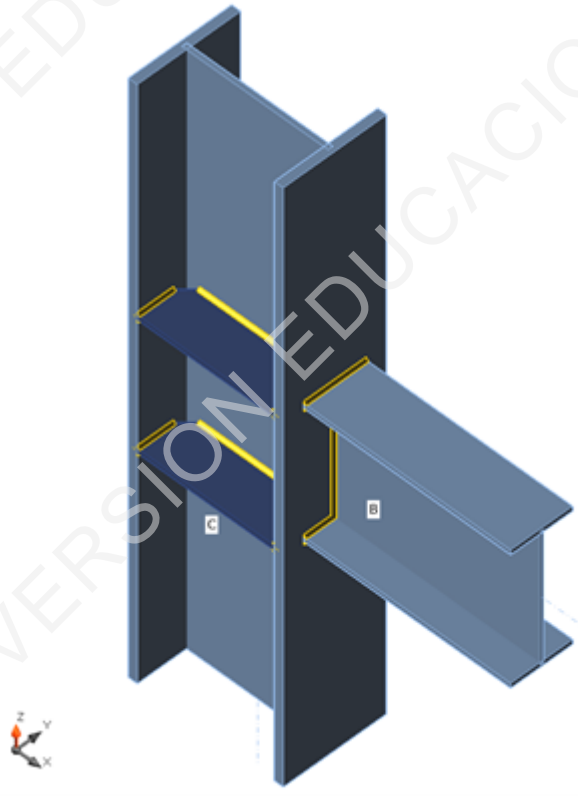
# Ítem del proyecto WUF-400-3

## Diseño

| | |
|---|---|
| Nombre | WUF-400-3 |
| Descripción | Conexion H500-I400 |
| Análisis | Rigidez |
| Normativa de cálculo | AISC - LRFD |

### Elementos estructurales

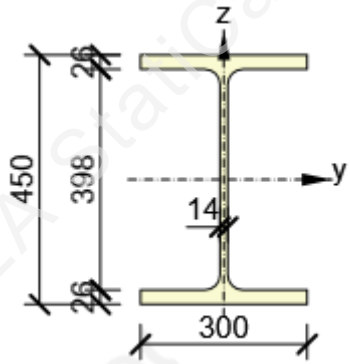
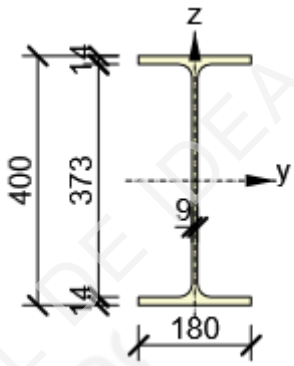
| Nombre | Sección transversal | β – Dirección [°] | γ - Inclinación [°] | α - Rotación [°] | Desplazamiento ex [mm] | Desplazamiento ey [mm] | Desplazamiento ez [mm] | Fuerzas en |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| C | 7 - HEB450 | 0.0 | -90.0 | 0.0 | 0 | 0 | 0 | Nudo |
| B | 8 - IPE400 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0 | 0 | 0 | Nudo |




### Secciones

| Nombre | Material |
|---|---|
| 7 - HEB450 | A572 Gr.50 |
| 8 - IPE400 | A36 |

## Secciones

| Nombre | Material | Dibujo |
|---|---|---|
| 7 - HEB450 | A572 Gr.50 |   |
| 8 - IPE400 | A36 |   |

## Cargas

| Nombre | Elemento | N [kN] | Vy [kN] | Vz [kN] | Mx [kNm] | My [kNm] | Mz [kNm] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| LE1 | B | 0.0 | 0.0 | -265.0 | 0.0 | 590.0 | 0.0 |

# Verificación

## Rigidez rotacional

| Nombre | Comp. | Cargas | Mj,Rd [kNm] | Sj,ini [MNm/rad] | Φc [rad] | L [m] | Sj,R [MNm/rad] | Sj,P [MNm/rad] | Clase |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| B | My | LE1 | 301.8 | ∞ | 0.007 | 6.00 | 154.2 | 15.4 | Rígido |

## Rigidez rotacional secante

| Nombre | Comp. | Cargas | M [kNm] | Sjs [MNm/rad] | Φ [rad] |
|---|---|---|---|---|---|
| B | My | LE1 | 590.0 | 0.0 | 2.324 |

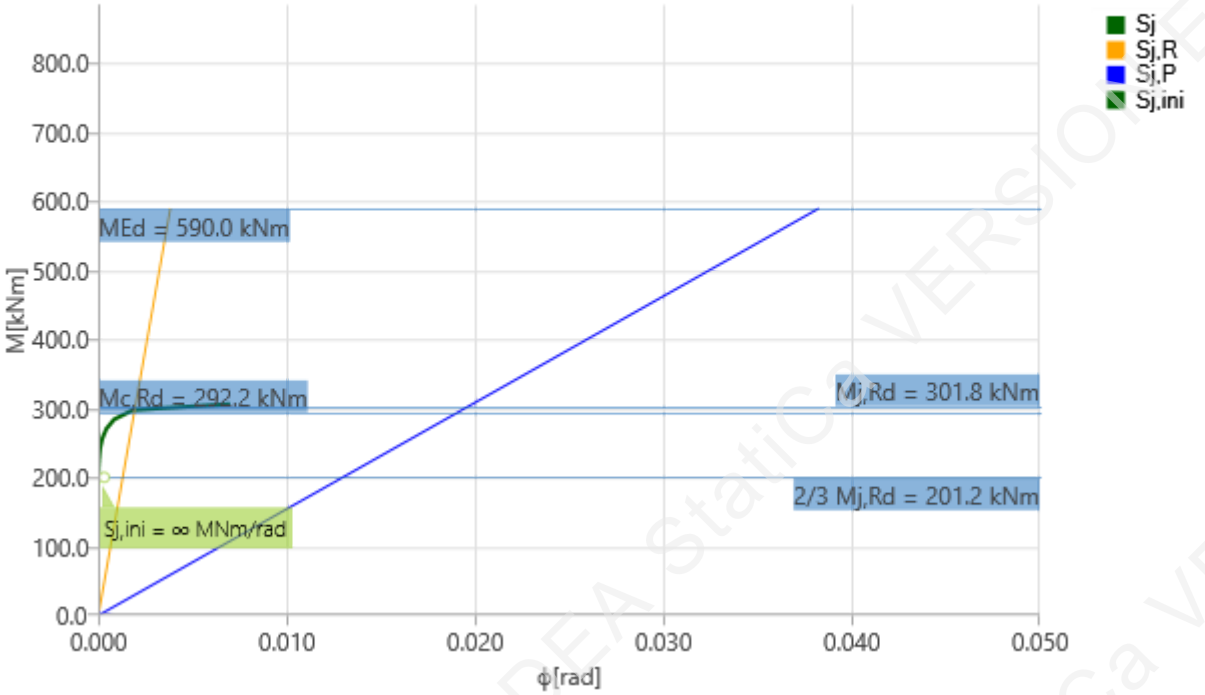



Diagrama de rigidez My - ϕy, LE1

## Listado de material

### Operaciones

| Nombre | Placas [mm] | Forma | Nr. | Soldaduras [mm] | Longitud [mm] | Tornillos | Nr. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| CUT1 | | | | Doble tendón de soldadura: a = 5.7 | 746.5 | | |
| STIFF1 | P14.0x143.0-398.0 (A572 Gr.50) | | 4 | Doble tendón de soldadura: a = 5.7 | 2128.0 | | |

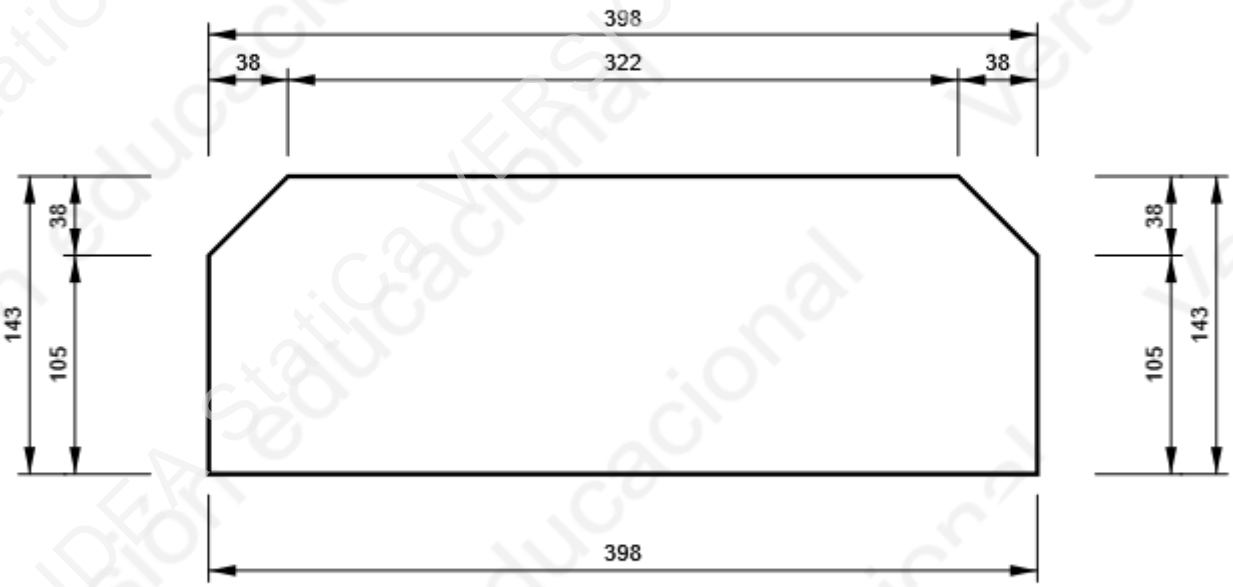
### Soldaduras

| Tipo | Material | Espesor de garganta [mm] | Tamaño de pierna [mm] | Longitud [mm] |
|---|---|---|---|---|
| Doble tendón de soldadura | E70xx | 5.7 | 8.0 | 2874.5 |

### Dibujo

### STIFF1

**P14.0x398-143 (A572 Gr.50)**



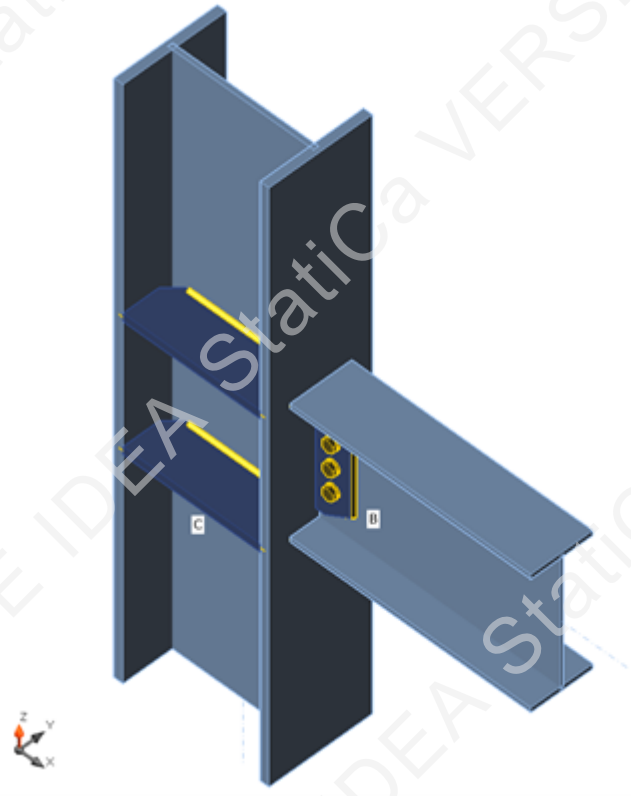
# Ítem del proyecto WUF-360-1

## Diseño

| | |
|---|---|
| Nombre | WUF-360-1 |
| Descripción | Conexion H450-I360 |
| Análisis | Rigidez |
| Normativa de cálculo | AISC - LRFD |

### Elementos estructurales

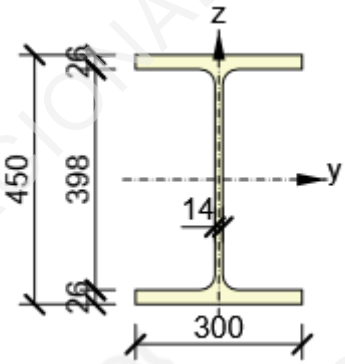
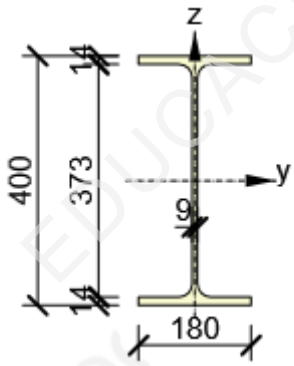
| Nombre | Sección transversal | β – Dirección [°] | γ - Inclinación [°] | α - Rotación [°] | Desplazamiento ex [mm] | Desplazamiento ey [mm] | Desplazamiento ez [mm] | Fuerzas en |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| C | 7 - HEB450 | 0.0 | -90.0 | 0.0 | 0 | 0 | 0 | Nudo |
| B | 8 - IPE400 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0 | 0 | 0 | Nudo |




### Secciones

| Nombre | Material |
|---|---|
| 7 - HEB450 | A572 Gr.50 |
| 8 - IPE400 | A36 |

## Secciones

| Nombre | Material | Dibujo |
|---|---|---|
| 7 - HEB450 | A572 Gr.50 |   |
| 8 - IPE400 | A36 |   |

## Tornillos

| Nombre | Conjunto de tornillo | Diámetro [mm] | fu [MPa] | Área bruta [mm$^2$] |
|---|---|---|---|---|
| 3/4 A325 | 3/4 A325 | 19 | 825.0 | 285 |

## Cargas

| Nombre | Elemento | N [kN] | Vy [kN] | Vz [kN] | Mx [kNm] | My [kNm] | Mz [kNm] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| LE1 | B | 0.0 | 0.0 | -209.0 | 0.0 | 460.0 | 0.0 |

# Verificación

## Rigidez rotacional

| Nombre | Comp. | Cargas | Mj,Rd [kNm] | Sj,ini [MNm/rad] | Φc [rad] | L [m] | Sj,R [MNm/rad] | Sj,P [MNm/rad] | Clase |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| B | My | LE1 | 347.9 | ∞ | 0.104 | 6.00 | 154.2 | 15.4 | Rígido |

## Rigidez rotacional secante

| Nombre | Comp. | Cargas | M [kNm] | Sjs [MNm/rad] | Φ [rad] |
|---|---|---|---|---|---|
| B | My | LE1 | 460.0 | 0.0 | 0.906 |

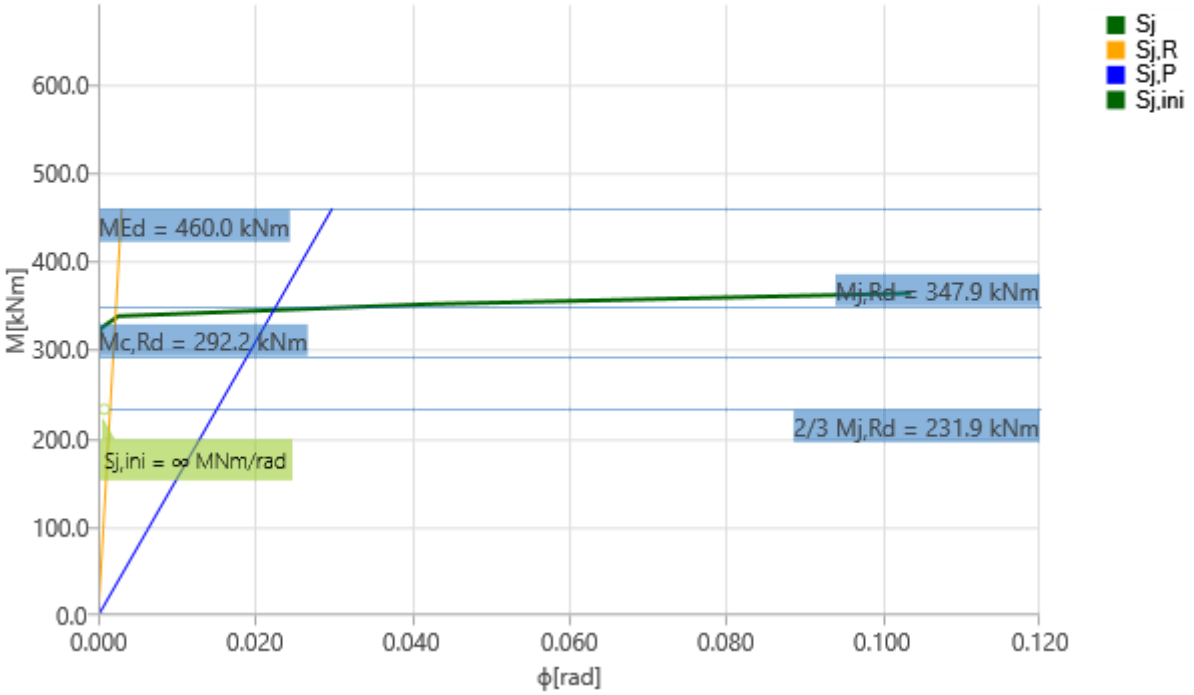



Diagrama de rigidez My - ϕy, LE1

## Listado de material

### Operaciones

| Nombre | Placas [mm] | Forma | Nr. | Soldaduras [mm] | Longitud [mm] | Tornillos | Nr. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| CUT1 | | | | Bisel: a = 13.5<br>Bisel: a = 8.6 | 360.0<br>386.5 | | |
| STIFF1 | P24.0x143.0-398.0 (A572 Gr.50) | | 4 | | | | |
| FP1 | P10.0x100.0-312.0 (A36) | | 1 | Bisel: a = 10.0 | 312.0 | 3/4 A325 | 3 |

## Soldaduras

| Tipo | Material | Espesor de garganta [mm] | Tamaño de pierna [mm] | Longitud [mm] |
|---|---|---|---|---|
| Bisel | E70xx | - | - | 360.0 |
| Bisel | E70xx | - | - | 386.5 |
| Bisel | E70xx | - | - | 312.0 |
| Doble tendón de soldadura | E70xx | 5.7 | 8.0 | 1200.0 |
| Bisel | E70xx | - | - | 840.0 |
| tendón de soldadura simple | E70xx | 5.7 | 8.0 | 227.8 |
| tendón de soldadura simple | E70xx | 5.7 | 8.0 | 64.2 |

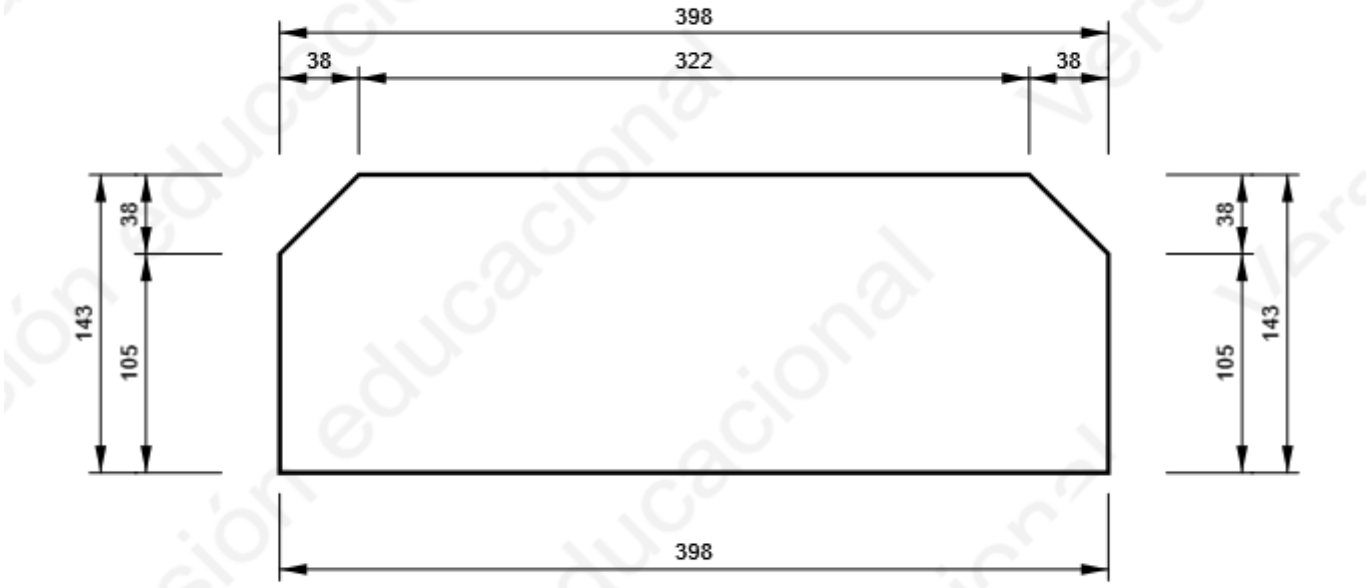
## Tornillos

| Nombre | Longitud de agarre [mm] | Cuenta |
|---|---|---|
| 3/4 A325 | 19 | 3 |

## Dibujo

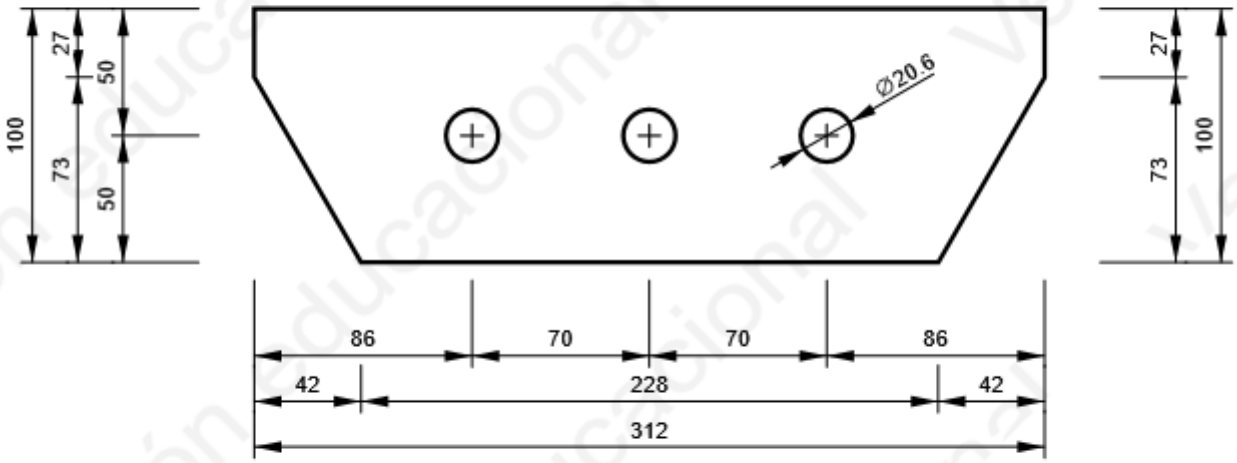
## STIFF1

**P24.0x398-143 (A572 Gr.50)**

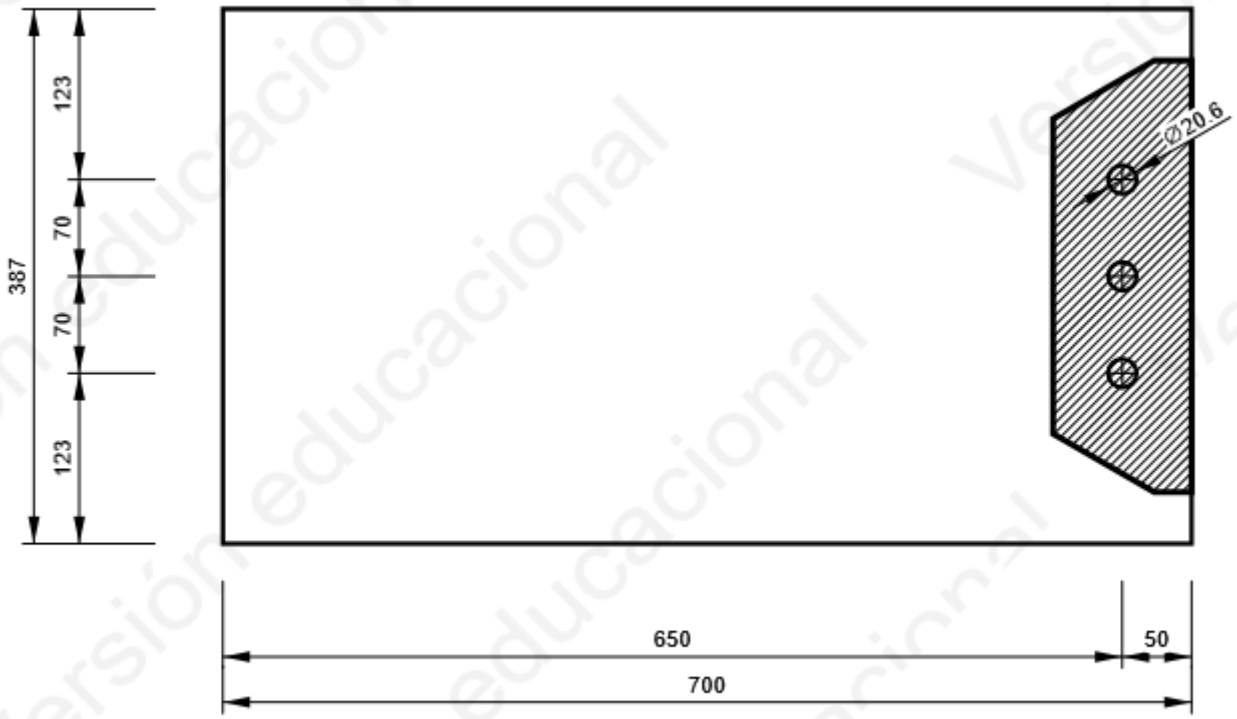


## FP1

**P10.0x312-100 (A36)**



## B, IPE400 - Alma 1:



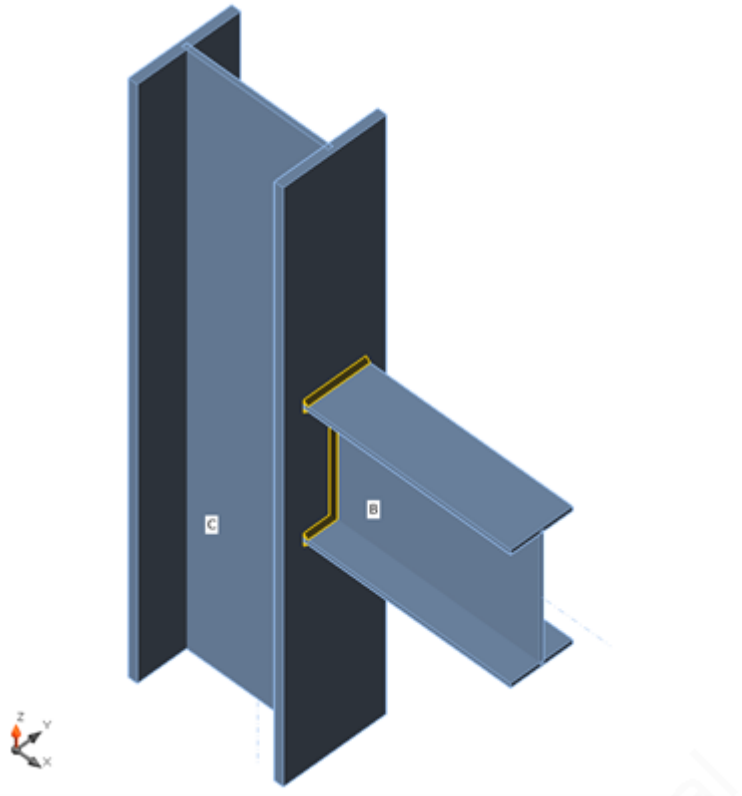
# Ítem del proyecto WUF-360-2

## Diseño

| | |
|---|---|
| Nombre | WUF-360-2 |
| Descripción | Conexion H450-I360 |
| Análisis | Rigidez |
| Normativa de cálculo | AISC - LRFD |

### Elementos estructurales

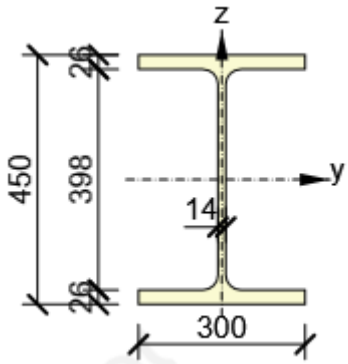
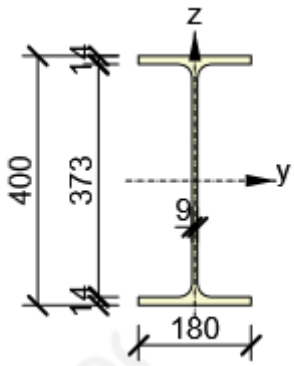
| Nombre | Sección transversal | β – Dirección [°] | γ - Inclinación [°] | α - Rotación [°] | Desplazamiento ex [mm] | Desplazamiento ey [mm] | Desplazamiento ez [mm] | Fuerzas en |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| C | 7 - HEB450 | 0.0 | -90.0 | 0.0 | 0 | 0 | 0 | Nudo |
| B | 8 - IPE400 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0 | 0 | 0 | Nudo |




### Secciones

| Nombre | Material |
|---|---|
| 7 - HEB450 | A572 Gr.50 |
| 8 - IPE400 | A36 |

## Secciones

| Nombre | Material | Dibujo |
|---|---|---|
| 7 - HEB450 | A572 Gr.50 |   |
| 8 - IPE400 | A36 |   |

## Cargas

| Nombre | Elemento | N [kN] | Vy [kN] | Vz [kN] | Mx [kNm] | My [kNm] | Mz [kNm] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| LE1 | B | 0.0 | 0.0 | -209.0 | 0.0 | 460.0 | 0.0 |

# Verificación

## Rigidez rotacional

| Nombre | Comp. | Cargas | Mj,Rd [kNm] | Sj,ini [MNm/rad] | Φc [rad] | L [m] | Sj,R [MNm/rad] | Sj,P [MNm/rad] | Clase |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| B | My | LE1 | 328.9 | 409.6 | 0.094 | 6.00 | 154.2 | 15.4 | Rígido |

## Rigidez rotacional secante

| Nombre | Comp. | Cargas | M [kNm] | Sjs [MNm/rad] | Φ [rad] |
|---|---|---|---|---|---|
| B | My | LE1 | 460.0 | 0.0 | 0.988 |

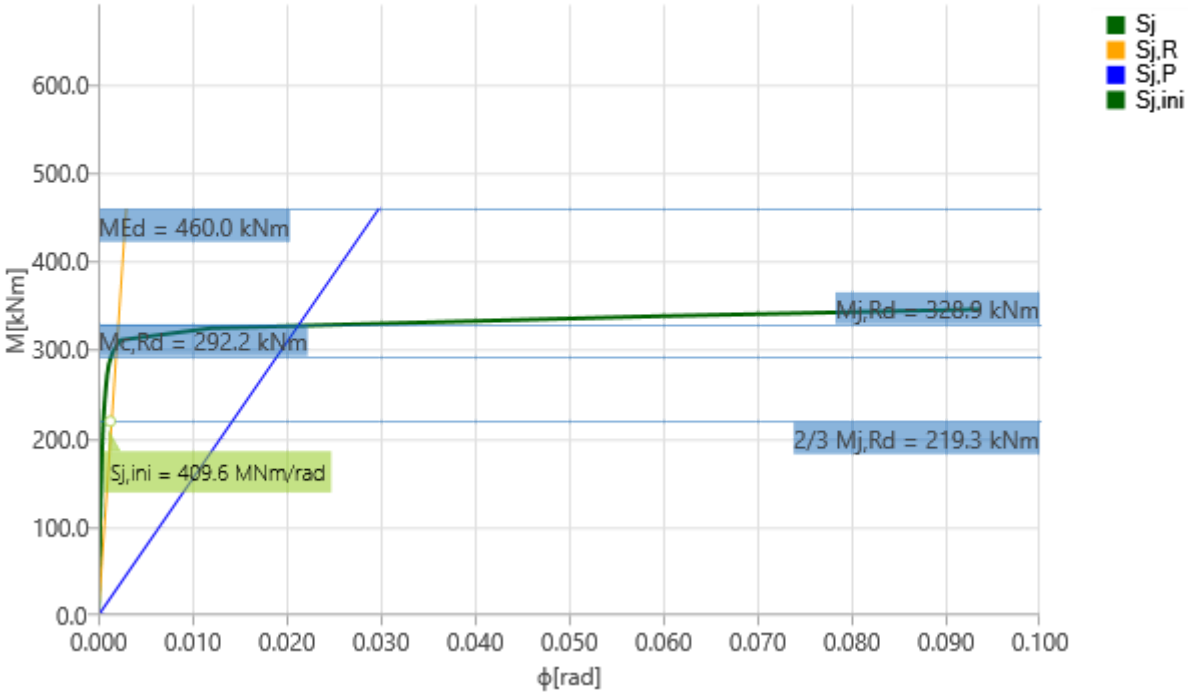



Diagrama de rigidez My - ϕy, LE1

## Listado de material

### Operaciones

| Nombre | Placas [mm] | Forma | Nr. | Soldaduras [mm] | Longitud [mm] | Tornillos | Nr. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| CUT1 | | | | Doble tendón de soldadura: a = 8.5 | 746.5 | | |

### Soldaduras

| Tipo | Material | Espesor de garganta [mm] | Tamaño de pierna [mm] | Longitud [mm] |
|---|---|---|---|---|
| Doble tendón de soldadura | E70xx | 8.5 | 12.0 | 746.5 |

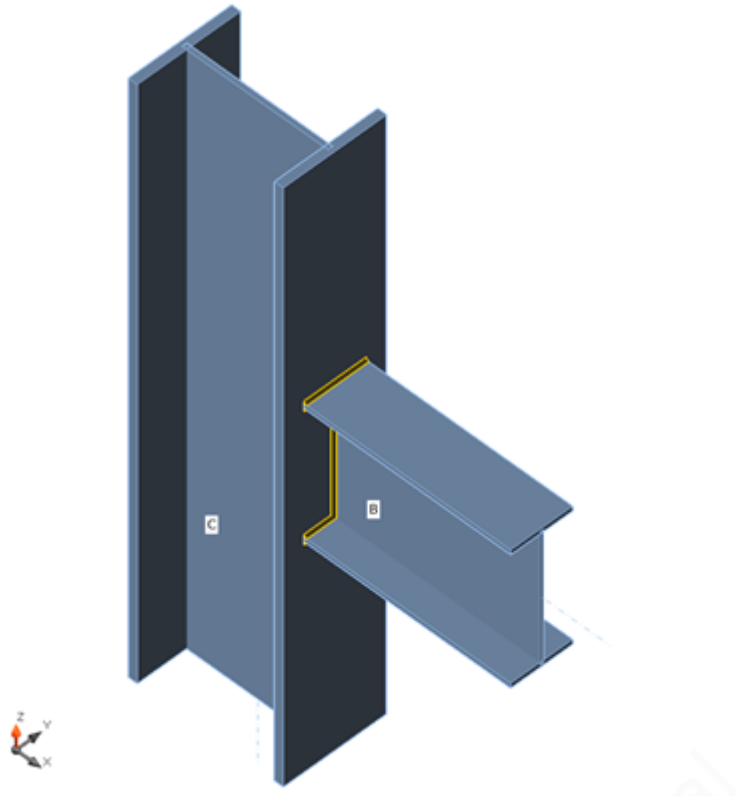
# Ítem del proyecto WUF-360-3

## Diseño

| | |
|---|---|
| Nombre | WUF-360-3 |
| Descripción | Conexion H450-I360 |
| Análisis | Rigidez |
| Normativa de cálculo | AISC - LRFD |

### Elementos estructurales

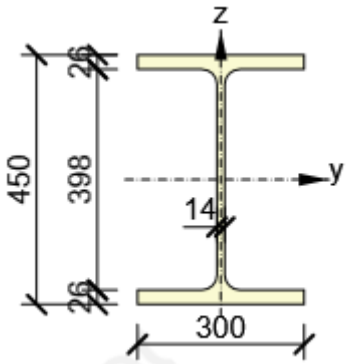
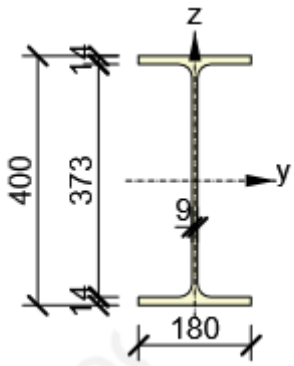
| Nombre | Sección transversal | β – Dirección [°] | γ - Inclinación [°] | α - Rotación [°] | Desplazamiento ex [mm] | Desplazamiento ey [mm] | Desplazamiento ez [mm] | Fuerzas en |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| C | 7 - HEB450 | 0.0 | -90.0 | 0.0 | 0 | 0 | 0 | Nudo |
| B | 8 - IPE400 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0 | 0 | 0 | Nudo |




### Secciones

| Nombre | Material |
|---|---|
| 7 - HEB450 | A572 Gr.50 |
| 8 - IPE400 | A36 |

## Secciones

| Nombre | Material | Dibujo |
|---|---|---|
| 7 - HEB450 | A572 Gr.50 |   |
| 8 - IPE400 | A36 |   |

## Cargas

| Nombre | Elemento | N [kN] | Vy [kN] | Vz [kN] | Mx [kNm] | My [kNm] | Mz [kNm] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| LE1 | B | 0.0 | 0.0 | -209.0 | 0.0 | 460.0 | 0.0 |

# Verificación

## Rigidez rotacional

| Nombre | Comp. | Cargas | Mj,Rd [kNm] | Sj,ini [MNm/rad] | Φc [rad] | L [m] | Sj,R [MNm/rad] | Sj,P [MNm/rad] | Clase |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| B | My | LE1 | 298.9 | 362.0 | 0.008 | 6.00 | 154.2 | 15.4 | Rígido |

## Rigidez rotacional secante

| Nombre | Comp. | Cargas | M [kNm] | Sjs [MNm/rad] | Φ [rad] |
|---|---|---|---|---|---|
| B | My | LE1 | 460.0 | 0.0 | 0.992 |

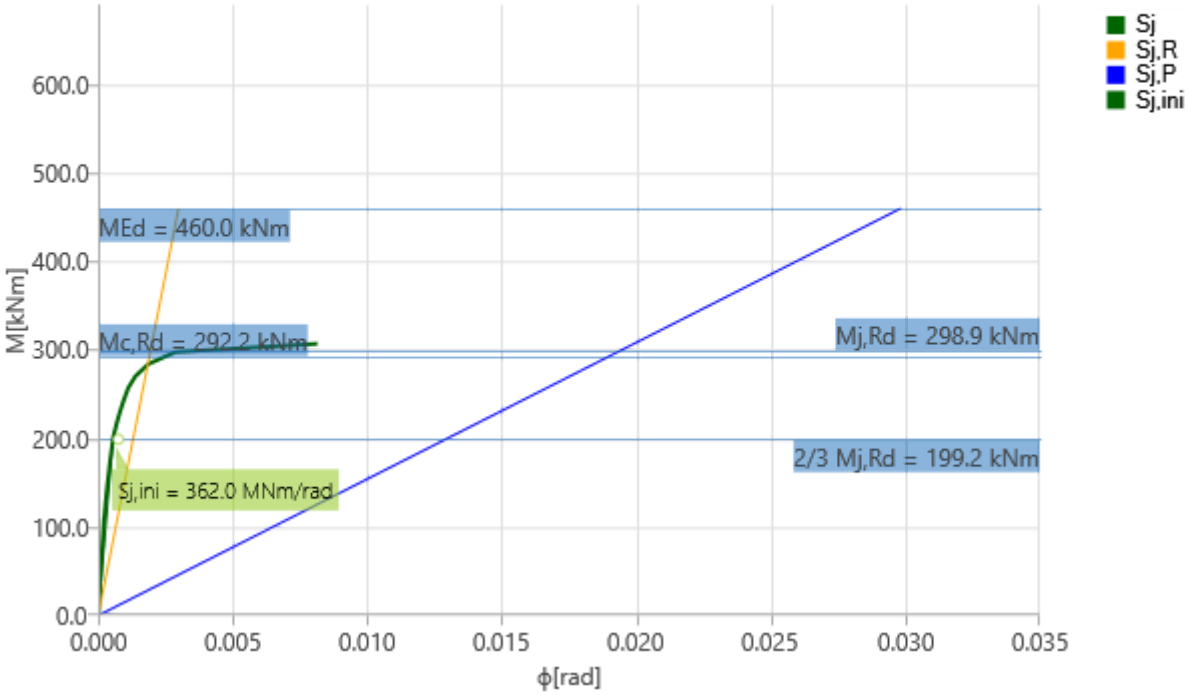



Diagrama de rigidez My - ϕy, LE1

## Listado de material

### Operaciones

| Nombre | Placas [mm] | Forma | Nr. | Soldaduras [mm] | Longitud [mm] | Tornillos | Nr. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| CUT1 | | | | Doble tendón de soldadura: a = 5.7 | 746.5 | | |

### Soldaduras

| Tipo | Material | Espesor de garganta [mm] | Tamaño de pierna [mm] | Longitud [mm] |
|---|---|---|---|---|
| Doble tendón de soldadura | E70xx | 5.7 | 8.0 | 746.5 |

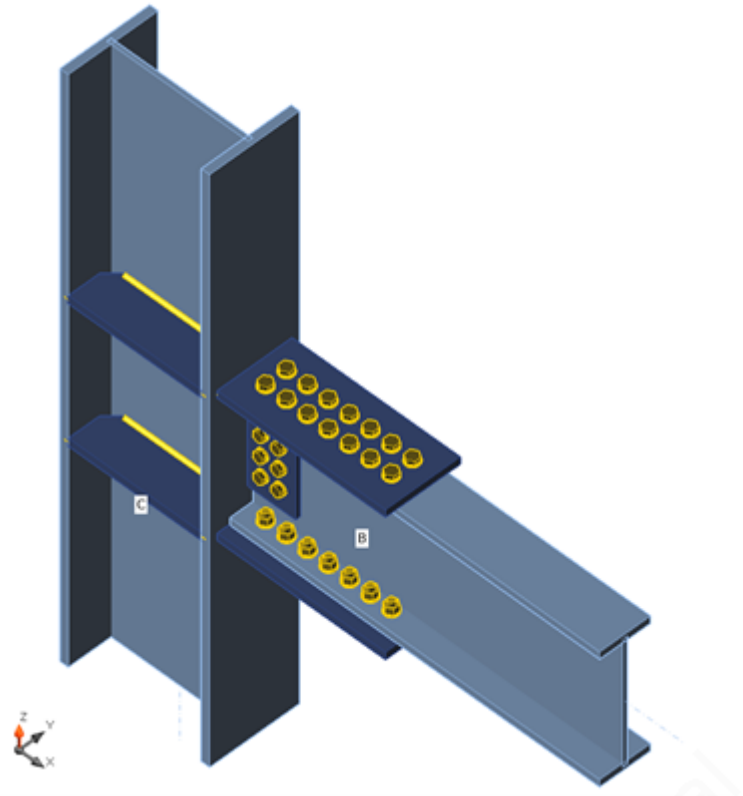
# Ítem del proyecto BFP-450-1

## Diseño

| | |
|---|---|
| Nombre | BFP-450-1 |
| Descripción | Conexion H500-I450 |
| Análisis | Rigidez |
| Normativa de cálculo | AISC - LRFD |

### Elementos estructurales

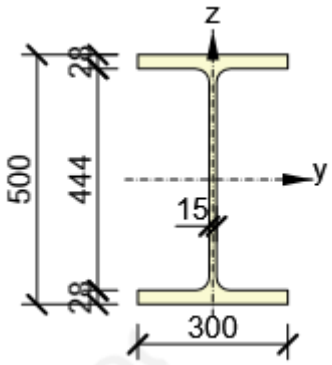
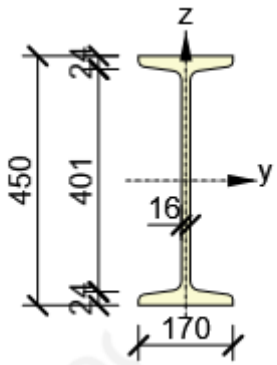
| Nombre | Sección transversal | β – Dirección [°] | γ - Inclinación [°] | α - Rotación [°] | Desplazamiento ex [mm] | Desplazamiento ey [mm] | Desplazamiento ez [mm] | Fuerzas en |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| C | 3 - HEB500 | 0.0 | -90.0 | 0.0 | 0 | 0 | 0 | Nudo |
| B | 4 - IPN450 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0 | 0 | 0 | Nudo |




### Secciones

| Nombre | Material |
|---|---|
| 3 - HEB500 | A572 Gr.50 |
| 4 - IPN450 | A36 |

## Secciones

| Nombre | Material | Dibujo |
|---|---|---|
| 3 - HEB500 | A572 Gr.50 |   |
| 4 - IPN450 | A36 |   |

## Tornillos

| Nombre | Conjunto de tornillo | Diámetro [mm] | fu [MPa] | Área bruta [mm$^2$] |
|---|---|---|---|---|
| 7/8 A490 | 7/8 A490 | 22 | 1034.2 | 388 |
| 3/4 A325 | 3/4 A325 | 19 | 825.0 | 285 |

## Cargas

| Nombre | Elemento | N [kN] | Vy [kN] | Vz [kN] | Mx [kNm] | My [kNm] | Mz [kNm] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| LE1 | B | 0.0 | 0.0 | -248.0 | 0.0 | 736.0 | 0.0 |

# Verificación

## Rigidez rotacional

| Nombre | Comp. | Cargas | Mj,Rd [kNm] | Sj,ini [MNm/rad] | Φc [rad] | L [m] | Sj,R [MNm/rad] | Sj,P [MNm/rad] | Clase |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| B | My | LE1 | 721.4 | 432.4 | 0.011 | 6.00 | 305.7 | 30.6 | Rígido |

## Rigidez rotacional secante

| Nombre | Comp. | Cargas | M [kNm] | Sjs [MNm/rad] | Φ [rad] |
|---|---|---|---|---|---|
| B | My | LE1 | 736.0 | 165.6 | 0.004 |

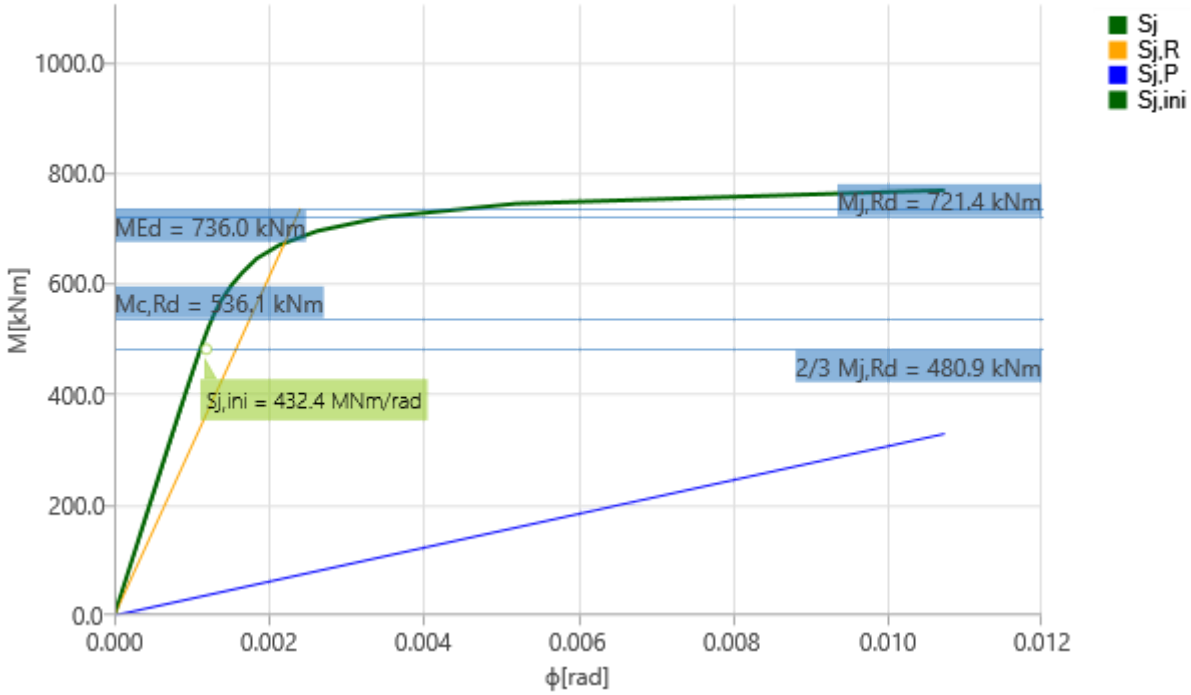
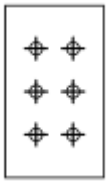
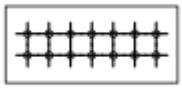
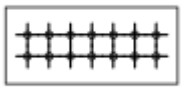



Diagrama de rigidez My - ϕy, LE1

# Listado de material

## Operaciones

| Nombre | Placas [mm] | Forma | Nr. | Soldaduras [mm] | Longitud [mm] | Tornillos | Nr. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| FP1 | P15.0x160.0-280.0 (A36) |  | 1 | Bisel: a = 15.0 | 280.0 | 3/4 A325 | 6 |
| FP2 | P25.0x562.0-250.0 (A572 Gr.50) |  | 1 | Bisel: a = 25.0 | 250.0 | 7/8 A490 | 14 |
| FP3 | P25.0x562.0-250.0 (A572 Gr.50) |  | 1 | Bisel: a = 25.0 | 250.0 | 7/8 A490 | 14 |
| STIFF1 | P27.0x142.7-444.0 (A572 Gr.55) | | 2 | | | | |
| RIGIDIZAR2 | P27.0x142.7-444.0 (A572 Gr.55) | | 2 | | | | |

## Soldaduras

| Tipo | Material | Espesor de garganta [mm] | Tamaño de pierna [mm] | Longitud [mm] |
|---|---|---|---|---|
| Bisel | E70xx | - | - | 280.0 |
| Bisel | E70xx | - | - | 500.0 |
| Doble tendón de soldadura | E70xx | 5.7 | 8.0 | 1400.0 |
| Bisel | E70xx | - | - | 838.0 |

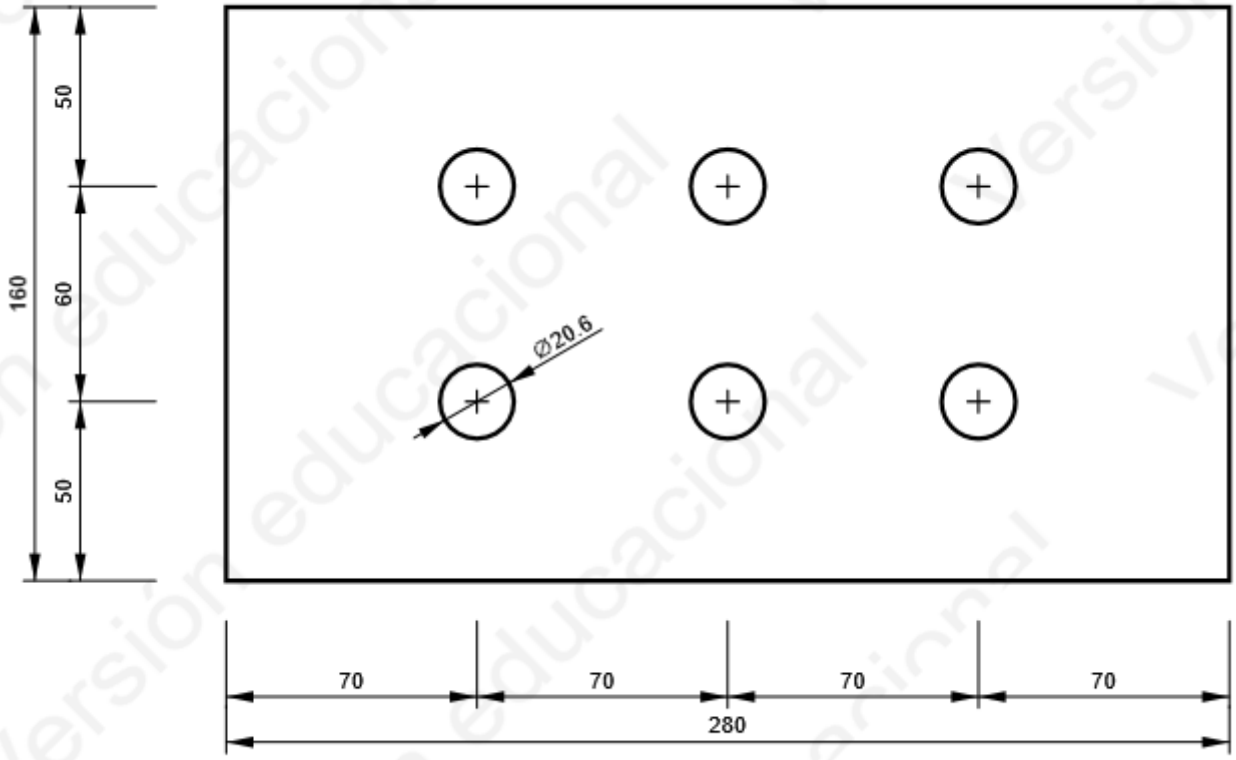
## Tornillos

| Nombre | Longitud de agarre [mm] | Cuenta |
|---|---|---|
| 3/4 A325 | 31 | 6 |
| 7/8 A490 | 49 | 28 |

## Dibujo

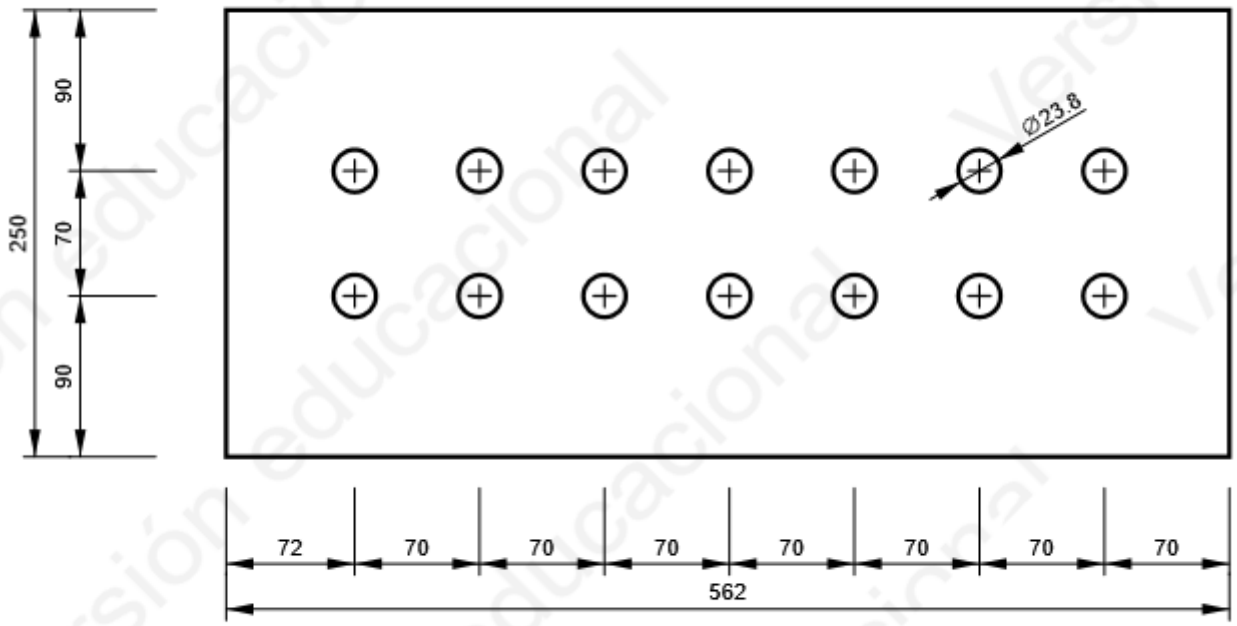
### FP1

**P15.0x280-160 (A36)**



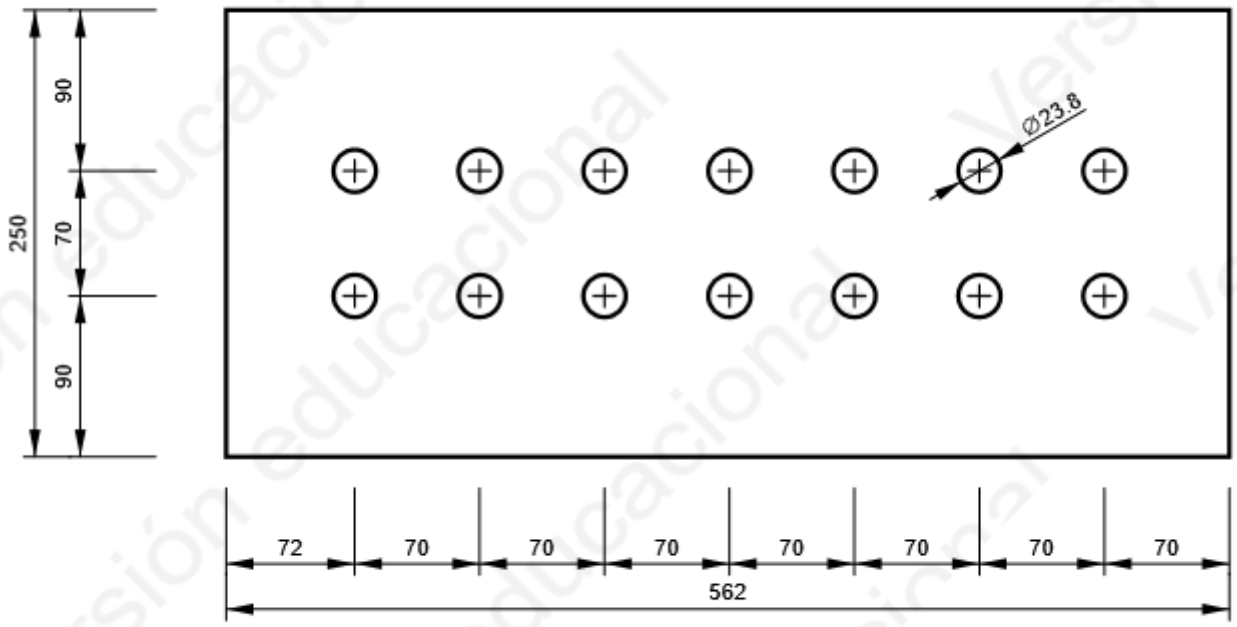
## FP2

**P25.0x250-562 (A572 Gr.50)**



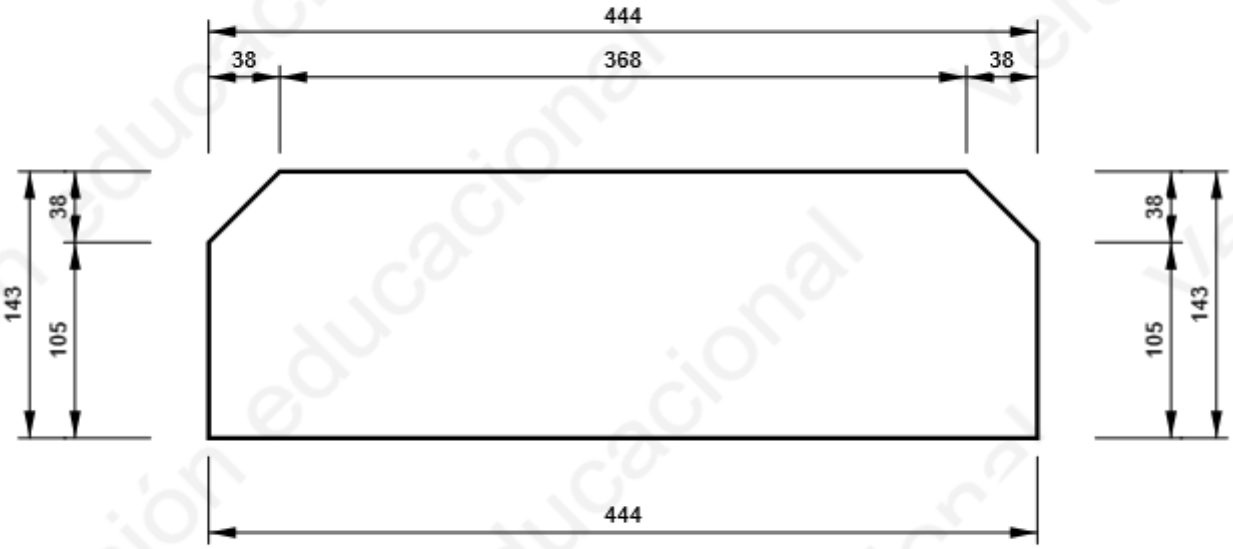
## FP3

**P25.0x250-562 (A572 Gr.50)**



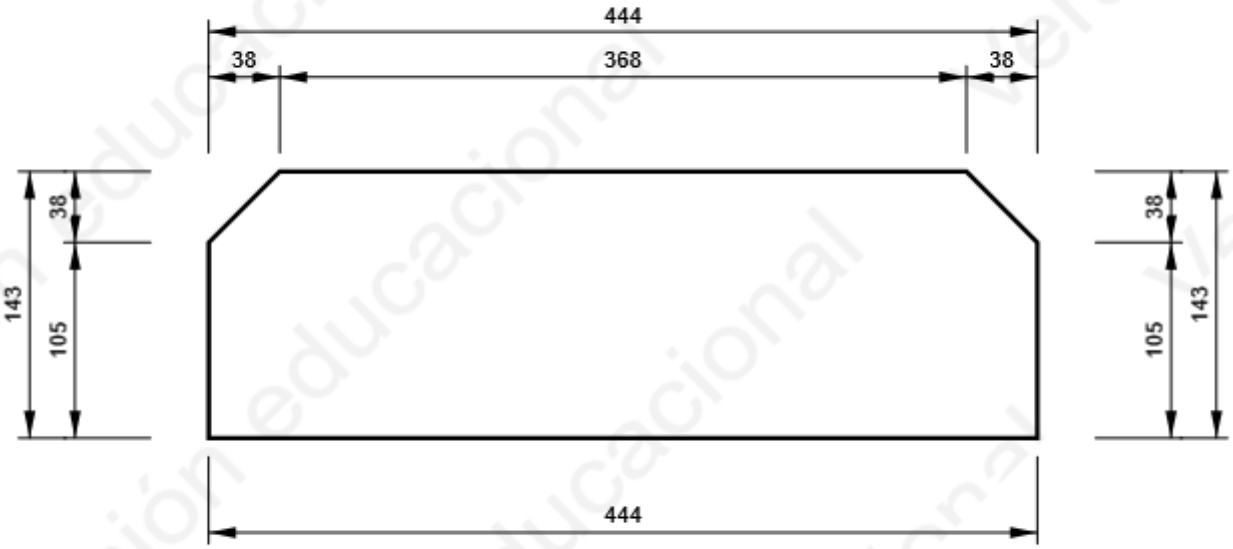
## STIFF1

**P27.0x444-143 (A572 Gr.55)**

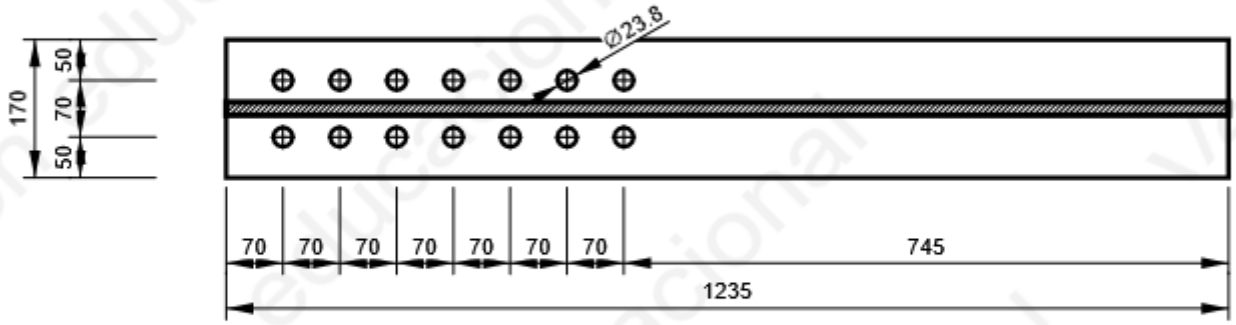


## RIGIDIZAR2

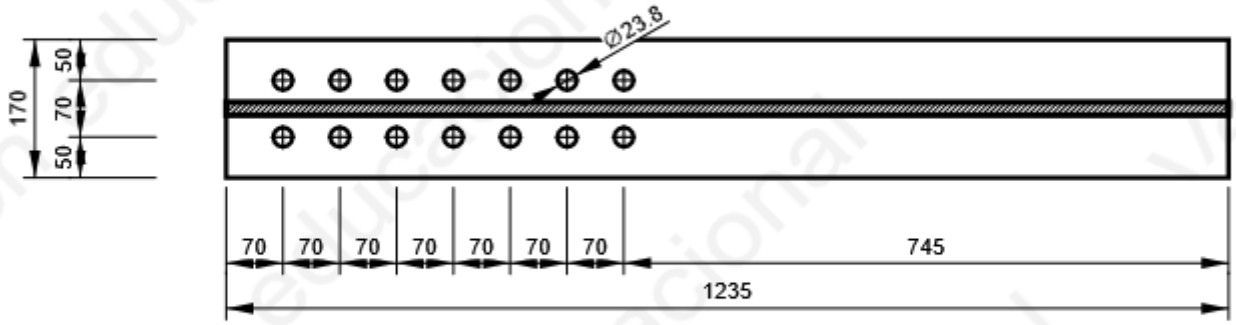
**P27.0x444-143 (A572 Gr.55)**



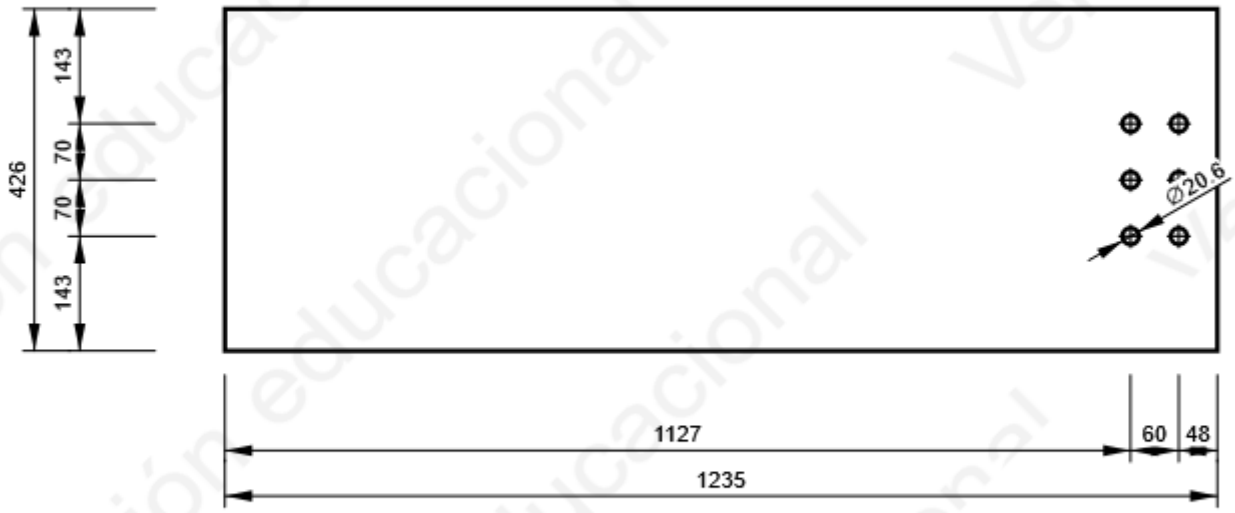
## B, IPN450 - Ala inferior 1:



## B, IPN450 - Ala superior 1:



## B, IPN450 - Alma 1:




Versión educacional

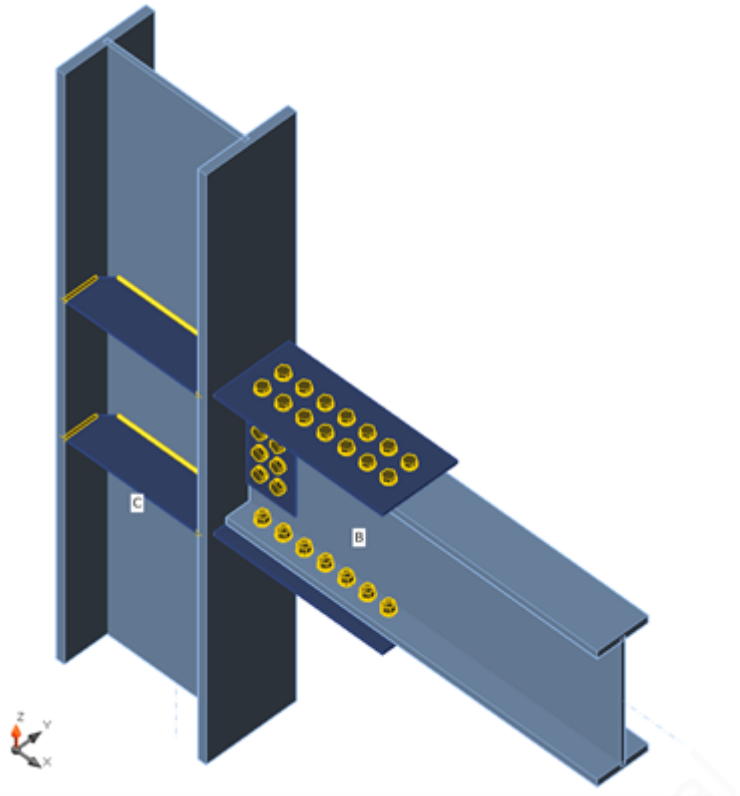
# Ítem del proyecto BFP-450-2

## Diseño

| | |
|---|---|
| Nombre | BFP-450-2 |
| Descripción | Conexion H500-I450 |
| Análisis | Rigidez |
| Normativa de cálculo | AISC - LRFD |

### Elementos estructurales

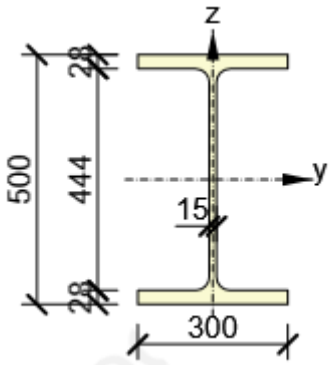
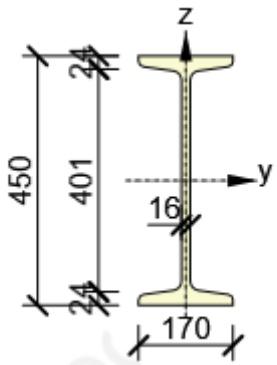
| Nombre | Sección transversal | β – Dirección [°] | γ - Inclinación [°] | α - Rotación [°] | Desplazamiento ex [mm] | Desplazamiento ey [mm] | Desplazamiento ez [mm] | Fuerzas en |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| C | 3 - HEB500 | 0.0 | -90.0 | 0.0 | 0 | 0 | 0 | Nudo |
| B | 4 - IPN450 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0 | 0 | 0 | Nudo |




### Secciones

| Nombre | Material |
|---|---|
| 3 - HEB500 | A572 Gr.50 |
| 4 - IPN450 | A36 |

## Secciones

| Nombre | Material | Dibujo |
|---|---|---|
| 3 - HEB500 | A572 Gr.50 |   |
| 4 - IPN450 | A36 |   |

## Tornillos

| Nombre | Conjunto de tornillo | Diámetro [mm] | fu [MPa] | Área bruta [mm$^2$] |
|---|---|---|---|---|
| 3/4 A325 | 3/4 A325 | 19 | 825.0 | 285 |

## Cargas

| Nombre | Elemento | N [kN] | Vy [kN] | Vz [kN] | Mx [kNm] | My [kNm] | Mz [kNm] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| LE1 | B | 0.0 | 0.0 | -248.0 | 0.0 | 736.0 | 0.0 |

# Verificación

## Rigidez rotacional

| Nombre | Comp. | Cargas | Mj,Rd [kNm] | Sj,ini [MNm/rad] | Φc [rad] | L [m] | Sj,R [MNm/rad] | Sj,P [MNm/rad] | Clase |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| B | My | LE1 | 387.8 | 87.2 | 0.011 | 6.00 | 305.7 | 30.6 | Semi-rígido |

## Rigidez rotacional secante

| Nombre | Comp. | Cargas | M [kNm] | Sjs [MNm/rad] | Φ [rad] |
|---|---|---|---|---|---|
| B | My | LE1 | 736.0 | 0.0 | 1.786 |

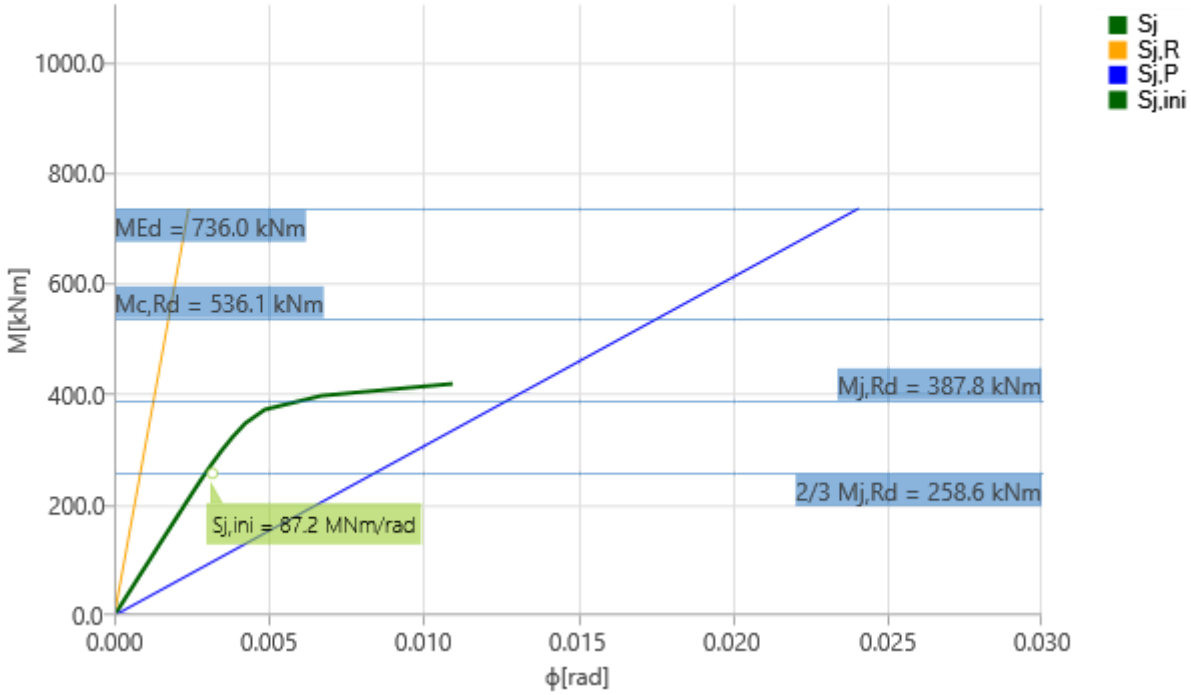
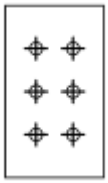
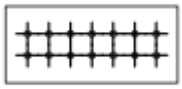
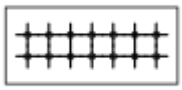



Diagrama de rigidez My - ϕy, LE1

# Listado de material

## Operaciones

| Nombre | Placas [mm] | Forma | Nr. | Soldaduras [mm] | Longitud [mm] | Tornillos | Nr. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| FP1 | P6.0x160.0-280.0 (A36) |  | 1 | Bisel: a = 6.0 | 280.0 | 3/4 A325 | 6 |
| FP2 | P10.0x562.0-250.0 (A572 Gr.50) |  | 1 | Bisel: a = 10.0 | 250.0 | 3/4 A325 | 14 |
| FP3 | P10.0x562.0-250.0 (A572 Gr.50) |  | 1 | Bisel: a = 10.0 | 250.0 | 3/4 A325 | 14 |
| STIFF1 | P6.0x142.7-444.0 (A572 Gr.55) | | 2 | | | | |
| RIGIDIZAR2 | P6.0x142.7-444.0 (A572 Gr.55) | | 2 | | | | |

## Soldaduras

| Tipo | Material | Espesor de garganta [mm] | Tamaño de pierna [mm] | Longitud [mm] |
|---|---|---|---|---|
| Bisel | E70xx | - | - | 280.0 |
| Bisel | E70xx | - | - | 500.0 |
| Doble tendón de soldadura | E70xx | 4.2 | 6.0 | 2310.0 |

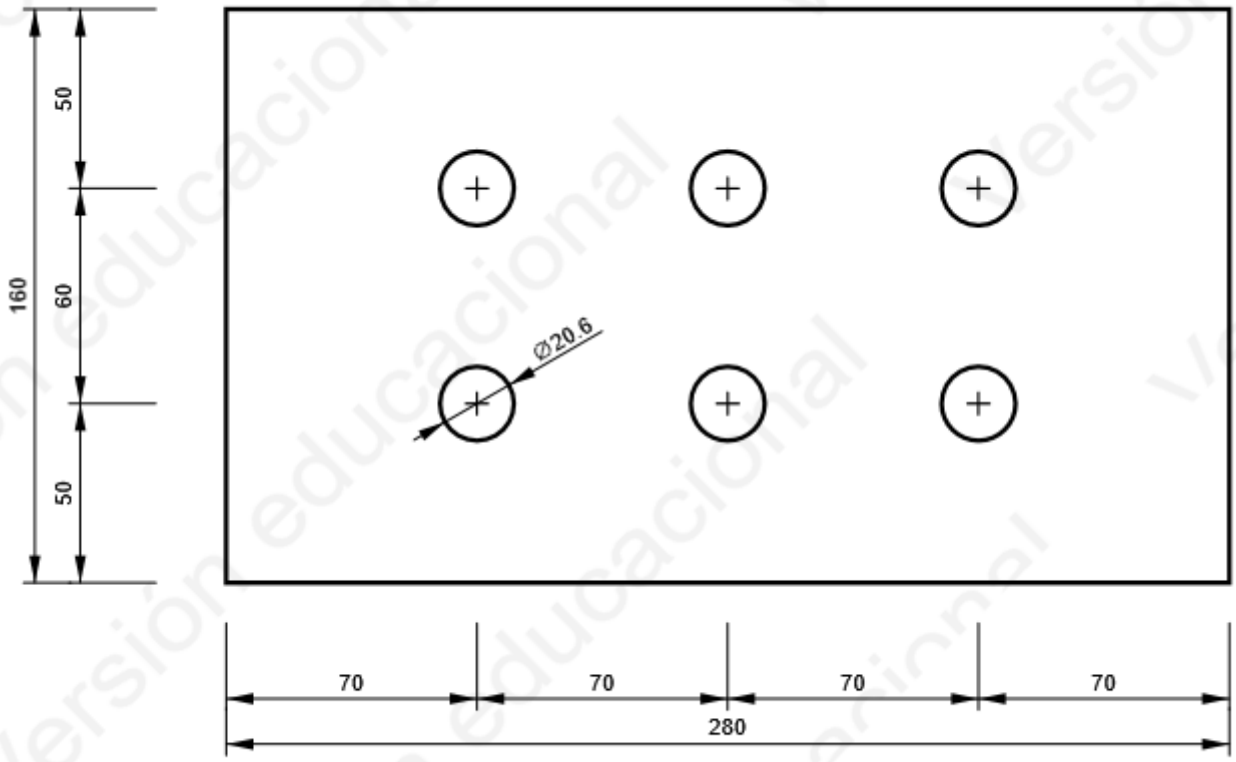
## Tornillos

| Nombre | Longitud de agarre [mm] | Cuenta |
|---|---|---|
| 3/4 A325 | 22 | 6 |
| 3/4 A325 | 34 | 28 |

## Dibujo

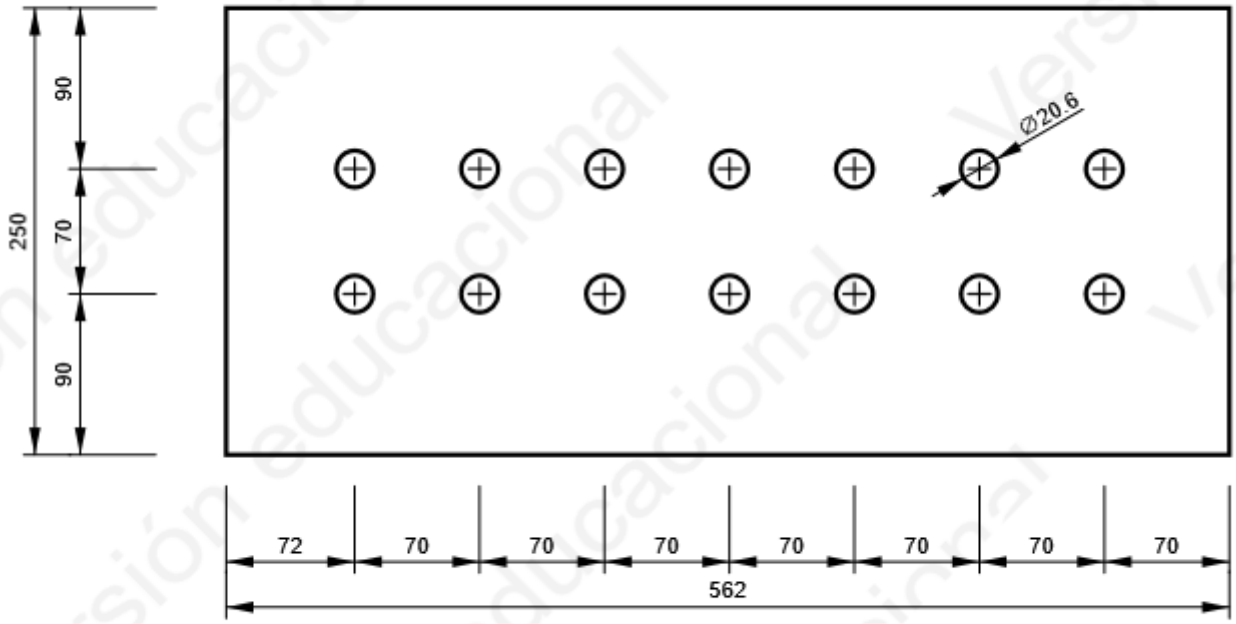
### FP1

**P6.0x280-160 (A36)**



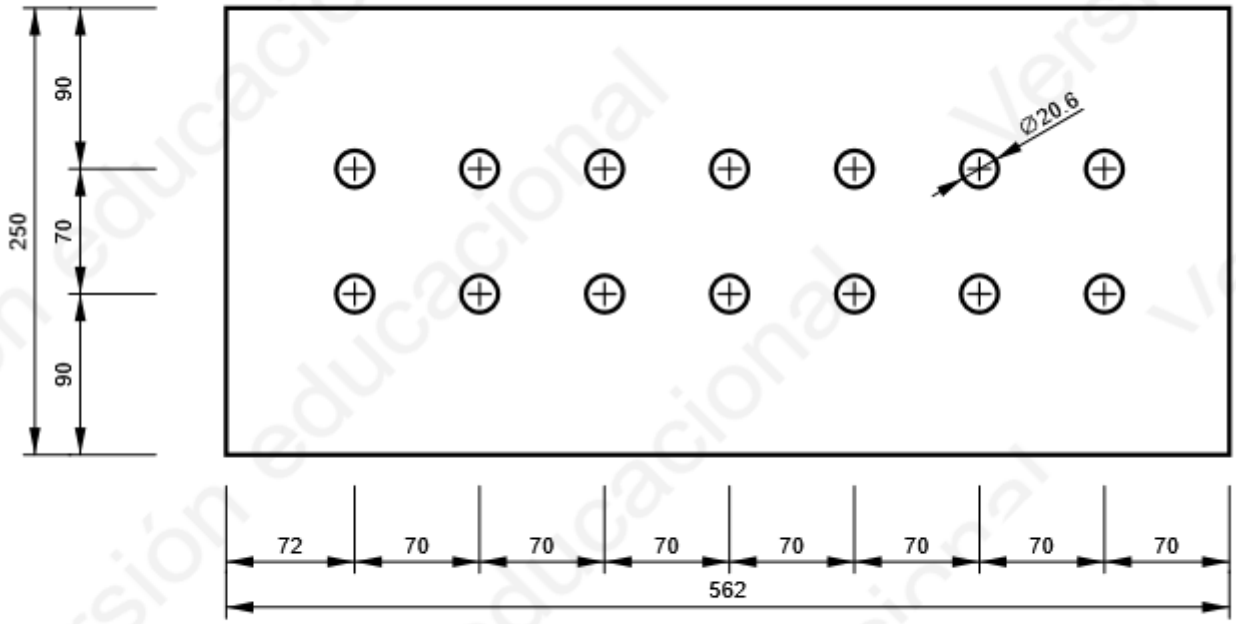
## FP2

**P10.0x250-562 (A572 Gr.50)**



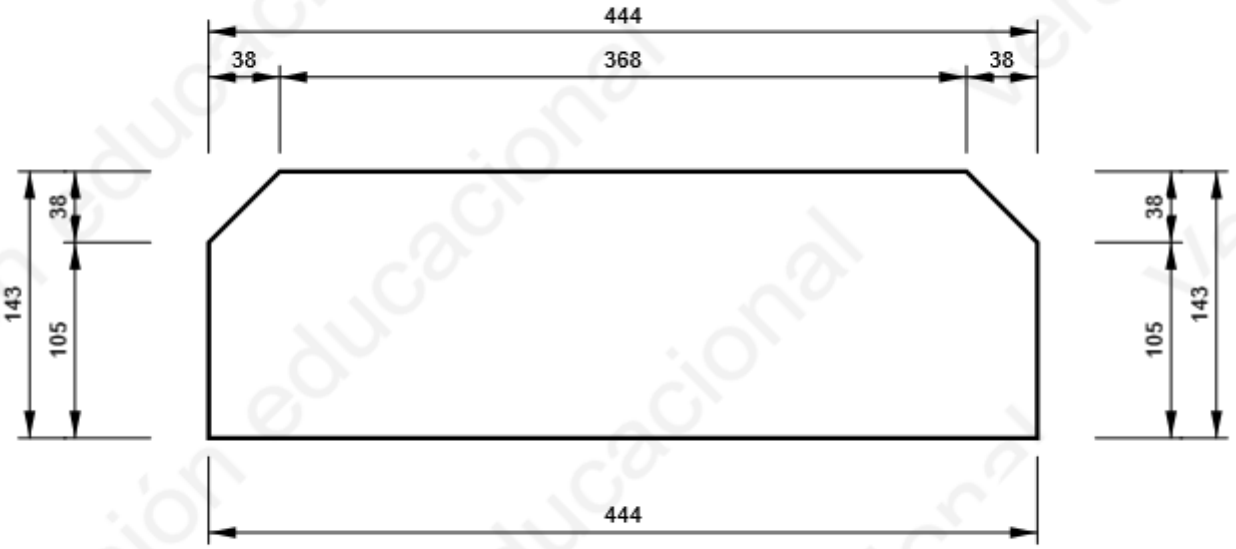
## FP3

**P10.0x250-562 (A572 Gr.50)**



## STIFF1

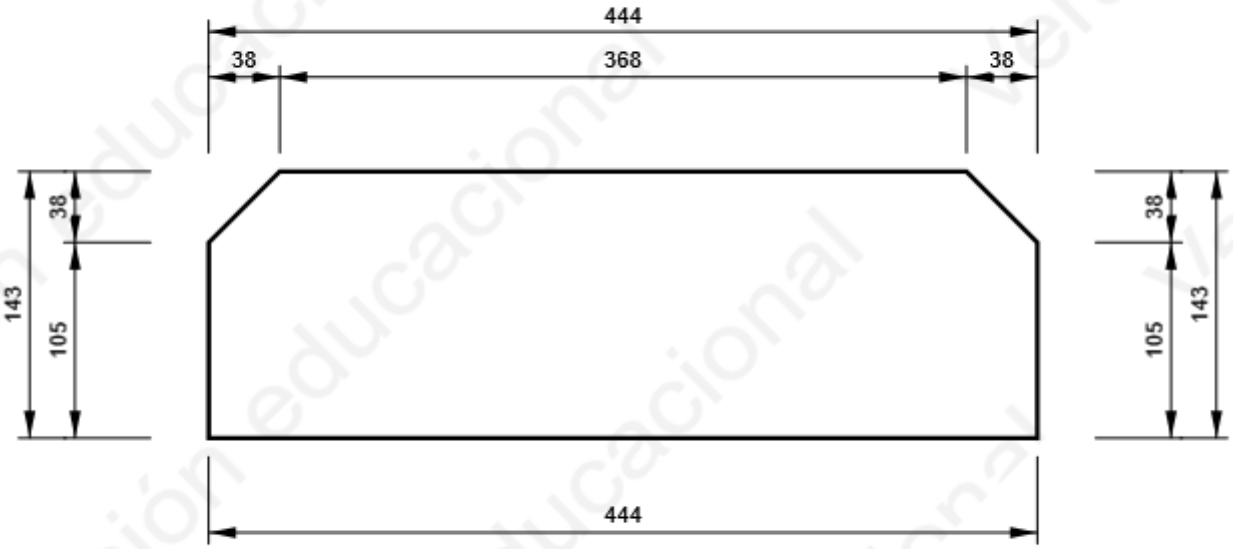
**P6.0x444-143 (A572 Gr.55)**



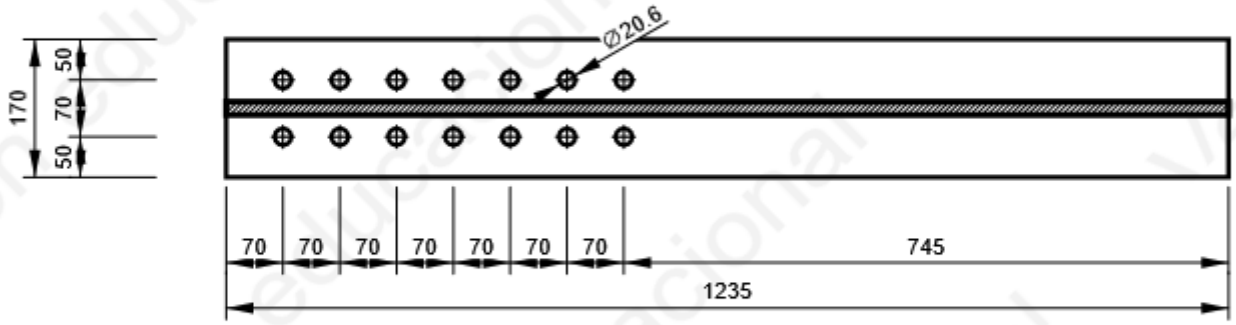

Versión educacional

## RIGIDIZAR2

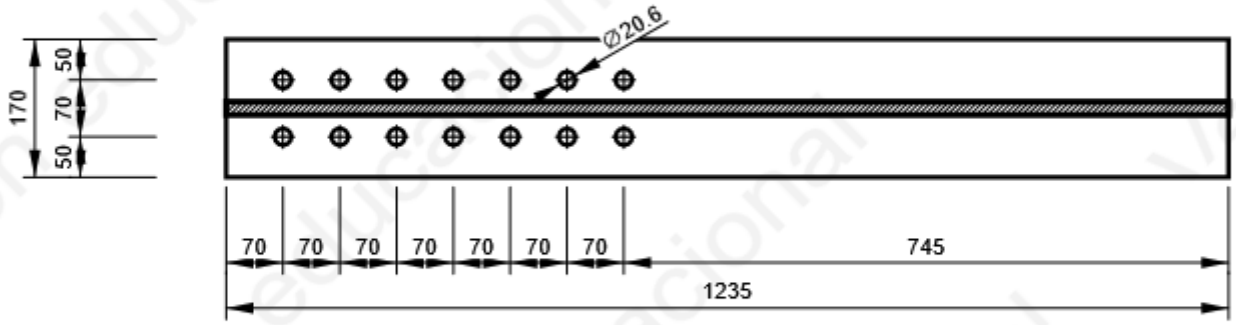
**P6.0x444-143 (A572 Gr.55)**



## B, IPN450 - Ala inferior 1:

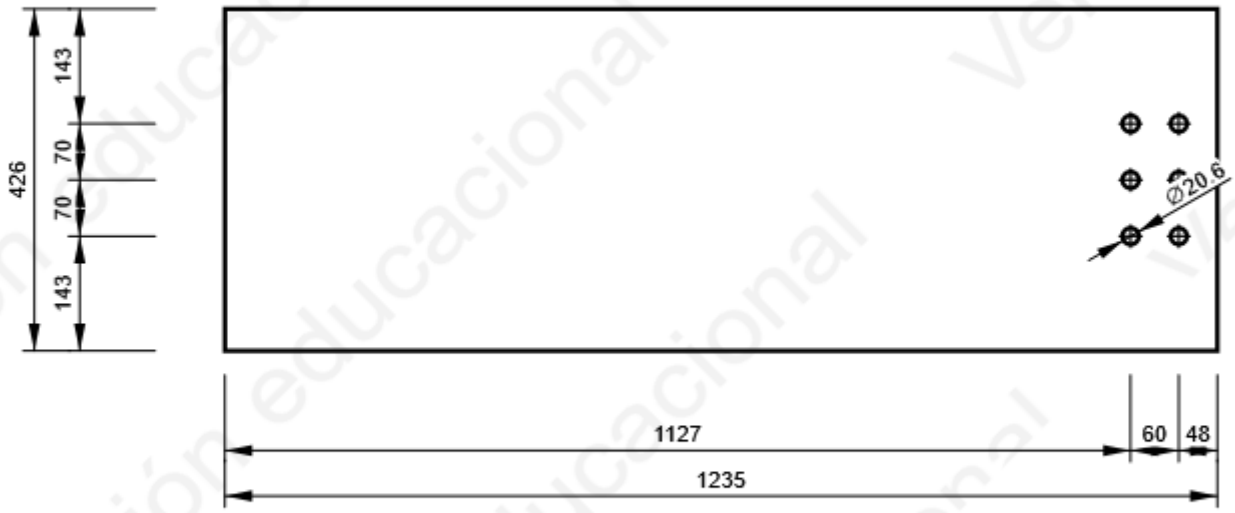


## B, IPN450 - Ala superior 1:




Versión educacional

## B, IPN450 - Alma 1:



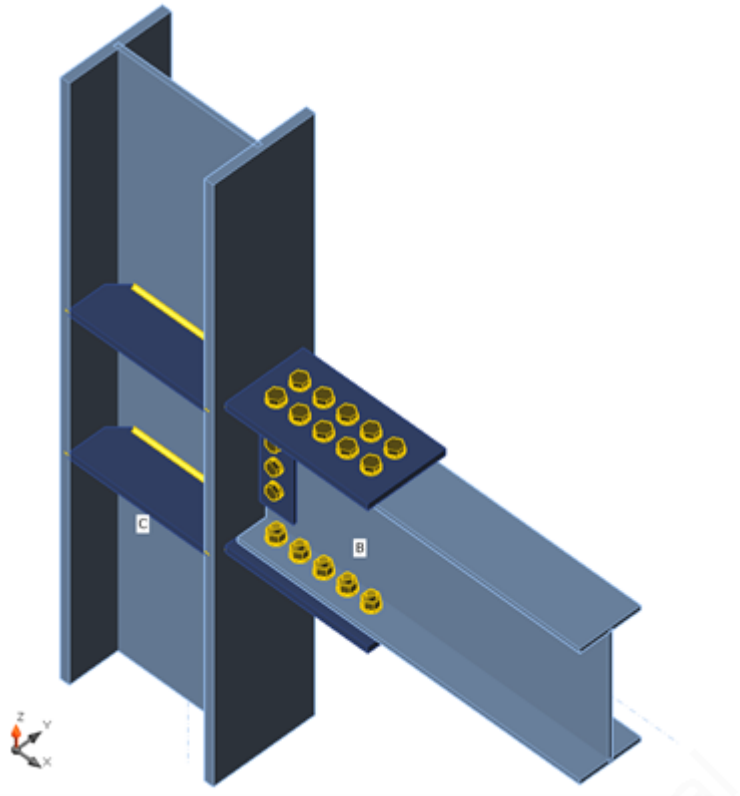
# Ítem del proyecto BFP-400-1

## Diseño

| | |
|---|---|
| Nombre | BFP-400-1 |
| Descripción | Conexion H450-I400 |
| Análisis | Rigidez |
| Normativa de cálculo | AISC - LRFD |

### Elementos estructurales

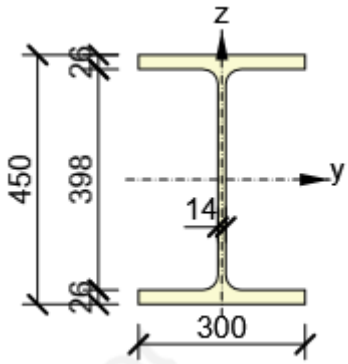
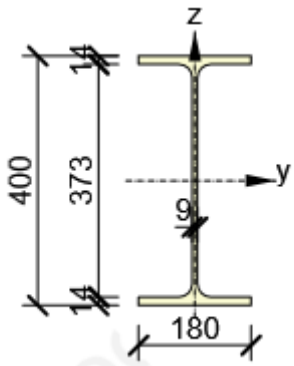
| Nombre | Sección transversal | β – Dirección [°] | γ - Inclinación [°] | α - Rotación [°] | Desplazamiento ex [mm] | Desplazamiento ey [mm] | Desplazamiento ez [mm] | Fuerzas en |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| C | 7 - HEB450 | 0.0 | -90.0 | 0.0 | 0 | 0 | 0 | Nudo |
| B | 8 - IPE400 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0 | 0 | 0 | Nudo |




### Secciones

| Nombre | Material |
|---|---|
| 7 - HEB450 | A572 Gr.50 |
| 8 - IPE400 | A36 |

## Secciones

| Nombre | Material | Dibujo |
|---|---|---|
| 7 - HEB450 | A572 Gr.50 |   |
| 8 - IPE400 | A36 |   |

## Tornillos

| Nombre | Conjunto de tornillo | Diámetro [mm] | fu [MPa] | Área bruta [mm$^2$] |
|---|---|---|---|---|
| 7/8 A490 | 7/8 A490 | 22 | 1034.2 | 388 |
| 3/4 A325 | 3/4 A325 | 19 | 825.0 | 285 |

## Cargas

| Nombre | Elemento | N [kN] | Vy [kN] | Vz [kN] | Mx [kNm] | My [kNm] | Mz [kNm] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| LE1 | B | 0.0 | 0.0 | -144.0 | 0.0 | 409.0 | 0.0 |

# Verificación

## Rigidez rotacional

| Nombre | Comp. | Cargas | Mj,Rd [kNm] | Sj,ini [MNm/rad] | Φc [rad] | L [m] | Sj,R [MNm/rad] | Sj,P [MNm/rad] | Clase |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| B | My | LE1 | 344.5 | 161.5 | 0.013 | 6.00 | 154.2 | 15.4 | Rígido |

## Rigidez rotacional secante

| Nombre | Comp. | Cargas | M [kNm] | Sjs [MNm/rad] | Φ [rad] |
|---|---|---|---|---|---|
| B | My | LE1 | 409.0 | 0.0 | 0.182 |

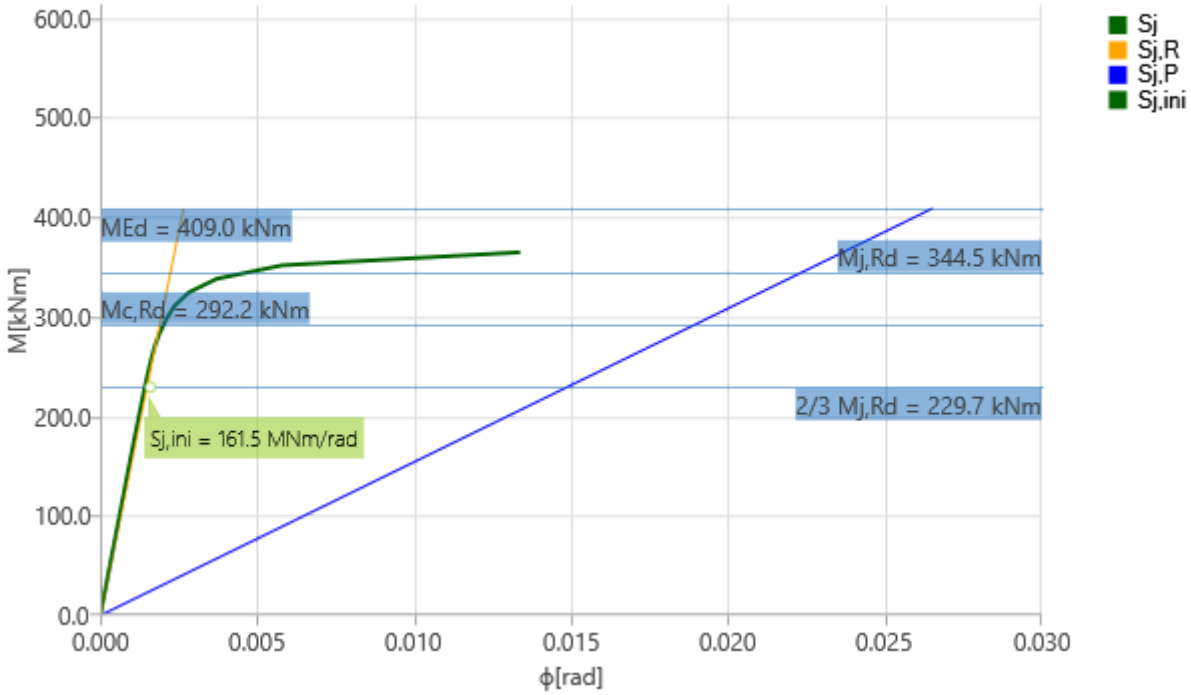
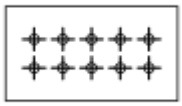
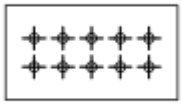



Diagrama de rigidez My - ϕy, LE1

# Listado de material

## Operaciones

| Nombre | Placas [mm] | Forma | Nr. | Soldaduras [mm] | Longitud [mm] | Tornillos | Nr. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| FP1 | P10.0x100.0-280.0 (A36) | | 1 | Bisel: a = 10.0 | 280.0 | 3/4 A325 | 3 |
| FP2 | P20.0x420.0-230.0 (A572 Gr.50) |  | 1 | Bisel: a = 20.0 | 230.0 | 7/8 A490 | 10 |
| FP3 | P20.0x420.0-230.0 (A572 Gr.50) |  | 1 | Bisel: a = 20.0 | 230.0 | 7/8 A490 | 10 |
| STIFF1 | P20.0x143.0-398.0 (A572 Gr.55) | | 2 | | | | |
| RIGIDIZAR2 | P20.0x143.0-398.0 (A572 Gr.55) | | 2 | | | | |

## Soldaduras

| Tipo | Material | Espesor de garganta [mm] | Tamaño de pierna [mm] | Longitud [mm] |
|---|---|---|---|---|
| Bisel | E70xx | - | - | 280.0 |
| Bisel | E70xx | - | - | 1300.0 |
| Doble tendón de soldadura | E70xx | 5.7 | 8.0 | 1200.0 |

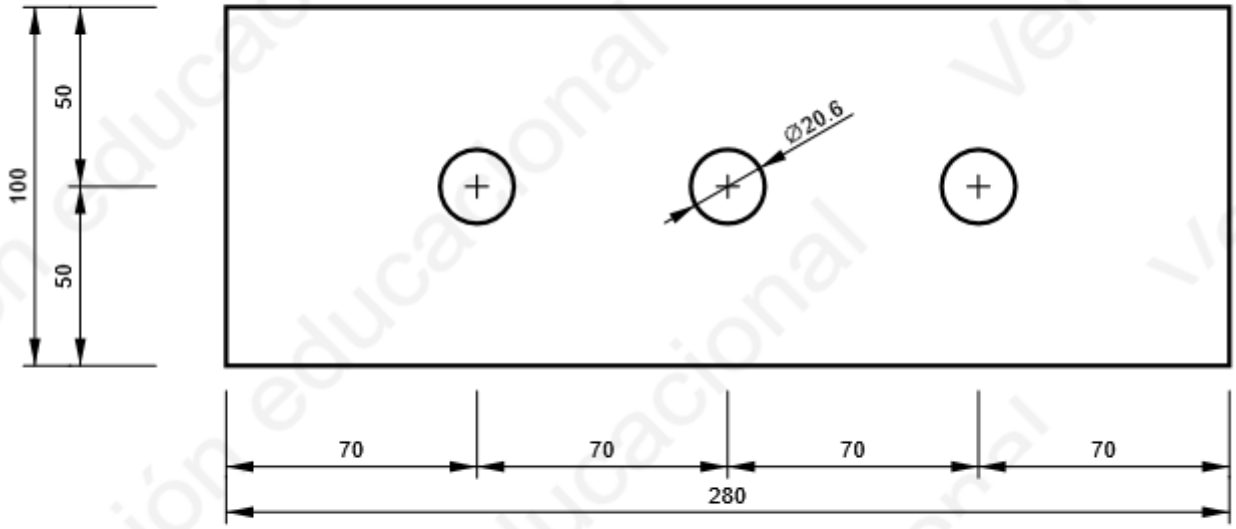
## Tornillos

| Nombre | Longitud de agarre [mm] | Cuenta |
|---|---|---|
| 3/4 A325 | 19 | 3 |
| 7/8 A490 | 34 | 20 |

## Dibujo

### FP1

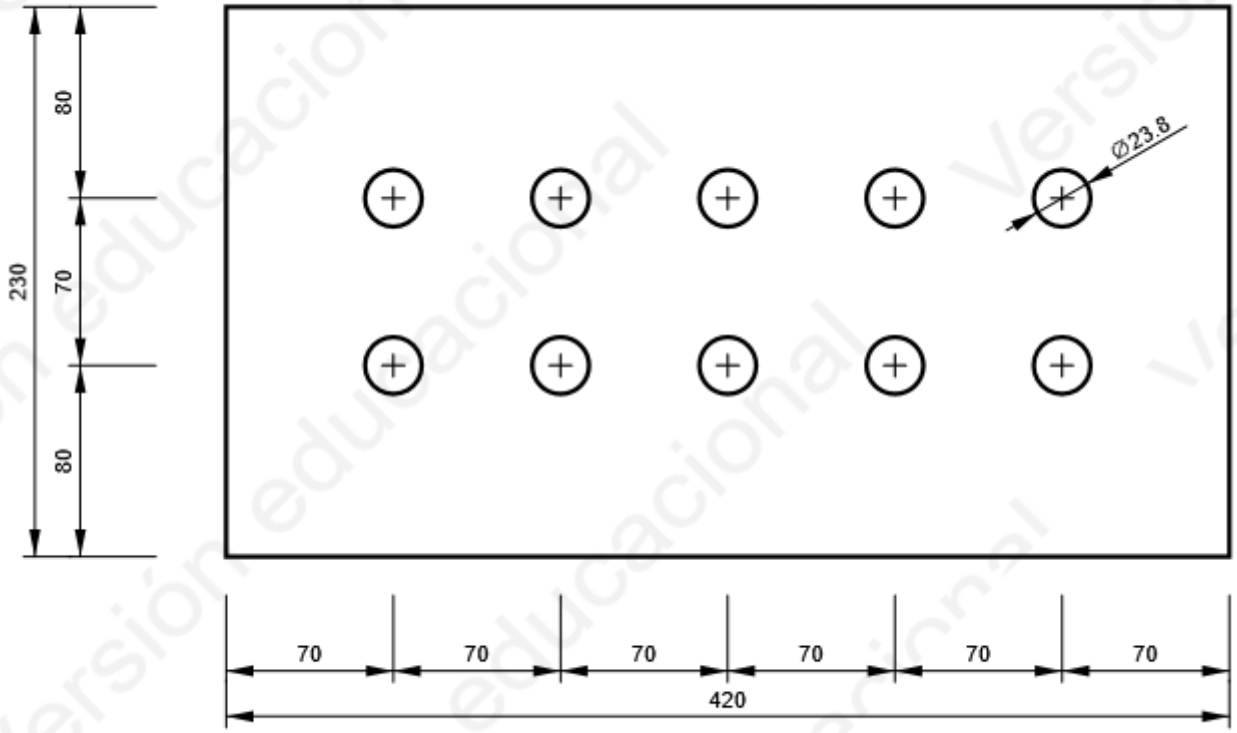
**P10.0x280-100 (A36)**




Versión educacional

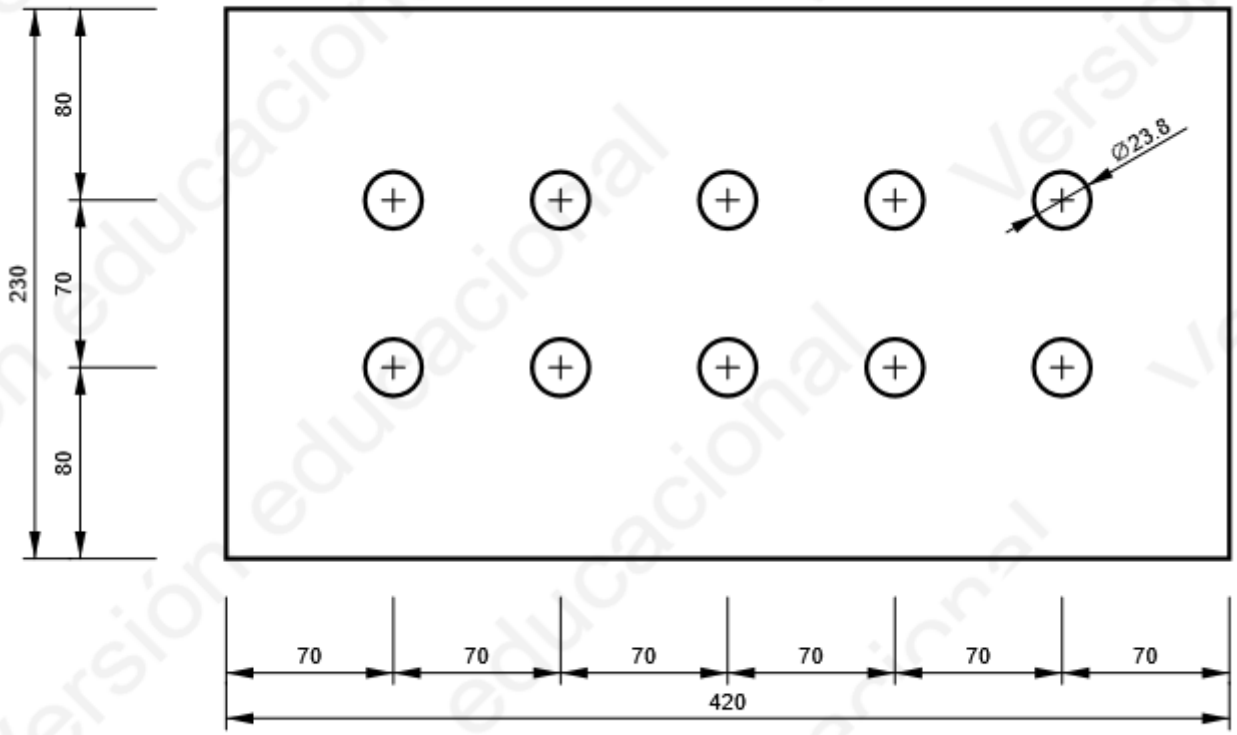
## FP2

**P20.0x230-420 (A572 Gr.50)**



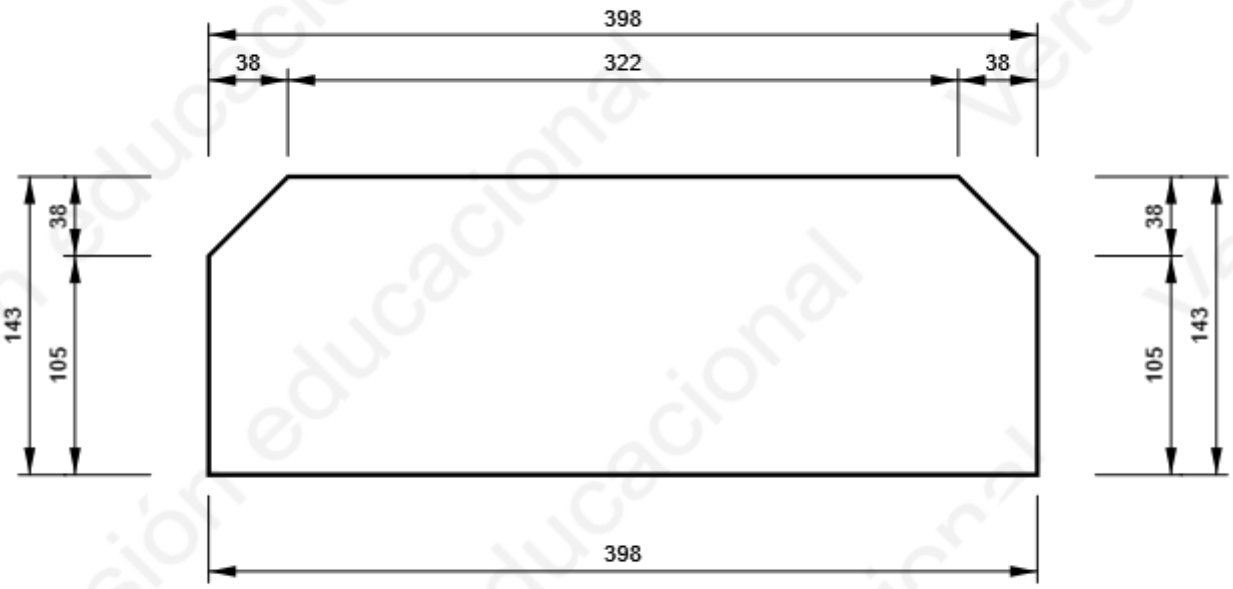
## FP3

**P20.0x230-420 (A572 Gr.50)**



## STIFF1

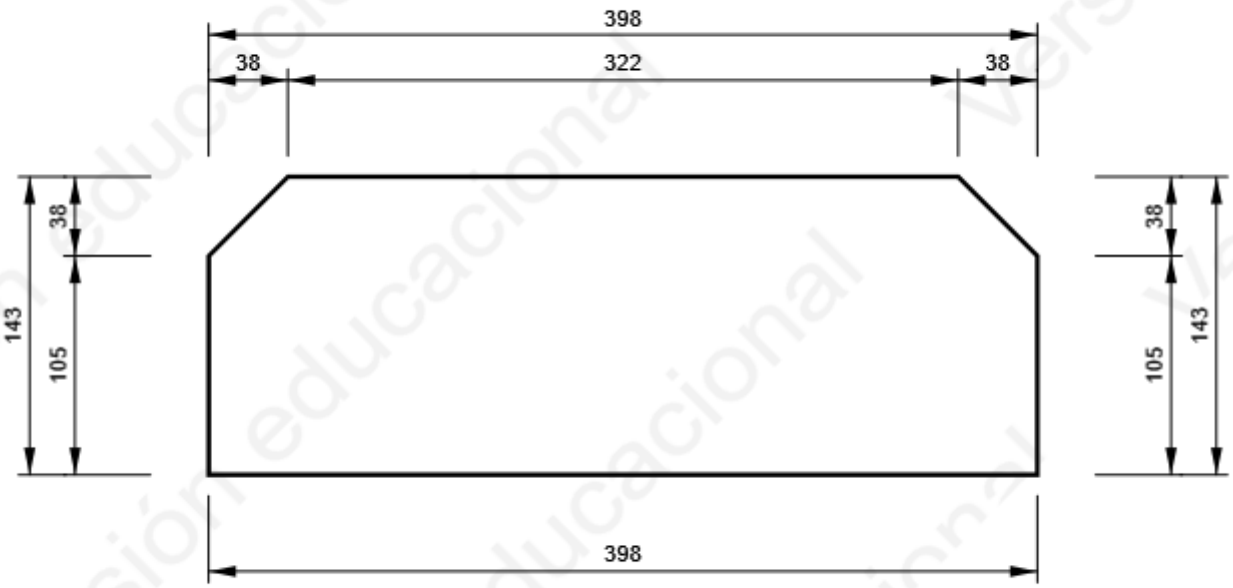
**P20.0x398-143 (A572 Gr.55)**




Versión educacional

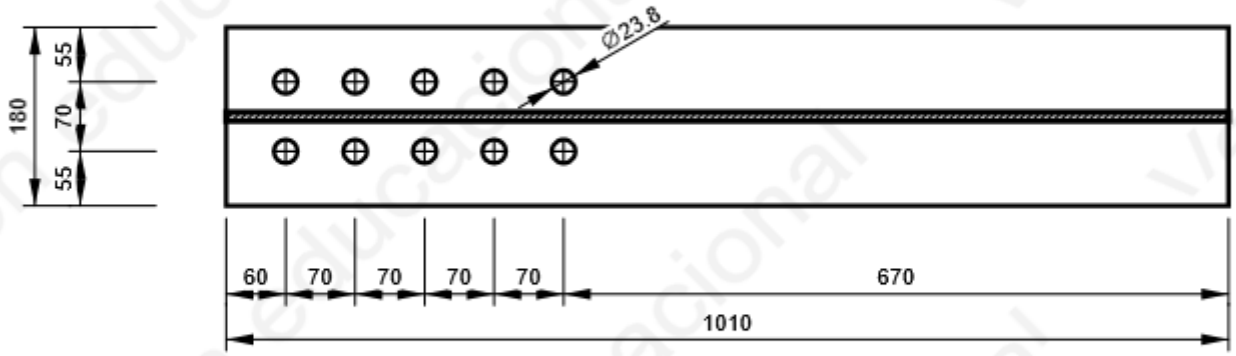
## RIGIDIZAR2

**P20.0x398-143 (A572 Gr.55)**



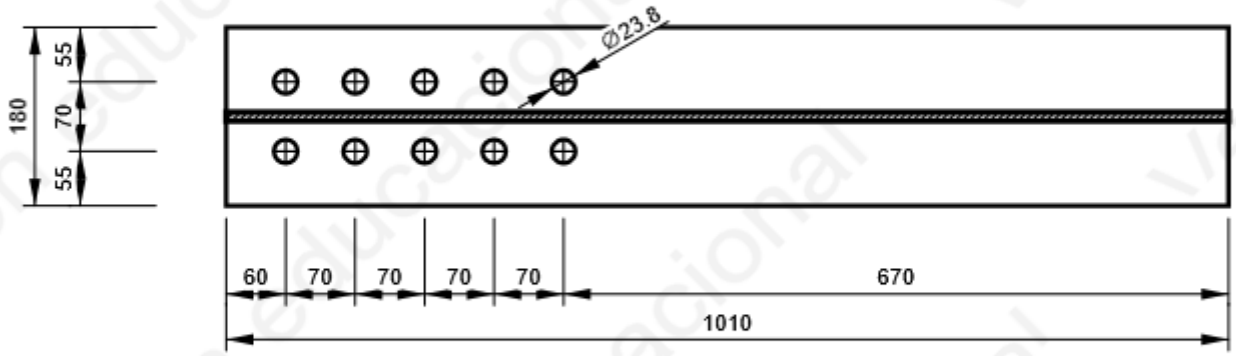

Versión educacional

## B, IPE400 - Ala inferior 1:



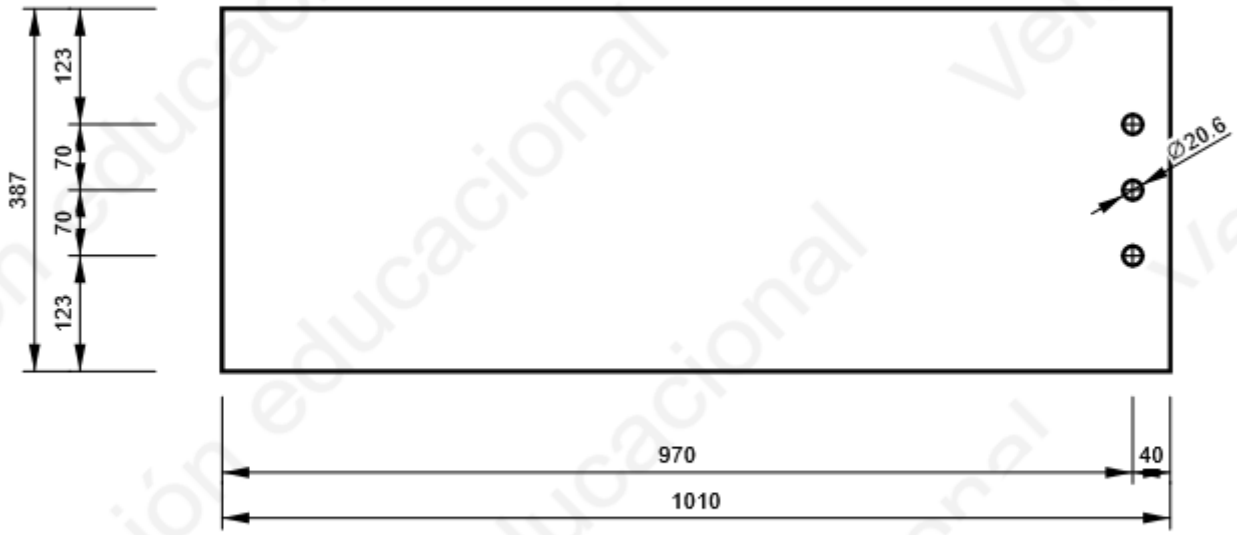

Versión educacional

## B, IPE400 - Ala superior 1:




Versión educacional

## B, IPE400 - Alma 1:



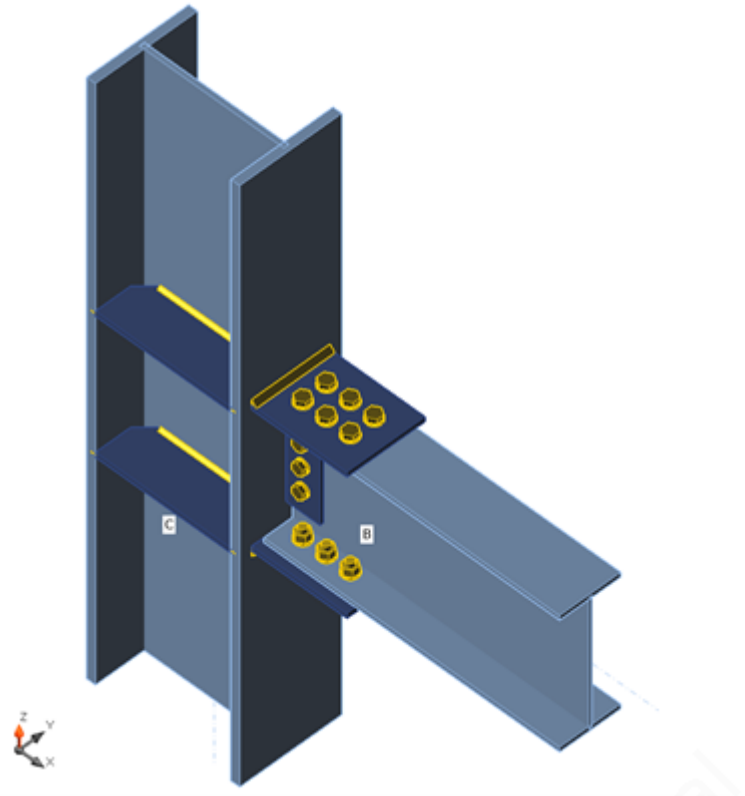
# Ítem del proyecto BFP-400-2

## Diseño

| | |
|---|---|
| Nombre | BFP-400-2 |
| Descripción | Conexion H450-I400 |
| Análisis | Rigidez |
| Normativa de cálculo | AISC - LRFD |

### Elementos estructurales

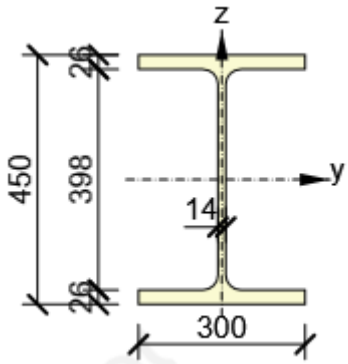
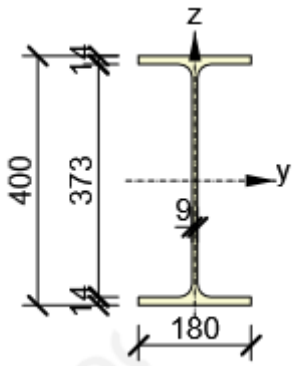
| Nombre | Sección transversal | β – Dirección [°] | γ - Inclinación [°] | α - Rotación [°] | Desplazamiento ex [mm] | Desplazamiento ey [mm] | Desplazamiento ez [mm] | Fuerzas en |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| C | 7 - HEB450 | 0.0 | -90.0 | 0.0 | 0 | 0 | 0 | Nudo |
| B | 8 - IPE400 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0 | 0 | 0 | Nudo |



### Secciones

| Nombre | Material |
|---|---|
| 7 - HEB450 | A572 Gr.50 |
| 8 - IPE400 | A36 |

## Secciones

| Nombre | Material | Dibujo |
|---|---|---|
| 7 - HEB450 | A572 Gr.50 |   |
| 8 - IPE400 | A36 |   |

## Tornillos

| Nombre | Conjunto de tornillo | Diámetro [mm] | fu [MPa] | Área bruta [mm$^2$] |
|---|---|---|---|---|
| 7/8 A490 | 7/8 A490 | 22 | 1034.2 | 388 |
| 3/4 A325 | 3/4 A325 | 19 | 825.0 | 285 |

## Cargas

| Nombre | Elemento | N [kN] | Vy [kN] | Vz [kN] | Mx [kNm] | My [kNm] | Mz [kNm] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| LE1 | B | 0.0 | 0.0 | -144.0 | 0.0 | 409.0 | 0.0 |

# Verificación

## Rigidez rotacional

| Nombre | Comp. | Cargas | Mj,Rd [kNm] | Sj,ini [MNm/rad] | Φc [rad] | L [m] | Sj,R [MNm/rad] | Sj,P [MNm/rad] | Clase |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| B | My | LE1 | 280.3 | 59.2 | 0.016 | 6.00 | 154.2 | 15.4 | Semi-rígido |

## Rigidez rotacional secante

| Nombre | Comp. | Cargas | M [kNm] | Sjs [MNm/rad] | Φ [rad] |
|---|---|---|---|---|---|
| B | My | LE1 | 409.0 | 0.0 | 0.748 |

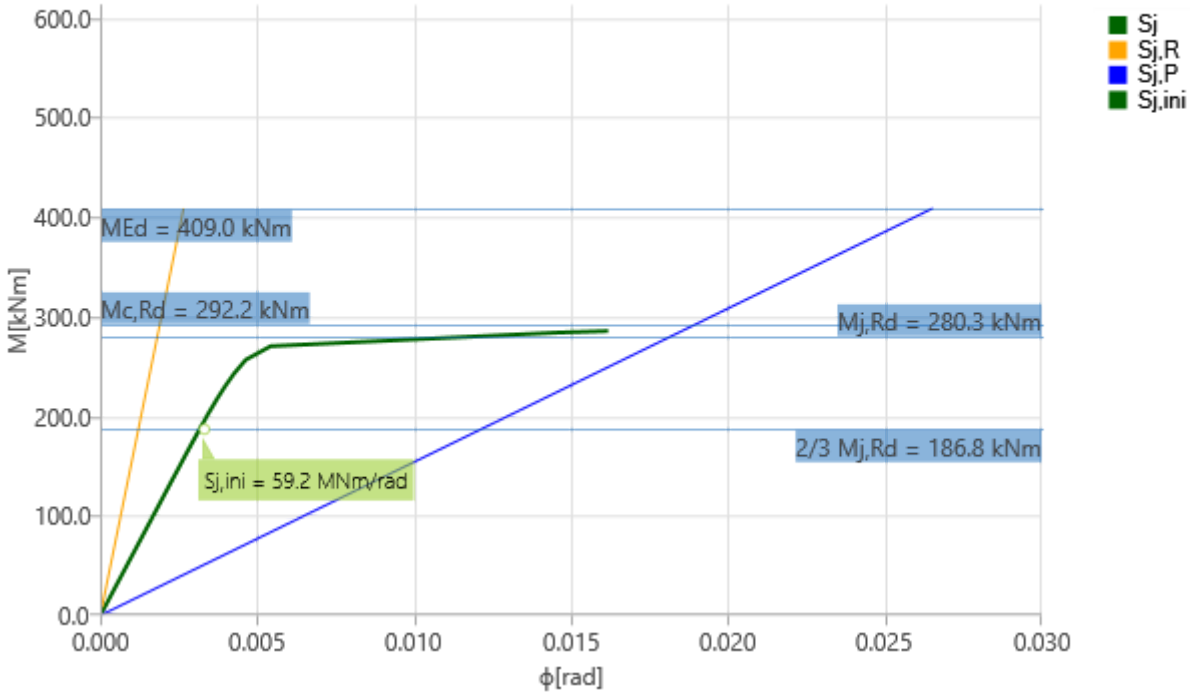
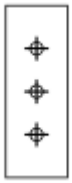



Diagrama de rigidez My - ϕy, LE1

# Listado de material

## Operaciones

| Nombre | Placas [mm] | Forma | Nr. | Soldaduras [mm] | Longitud [mm] | Tornillos | Nr. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| FP1 | P10.0x100.0-280.0 (A36) |  | 1 | Bisel: a = 10.0 | 280.0 | 3/4 A325 | 3 |
| FP2 | P15.0x280.0-230.0 (A572 Gr.50) | | 1 | tendón de soldadura simple: a = 10.6 | 230.0 | 7/8 A490 | 6 |
| FP3 | P15.0x280.0-230.0 (A572 Gr.50) | | 1 | tendón de soldadura simple: a = 10.6 | 230.0 | 7/8 A490 | 6 |
| STIFF1 | P15.0x143.0-398.0 (A572 Gr.55) | | 2 | | | | |
| RIGIDIZAR2 | P15.0x143.0-398.0 (A572 Gr.55) | | 2 | | | | |

## Soldaduras

| Tipo | Material | Espesor de garganta [mm] | Tamaño de pierna [mm] | Longitud [mm] |
|---|---|---|---|---|
| Bisel | E70xx | - | - | 280.0 |
| tendón de soldadura simple | E70xx | 10.6 | 15.0 | 460.0 |
| Doble tendón de soldadura | E70xx | 5.7 | 8.0 | 904.0 |
| Bisel | E70xx | - | - | 840.0 |
| Doble tendón de soldadura | E70xx | 5.7 | 8.0 | 322.0 |

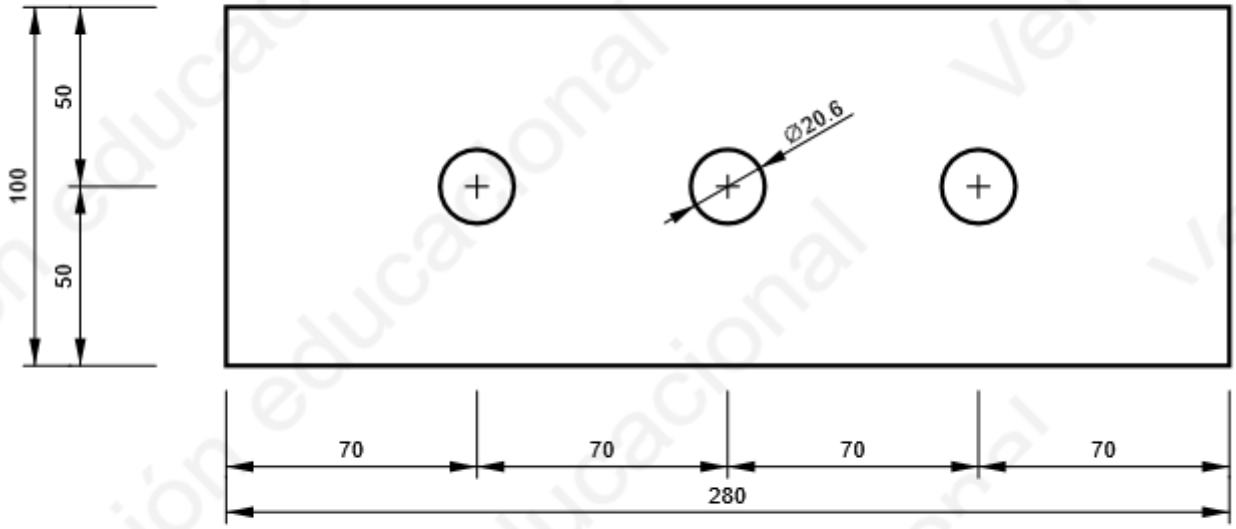
## Tornillos

| Nombre | Longitud de agarre [mm] | Cuenta |
|---|---|---|
| 3/4 A325 | 19 | 3 |
| 7/8 A490 | 29 | 12 |

## Dibujo

### FP1

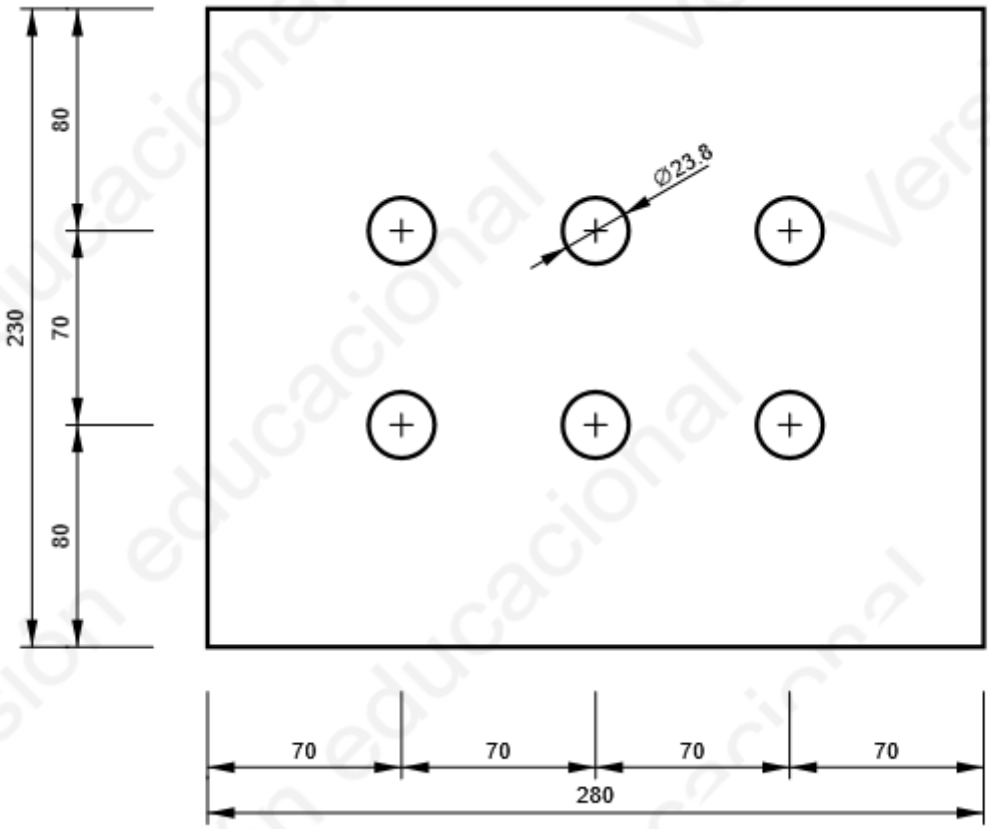
**P10.0x280-100 (A36)**




Versión educacional

## FP2

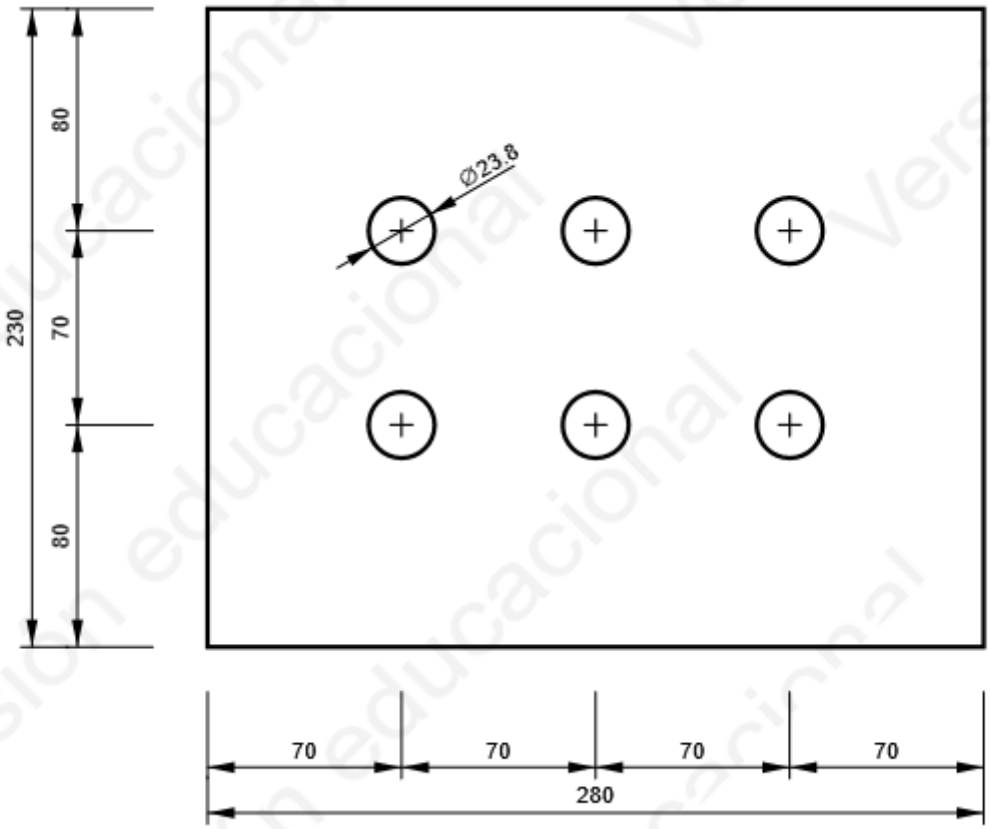
**P15.0x230-280 (A572 Gr.50)**




Versión educacional

## FP3

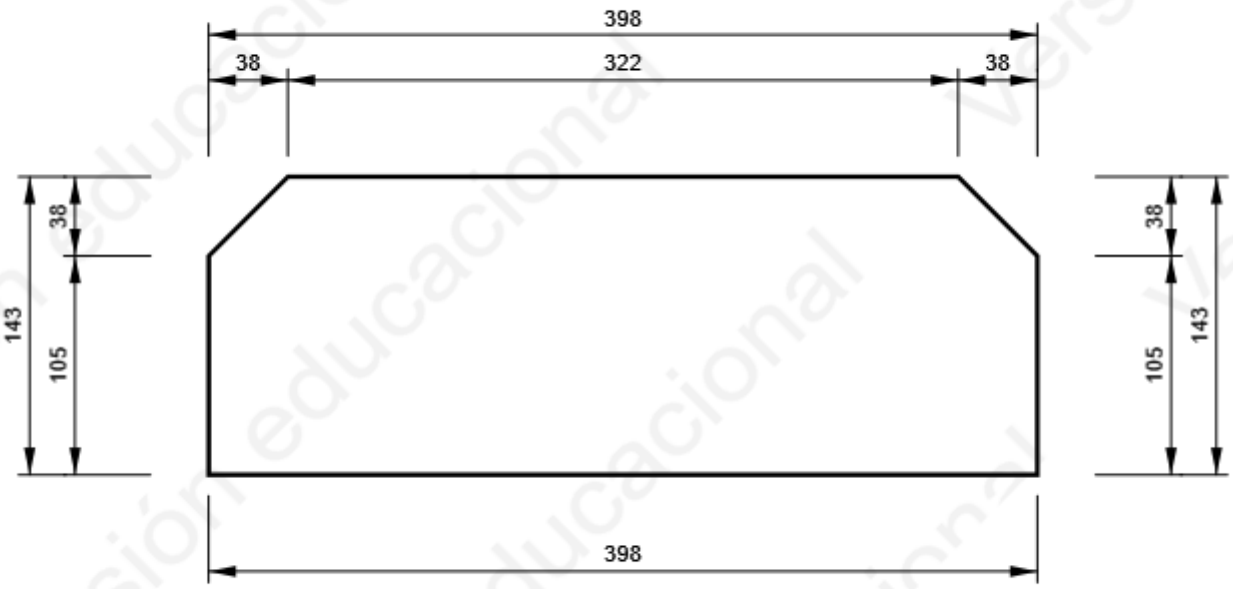
**P15.0x230-280 (A572 Gr.50)**




Versión educacional

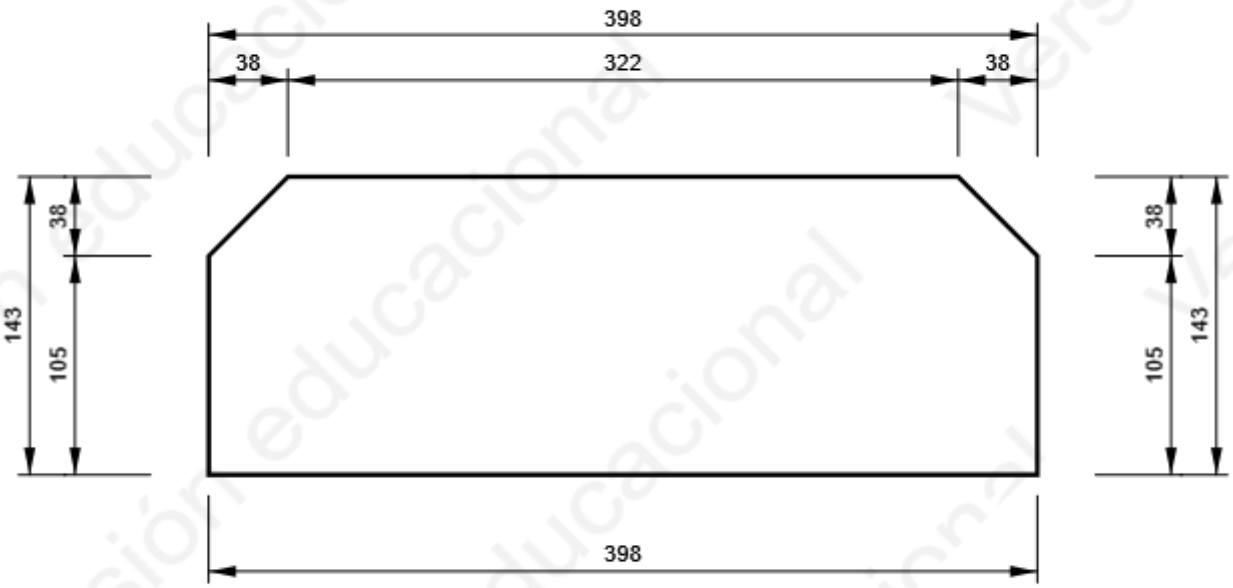
## STIFF1

**P15.0x398-143 (A572 Gr.55)**



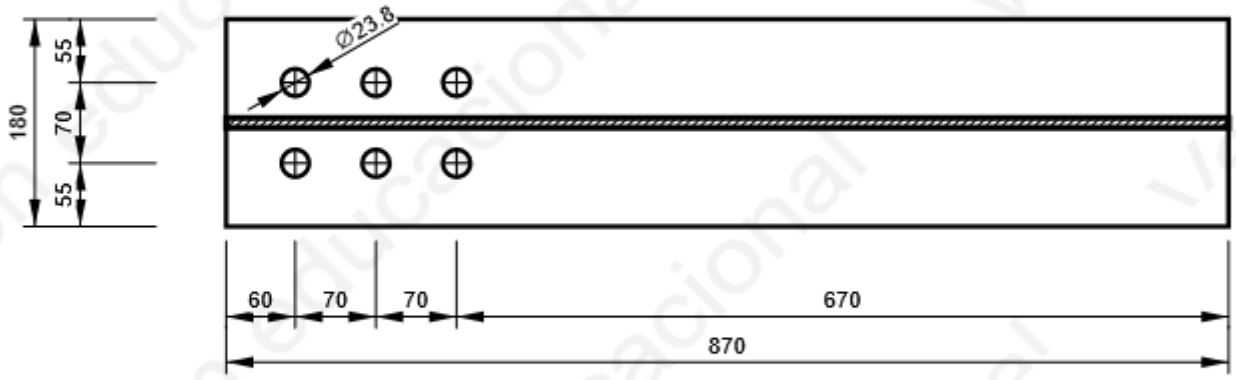
## RIGIDIZAR2

**P15.0x398-143 (A572 Gr.55)**



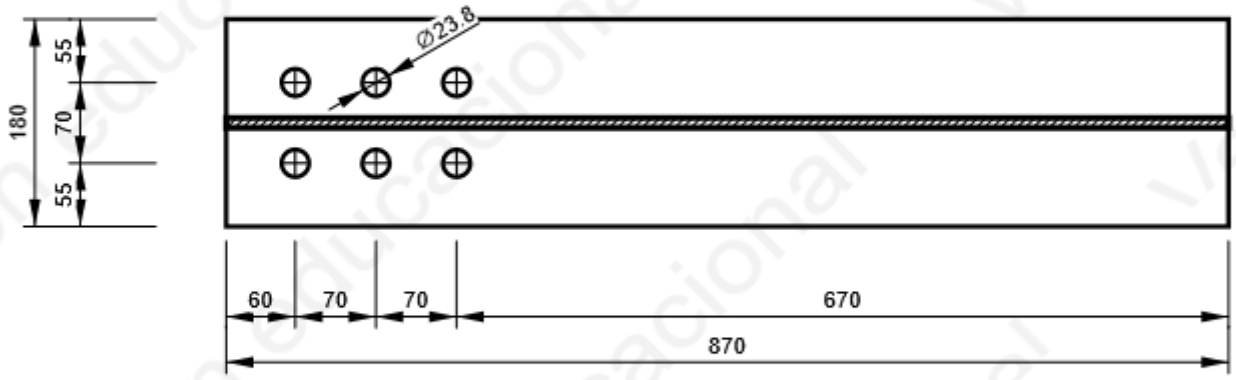

Versión educacional

## B, IPE400 - Ala inferior 1:



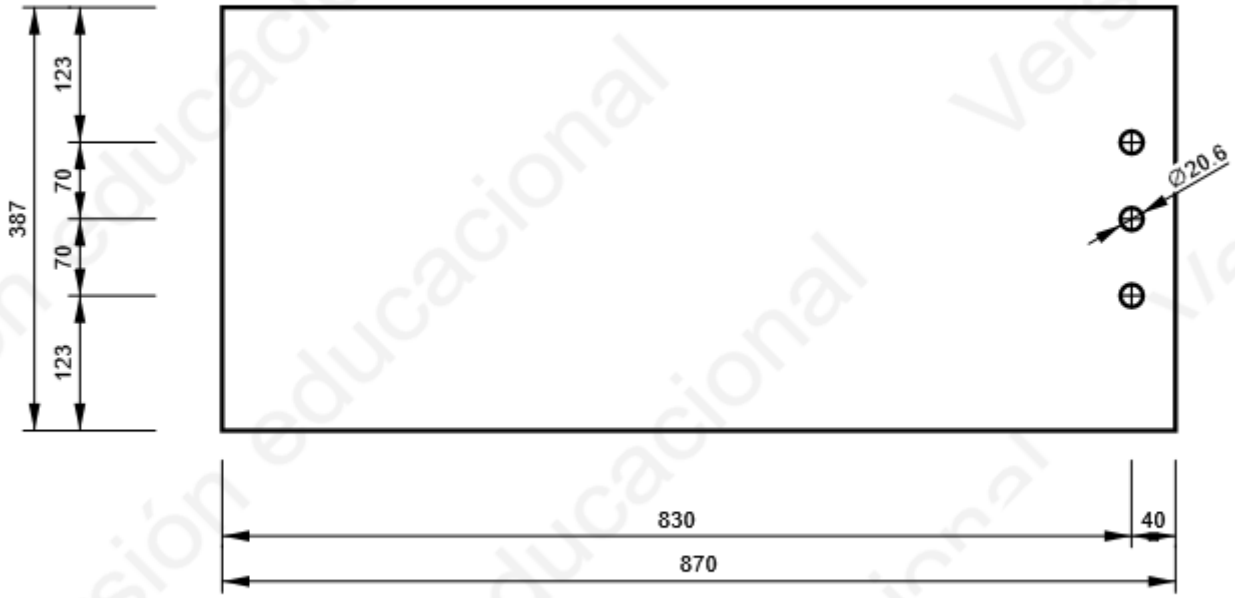

Versión educacional

## B, IPE400 - Ala superior 1:




Versión educacional

## B, IPE400 - Alma 1:




Versión educacional

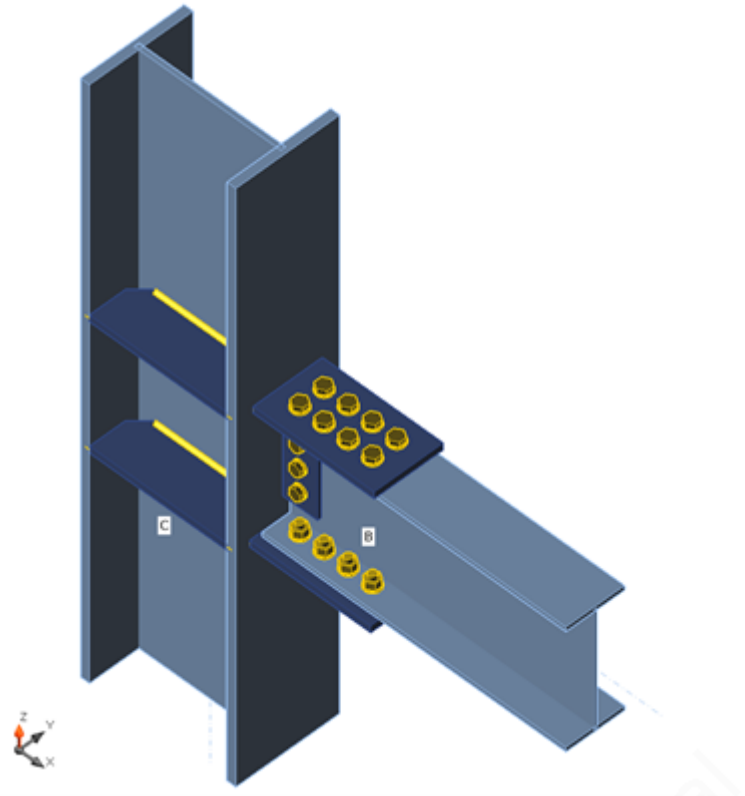
# Ítem del proyecto BFP-360-1

## Diseño

| | |
|---|---|
| Nombre | BFP-360-1 |
| Descripción | Conexion H450-I360 |
| Análisis | Rigidez |
| Normativa de cálculo | AISC - LRFD |

### Elementos estructurales

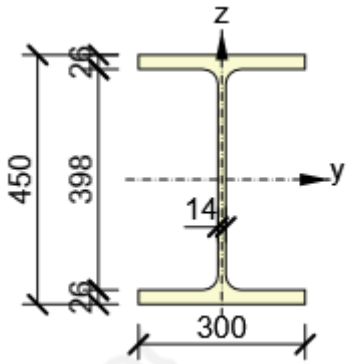
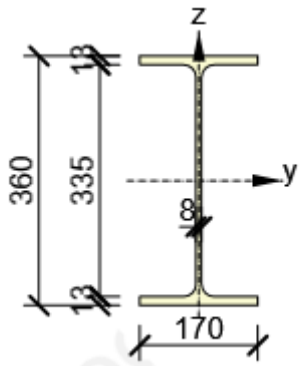
| Nombre | Sección transversal | β – Dirección [°] | γ - Inclinación [°] | α - Rotación [°] | Desplazamiento ex [mm] | Desplazamiento ey [mm] | Desplazamiento ez [mm] | Fuerzas en |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| C | 7 - HEB450 | 0.0 | -90.0 | 0.0 | 0 | 0 | 0 | Nudo |
| B | 9 - IPE360 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0 | 0 | 0 | Nudo |




### Secciones

| Nombre | Material |
|---|---|
| 7 - HEB450 | A572 Gr.50 |
| 9 - IPE360 | A572 Gr.50 |

## Secciones

| Nombre | Material | Dibujo |
|---|---|---|
| 7 - HEB450 | A572 Gr.50 |   |
| 9 - IPE360 | A572 Gr.50 |   |

## Tornillos

| Nombre | Conjunto de tornillo | Diámetro [mm] | fu [MPa] | Área bruta [mm$^2$] |
|---|---|---|---|---|
| 7/8 A490 | 7/8 A490 | 22 | 1034.2 | 388 |
| 3/4 A325 | 3/4 A325 | 19 | 825.0 | 285 |

## Cargas

| Nombre | Elemento | N [kN] | Vy [kN] | Vz [kN] | Mx [kNm] | My [kNm] | Mz [kNm] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| LE1 | B | 0.0 | 0.0 | -104.0 | 0.0 | 312.0 | 0.0 |

# Verificación

## Rigidez rotacional

| Nombre | Comp. | Cargas | Mj,Rd [kNm] | Sj,ini [MNm/rad] | Φc [rad] | L [m] | Sj,R [MNm/rad] | Sj,P [MNm/rad] | Clase |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| B | My | LE1 | 350.4 | 102.1 | 0.013 | 6.00 | 108.5 | 10.8 | Semi-rígido |

## Rigidez rotacional secante

| Nombre | Comp. | Cargas | M [kNm] | Sjs [MNm/rad] | Φ [rad] |
|---|---|---|---|---|---|
| B | My | LE1 | 312.0 | 88.6 | 0.004 |

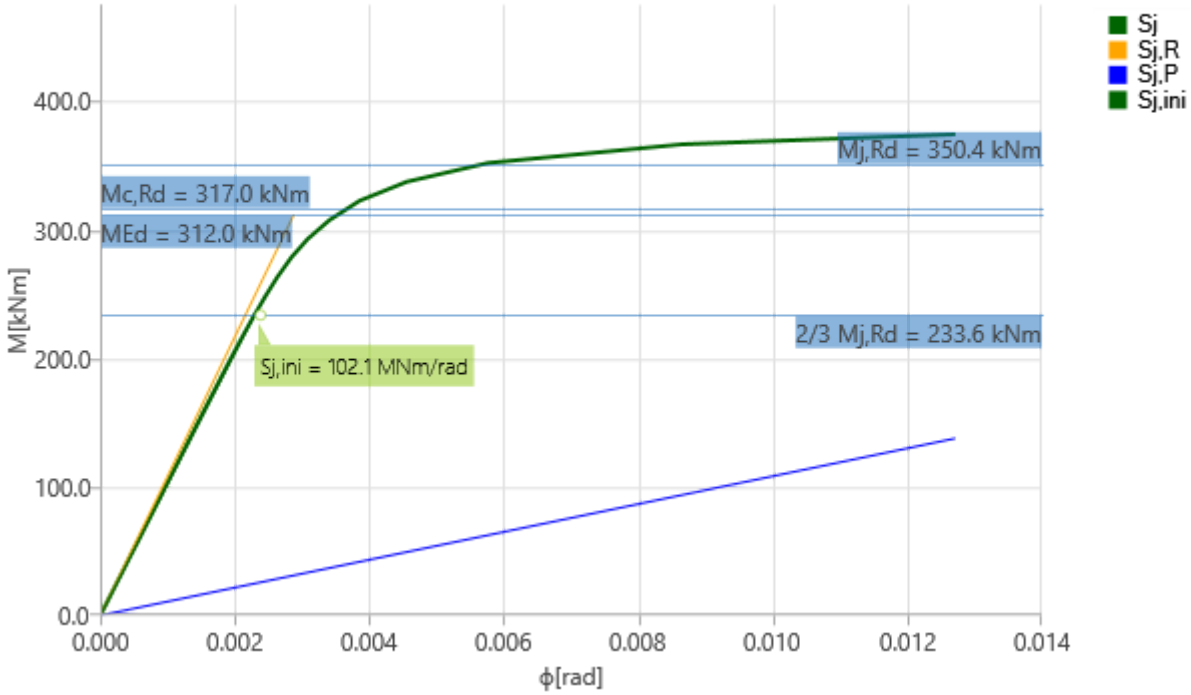
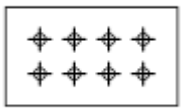
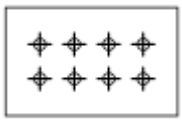



Diagrama de rigidez My - ϕy, LE1

# Listado de material

## Operaciones

| Nombre | Placas [mm] | Forma | Nr. | Soldaduras [mm] | Longitud [mm] | Tornillos | Nr. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| FP1 | P10.0x100.0-240.0 (A36) | | 1 | Bisel: a = 10.0 | 240.0 | 3/4 A325 | 3 |
| FP2 | P20.0x350.0-200.0 (A572 Gr.50) |  | 1 | Bisel: a = 20.0 | 200.0 | 7/8 A490 | 8 |
| FP3 | P20.0x350.0-220.0 (A572 Gr.50) |  | 1 | Bisel: a = 20.0 | 220.0 | 7/8 A490 | 8 |
| STIFF1 | P20.0x143.0-398.0 (A572 Gr.55) | | 2 | | | | |
| RIGIDIZAR2 | P20.0x143.0-398.0 (A572 Gr.55) | | 2 | | | | |

## Soldaduras

| Tipo | Material | Espesor de garganta [mm] | Tamaño de pierna [mm] | Longitud [mm] |
|---|---|---|---|---|
| Bisel | E70xx | - | - | 240.0 |
| Bisel | E70xx | - | - | 1260.0 |
| Doble tendón de soldadura | E70xx | 5.7 | 8.0 | 1200.0 |

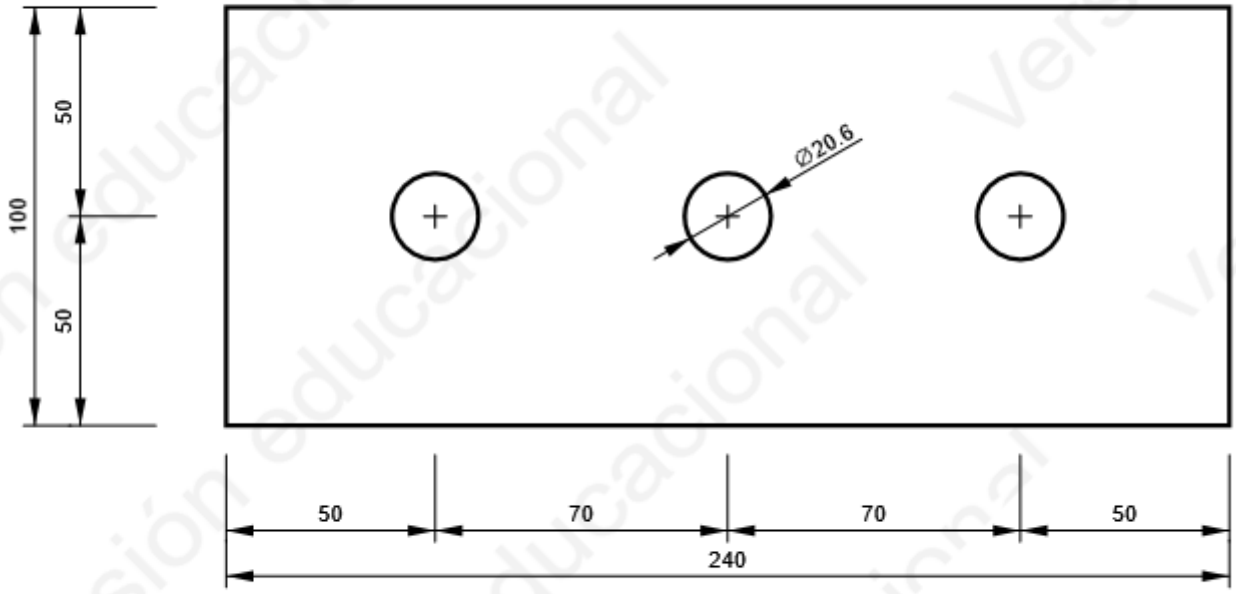
## Tornillos

| Nombre | Longitud de agarre [mm] | Cuenta |
|---|---|---|
| 3/4 A325 | 18 | 3 |
| 7/8 A490 | 33 | 16 |

## Dibujo

### FP1

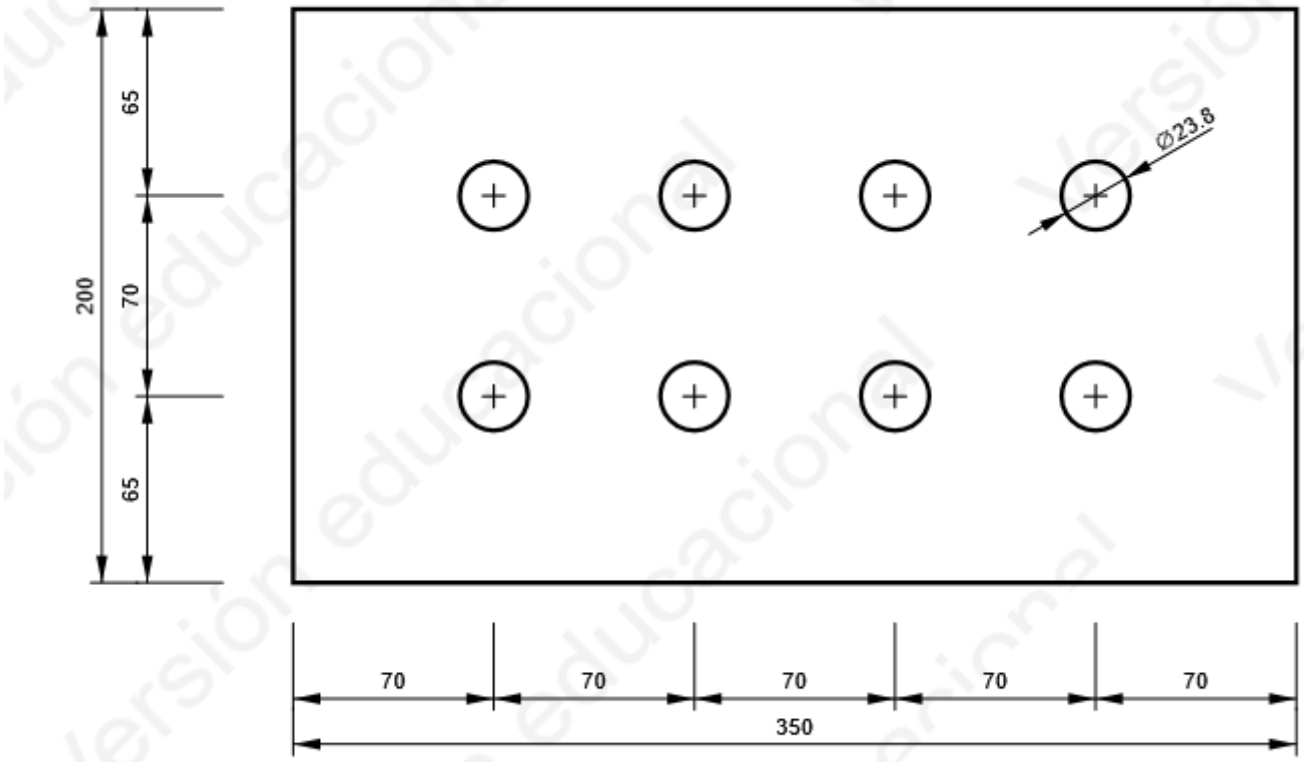
**P10.0x240-100 (A36)**




Versión educacional

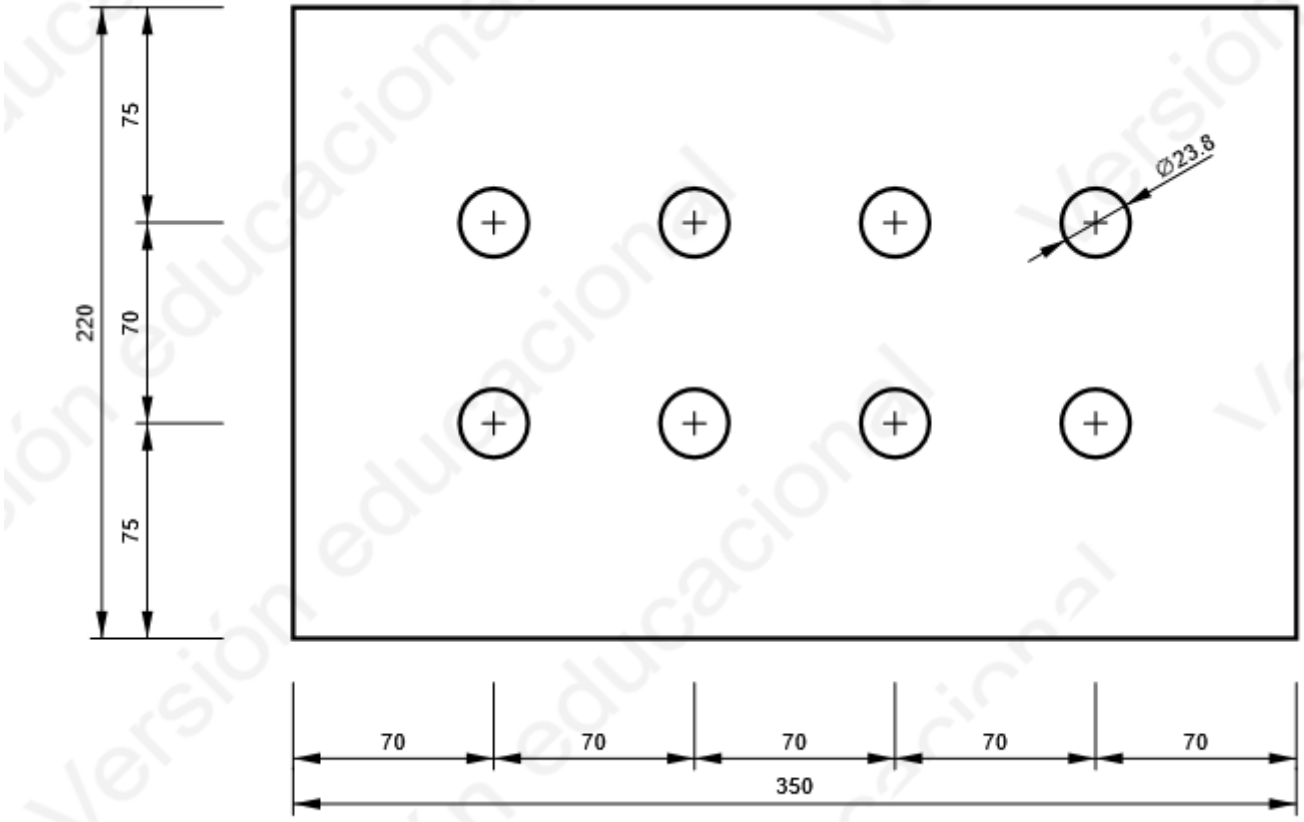
## FP2

**P20.0x200-350 (A572 Gr.50)**



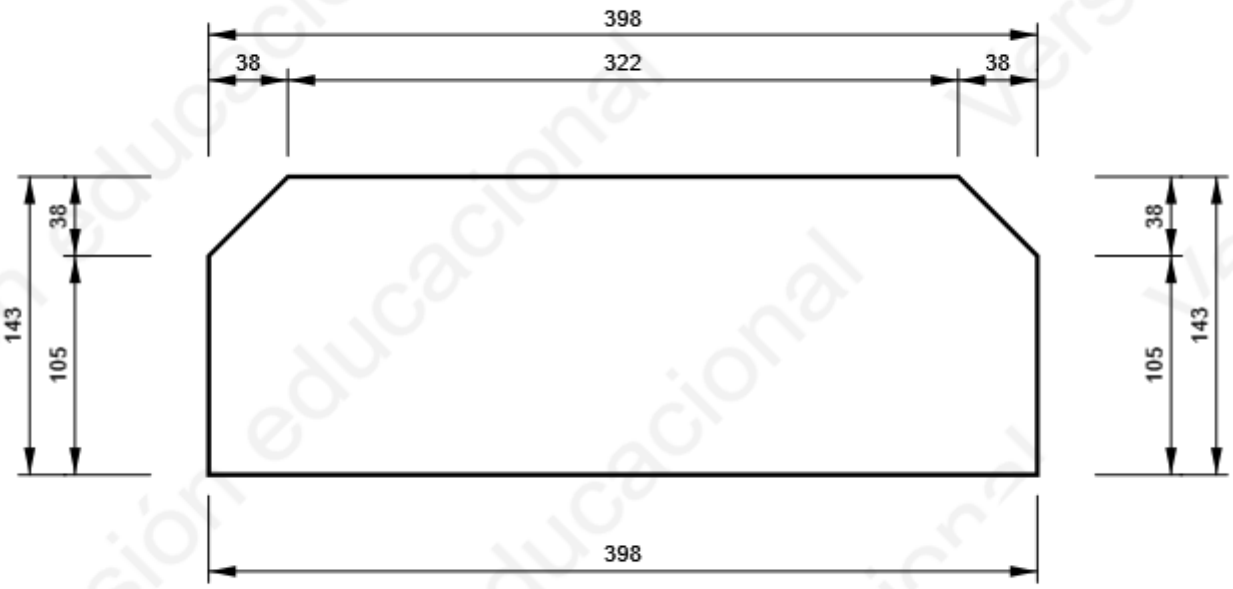
## FP3

**P20.0x220-350 (A572 Gr.50)**



## STIFF1

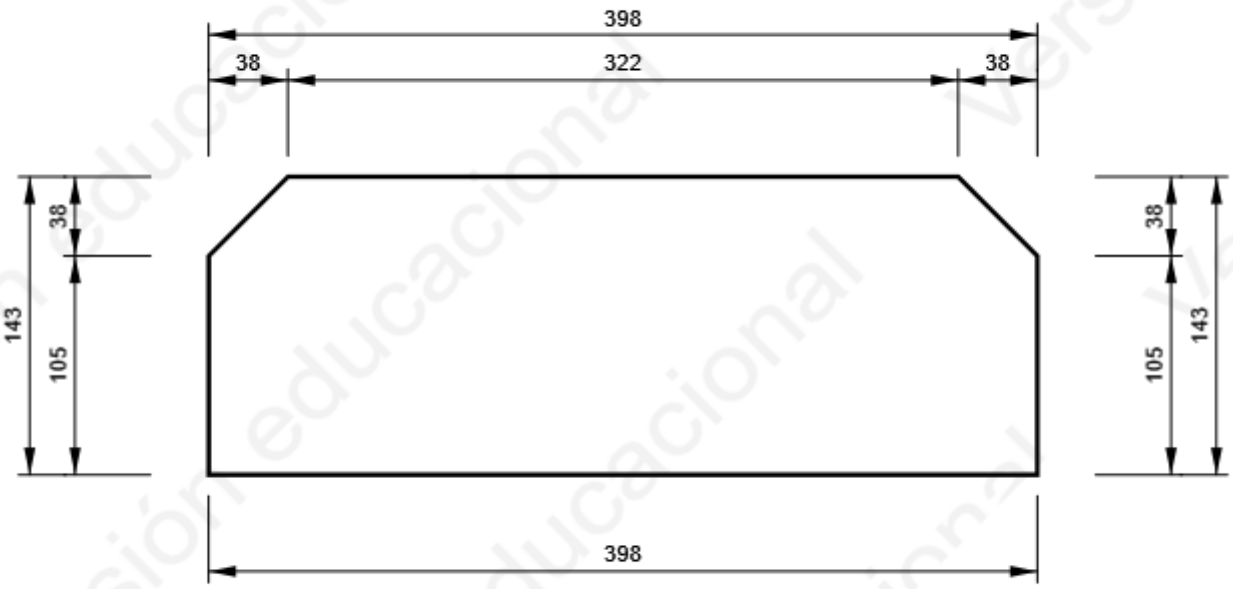
**P20.0x398-143 (A572 Gr.55)**




Versión educacional

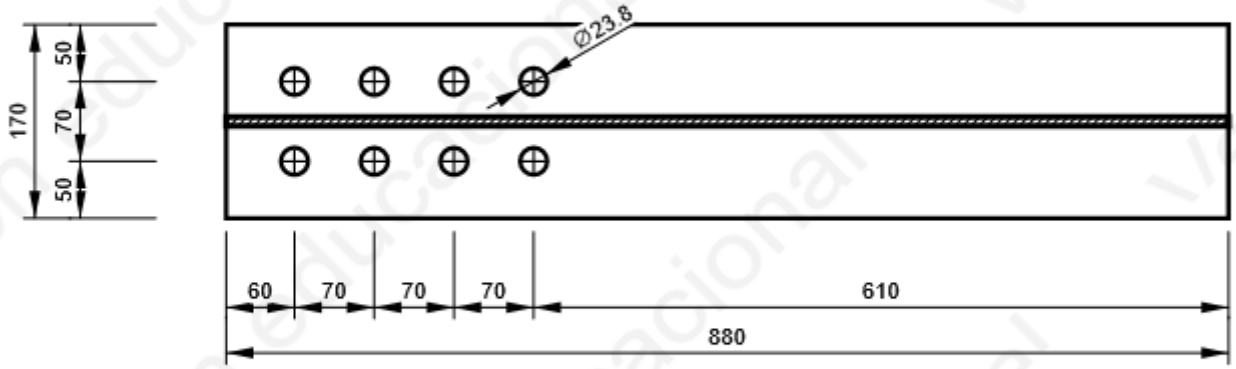
## RIGIDIZAR2

**P20.0x398-143 (A572 Gr.55)**



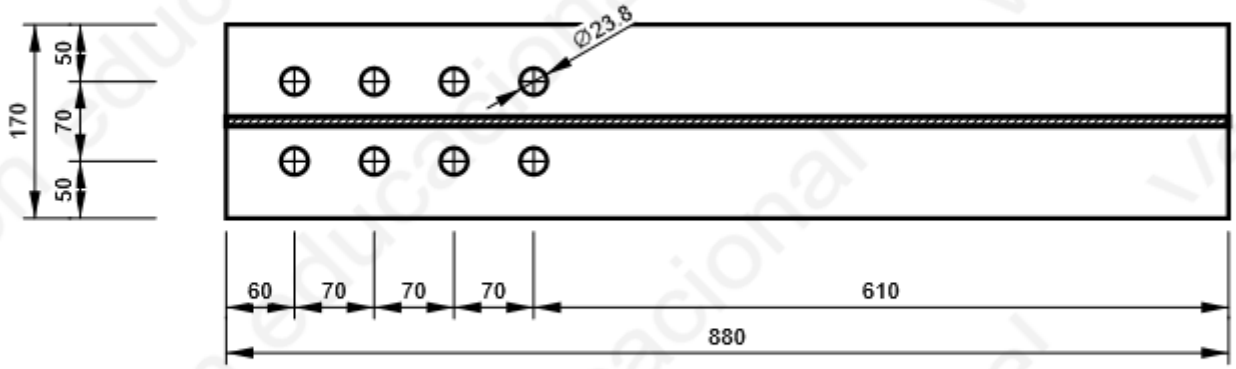

Versión educacional

## B, IPE360 - Ala inferior 1:




Versión educacional

## B, IPE360 - Ala superior 1:



## B, IPE360 - Alma 1:

Versión educacional

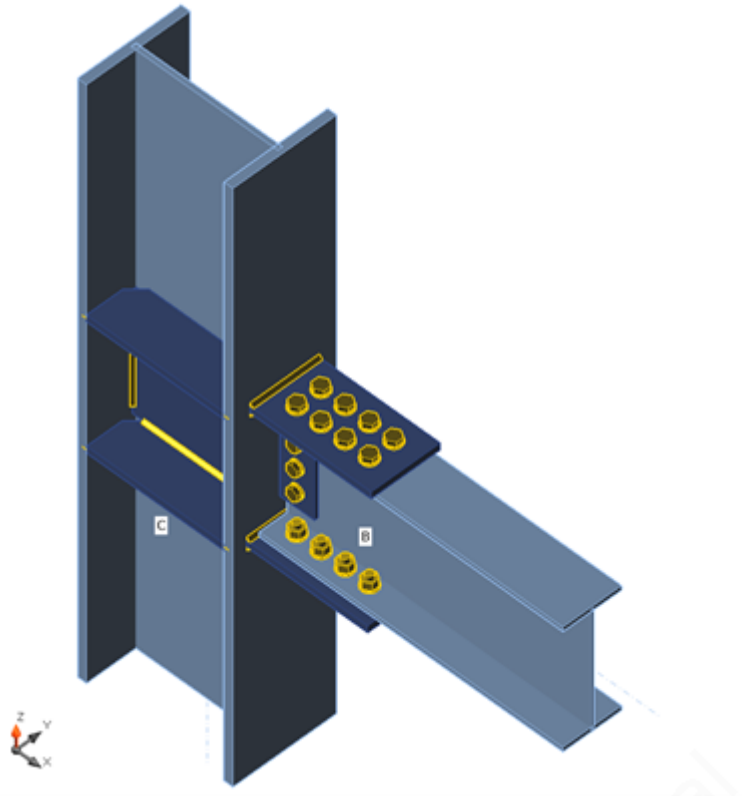
# Ítem del proyecto BFP-360-2

## Diseño

| | |
|---|---|
| Nombre | BFP-360-2 |
| Descripción | Conexion H450-I360 |
| Análisis | Rigidez |
| Normativa de cálculo | AISC - LRFD |

### Elementos estructurales

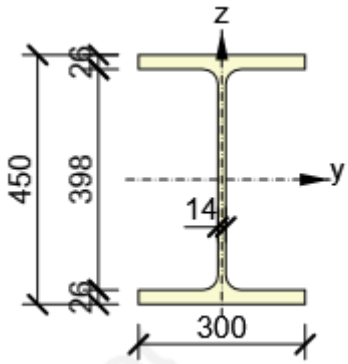
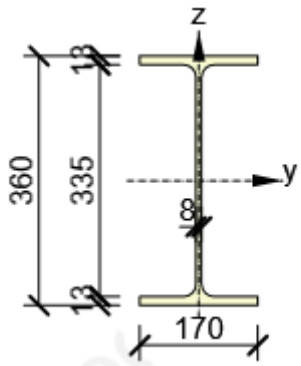
| Nombre | Sección transversal | β – Dirección [°] | γ - Inclinación [°] | α - Rotación [°] | Desplazamiento ex [mm] | Desplazamiento ey [mm] | Desplazamiento ez [mm] | Fuerzas en |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| C | 7 - HEB450 | 0.0 | -90.0 | 0.0 | 0 | 0 | 0 | Nudo |
| B | 9 - IPE360 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0 | 0 | 0 | Nudo |




### Secciones

| Nombre | Material |
|---|---|
| 7 - HEB450 | A572 Gr.50 |
| 9 - IPE360 | A572 Gr.50 |

## Secciones

| Nombre | Material | Dibujo |
|---|---|---|
| 7 - HEB450 | A572 Gr.50 |   |
| 9 - IPE360 | A572 Gr.50 |   |

## Tornillos

| Nombre | Conjunto de tornillo | Diámetro [mm] | fu [MPa] | Área bruta [mm$^2$] |
|---|---|---|---|---|
| 7/8 A490 | 7/8 A490 | 22 | 1034.2 | 388 |
| 3/4 A325 | 3/4 A325 | 19 | 825.0 | 285 |

## Cargas

| Nombre | Elemento | N [kN] | Vy [kN] | Vz [kN] | Mx [kNm] | My [kNm] | Mz [kNm] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| LE1 | B | 0.0 | 0.0 | -104.0 | 0.0 | 312.0 | 0.0 |

# Verificación

## Rigidez rotacional

| Nombre | Comp. | Cargas | Mj,Rd [kNm] | Sj,ini [MNm/rad] | Φc [rad] | L [m] | Sj,R [MNm/rad] | Sj,P [MNm/rad] | Clase |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| B | My | LE1 | 299.1 | 113.1 | 0.008 | 6.00 | 108.5 | 10.8 | Rígido |

## Rigidez rotacional secante

| Nombre | Comp. | Cargas | M [kNm] | Sjs [MNm/rad] | Φ [rad] |
|---|---|---|---|---|---|
| B | My | LE1 | 312.0 | 0.0 | 0.008 |

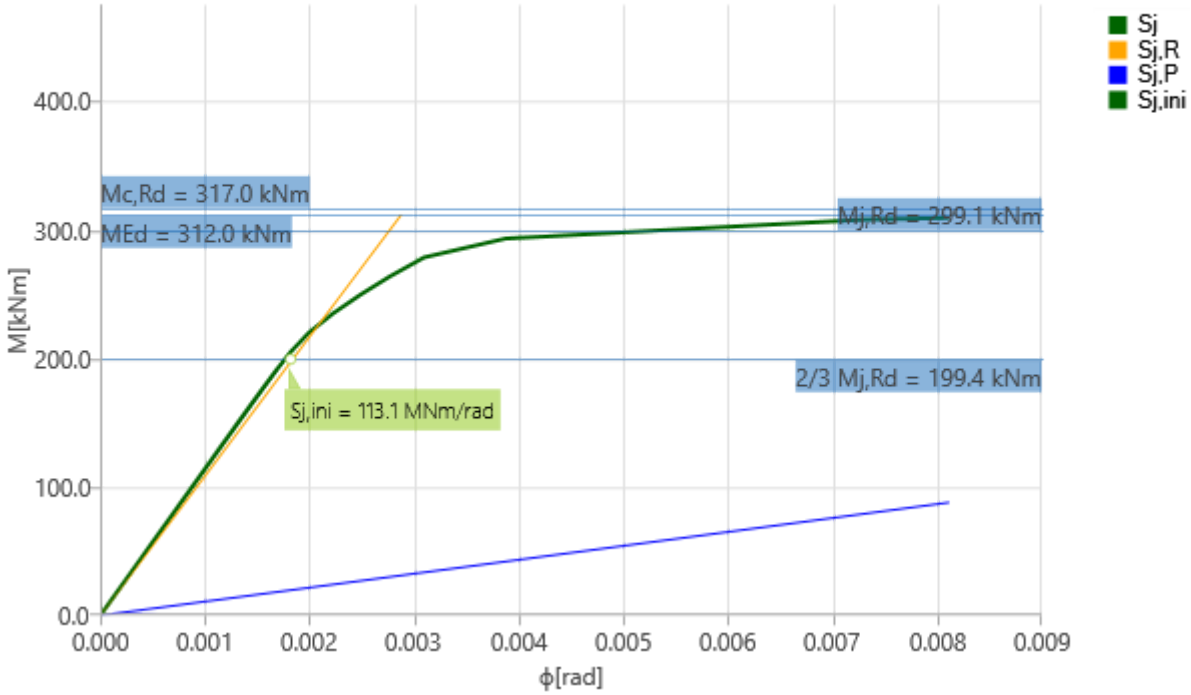
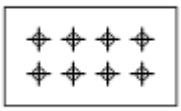
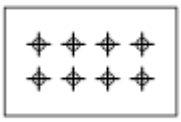



Diagrama de rigidez My - ϕy, LE1

# Listado de material

## Operaciones

| Nombre | Placas [mm] | Forma | Nr. | Soldaduras [mm] | Longitud [mm] | Tornillos | Nr. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| FP1 | P10.0x100.0-240.0 (A36) | | 1 | Bisel: a = 10.0 | 240.0 | 3/4 A325 | 3 |
| FP2 | P20.0x350.0-200.0 (A572 Gr.50) |  | 1 | Doble tendón de soldadura: a = 7.1 | 200.0 | 7/8 A490 | 8 |
| FP3 | P20.0x350.0-220.0 (A572 Gr.50) |  | 1 | Doble tendón de soldadura: a = 7.1 | 220.0 | 7/8 A490 | 8 |
| STIFF1 | P20.0x143.0-398.0 (A572 Gr.55) | | 2 | Bisel: a = 20.0<br>Bisel: a = 14.0 | 420.0<br>644.0 | | |
| RIGIDIZAR2 | P20.0x143.0-398.0 (A572 Gr.55) | | 2 | Bisel: a = 20.0<br>Bisel: a = 14.0 | 420.0<br>644.0 | | |
| SP 1 | P10.0x398.0-358.0 (A572 Gr.50) | | 1 | | | | |

## Soldaduras

| Tipo | Material | Espesor de garganta [mm] | Tamaño de pierna [mm] | Longitud [mm] |
|---|---|---|---|---|
| Bisel | E70xx | - | - | 240.0 |
| Doble tendón de soldadura | E70xx | 7.1 | 10.0 | 420.0 |
| Bisel | E70xx | - | - | 840.0 |
| Bisel | E70xx | - | - | 1288.0 |
| tendón de soldadura simple | E70xx | 5.7 | 8.0 | 616.0 |
| tendón de soldadura simple | E70xx | 5.7 | 8.0 | 664.0 |

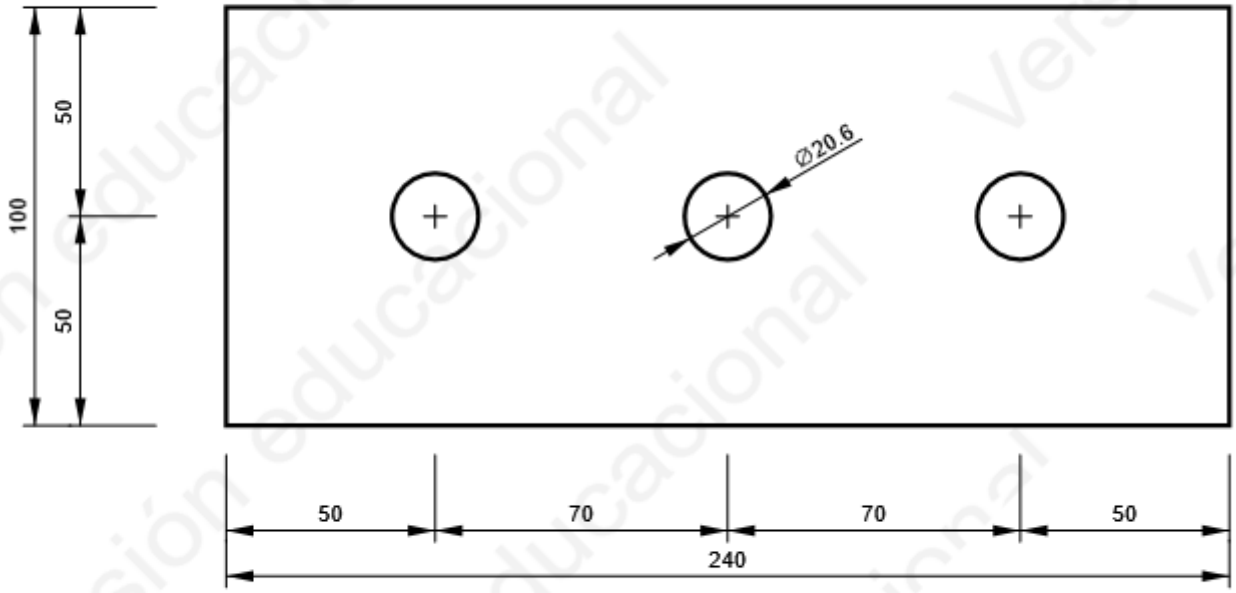
## Tornillos

| Nombre | Longitud de agarre [mm] | Cuenta |
|---|---|---|
| 3/4 A325 | 18 | 3 |
| 7/8 A490 | 33 | 16 |

## Dibujo

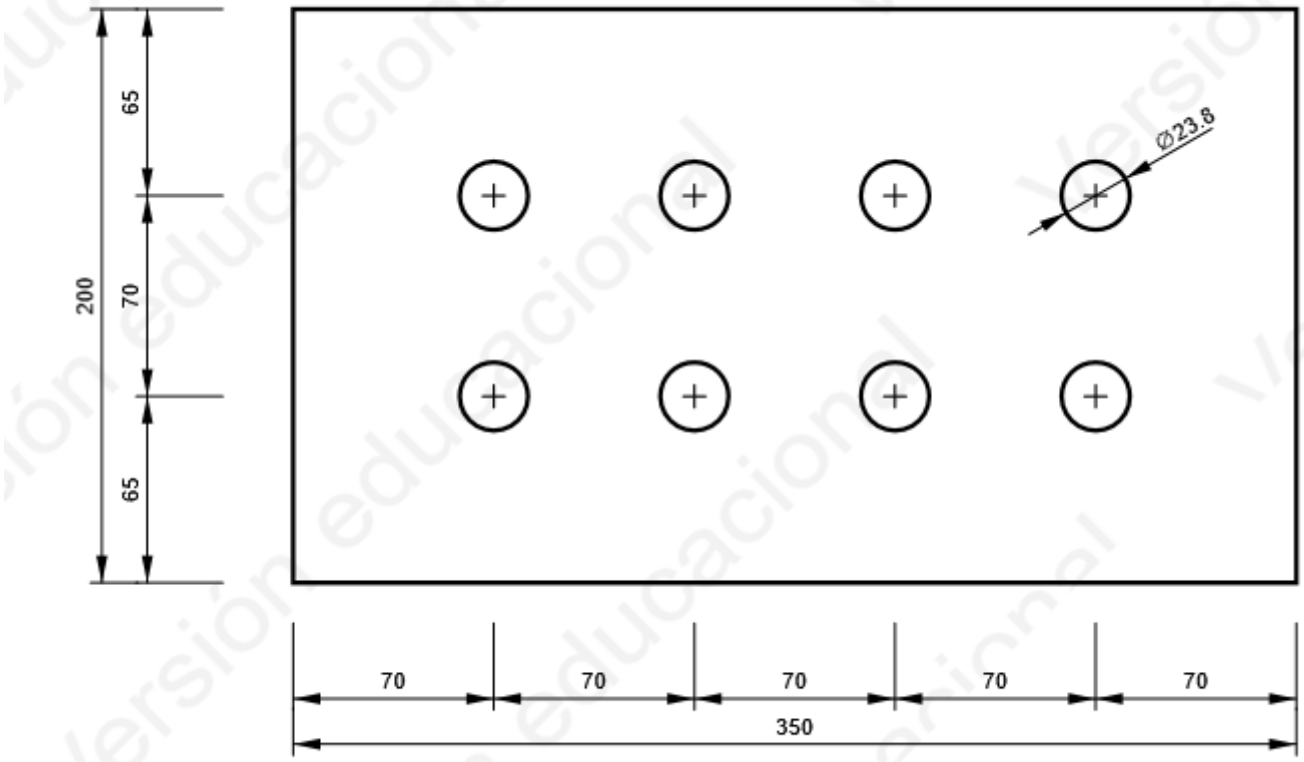
## FP1

**P10.0x240-100 (A36)**



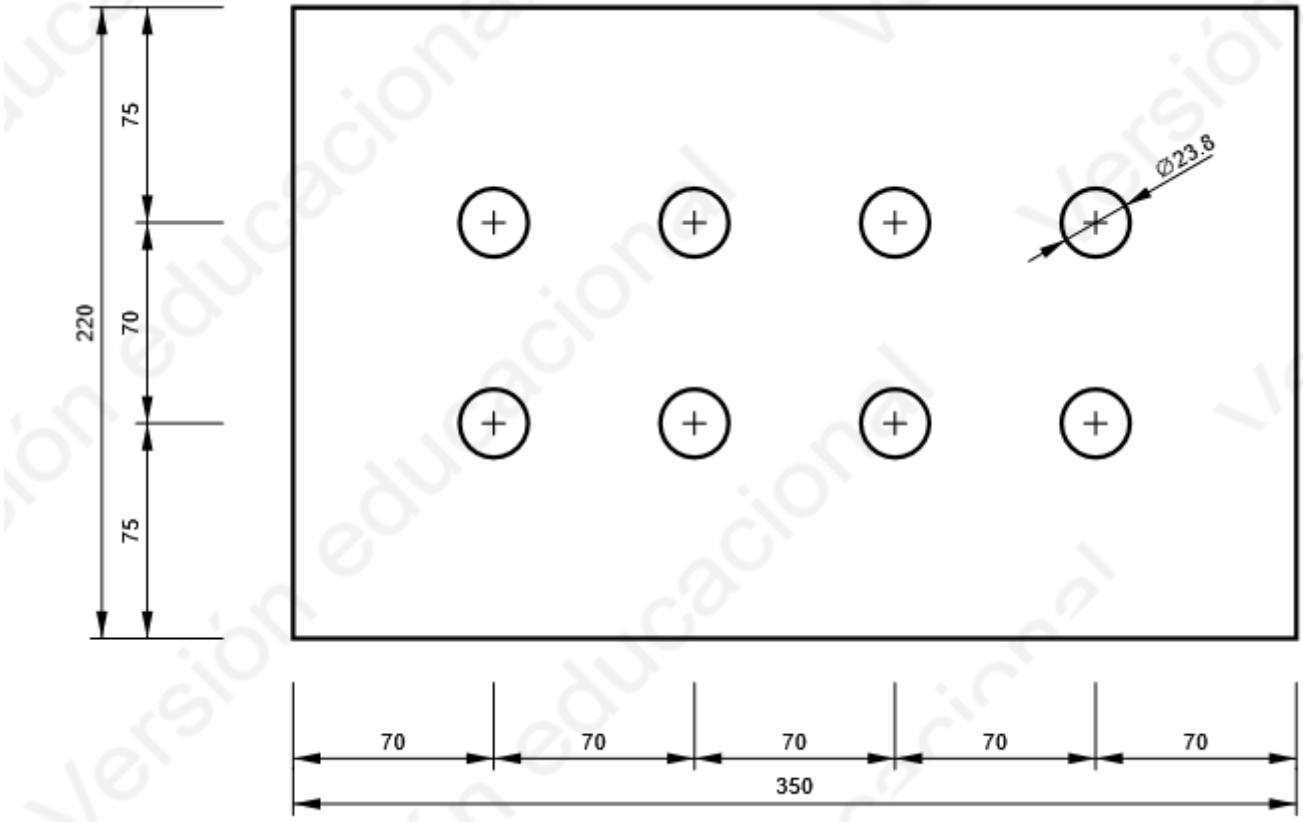
## FP2

**P20.0x200-350 (A572 Gr.50)**



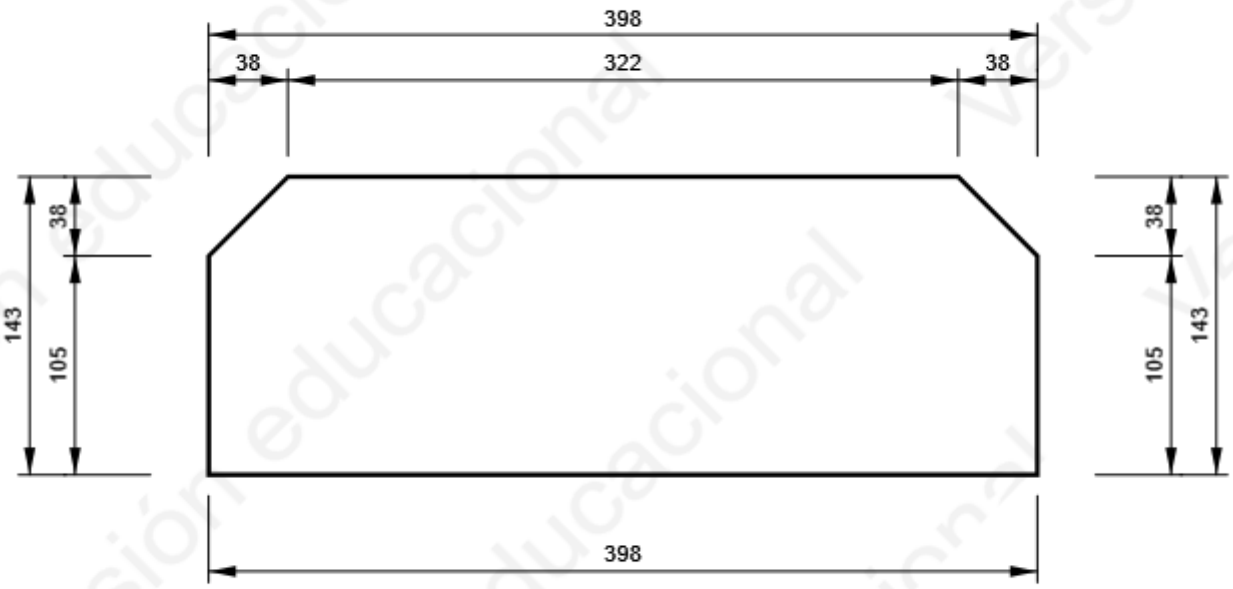
## FP3

**P20.0x220-350 (A572 Gr.50)**



## STIFF1

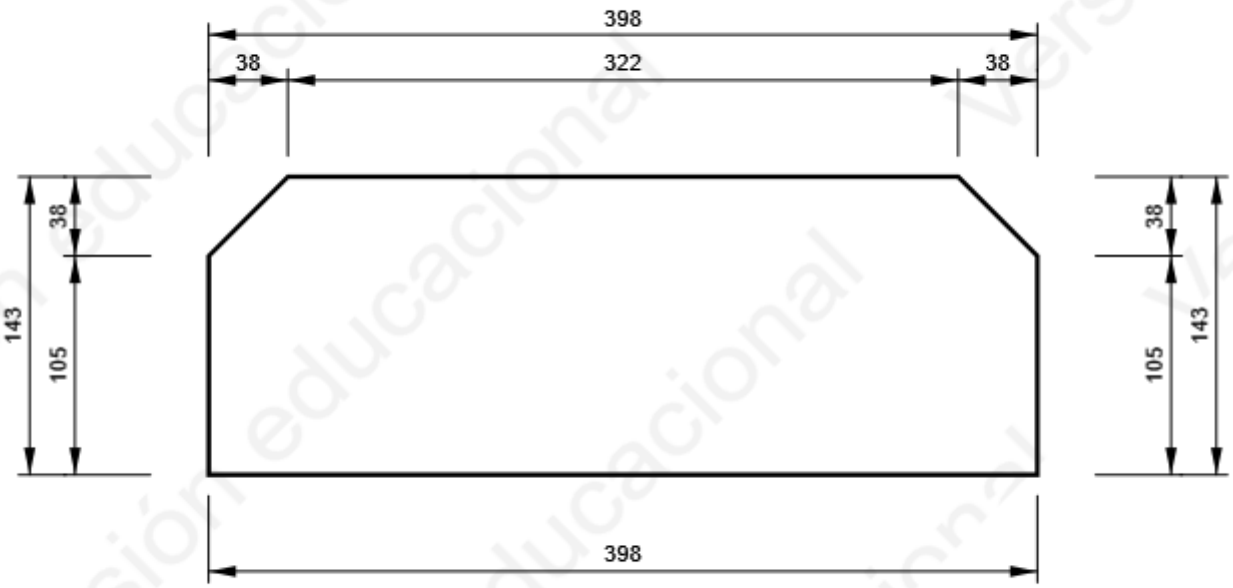
**P20.0x398-143 (A572 Gr.55)**




Versión educacional

## RIGIDIZAR2

**P20.0x398-143 (A572 Gr.55)**



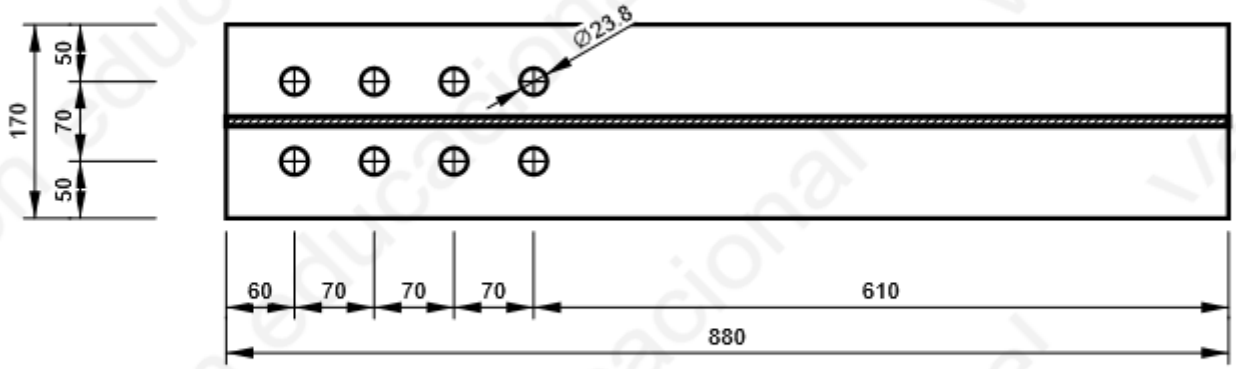

Versión educacional

## SP 1

**P10.0x358-398 (A572 Gr.50)**

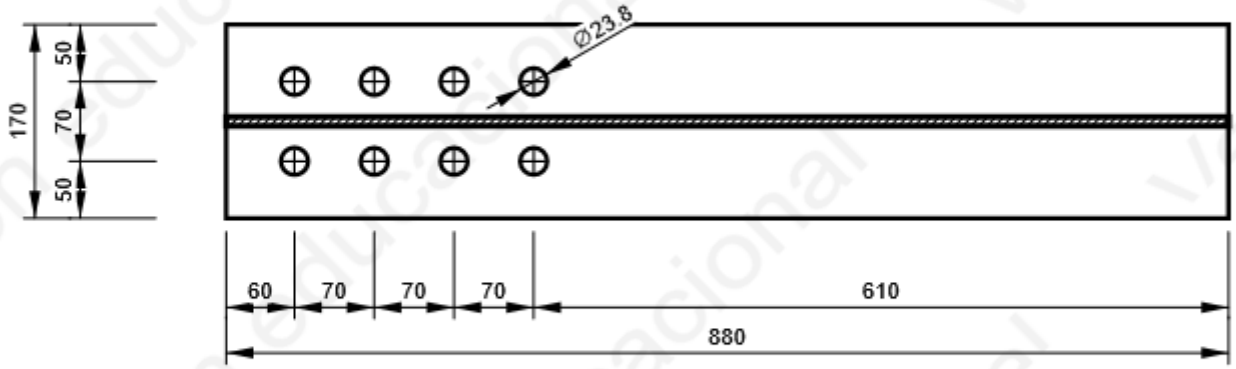
Versión educacional

## B, IPE360 - Ala inferior 1:




Versión educacional

## B, IPE360 - Ala superior 1:



### B, IPE360 - Alma 1:

## Explicación del símbolo

| Símbolo | Explicación del símbolo |
|---|---|
| $M_{j,Rd}$ | Resistencia a flexión |
| $S_{j,ini}$ | Rigidez rotacional inicial |
| $S_{j,s}$ | Rigidez rotacional secante |
| Φ | Deformación rotacional |
| $S_{j,R}$ | Valor límite - Unión rígida |
| $S_{j,P}$ | Valor límite - Unión articulada |
| Φc | Capacidad de rotación |

## Configuración de la norma

| Ítem | Valor | Unidad | Referencia |
|---|---|---|---|
| Coeficiente de fricción - hormigón | 0.40 | - | ACI 349 – B.6.1.4 |
| Coeficiente de fricción en la resistencia a deslizamiento | 0.30 | - | AISC 360-16 – J3.8 |
| Deformación plástica límite | 0.05 | - | |
| Evaluación de la tensión de la soldadura | Redistribución plástica | | |
| Detallado | No | | |
| Distancia entre tornillos [d] | 2.66 | - | AISC 360-16 – J3.3 |
| Distancia entre tornillos y el borde [d] | 1.25 | - | AISC 360-16 – J.3.4 |

| Ítem | Valor | Unidad | Referencia |
|---|---|---|---|
| Resistencia al arrancamiento del cono de hormigón | Sí | | |
| Resistencia del metal base en la cara de fusión de la soldadura | No | | AISC 360-16 – J2-2 |
| Hormigón fisurado | Sí | | ACI 318-14 – Chapter 17 |
| Comprobación de la deformación local | No | | |
| Deformación límite local | 0.03 | - | CIDECT DG 1, 3 - 1.1 |
| No linealidad geométrica (GMNA) | Sí | | Grandes deformaciones para secciones huecas |
| Braced system | No | | |

# IDEASTATICA: ANALISIS TENSION-DEFORMACION

**Proyecto:** **Conexiones SMF 4**
**Proyecto nº:**
**Autor:** **Tapia & Arbito**

# Datos del proyecto

| | |
|---|---|
| Nombre del proyecto | Conexiones SMF 4 |
| Número del Proyecto | |
| Autor | Tapia & Arbito |
| Descripción | Conexiones AISC 358 |
| Fecha | 27/05/2020 |
| Normativa de cálculo | AISC 360-16 |

# Material

| | |
|---|---|
| Acero | A572 Gr.50, A36, A572 Gr.55 |
| Hormigón | 4000 psi |

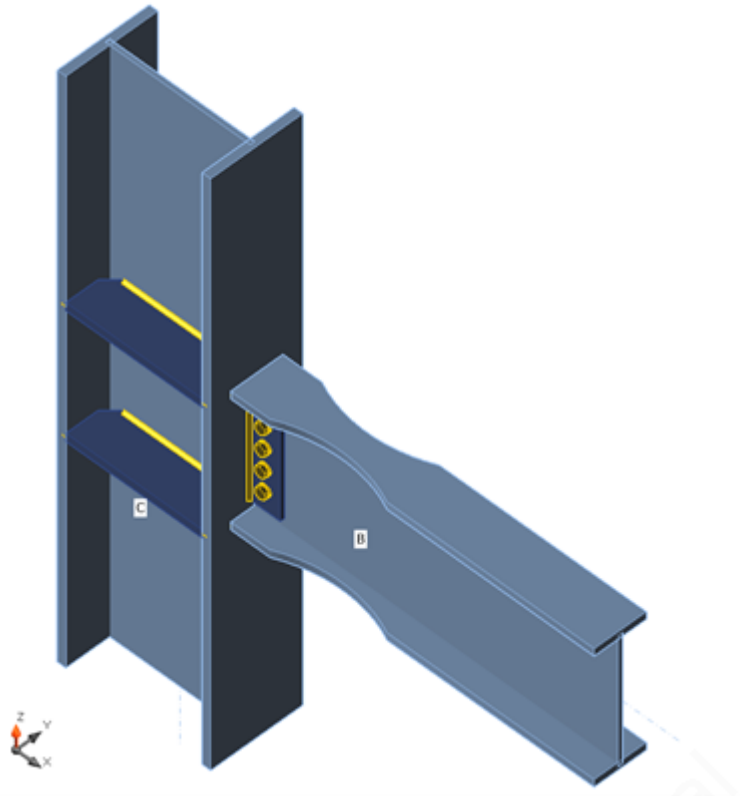
# Ítem del proyecto RBS-450-1

## Diseño

| | |
|---|---|
| Nombre | RBS-450-1 |
| Descripción | Conexion H500-I450 |
| Análisis | Tensión, deformación/ Carga simplificada |
| Normativa de cálculo | AISC - LRFD |

### Elementos estructurales

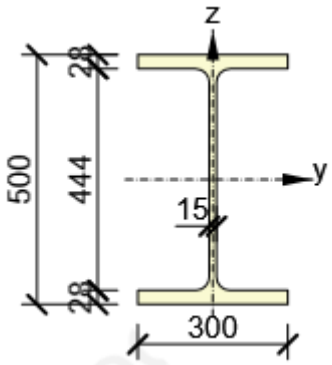
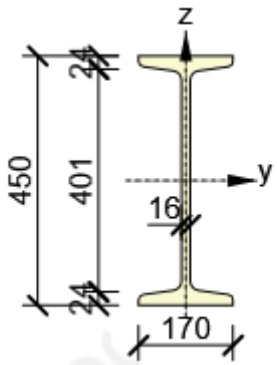
| Nombre | Sección transversal | β – Dirección [°] | γ - Inclinación [°] | α - Rotación [°] | Desplazamiento ex [mm] | Desplazamiento ey [mm] | Desplazamiento ez [mm] | Fuerzas en |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| C | 3 - HEB500 | 0.0 | -90.0 | 0.0 | 0 | 0 | 0 | Nudo |
| B | 4 - IPN450 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0 | 0 | 0 | Nudo |




### Secciones

| Nombre | Material |
|---|---|
| 3 - HEB500 | A572 Gr.50 |
| 4 - IPN450 | A36 |

## Secciones

| Nombre | Material | Dibujo |
|---|---|---|
| 3 - HEB500 | A572 Gr.50 |   |
| 4 - IPN450 | A36 |   |

## Tornillos

| Nombre | Conjunto de tornillo | Diámetro [mm] | fu [MPa] | Área bruta [mm$^2$] |
|---|---|---|---|---|
| 3/4 A325 | 3/4 A325 | 19 | 825.0 | 285 |

## Cargas (No se requiere el equilibro)

| Nombre | Elemento | N [kN] | Vy [kN] | Vz [kN] | Mx [kNm] | My [kNm] | Mz [kNm] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| LE1 | B | 0.0 | 0.0 | -450.0 | 0.0 | 610.0 | 0.0 |

# Verificación

## Resumen

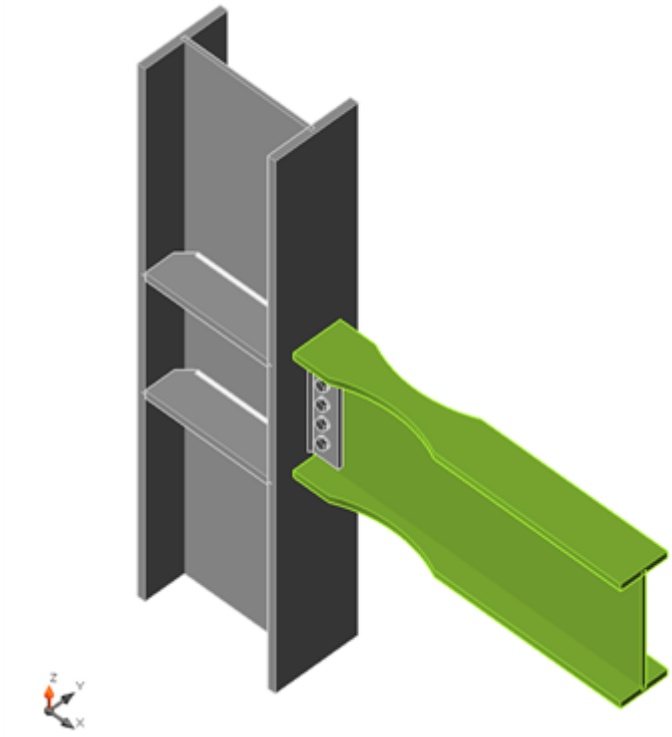
| Nombre | Valor | Estado de la verificación |
|---|---|---|
| Análisis | 100.0% | Aceptar |
| Placas | 1.1 < 5% | Aceptar |
| Tornillos | 4.3 < 100% | Aceptar |
| Soldaduras | 48.6 < 100% | Aceptar |
| Pandeo | No calculado | |

## Placas

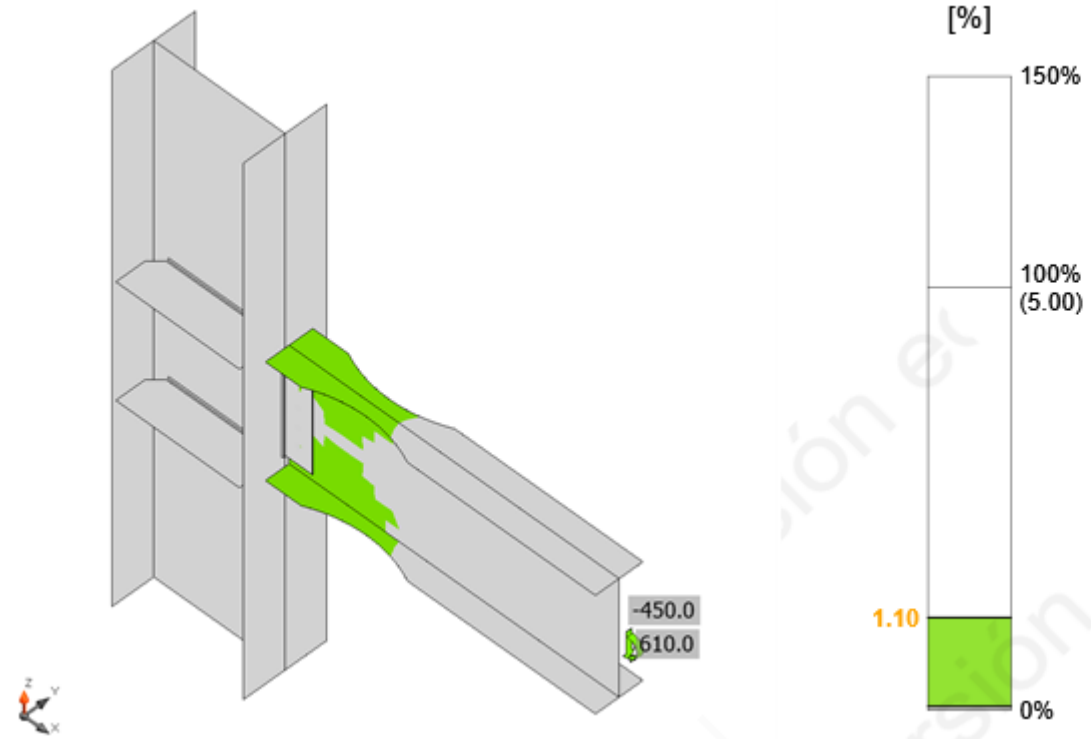
| Nombre | Material | $F_y$ [MPa] | Espesor [mm] | Cargas | $\sigma_{Ed}$ [MPa] | $\varepsilon_{Pl}$ [%] | Estado de la verificación |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| C-bfl 1 | A572 Gr.50 | 344.7 | 28.0 | LE1 | 173.3 | 0.0 | Aceptar |
| C-tfl 1 | A572 Gr.50 | 344.7 | 28.0 | LE1 | 95.8 | 0.0 | Aceptar |
| C-w 1 | A572 Gr.50 | 344.7 | 14.5 | LE1 | 253.9 | 0.0 | Aceptar |
| B-bfl 1 | A36 | 248.2 | 24.3 | LE1 | 225.6 | 1.1 | Aceptar |
| B-tfl 1 | A36 | 248.2 | 24.3 | LE1 | 225.6 | 1.1 | Aceptar |
| B-w 1 | A36 | 248.2 | 16.2 | LE1 | 225.0 | 0.8 | Aceptar |
| STIFF1a | A572 Gr.50 | 344.7 | 27.0 | LE1 | 182.1 | 0.0 | Aceptar |
| STIFF1b | A572 Gr.50 | 344.7 | 27.0 | LE1 | 183.0 | 0.0 | Aceptar |
| STIFF1c | A572 Gr.50 | 344.7 | 27.0 | LE1 | 181.5 | 0.0 | Aceptar |
| STIFF1d | A572 Gr.50 | 344.7 | 27.0 | LE1 | 182.6 | 0.0 | Aceptar |
| FP1 | A36 | 248.2 | 15.0 | LE1 | 53.8 | 0.0 | Aceptar |

**Datos de diseño**

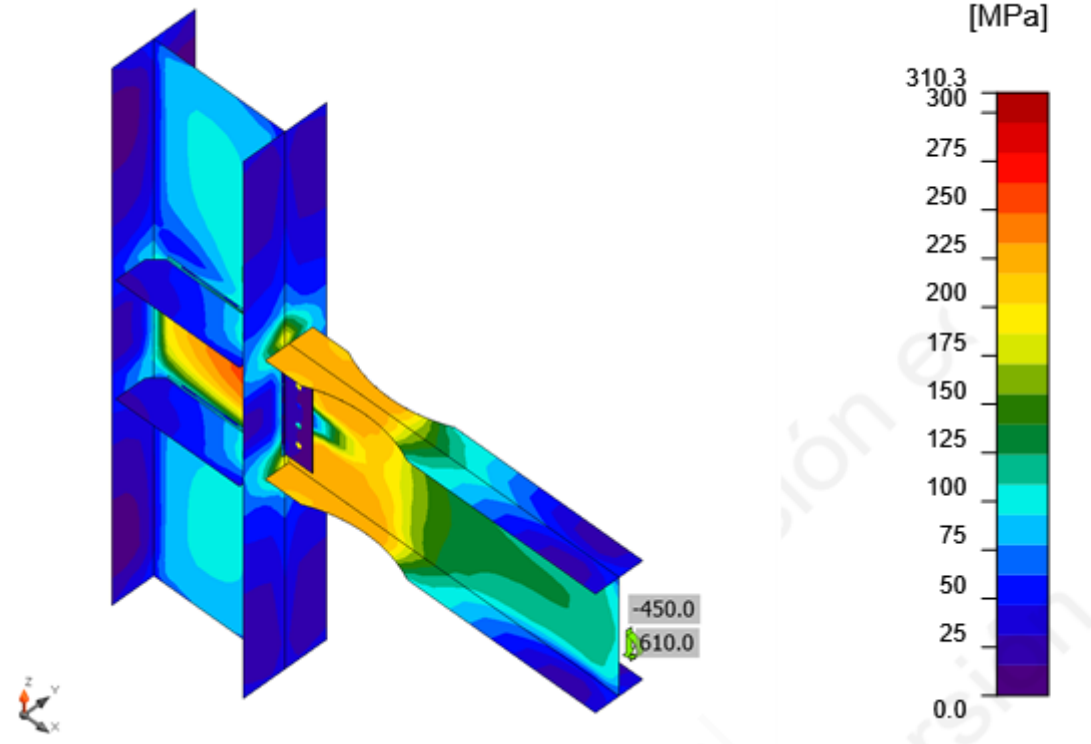
| Material | fy [MPa] | $\varepsilon_{lim}$ [%] |
|---|---|---|
| A572 Gr.50 | 344.7 | 5.0 |
| A36 | 248.2 | 5.0 |



*Verificación general, LE1*

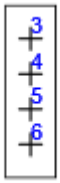



*Verificación de deformación, LE1*




*Tensión equivalente, LE1*

## Tornillos

| Forma | Ítem | Calidad | Cargas | $F_t$ [kN] | V [kN] | $\phi R_{n,portante}$ [kN] | $Ut_t$ [%] | $Ut_s$ [%] | $Ut_{ts}$ [%] | Estado |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
|  | B3 | 3/4 A325 - 1 | LE1 | 0.3 | 2.6 | 205.7 | 0.2 | 3.3 | - | Aceptar |
| | B4 | 3/4 A325 - 1 | LE1 | 0.2 | 1.9 | 205.7 | 0.1 | 2.4 | - | Aceptar |
| | B5 | 3/4 A325 - 1 | LE1 | 0.1 | 2.0 | 205.7 | 0.1 | 2.5 | - | Aceptar |
| | B6 | 3/4 A325 - 1 | LE1 | 0.2 | 3.4 | 205.7 | 0.2 | 4.3 | - | Aceptar |

**Datos de diseño**

| Calidad | $\phi R_{n,tracción}$ [kN] | $\phi R_{n,cortante}$ [kN] |
|---|---|---|
| 3/4 A325 - 1 | 132.5 | 79.5 |

**Resultado detallado para B3**

**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b = \quad 132.5 \quad \text{kN} \quad \geq \quad F_t = \quad 0.3 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$F_{nt} = 620.0$ MPa – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2

$A_b = 285$ mm$^2$ – Área bruta del tornillo

$\phi = 0.75$ – factor de capacidad

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b = \quad 79.5 \quad \text{kN} \quad \geq \quad V = \quad 2.6 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$F_{nv} = 372.0$ MPa – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2

$A_b = 285$ mm$^2$ – Área bruta del tornillo

$\phi = 0.75$ – factor de capacidad

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \quad \leq \quad 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$$

$$\phi R_n = \quad 205.7 \quad \text{kN} \quad \geq \quad V = \quad 2.6 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$l_c = 52$ mm – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material

$t = 15$ mm – espesor de la placa

$d = 19$ mm – dimámetro del tornillo

$F_u = 400.0$ MPa – resistencia a tracción del material conectado

$\phi = 0.75$ – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-2)

*La tensión requerida, a cortante o en tracción, es menor o igual al 30% de la resistencia y los efectos de las tensiones combinadas no*

*necesitan ser evaluadas.*

**Resultado detallado para B4**

**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b =$ 132.5 kN ≥ $F_t =$ 0.2 kN

*Donde:*

$F_{nt} =$ 620.0 MPa – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2
$A_b =$ 285 mm$^2$ – Área bruta del tornillo
$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b =$ 79.5 kN ≥ $V =$ 1.9 kN

*Donde:*

$F_{nv} =$ 372.0 MPa – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2
$A_b =$ 285 mm$^2$ – Área bruta del tornillo
$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u$ ≤ $2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$

$\phi R_n =$ 205.7 kN ≥ $V =$ 1.9 kN

*Donde:*

$l_c =$ 68 mm – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material
$t =$ 15 mm – espesor de la placa
$d =$ 19 mm – dimámetro del tornillo
$F_u =$ 400.0 MPa – resistencia a tracción del material conectado
$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-2)

*La tensión requerida, a cortante o en tracción, es menor o igual al 30% de la resistencia y los efectos de las tensiones combinadas no necesitan ser evaluadas.*

**Resultado detallado para B5**

**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b = \quad 132.5 \quad \text{kN} \quad \geq \quad F_t = \quad 0.1 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$F_{nt} =$ 620.0 MPa – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2

$A_b =$ 285 mm$^2$ – Área bruta del tornillo

$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b = \quad 79.5 \quad \text{kN} \quad \geq \quad V = \quad 2.0 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$F_{nv} =$ 372.0 MPa – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2

$A_b =$ 285 mm$^2$ – Área bruta del tornillo

$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \quad \leq \quad 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$$

$$\phi R_n = \quad 205.7 \quad \text{kN} \quad \geq \quad V = \quad 2.0 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$l_c =$ 64 mm – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material

$t =$ 15 mm – espesor de la placa

$d =$ 19 mm – dimámetro del tornillo

$F_u =$ 400.0 MPa – resistencia a tracción del material conectado

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-2)

*La tensión requerida, a cortante o en tracción, es menor o igual al 30% de la resistencia y los efectos de las tensiones combinadas no necesitan ser evaluadas.*

**Resultado detallado para B6**

**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b = \quad 132.5 \quad \text{kN} \quad \geq \quad F_t = \quad 0.2 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$F_{nt} =$ 620.0 MPa – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2

$A_b =$ 285 mm$^2$ – Área bruta del tornillo

$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b =$ 79.5 kN ≥ $V =$ 3.4 kN

*Donde:*

$F_{nv} =$ 372.0 MPa – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2
$A_b =$ 285 mm$^2$ – Área bruta del tornillo
$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \leq 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$

$\phi R_n =$ 205.7 kN ≥ $V =$ 3.4 kN

*Donde:*

$l_c =$ 57 mm – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material
$t =$ 15 mm – espesor de la placa
$d =$ 19 mm – dimámetro del tornillo
$F_u =$ 400.0 MPa – resistencia a tracción del material conectado
$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-2)
*La tensión requerida, a cortante o en tracción, es menor o igual al 30% de la resistencia y los efectos de las tensiones combinadas no necesitan ser evaluadas.*

## Soldaduras

| Ítem | Borde | Xu | $T_h$ [mm] | $L_s$ [mm] | L [mm] | $L_c$ [mm] | $F_n$ [kN] | $\phi R_n$ [kN] | Ut [%] | Estado |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| C-bfl 1 | B-bfl 1 | E70xx | - | - | 170 | - | - | - | - | Aceptar |
| C-bfl 1 | B-tfl 1 | E70xx | - | - | 170 | - | - | - | - | Aceptar |
| C-bfl 1 | B-w 1 | E70xx | - | - | 426 | - | - | - | - | Aceptar |
| C-bfl 1 | FP1 | E70xx | ◢5.7 | ◢8.0 | 341 | 21 | 14.1 | 35.7 | 39.6 | Aceptar |
| C-w 1 | STIFF1b | E70xx | ◢5.7◣ | ◢8.0◣ | 350 | 50 | 31.8 | 71.8 | 44.3 | Aceptar |
| | | E70xx | ◢5.7◣ | ◢8.0◣ | 350 | 50 | 31.4 | 64.7 | 48.6 | Aceptar |
| C-bfl 1 | STIFF1b | E70xx | - | - | 105 | - | - | - | - | Aceptar |
| C-tfl 1 | STIFF1b | E70xx | - | - | 105 | - | - | - | - | Aceptar |
| C-w 1 | STIFF1d | E70xx | ◢5.7◣ | ◢8.0◣ | 350 | 50 | 31.3 | 64.7 | 48.4 | Aceptar |
| | | E70xx | ◢5.7◣ | ◢8.0◣ | 350 | 50 | 31.7 | 71.8 | 44.2 | Aceptar |
| C-bfl 1 | STIFF1d | E70xx | - | - | 105 | - | - | - | - | Aceptar |
| C-tfl 1 | STIFF1d | E70xx | - | - | 105 | - | - | - | - | Aceptar |
| C-w 1 | STIFF1a | E70xx | ◢5.7◣ | ◢8.0◣ | 350 | 50 | 31.4 | 64.7 | 48.6 | Aceptar |
| | | E70xx | ◢5.7◣ | ◢8.0◣ | 350 | 50 | 31.8 | 71.8 | 44.3 | Aceptar |
| C-tfl 1 | STIFF1a | E70xx | - | - | 105 | - | - | - | - | Aceptar |
| C-bfl 1 | STIFF1a | E70xx | - | - | 105 | - | - | - | - | Aceptar |
| C-w 1 | STIFF1c | E70xx | ◢5.7◣ | ◢8.0◣ | 350 | 50 | 31.7 | 71.8 | 44.2 | Aceptar |
| | | E70xx | ◢5.7◣ | ◢8.0◣ | 350 | 50 | 31.3 | 64.7 | 48.4 | Aceptar |
| C-bfl 1 | STIFF1c | E70xx | - | - | 105 | - | - | - | - | Aceptar |
| C-tfl 1 | STIFF1c | E70xx | - | - | 105 | - | - | - | - | Aceptar |

**Resultado detallado para C-bfl 1 / B-bfl 1 - 1**

*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

**Resultado detallado para C-bfl 1 / B-tfl 1 - 1**

*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

**Resultado detallado para C-bfl 1 / B-w 1 - 1**

*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

**Resultado detallado para C-bfl 1 / FP1 - 1**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 35.7 kN ≥ $F_n =$ 14.1 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 395.0 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 54.0° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 121 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-w 1 / STIFF1b - 1**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 71.8 kN ≥ $F_n =$ 31.8 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 338.9 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 29.2° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 283 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-w 1 / STIFF1b - 2**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 64.7 kN ≥ $F_n =$ 31.4 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 305.2 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 13.1° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 283 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-bfl 1 / STIFF1b - 1**

*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

**Resultado detallado para C-tfl 1 / STIFF1b - 1**

*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

**Resultado detallado para C-w 1 / STIFF1d - 1**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 64.7 kN ≥ $F_n =$ 31.3 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 305.2 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 13.1° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 283 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-w 1 / STIFF1d - 2**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 71.8 kN ≥ $F_n =$ 31.7 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 338.8 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 29.2° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 283 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-bfl 1 / STIFF1d - 1**

*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

**Resultado detallado para C-tfl 1 / STIFF1d - 1**

*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

**Resultado detallado para C-w 1 / STIFF1a - 1**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 64.7 kN ≥ $F_n =$ 31.4 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 305.2 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 13.1° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 283 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-w 1 / STIFF1a - 2**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 71.8 kN ≥ $F_n =$ 31.8 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 338.9 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 29.2° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 283 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-tfl 1 / STIFF1a - 1**

*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

**Resultado detallado para C-bfl 1 / STIFF1a - 1**

*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

**Resultado detallado para C-w 1 / STIFF1c - 1**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 71.8 kN ≥ $F_n =$ 31.7 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 338.9 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 29.2° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 283 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-w 1 / STIFF1c - 2**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 64.7 kN ≥ $F_n =$ 31.3 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 305.3 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 13.1° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 283 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-bfl 1 / STIFF1c - 1**

*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

**Resultado detallado para C-tfl 1 / STIFF1c - 1**

*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

## Pandeo

**El análisis de pandeo no se ha calculado.**

# Listado de material

## Operaciones

| Nombre | Placas [mm] | Forma | Nr. | Soldaduras [mm] | Longitud [mm] | Tornillos | Nr. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| CUT1 | | | | Bisel: a = 24.3<br>Bisel: a = 16.2 | 340.0<br>425.7 | | |
| STIFF1 | P27.0x142.7-444.0 (A572 Gr.50) | | 4 | | | | |
| OPN1 | P24.3x1185.0-170.0 (A36) | | 1 | | | | |
| OPN2 | P24.3x1185.0-170.0 (A36) | | 1 | | | | |
| FP1 | P15.0x100.0-341.7 (A36) | | 1 | tendón de soldadura simple: a = 5.7 | 341.7 | 3/4 A325 | 4 |

## Soldaduras

| Tipo | Material | Espesor de garganta [mm] | Tamaño de pierna [mm] | Longitud [mm] |
|---|---|---|---|---|
| Bisel | E70xx | - | - | 340.0 |
| Bisel | E70xx | - | - | 425.7 |
| tendón de soldadura simple | E70xx | 5.7 | 8.0 | 341.7 |
| Doble tendón de soldadura | E70xx | 5.7 | 8.0 | 1400.0 |
| Bisel | E70xx | - | - | 838.0 |

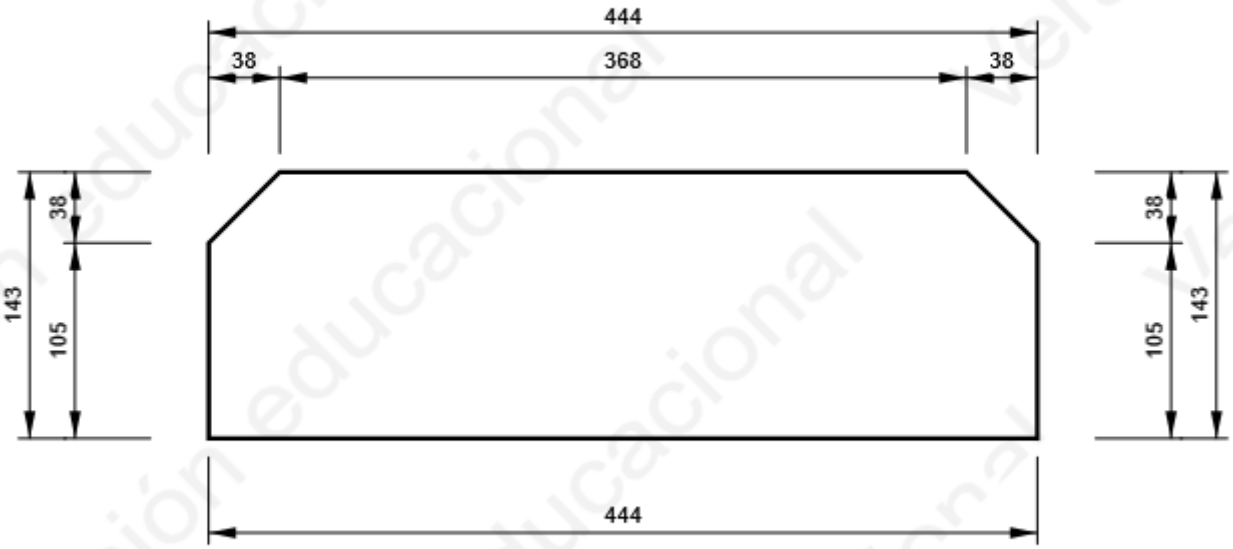
## Tornillos

| Nombre | Longitud de agarre [mm] | Cuenta |
|---|---|---|
| 3/4 A325 | 31 | 4 |

## Dibujo

### STIFF1

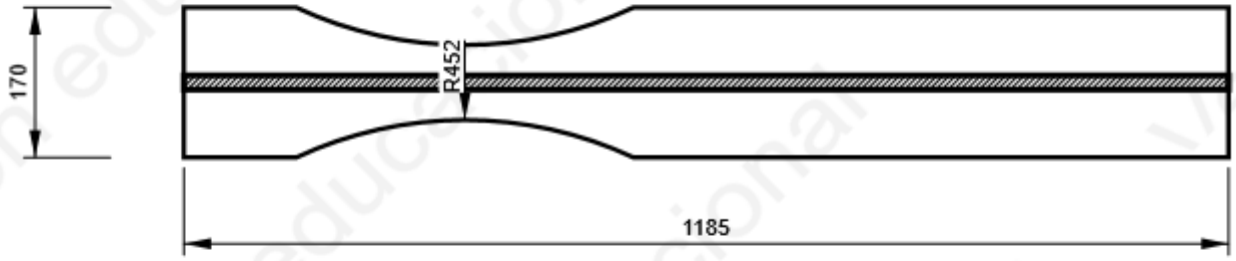
**P27.0x444-143 (A572 Gr.50)**




Versión educacional

## OPN1

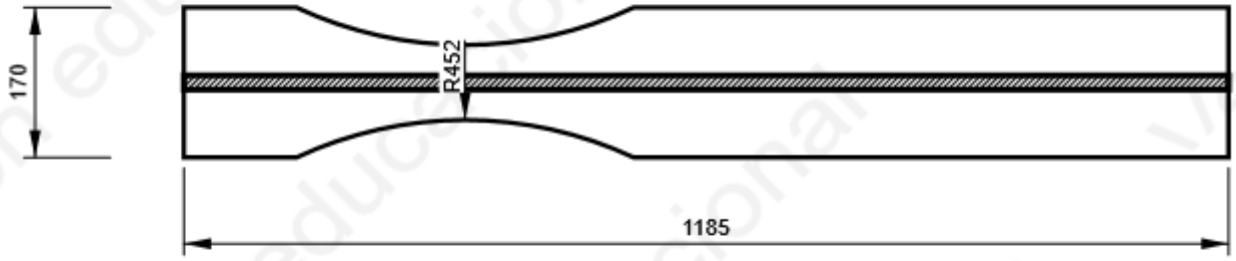
**P24.3x170-1185 (A36)**




Versión educacional

## OPN2

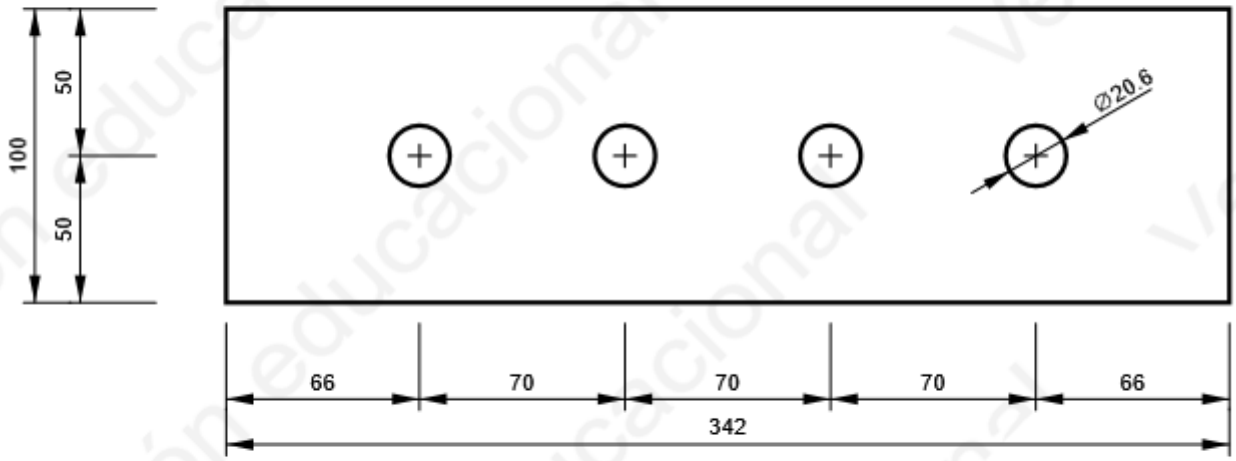
**P24.3x170-1185 (A36)**




Versión educacional

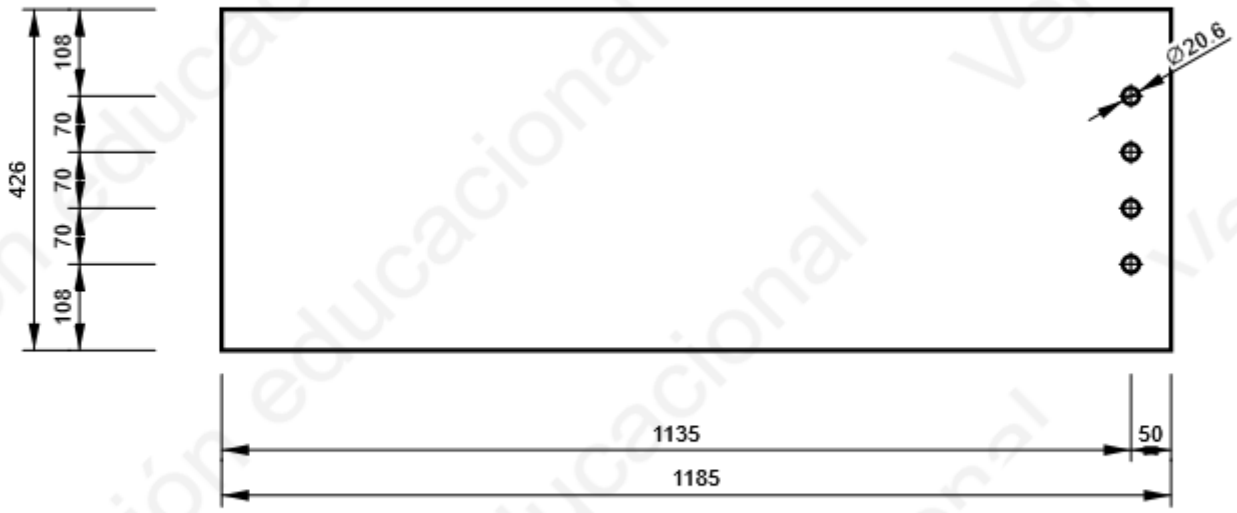
## FP1

**P15.0x342-100 (A36)**




Versión educacional

## B, IPN450 - Alma 1:




Versión educacional

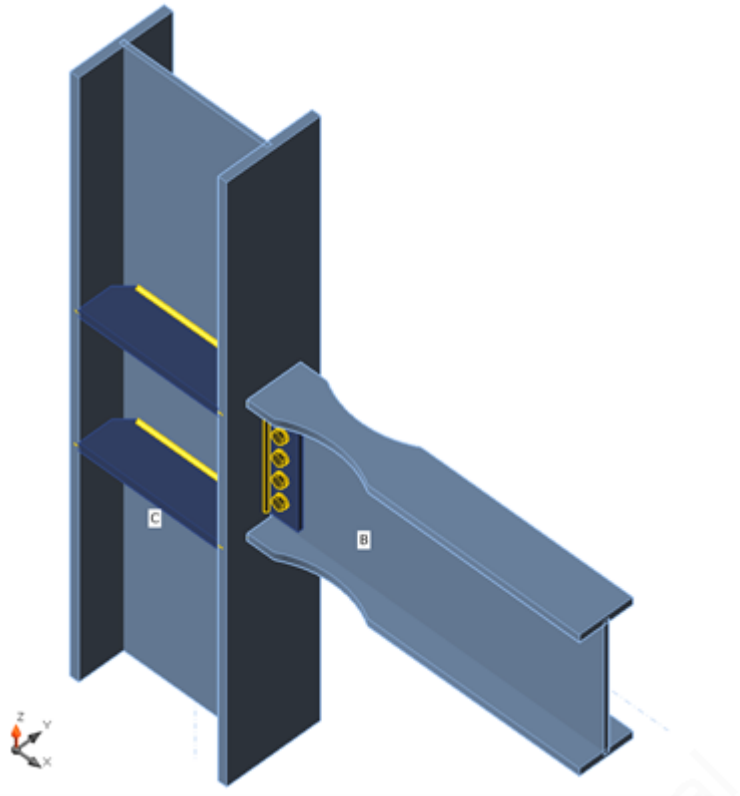
# Ítem del proyecto RBS-450-2

## Diseño

| | |
|---|---|
| Nombre | RBS-450-2 |
| Descripción | Conexion H500-I450 |
| Análisis | Tensión, deformación/ Carga simplificada |
| Normativa de cálculo | AISC - LRFD |

### Elementos estructurales

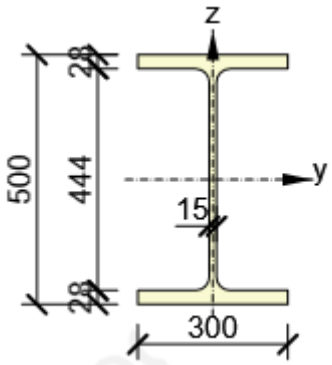
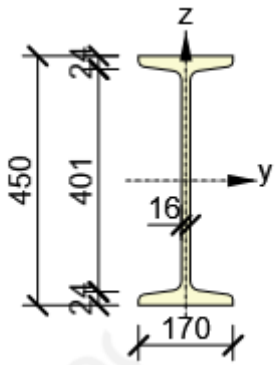
| Nombre | Sección transversal | β – Dirección [°] | γ - Inclinación [°] | α - Rotación [°] | Desplazamiento ex [mm] | Desplazamiento ey [mm] | Desplazamiento ez [mm] | Fuerzas en |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| C | 3 - HEB500 | 0.0 | -90.0 | 0.0 | 0 | 0 | 0 | Nudo |
| B | 4 - IPN450 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0 | 0 | 0 | Nudo |




### Secciones

| Nombre | Material |
|---|---|
| 3 - HEB500 | A572 Gr.50 |
| 4 - IPN450 | A36 |

## Secciones

| Nombre | Material | Dibujo |
|---|---|---|
| 3 - HEB500 | A572 Gr.50 |   |
| 4 - IPN450 | A36 |   |

## Tornillos

| Nombre | Conjunto de tornillo | Diámetro [mm] | fu [MPa] | Área bruta [mm$^2$] |
|---|---|---|---|---|
| 3/4 A325 | 3/4 A325 | 19 | 825.0 | 285 |

## Cargas (No se requiere el equilibro)

| Nombre | Elemento | N [kN] | Vy [kN] | Vz [kN] | Mx [kNm] | My [kNm] | Mz [kNm] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| LE1 | B | 0.0 | 0.0 | -450.0 | 0.0 | 610.0 | 0.0 |

# Verificación

## Resumen

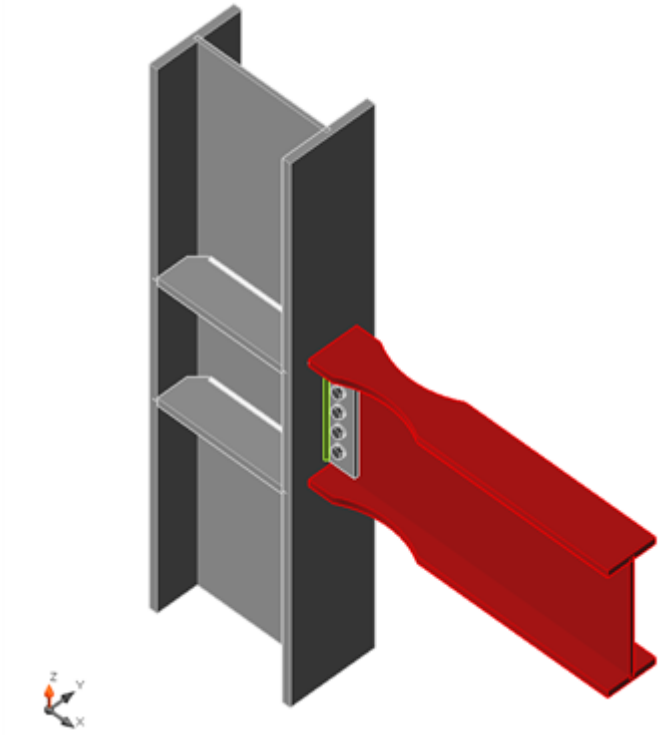
| Nombre | Valor | Estado de la verificación |
|---|---|---|
| Análisis | 100.0% | Aceptar |
| Placas | 7.0 > 5% | **Incorrecto!** |
| Tornillos | 15.3 < 100% | Aceptar |
| Soldaduras | 71.5 < 100% | Aceptar |
| Pandeo | No calculado | |

## Placas

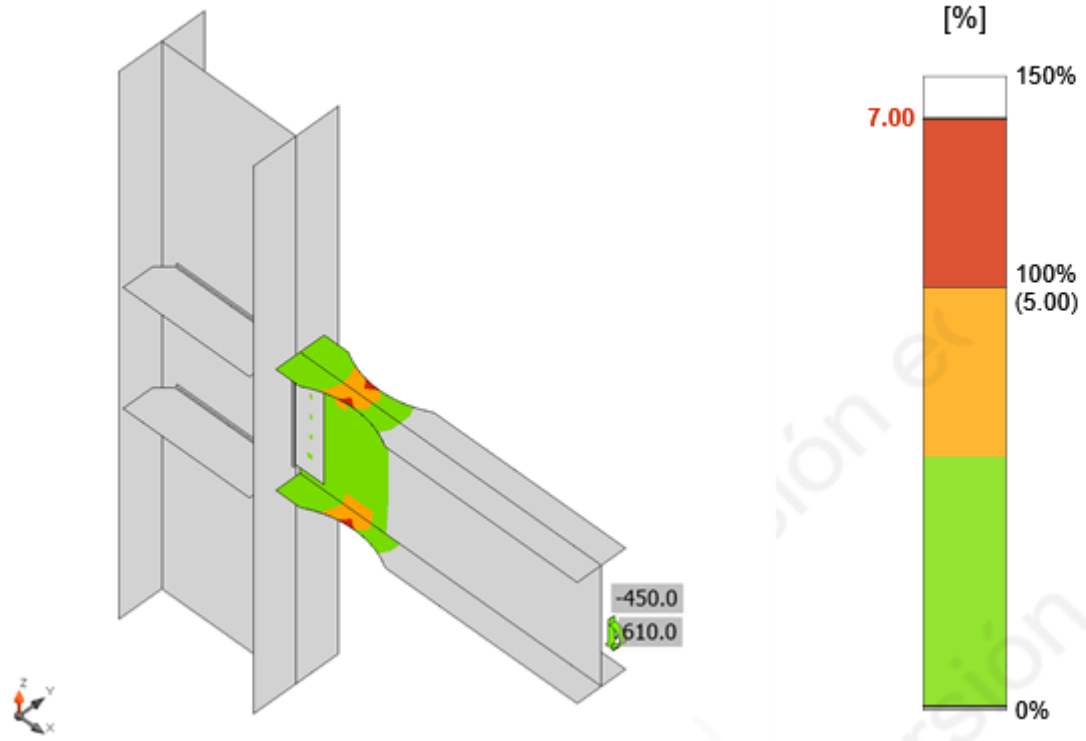
| Nombre | Material | $F_y$ [MPa] | Espesor [mm] | Cargas | $\sigma_{Ed}$ [MPa] | $\varepsilon_{Pl}$ [%] | Estado de la verificación |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| C-bfl 1 | A572 Gr.50 | 344.7 | 28.0 | LE1 | 167.1 | 0.0 | Aceptar |
| C-tfl 1 | A572 Gr.50 | 344.7 | 28.0 | LE1 | 96.9 | 0.0 | Aceptar |
| C-w 1 | A572 Gr.50 | 344.7 | 14.5 | LE1 | 270.9 | 0.0 | Aceptar |
| B-bfl 1 | A36 | 248.2 | 24.3 | LE1 | 235.2 | 5.9 | **Incorrecto!** |
| B-tfl 1 | A36 | 248.2 | 24.3 | LE1 | 235.6 | 6.1 | **Incorrecto!** |
| B-w 1 | A36 | 248.2 | 16.2 | LE1 | 237.4 | 7.0 | **Incorrecto!** |
| STIFF1a | A572 Gr.50 | 344.7 | 27.0 | LE1 | 172.2 | 0.0 | Aceptar |
| STIFF1b | A572 Gr.50 | 344.7 | 27.0 | LE1 | 173.9 | 0.0 | Aceptar |
| STIFF1c | A572 Gr.50 | 344.7 | 27.0 | LE1 | 171.5 | 0.0 | Aceptar |
| STIFF1d | A572 Gr.50 | 344.7 | 27.0 | LE1 | 173.5 | 0.0 | Aceptar |
| FP1 | A36 | 248.2 | 15.0 | LE1 | 98.8 | 0.0 | Aceptar |

**Datos de diseño**

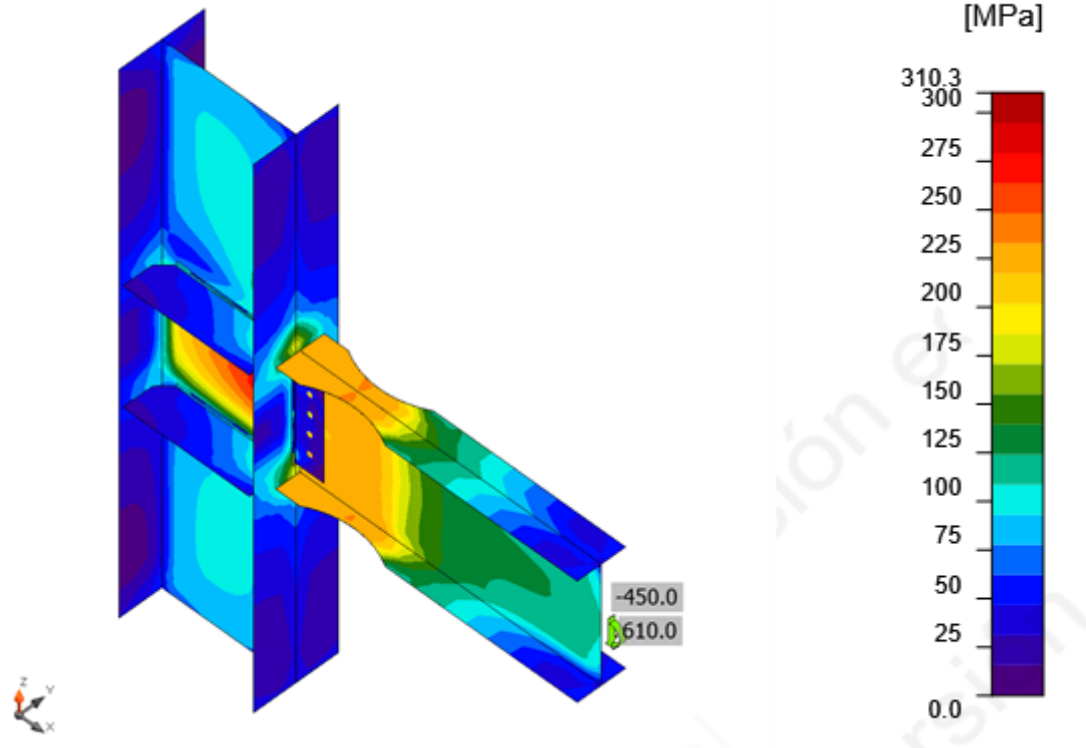
| Material | fy [MPa] | $\varepsilon_{lim}$ [%] |
|---|---|---|
| A572 Gr.50 | 344.7 | 5.0 |
| A36 | 248.2 | 5.0 |



*Verificación general, LE1*

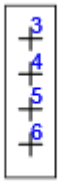



*Verificación de deformación, LE1*




*Tensión equivalente, LE1*

## Tornillos

| Forma | Ítem | Calidad | Cargas | $F_t$ [kN] | V [kN] | $\phi R_{n,portante}$ [kN] | $Ut_t$ [%] | $Ut_s$ [%] | $Ut_{ts}$ [%] | Estado |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
|  | B3 | 3/4 A325 - 1 | LE1 | 1.3 | 8.5 | 205.7 | 1.0 | 10.7 | - | Aceptar |
| | B4 | 3/4 A325 - 1 | LE1 | 0.4 | 2.5 | 205.7 | 0.3 | 3.2 | - | Aceptar |
| | B5 | 3/4 A325 - 1 | LE1 | 0.7 | 5.1 | 205.7 | 0.5 | 6.4 | - | Aceptar |
| | B6 | 3/4 A325 - 1 | LE1 | 2.0 | 12.1 | 205.7 | 1.5 | 15.3 | - | Aceptar |

**Datos de diseño**

| Calidad | $\phi R_{n,tracción}$ [kN] | $\phi R_{n,cortante}$ [kN] |
|---|---|---|
| 3/4 A325 - 1 | 132.5 | 79.5 |

**Resultado detallado para B3**

**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b = \quad 132.5 \quad \text{kN} \quad \geq \quad F_t = \quad 1.3 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$F_{nt} = 620.0$ MPa – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2

$A_b = 285$ mm$^2$ – Área bruta del tornillo

$\phi = 0.75$ – factor de capacidad

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b = \quad 79.5 \quad \text{kN} \quad \geq \quad V = \quad 8.5 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$F_{nv} = 372.0$ MPa – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2

$A_b = 285$ mm$^2$ – Área bruta del tornillo

$\phi = 0.75$ – factor de capacidad

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \quad \leq \quad 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$$

$$\phi R_n = \quad 205.7 \quad \text{kN} \quad \geq \quad V = \quad 8.5 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$l_c = 72$ mm – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material

$t = 15$ mm – espesor de la placa

$d = 19$ mm – dimámetro del tornillo

$F_u = 400.0$ MPa – resistencia a tracción del material conectado

$\phi = 0.75$ – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-2)

*La tensión requerida, a cortante o en tracción, es menor o igual al 30% de la resistencia y los efectos de las tensiones combinadas no*

*necesitan ser evaluadas.*

**Resultado detallado para B4**

**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b =$ 132.5 kN ≥ $F_t =$ 0.4 kN

*Donde:*

$F_{nt} =$ 620.0 MPa – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2
$A_b =$ 285 mm$^2$ – Área bruta del tornillo
$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b =$ 79.5 kN ≥ $V =$ 2.5 kN

*Donde:*

$F_{nv} =$ 372.0 MPa – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2
$A_b =$ 285 mm$^2$ – Área bruta del tornillo
$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \leq 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$

$\phi R_n =$ 205.7 kN ≥ $V =$ 2.5 kN

*Donde:*

$l_c =$ 51 mm – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material
$t =$ 15 mm – espesor de la placa
$d =$ 19 mm – dimámetro del tornillo
$F_u =$ 400.0 MPa – resistencia a tracción del material conectado
$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-2)

*La tensión requerida, a cortante o en tracción, es menor o igual al 30% de la resistencia y los efectos de las tensiones combinadas no necesitan ser evaluadas.*

**Resultado detallado para B5**

**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b = \quad 132.5 \quad \text{kN} \quad \geq \quad F_t = \quad 0.7 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$F_{nt} =$ 620.0 MPa – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2

$A_b =$ 285 mm$^2$ – Área bruta del tornillo

$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b = \quad 79.5 \quad \text{kN} \quad \geq \quad V = \quad 5.1 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$F_{nv} =$ 372.0 MPa – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2

$A_b =$ 285 mm$^2$ – Área bruta del tornillo

$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \quad \leq \quad 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$$

$$\phi R_n = \quad 205.7 \quad \text{kN} \quad \geq \quad V = \quad 5.1 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$l_c =$ 56 mm – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material

$t =$ 15 mm – espesor de la placa

$d =$ 19 mm – dimámetro del tornillo

$F_u =$ 400.0 MPa – resistencia a tracción del material conectado

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-2)

*La tensión requerida, a cortante o en tracción, es menor o igual al 30% de la resistencia y los efectos de las tensiones combinadas no necesitan ser evaluadas.*

**Resultado detallado para B6**

**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b = \quad 132.5 \quad \text{kN} \quad \geq \quad F_t = \quad 2.0 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$F_{nt} =$ 620.0 MPa – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2

$A_b =$ 285 mm$^2$ – Área bruta del tornillo

$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b =$ 79.5 kN ≥ $V =$ 12.1 kN

*Donde:*

$F_{nv} =$ 372.0 MPa – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2
$A_b =$ 285 mm$^2$ – Área bruta del tornillo
$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \leq 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$

$\phi R_n =$ 205.7 kN ≥ $V =$ 12.1 kN

*Donde:*

$l_c =$ 66 mm – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material
$t =$ 15 mm – espesor de la placa
$d =$ 19 mm – dimámetro del tornillo
$F_u =$ 400.0 MPa – resistencia a tracción del material conectado
$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-2)
*La tensión requerida, a cortante o en tracción, es menor o igual al 30% de la resistencia y los efectos de las tensiones combinadas no necesitan ser evaluadas.*

## Soldaduras

| Ítem | Borde | Xu | $T_h$ [mm] | $L_s$ [mm] | L [mm] | $L_c$ [mm] | $F_n$ [kN] | $\phi R_n$ [kN] | Ut [%] | Estado |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| C-bfl 1 | B-bfl 1 | E70xx | - | - | 170 | - | - | - | - | Aceptar |
| C-bfl 1 | B-tfl 1 | E70xx | - | - | 170 | - | - | - | - | Aceptar |
| C-bfl 1 | B-w 1 | E70xx | - | - | 426 | - | - | - | - | Aceptar |
| C-bfl 1 | FP1 | E70xx | ◢5.7 | ◢8.0 | 341 | 21 | 26.6 | 37.2 | 71.5 | Aceptar |
| C-w 1 | STIFF1b | E70xx | ◢5.7◣ | ◢8.0◣ | 350 | 50 | 32.4 | 71.8 | 45.1 | Aceptar |
| | | E70xx | ◢5.7◣ | ◢8.0◣ | 350 | 50 | 31.9 | 64.7 | 49.4 | Aceptar |
| C-bfl 1 | STIFF1b | E70xx | - | - | 105 | - | - | - | - | Aceptar |
| C-tfl 1 | STIFF1b | E70xx | - | - | 105 | - | - | - | - | Aceptar |
| C-w 1 | STIFF1d | E70xx | ◢5.7◣ | ◢8.0◣ | 350 | 50 | 31.7 | 64.7 | 48.9 | Aceptar |
| | | E70xx | ◢5.7◣ | ◢8.0◣ | 350 | 50 | 32.1 | 71.8 | 44.8 | Aceptar |
| C-bfl 1 | STIFF1d | E70xx | - | - | 105 | - | - | - | - | Aceptar |
| C-tfl 1 | STIFF1d | E70xx | - | - | 105 | - | - | - | - | Aceptar |
| C-w 1 | STIFF1a | E70xx | ◢5.7◣ | ◢8.0◣ | 350 | 50 | 31.8 | 64.7 | 49.2 | Aceptar |
| | | E70xx | ◢5.7◣ | ◢8.0◣ | 350 | 50 | 32.3 | 71.8 | 45.0 | Aceptar |
| C-tfl 1 | STIFF1a | E70xx | - | - | 105 | - | - | - | - | Aceptar |
| C-bfl 1 | STIFF1a | E70xx | - | - | 105 | - | - | - | - | Aceptar |
| C-w 1 | STIFF1c | E70xx | ◢5.7◣ | ◢8.0◣ | 350 | 50 | 32.1 | 71.8 | 44.7 | Aceptar |
| | | E70xx | ◢5.7◣ | ◢8.0◣ | 350 | 50 | 31.6 | 64.7 | 48.8 | Aceptar |
| C-bfl 1 | STIFF1c | E70xx | - | - | 105 | - | - | - | - | Aceptar |
| C-tfl 1 | STIFF1c | E70xx | - | - | 105 | - | - | - | - | Aceptar |

**Resultado detallado para C-bfl 1 / B-bfl 1 - 1**

*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

**Resultado detallado para C-bfl 1 / B-tfl 1 - 1**

*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

**Resultado detallado para C-bfl 1 / B-w 1 - 1**

*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

**Resultado detallado para C-bfl 1 / FP1 - 1**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 37.2 kN ≥ $F_n =$ 26.6 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 412.0 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 63.4° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 121 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-w 1 / STIFF1b - 1**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 71.8 kN ≥ $F_n =$ 32.4 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 338.7 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 29.1° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 283 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-w 1 / STIFF1b - 2**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 64.7 kN ≥ $F_n =$ 31.9 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 305.1 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 13.1° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 283 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-bfl 1 / STIFF1b - 1**

*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

**Resultado detallado para C-tfl 1 / STIFF1b - 1**

*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

**Resultado detallado para C-w 1 / STIFF1d - 1**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 64.7 kN ≥ $F_n =$ 31.7 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 305.3 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 13.1° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 283 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-w 1 / STIFF1d - 2**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 71.8 kN ≥ $F_n =$ 32.1 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 338.6 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 29.1° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 283 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-bfl 1 / STIFF1d - 1**

*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

**Resultado detallado para C-tfl 1 / STIFF1d - 1**

*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

**Resultado detallado para C-w 1 / STIFF1a - 1**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 64.7 kN ≥ $F_n =$ 31.8 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 305.2 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 13.1° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 283 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-w 1 / STIFF1a - 2**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 71.8 kN ≥ $F_n =$ 32.3 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 338.9 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 29.2° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 283 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-tfl 1 / STIFF1a - 1**

*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

**Resultado detallado para C-bfl 1 / STIFF1a - 1**

*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

**Resultado detallado para C-w 1 / STIFF1c - 1**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 71.8 kN ≥ $F_n =$ 32.1 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 338.7 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 29.1° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 283 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-w 1 / STIFF1c - 2**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 64.7 kN ≥ $F_n =$ 31.6 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 305.3 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 13.2° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 283 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-bfl 1 / STIFF1c - 1**

*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

**Resultado detallado para C-tfl 1 / STIFF1c - 1**

*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

## Pandeo

**El análisis de pandeo no se ha calculado.**

# Listado de material

## Operaciones

| Nombre | Placas [mm] | Forma | Nr. | Soldaduras [mm] | Longitud [mm] | Tornillos | Nr. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| CUT1 | | | | Bisel: a = 24.3<br>Bisel: a = 16.2 | 340.0<br>425.7 | | |
| STIFF1 | P27.0x142.7-444.0 (A572 Gr.50) | | 4 | | | | |
| OPN1 | P24.3x1060.0-170.0 (A36) | | 1 | | | | |
| OPN2 | P24.3x1060.0-170.0 (A36) | | 1 | | | | |
| FP1 | P15.0x100.0-341.7 (A36) | | 1 | tendón de soldadura simple: a = 5.7 | 341.7 | 3/4 A325 | 4 |

## Soldaduras

| Tipo | Material | Espesor de garganta [mm] | Tamaño de pierna [mm] | Longitud [mm] |
|---|---|---|---|---|
| Bisel | E70xx | - | - | 340.0 |
| Bisel | E70xx | - | - | 425.7 |
| tendón de soldadura simple | E70xx | 5.7 | 8.0 | 341.7 |
| Doble tendón de soldadura | E70xx | 5.7 | 8.0 | 1400.0 |
| Bisel | E70xx | - | - | 838.0 |

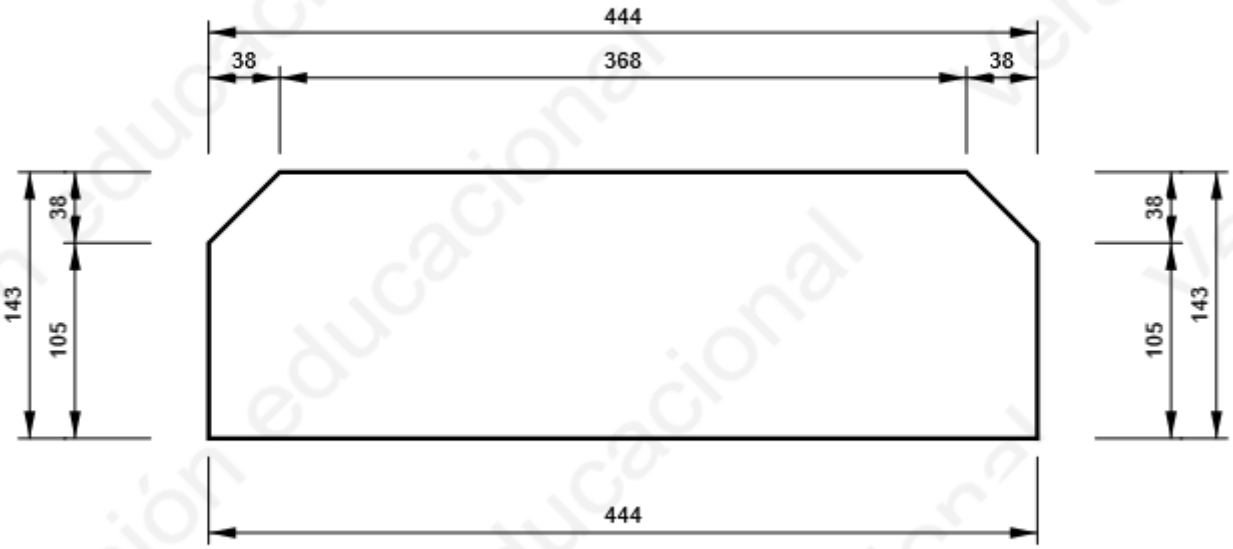
## Tornillos

| Nombre | Longitud de agarre [mm] | Cuenta |
|---|---|---|
| 3/4 A325 | 31 | 4 |

## Dibujo

### STIFF1

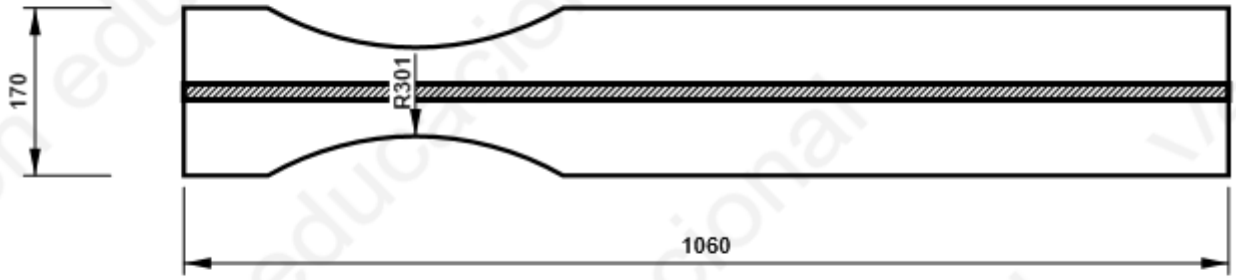
**P27.0x444-143 (A572 Gr.50)**




Versión educacional

## OPN1

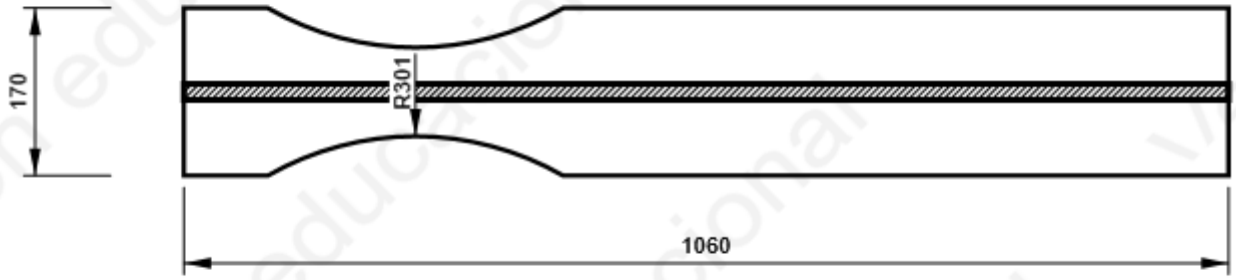
**P24.3x170-1060 (A36)**




Versión educacional

## OPN2

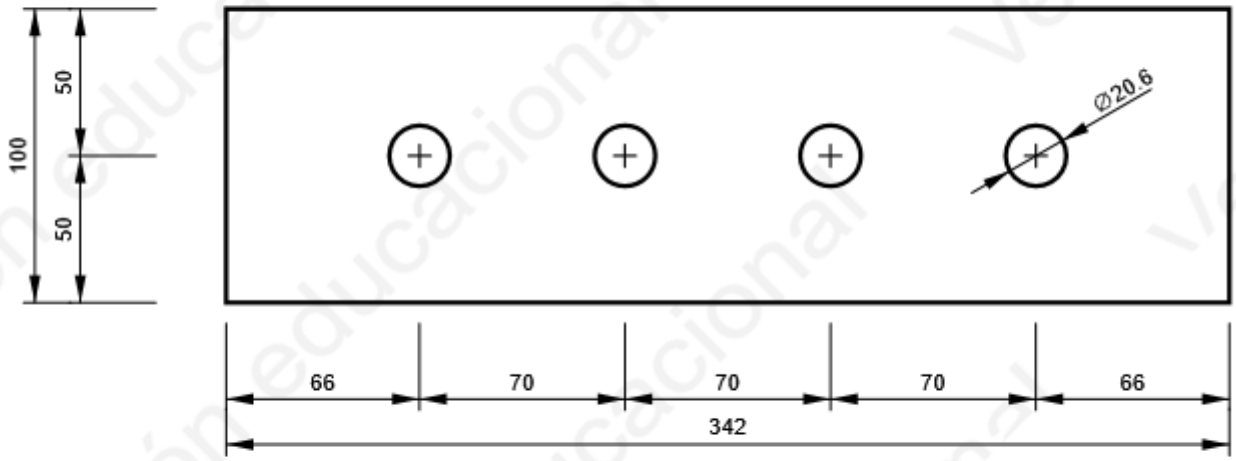
**P24.3x170-1060 (A36)**




Versión educacional

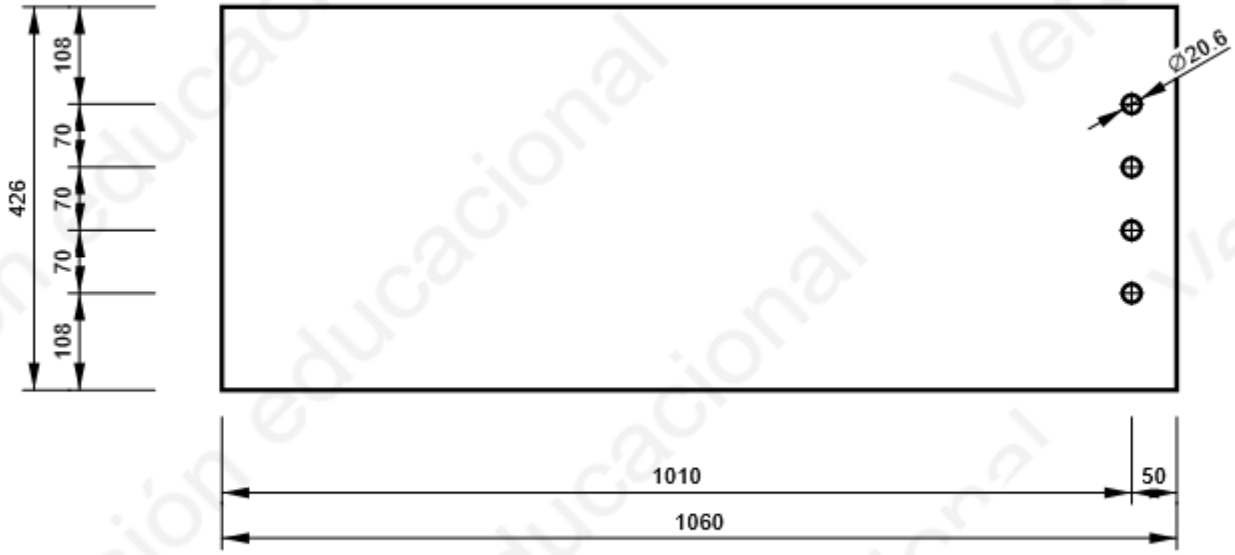
## FP1

**P15.0x342-100 (A36)**




Versión educacional

## B, IPN450 - Alma 1:




Versión educacional

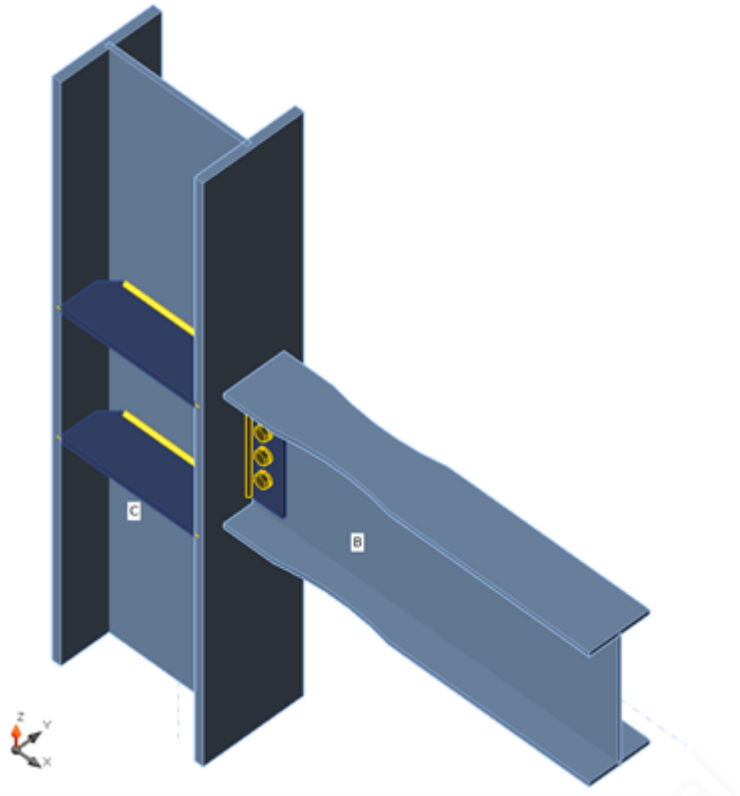
# Ítem del proyecto RBS-400-1

## Diseño

| | |
|---|---|
| Nombre | RBS-400-1 |
| Descripción | Conexion H450-I400 |
| Análisis | Tensión, deformación/ Carga simplificada |
| Normativa de cálculo | AISC - LRFD |

### Elementos estructurales

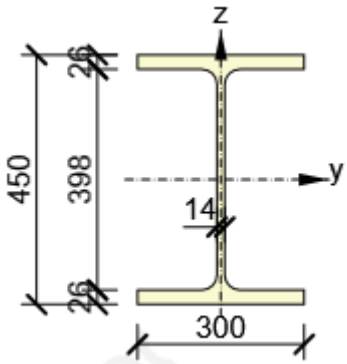
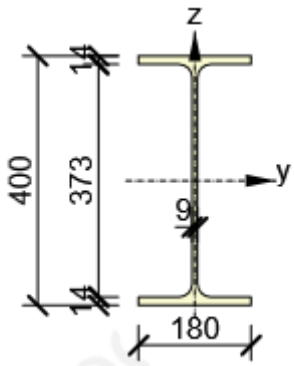
| Nombre | Sección transversal | β – Dirección [°] | γ - Inclinación [°] | α - Rotación [°] | Desplazamiento ex [mm] | Desplazamiento ey [mm] | Desplazamiento ez [mm] | Fuerzas en |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| C | 7 - HEB450 | 0.0 | -90.0 | 0.0 | 0 | 0 | 0 | Nudo |
| B | 8 - IPE400 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0 | 0 | 0 | Nudo |




### Secciones

| Nombre | Material |
|---|---|
| 7 - HEB450 | A572 Gr.50 |
| 8 - IPE400 | A36 |

## Secciones

| Nombre | Material | Dibujo |
|---|---|---|
| 7 - HEB450 | A572 Gr.50 |   |
| 8 - IPE400 | A36 |   |

## Tornillos

| Nombre | Conjunto de tornillo | Diámetro [mm] | fu [MPa] | Área bruta [mm$^2$] |
|---|---|---|---|---|
| 3/4 A325 | 3/4 A325 | 19 | 825.0 | 285 |

## Cargas (No se requiere el equilibro)

| Nombre | Elemento | N [kN] | Vy [kN] | Vz [kN] | Mx [kNm] | My [kNm] | Mz [kNm] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| LE1 | B | 0.0 | 0.0 | -250.0 | 0.0 | 352.0 | 0.0 |

# Verificación

## Resumen

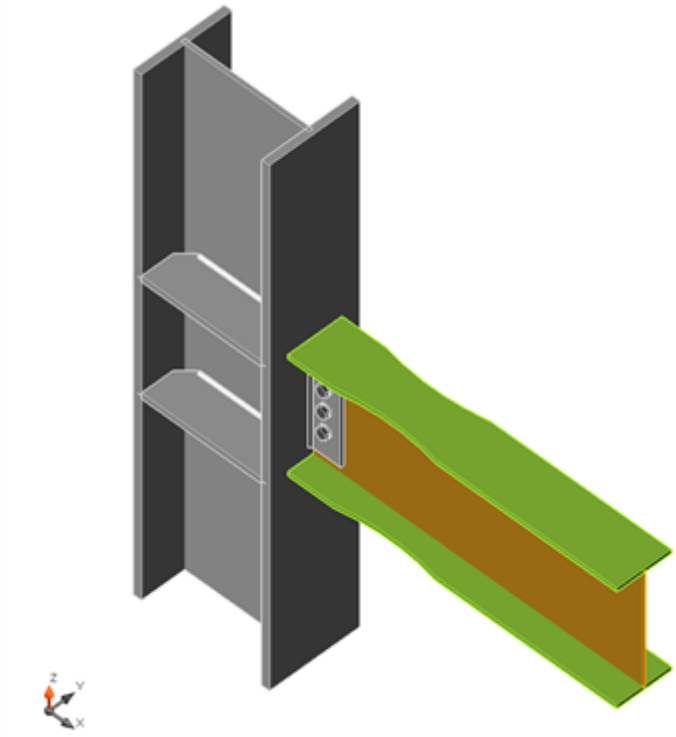
| Nombre | Valor | Estado de la verificación |
|---|---|---|
| Análisis | 100.0% | Aceptar |
| Placas | 4.1 < 5% | Aceptar |
| Tornillos | 12.8 < 100% | Aceptar |
| Soldaduras | 53.1 < 100% | Aceptar |
| Pandeo | No calculado | |

## Placas

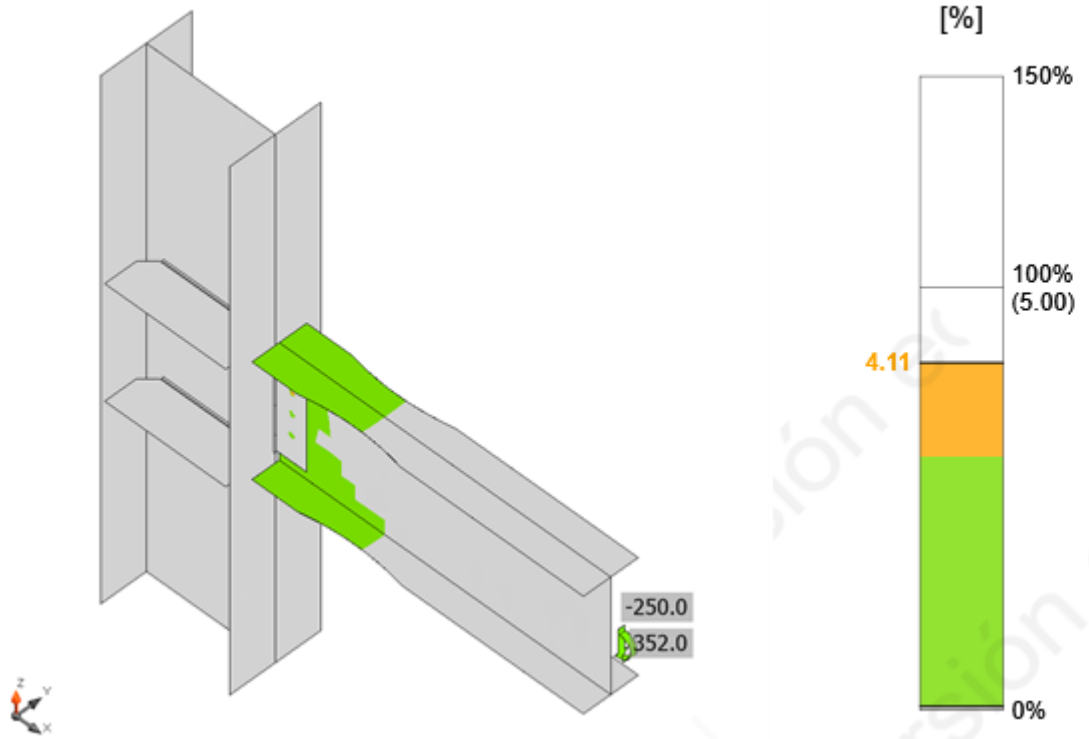
| Nombre | Material | $F_y$ [MPa] | Espesor [mm] | Cargas | $\sigma_{Ed}$ [MPa] | $\varepsilon_{Pl}$ [%] | Estado de la verificación |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| C-bfl 1 | A572 Gr.50 | 344.7 | 26.0 | LE1 | 127.7 | 0.0 | Aceptar |
| C-tfl 1 | A572 Gr.50 | 344.7 | 26.0 | LE1 | 71.1 | 0.0 | Aceptar |
| C-w 1 | A572 Gr.50 | 344.7 | 14.0 | LE1 | 205.0 | 0.0 | Aceptar |
| B-bfl 1 | A36 | 248.2 | 13.5 | LE1 | 225.4 | 1.0 | Aceptar |
| B-tfl 1 | A36 | 248.2 | 13.5 | LE1 | 225.5 | 1.0 | Aceptar |
| B-w 1 | A36 | 248.2 | 8.6 | LE1 | 231.6 | 4.1 | Aceptar |
| STIFF1a | A572 Gr.50 | 344.7 | 20.0 | LE1 | 141.8 | 0.0 | Aceptar |
| STIFF1b | A572 Gr.50 | 344.7 | 20.0 | LE1 | 143.1 | 0.0 | Aceptar |
| STIFF1c | A572 Gr.50 | 344.7 | 20.0 | LE1 | 140.9 | 0.0 | Aceptar |
| STIFF1d | A572 Gr.50 | 344.7 | 20.0 | LE1 | 142.0 | 0.0 | Aceptar |
| FP1 | A36 | 248.2 | 10.0 | LE1 | 85.6 | 0.0 | Aceptar |

### Datos de diseño

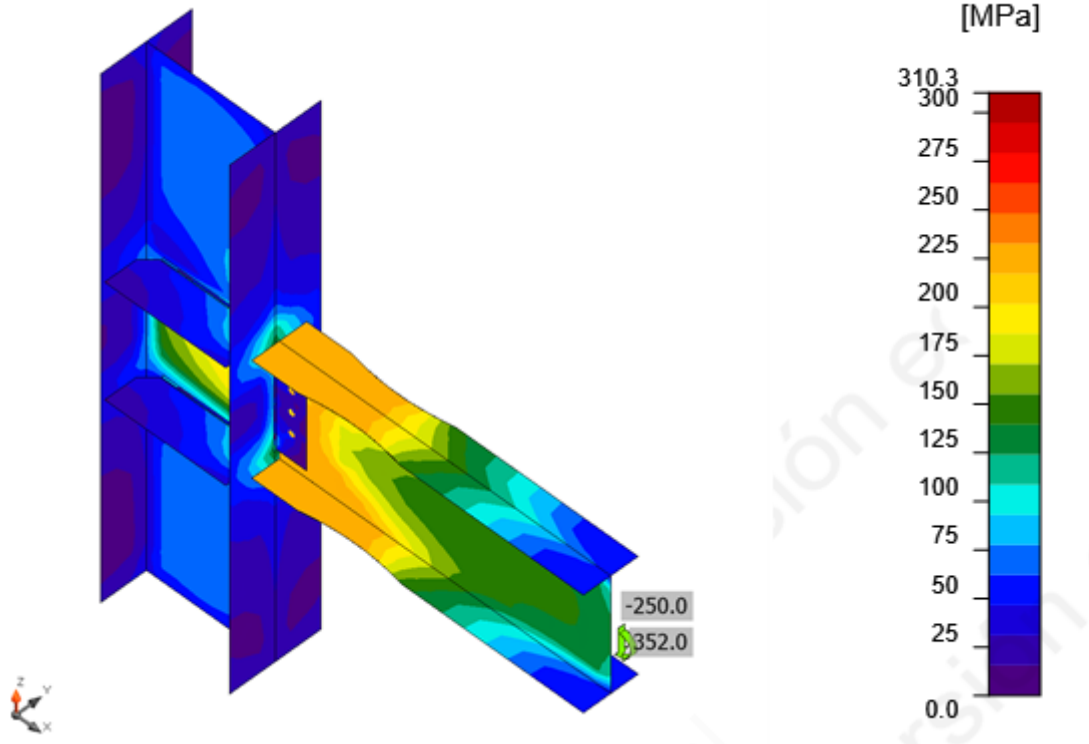
| Material | fy [MPa] | $\varepsilon_{lim}$ [%] |
|---|---|---|
| A572 Gr.50 | 344.7 | 5.0 |
| A36 | 248.2 | 5.0 |



*Verificación general, LE1*




*Verificación de deformación, LE1*




*Tensión equivalente, LE1*

## Tornillos

| Forma | Ítem | Calidad | Cargas | $F_t$ [kN] | V [kN] | $\phi R_{n,portante}$ [kN] | $Ut_t$ [%] | $Ut_s$ [%] | $Ut_{ts}$ [%] | Estado |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | B3 | 3/4 A325 - 1 | LE1 | 0.8 | 4.8 | 118.0 | 0.6 | 6.0 | - | Aceptar |
| | B4 | 3/4 A325 - 1 | LE1 | 0.4 | 4.6 | 118.0 | 0.3 | 5.8 | - | Aceptar |
| | B5 | 3/4 A325 - 1 | LE1 | 1.8 | 10.2 | 118.0 | 1.4 | 12.8 | - | Aceptar |



**Datos de diseño**

| Calidad | $\phi R_{n,tracción}$ [kN] | $\phi R_{n,cortante}$ [kN] |
|---|---|---|
| 3/4 A325 - 1 | 132.5 | 79.5 |

**Resultado detallado para B3**

**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b = \quad 132.5 \quad \text{kN} \quad \geq \quad F_t = \quad 0.8 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$F_{nt} = 620.0$ MPa – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2

$A_b = 285$ mm$^2$ – Área bruta del tornillo

$\phi = 0.75$ – factor de capacidad

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b = \quad 79.5 \quad \text{kN} \quad \geq \quad V = \quad 4.8 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$F_{nv} = 372.0$ MPa – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2

$A_b = 285$ mm$^2$ – Área bruta del tornillo

$\phi = 0.75$ – factor de capacidad

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \quad \leq \quad 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$$

$$\phi R_n = \quad 118.0 \quad \text{kN} \quad \geq \quad V = \quad 4.8 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$l_c = 80$ mm – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material

$t = 9$ mm – espesor de la placa

$d = 19$ mm – dimámetro del tornillo

$F_u = 400.0$ MPa – resistencia a tracción del material conectado

$\phi = 0.75$ – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-2)

*La tensión requerida, a cortante o en tracción, es menor o igual al 30% de la resistencia y los efectos de las tensiones combinadas no*

*necesitan ser evaluadas.*

**Resultado detallado para B4**

**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b =$ 132.5 kN ≥ $F_t =$ 0.4 kN

*Donde:*

$F_{nt} =$ 620.0 MPa – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2
$A_b =$ 285 mm$^2$ – Área bruta del tornillo
$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b =$ 79.5 kN ≥ $V =$ 4.6 kN

*Donde:*

$F_{nv} =$ 372.0 MPa – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2
$A_b =$ 285 mm$^2$ – Área bruta del tornillo
$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \leq 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$

$\phi R_n =$ 118.0 kN ≥ $V =$ 4.6 kN

*Donde:*

$l_c =$ 49 mm – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material
$t =$ 9 mm – espesor de la placa
$d =$ 19 mm – dimámetro del tornillo
$F_u =$ 400.0 MPa – resistencia a tracción del material conectado
$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-2)

*La tensión requerida, a cortante o en tracción, es menor o igual al 30% de la resistencia y los efectos de las tensiones combinadas no necesitan ser evaluadas.*

**Resultado detallado para B5**

**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b = \quad 132.5 \quad \text{kN} \quad \geq \quad F_t = \quad 1.8 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

| | |
|---|---|
| $F_{nt} =$ 620.0 MPa | – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2 |
| $A_b =$ 285 mm$^2$ | – Área bruta del tornillo |
| $\phi =$ 0.75 | – factor de capacidad |

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b = \quad 79.5 \quad \text{kN} \quad \geq \quad V = \quad 10.2 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

| | |
|---|---|
| $F_{nv} =$ 372.0 MPa | – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2 |
| $A_b =$ 285 mm$^2$ | – Área bruta del tornillo |
| $\phi =$ 0.75 | – factor de capacidad |

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \quad \leq \quad 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$$

$$\phi R_n = \quad 118.0 \quad \text{kN} \quad \geq \quad V = \quad 10.2 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

| | |
|---|---|
| $l_c =$ 328 mm | – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material |
| $t =$ 9 mm | – espesor de la placa |
| $d =$ 19 mm | – dimámetro del tornillo |
| $F_u =$ 400.0 MPa | – resistencia a tracción del material conectado |
| $\phi =$ 0.75 | – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos |

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-2)

*La tensión requerida, a cortante o en tracción, es menor o igual al 30% de la resistencia y los efectos de las tensiones combinadas no necesitan ser evaluadas.*

## Soldaduras

| Ítem | Borde | Xu | $T_h$ [mm] | $L_s$ [mm] | L [mm] | $L_c$ [mm] | $F_n$ [kN] | $\phi R_n$ [kN] | Ut [%] | Estado |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| C-bfl 1 | B-bfl 1 | E70xx | - | - | 180 | - | - | - | - | Aceptar |
| C-bfl 1 | B-tfl 1 | E70xx | - | - | 180 | - | - | - | - | Aceptar |
| C-bfl 1 | B-w 1 | E70xx | - | - | 387 | - | - | - | - | Aceptar |
| C-bfl 1 | FP1 | E70xx | ◢5.7 | ◢8.0 | 311 | 19 | 17.7 | 33.4 | 53.1 | Aceptar |
| C-w 1 | STIFF1b | E70xx | ◢5.7◣ | ◢8.0◣ | 300 | 50 | 23.7 | 70.0 | 33.8 | Aceptar |
| | | E70xx | ◢5.7◣ | ◢8.0◣ | 300 | 50 | 23.0 | 64.4 | 35.8 | Aceptar |
| C-bfl 1 | STIFF1b | E70xx | - | - | 105 | - | - | - | - | Aceptar |
| C-tfl 1 | STIFF1b | E70xx | - | - | 105 | - | - | - | - | Aceptar |
| C-w 1 | STIFF1d | E70xx | ◢5.7◣ | ◢8.0◣ | 300 | 50 | 22.9 | 64.5 | 35.5 | Aceptar |
| | | E70xx | ◢5.7◣ | ◢8.0◣ | 300 | 50 | 23.5 | 70.0 | 33.6 | Aceptar |
| C-bfl 1 | STIFF1d | E70xx | - | - | 105 | - | - | - | - | Aceptar |
| C-tfl 1 | STIFF1d | E70xx | - | - | 105 | - | - | - | - | Aceptar |
| C-w 1 | STIFF1a | E70xx | ◢5.7◣ | ◢8.0◣ | 300 | 50 | 23.0 | 64.5 | 35.7 | Aceptar |
| | | E70xx | ◢5.7◣ | ◢8.0◣ | 300 | 50 | 23.6 | 70.0 | 33.7 | Aceptar |
| C-tfl 1 | STIFF1a | E70xx | - | - | 105 | - | - | - | - | Aceptar |
| C-bfl 1 | STIFF1a | E70xx | - | - | 105 | - | - | - | - | Aceptar |
| C-w 1 | STIFF1c | E70xx | ◢5.7◣ | ◢8.0◣ | 300 | 50 | 23.5 | 70.0 | 33.6 | Aceptar |
| | | E70xx | ◢5.7◣ | ◢8.0◣ | 300 | 50 | 22.9 | 64.5 | 35.5 | Aceptar |
| C-bfl 1 | STIFF1c | E70xx | - | - | 105 | - | - | - | - | Aceptar |
| C-tfl 1 | STIFF1c | E70xx | - | - | 105 | - | - | - | - | Aceptar |

**Resultado detallado para C-bfl 1 / B-bfl 1 - 1**

*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

**Resultado detallado para C-bfl 1 / B-tfl 1 - 1**

*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

**Resultado detallado para C-bfl 1 / B-w 1 - 1**

*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

**Resultado detallado para C-bfl 1 / FP1 - 1**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 33.4 kN ≥ $F_n =$ 17.7 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 404.9 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 59.3° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 110 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-w 1 / STIFF1b - 1**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 70.0 kN ≥ $F_n =$ 23.7 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 330.4 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 25.5° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 283 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-w 1 / STIFF1b - 2**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 64.4 kN ≥ $F_n =$ 23.0 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 304.1 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 12.5° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 283 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-bfl 1 / STIFF1b - 1**

*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

**Resultado detallado para C-tfl 1 / STIFF1b - 1**

*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

**Resultado detallado para C-w 1 / STIFF1d - 1**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 64.5 kN ≥ $F_n =$ 22.9 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 304.2 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 12.5° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 283 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-w 1 / STIFF1d - 2**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 70.0 kN ≥ $F_n =$ 23.5 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 330.4 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 25.5° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 283 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-bfl 1 / STIFF1d - 1**

*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

**Resultado detallado para C-tfl 1 / STIFF1d - 1**

*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

**Resultado detallado para C-w 1 / STIFF1a - 1**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 64.5 kN ≥ $F_n =$ 23.0 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 304.2 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 12.5° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 283 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-w 1 / STIFF1a - 2**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 70.0 kN ≥ $F_n =$ 23.6 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 330.5 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 25.5° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 283 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-tfl 1 / STIFF1a - 1**

*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

**Resultado detallado para C-bfl 1 / STIFF1a - 1**

*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

**Resultado detallado para C-w 1 / STIFF1c - 1**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 70.0 kN ≥ $F_n =$ 23.5 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 330.4 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 25.5° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 283 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-w 1 / STIFF1c - 2**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 64.5 kN ≥ $F_n =$ 22.9 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 304.3 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 12.6° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 283 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-bfl 1 / STIFF1c - 1**

*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

**Resultado detallado para C-tfl 1 / STIFF1c - 1**

*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

## Pandeo

**El análisis de pandeo no se ha calculado.**

# Listado de material

## Operaciones

| Nombre | Placas [mm] | Forma | Nr. | Soldaduras [mm] | Longitud [mm] | Tornillos | Nr. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| CUT1 | | | | Bisel: a = 13.5<br>Bisel: a = 8.6 | 360.0<br>386.5 | | |
| STIFF1 | P20.0x143.0-398.0 (A572 Gr.50) | | 4 | | | | |
| OPN1 | P13.5x1090.0-180.0 (A36) | | 1 | | | | |
| OPN2 | P13.5x1090.0-180.0 (A36) | | 1 | | | | |
| FP1 | P10.0x100.0-312.0 (A36) | | 1 | tendón de soldadura simple: a = 5.7 | 312.0 | 3/4 A325 | 3 |

## Soldaduras

| Tipo | Material | Espesor de garganta [mm] | Tamaño de pierna [mm] | Longitud [mm] |
|---|---|---|---|---|
| Bisel | E70xx | - | - | 360.0 |
| Bisel | E70xx | - | - | 386.5 |
| tendón de soldadura simple | E70xx | 5.7 | 8.0 | 312.0 |
| Doble tendón de soldadura | E70xx | 5.7 | 8.0 | 1200.0 |
| Bisel | E70xx | - | - | 840.0 |

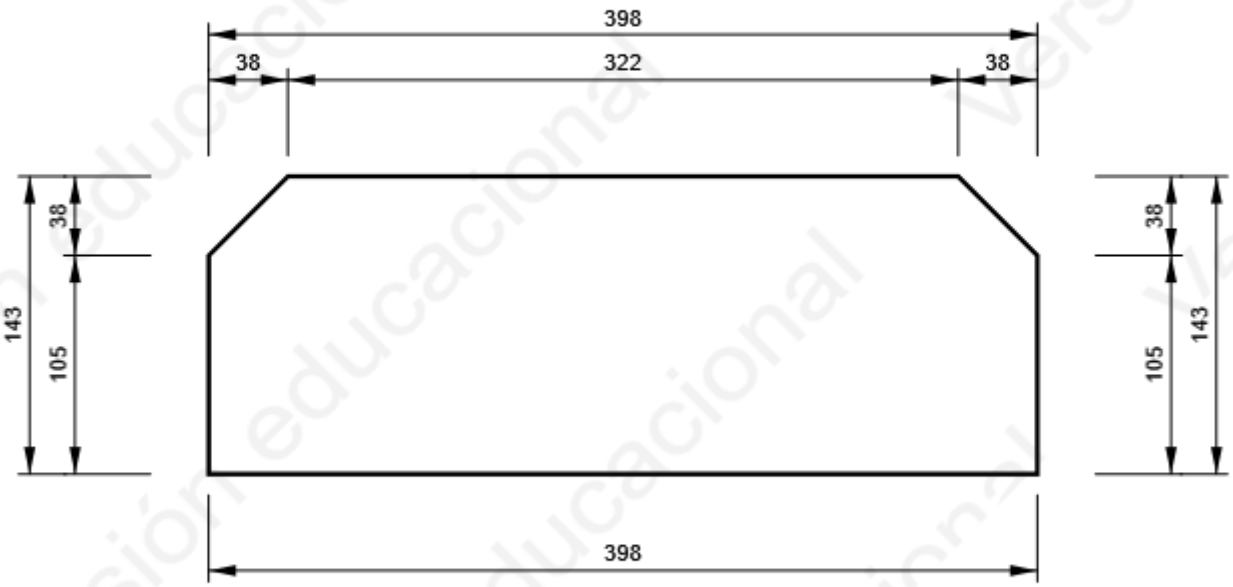
## Tornillos

| Nombre | Longitud de agarre [mm] | Cuenta |
|---|---|---|
| 3/4 A325 | 19 | 3 |

## Dibujo

### STIFF1

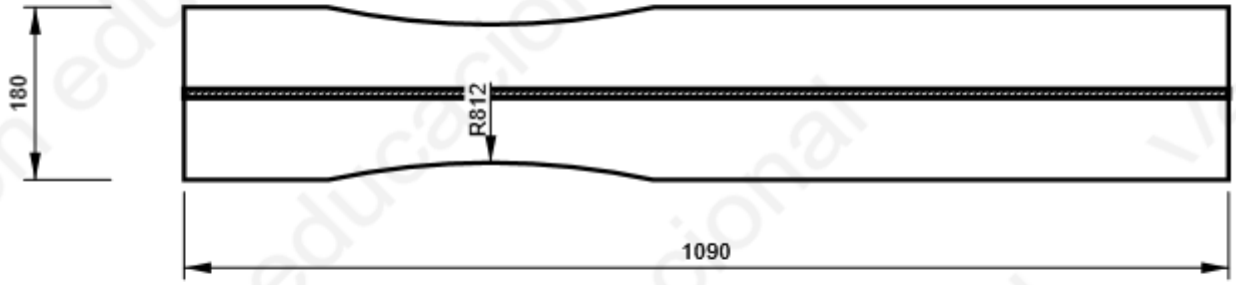
**P20.0x398-143 (A572 Gr.50)**




Versión educacional

## OPN1

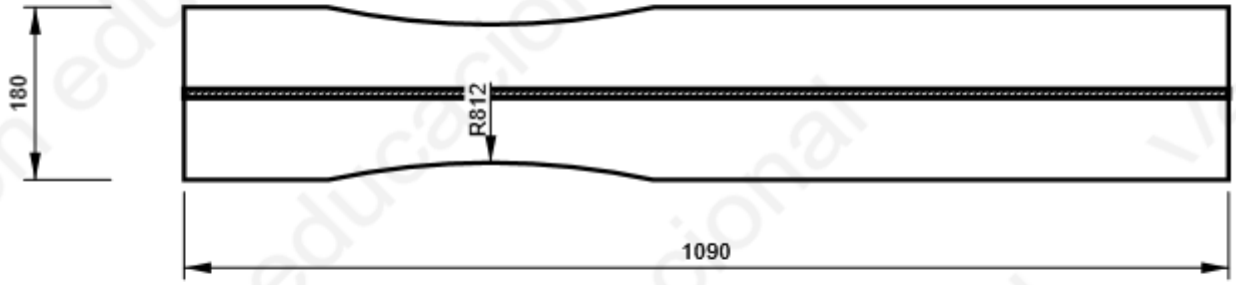
**P13.5x180-1090 (A36)**




Versión educacional

## OPN2

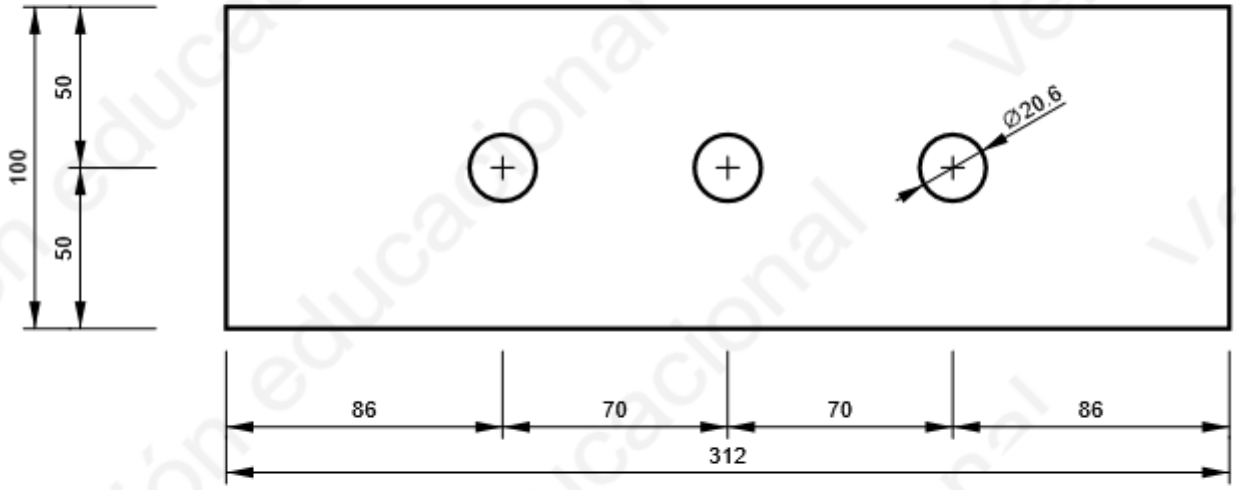
**P13.5x180-1090 (A36)**




Versión educacional

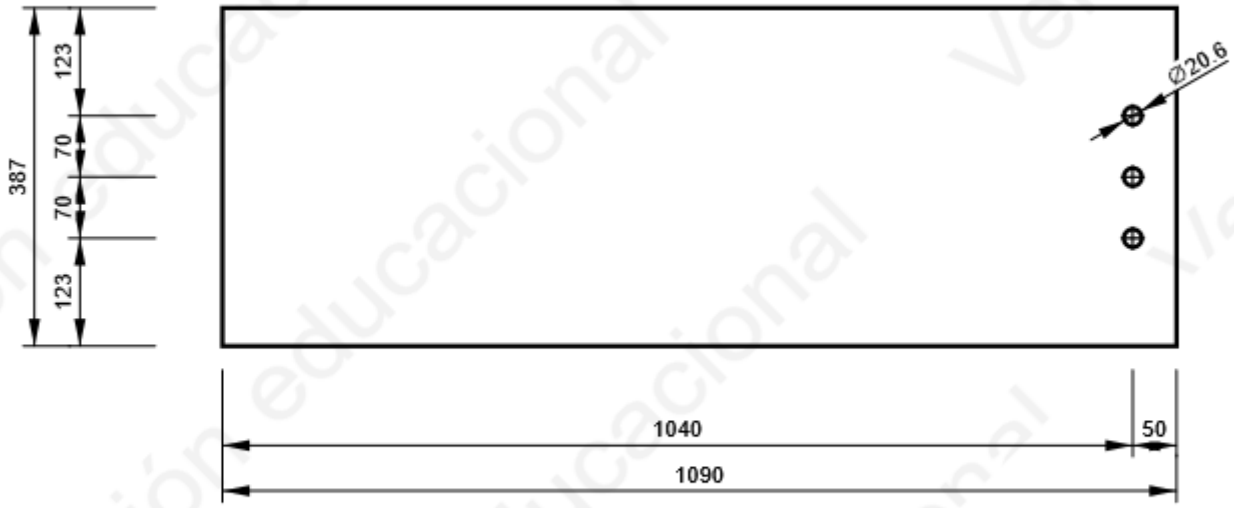
## FP1

**P10.0x312-100 (A36)**




Versión educacional

## B, IPE400 - Alma 1:



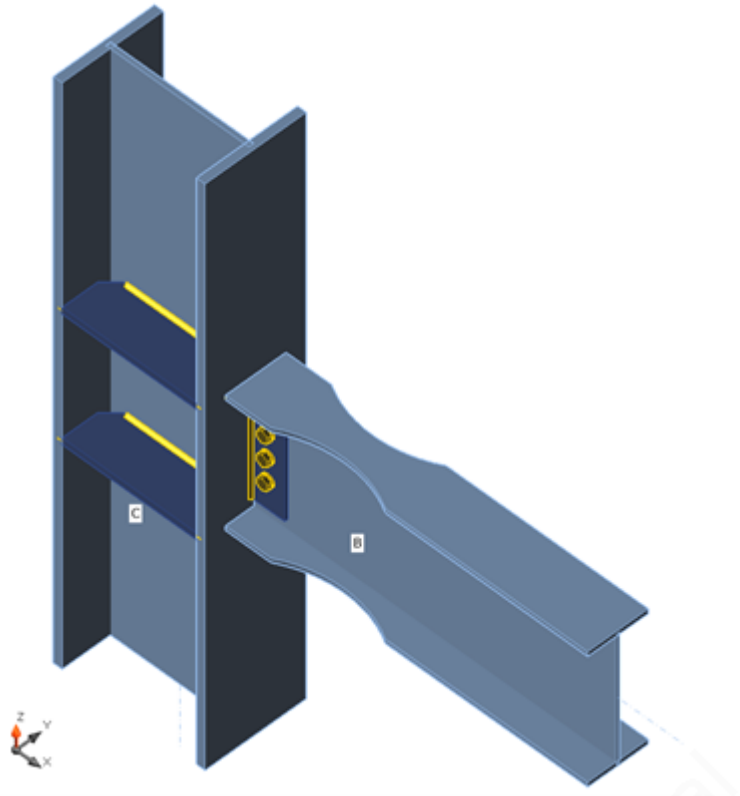
# Ítem del proyecto RBS-400-2

## Diseño

| | |
|---|---|
| Nombre | RBS-400-2 |
| Descripción | Conexion H450-I400 |
| Análisis | Tensión, deformación/ Carga simplificada |
| Normativa de cálculo | AISC - LRFD |

### Elementos estructurales

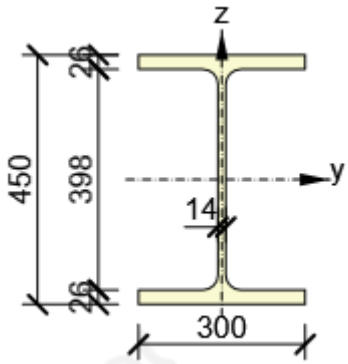
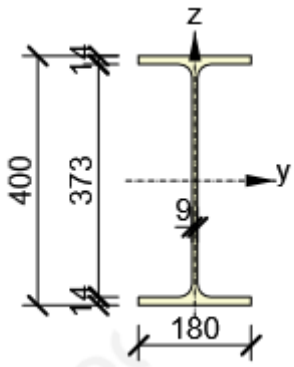
| Nombre | Sección transversal | β – Dirección [°] | γ - Inclinación [°] | α - Rotación [°] | Desplazamiento ex [mm] | Desplazamiento ey [mm] | Desplazamiento ez [mm] | Fuerzas en |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| C | 7 - HEB450 | 0.0 | -90.0 | 0.0 | 0 | 0 | 0 | Nudo |
| B | 8 - IPE400 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0 | 0 | 0 | Nudo |




### Secciones

| Nombre | Material |
|---|---|
| 7 - HEB450 | A572 Gr.50 |
| 8 - IPE400 | A36 |

## Secciones

| Nombre | Material | Dibujo |
|---|---|---|
| 7 - HEB450 | A572 Gr.50 |  |
| 8 - IPE400 | A36 |  |

## Tornillos

| Nombre | Conjunto de tornillo | Diámetro [mm] | fu [MPa] | Área bruta [mm$^2$] |
|---|---|---|---|---|
| 3/4 A325 | 3/4 A325 | 19 | 825.0 | 285 |

## Cargas (No se requiere el equilibro)

| Nombre | Elemento | N [kN] | Vy [kN] | Vz [kN] | Mx [kNm] | My [kNm] | Mz [kNm] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| LE1 | B | 0.0 | 0.0 | -250.0 | 0.0 | 352.0 | 0.0 |

# Verificación

## Resumen

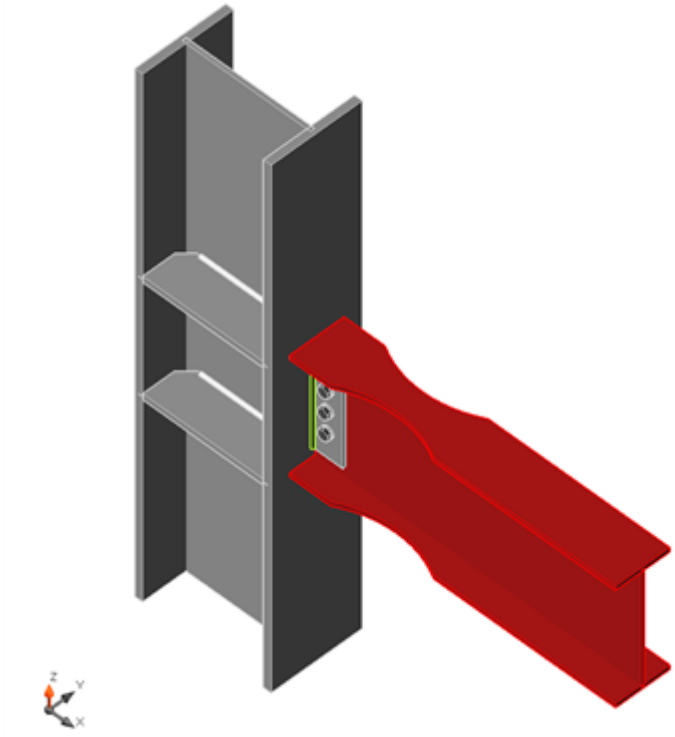
| Nombre | Valor | Estado de la verificación |
|---|---|---|
| Análisis | 100.0% | Aceptar |
| Placas | 34.4 > 5% | **Incorrecto!** |
| Tornillos | 30.1 < 100% | Aceptar |
| Soldaduras | 63.3 < 100% | Aceptar |
| Pandeo | No calculado | |

## Placas

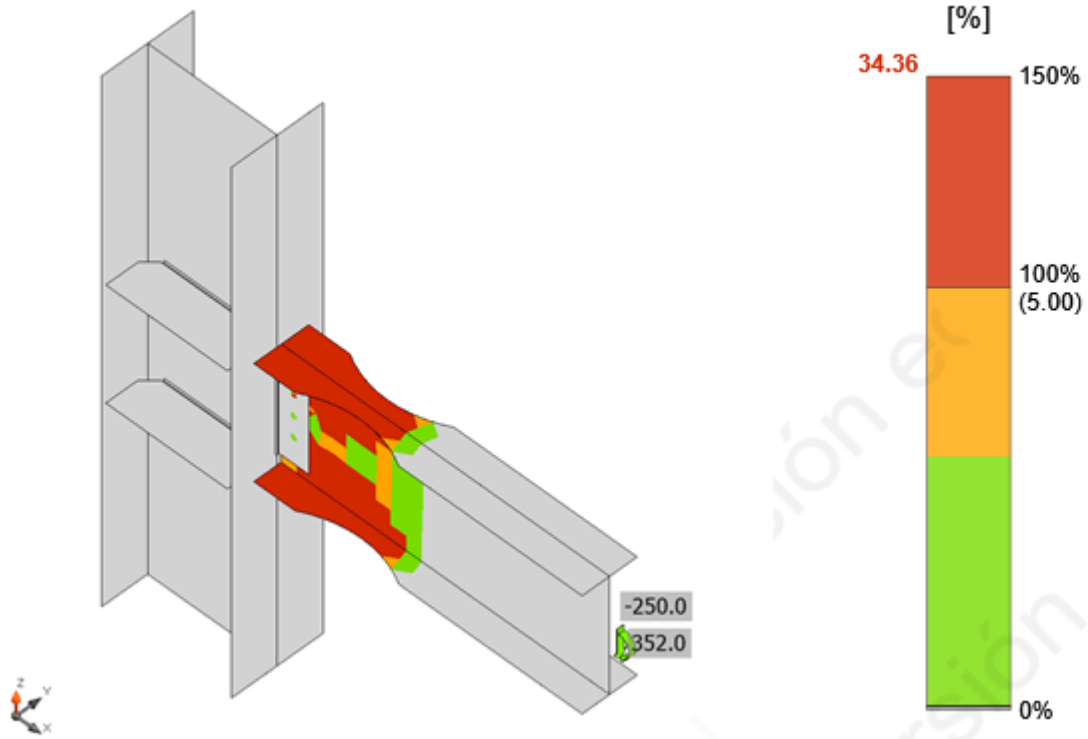
| Nombre | Material | $F_y$ [MPa] | Espesor [mm] | Cargas | $\sigma_{Ed}$ [MPa] | $\varepsilon_{Pl}$ [%] | Estado de la verificación |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| C-bfl 1 | A572 Gr.50 | 344.7 | 26.0 | LE1 | 128.2 | 0.0 | Aceptar |
| C-tfl 1 | A572 Gr.50 | 344.7 | 26.0 | LE1 | 71.3 | 0.0 | Aceptar |
| C-w 1 | A572 Gr.50 | 344.7 | 14.0 | LE1 | 205.3 | 0.0 | Aceptar |
| B-bfl 1 | A36 | 248.2 | 13.5 | LE1 | 291.3 | 33.9 | **Incorrecto!** |
| B-tfl 1 | A36 | 248.2 | 13.5 | LE1 | 292.2 | 34.4 | **Incorrecto!** |
| B-w 1 | A36 | 248.2 | 8.6 | LE1 | 281.4 | 29.0 | **Incorrecto!** |
| STIFF1a | A572 Gr.50 | 344.7 | 20.0 | LE1 | 143.0 | 0.0 | Aceptar |
| STIFF1b | A572 Gr.50 | 344.7 | 20.0 | LE1 | 145.5 | 0.0 | Aceptar |
| STIFF1c | A572 Gr.50 | 344.7 | 20.0 | LE1 | 141.9 | 0.0 | Aceptar |
| STIFF1d | A572 Gr.50 | 344.7 | 20.0 | LE1 | 144.1 | 0.0 | Aceptar |
| FP1 | A36 | 248.2 | 10.0 | LE1 | 142.4 | 0.0 | Aceptar |

### Datos de diseño

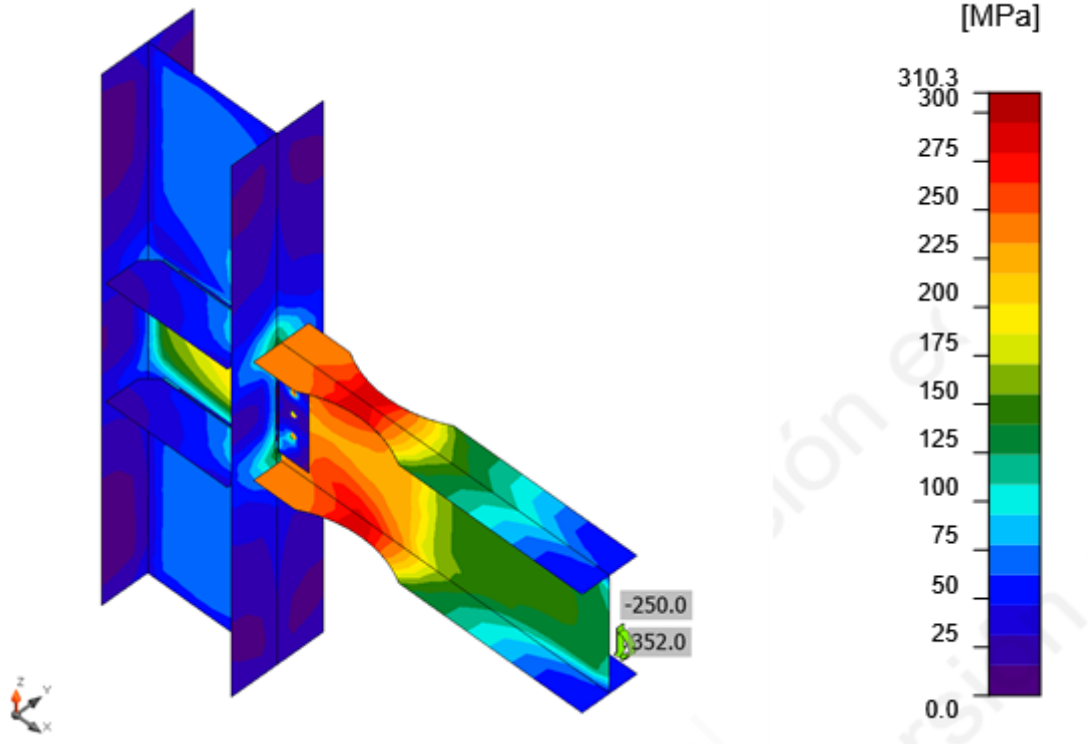
| Material | fy [MPa] | $\varepsilon_{lim}$ [%] |
|---|---|---|
| A572 Gr.50 | 344.7 | 5.0 |
| A36 | 248.2 | 5.0 |



*Verificación general, LE1*




*Verificación de deformación, LE1*




*Tensión equivalente, LE1*

## Tornillos

| Forma | Ítem | Calidad | Cargas | $F_t$ [kN] | V [kN] | $\phi R_{n,portante}$ [kN] | $Ut_t$ [%] | $Ut_s$ [%] | $Ut_{ts}$ [%] | Estado |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | B3 | 3/4 A325 - 1 | LE1 | 5.0 | 17.6 | 118.0 | 3.8 | 22.1 | - | Aceptar |
| | B4 | 3/4 A325 - 1 | LE1 | 0.6 | 4.4 | 118.0 | 0.4 | 5.5 | - | Aceptar |
| | B5 | 3/4 A325 - 1 | LE1 | 7.6 | 23.9 | 118.0 | 5.8 | 30.1 | - | Aceptar |



**Datos de diseño**

| Calidad | $\phi R_{n,tracción}$ [kN] | $\phi R_{n,cortante}$ [kN] |
|---|---|---|
| 3/4 A325 - 1 | 132.5 | 79.5 |

**Resultado detallado para B3**

**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b = \quad 132.5 \quad \text{kN} \quad \geq \quad F_t = \quad 5.0 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$F_{nt} = 620.0$ MPa – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2

$A_b = 285$ mm$^2$ – Área bruta del tornillo

$\phi = 0.75$ – factor de capacidad

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b = \quad 79.5 \quad \text{kN} \quad \geq \quad V = \quad 17.6 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$F_{nv} = 372.0$ MPa – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2

$A_b = 285$ mm$^2$ – Área bruta del tornillo

$\phi = 0.75$ – factor de capacidad

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \quad \leq \quad 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$$

$$\phi R_n = \quad 118.0 \quad \text{kN} \quad \geq \quad V = \quad 17.6 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$l_c = 105$ mm – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material

$t = 9$ mm – espesor de la placa

$d = 19$ mm – dimámetro del tornillo

$F_u = 400.0$ MPa – resistencia a tracción del material conectado

$\phi = 0.75$ – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-2)

*La tensión requerida, a cortante o en tracción, es menor o igual al 30% de la resistencia y los efectos de las tensiones combinadas no*

*necesitan ser evaluadas.*

**Resultado detallado para B4**

**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b =$ 132.5 kN ≥ $F_t =$ 0.6 kN

*Donde:*

$F_{nt} =$ 620.0 MPa – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2
$A_b =$ 285 mm$^2$ – Área bruta del tornillo
$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b =$ 79.5 kN ≥ $V =$ 4.4 kN

*Donde:*

$F_{nv} =$ 372.0 MPa – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2
$A_b =$ 285 mm$^2$ – Área bruta del tornillo
$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \leq 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$

$\phi R_n =$ 118.0 kN ≥ $V =$ 4.4 kN

*Donde:*

$l_c =$ 49 mm – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material
$t =$ 9 mm – espesor de la placa
$d =$ 19 mm – dimámetro del tornillo
$F_u =$ 400.0 MPa – resistencia a tracción del material conectado
$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-2)

*La tensión requerida, a cortante o en tracción, es menor o igual al 30% de la resistencia y los efectos de las tensiones combinadas no necesitan ser evaluadas.*

**Resultado detallado para B5**

**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b = \quad 132.5 \quad \text{kN} \quad \geq \quad F_t = \quad 7.6 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

| | |
|---|---|
| $F_{nt} = 620.0$ MPa | – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2 |
| $A_b = 285$ mm$^2$ | – Área bruta del tornillo |
| $\phi = 0.75$ | – factor de capacidad |

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b = \quad 79.5 \quad \text{kN} \quad \geq \quad V = \quad 23.9 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

| | |
|---|---|
| $F_{nv} = 372.0$ MPa | – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2 |
| $A_b = 285$ mm$^2$ | – Área bruta del tornillo |
| $\phi = 0.75$ | – factor de capacidad |

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \quad \leq \quad 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$$

$$\phi R_n = \quad 118.0 \quad \text{kN} \quad \geq \quad V = \quad 23.9 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

| | |
|---|---|
| $l_c = 330$ mm | – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material |
| $t = 9$ mm | – espesor de la placa |
| $d = 19$ mm | – dimámetro del tornillo |
| $F_u = 400.0$ MPa | – resistencia a tracción del material conectado |
| $\phi = 0.75$ | – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos |

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-2)

*La tensión requerida, a cortante o en tracción, es menor o igual al 30% de la resistencia y los efectos de las tensiones combinadas no necesitan ser evaluadas.*

## Soldaduras

| Ítem | Borde | Xu | $T_h$ [mm] | $L_s$ [mm] | L [mm] | $L_c$ [mm] | $F_n$ [kN] | $\phi R_n$ [kN] | Ut [%] | Estado |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| C-bfl 1 | B-bfl 1 | E70xx | - | - | 180 | - | - | - | - | Aceptar |
| C-bfl 1 | B-tfl 1 | E70xx | - | - | 180 | - | - | - | - | Aceptar |
| C-bfl 1 | B-w 1 | E70xx | - | - | 387 | - | - | - | - | Aceptar |
| C-bfl 1 | FP1 | E70xx | ◢5.7 | ◢8.0 | 311 | 19 | 21.3 | 33.7 | 63.3 | Aceptar |
| C-w 1 | STIFF1b | E70xx | ◢5.7◣ | ◢8.0◣ | 300 | 50 | 23.7 | 70.0 | 33.9 | Aceptar |
| | | E70xx | ◢5.7◣ | ◢8.0◣ | 300 | 50 | 23.1 | 64.5 | 35.9 | Aceptar |
| C-bfl 1 | STIFF1b | E70xx | - | - | 105 | - | - | - | - | Aceptar |
| C-tfl 1 | STIFF1b | E70xx | - | - | 105 | - | - | - | - | Aceptar |
| C-w 1 | STIFF1d | E70xx | ◢5.7◣ | ◢8.0◣ | 300 | 50 | 23.0 | 64.5 | 35.7 | Aceptar |
| | | E70xx | ◢5.7◣ | ◢8.0◣ | 300 | 50 | 23.7 | 70.0 | 33.8 | Aceptar |
| C-bfl 1 | STIFF1d | E70xx | - | - | 105 | - | - | - | - | Aceptar |
| C-tfl 1 | STIFF1d | E70xx | - | - | 105 | - | - | - | - | Aceptar |
| C-w 1 | STIFF1a | E70xx | ◢5.7◣ | ◢8.0◣ | 300 | 50 | 23.0 | 64.5 | 35.7 | Aceptar |
| | | E70xx | ◢5.7◣ | ◢8.0◣ | 300 | 50 | 23.7 | 70.1 | 33.7 | Aceptar |
| C-tfl 1 | STIFF1a | E70xx | - | - | 105 | - | - | - | - | Aceptar |
| C-bfl 1 | STIFF1a | E70xx | - | - | 105 | - | - | - | - | Aceptar |
| C-w 1 | STIFF1c | E70xx | ◢5.7◣ | ◢8.0◣ | 300 | 50 | 23.6 | 70.1 | 33.6 | Aceptar |
| | | E70xx | ◢5.7◣ | ◢8.0◣ | 300 | 50 | 22.9 | 64.5 | 35.5 | Aceptar |
| C-bfl 1 | STIFF1c | E70xx | - | - | 105 | - | - | - | - | Aceptar |
| C-tfl 1 | STIFF1c | E70xx | - | - | 105 | - | - | - | - | Aceptar |

**Resultado detallado para C-bfl 1 / B-bfl 1 - 1**

*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

**Resultado detallado para C-bfl 1 / B-tfl 1 - 1**

*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

**Resultado detallado para C-bfl 1 / B-w 1 - 1**

*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

**Resultado detallado para C-bfl 1 / FP1 - 1**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 33.7 kN ≥ $F_n =$ 21.3 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 408.0 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 61.0° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 110 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-w 1 / STIFF1b - 1**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 70.0 kN ≥ $F_n =$ 23.7 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 330.3 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 25.4° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 283 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-w 1 / STIFF1b - 2**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 64.5 kN ≥ $F_n =$ 23.1 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 304.2 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 12.5° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 283 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-bfl 1 / STIFF1b - 1**

*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

**Resultado detallado para C-tfl 1 / STIFF1b - 1**

*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

**Resultado detallado para C-w 1 / STIFF1d - 1**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 64.5 kN ≥ $F_n =$ 23.0 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 304.3 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 12.6° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 283 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-w 1 / STIFF1d - 2**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 70.0 kN ≥ $F_n =$ 23.7 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 330.3 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 25.4° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 283 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-bfl 1 / STIFF1d - 1**

*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

**Resultado detallado para C-tfl 1 / STIFF1d - 1**

*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

**Resultado detallado para C-w 1 / STIFF1a - 1**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 64.5 kN ≥ $F_n =$ 23.0 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 304.3 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 12.6° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 283 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-w 1 / STIFF1a - 2**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 70.1 kN ≥ $F_n =$ 23.7 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 330.7 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 25.6° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 283 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-tfl 1 / STIFF1a - 1**

*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

**Resultado detallado para C-bfl 1 / STIFF1a - 1**

*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

**Resultado detallado para C-w 1 / STIFF1c - 1**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 70.1 kN ≥ $F_n =$ 23.6 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 330.7 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 25.6° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 283 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-w 1 / STIFF1c - 2**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 64.5 kN ≥ $F_n =$ 22.9 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 304.4 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 12.6° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 283 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-bfl 1 / STIFF1c - 1**

*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

**Resultado detallado para C-tfl 1 / STIFF1c - 1**

*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

## Pandeo

**El análisis de pandeo no se ha calculado.**

# Listado de material

## Operaciones

| Nombre | Placas [mm] | Forma | Nr. | Soldaduras [mm] | Longitud [mm] | Tornillos | Nr. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| CUT1 | | | | Bisel: a = 13.5<br>Bisel: a = 8.6 | 360.0<br>386.5 | | |
| STIFF1 | P20.0x143.0-398.0 (A572 Gr.50) | | 4 | | | | |
| OPN1 | P13.5x1075.0-180.0 (A36) | | 1 | | | | |
| OPN2 | P13.5x1075.0-180.0 (A36) | | 1 | | | | |
| FP1 | P10.0x100.0-312.0 (A36) | | 1 | tendón de soldadura simple: a = 5.7 | 312.0 | 3/4 A325 | 3 |

## Soldaduras

| Tipo | Material | Espesor de garganta [mm] | Tamaño de pierna [mm] | Longitud [mm] |
|---|---|---|---|---|
| Bisel | E70xx | - | - | 360.0 |
| Bisel | E70xx | - | - | 386.5 |
| tendón de soldadura simple | E70xx | 5.7 | 8.0 | 312.0 |
| Doble tendón de soldadura | E70xx | 5.7 | 8.0 | 1200.0 |
| Bisel | E70xx | - | - | 840.0 |

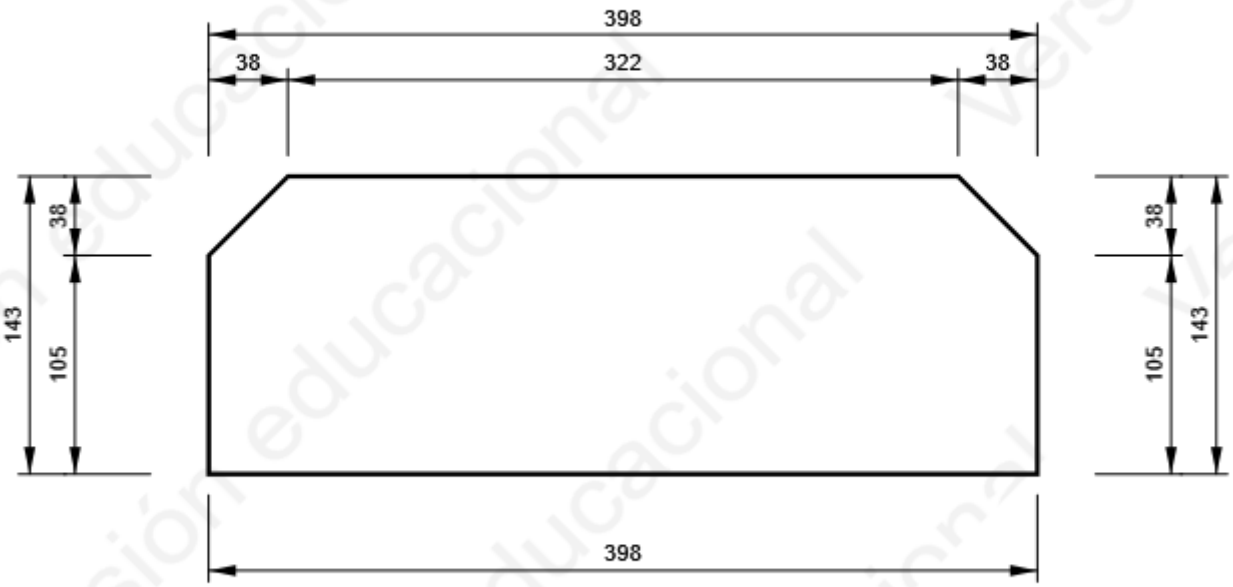
## Tornillos

| Nombre | Longitud de agarre [mm] | Cuenta |
|---|---|---|
| 3/4 A325 | 19 | 3 |

## Dibujo

### STIFF1

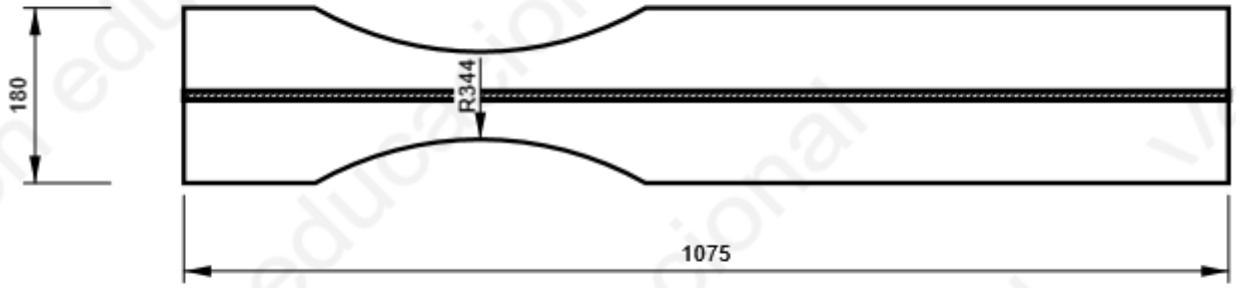
**P20.0x398-143 (A572 Gr.50)**




Versión educacional

## OPN1

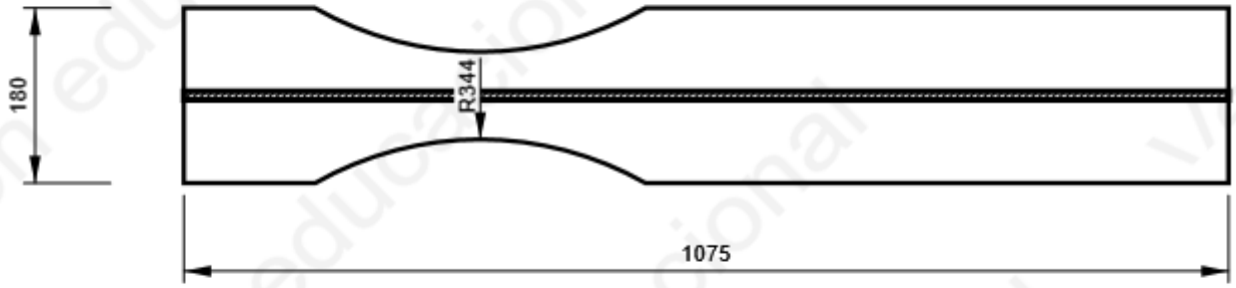
**P13.5x180-1075 (A36)**




Versión educacional

## OPN2

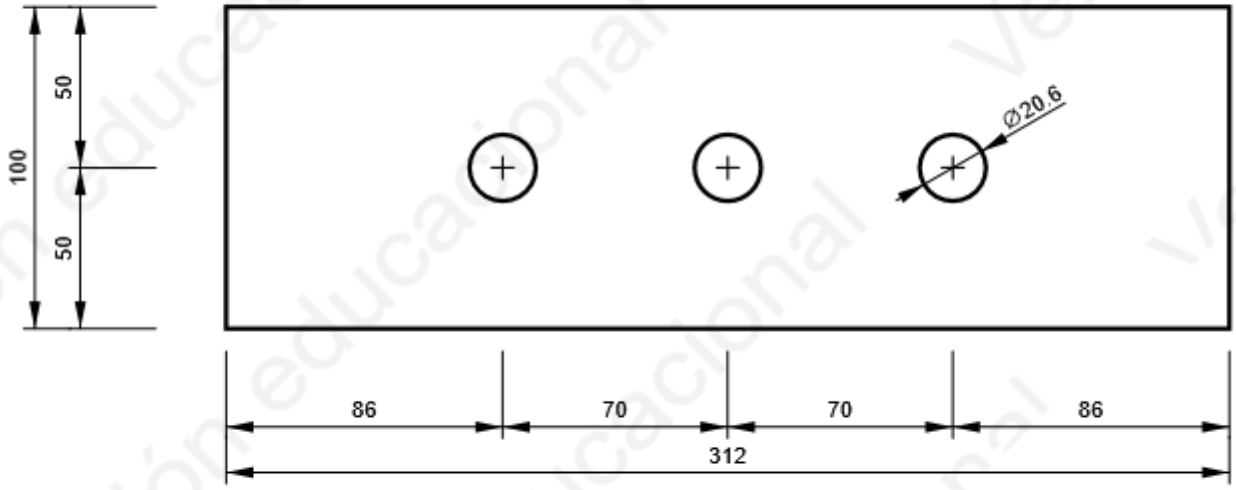
**P13.5x180-1075 (A36)**




Versión educacional

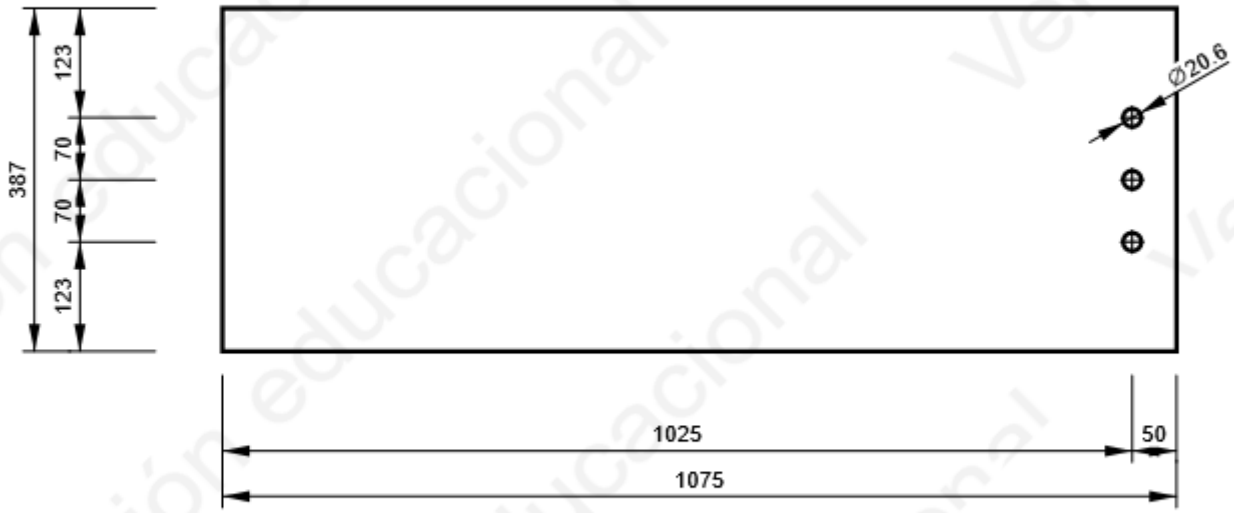
## FP1

**P10.0x312-100 (A36)**




Versión educacional

## B, IPE400 - Alma 1:



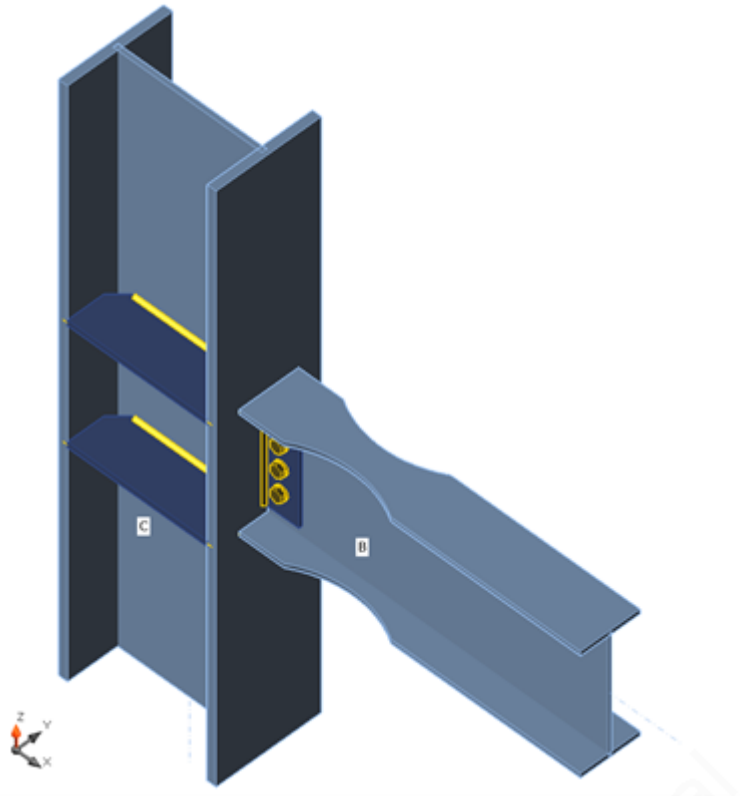
# Ítem del proyecto RBS-360-1

## Diseño

| | |
|---|---|
| Nombre | RBS-360-1 |
| Descripción | Conexion H450-I360 |
| Análisis | Tensión, deformación/ Carga simplificada |
| Normativa de cálculo | AISC - LRFD |

### Elementos estructurales

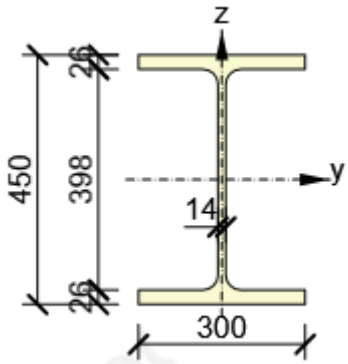
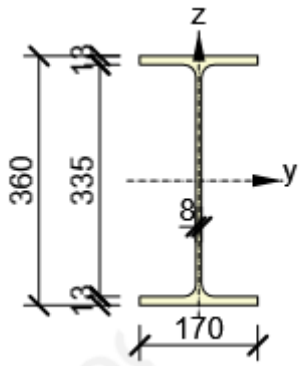
| Nombre | Sección transversal | β – Dirección [°] | γ - Inclinación [°] | α - Rotación [°] | Desplazamiento ex [mm] | Desplazamiento ey [mm] | Desplazamiento ez [mm] | Fuerzas en |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| C | 7 - HEB450 | 0.0 | -90.0 | 0.0 | 0 | 0 | 0 | Nudo |
| B | 9 - IPE360 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0 | 0 | 0 | Nudo |




### Secciones

| Nombre | Material |
|---|---|
| 7 - HEB450 | A572 Gr.50 |
| 9 - IPE360 | A572 Gr.50 |

## Secciones

| Nombre | Material | Dibujo |
|---|---|---|
| 7 - HEB450 | A572 Gr.50 |   |
| 9 - IPE360 | A572 Gr.50 |   |

## Tornillos

| Nombre | Conjunto de tornillo | Diámetro [mm] | fu [MPa] | Área bruta [$mm^2$] |
|---|---|---|---|---|
| 3/4 A325 | 3/4 A325 | 19 | 825.0 | 285 |

## Cargas (No se requiere el equilibro)

| Nombre | Elemento | N [kN] | Vy [kN] | Vz [kN] | Mx [kNm] | My [kNm] | Mz [kNm] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| LE1 | B | 0.0 | 0.0 | -103.0 | 0.0 | 258.0 | 0.0 |

# Verificación

## Resumen

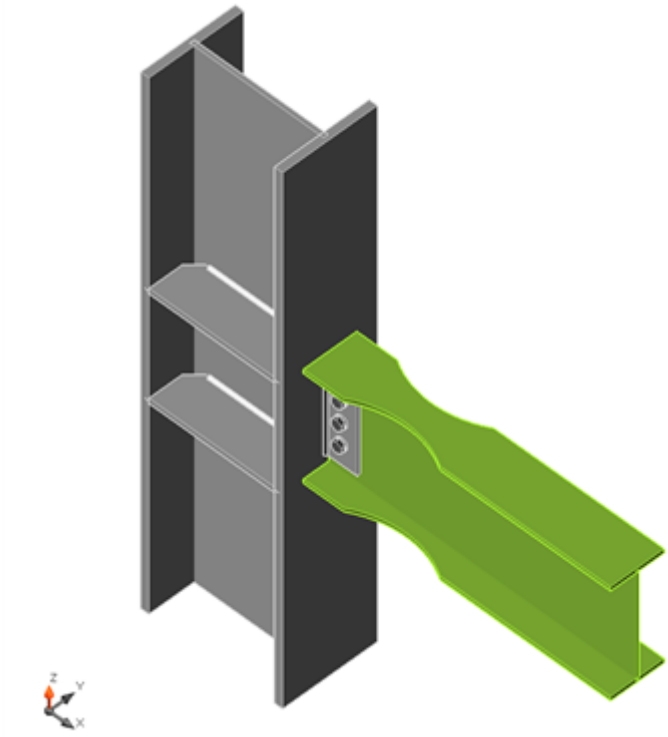
| Nombre | Valor | Estado de la verificación |
|---|---|---|
| Análisis | 100.0% | Aceptar |
| Placas | 1.3 < 5% | Aceptar |
| Tornillos | 1.9 < 100% | Aceptar |
| Soldaduras | 28.7 < 100% | Aceptar |
| Pandeo | No calculado | |

## Placas

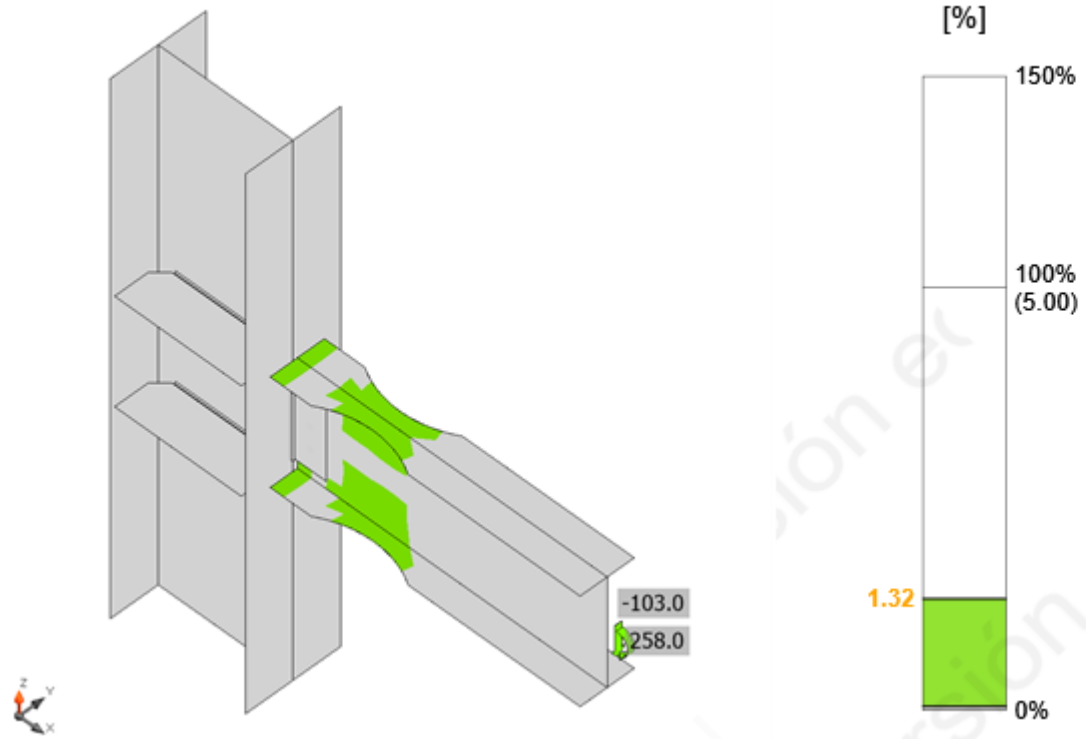
| Nombre | Material | $F_y$ [MPa] | Espesor [mm] | Cargas | $\sigma_{Ed}$ [MPa] | $\varepsilon_{Pl}$ [%] | Estado de la verificación |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| C-bfl 1 | A572 Gr.50 | 344.7 | 26.0 | LE1 | 110.6 | 0.0 | Aceptar |
| C-tfl 1 | A572 Gr.50 | 344.7 | 26.0 | LE1 | 57.9 | 0.0 | Aceptar |
| C-w 1 | A572 Gr.50 | 344.7 | 14.0 | LE1 | 174.2 | 0.0 | Aceptar |
| B-bfl 1 | A572 Gr.50 | 344.7 | 12.7 | LE1 | 312.9 | 1.3 | Aceptar |
| B-tfl 1 | A572 Gr.50 | 344.7 | 12.7 | LE1 | 312.9 | 1.3 | Aceptar |
| B-w 1 | A572 Gr.50 | 344.7 | 8.0 | LE1 | 312.4 | 1.0 | Aceptar |
| STIFF1a | A572 Gr.50 | 344.7 | 17.0 | LE1 | 148.8 | 0.0 | Aceptar |
| STIFF1b | A572 Gr.50 | 344.7 | 17.0 | LE1 | 149.0 | 0.0 | Aceptar |
| STIFF1c | A572 Gr.50 | 344.7 | 17.0 | LE1 | 148.9 | 0.0 | Aceptar |
| STIFF1d | A572 Gr.50 | 344.7 | 17.0 | LE1 | 149.2 | 0.0 | Aceptar |
| FP1 | A36 | 248.2 | 10.0 | LE1 | 28.0 | 0.0 | Aceptar |

### Datos de diseño

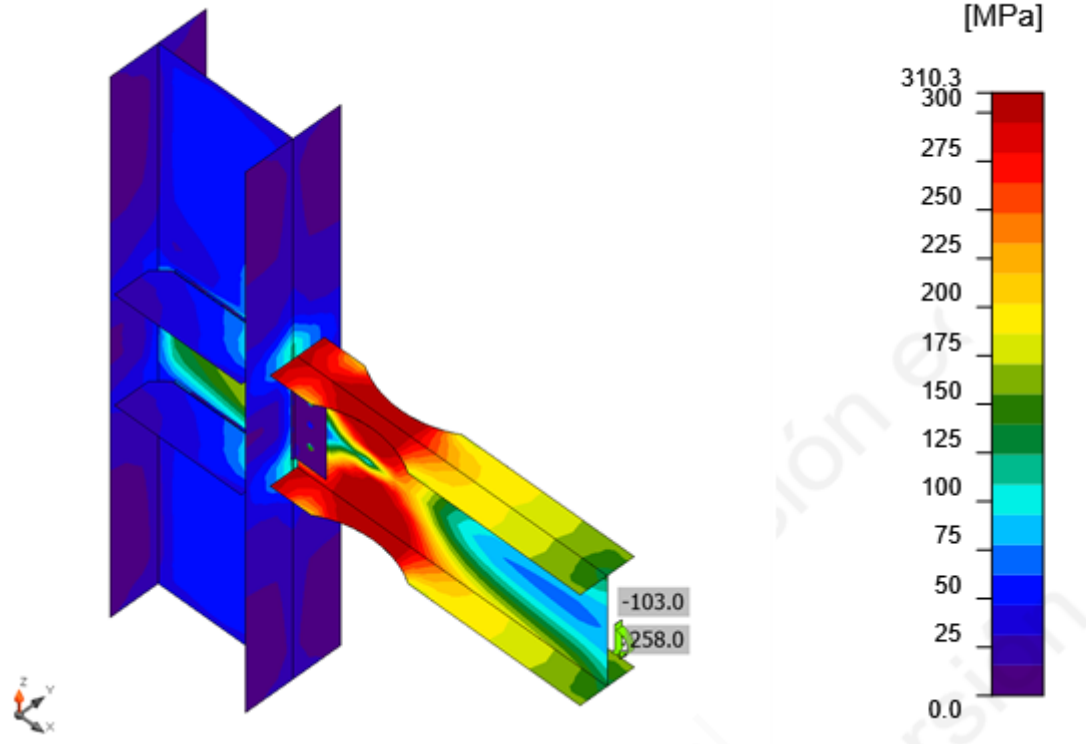
| Material | fy [MPa] | $\varepsilon_{lim}$ [%] |
|---|---|---|
| A572 Gr.50 | 344.7 | 5.0 |
| A36 | 248.2 | 5.0 |



*Verificación general, LE1*

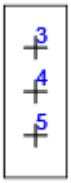



*Verificación de deformación, LE1*




*Tensión equivalente, LE1*

## Tornillos

| Forma | Ítem | Calidad | Cargas | $F_t$ [kN] | V [kN] | $\phi R_{n,portante}$ [kN] | $Ut_t$ [%] | $Ut_s$ [%] | $Ut_{ts}$ [%] | Estado |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
|  | B3 | 3/4 A325 - 1 | LE1 | 0.1 | 1.1 | 122.9 | 0.1 | 1.3 | - | Aceptar |
| | B4 | 3/4 A325 - 1 | LE1 | 0.0 | 0.1 | 122.9 | 0.0 | 0.1 | - | Aceptar |
| | B5 | 3/4 A325 - 1 | LE1 | 0.1 | 1.5 | 122.9 | 0.1 | 1.9 | - | Aceptar |

**Datos de diseño**

| Calidad | $\phi R_{n,tracción}$ [kN] | $\phi R_{n,cortante}$ [kN] |
|---|---|---|
| 3/4 A325 - 1 | 132.5 | 79.5 |

**Resultado detallado para B3**

**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b = \quad 132.5 \quad \text{kN} \quad \geq \quad F_t = \quad 0.1 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$F_{nt} = 620.0$ MPa – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2

$A_b = 285$ mm$^2$ – Área bruta del tornillo

$\phi = 0.75$ – factor de capacidad

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b = \quad 79.5 \quad \text{kN} \quad \geq \quad V = \quad 1.1 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$F_{nv} = 372.0$ MPa – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2

$A_b = 285$ mm$^2$ – Área bruta del tornillo

$\phi = 0.75$ – factor de capacidad

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \quad \leq \quad 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$$

$$\phi R_n = \quad 122.9 \quad \text{kN} \quad \geq \quad V = \quad 1.1 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$l_c = 42$ mm – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material

$t = 8$ mm – espesor de la placa

$d = 19$ mm – dimámetro del tornillo

$F_u = 448.2$ MPa – resistencia a tracción del material conectado

$\phi = 0.75$ – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-2)

*La tensión requerida, a cortante o en tracción, es menor o igual al 30% de la resistencia y los efectos de las tensiones combinadas no*

*necesitan ser evaluadas.*

**Resultado detallado para B4**

**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b =$ 132.5 kN ≥ $F_t =$ 0.0 kN

*Donde:*

$F_{nt} =$ 620.0 MPa – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2
$A_b =$ 285 mm$^2$ – Área bruta del tornillo
$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b =$ 79.5 kN ≥ $V =$ 0.1 kN

*Donde:*

$F_{nv} =$ 372.0 MPa – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2
$A_b =$ 285 mm$^2$ – Área bruta del tornillo
$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \leq 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$

$\phi R_n =$ 122.9 kN ≥ $V =$ 0.1 kN

*Donde:*

$l_c =$ 49 mm – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material
$t =$ 8 mm – espesor de la placa
$d =$ 19 mm – dimámetro del tornillo
$F_u =$ 448.2 MPa – resistencia a tracción del material conectado
$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-2)

*La tensión requerida, a cortante o en tracción, es menor o igual al 30% de la resistencia y los efectos de las tensiones combinadas no necesitan ser evaluadas.*

**Resultado detallado para B5**

**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b = \quad 132.5 \quad \text{kN} \quad \geq \quad F_t = \quad 0.1 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

| | |
|---|---|
| $F_{nt} = 620.0$ MPa | – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2 |
| $A_b = 285$ mm$^2$ | – Área bruta del tornillo |
| $\phi = 0.75$ | – factor de capacidad |

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b = \quad 79.5 \quad \text{kN} \quad \geq \quad V = \quad 1.5 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

| | |
|---|---|
| $F_{nv} = 372.0$ MPa | – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2 |
| $A_b = 285$ mm$^2$ | – Área bruta del tornillo |
| $\phi = 0.75$ | – factor de capacidad |

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \quad \leq \quad 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$$

$$\phi R_n = \quad 122.9 \quad \text{kN} \quad \geq \quad V = \quad 1.5 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

| | |
|---|---|
| $l_c = 940$ mm | – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material |
| $t = 8$ mm | – espesor de la placa |
| $d = 19$ mm | – dimámetro del tornillo |
| $F_u = 448.2$ MPa | – resistencia a tracción del material conectado |
| $\phi = 0.75$ | – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos |

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-2)

*La tensión requerida, a cortante o en tracción, es menor o igual al 30% de la resistencia y los efectos de las tensiones combinadas no necesitan ser evaluadas.*

## Soldaduras

| Ítem | Borde | Xu | $T_h$ [mm] | $L_s$ [mm] | L [mm] | $L_c$ [mm] | $F_n$ [kN] | $\phi R_n$ [kN] | Ut [%] | Estado |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| C-bfl 1 | B-bfl 1 | E70xx | - | - | 170 | - | - | - | - | Aceptar |
| C-bfl 1 | B-tfl 1 | E70xx | - | - | 170 | - | - | - | - | Aceptar |
| C-bfl 1 | B-w 1 | E70xx | - | - | 347 | - | - | - | - | Aceptar |
| C-bfl 1 | FP1 | E70xx | ◢5.7 | ◢8.0 | 274 | 17 | 3.8 | 27.6 | 13.9 | Aceptar |
| C-w 1 | STIFF1b | E70xx | ◢5.7◣ | ◢8.0◣ | 300 | 50 | 19.1 | 69.9 | 27.3 | Aceptar |
| | | E70xx | ◢5.7◣ | ◢8.0◣ | 300 | 50 | 18.4 | 64.2 | 28.7 | Aceptar |
| C-bfl 1 | STIFF1b | E70xx | - | - | 105 | - | - | - | - | Aceptar |
| C-tfl 1 | STIFF1b | E70xx | - | - | 105 | - | - | - | - | Aceptar |
| C-w 1 | STIFF1d | E70xx | ◢5.7◣ | ◢8.0◣ | 300 | 50 | 18.4 | 64.2 | 28.7 | Aceptar |
| | | E70xx | ◢5.7◣ | ◢8.0◣ | 300 | 50 | 19.1 | 69.9 | 27.3 | Aceptar |
| C-bfl 1 | STIFF1d | E70xx | - | - | 105 | - | - | - | - | Aceptar |
| C-tfl 1 | STIFF1d | E70xx | - | - | 105 | - | - | - | - | Aceptar |
| C-w 1 | STIFF1a | E70xx | ◢5.7◣ | ◢8.0◣ | 300 | 50 | 18.4 | 64.2 | 28.7 | Aceptar |
| | | E70xx | ◢5.7◣ | ◢8.0◣ | 300 | 50 | 19.1 | 69.9 | 27.3 | Aceptar |
| C-tfl 1 | STIFF1a | E70xx | - | - | 105 | - | - | - | - | Aceptar |
| C-bfl 1 | STIFF1a | E70xx | - | - | 105 | - | - | - | - | Aceptar |
| C-w 1 | STIFF1c | E70xx | ◢5.7◣ | ◢8.0◣ | 300 | 50 | 19.1 | 69.9 | 27.3 | Aceptar |
| | | E70xx | ◢5.7◣ | ◢8.0◣ | 300 | 50 | 18.4 | 64.2 | 28.7 | Aceptar |
| C-bfl 1 | STIFF1c | E70xx | - | - | 105 | - | - | - | - | Aceptar |
| C-tfl 1 | STIFF1c | E70xx | - | - | 105 | - | - | - | - | Aceptar |

**Resultado detallado para C-bfl 1 / B-bfl 1 - 1**

*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

**Resultado detallado para C-bfl 1 / B-tfl 1 - 1**

*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

**Resultado detallado para C-bfl 1 / B-w 1 - 1**

*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

**Resultado detallado para C-bfl 1 / FP1 - 1**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 27.6 kN ≥ $F_n =$ 3.8 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 379.7 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 46.8° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 97 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-w 1 / STIFF1b - 1**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 69.9 kN ≥ $F_n =$ 19.1 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 329.8 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 25.2° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 283 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-w 1 / STIFF1b - 2**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 64.2 kN ≥ $F_n =$ 18.4 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 303.1 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 11.9° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 283 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-bfl 1 / STIFF1b - 1**

*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

**Resultado detallado para C-tfl 1 / STIFF1b - 1**

*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

**Resultado detallado para C-w 1 / STIFF1d - 1**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 64.2 kN ≥ $F_n =$ 18.4 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 303.1 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 11.9° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 283 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-w 1 / STIFF1d - 2**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 69.9 kN ≥ $F_n =$ 19.1 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 329.8 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 25.2° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 283 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-bfl 1 / STIFF1d - 1**

*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

**Resultado detallado para C-tfl 1 / STIFF1d - 1**

*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

**Resultado detallado para C-w 1 / STIFF1a - 1**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 64.2 kN ≥ $F_n =$ 18.4 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 303.1 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 11.9° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 283 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-w 1 / STIFF1a - 2**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 69.9 kN ≥ $F_n =$ 19.1 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 329.8 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 25.2° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 283 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-tfl 1 / STIFF1a - 1**

*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

**Resultado detallado para C-bfl 1 / STIFF1a - 1**

*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

**Resultado detallado para C-w 1 / STIFF1c - 1**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 69.9 kN ≥ $F_n =$ 19.1 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 329.8 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 25.2° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 283 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-w 1 / STIFF1c - 2**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 64.2 kN ≥ $F_n =$ 18.4 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 303.1 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 11.9° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 283 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-bfl 1 / STIFF1c - 1**

*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

**Resultado detallado para C-tfl 1 / STIFF1c - 1**

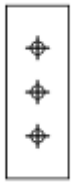
*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

## Pandeo

**El análisis de pandeo no se ha calculado.**

# Listado de material

## Operaciones

| Nombre | Placas [mm] | Forma | Nr. | Soldaduras [mm] | Longitud [mm] | Tornillos | Nr. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| CUT1 | | | | Bisel: a = 12.7<br>Bisel: a = 8.0 | 340.0<br>347.3 | | |
| STIFF1 | P17.0x143.0-398.0 (A572 Gr.50) | | 4 | | | | |
| OPN1 | P12.7x974.0-170.0 (A572 Gr.50) | | 1 | | | | |
| OPN2 | P12.7x974.0-170.0 (A572 Gr.50) | | 1 | | | | |
| FP1 | P10.0x100.0-274.6 (A36) |  | 1 | tendón de soldadura simple: a = 5.7 | 274.6 | 3/4 A325 | 3 |

## Soldaduras

| Tipo | Material | Espesor de garganta [mm] | Tamaño de pierna [mm] | Longitud [mm] |
|---|---|---|---|---|
| Bisel | E70xx | - | - | 340.0 |
| Bisel | E70xx | - | - | 347.3 |
| tendón de soldadura simple | E70xx | 5.7 | 8.0 | 274.6 |
| Doble tendón de soldadura | E70xx | 5.7 | 8.0 | 1200.0 |
| Bisel | E70xx | - | - | 840.0 |

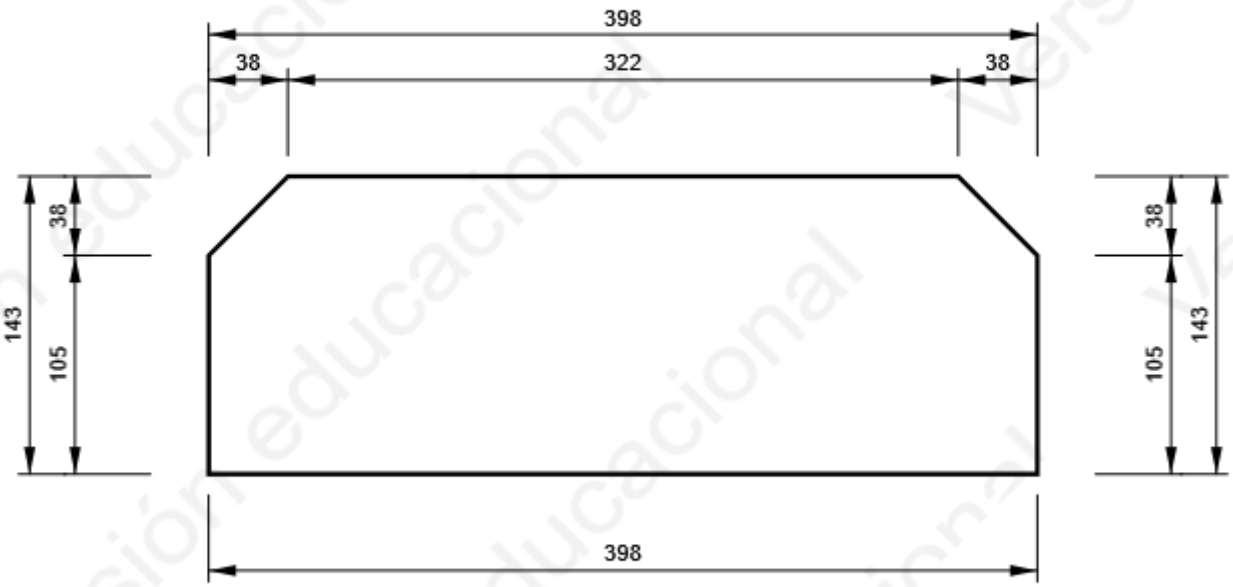
## Tornillos

| Nombre | Longitud de agarre [mm] | Cuenta |
|---|---|---|
| 3/4 A325 | 18 | 3 |

## Dibujo

### STIFF1

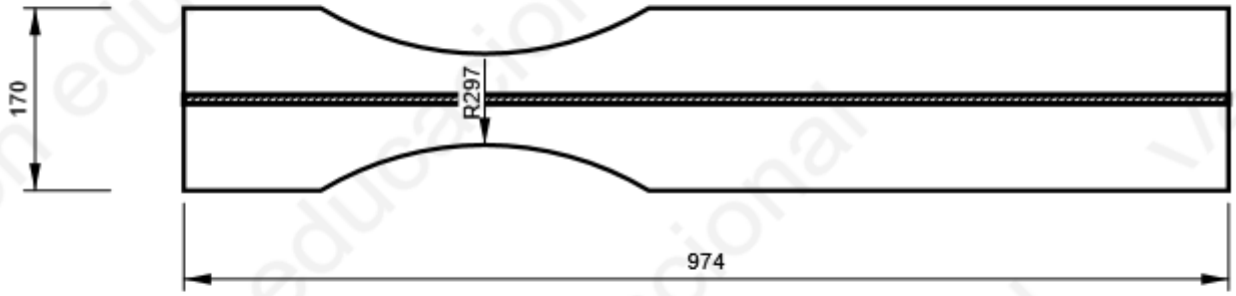
**P17.0x398-143 (A572 Gr.50)**




Versión educacional

## OPN1

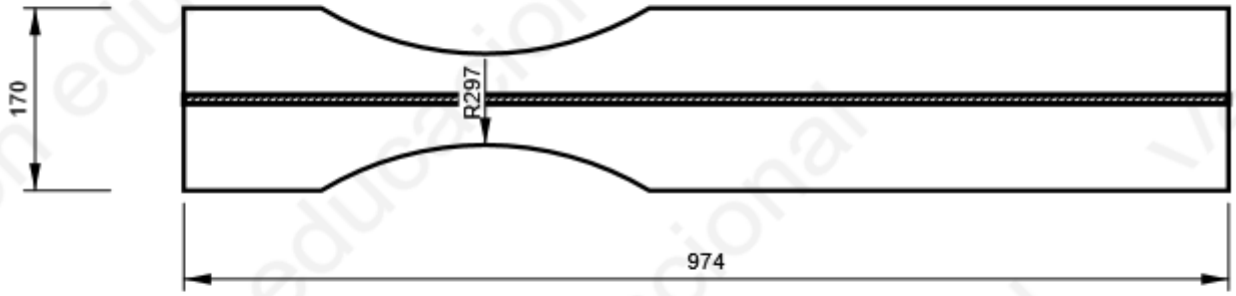
**P12.7x170-974 (A572 Gr.50)**




Versión educacional

## OPN2

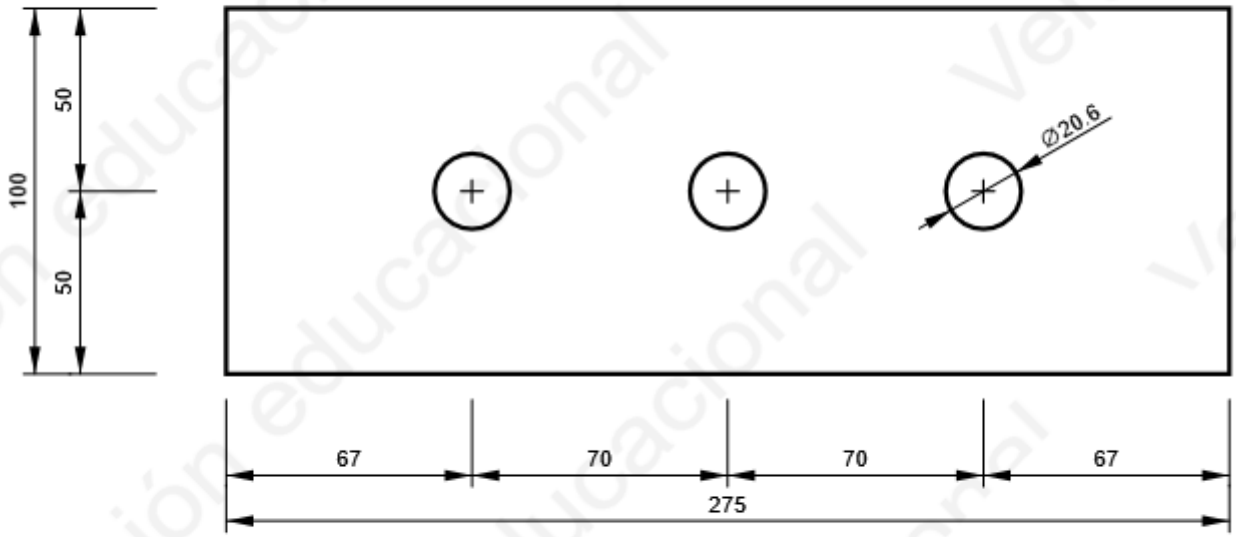
**P12.7x170-974 (A572 Gr.50)**




Versión educacional

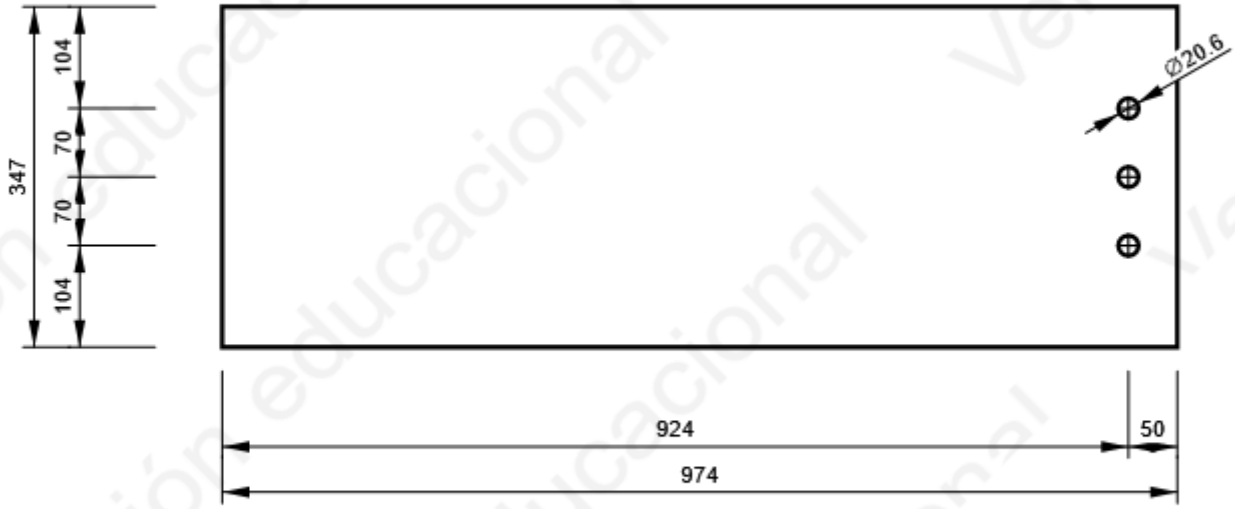
## FP1

**P10.0x275-100 (A36)**




Versión educacional

## B, IPE360 - Alma 1:




Versión educacional

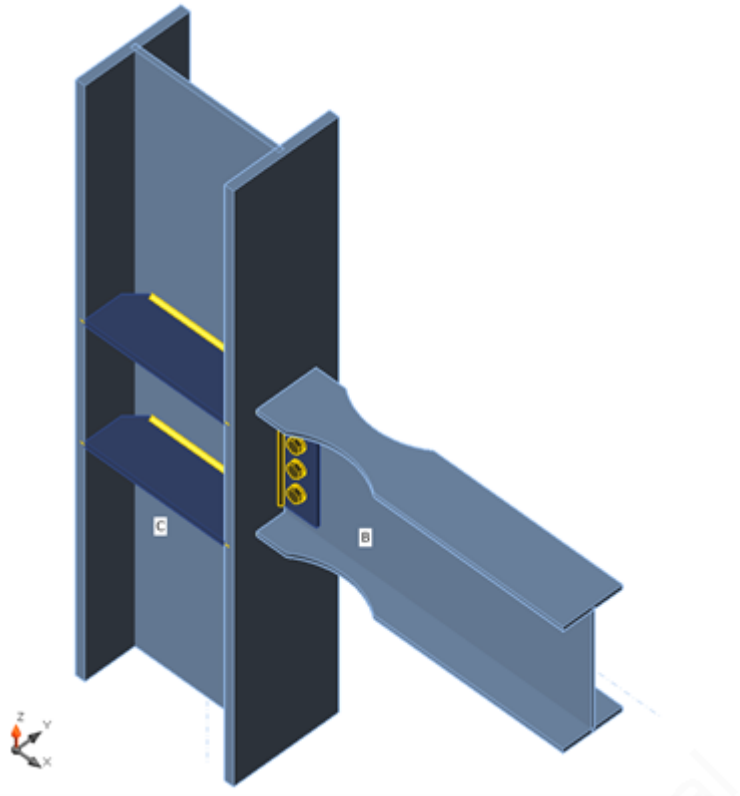
# Ítem del proyecto RBS-360-2

## Diseño

| | |
|---|---|
| Nombre | RBS-360-2 |
| Descripción | Conexion H450-I360 |
| Análisis | Tensión, deformación/ Carga simplificada |
| Normativa de cálculo | AISC - LRFD |

### Elementos estructurales

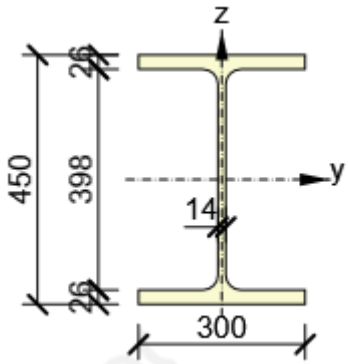
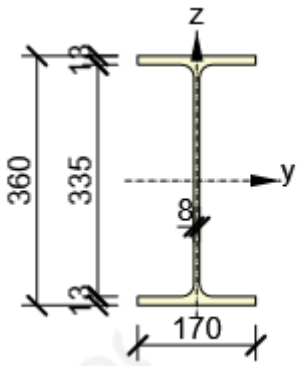
| Nombre | Sección transversal | β – Dirección [°] | γ - Inclinación [°] | α - Rotación [°] | Desplazamiento ex [mm] | Desplazamiento ey [mm] | Desplazamiento ez [mm] | Fuerzas en |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| C | 7 - HEB450 | 0.0 | -90.0 | 0.0 | 0 | 0 | 0 | Nudo |
| B | 9 - IPE360 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0 | 0 | 0 | Nudo |




### Secciones

| Nombre | Material |
|---|---|
| 7 - HEB450 | A572 Gr.50 |
| 9 - IPE360 | A572 Gr.50 |

## Secciones

| Nombre | Material | Dibujo |
|---|---|---|
| 7 - HEB450 | A572 Gr.50 |  |
| 9 - IPE360 | A572 Gr.50 |  |

## Tornillos

| Nombre | Conjunto de tornillo | Diámetro [mm] | fu [MPa] | Área bruta [mm$^2$] |
|---|---|---|---|---|
| 3/4 A325 | 3/4 A325 | 19 | 825.0 | 285 |

## Cargas (No se requiere el equilibro)

| Nombre | Elemento | N [kN] | Vy [kN] | Vz [kN] | Mx [kNm] | My [kNm] | Mz [kNm] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| LE1 | B | 0.0 | 0.0 | -103.0 | 0.0 | 258.0 | 0.0 |

# Verificación

## Resumen

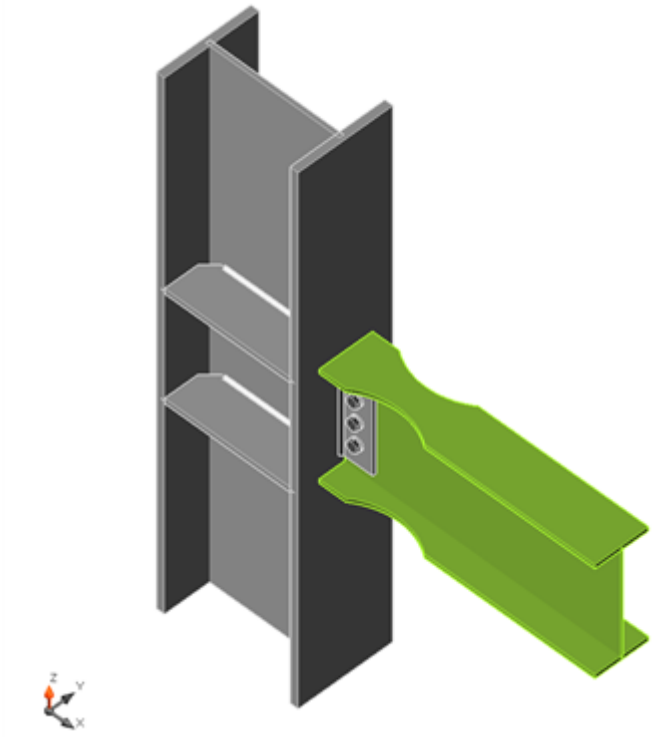
| Nombre | Valor | Estado de la verificación |
|---|---|---|
| Análisis | 100.0% | Aceptar |
| Placas | 1.4 < 5% | Aceptar |
| Tornillos | 2.8 < 100% | Aceptar |
| Soldaduras | 28.7 < 100% | Aceptar |
| Pandeo | No calculado | |

## Placas

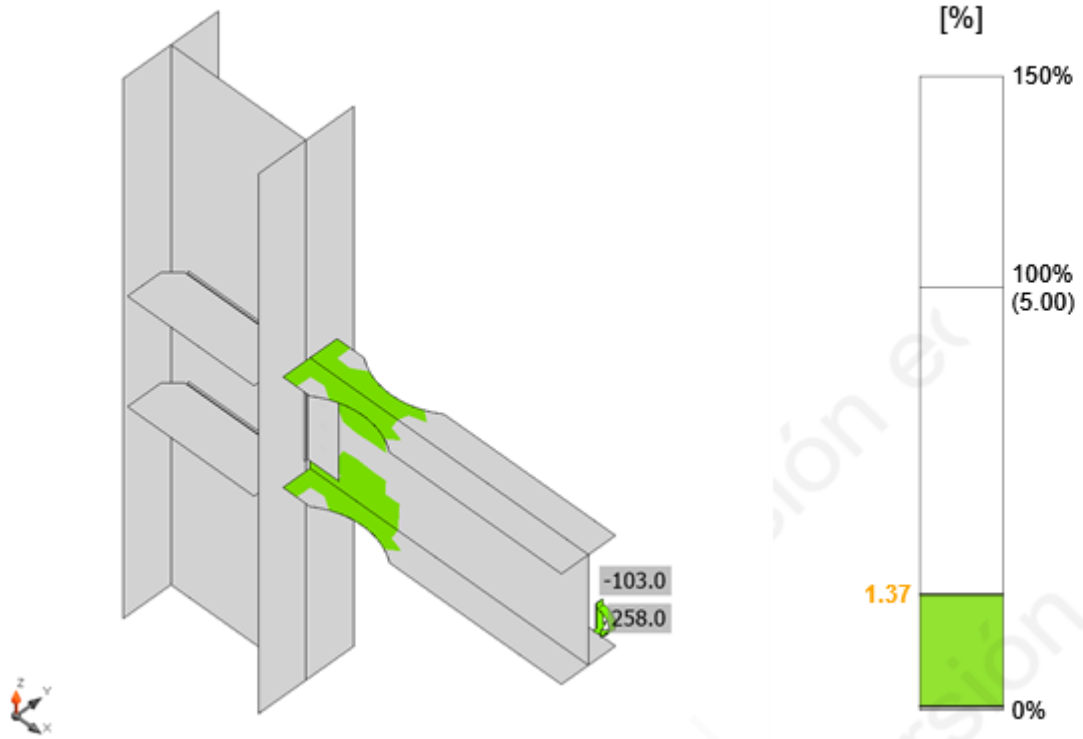
| Nombre | Material | $F_y$ [MPa] | Espesor [mm] | Cargas | $\sigma_{Ed}$ [MPa] | $\varepsilon_{Pl}$ [%] | Estado de la verificación |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| C-bfl 1 | A572 Gr.50 | 344.7 | 26.0 | LE1 | 110.8 | 0.0 | Aceptar |
| C-tfl 1 | A572 Gr.50 | 344.7 | 26.0 | LE1 | 58.0 | 0.0 | Aceptar |
| C-w 1 | A572 Gr.50 | 344.7 | 14.0 | LE1 | 177.3 | 0.0 | Aceptar |
| B-bfl 1 | A572 Gr.50 | 344.7 | 12.7 | LE1 | 313.0 | 1.4 | Aceptar |
| B-tfl 1 | A572 Gr.50 | 344.7 | 12.7 | LE1 | 313.0 | 1.4 | Aceptar |
| B-w 1 | A572 Gr.50 | 344.7 | 8.0 | LE1 | 312.1 | 0.9 | Aceptar |
| STIFF1a | A572 Gr.50 | 344.7 | 17.0 | LE1 | 146.1 | 0.0 | Aceptar |
| STIFF1b | A572 Gr.50 | 344.7 | 17.0 | LE1 | 146.3 | 0.0 | Aceptar |
| STIFF1c | A572 Gr.50 | 344.7 | 17.0 | LE1 | 146.2 | 0.0 | Aceptar |
| STIFF1d | A572 Gr.50 | 344.7 | 17.0 | LE1 | 146.5 | 0.0 | Aceptar |
| FP1 | A36 | 248.2 | 10.0 | LE1 | 35.3 | 0.0 | Aceptar |

### Datos de diseño

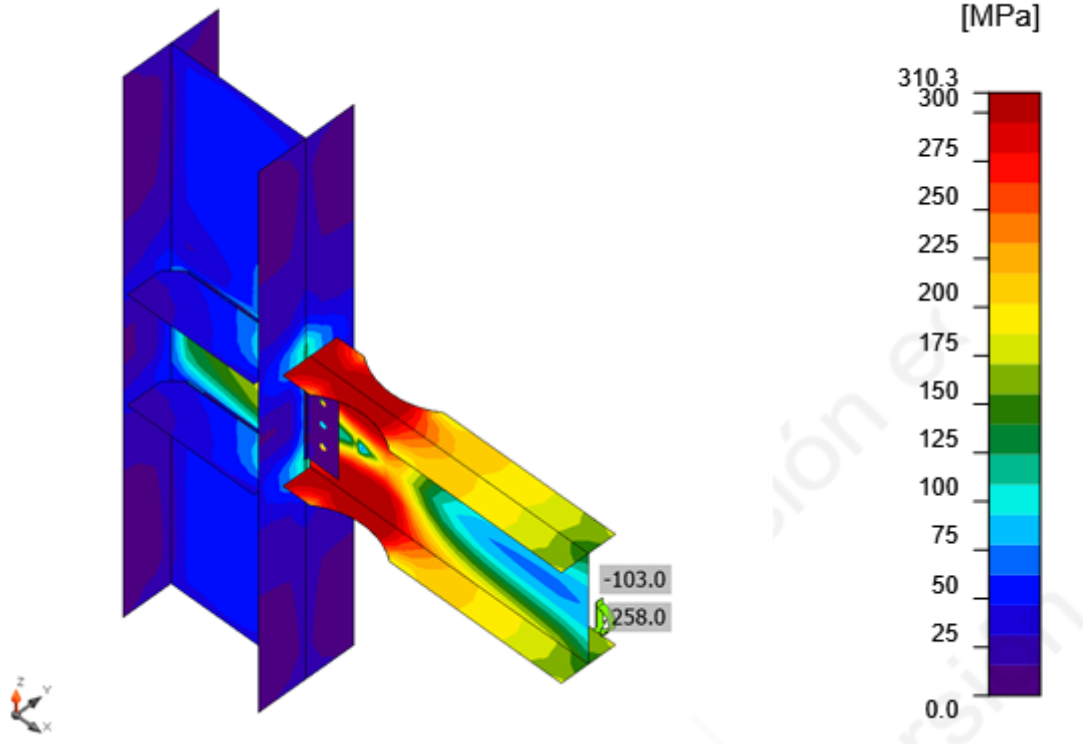
| Material | fy [MPa] | $\varepsilon_{lim}$ [%] |
|---|---|---|
| A572 Gr.50 | 344.7 | 5.0 |
| A36 | 248.2 | 5.0 |



*Verificación general, LE1*

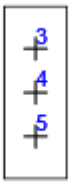



*Verificación de deformación, LE1*




*Tensión equivalente, LE1*

## Tornillos

| Forma | Ítem | Calidad | Cargas | $F_t$ [kN] | V [kN] | $\phi R_{n,portante}$ [kN] | $Ut_t$ [%] | $Ut_s$ [%] | $Ut_{ts}$ [%] | Estado |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
|  | B3 | 3/4 A325 - 1 | LE1 | 0.2 | 1.5 | 122.9 | 0.1 | 1.9 | - | Aceptar |
| | B4 | 3/4 A325 - 1 | LE1 | 0.0 | 0.5 | 122.9 | 0.0 | 0.7 | - | Aceptar |
| | B5 | 3/4 A325 - 1 | LE1 | 0.2 | 2.2 | 122.9 | 0.1 | 2.8 | - | Aceptar |



**Datos de diseño**

| Calidad | $\phi R_{n,tracción}$ [kN] | $\phi R_{n,cortante}$ [kN] |
|---|---|---|
| 3/4 A325 - 1 | 132.5 | 79.5 |

**Resultado detallado para B3**

**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b = \quad 132.5 \quad \text{kN} \quad \geq \quad F_t = \quad 0.2 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$F_{nt} = 620.0$ MPa – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2

$A_b = 285$ mm$^2$ – Área bruta del tornillo

$\phi = 0.75$ – factor de capacidad

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b = \quad 79.5 \quad \text{kN} \quad \geq \quad V = \quad 1.5 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$F_{nv} = 372.0$ MPa – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2

$A_b = 285$ mm$^2$ – Área bruta del tornillo

$\phi = 0.75$ – factor de capacidad

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \quad \leq \quad 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$$

$$\phi R_n = \quad 122.9 \quad \text{kN} \quad \geq \quad V = \quad 1.5 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$l_c = 40$ mm – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material

$t = 8$ mm – espesor de la placa

$d = 19$ mm – dimámetro del tornillo

$F_u = 448.2$ MPa – resistencia a tracción del material conectado

$\phi = 0.75$ – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-2)

*La tensión requerida, a cortante o en tracción, es menor o igual al 30% de la resistencia y los efectos de las tensiones combinadas no*

*necesitan ser evaluadas.*

**Resultado detallado para B4**

**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b =$ 132.5 kN ≥ $F_t =$ 0.0 kN

*Donde:*

$F_{nt} =$ 620.0 MPa – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2
$A_b =$ 285 mm$^2$ – Área bruta del tornillo
$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b =$ 79.5 kN ≥ $V =$ 0.5 kN

*Donde:*

$F_{nv} =$ 372.0 MPa – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2
$A_b =$ 285 mm$^2$ – Área bruta del tornillo
$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \leq 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$

$\phi R_n =$ 122.9 kN ≥ $V =$ 0.5 kN

*Donde:*

$l_c =$ 49 mm – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material
$t =$ 8 mm – espesor de la placa
$d =$ 19 mm – dimámetro del tornillo
$F_u =$ 448.2 MPa – resistencia a tracción del material conectado
$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-2)

*La tensión requerida, a cortante o en tracción, es menor o igual al 30% de la resistencia y los efectos de las tensiones combinadas no necesitan ser evaluadas.*

**Resultado detallado para B5**

**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b = \quad 132.5 \quad \text{kN} \quad \geq \quad F_t = \quad 0.2 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

| | |
|---|---|
| $F_{nt} = 620.0$ MPa | – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2 |
| $A_b = 285$ mm$^2$ | – Área bruta del tornillo |
| $\phi = 0.75$ | – factor de capacidad |

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b = \quad 79.5 \quad \text{kN} \quad \geq \quad V = \quad 2.2 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

| | |
|---|---|
| $F_{nv} = 372.0$ MPa | – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2 |
| $A_b = 285$ mm$^2$ | – Área bruta del tornillo |
| $\phi = 0.75$ | – factor de capacidad |

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \quad \leq \quad 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$$

$$\phi R_n = \quad 122.9 \quad \text{kN} \quad \geq \quad V = \quad 2.2 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

| | |
|---|---|
| $l_c = 819$ mm | – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material |
| $t = 8$ mm | – espesor de la placa |
| $d = 19$ mm | – dimámetro del tornillo |
| $F_u = 448.2$ MPa | – resistencia a tracción del material conectado |
| $\phi = 0.75$ | – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos |

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-2)

*La tensión requerida, a cortante o en tracción, es menor o igual al 30% de la resistencia y los efectos de las tensiones combinadas no necesitan ser evaluadas.*

## Soldaduras

| Ítem | Borde | Xu | $T_h$ [mm] | $L_s$ [mm] | L [mm] | $L_c$ [mm] | $F_n$ [kN] | $\phi R_n$ [kN] | Ut [%] | Estado |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| C-bfl 1 | B-bfl 1 | E70xx | - | - | 170 | - | - | - | - | Aceptar |
| C-bfl 1 | B-tfl 1 | E70xx | - | - | 170 | - | - | - | - | Aceptar |
| C-bfl 1 | B-w 1 | E70xx | - | - | 347 | - | - | - | - | Aceptar |
| C-bfl 1 | FP1 | E70xx | ◢5.7 | ◢8.0 | 274 | 17 | 4.8 | 28.7 | 16.8 | Aceptar |
| C-w 1 | STIFF1b | E70xx | ◢5.7◣ | ◢8.0◣ | 300 | 50 | 19.1 | 69.9 | 27.4 | Aceptar |
| | | E70xx | ◢5.7◣ | ◢8.0◣ | 300 | 50 | 18.4 | 64.2 | 28.7 | Aceptar |
| C-bfl 1 | STIFF1b | E70xx | - | - | 105 | - | - | - | - | Aceptar |
| C-tfl 1 | STIFF1b | E70xx | - | - | 105 | - | - | - | - | Aceptar |
| C-w 1 | STIFF1d | E70xx | ◢5.7◣ | ◢8.0◣ | 300 | 50 | 18.4 | 64.2 | 28.7 | Aceptar |
| | | E70xx | ◢5.7◣ | ◢8.0◣ | 300 | 50 | 19.1 | 69.9 | 27.4 | Aceptar |
| C-bfl 1 | STIFF1d | E70xx | - | - | 105 | - | - | - | - | Aceptar |
| C-tfl 1 | STIFF1d | E70xx | - | - | 105 | - | - | - | - | Aceptar |
| C-w 1 | STIFF1a | E70xx | ◢5.7◣ | ◢8.0◣ | 300 | 50 | 18.4 | 64.2 | 28.7 | Aceptar |
| | | E70xx | ◢5.7◣ | ◢8.0◣ | 300 | 50 | 19.1 | 69.9 | 27.4 | Aceptar |
| C-tfl 1 | STIFF1a | E70xx | - | - | 105 | - | - | - | - | Aceptar |
| C-bfl 1 | STIFF1a | E70xx | - | - | 105 | - | - | - | - | Aceptar |
| C-w 1 | STIFF1c | E70xx | ◢5.7◣ | ◢8.0◣ | 300 | 50 | 19.1 | 69.9 | 27.4 | Aceptar |
| | | E70xx | ◢5.7◣ | ◢8.0◣ | 300 | 50 | 18.4 | 64.2 | 28.7 | Aceptar |
| C-bfl 1 | STIFF1c | E70xx | - | - | 105 | - | - | - | - | Aceptar |
| C-tfl 1 | STIFF1c | E70xx | - | - | 105 | - | - | - | - | Aceptar |

**Resultado detallado para C-bfl 1 / B-bfl 1 - 1**

*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

**Resultado detallado para C-bfl 1 / B-tfl 1 - 1**

*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

**Resultado detallado para C-bfl 1 / B-w 1 - 1**

*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

**Resultado detallado para C-bfl 1 / FP1 - 1**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 28.7 kN ≥ $F_n =$ 4.8 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 395.3 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 54.2° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 97 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-w 1 / STIFF1b - 1**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 69.9 kN ≥ $F_n =$ 19.1 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 329.7 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 25.1° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 283 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-w 1 / STIFF1b - 2**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 64.2 kN ≥ $F_n =$ 18.4 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 303.0 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 11.8° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 283 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-bfl 1 / STIFF1b - 1**

*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

**Resultado detallado para C-tfl 1 / STIFF1b - 1**

*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

**Resultado detallado para C-w 1 / STIFF1d - 1**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 64.2 kN ≥ $F_n =$ 18.4 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 303.0 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 11.8° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 283 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-w 1 / STIFF1d - 2**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 69.9 kN ≥ $F_n =$ 19.1 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 329.7 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 25.1° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 283 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-bfl 1 / STIFF1d - 1**

*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

**Resultado detallado para C-tfl 1 / STIFF1d - 1**

*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

**Resultado detallado para C-w 1 / STIFF1a - 1**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 64.2 kN ≥ $F_n =$ 18.4 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 303.0 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 11.8° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 283 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-w 1 / STIFF1a - 2**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 69.9 kN ≥ $F_n =$ 19.1 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 329.6 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 25.1° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 283 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-tfl 1 / STIFF1a - 1**

*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

**Resultado detallado para C-bfl 1 / STIFF1a - 1**

*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

**Resultado detallado para C-w 1 / STIFF1c - 1**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 69.9 kN ≥ $F_n =$ 19.1 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 329.6 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 25.1° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 283 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-w 1 / STIFF1c - 2**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 64.2 kN ≥ $F_n =$ 18.4 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 303.0 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 11.8° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 283 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-bfl 1 / STIFF1c - 1**

*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

**Resultado detallado para C-tfl 1 / STIFF1c - 1**

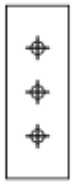
*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

## Pandeo

**El análisis de pandeo no se ha calculado.**

# Listado de material

## Operaciones

| Nombre | Placas [mm] | Forma | Nr. | Soldaduras [mm] | Longitud [mm] | Tornillos | Nr. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| CUT1 | | | | Bisel: a = 12.7<br>Bisel: a = 8.0 | 340.0<br>347.3 | | |
| STIFF1 | P17.0x143.0-398.0 (A572 Gr.50) | | 4 | | | | |
| OPN1 | P12.7x875.0-170.0 (A572 Gr.50) | | 1 | | | | |
| OPN2 | P12.7x875.0-170.0 (A572 Gr.50) | | 1 | | | | |
| FP1 | P10.0x100.0-274.6 (A36) |  | 1 | tendón de soldadura simple: a = 5.7 | 274.6 | 3/4 A325 | 3 |

## Soldaduras

| Tipo | Material | Espesor de garganta [mm] | Tamaño de pierna [mm] | Longitud [mm] |
|---|---|---|---|---|
| Bisel | E70xx | - | - | 340.0 |
| Bisel | E70xx | - | - | 347.3 |
| tendón de soldadura simple | E70xx | 5.7 | 8.0 | 274.6 |
| Doble tendón de soldadura | E70xx | 5.7 | 8.0 | 1200.0 |
| Bisel | E70xx | - | - | 840.0 |

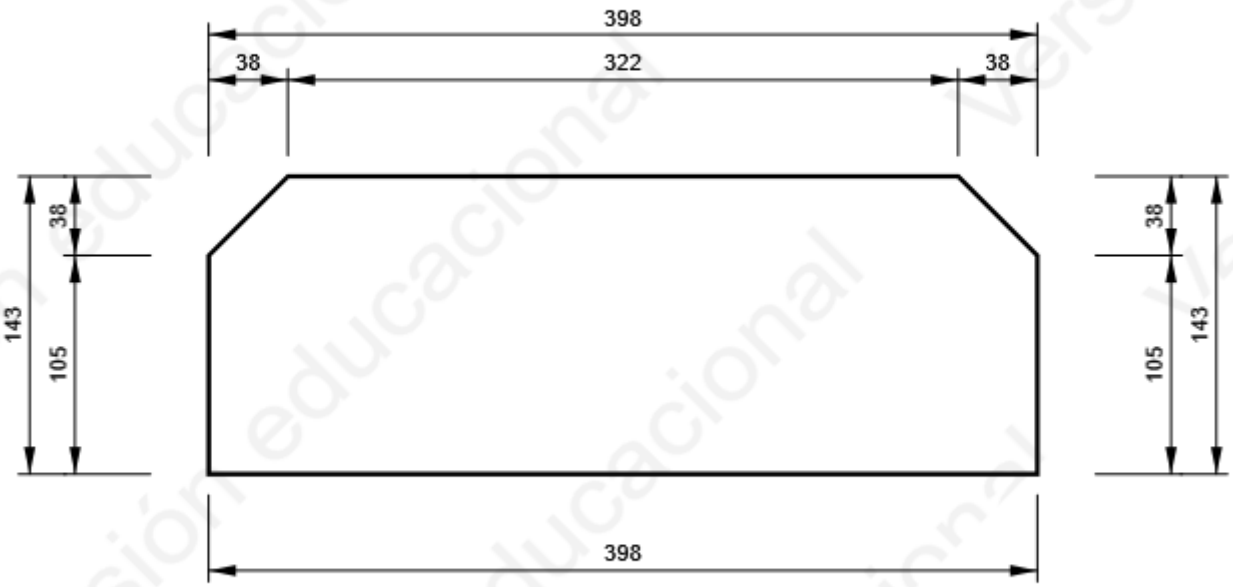
## Tornillos

| Nombre | Longitud de agarre [mm] | Cuenta |
|---|---|---|
| 3/4 A325 | 18 | 3 |

## Dibujo

### STIFF1

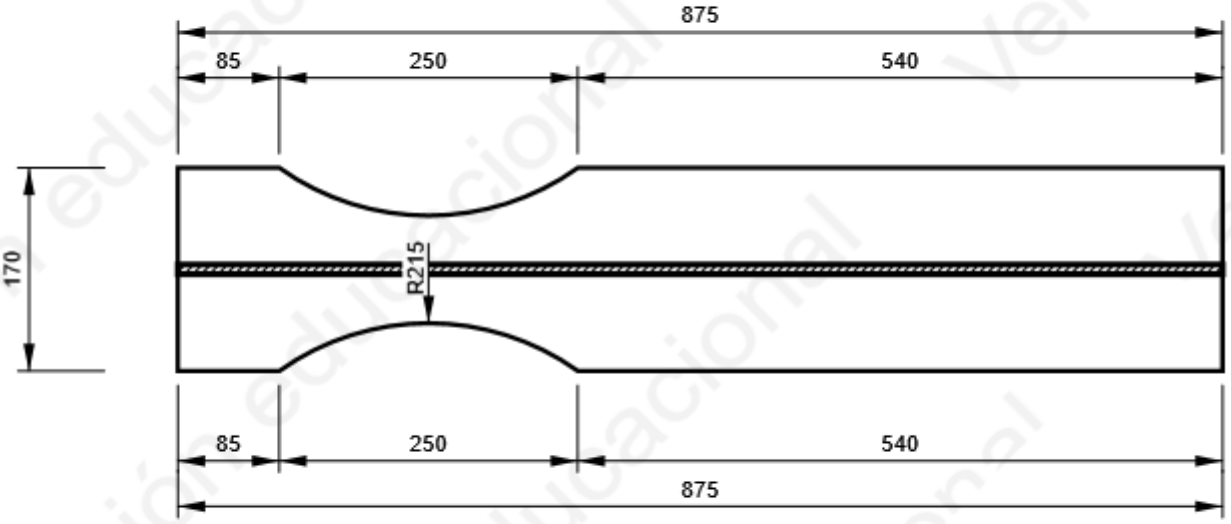
**P17.0x398-143 (A572 Gr.50)**




Versión educacional

## OPN1

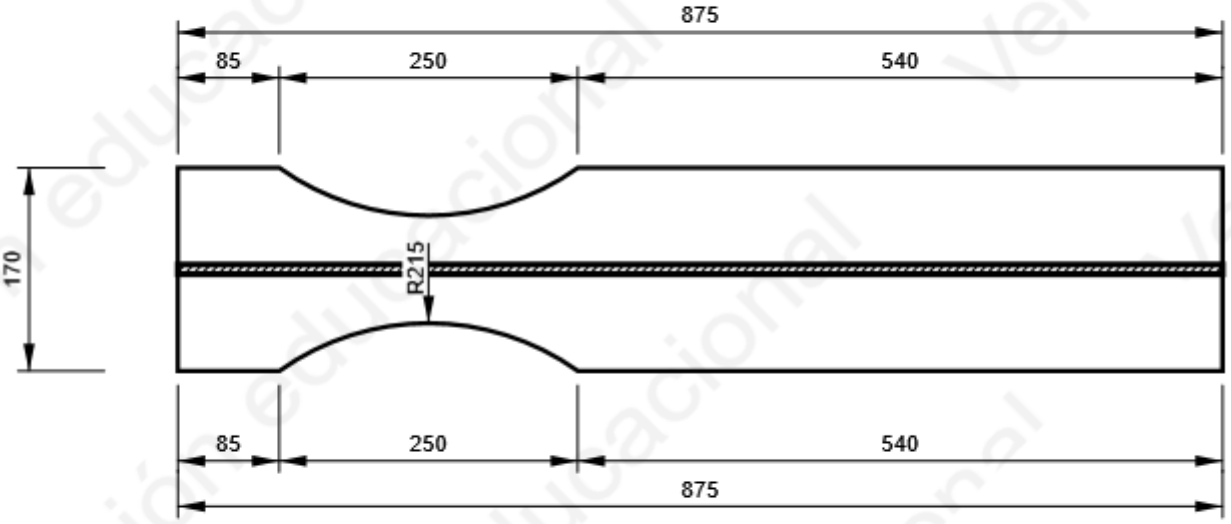
**P12.7x170-875 (A572 Gr.50)**




Versión educacional

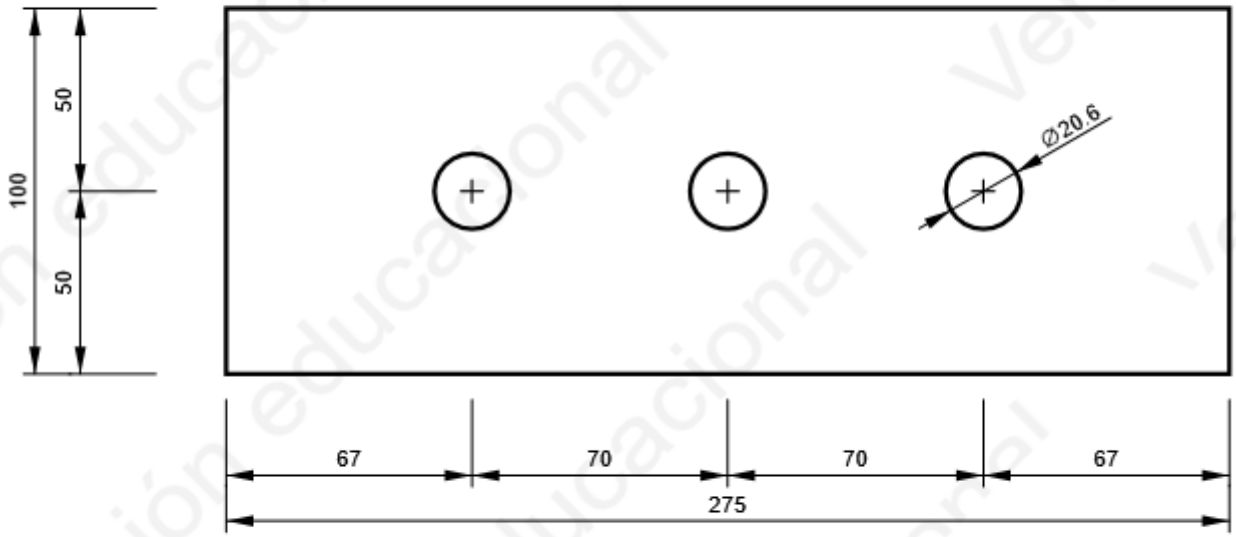
## OPN2

**P12.7x170-875 (A572 Gr.50)**



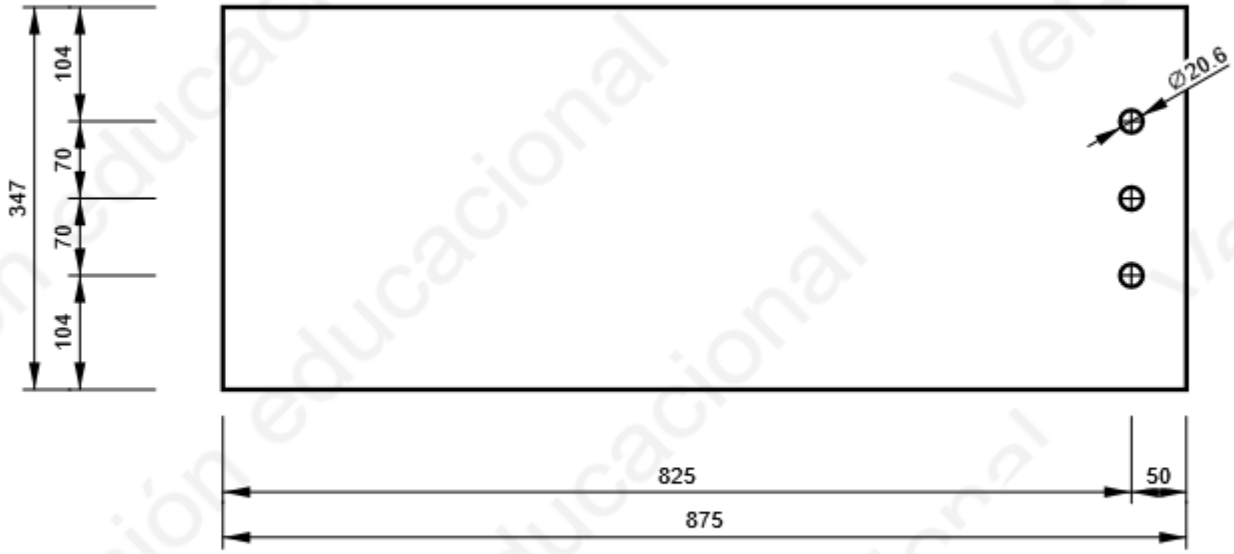
## FP1

**P10.0x275-100 (A36)**




Versión educacional

## B, IPE360 - Alma 1:




Versión educacional

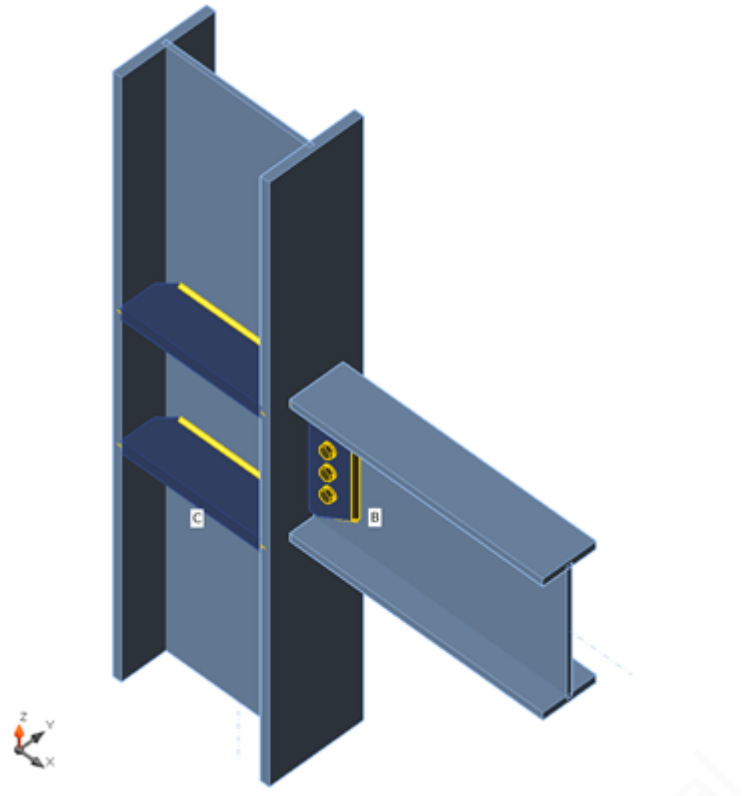
# Ítem del proyecto WUF-450-1

## Diseño

| | |
|---|---|
| Nombre | WUF-450-1 |
| Descripción | Conexion H500-I450 |
| Análisis | Tensión, deformación/ Carga simplificada |
| Normativa de cálculo | AISC - LRFD |

### Elementos estructurales

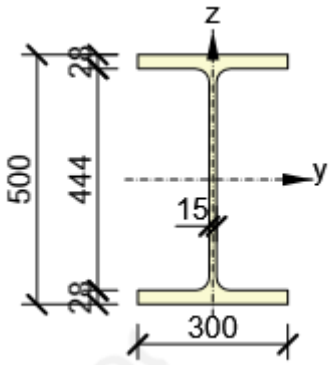
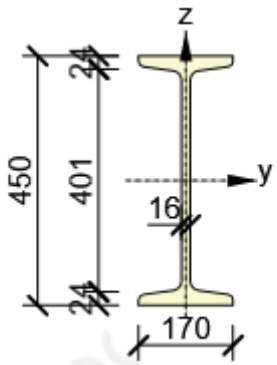
| Nombre | Sección transversal | β – Dirección [°] | γ - Inclinación [°] | α - Rotación [°] | Desplazamiento ex [mm] | Desplazamiento ey [mm] | Desplazamiento ez [mm] | Fuerzas en |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| C | 3 - HEB500 | 0.0 | -90.0 | 0.0 | 0 | 0 | 0 | Nudo |
| B | 4 - IPN450 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0 | 0 | 0 | Nudo |



### Secciones

| Nombre | Material |
|---|---|
| 3 - HEB500 | A572 Gr.50 |
| 4 - IPN450 | A36 |

## Secciones

| Nombre | Material | Dibujo |
|---|---|---|
| 3 - HEB500 | A572 Gr.50 |   |
| 4 - IPN450 | A36 |   |

## Tornillos

| Nombre | Conjunto de tornillo | Diámetro [mm] | fu [MPa] | Área bruta [mm$^2$] |
|---|---|---|---|---|
| 3/4 A325 | 3/4 A325 | 19 | 825.0 | 285 |

## Cargas (No se requiere el equilibro)

| Nombre | Elemento | N [kN] | Vy [kN] | Vz [kN] | Mx [kNm] | My [kNm] | Mz [kNm] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| LE1 | B | 0.0 | 0.0 | -450.0 | 0.0 | 1085.0 | 0.0 |

# Verificación

## Resumen

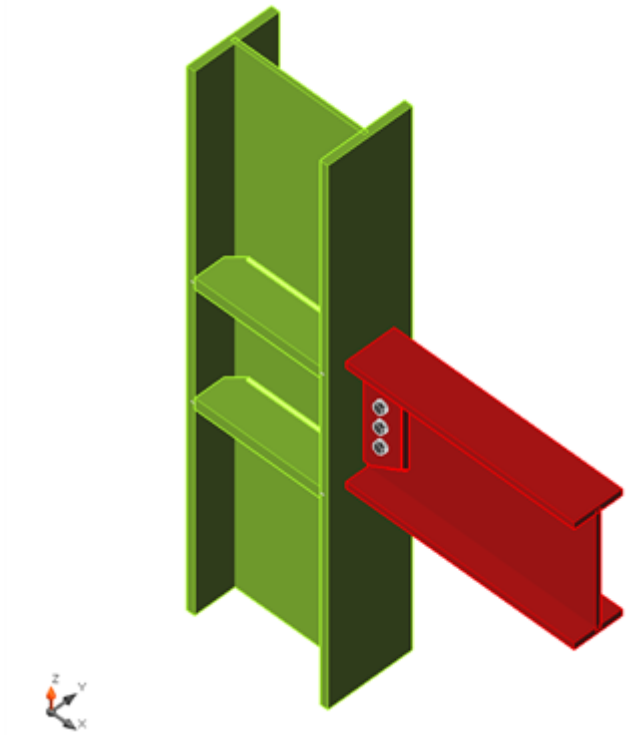
| Nombre | Valor | Estado de la verificación |
|---|---|---|
| Análisis | 100.0% | Aceptar |
| Placas | 79.5 > 5% | **Incorrecto!** |
| Tornillos | 53.3 < 100% | Aceptar |
| Soldaduras | 181.5 > 100% | **Incorrecto!** |
| Pandeo | No calculado | |

## Placas

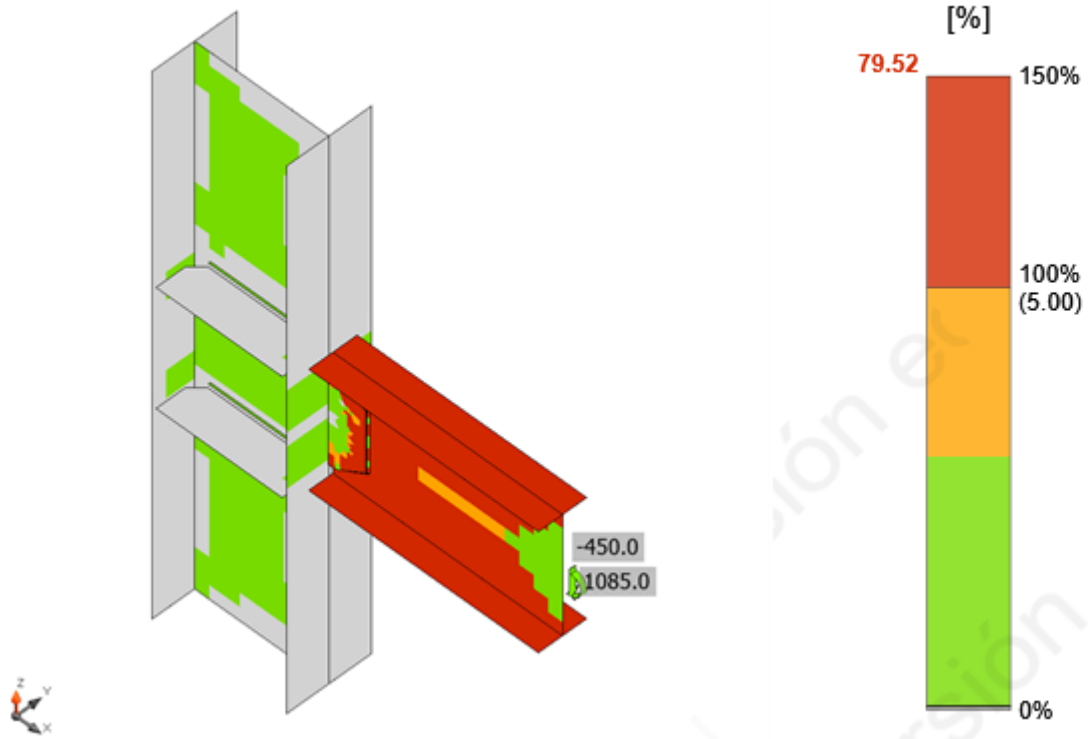
| Nombre | Material | $F_y$ [MPa] | Espesor [mm] | Cargas | $\sigma_{Ed}$ [MPa] | $\varepsilon_{Pl}$ [%] | Estado de la verificación |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| C-bfl 1 | A572 Gr.50 | 344.7 | 28.0 | LE1 | 311.4 | 0.6 | Aceptar |
| C-tfl 1 | A572 Gr.50 | 344.7 | 28.0 | LE1 | 310.3 | 0.0 | Aceptar |
| C-w 1 | A572 Gr.50 | 344.7 | 14.5 | LE1 | 313.2 | 1.5 | Aceptar |
| B-bfl 1 | A36 | 248.2 | 24.3 | LE1 | 382.4 | 79.4 | Incorrecto! |
| B-tfl 1 | A36 | 248.2 | 24.3 | LE1 | 382.6 | 79.5 | Incorrecto! |
| B-w 1 | A36 | 248.2 | 16.2 | LE1 | 373.4 | 74.9 | Incorrecto! |
| STIFF1a | A572 Gr.55 | 379.2 | 40.0 | LE1 | 341.4 | 0.0 | Aceptar |
| STIFF1b | A572 Gr.55 | 379.2 | 40.0 | LE1 | 341.5 | 0.1 | Aceptar |
| STIFF1c | A572 Gr.55 | 379.2 | 40.0 | LE1 | 341.4 | 0.0 | Aceptar |
| STIFF1d | A572 Gr.55 | 379.2 | 40.0 | LE1 | 341.5 | 0.1 | Aceptar |
| FP1 | A572 Gr.50 | 344.7 | 15.0 | LE1 | 391.1 | 40.4 | Incorrecto! |

### Datos de diseño

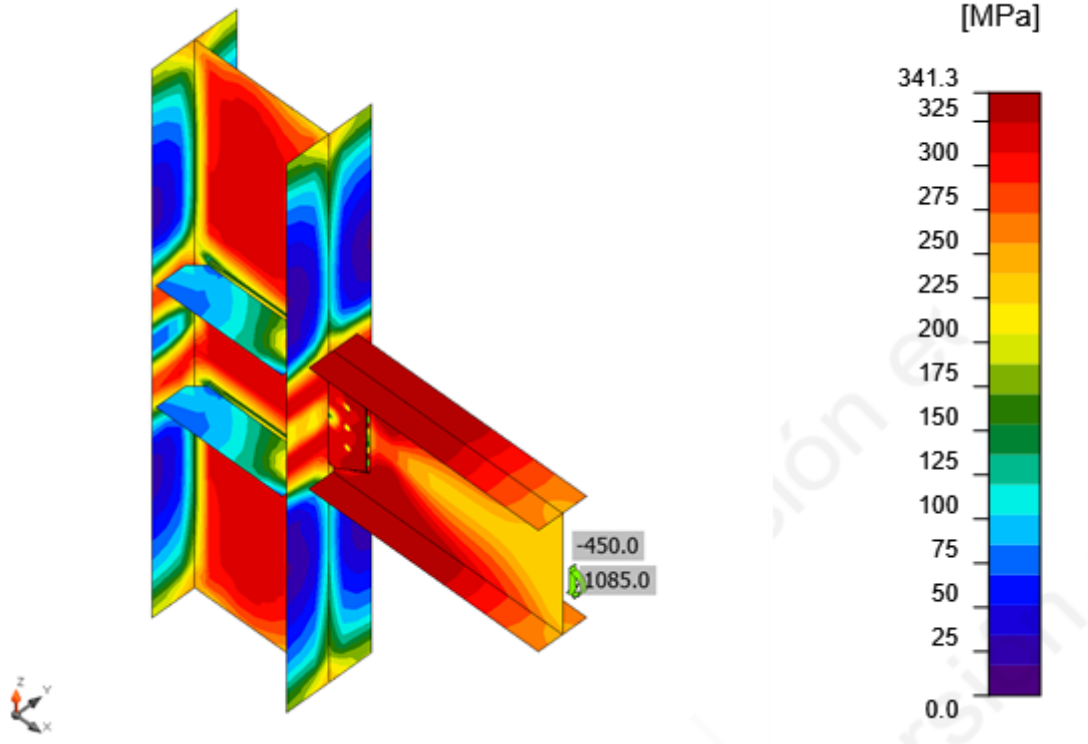
| Material | fy [MPa] | $\varepsilon_{lim}$ [%] |
|---|---|---|
| A572 Gr.50 | 344.7 | 5.0 |
| A36 | 248.2 | 5.0 |
| A572 Gr.55 | 379.2 | 5.0 |



*Verificación general, LE1*




*Verificación de deformación, LE1*




*Tensión equivalente, LE1*

## Tornillos

| Forma | Ítem | Calidad | Cargas | $F_t$ [kN] | V [kN] | $\phi R_{n,portante}$ [kN] | $Ut_t$ [%] | $Ut_s$ [%] | $Ut_{ts}$ [%] | Estado |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | B3 | 3/4 A325 - 1 | LE1 | 70.7 | 17.5 | 222.2 | 53.3 | 22.0 | - | Aceptar |
| | B4 | 3/4 A325 - 1 | LE1 | 20.0 | 22.1 | 222.2 | 15.1 | 27.8 | - | Aceptar |
| | B5 | 3/4 A325 - 1 | LE1 | 22.9 | 27.5 | 222.2 | 17.3 | 34.5 | - | Aceptar |

**Datos de diseño**

| Calidad | $\phi R_{n,tracción}$ [kN] | $\phi R_{n,cortante}$ [kN] |
|---|---|---|
| 3/4 A325 - 1 | 132.5 | 79.5 |

**Resultado detallado para B3**

**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b = \quad 132.5 \quad \text{kN} \quad \geq \quad F_t = \quad 70.7 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$F_{nt} = 620.0$ MPa – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2

$A_b = 285$ mm$^2$ – Área bruta del tornillo

$\phi = 0.75$ – factor de capacidad

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b = \quad 79.5 \quad \text{kN} \quad \geq \quad V = \quad 17.5 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$F_{nv} = 372.0$ MPa – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2

$A_b = 285$ mm$^2$ – Área bruta del tornillo

$\phi = 0.75$ – factor de capacidad

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \quad \leq \quad 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$$

$$\phi R_n = \quad 222.2 \quad \text{kN} \quad \geq \quad V = \quad 17.5 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$l_c = 49$ mm – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material

$t = 16$ mm – espesor de la placa

$d = 19$ mm – dimámetro del tornillo

$F_u = 400.0$ MPa – resistencia a tracción del material conectado

$\phi = 0.75$ – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-2)

*La tensión requerida, a cortante o en tracción, es menor o igual al 30% de la resistencia y los efectos de las tensiones combinadas no*

*necesitan ser evaluadas.*

**Resultado detallado para B4**

**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b =$ 132.5 kN ≥ $F_t =$ 20.0 kN

*Donde:*

$F_{nt} =$ 620.0 MPa – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2
$A_b =$ 285 mm$^2$ – Área bruta del tornillo
$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b =$ 79.5 kN ≥ $V =$ 22.1 kN

*Donde:*

$F_{nv} =$ 372.0 MPa – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2
$A_b =$ 285 mm$^2$ – Área bruta del tornillo
$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \leq 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$

$\phi R_n =$ 222.2 kN ≥ $V =$ 22.1 kN

*Donde:*

$l_c =$ 49 mm – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material
$t =$ 16 mm – espesor de la placa
$d =$ 19 mm – dimámetro del tornillo
$F_u =$ 400.0 MPa – resistencia a tracción del material conectado
$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-2)

*La tensión requerida, a cortante o en tracción, es menor o igual al 30% de la resistencia y los efectos de las tensiones combinadas no necesitan ser evaluadas.*

**Resultado detallado para B5**

**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b = \quad 132.5 \quad \text{kN} \quad \geq \quad F_t = \quad 22.9 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$F_{nt} =$ 620.0 MPa – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2

$A_b =$ 285 mm$^2$ – Área bruta del tornillo

$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b = \quad 79.5 \quad \text{kN} \quad \geq \quad V = \quad 27.5 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$F_{nv} =$ 372.0 MPa – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2

$A_b =$ 285 mm$^2$ – Área bruta del tornillo

$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \quad \leq \quad 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$$

$$\phi R_n = \quad 222.2 \quad \text{kN} \quad \geq \quad V = \quad 27.5 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$l_c =$ 143 mm – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material

$t =$ 16 mm – espesor de la placa

$d =$ 19 mm – dimámetro del tornillo

$F_u =$ 400.0 MPa – resistencia a tracción del material conectado

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-2)

*La tensión requerida, a cortante o en tracción, es menor o igual al 30% de la resistencia y los efectos de las tensiones combinadas no necesitan ser evaluadas.*

## Soldaduras

| Ítem | Borde | Xu | $T_h$ [mm] | $L_s$ [mm] | L [mm] | $L_c$ [mm] | $F_n$ [kN] | $\phi R_n$ [kN] | Ut [%] | Estado |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| C-bfl 1 | B-bfl 1 | E70xx | - | - | 170 | - | - | - | - | Aceptar |
| C-bfl 1 | B-tfl 1 | E70xx | - | - | 170 | - | - | - | - | Aceptar |
| C-bfl 1 | B-w 1 | E70xx | - | - | 426 | - | - | - | - | Aceptar |
| C-bfl 1 | FP1 | E70xx | - | - | 342 | - | - | - | - | Aceptar |
| C-w 1 | STIFF1b | E70xx | ◢5.7◣ | ◢8.0◣ | 350 | 50 | 60.9 | 81.1 | 75.1 | Aceptar |
| | | E70xx | ◢5.7◣ | ◢8.0◣ | 350 | 50 | 56.9 | 85.5 | 66.6 | Aceptar |
| C-bfl 1 | STIFF1b | E70xx | - | - | 105 | - | - | - | - | Aceptar |
| C-tfl 1 | STIFF1b | E70xx | - | - | 105 | - | - | - | - | Aceptar |
| C-w 1 | STIFF1d | E70xx | ◢5.7◣ | ◢8.0◣ | 350 | 50 | 57.2 | 85.4 | 67.0 | Aceptar |
| | | E70xx | ◢5.7◣ | ◢8.0◣ | 350 | 50 | 61.0 | 81.2 | 75.1 | Aceptar |
| C-bfl 1 | STIFF1d | E70xx | - | - | 105 | - | - | - | - | Aceptar |
| C-tfl 1 | STIFF1d | E70xx | - | - | 105 | - | - | - | - | Aceptar |
| C-w 1 | STIFF1a | E70xx | ◢5.7◣ | ◢8.0◣ | 349 | 50 | 53.8 | 71.6 | 75.1 | Aceptar |
| | | E70xx | ◢5.7◣ | ◢8.0◣ | 349 | 50 | 50.8 | 67.6 | 75.1 | Aceptar |
| C-tfl 1 | STIFF1a | E70xx | - | - | 105 | - | - | - | - | Aceptar |
| C-bfl 1 | STIFF1a | E70xx | - | - | 105 | - | - | - | - | Aceptar |
| C-w 1 | STIFF1c | E70xx | ◢5.7◣ | ◢8.0◣ | 349 | 50 | 50.9 | 67.7 | 75.1 | Aceptar |
| | | E70xx | ◢5.7◣ | ◢8.0◣ | 349 | 50 | 53.7 | 71.6 | 75.1 | Aceptar |
| C-bfl 1 | STIFF1c | E70xx | - | - | 105 | - | - | - | - | Aceptar |
| C-tfl 1 | STIFF1c | E70xx | - | - | 105 | - | - | - | - | Aceptar |
| B-w 1 | FP1 | E70xx | ◢9.2 | ◢13.0 | 74 | 25 | 72.5 | 52.0 | 139.5 | **Incorrecto!** |
| B-w 1 | FP1 | E70xx | ◢9.2 | ◢13.0 | 74 | 25 | 75.5 | 56.3 | 134.1 | **Incorrecto!** |
| B-w 1 | FP1 | E70xx | ◢9.2 | ◢13.0 | 217 | 22 | 88.0 | 48.5 | 181.5 | **Incorrecto!** |

**Resultado detallado para C-bfl 1 / B-bfl 1 - 1**

*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

**Resultado detallado para C-bfl 1 / B-tfl 1 - 1**

*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

**Resultado detallado para C-bfl 1 / B-w 1 - 1**

*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

**Resultado detallado para C-bfl 1 / FP1 - 1**

*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

**Resultado detallado para C-w 1 / STIFF1b - 1**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 81.1 kN ≥ $F_n =$ 60.9 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 382.8 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 48.2° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 283 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-w 1 / STIFF1b - 2**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 85.5 kN ≥ $F_n =$ 56.9 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 403.3 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 58.3° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 283 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-bfl 1 / STIFF1b - 1**

*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

**Resultado detallado para C-tfl 1 / STIFF1b - 1**

*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

**Resultado detallado para C-w 1 / STIFF1d - 1**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 85.4 kN ≥ $F_n =$ 57.2 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 402.9 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 58.1° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 283 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-w 1 / STIFF1d - 2**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 81.2 kN ≥ $F_n =$ 61.0 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 383.1 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 48.4° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 283 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-bfl 1 / STIFF1d - 1**

*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

**Resultado detallado para C-tfl 1 / STIFF1d - 1**

*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

**Resultado detallado para C-w 1 / STIFF1a - 1**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 71.6 kN ≥ $F_n =$ 53.8 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 338.4 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 29.0° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 282 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-w 1 / STIFF1a - 2**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 67.6 kN ≥ $F_n =$ 50.8 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 319.5 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 20.5° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 282 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-tfl 1 / STIFF1a - 1**

*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

**Resultado detallado para C-bfl 1 / STIFF1a - 1**

*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

**Resultado detallado para C-w 1 / STIFF1c - 1**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 67.7 kN ≥ $F_n =$ 50.9 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 319.9 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 20.7° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 282 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-w 1 / STIFF1c - 2**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 71.6 kN ≥ $F_n =$ 53.7 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 338.1 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 28.8° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 282 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-bfl 1 / STIFF1c - 1**

*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

**Resultado detallado para C-tfl 1 / STIFF1c - 1**

*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

**Resultado detallado para B-w 1 / FP1 - 1**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 52.0 kN < $F_n =$ 72.5 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 304.2 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 12.5° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 228 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para B-w 1 / FP1 - 1**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 56.3 kN < $F_n =$ 75.5 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 329.7 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 25.2° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 228 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para B-w 1 / FP1 - 1**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 48.5 kN < $F_n =$ 88.0 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 324.9 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 23.0° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 199 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

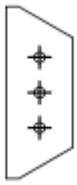
$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

## Pandeo

**El análisis de pandeo no se ha calculado.**

# Listado de material

## Operaciones

| Nombre | Placas [mm] | Forma | Nr. | Soldaduras [mm] | Longitud [mm] | Tornillos | Nr. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| CUT1 | | | | Bisel: a = 24.3<br>Bisel: a = 16.2 | 340.0<br>425.7 | | |
| STIFF1 | P40.0x142.7-444.0 (A572 Gr.55) | | 4 | | | | |
| FP1 | P15.0x132.8-341.7 (A572 Gr.50) |  | 1 | Bisel: a = 15.0 | 341.7 | 3/4 A325 | 3 |

## Soldaduras

| Tipo | Material | Espesor de garganta [mm] | Tamaño de pierna [mm] | Longitud [mm] |
|---|---|---|---|---|
| Bisel | E70xx | - | - | 340.0 |
| Bisel | E70xx | - | - | 425.7 |
| Bisel | E70xx | - | - | 341.7 |
| Doble tendón de soldadura | E70xx | 5.7 | 8.0 | 1400.0 |
| Bisel | E70xx | - | - | 838.0 |
| tendón de soldadura simple | E70xx | 9.2 | 13.0 | 149.0 |
| tendón de soldadura simple | E70xx | 9.2 | 13.0 | 217.5 |

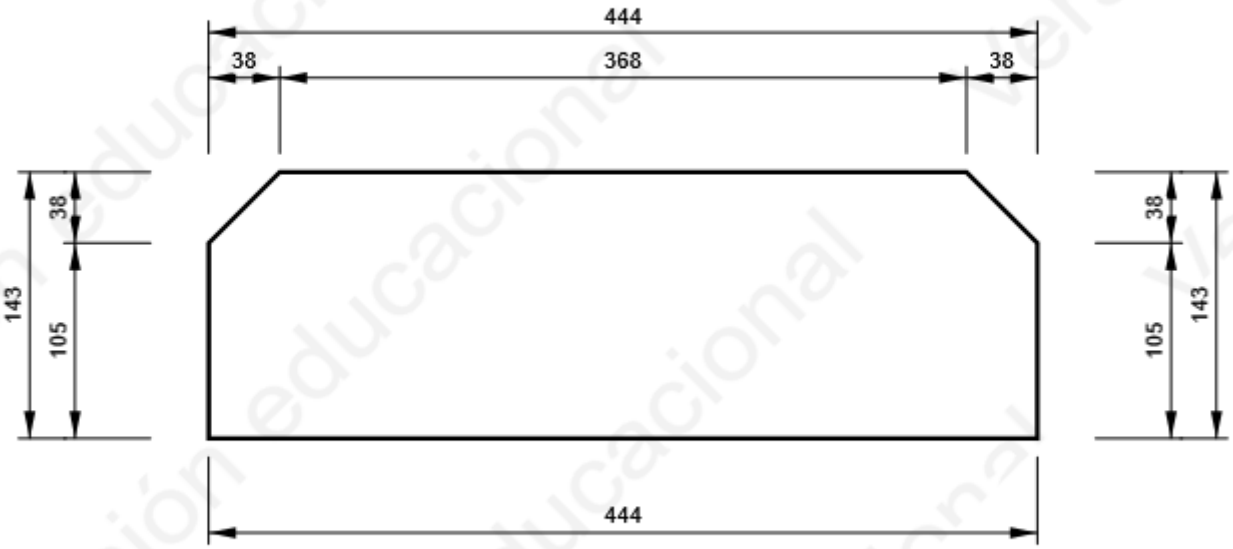
## Tornillos

| Nombre | Longitud de agarre [mm] | Cuenta |
|---|---|---|
| 3/4 A325 | 31 | 3 |

## Dibujo

## STIFF1

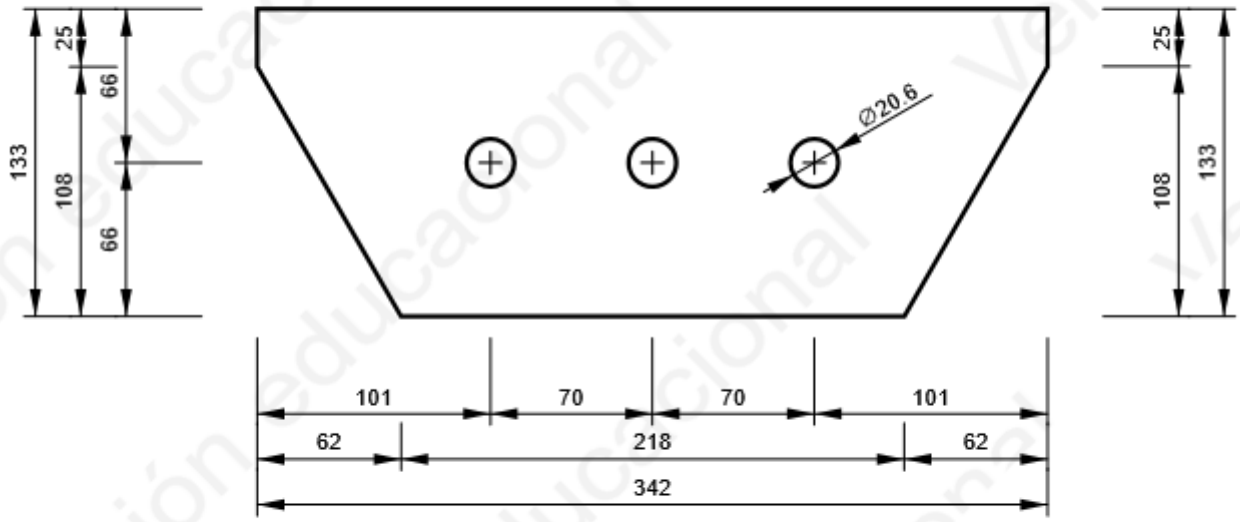
**P40.0x444-143 (A572 Gr.55)**




Versión educacional

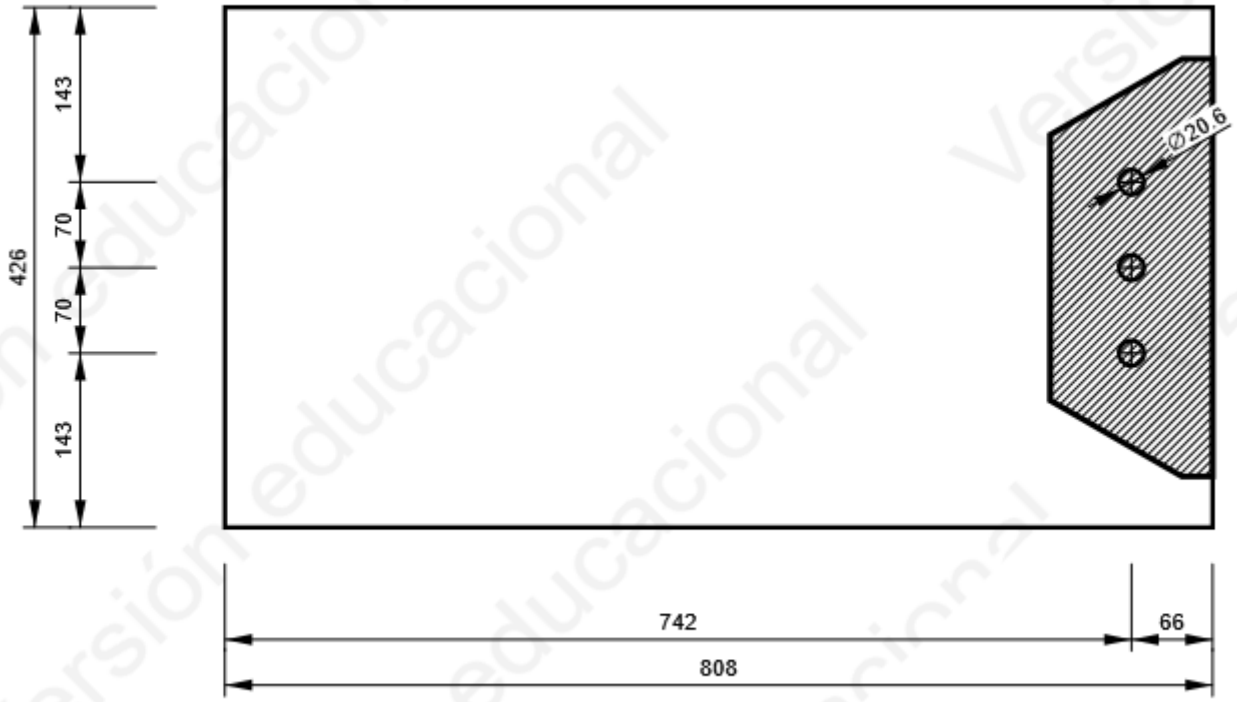
## FP1

**P15.0x342-133 (A572 Gr.50)**




Versión educacional

## B, IPN450 - Alma 1:




Versión educacional

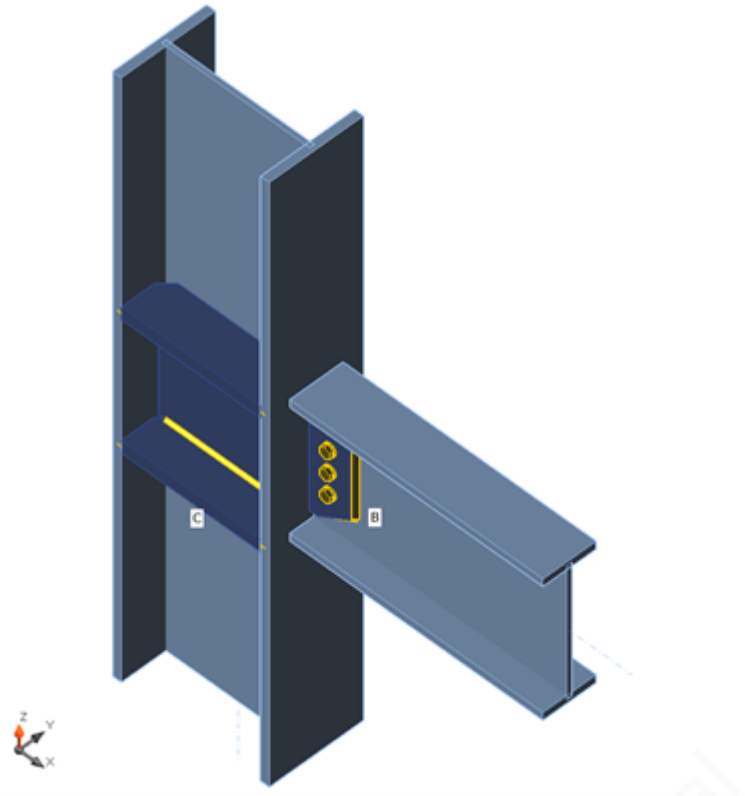
# Ítem del proyecto WUF-450-2

## Diseño

| | |
|---|---|
| Nombre | WUF-450-2 |
| Descripción | Conexion H500-I450 |
| Análisis | Tensión, deformación/ Carga simplificada |
| Normativa de cálculo | AISC - LRFD |

### Elementos estructurales

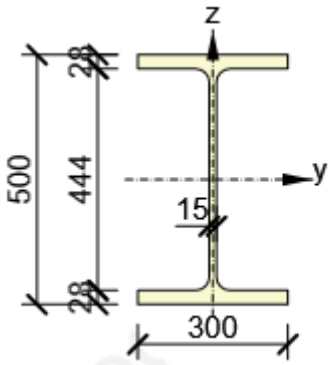
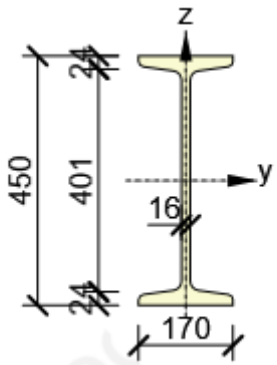
| Nombre | Sección transversal | β – Dirección [°] | γ - Inclinación [°] | α - Rotación [°] | Desplazamiento ex [mm] | Desplazamiento ey [mm] | Desplazamiento ez [mm] | Fuerzas en |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| C | 3 - HEB500 | 0.0 | -90.0 | 0.0 | 0 | 0 | 0 | Nudo |
| B | 4 - IPN450 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0 | 0 | 0 | Nudo |



### Secciones

| Nombre | Material |
|---|---|
| 3 - HEB500 | A572 Gr.50 |
| 4 - IPN450 | A36 |

## Secciones

| Nombre | Material | Dibujo |
|---|---|---|
| 3 - HEB500 | A572 Gr.50 |   |
| 4 - IPN450 | A36 |   |

## Tornillos

| Nombre | Conjunto de tornillo | Diámetro [mm] | fu [MPa] | Área bruta [mm$^2$] |
|---|---|---|---|---|
| 3/4 A325 | 3/4 A325 | 19 | 825.0 | 285 |

## Cargas (No se requiere el equilibro)

| Nombre | Elemento | N [kN] | Vy [kN] | Vz [kN] | Mx [kNm] | My [kNm] | Mz [kNm] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| LE1 | B | 0.0 | 0.0 | -450.0 | 0.0 | 1085.0 | 0.0 |

# Verificación

## Resumen

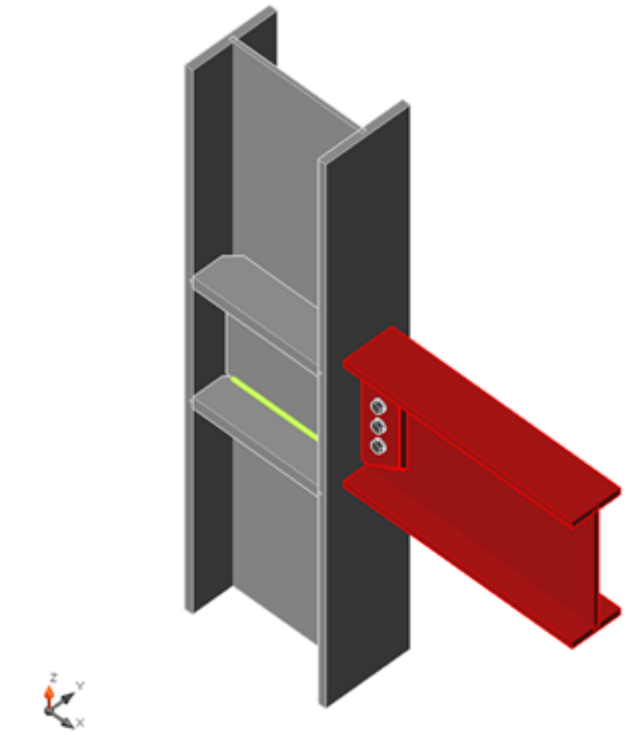
| Nombre | Valor | Estado de la verificación |
|---|---|---|
| Análisis | 100.0% | Aceptar |
| Placas | 79.5 > 5% | **Incorrecto!** |
| Tornillos | 53.4 < 100% | Aceptar |
| Soldaduras | 183.2 > 100% | **Incorrecto!** |
| Pandeo | No calculado | |

## Placas

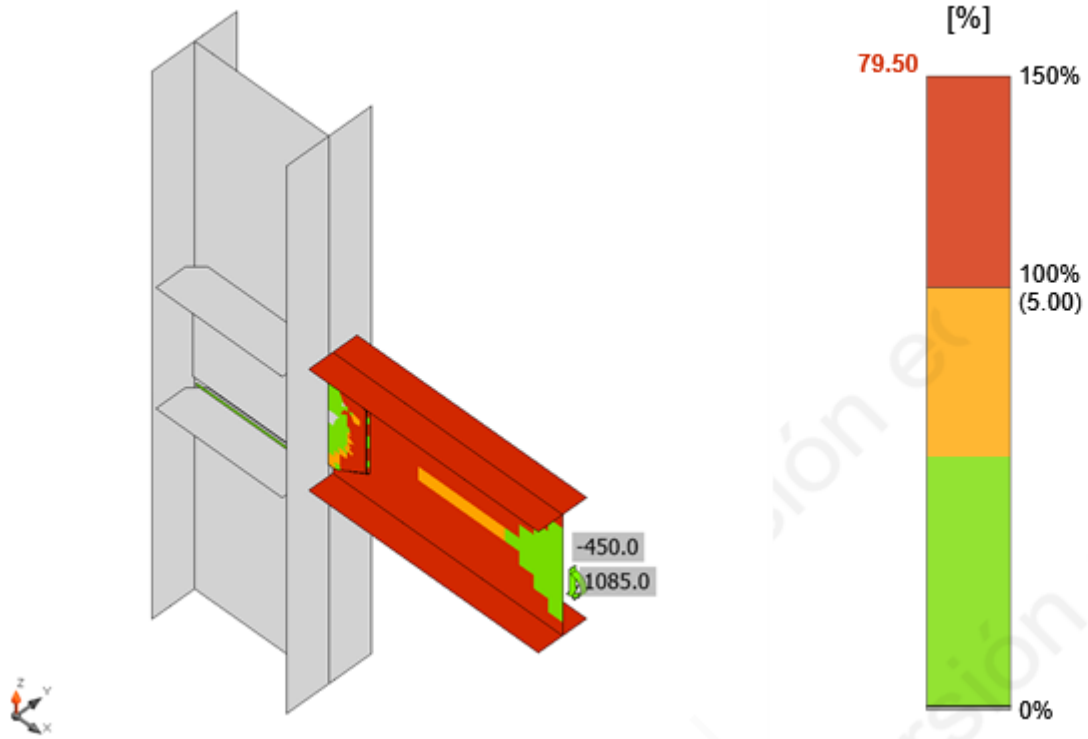
| Nombre | Material | $F_y$ [MPa] | Espesor [mm] | Cargas | $\sigma_{Ed}$ [MPa] | $\varepsilon_{Pl}$ [%] | Estado de la verificación |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| C-bfl 1 | A572 Gr.50 | 344.7 | 28.0 | LE1 | 228.0 | 0.0 | Aceptar |
| C-tfl 1 | A572 Gr.50 | 344.7 | 28.0 | LE1 | 152.5 | 0.0 | Aceptar |
| C-w 1 | A572 Gr.50 | 344.7 | 14.5 | LE1 | 286.4 | 0.0 | Aceptar |
| B-bfl 1 | A36 | 248.2 | 24.3 | LE1 | 382.3 | 79.4 | **Incorrecto!** |
| B-tfl 1 | A36 | 248.2 | 24.3 | LE1 | 382.5 | 79.5 | **Incorrecto!** |
| B-w 1 | A36 | 248.2 | 16.2 | LE1 | 374.5 | 75.5 | **Incorrecto!** |
| STIFF1a | A572 Gr.55 | 379.2 | 40.0 | LE1 | 234.2 | 0.0 | Aceptar |
| STIFF1b | A572 Gr.55 | 379.2 | 40.0 | LE1 | 190.4 | 0.0 | Aceptar |
| STIFF1c | A572 Gr.55 | 379.2 | 40.0 | LE1 | 233.5 | 0.0 | Aceptar |
| STIFF1d | A572 Gr.55 | 379.2 | 40.0 | LE1 | 190.5 | 0.0 | Aceptar |
| FP1 | A572 Gr.50 | 344.7 | 15.0 | LE1 | 392.1 | 40.9 | **Incorrecto!** |
| SP 1 | A572 Gr.50 | 344.7 | 25.0 | LE1 | 265.4 | 0.0 | Aceptar |

**Datos de diseño**

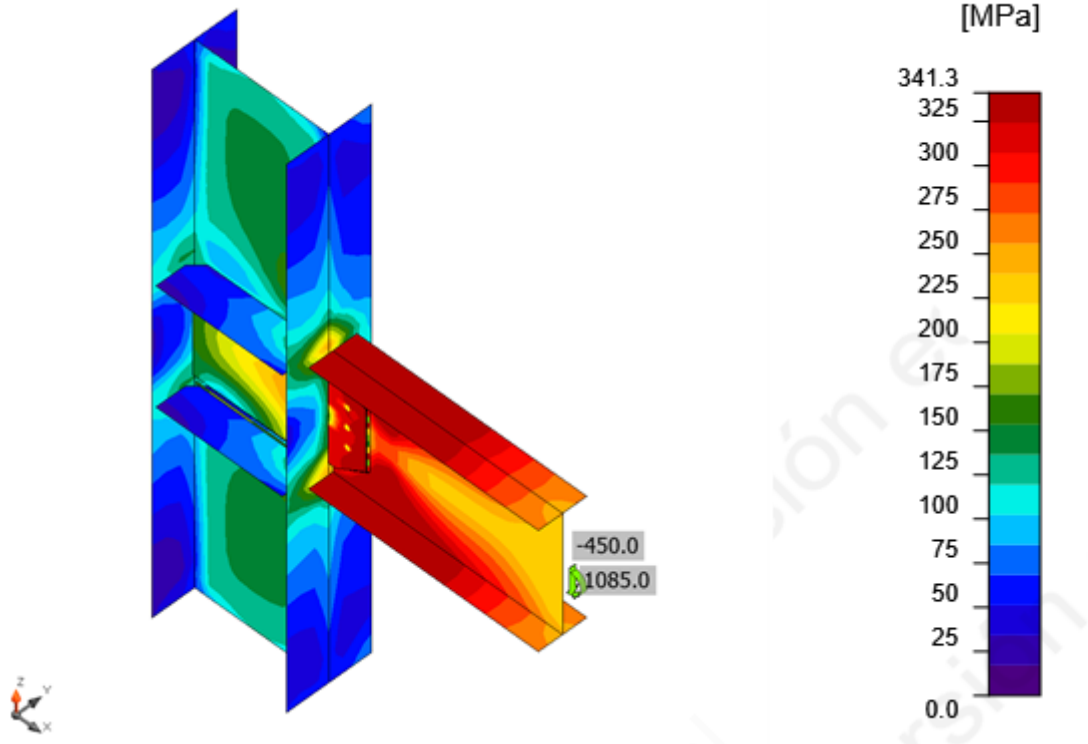
| Material | fy [MPa] | $\varepsilon_{lim}$ [%] |
|---|---|---|
| A572 Gr.50 | 344.7 | 5.0 |
| A36 | 248.2 | 5.0 |
| A572 Gr.55 | 379.2 | 5.0 |



*Verificación general, LE1*




*Verificación de deformación, LE1*




*Tensión equivalente, LE1*

## Tornillos

| Forma | Ítem | Calidad | Cargas | $F_t$ [kN] | V [kN] | $\phi R_{n,portante}$ [kN] | $Ut_t$ [%] | $Ut_s$ [%] | $Ut_{ts}$ [%] | Estado |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | B3 | 3/4 A325 - 1 | LE1 | 70.8 | 14.6 | 222.2 | 53.4 | 18.3 | - | Aceptar |
| | B4 | 3/4 A325 - 1 | LE1 | 21.0 | 21.0 | 222.2 | 15.9 | 26.5 | - | Aceptar |
| | B5 | 3/4 A325 - 1 | LE1 | 22.7 | 23.6 | 222.2 | 17.1 | 29.7 | - | Aceptar |



**Datos de diseño**

| Calidad | $\phi R_{n,tracción}$ [kN] | $\phi R_{n,cortante}$ [kN] |
|---|---|---|
| 3/4 A325 - 1 | 132.5 | 79.5 |

**Resultado detallado para B3**

**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b = \quad 132.5 \quad \text{kN} \quad \geq \quad F_t = \quad 70.8 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$F_{nt} = 620.0$ MPa – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2

$A_b = 285$ mm$^2$ – Área bruta del tornillo

$\phi = 0.75$ – factor de capacidad

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b = \quad 79.5 \quad \text{kN} \quad \geq \quad V = \quad 14.6 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$F_{nv} = 372.0$ MPa – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2

$A_b = 285$ mm$^2$ – Área bruta del tornillo

$\phi = 0.75$ – factor de capacidad

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \quad \leq \quad 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$$

$$\phi R_n = \quad 222.2 \quad \text{kN} \quad \geq \quad V = \quad 14.6 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$l_c = 49$ mm – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material

$t = 16$ mm – espesor de la placa

$d = 19$ mm – dimámetro del tornillo

$F_u = 400.0$ MPa – resistencia a tracción del material conectado

$\phi = 0.75$ – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-2)

*La tensión requerida, a cortante o en tracción, es menor o igual al 30% de la resistencia y los efectos de las tensiones combinadas no*

*necesitan ser evaluadas.*

**Resultado detallado para B4**

**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b =$ 132.5 kN ≥ $F_t =$ 21.0 kN

*Donde:*

$F_{nt} =$ 620.0 MPa – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2
$A_b =$ 285 mm$^2$ – Área bruta del tornillo
$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b =$ 79.5 kN ≥ $V =$ 21.0 kN

*Donde:*

$F_{nv} =$ 372.0 MPa – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2
$A_b =$ 285 mm$^2$ – Área bruta del tornillo
$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \leq 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$

$\phi R_n =$ 222.2 kN ≥ $V =$ 21.0 kN

*Donde:*

$l_c =$ 49 mm – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material
$t =$ 16 mm – espesor de la placa
$d =$ 19 mm – dimámetro del tornillo
$F_u =$ 400.0 MPa – resistencia a tracción del material conectado
$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-2)

*La tensión requerida, a cortante o en tracción, es menor o igual al 30% de la resistencia y los efectos de las tensiones combinadas no necesitan ser evaluadas.*

**Resultado detallado para B5**

**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b = \quad 132.5 \quad \text{kN} \quad \geq \quad F_t = \quad 22.7 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

| | |
|---|---|
| $F_{nt} = 620.0$ MPa | – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2 |
| $A_b = 285$ mm$^2$ | – Área bruta del tornillo |
| $\phi = 0.75$ | – factor de capacidad |

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b = \quad 79.5 \quad \text{kN} \quad \geq \quad V = \quad 23.6 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

| | |
|---|---|
| $F_{nv} = 372.0$ MPa | – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2 |
| $A_b = 285$ mm$^2$ | – Área bruta del tornillo |
| $\phi = 0.75$ | – factor de capacidad |

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \quad \leq \quad 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$$

$$\phi R_n = \quad 222.2 \quad \text{kN} \quad \geq \quad V = \quad 23.6 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

| | |
|---|---|
| $l_c = 142$ mm | – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material |
| $t = 16$ mm | – espesor de la placa |
| $d = 19$ mm | – dimámetro del tornillo |
| $F_u = 400.0$ MPa | – resistencia a tracción del material conectado |
| $\phi = 0.75$ | – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos |

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-2)

*La tensión requerida, a cortante o en tracción, es menor o igual al 30% de la resistencia y los efectos de las tensiones combinadas no necesitan ser evaluadas.*

## Soldaduras

| Ítem | Borde | Xu | $T_h$ [mm] | $L_s$ [mm] | L [mm] | $L_c$ [mm] | $F_n$ [kN] | $\phi R_n$ [kN] | Ut [%] | Estado |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| C-bfl 1 | B-bfl 1 | E70xx | - | - | 170 | - | - | - | - | Aceptar |
| C-bfl 1 | B-tfl 1 | E70xx | - | - | 170 | - | - | - | - | Aceptar |
| C-bfl 1 | B-w 1 | E70xx | - | - | 426 | - | - | - | - | Aceptar |
| C-bfl 1 | STIFF1a | E70xx | - | - | 105 | - | - | - | - | Aceptar |
| C-w 1 | STIFF1a | E70xx | - | - | 368 | - | - | - | - | Aceptar |
| C-tfl 1 | STIFF1a | E70xx | - | - | 105 | - | - | - | - | Aceptar |
| C-bfl 1 | STIFF1b | E70xx | - | - | 105 | - | - | - | - | Aceptar |
| C-w 1 | STIFF1b | E70xx | - | - | 368 | - | - | - | - | Aceptar |
| C-tfl 1 | STIFF1b | E70xx | - | - | 105 | - | - | - | - | Aceptar |
| C-bfl 1 | STIFF1c | E70xx | - | - | 105 | - | - | - | - | Aceptar |
| C-w 1 | STIFF1c | E70xx | - | - | 368 | - | - | - | - | Aceptar |
| C-tfl 1 | STIFF1c | E70xx | - | - | 105 | - | - | - | - | Aceptar |
| C-bfl 1 | STIFF1d | E70xx | - | - | 105 | - | - | - | - | Aceptar |
| C-w 1 | STIFF1d | E70xx | - | - | 368 | - | - | - | - | Aceptar |
| C-tfl 1 | STIFF1d | E70xx | - | - | 105 | - | - | - | - | Aceptar |
| C-bfl 1 | FP1 | E70xx | - | - | 342 | - | - | - | - | Aceptar |
| B-w 1 | FP1 | E70xx | ◢9.2 | ◢13.0 | 74 | 25 | 72.9 | 52.0 | 140.2 | **Incorrecto!** |
| B-w 1 | FP1 | E70xx | ◢9.2 | ◢13.0 | 74 | 25 | 75.9 | 56.3 | 134.9 | **Incorrecto!** |
| B-w 1 | FP1 | E70xx | ◢9.2 | ◢13.0 | 217 | 22 | 89.1 | 48.6 | 183.2 | **Incorrecto!** |
| C-tfl 1 | SP 1 | E70xx | - | - | 384 | - | - | - | - | Aceptar |
| C-bfl 1 | SP 1 | E70xx | - | - | 384 | - | - | - | - | Aceptar |
| STIFF1d | SP 1 | E70xx | ◢5.7 | ◢8.0 | 393 | 49 | 52.6 | 67.3 | 78.2 | Aceptar |
| STIFF1b | SP 1 | E70xx | ◢5.7 | ◢8.0 | 393 | 49 | 52.6 | 67.3 | 78.2 | Aceptar |

**Resultado detallado para C-bfl 1 / B-bfl 1 - 1**

*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

**Resultado detallado para C-bfl 1 / B-tfl 1 - 1**

*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

**Resultado detallado para C-bfl 1 / B-w 1 - 1**

*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

**Resultado detallado para C-bfl 1 / STIFF1a - 1**

*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

**Resultado detallado para C-w 1 / STIFF1a - 1**

*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

**Resultado detallado para C-tfl 1 / STIFF1a - 1**

*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

**Resultado detallado para C-bfl 1 / STIFF1b - 1**

*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

**Resultado detallado para C-w 1 / STIFF1b - 1**

*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

**Resultado detallado para C-tfl 1 / STIFF1b - 1**

*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

**Resultado detallado para C-bfl 1 / STIFF1c - 1**

*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

**Resultado detallado para C-w 1 / STIFF1c - 1**

*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

**Resultado detallado para C-tfl 1 / STIFF1c - 1**

*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

**Resultado detallado para C-bfl 1 / STIFF1d - 1**

*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

**Resultado detallado para C-w 1 / STIFF1d - 1**

*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

**Resultado detallado para C-tfl 1 / STIFF1d - 1**

*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

**Resultado detallado para C-bfl 1 / FP1 - 1**

*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

**Resultado detallado para B-w 1 / FP1 - 1**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 52.0 kN < $F_n =$ 72.9 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 304.2 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 12.5° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 228 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para B-w 1 / FP1 - 1**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 56.3 kN < $F_n =$ 75.9 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 329.5 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 25.0° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 228 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para B-w 1 / FP1 - 1**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 48.6 kN < $F_n =$ 89.1 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 325.8 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 23.4° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 199 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-tfl 1 / SP 1 - 1**

*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

**Resultado detallado para C-bfl 1 / SP 1 - 1**

*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

**Resultado detallado para STIFF1d / SP 1 - 1**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 67.3 kN ≥ $F_n =$ 52.6 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 323.1 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 22.1° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 278 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para STIFF1b / SP 1 - 1**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 67.3 kN ≥ $F_n =$ 52.6 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 323.1 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 22.2° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 278 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

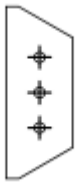
$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

## Pandeo

**El análisis de pandeo no se ha calculado.**

# Listado de material

## Operaciones

| Nombre | Placas [mm] | Forma | Nr. | Soldaduras [mm] | Longitud [mm] | Tornillos | Nr. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| CUT1 | | | | Bisel: a = 24.3<br>Bisel: a = 16.2 | 340.0<br>425.7 | | |
| STIFF1 | P40.0x142.7-444.0 (A572 Gr.55) | | 4 | Bisel: a = 28.0<br>Bisel: a = 14.5 | 838.0<br>1472.0 | | |
| FP1 | P15.0x132.8-341.7 (A572 Gr.50) |  | 1 | Bisel: a = 15.0 | 341.7 | 3/4 A325 | 3 |
| SP 1 | P25.0x444.0-384.0 (A572 Gr.50) | | 1 | | | | |

## Soldaduras

| Tipo | Material | Espesor de garganta [mm] | Tamaño de pierna [mm] | Longitud [mm] |
|---|---|---|---|---|
| Bisel | E70xx | - | - | 340.0 |
| Bisel | E70xx | - | - | 425.7 |
| Bisel | E70xx | - | - | 838.0 |
| Bisel | E70xx | - | - | 1472.0 |
| Bisel | E70xx | - | - | 341.7 |
| tendón de soldadura simple | E70xx | 9.2 | 13.0 | 149.0 |
| tendón de soldadura simple | E70xx | 9.2 | 13.0 | 217.5 |
| Bisel | E70xx | - | - | 768.0 |
| tendón de soldadura simple | E70xx | 5.7 | 8.0 | 786.0 |

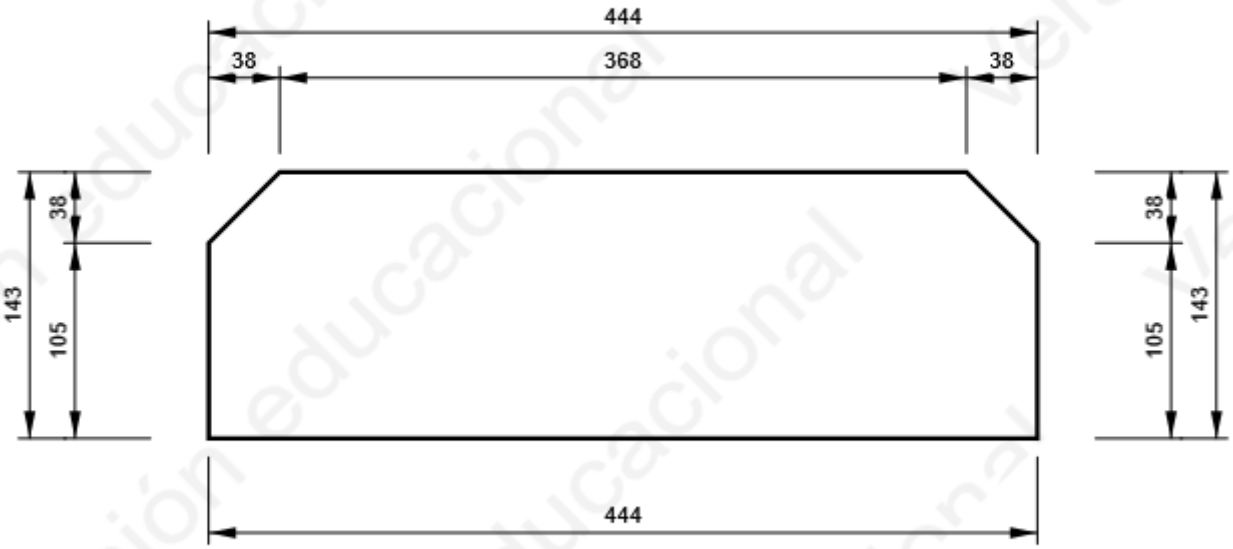
## Tornillos

| Nombre | Longitud de agarre [mm] | Cuenta |
|---|---|---|
| 3/4 A325 | 31 | 3 |

## Dibujo

## STIFF1

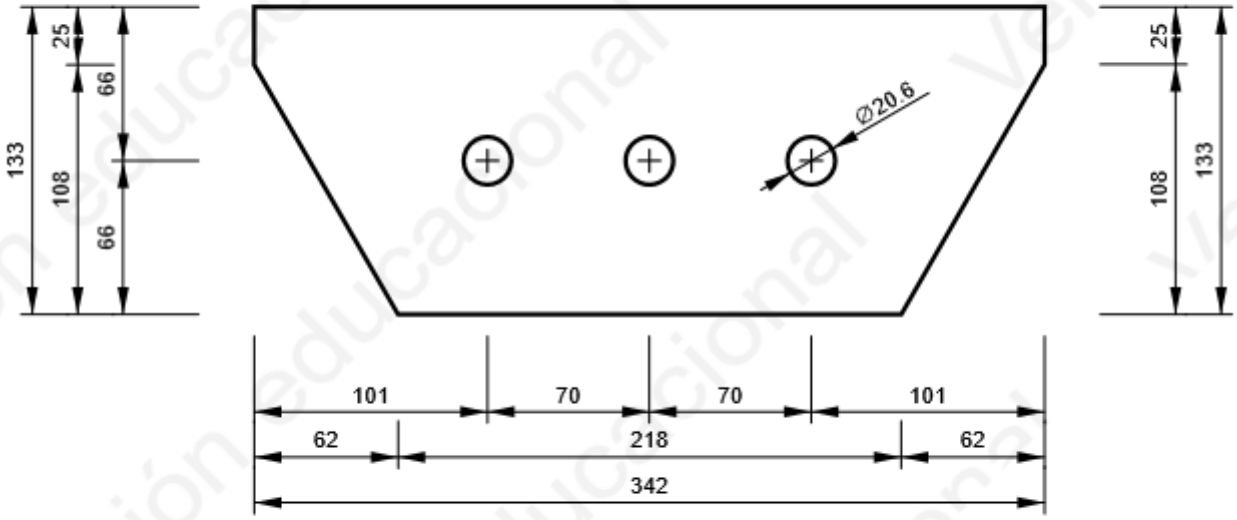
**P40.0x444-143 (A572 Gr.55)**




Versión educacional

## FP1

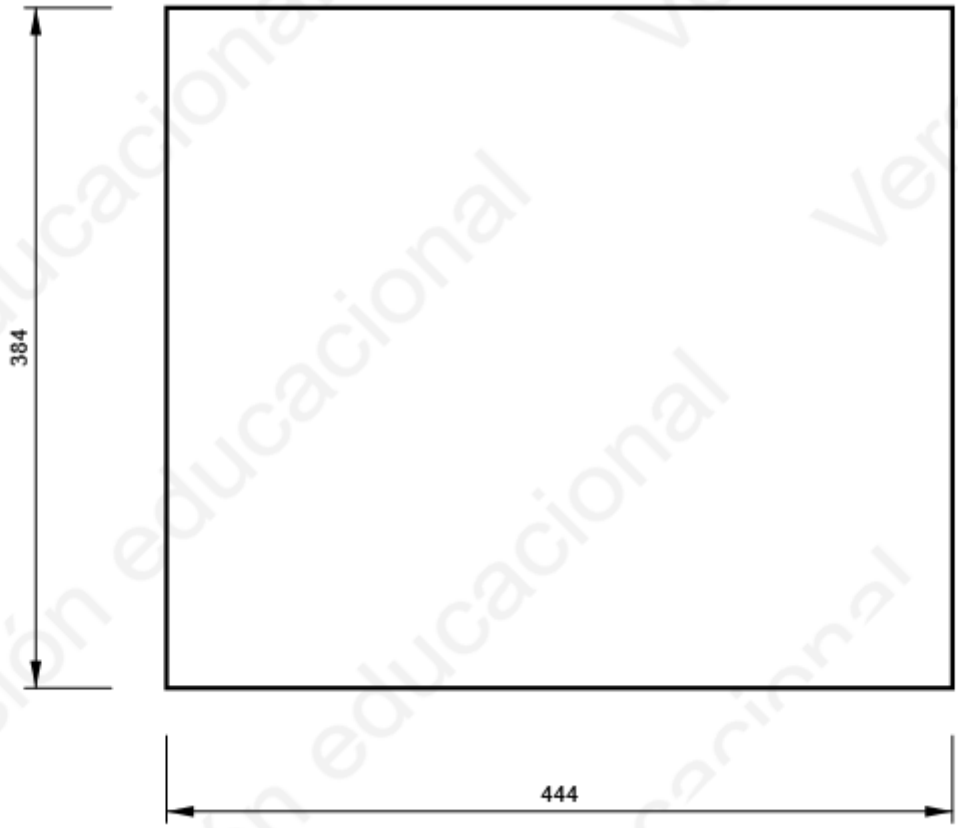
**P15.0x342-133 (A572 Gr.50)**




Versión educacional

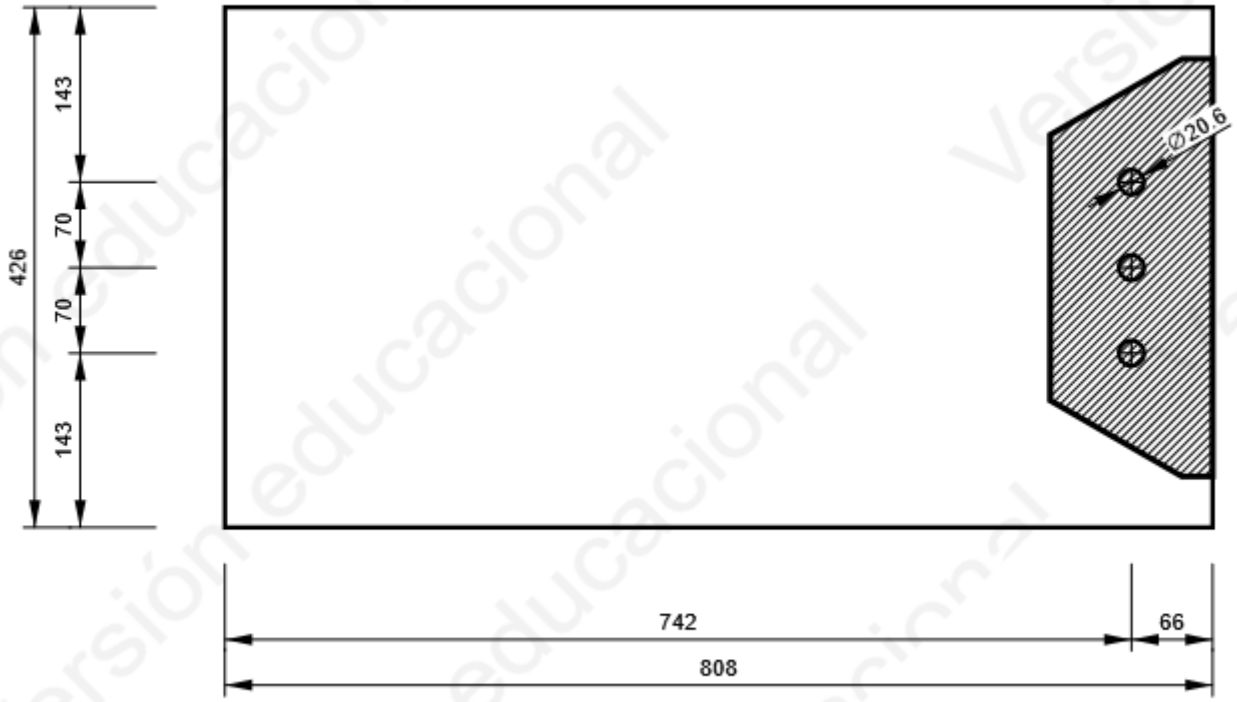
## SP 1

**P25.0x384-444 (A572 Gr.50)**




Versión educacional

## B, IPN450 - Alma 1:



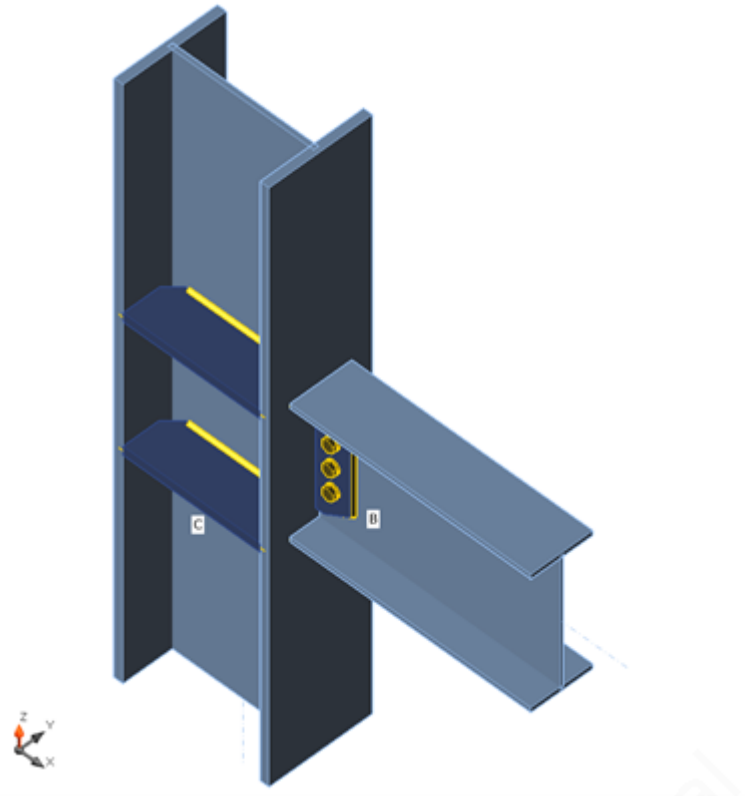
# Ítem del proyecto WUF-400-1

## Diseño

| | |
|---|---|
| Nombre | WUF-400-1 |
| Descripción | Conexion H500-I400 |
| Análisis | Tensión, deformación/ Carga simplificada |
| Normativa de cálculo | AISC - LRFD |

### Elementos estructurales

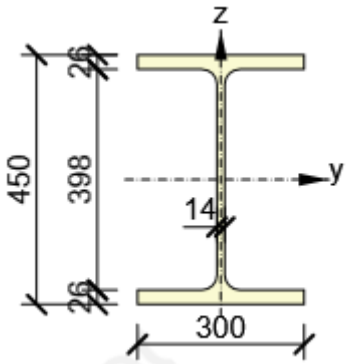
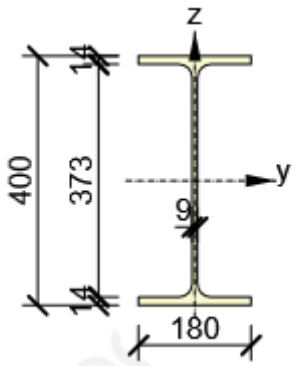
| Nombre | Sección transversal | β – Dirección [°] | γ - Inclinación [°] | α - Rotación [°] | Desplazamiento ex [mm] | Desplazamiento ey [mm] | Desplazamiento ez [mm] | Fuerzas en |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| C | 7 - HEB450 | 0.0 | -90.0 | 0.0 | 0 | 0 | 0 | Nudo |
| B | 8 - IPE400 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0 | 0 | 0 | Nudo |




### Secciones

| Nombre | Material |
|---|---|
| 7 - HEB450 | A572 Gr.50 |
| 8 - IPE400 | A36 |

## Secciones

| Nombre | Material | Dibujo |
|---|---|---|
| 7 - HEB450 | A572 Gr.50 |   |
| 8 - IPE400 | A36 |   |

## Tornillos

| Nombre | Conjunto de tornillo | Diámetro [mm] | fu [MPa] | Área bruta [mm$^2$] |
|---|---|---|---|---|
| 3/4 A325 | 3/4 A325 | 19 | 825.0 | 285 |

## Cargas (No se requiere el equilibro)

| Nombre | Elemento | N [kN] | Vy [kN] | Vz [kN] | Mx [kNm] | My [kNm] | Mz [kNm] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| LE1 | B | 0.0 | 0.0 | -265.0 | 0.0 | 590.0 | 0.0 |

# Verificación

## Resumen

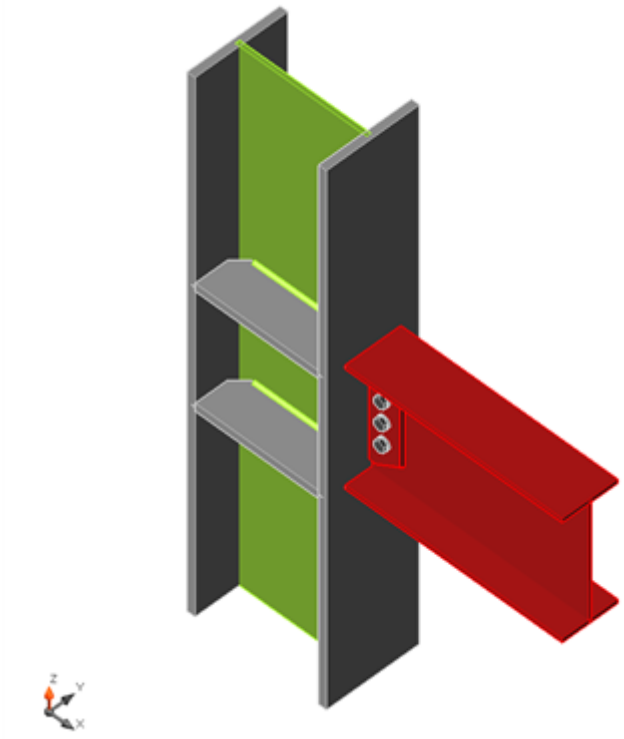
| Nombre | Valor | Estado de la verificación |
|---|---|---|
| Análisis | 100.0% | Aceptar |
| Placas | 100.1 > 5% | **Incorrecto!** |
| Tornillos | 54.0 < 100% | Aceptar |
| Soldaduras | 181.1 > 100% | **Incorrecto!** |
| Pandeo | No calculado | |

## Placas

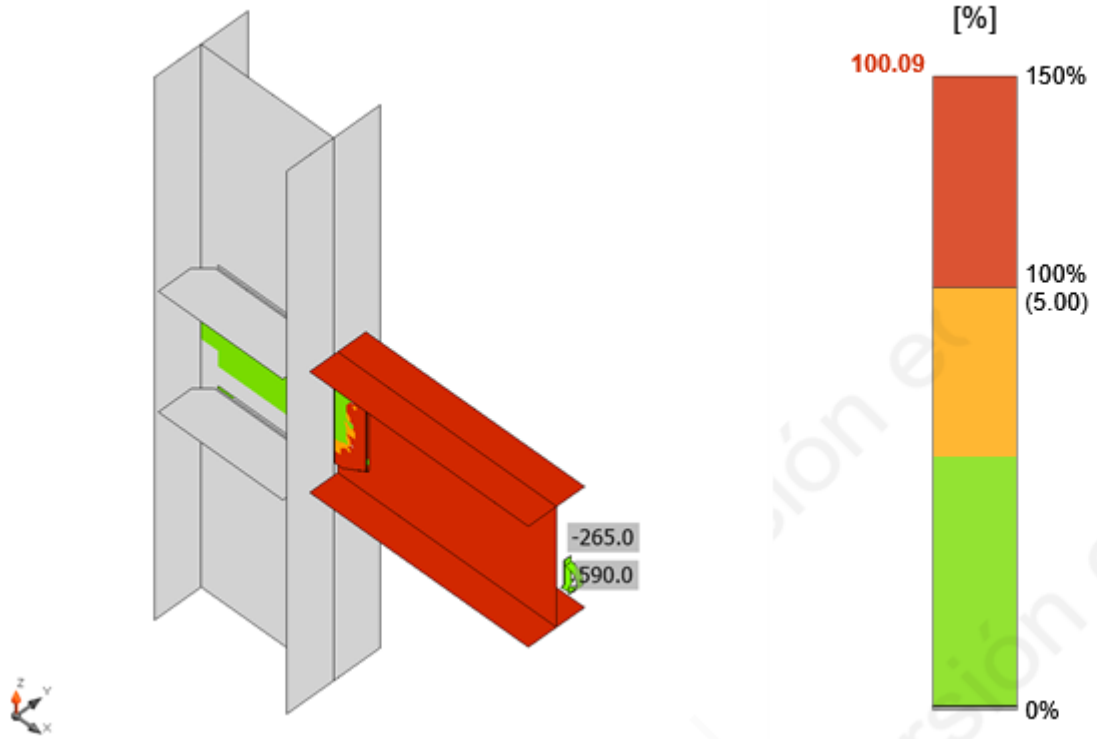
| Nombre | Material | $F_y$ [MPa] | Espesor [mm] | Cargas | $\sigma_{Ed}$ [MPa] | $\varepsilon_{Pl}$ [%] | Estado de la verificación |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| C-bfl 1 | A572 Gr.50 | 344.7 | 26.0 | LE1 | 199.2 | 0.0 | Aceptar |
| C-tfl 1 | A572 Gr.50 | 344.7 | 26.0 | LE1 | 146.1 | 0.0 | Aceptar |
| C-w 1 | A572 Gr.50 | 344.7 | 14.0 | LE1 | 310.9 | 0.3 | Aceptar |
| B-bfl 1 | A36 | 248.2 | 13.5 | LE1 | 415.3 | 95.9 | **Incorrecto!** |
| B-tfl 1 | A36 | 248.2 | 13.5 | LE1 | 415.6 | 96.0 | **Incorrecto!** |
| B-w 1 | A36 | 248.2 | 8.6 | LE1 | 423.8 | 100.1 | **Incorrecto!** |
| STIFF1a | A572 Gr.50 | 344.7 | 26.0 | LE1 | 223.7 | 0.0 | Aceptar |
| STIFF1b | A572 Gr.50 | 344.7 | 26.0 | LE1 | 245.7 | 0.0 | Aceptar |
| STIFF1c | A572 Gr.50 | 344.7 | 26.0 | LE1 | 221.8 | 0.0 | Aceptar |
| STIFF1d | A572 Gr.50 | 344.7 | 26.0 | LE1 | 245.2 | 0.0 | Aceptar |
| FP1 | A36 | 248.2 | 10.0 | LE1 | 359.0 | 67.7 | **Incorrecto!** |

### Datos de diseño

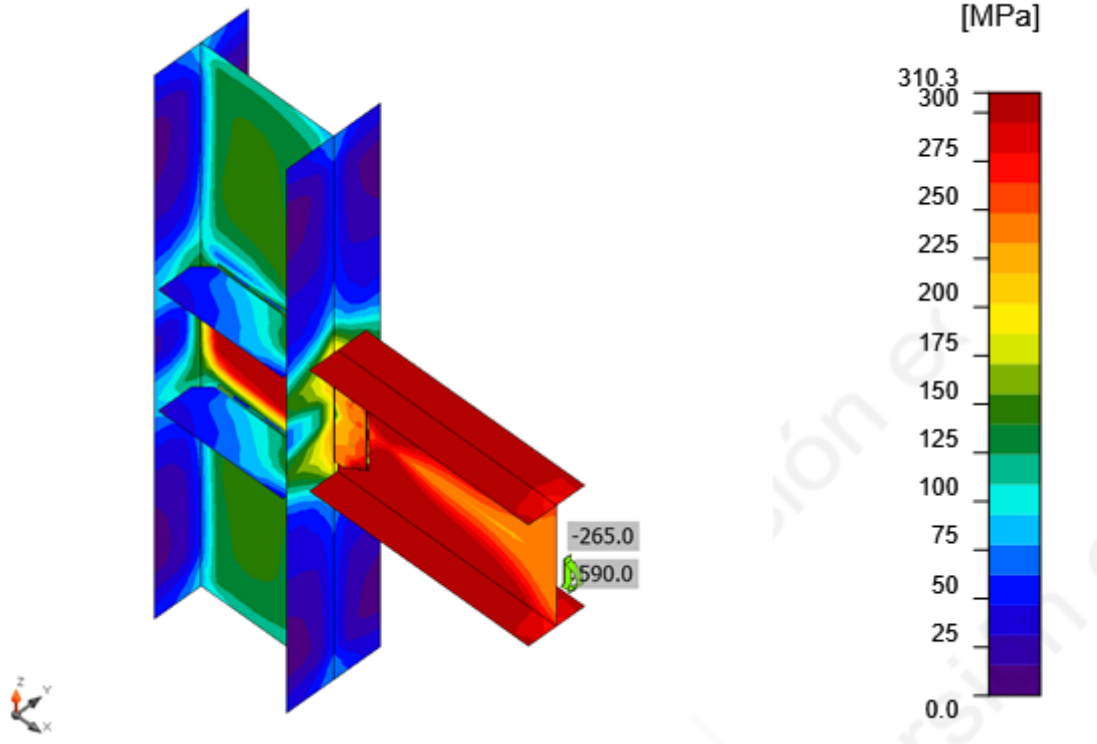
| Material | fy [MPa] | $\varepsilon_{lim}$ [%] |
|---|---|---|
| A572 Gr.50 | 344.7 | 5.0 |
| A36 | 248.2 | 5.0 |



*Verificación general, LE1*




*Verificación de deformación, LE1*




*Tensión equivalente, LE1*

## Tornillos

| Forma | Ítem | Calidad | Cargas | $F_t$ [kN] | V [kN] | $\phi R_{n,portante}$ [kN] | $Ut_t$ [%] | $Ut_s$ [%] | $Ut_{ts}$ [%] | Estado |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | B3 | 3/4 A325 - 1 | LE1 | 71.5 | 11.5 | 118.0 | 54.0 | 14.4 | - | Aceptar |
| | B4 | 3/4 A325 - 1 | LE1 | 40.0 | 15.8 | 118.0 | 30.1 | 19.9 | - | Aceptar |
| | B5 | 3/4 A325 - 1 | LE1 | 55.0 | 16.2 | 118.0 | 41.5 | 20.4 | - | Aceptar |

**Datos de diseño**

| Calidad | $\phi R_{n,tracción}$ [kN] | $\phi R_{n,cortante}$ [kN] |
|---|---|---|
| 3/4 A325 - 1 | 132.5 | 79.5 |

**Resultado detallado para B3**

**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b = \quad 132.5 \quad \text{kN} \quad \geq \quad F_t = \quad 71.5 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$F_{nt} = 620.0$ MPa – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2

$A_b = 285$ mm$^2$ – Área bruta del tornillo

$\phi = 0.75$ – factor de capacidad

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b = \quad 79.5 \quad \text{kN} \quad \geq \quad V = \quad 11.5 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$F_{nv} = 372.0$ MPa – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2

$A_b = 285$ mm$^2$ – Área bruta del tornillo

$\phi = 0.75$ – factor de capacidad

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \quad \leq \quad 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$$

$$\phi R_n = \quad 118.0 \quad \text{kN} \quad \geq \quad V = \quad 11.5 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$l_c = 49$ mm – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material

$t = 9$ mm – espesor de la placa

$d = 19$ mm – dimámetro del tornillo

$F_u = 400.0$ MPa – resistencia a tracción del material conectado

$\phi = 0.75$ – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-2)

*La tensión requerida, a cortante o en tracción, es menor o igual al 30% de la resistencia y los efectos de las tensiones combinadas no*

*necesitan ser evaluadas.*

**Resultado detallado para B4**

**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b =$ 132.5 kN ≥ $F_t =$ 40.0 kN

*Donde:*

$F_{nt} =$ 620.0 MPa – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2
$A_b =$ 285 mm$^2$ – Área bruta del tornillo
$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b =$ 79.5 kN ≥ $V =$ 15.8 kN

*Donde:*

$F_{nv} =$ 372.0 MPa – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2
$A_b =$ 285 mm$^2$ – Área bruta del tornillo
$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \leq 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$

$\phi R_n =$ 118.0 kN ≥ $V =$ 15.8 kN

*Donde:*

$l_c =$ 49 mm – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material
$t =$ 9 mm – espesor de la placa
$d =$ 19 mm – dimámetro del tornillo
$F_u =$ 400.0 MPa – resistencia a tracción del material conectado
$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-2)

*La tensión requerida, a cortante o en tracción, es menor o igual al 30% de la resistencia y los efectos de las tensiones combinadas no necesitan ser evaluadas.*

**Resultado detallado para B5**

**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b = \quad 132.5 \quad \text{kN} \quad \geq \quad F_t = \quad 55.0 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$F_{nt} =$ 620.0 MPa – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2

$A_b =$ 285 mm$^2$ – Área bruta del tornillo

$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b = \quad 79.5 \quad \text{kN} \quad \geq \quad V = \quad 16.2 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$F_{nv} =$ 372.0 MPa – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2

$A_b =$ 285 mm$^2$ – Área bruta del tornillo

$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \quad \leq \quad 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$$

$$\phi R_n = \quad 118.0 \quad \text{kN} \quad \geq \quad V = \quad 16.2 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$l_c =$ 49 mm – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material

$t =$ 9 mm – espesor de la placa

$d =$ 19 mm – dimámetro del tornillo

$F_u =$ 400.0 MPa – resistencia a tracción del material conectado

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-2)

*La tensión requerida, a cortante o en tracción, es menor o igual al 30% de la resistencia y los efectos de las tensiones combinadas no necesitan ser evaluadas.*

## Soldaduras

| Ítem | Borde | Xu | $T_h$ [mm] | $L_s$ [mm] | L [mm] | $L_c$ [mm] | $F_n$ [kN] | $\phi R_n$ [kN] | Ut [%] | Estado |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| C-bfl 1 | B-bfl 1 | E70xx | - | - | 180 | - | - | - | - | Aceptar |
| C-bfl 1 | B-tfl 1 | E70xx | - | - | 180 | - | - | - | - | Aceptar |
| C-bfl 1 | B-w 1 | E70xx | - | - | 387 | - | - | - | - | Aceptar |
| C-bfl 1 | FP1 | E70xx | - | - | 312 | - | - | - | - | Aceptar |
| C-w 1 | STIFF1b | E70xx | ◢5.7◣ | ◢8.0◣ | 300 | 50 | 50.2 | 69.9 | 71.9 | Aceptar |
| | | E70xx | ◢5.7◣ | ◢8.0◣ | 300 | 50 | 49.1 | 65.4 | 75.0 | Aceptar |
| C-bfl 1 | STIFF1b | E70xx | - | - | 105 | - | - | - | - | Aceptar |
| C-tfl 1 | STIFF1b | E70xx | - | - | 105 | - | - | - | - | Aceptar |
| C-w 1 | STIFF1d | E70xx | ◢5.7◣ | ◢8.0◣ | 300 | 50 | 49.1 | 65.4 | 75.0 | Aceptar |
| | | E70xx | ◢5.7◣ | ◢8.0◣ | 300 | 50 | 49.8 | 69.9 | 71.3 | Aceptar |
| C-bfl 1 | STIFF1d | E70xx | - | - | 105 | - | - | - | - | Aceptar |
| C-tfl 1 | STIFF1d | E70xx | - | - | 105 | - | - | - | - | Aceptar |
| C-w 1 | STIFF1a | E70xx | ◢5.7◣ | ◢8.0◣ | 300 | 50 | 48.2 | 65.5 | 73.6 | Aceptar |
| | | E70xx | ◢5.7◣ | ◢8.0◣ | 300 | 50 | 48.1 | 70.5 | 68.2 | Aceptar |
| C-tfl 1 | STIFF1a | E70xx | - | - | 105 | - | - | - | - | Aceptar |
| C-bfl 1 | STIFF1a | E70xx | - | - | 105 | - | - | - | - | Aceptar |
| C-w 1 | STIFF1c | E70xx | ◢5.7◣ | ◢8.0◣ | 300 | 50 | 47.8 | 70.5 | 67.8 | Aceptar |
| | | E70xx | ◢5.7◣ | ◢8.0◣ | 300 | 50 | 47.9 | 65.5 | 73.2 | Aceptar |
| C-bfl 1 | STIFF1c | E70xx | - | - | 105 | - | - | - | - | Aceptar |
| C-tfl 1 | STIFF1c | E70xx | - | - | 105 | - | - | - | - | Aceptar |
| B-w 1 | FP1 | E70xx | ◢5.7 | ◢8.0 | 223 | 19 | 47.3 | 30.5 | 155.3 | **Incorrecto!** |
| B-w 1 | FP1 | E70xx | ◢5.7 | ◢8.0 | 38 | 19 | 43.4 | 23.9 | 181.1 | **Incorrecto!** |
| B-w 1 | FP1 | E70xx | ◢5.7 | ◢8.0 | 38 | 19 | 41.1 | 28.2 | 145.4 | **Incorrecto!** |

**Resultado detallado para C-bfl 1 / B-bfl 1 - 1**

*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

**Resultado detallado para C-bfl 1 / B-tfl 1 - 1**

*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

**Resultado detallado para C-bfl 1 / B-w 1 - 1**

*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

**Resultado detallado para C-bfl 1 / FP1 - 1**

*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

**Resultado detallado para C-w 1 / STIFF1b - 1**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 69.9 kN ≥ $F_n =$ 50.2 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 329.7 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 25.2° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 283 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-w 1 / STIFF1b - 2**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 65.4 kN ≥ $F_n =$ 49.1 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 308.8 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 15.1° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 283 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-bfl 1 / STIFF1b - 1**

*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

**Resultado detallado para C-tfl 1 / STIFF1b - 1**

*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

**Resultado detallado para C-w 1 / STIFF1d - 1**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 65.4 kN ≥ $F_n =$ 49.1 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 308.8 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 15.1° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 283 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-w 1 / STIFF1d - 2**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 69.9 kN ≥ $F_n =$ 49.8 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 329.7 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 25.2° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 283 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-bfl 1 / STIFF1d - 1**

*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

**Resultado detallado para C-tfl 1 / STIFF1d - 1**

*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

**Resultado detallado para C-w 1 / STIFF1a - 1**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 65.5 kN ≥ $F_n =$ 48.2 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 308.9 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 15.1° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 283 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-w 1 / STIFF1a - 2**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 70.5 kN ≥ $F_n =$ 48.1 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 332.6 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 26.4° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 283 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-tfl 1 / STIFF1a - 1**

*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

**Resultado detallado para C-bfl 1 / STIFF1a - 1**

*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

**Resultado detallado para C-w 1 / STIFF1c - 1**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 70.5 kN ≥ $F_n =$ 47.8 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 332.6 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 26.4° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 283 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-w 1 / STIFF1c - 2**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 65.5 kN ≥ $F_n =$ 47.9 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 309.0 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 15.2° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 283 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-bfl 1 / STIFF1c - 1**

*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

**Resultado detallado para C-tfl 1 / STIFF1c - 1**

*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

**Resultado detallado para B-w 1 / FP1 - 1**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 30.5 kN < $F_n =$ 47.3 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 386.3 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 49.8° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 105 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para B-w 1 / FP1 - 1**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 23.9 kN < $F_n =$ 43.4 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 300.8 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 10.5° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 106 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para B-w 1 / FP1 - 1**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 28.2 kN < $F_n =$ 41.1 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 352.9 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 35.2° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 107 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

## Pandeo

**El análisis de pandeo no se ha calculado.**

# Listado de material

## Operaciones

| Nombre | Placas [mm] | Forma | Nr. | Soldaduras [mm] | Longitud [mm] | Tornillos | Nr. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| CUT1 | | | | Bisel: a = 13.5<br>Bisel: a = 8.6 | 360.0<br>386.5 | | |
| STIFF1 | P26.0x143.0-398.0 (A572 Gr.50) | | 4 | | | | |
| FP1 | P10.0x100.0-312.0 (A36) | | 1 | Bisel: a = 10.0 | 312.0 | 3/4 A325 | 3 |

## Soldaduras

| Tipo | Material | Espesor de garganta [mm] | Tamaño de pierna [mm] | Longitud [mm] |
|---|---|---|---|---|
| Bisel | E70xx | - | - | 360.0 |
| Bisel | E70xx | - | - | 386.5 |
| Bisel | E70xx | - | - | 312.0 |
| Doble tendón de soldadura | E70xx | 5.7 | 8.0 | 1200.0 |
| Bisel | E70xx | - | - | 840.0 |
| tendón de soldadura simple | E70xx | 5.7 | 8.0 | 224.4 |
| tendón de soldadura simple | E70xx | 5.7 | 8.0 | 75.4 |

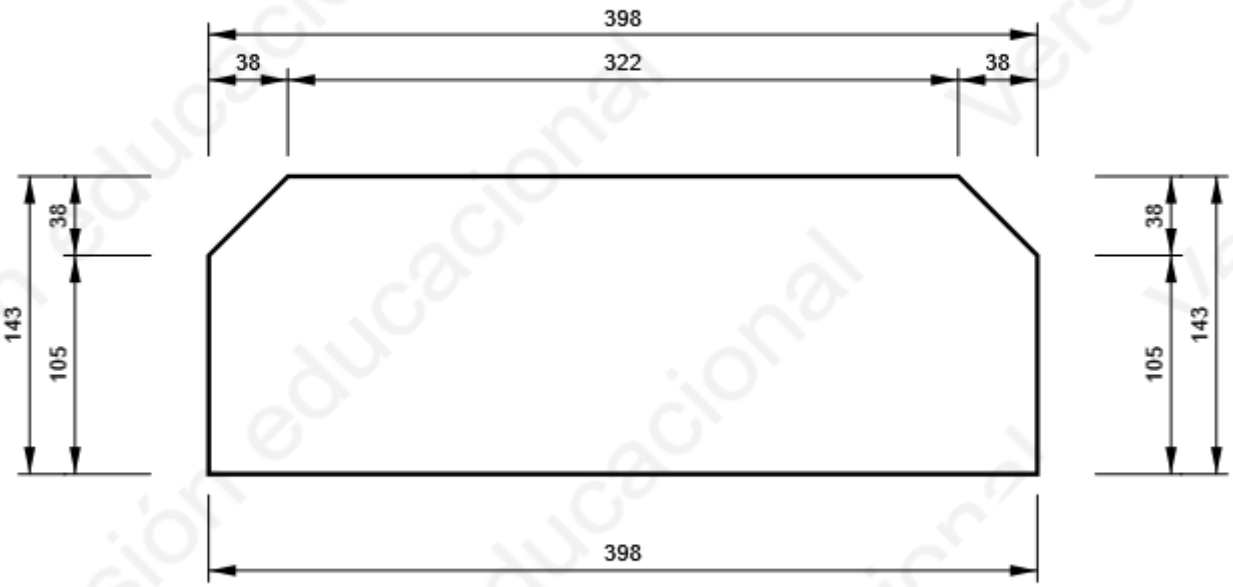
## Tornillos

| Nombre | Longitud de agarre [mm] | Cuenta |
|---|---|---|
| 3/4 A325 | 19 | 3 |

## Dibujo

### STIFF1

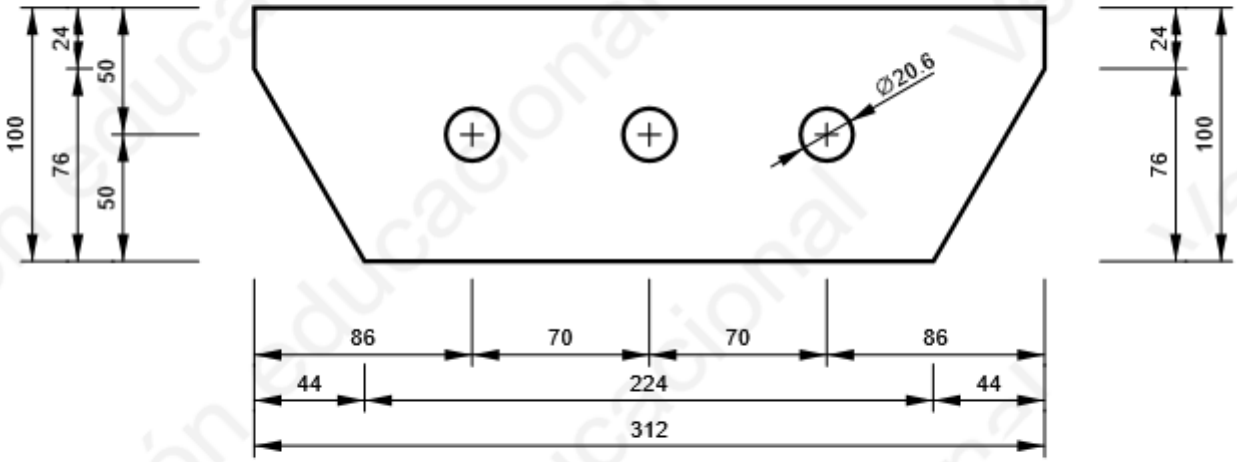
**P26.0x398-143 (A572 Gr.50)**



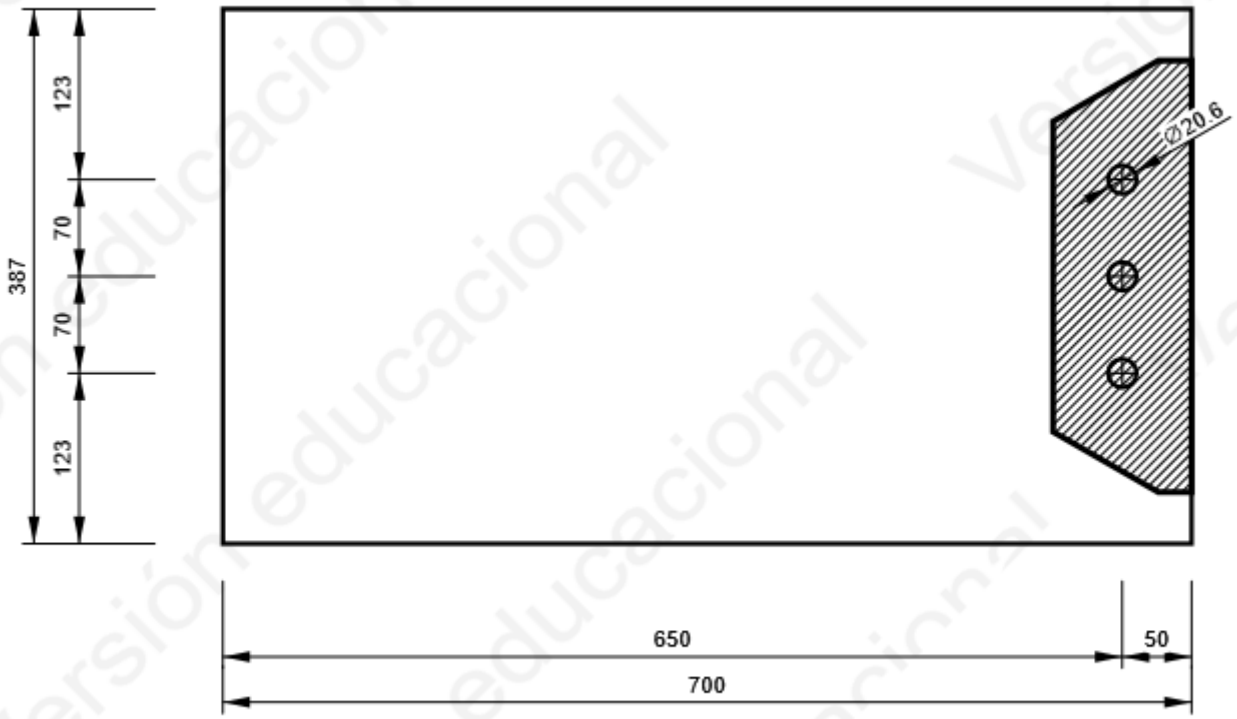

Versión educacional

## FP1

**P10.0x312-100 (A36)**



## B, IPE400 - Alma 1:




Versión educacional

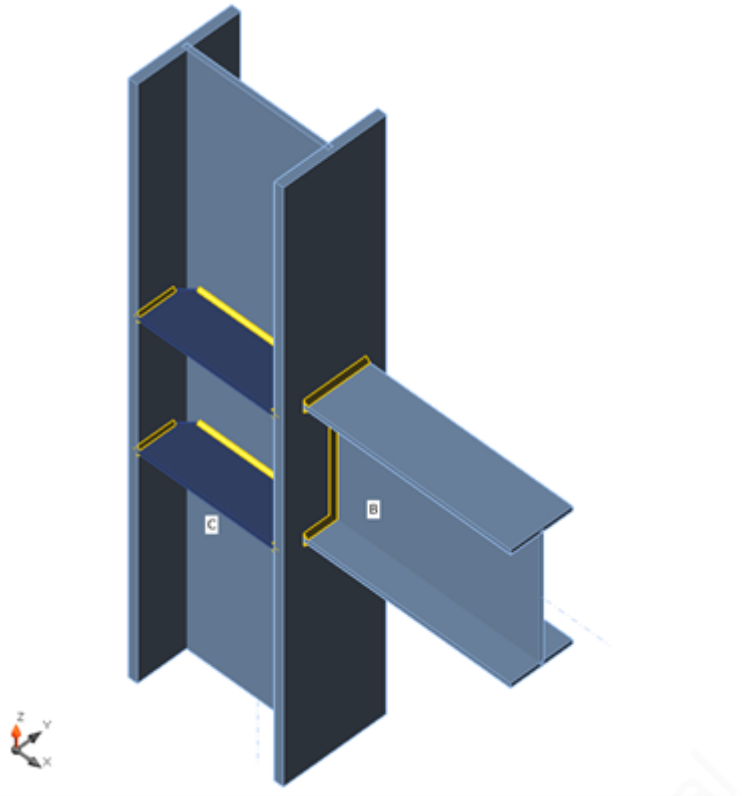
# Ítem del proyecto WUF-400-2

## Diseño

| | |
|---|---|
| Nombre | WUF-400-2 |
| Descripción | Conexion H500-I400 |
| Análisis | Tensión, deformación/ Carga simplificada |
| Normativa de cálculo | AISC - LRFD |

### Elementos estructurales

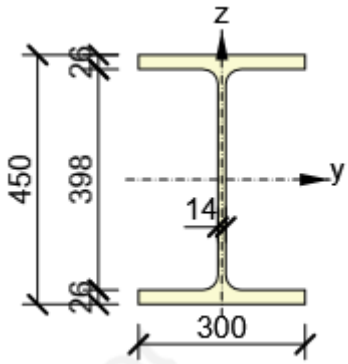
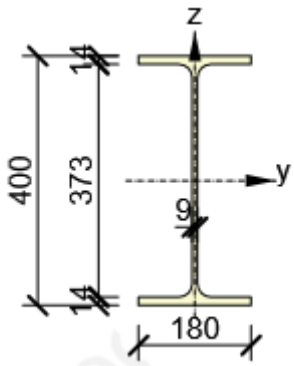
| Nombre | Sección transversal | β – Dirección [°] | γ - Inclinación [°] | α - Rotación [°] | Desplazamiento ex [mm] | Desplazamiento ey [mm] | Desplazamiento ez [mm] | Fuerzas en |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| C | 7 - HEB450 | 0.0 | -90.0 | 0.0 | 0 | 0 | 0 | Nudo |
| B | 8 - IPE400 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0 | 0 | 0 | Nudo |




### Secciones

| Nombre | Material |
|---|---|
| 7 - HEB450 | A572 Gr.50 |
| 8 - IPE400 | A36 |

## Secciones

| Nombre | Material | Dibujo |
|---|---|---|
| 7 - HEB450 | A572 Gr.50 |   |
| 8 - IPE400 | A36 |   |

## Cargas (No se requiere el equilibro)

| Nombre | Elemento | N [kN] | Vy [kN] | Vz [kN] | Mx [kNm] | My [kNm] | Mz [kNm] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| LE1 | C | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| | C | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |

# Verificación

## Resumen

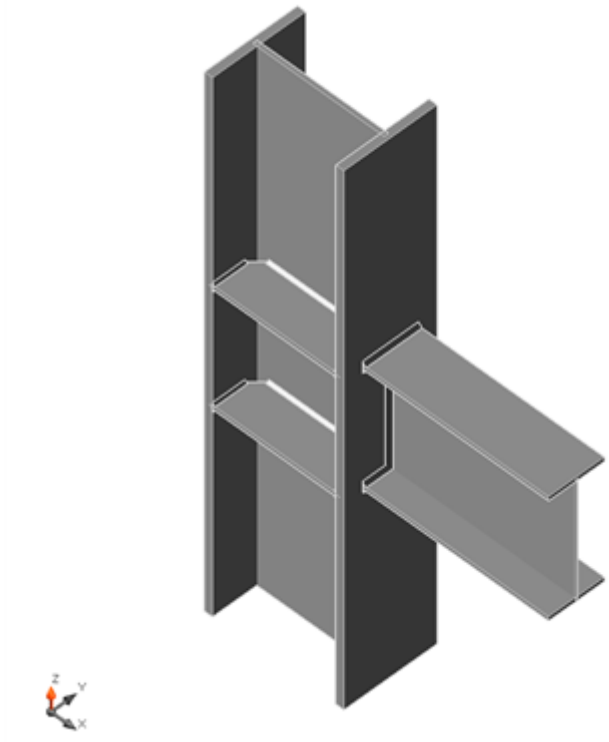
| Nombre | Valor | Estado de la verificación |
|---|---|---|
| Análisis | 100.0% | Aceptar |
| Placas | 0.0 < 5% | Aceptar |
| Soldaduras | 0.0 < 100% | **Incorrecto!** |
| Pandeo | No calculado | |

## Placas

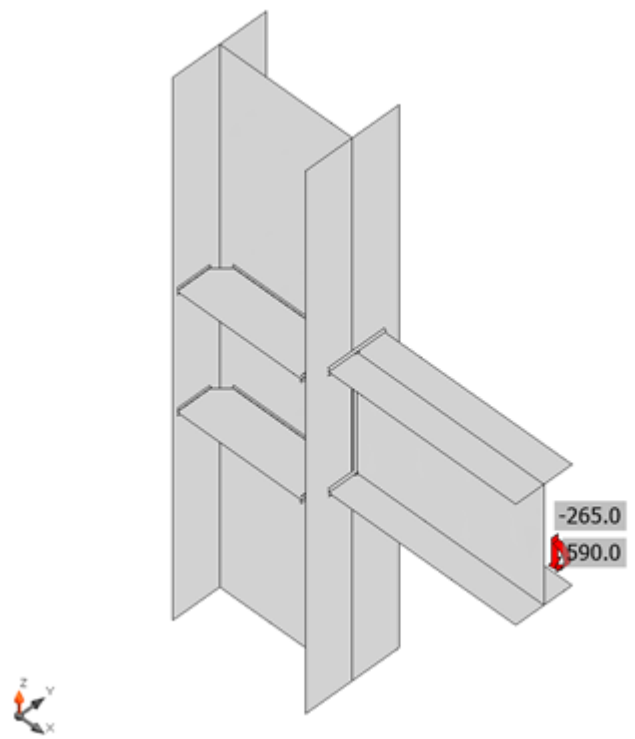
| Nombre | Material | $F_y$ [MPa] | Espesor [mm] | Cargas | $\sigma_{Ed}$ [MPa] | $\varepsilon_{Pl}$ [%] | Estado de la verificación |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| C-bfl 1 | A572 Gr.50 | 344.7 | 26.0 | LE1 | 0.0 | 0.0 | Aceptar |
| C-tfl 1 | A572 Gr.50 | 344.7 | 26.0 | LE1 | 0.0 | 0.0 | Aceptar |
| C-w 1 | A572 Gr.50 | 344.7 | 14.0 | LE1 | 0.0 | 0.0 | Aceptar |
| B-bfl 1 | A36 | 248.2 | 13.5 | LE1 | 0.0 | 0.0 | Aceptar |
| B-tfl 1 | A36 | 248.2 | 13.5 | LE1 | 0.0 | 0.0 | Aceptar |
| B-w 1 | A36 | 248.2 | 8.6 | LE1 | 0.0 | 0.0 | Aceptar |
| STIFF1a | A572 Gr.50 | 344.7 | 14.0 | LE1 | 0.0 | 0.0 | Aceptar |
| STIFF1b | A572 Gr.50 | 344.7 | 14.0 | LE1 | 0.0 | 0.0 | Aceptar |
| STIFF1c | A572 Gr.50 | 344.7 | 14.0 | LE1 | 0.0 | 0.0 | Aceptar |
| STIFF1d | A572 Gr.50 | 344.7 | 14.0 | LE1 | 0.0 | 0.0 | Aceptar |

**Datos de diseño**

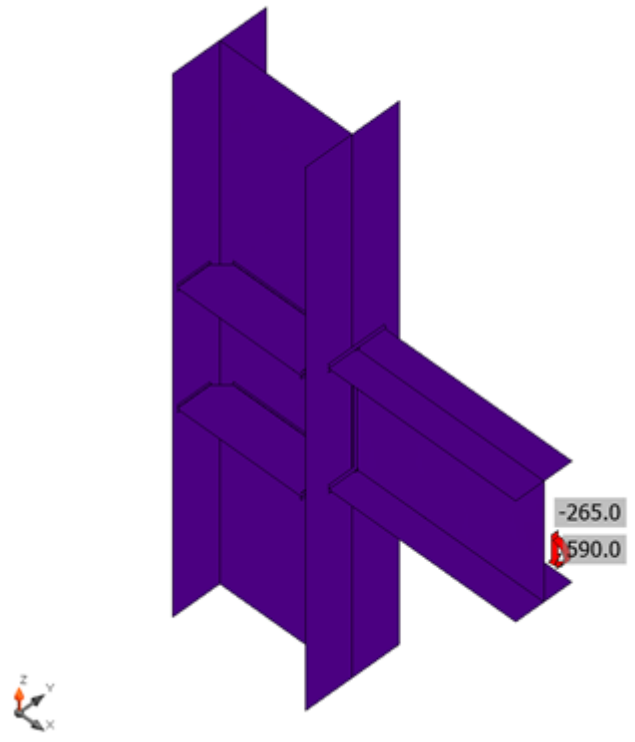
| Material | fy [MPa] | $\varepsilon_{lim}$ [%] |
|---|---|---|
| A572 Gr.50 | 344.7 | 5.0 |
| A36 | 248.2 | 5.0 |



*Verificación general, LE1*




*Verificación de deformación, LE1*




*Tensión equivalente, LE1*

## Soldaduras

| Ítem | Borde | Xu | $T_h$ [mm] | $L_s$ [mm] | L [mm] | $L_c$ [mm] | $F_n$ [kN] | $\phi R_n$ [kN] | Ut [%] | Estado |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| C-bfl 1 | B-bfl 1 | E70xx | ◢8.5◣ | ◢12.0◣ | 180 | 45 | 0.0 | - | - | Incorrecto! |
| | | E70xx | ◢8.5◣ | ◢12.0◣ | 180 | 45 | 0.0 | - | - | Incorrecto! |
| C-bfl 1 | B-tfl 1 | E70xx | ◢8.5◣ | ◢12.0◣ | 180 | 45 | 0.0 | - | - | Incorrecto! |
| | | E70xx | ◢8.5◣ | ◢12.0◣ | 180 | 45 | 0.0 | - | - | Incorrecto! |
| C-bfl 1 | B-w 1 | E70xx | ◢8.5◣ | ◢12.0◣ | 386 | 48 | 0.0 | - | - | Incorrecto! |
| | | E70xx | ◢8.5◣ | ◢12.0◣ | 386 | 48 | 0.0 | - | - | Incorrecto! |
| C-bfl 1 | STIFF1a | E70xx | ◢5.7◣ | ◢8.0◣ | 105 | 52 | 0.0 | - | - | Incorrecto! |
| | | E70xx | ◢5.7◣ | ◢8.0◣ | 105 | 52 | 0.0 | - | - | Incorrecto! |
| C-w 1 | STIFF1a | E70xx | ◢5.7◣ | ◢8.0◣ | 322 | 54 | 0.0 | - | - | Incorrecto! |
| | | E70xx | ◢5.7◣ | ◢8.0◣ | 322 | 54 | 0.0 | - | - | Incorrecto! |
| C-tfl 1 | STIFF1a | E70xx | ◢5.7◣ | ◢8.0◣ | 105 | 52 | 0.0 | - | - | Incorrecto! |
| | | E70xx | ◢5.7◣ | ◢8.0◣ | 105 | 52 | 0.0 | - | - | Incorrecto! |
| C-bfl 1 | STIFF1b | E70xx | ◢5.7◣ | ◢8.0◣ | 105 | 52 | 0.0 | - | - | Incorrecto! |
| | | E70xx | ◢5.7◣ | ◢8.0◣ | 105 | 52 | 0.0 | - | - | Incorrecto! |
| C-w 1 | STIFF1b | E70xx | ◢5.7◣ | ◢8.0◣ | 322 | 54 | 0.0 | - | - | Incorrecto! |
| | | E70xx | ◢5.7◣ | ◢8.0◣ | 322 | 54 | 0.0 | - | - | Incorrecto! |
| C-tfl 1 | STIFF1b | E70xx | ◢5.7◣ | ◢8.0◣ | 105 | 52 | 0.0 | - | - | Incorrecto! |
| | | E70xx | ◢5.7◣ | ◢8.0◣ | 105 | 52 | 0.0 | - | - | Incorrecto! |
| C-bfl 1 | STIFF1c | E70xx | ◢5.7◣ | ◢8.0◣ | 105 | 52 | 0.0 | - | - | Incorrecto! |
| | | E70xx | ◢5.7◣ | ◢8.0◣ | 105 | 52 | 0.0 | - | - | Incorrecto! |
| C-w 1 | STIFF1c | E70xx | ◢5.7◣ | ◢8.0◣ | 322 | 54 | 0.0 | - | - | Incorrecto! |
| | | E70xx | ◢5.7◣ | ◢8.0◣ | 322 | 54 | 0.0 | - | - | Incorrecto! |
| C-tfl 1 | STIFF1c | E70xx | ◢5.7◣ | ◢8.0◣ | 105 | 52 | 0.0 | - | - | Incorrecto! |
| | | E70xx | ◢5.7◣ | ◢8.0◣ | 105 | 52 | 0.0 | - | - | Incorrecto! |
| C-bfl 1 | STIFF1d | E70xx | ◢5.7◣ | ◢8.0◣ | 105 | 52 | 0.0 | - | - | Incorrecto! |
| | | E70xx | ◢5.7◣ | ◢8.0◣ | 105 | 52 | 0.0 | - | - | Incorrecto! |
| C-w 1 | STIFF1d | E70xx | ◢5.7◣ | ◢8.0◣ | 322 | 54 | 0.0 | - | - | Incorrecto! |
| | | E70xx | ◢5.7◣ | ◢8.0◣ | 322 | 54 | 0.0 | - | - | Incorrecto! |
| C-tfl 1 | STIFF1d | E70xx | ◢5.7◣ | ◢8.0◣ | 105 | 52 | 0.0 | - | - | Incorrecto! |
| | | E70xx | ◢5.7◣ | ◢8.0◣ | 105 | 52 | 0.0 | - | - | Incorrecto! |

**Resultado detallado para C-bfl 1 / B-bfl 1 - 1**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ - kN < $F_n =$ 0.0 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ - MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ -° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 381 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-bfl 1 / B-bfl 1 - 2**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ - kN < $F_n =$ 0.0 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ - MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ -° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 381 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-bfl 1 / B-tfl 1 - 1**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ - kN < $F_n =$ 0.0 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ - MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ -° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 381 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-bfl 1 / B-tfl 1 - 2**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ - kN < $F_n =$ 0.0 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ - MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ -° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 381 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-bfl 1 / B-w 1 - 1**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ - kN < $F_n =$ 0.0 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ - MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ -° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 410 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-bfl 1 / B-w 1 - 2**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ - kN < $F_n =$ 0.0 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ - MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ -° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 410 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-bfl 1 / STIFF1a - 1**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ - kN < $F_n =$ 0.0 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ - MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ -° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 297 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-bfl 1 / STIFF1a - 2**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ - kN < $F_n =$ 0.0 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ - MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ -° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 297 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-w 1 / STIFF1a - 1**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ - kN < $F_n =$ 0.0 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ - MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ -° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 303 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-w 1 / STIFF1a - 2**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ - kN < $F_n =$ 0.0 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ - MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ -° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 303 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-tfl 1 / STIFF1a - 1**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ - kN < $F_n =$ 0.0 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ - MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ -° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 297 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-tfl 1 / STIFF1a - 2**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ - kN < $F_n =$ 0.0 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ - MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ -° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 297 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-bfl 1 / STIFF1b - 1**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ - kN < $F_n =$ 0.0 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ - MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ -° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 297 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-bfl 1 / STIFF1b - 2**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ - kN < $F_n =$ 0.0 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ - MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ -° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 297 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-w 1 / STIFF1b - 1**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ - kN < $F_n =$ 0.0 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ - MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ -° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 303 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-w 1 / STIFF1b - 2**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ - kN < $F_n =$ 0.0 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ - MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ -° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 303 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-tfl 1 / STIFF1b - 1**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ - kN < $F_n =$ 0.0 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ - MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ -° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 297 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-tfl 1 / STIFF1b - 2**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ - kN < $F_n =$ 0.0 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ - MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ -° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 297 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-bfl 1 / STIFF1c - 1**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ - kN < $F_n =$ 0.0 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ - MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ -° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 297 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-bfl 1 / STIFF1c - 2**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ - kN < $F_n =$ 0.0 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ - MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ -° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 297 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-w 1 / STIFF1c - 1**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ - kN < $F_n =$ 0.0 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ - MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ -° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 303 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-w 1 / STIFF1c - 2**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ - kN < $F_n =$ 0.0 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ - MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ -° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 303 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-tfl 1 / STIFF1c - 1**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ - kN < $F_n =$ 0.0 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ - MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ -° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 297 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-tfl 1 / STIFF1c - 2**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ - kN < $F_n =$ 0.0 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ - MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ -° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 297 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-bfl 1 / STIFF1d - 1**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ - kN < $F_n =$ 0.0 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ - MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ -° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 297 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-bfl 1 / STIFF1d - 2**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ - kN < $F_n =$ 0.0 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ - MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ -° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 297 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-w 1 / STIFF1d - 1**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ - kN < $F_n =$ 0.0 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ - MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ -° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 303 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-w 1 / STIFF1d - 2**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ - kN < $F_n =$ 0.0 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ - MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ -° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 303 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-tfl 1 / STIFF1d - 1**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ - kN < $F_n =$ 0.0 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ - MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ -° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 297 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-tfl 1 / STIFF1d - 2**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ - kN < $F_n =$ 0.0 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ - MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ -° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 297 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

## Pandeo

**El análisis de pandeo no se ha calculado.**

# Listado de material

## Operaciones

| Nombre | Placas [mm] | Forma | Nr. | Soldaduras [mm] | Longitud [mm] | Tornillos | Nr. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| CUT1 | | | | Doble tendón de soldadura: a = 8.5 | 746.5 | | |
| STIFF1 | P14.0x143.0-398.0 (A572 Gr.50) | | 4 | Doble tendón de soldadura: a = 5.7 | 2128.0 | | |

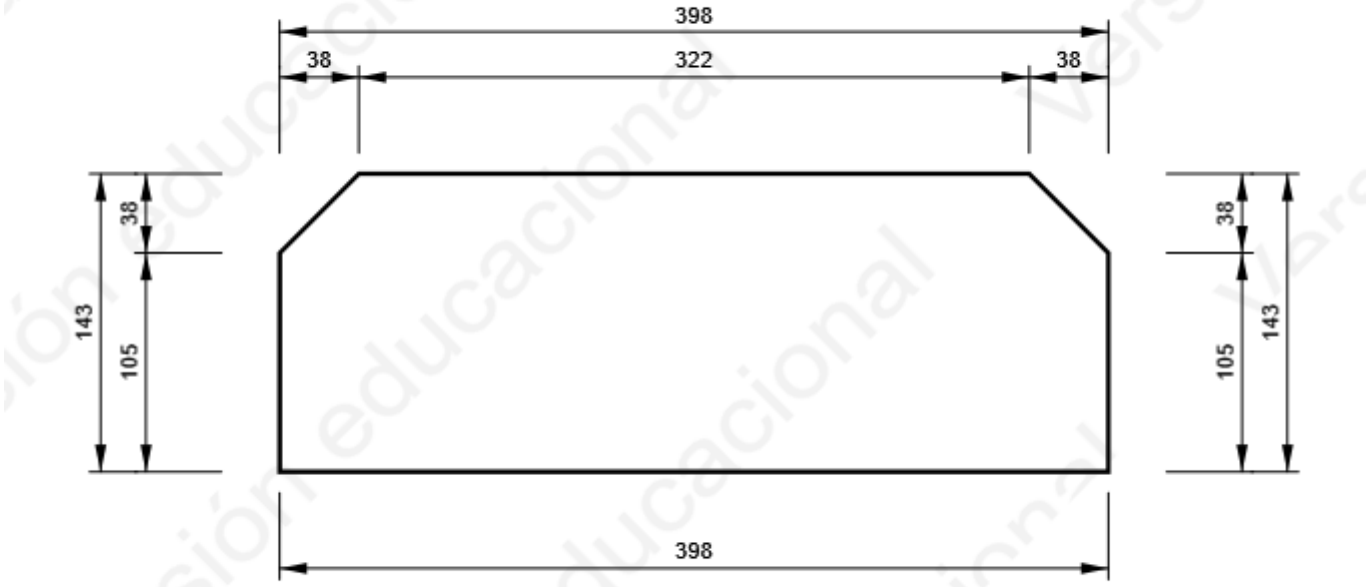
## Soldaduras

| Tipo | Material | Espesor de garganta [mm] | Tamaño de pierna [mm] | Longitud [mm] |
|---|---|---|---|---|
| Doble tendón de soldadura | E70xx | 8.5 | 12.0 | 746.5 |
| Doble tendón de soldadura | E70xx | 5.7 | 8.0 | 2128.0 |

## Dibujo

### STIFF1

**P14.0x398-143 (A572 Gr.50)**




Versión educacional

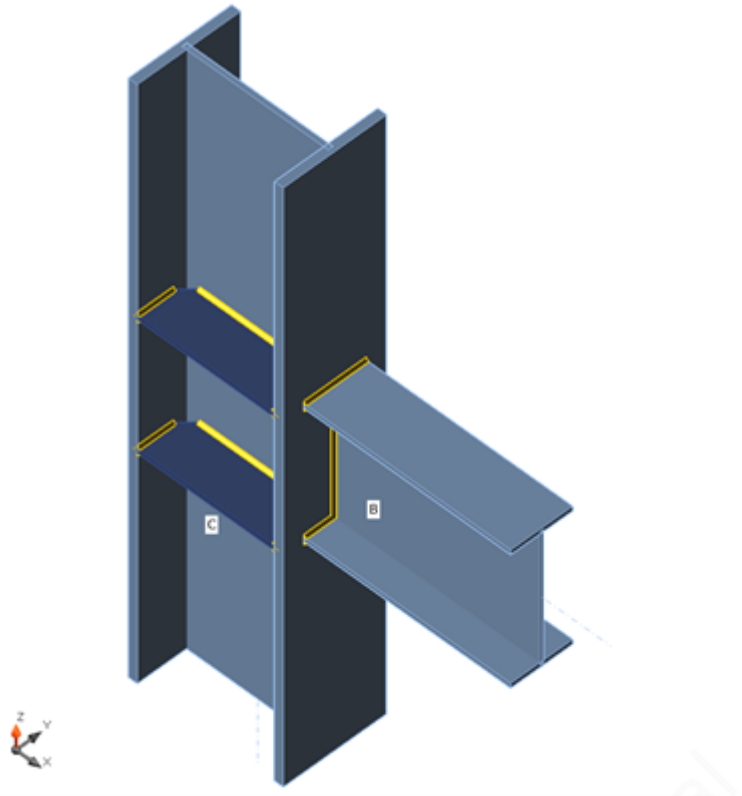
# Ítem del proyecto WUF-400-3

## Diseño

| | |
|---|---|
| Nombre | WUF-400-3 |
| Descripción | Conexion H500-I400 |
| Análisis | Tensión, deformación/ Carga simplificada |
| Normativa de cálculo | AISC - LRFD |

### Elementos estructurales

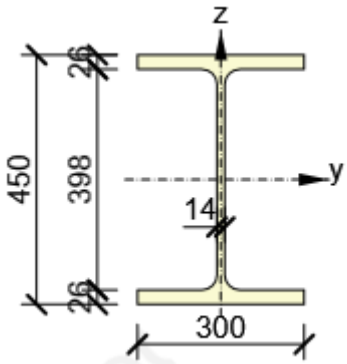
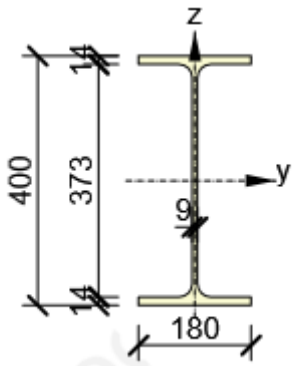
| Nombre | Sección transversal | β – Dirección [°] | γ - Inclinación [°] | α - Rotación [°] | Desplazamiento ex [mm] | Desplazamiento ey [mm] | Desplazamiento ez [mm] | Fuerzas en |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| C | 7 - HEB450 | 0.0 | -90.0 | 0.0 | 0 | 0 | 0 | Nudo |
| B | 8 - IPE400 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0 | 0 | 0 | Nudo |




### Secciones

| Nombre | Material |
|---|---|
| 7 - HEB450 | A572 Gr.50 |
| 8 - IPE400 | A36 |

## Secciones

| Nombre | Material | Dibujo |
|---|---|---|
| 7 - HEB450 | A572 Gr.50 |   |
| 8 - IPE400 | A36 |   |

## Cargas (No se requiere el equilibro)

| Nombre | Elemento | N [kN] | Vy [kN] | Vz [kN] | Mx [kNm] | My [kNm] | Mz [kNm] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| LE1 | B | 0.0 | 0.0 | -265.0 | 0.0 | 590.0 | 0.0 |

# Verificación

## Resumen

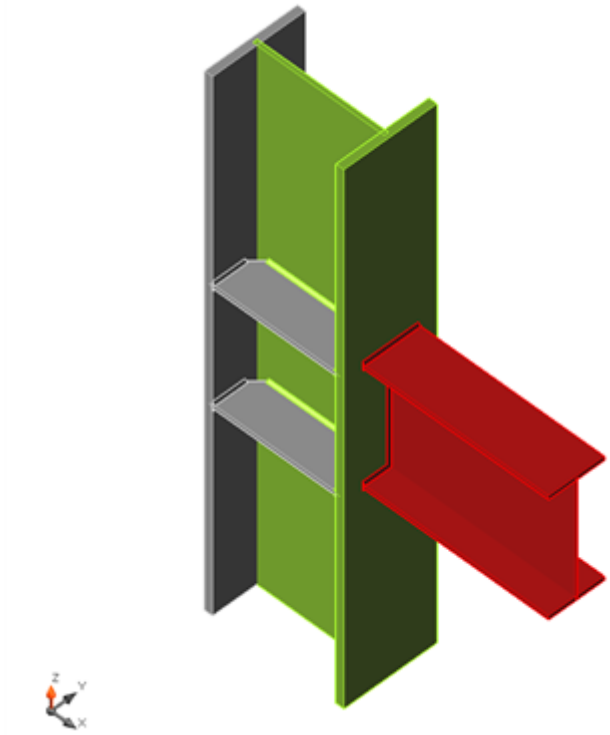
| Nombre | Valor | Estado de la verificación |
|---|---|---|
| Análisis | 100.0% | Aceptar |
| Placas | 123.3 > 5% | **Incorrecto!** |
| Soldaduras | 289.9 > 100% | **Incorrecto!** |
| Pandeo | No calculado | |

## Placas

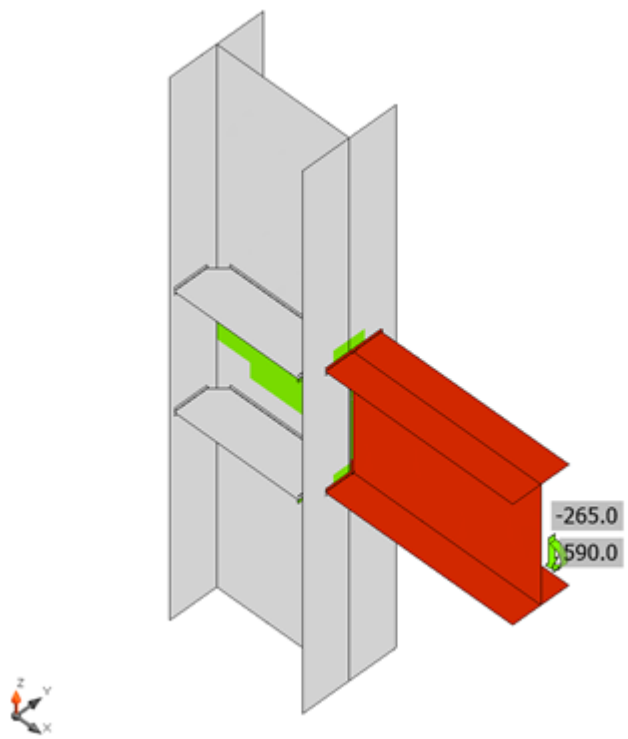
| Nombre | Material | $F_y$ [MPa] | Espesor [mm] | Cargas | $\sigma_{Ed}$ [MPa] | $\varepsilon_{Pl}$ [%] | Estado de la verificación |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| C-bfl 1 | A572 Gr.50 | 344.7 | 26.0 | LE1 | 297.8 | 0.0 | Aceptar |
| C-tfl 1 | A572 Gr.50 | 344.7 | 26.0 | LE1 | 139.7 | 0.0 | Aceptar |
| C-w 1 | A572 Gr.50 | 344.7 | 14.0 | LE1 | 310.9 | 0.3 | Aceptar |
| B-bfl 1 | A36 | 248.2 | 13.5 | LE1 | 470.2 | 123.3 | **Incorrecto!** |
| B-tfl 1 | A36 | 248.2 | 13.5 | LE1 | 470.2 | 123.3 | **Incorrecto!** |
| B-w 1 | A36 | 248.2 | 8.6 | LE1 | 442.5 | 109.5 | **Incorrecto!** |
| STIFF1a | A572 Gr.50 | 344.7 | 14.0 | LE1 | 187.2 | 0.0 | Aceptar |
| STIFF1b | A572 Gr.50 | 344.7 | 14.0 | LE1 | 187.2 | 0.0 | Aceptar |
| STIFF1c | A572 Gr.50 | 344.7 | 14.0 | LE1 | 187.2 | 0.0 | Aceptar |
| STIFF1d | A572 Gr.50 | 344.7 | 14.0 | LE1 | 187.2 | 0.0 | Aceptar |

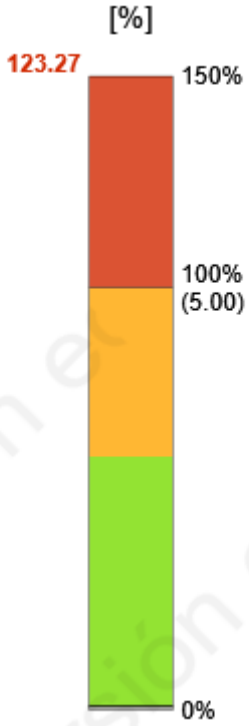
**Datos de diseño**

| Material | fy [MPa] | $\varepsilon_{lim}$ [%] |
|---|---|---|
| A572 Gr.50 | 344.7 | 5.0 |
| A36 | 248.2 | 5.0 |

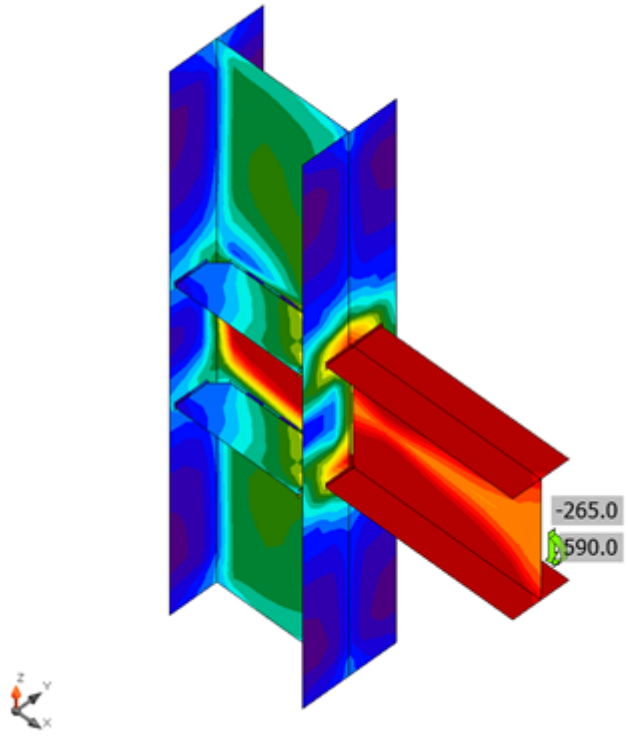


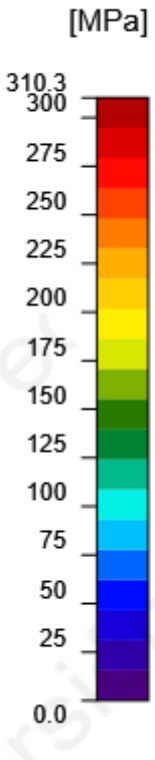
*Verificación general, LE1*




*Verificación de deformación, LE1*




*Tensión equivalente, LE1*

## Soldaduras

| Ítem | Borde | Xu | $T_h$ [mm] | $L_s$ [mm] | L [mm] | $L_c$ [mm] | $F_n$ [kN] | $\phi R_n$ [kN] | Ut [%] | Estado |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| C-bfl 1 | B-bfl 1 | E70xx | ◢5.7◣ | ◢8.0◣ | 180 | 45 | 222.6 | 79.3 | 280.6 | Incorrecto! |
| | | E70xx | ◢5.7◣ | ◢8.0◣ | 180 | 45 | 231.5 | 79.8 | 289.9 | Incorrecto! |
| C-bfl 1 | B-tfl 1 | E70xx | ◢5.7◣ | ◢8.0◣ | 180 | 45 | 231.5 | 79.8 | 289.9 | Incorrecto! |
| | | E70xx | ◢5.7◣ | ◢8.0◣ | 180 | 45 | 222.6 | 79.3 | 280.6 | Incorrecto! |
| C-bfl 1 | B-w 1 | E70xx | ◢5.7◣ | ◢8.0◣ | 386 | 48 | 120.9 | 86.7 | 139.4 | Incorrecto! |
| | | E70xx | ◢5.7◣ | ◢8.0◣ | 386 | 48 | 120.9 | 86.7 | 139.4 | Incorrecto! |
| C-bfl 1 | STIFF1a | E70xx | ◢5.7◣ | ◢8.0◣ | 105 | 52 | 78.6 | 96.7 | 81.3 | Aceptar |
| | | E70xx | ◢5.7◣ | ◢8.0◣ | 105 | 52 | 78.7 | 96.7 | 81.4 | Aceptar |
| C-w 1 | STIFF1a | E70xx | ◢5.7◣ | ◢8.0◣ | 321 | 54 | 44.1 | 65.9 | 66.9 | Aceptar |
| | | E70xx | ◢5.7◣ | ◢8.0◣ | 321 | 54 | 44.0 | 66.0 | 66.6 | Aceptar |
| C-tfl 1 | STIFF1a | E70xx | ◢5.7◣ | ◢8.0◣ | 105 | 52 | 29.4 | 83.6 | 35.2 | Aceptar |
| | | E70xx | ◢5.7◣ | ◢8.0◣ | 105 | 52 | 25.1 | 74.5 | 33.8 | Aceptar |
| C-bfl 1 | STIFF1b | E70xx | ◢5.7◣ | ◢8.0◣ | 105 | 52 | 78.7 | 96.7 | 81.4 | Aceptar |
| | | E70xx | ◢5.7◣ | ◢8.0◣ | 105 | 52 | 78.6 | 96.7 | 81.3 | Aceptar |
| C-w 1 | STIFF1b | E70xx | ◢5.7◣ | ◢8.0◣ | 321 | 54 | 44.0 | 66.0 | 66.6 | Aceptar |
| | | E70xx | ◢5.7◣ | ◢8.0◣ | 321 | 54 | 44.1 | 65.9 | 66.9 | Aceptar |
| C-tfl 1 | STIFF1b | E70xx | ◢5.7◣ | ◢8.0◣ | 105 | 52 | 25.1 | 74.5 | 33.8 | Aceptar |
| | | E70xx | ◢5.7◣ | ◢8.0◣ | 105 | 52 | 29.4 | 83.6 | 35.2 | Aceptar |
| C-bfl 1 | STIFF1c | E70xx | ◢5.7◣ | ◢8.0◣ | 105 | 52 | 78.7 | 96.7 | 81.4 | Aceptar |
| | | E70xx | ◢5.7◣ | ◢8.0◣ | 105 | 52 | 78.6 | 96.7 | 81.3 | Aceptar |
| C-w 1 | STIFF1c | E70xx | ◢5.7◣ | ◢8.0◣ | 321 | 54 | 44.0 | 66.0 | 66.6 | Aceptar |
| | | E70xx | ◢5.7◣ | ◢8.0◣ | 321 | 54 | 44.1 | 65.9 | 66.9 | Aceptar |
| C-tfl 1 | STIFF1c | E70xx | ◢5.7◣ | ◢8.0◣ | 105 | 52 | 25.1 | 74.5 | 33.8 | Aceptar |
| | | E70xx | ◢5.7◣ | ◢8.0◣ | 105 | 52 | 29.4 | 83.6 | 35.2 | Aceptar |
| C-bfl 1 | STIFF1d | E70xx | ◢5.7◣ | ◢8.0◣ | 105 | 52 | 78.6 | 96.7 | 81.3 | Aceptar |
| | | E70xx | ◢5.7◣ | ◢8.0◣ | 105 | 52 | 78.7 | 96.7 | 81.4 | Aceptar |
| C-w 1 | STIFF1d | E70xx | ◢5.7◣ | ◢8.0◣ | 321 | 54 | 44.1 | 65.9 | 66.9 | Aceptar |
| | | E70xx | ◢5.7◣ | ◢8.0◣ | 321 | 54 | 44.0 | 66.0 | 66.6 | Aceptar |
| C-tfl 1 | STIFF1d | E70xx | ◢5.7◣ | ◢8.0◣ | 105 | 52 | 29.4 | 83.6 | 35.2 | Aceptar |
| | | E70xx | ◢5.7◣ | ◢8.0◣ | 105 | 52 | 25.1 | 74.5 | 33.8 | Aceptar |

**Resultado detallado para C-bfl 1 / B-bfl 1 - 1**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 79.3 kN < $F_n =$ 222.6 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 415.9 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 66.0° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 254 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-bfl 1 / B-bfl 1 - 2**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 79.8 kN < $F_n =$ 231.5 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 418.6 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 67.8° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 254 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-bfl 1 / B-tfl 1 - 1**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 79.8 kN < $F_n =$ 231.5 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 418.6 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 67.8° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 254 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-bfl 1 / B-tfl 1 - 2**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 79.3 kN < $F_n =$ 222.6 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 415.9 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 66.0° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 254 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-bfl 1 / B-w 1 - 1**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 86.7 kN < $F_n =$ 120.9 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 423.5 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 71.6° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 273 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-bfl 1 / B-w 1 - 2**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 86.7 kN < $F_n =$ 120.9 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 423.5 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 71.6° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 273 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-bfl 1 / STIFF1a - 1**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 96.7 kN ≥ $F_n =$ 78.6 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 434.3 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 89.0° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 297 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-bfl 1 / STIFF1a - 2**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 96.7 kN ≥ $F_n =$ 78.7 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 434.4 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 89.8° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 297 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-w 1 / STIFF1a - 1**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 65.9 kN ≥ $F_n =$ 44.1 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 289.9 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 0.9° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 303 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-w 1 / STIFF1a - 2**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 66.0 kN ≥ $F_n =$ 44.0 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 290.5 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 2.0° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 303 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-tfl 1 / STIFF1a - 1**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 83.6 kN ≥ $F_n =$ 29.4 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 375.8 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 45.1° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 297 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-tfl 1 / STIFF1a - 2**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 74.5 kN ≥ $F_n =$ 25.1 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 334.7 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 27.4° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 297 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-bfl 1 / STIFF1b - 1**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 96.7 kN ≥ $F_n =$ 78.7 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 434.4 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 89.8° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 297 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-bfl 1 / STIFF1b - 2**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 96.7 kN ≥ $F_n =$ 78.6 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 434.3 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 89.0° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 297 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-w 1 / STIFF1b - 1**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 66.0 kN ≥ $F_n =$ 44.0 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 290.5 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 2.0° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 303 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-w 1 / STIFF1b - 2**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 65.9 kN ≥ $F_n =$ 44.1 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 289.9 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 0.9° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 303 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-tfl 1 / STIFF1b - 1**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 74.5 kN ≥ $F_n =$ 25.1 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 334.7 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 27.4° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 297 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-tfl 1 / STIFF1b - 2**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 83.6 kN ≥ $F_n =$ 29.4 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 375.8 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 45.1° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 297 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-bfl 1 / STIFF1c - 1**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 96.7 kN ≥ $F_n =$ 78.7 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 434.4 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 89.8° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 297 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-bfl 1 / STIFF1c - 2**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 96.7 kN ≥ $F_n =$ 78.6 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 434.3 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 89.0° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 297 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-w 1 / STIFF1c - 1**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 66.0 kN ≥ $F_n =$ 44.0 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 290.5 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 2.0° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 303 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-w 1 / STIFF1c - 2**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 65.9 kN ≥ $F_n =$ 44.1 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 289.9 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 0.9° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 303 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-tfl 1 / STIFF1c - 1**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 74.5 kN ≥ $F_n =$ 25.1 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 334.7 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 27.4° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 297 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-tfl 1 / STIFF1c - 2**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 83.6 kN ≥ $F_n =$ 29.4 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 375.8 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 45.1° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 297 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-bfl 1 / STIFF1d - 1**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 96.7 kN ≥ $F_n =$ 78.6 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 434.3 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 89.0° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 297 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-bfl 1 / STIFF1d - 2**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 96.7 kN ≥ $F_n =$ 78.7 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 434.4 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 89.8° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 297 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-w 1 / STIFF1d - 1**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 65.9 kN ≥ $F_n =$ 44.1 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 289.9 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 0.9° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 303 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-w 1 / STIFF1d - 2**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 66.0 kN ≥ $F_n =$ 44.0 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 290.5 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 2.0° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 303 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-tfl 1 / STIFF1d - 1**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 83.6 kN ≥ $F_n =$ 29.4 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 375.8 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 45.1° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 297 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-tfl 1 / STIFF1d - 2**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 74.5 kN ≥ $F_n =$ 25.1 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 334.7 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 27.4° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 297 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

## Pandeo

**El análisis de pandeo no se ha calculado.**

# Listado de material

## Operaciones

| Nombre | Placas [mm] | Forma | Nr. | Soldaduras [mm] | Longitud [mm] | Tornillos | Nr. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| CUT1 | | | | Doble tendón de soldadura: a = 5.7 | 746.5 | | |
| STIFF1 | P14.0x143.0-398.0 (A572 Gr.50) | | 4 | Doble tendón de soldadura: a = 5.7 | 2128.0 | | |

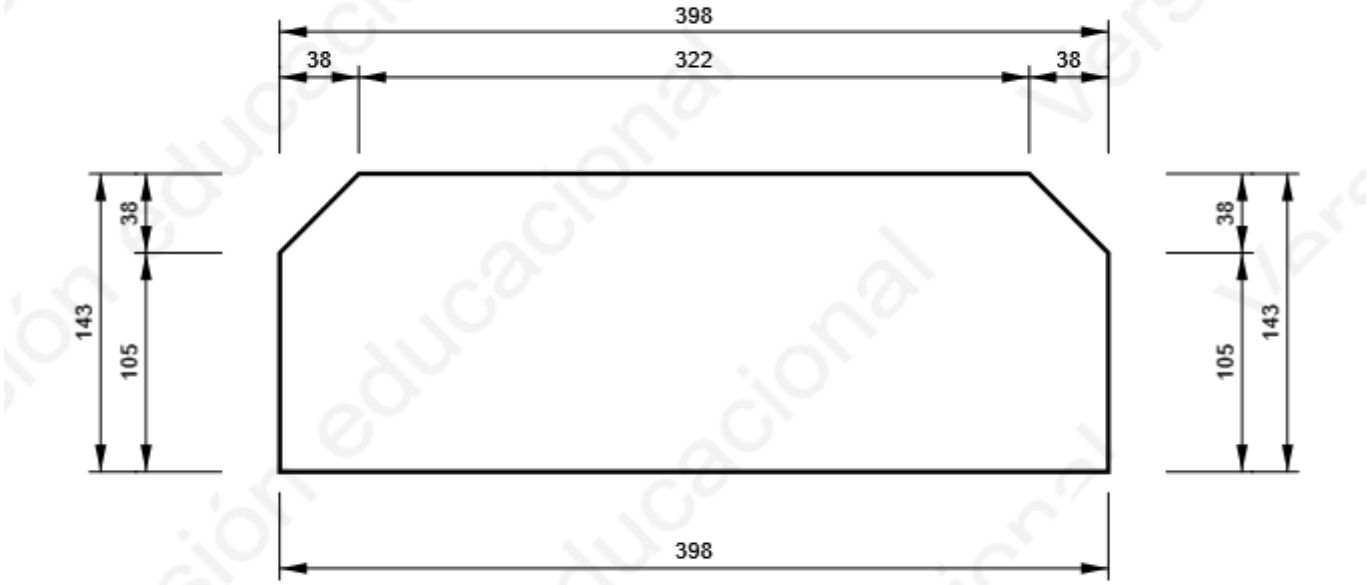
## Soldaduras

| Tipo | Material | Espesor de garganta [mm] | Tamaño de pierna [mm] | Longitud [mm] |
|---|---|---|---|---|
| Doble tendón de soldadura | E70xx | 5.7 | 8.0 | 2874.5 |

## Dibujo

## STIFF1

**P14.0x398-143 (A572 Gr.50)**




Versión educacional

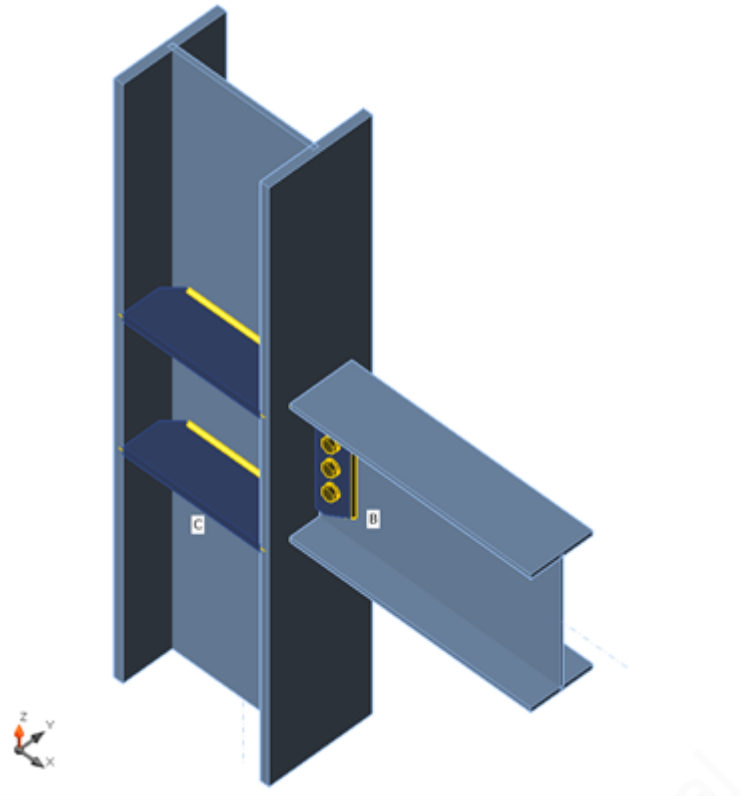
# Ítem del proyecto WUF-360-1

## Diseño

| | |
|---|---|
| Nombre | WUF-360-1 |
| Descripción | Conexion H450-I360 |
| Análisis | Tensión, deformación/ Carga simplificada |
| Normativa de cálculo | AISC - LRFD |

### Elementos estructurales

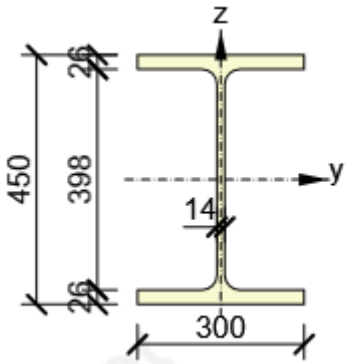
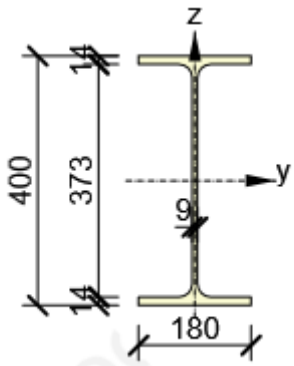
| Nombre | Sección transversal | β – Dirección [°] | γ - Inclinación [°] | α - Rotación [°] | Desplazamiento ex [mm] | Desplazamiento ey [mm] | Desplazamiento ez [mm] | Fuerzas en |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| C | 7 - HEB450 | 0.0 | -90.0 | 0.0 | 0 | 0 | 0 | Nudo |
| B | 8 - IPE400 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0 | 0 | 0 | Nudo |




### Secciones

| Nombre | Material |
|---|---|
| 7 - HEB450 | A572 Gr.50 |
| 8 - IPE400 | A36 |

## Secciones

| Nombre | Material | Dibujo |
|---|---|---|
| 7 - HEB450 | A572 Gr.50 |   |
| 8 - IPE400 | A36 |   |

## Tornillos

| Nombre | Conjunto de tornillo | Diámetro [mm] | fu [MPa] | Área bruta [mm$^2$] |
|---|---|---|---|---|
| 3/4 A325 | 3/4 A325 | 19 | 825.0 | 285 |

## Cargas (No se requiere el equilibro)

| Nombre | Elemento | N [kN] | Vy [kN] | Vz [kN] | Mx [kNm] | My [kNm] | Mz [kNm] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| LE1 | B | 0.0 | 0.0 | -209.0 | 0.0 | 460.0 | 0.0 |

# Verificación

## Resumen

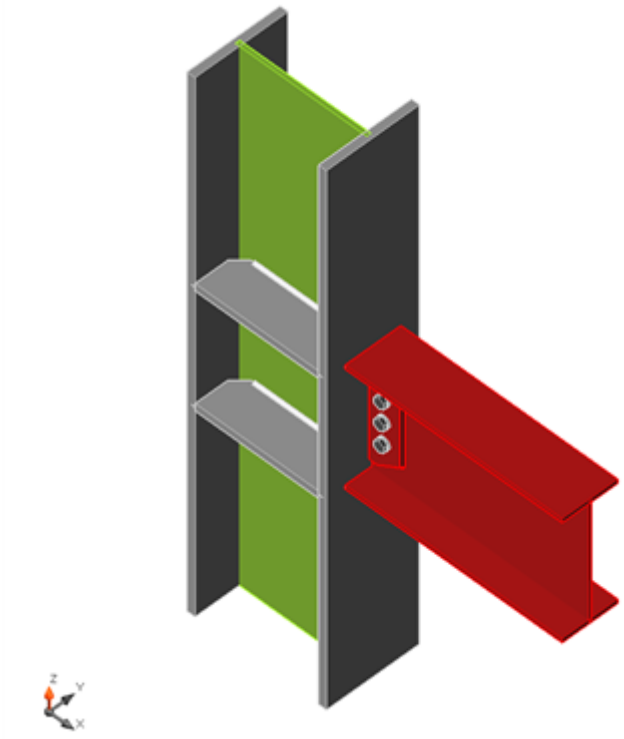
| Nombre | Valor | Estado de la verificación |
|---|---|---|
| Análisis | 100.0% | Aceptar |
| Placas | 51.1 > 5% | **Incorrecto!** |
| Tornillos | 38.6 < 100% | Aceptar |
| Soldaduras | 160.1 > 100% | **Incorrecto!** |
| Pandeo | No calculado | |

## Placas

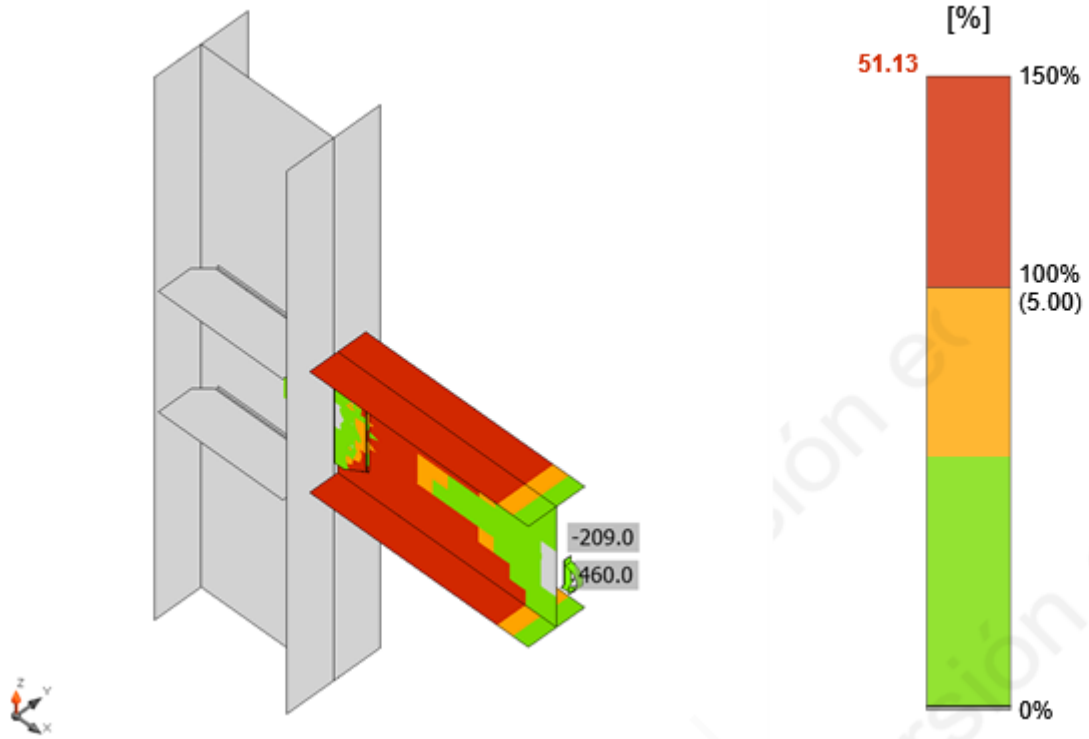
| Nombre | Material | $F_y$ [MPa] | Espesor [mm] | Cargas | $\sigma_{Ed}$ [MPa] | $\varepsilon_{Pl}$ [%] | Estado de la verificación |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| C-bfl 1 | A572 Gr.50 | 344.7 | 26.0 | LE1 | 152.1 | 0.0 | Aceptar |
| C-tfl 1 | A572 Gr.50 | 344.7 | 26.0 | LE1 | 102.8 | 0.0 | Aceptar |
| C-w 1 | A572 Gr.50 | 344.7 | 14.0 | LE1 | 310.3 | 0.0 | Aceptar |
| B-bfl 1 | A36 | 248.2 | 13.5 | LE1 | 315.8 | 46.2 | **Incorrecto!** |
| B-tfl 1 | A36 | 248.2 | 13.5 | LE1 | 316.0 | 46.2 | **Incorrecto!** |
| B-w 1 | A36 | 248.2 | 8.6 | LE1 | 325.8 | 51.1 | **Incorrecto!** |
| STIFF1a | A572 Gr.50 | 344.7 | 24.0 | LE1 | 176.4 | 0.0 | Aceptar |
| STIFF1b | A572 Gr.50 | 344.7 | 24.0 | LE1 | 197.1 | 0.0 | Aceptar |
| STIFF1c | A572 Gr.50 | 344.7 | 24.0 | LE1 | 175.0 | 0.0 | Aceptar |
| STIFF1d | A572 Gr.50 | 344.7 | 24.0 | LE1 | 196.2 | 0.0 | Aceptar |
| FP1 | A36 | 248.2 | 10.0 | LE1 | 277.0 | 26.8 | **Incorrecto!** |

### Datos de diseño

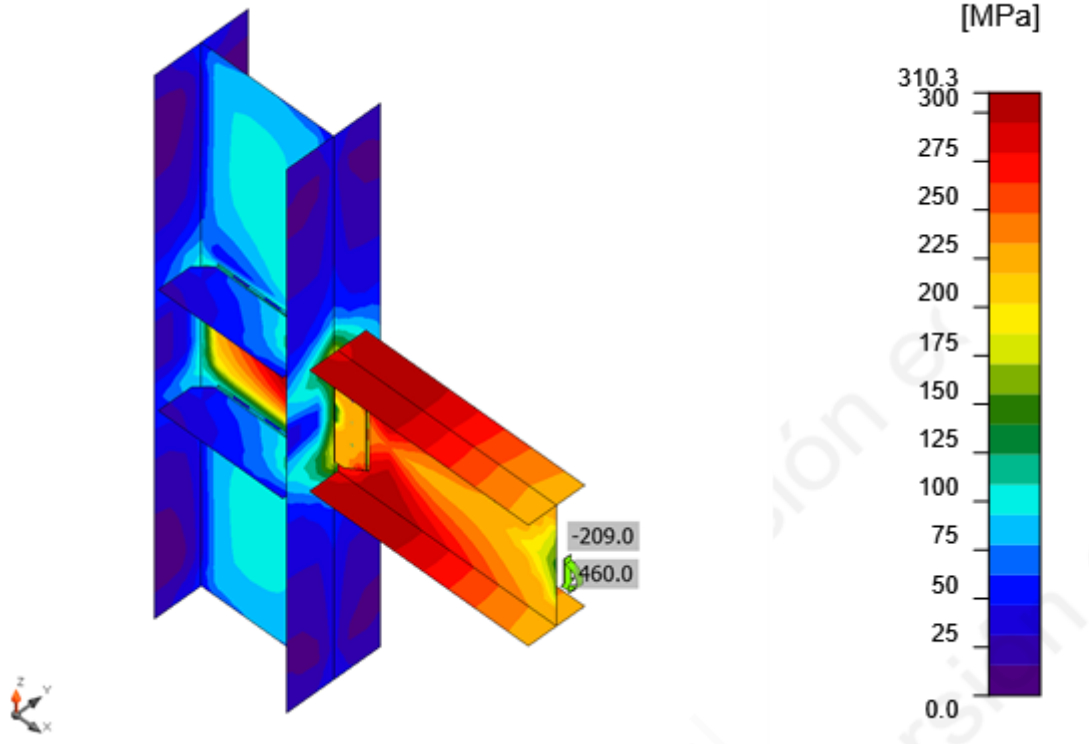
| Material | fy [MPa] | $\varepsilon_{lim}$ [%] |
|---|---|---|
| A572 Gr.50 | 344.7 | 5.0 |
| A36 | 248.2 | 5.0 |



*Verificación general, LE1*




*Verificación de deformación, LE1*




*Tensión equivalente, LE1*

## Tornillos

| Forma | Ítem | Calidad | Cargas | $F_t$ [kN] | V [kN] | $\phi R_{n,portante}$ [kN] | $Ut_t$ [%] | $Ut_s$ [%] | $Ut_{ts}$ [%] | Estado |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | B3 | 3/4 A325 - 1 | LE1 | 51.1 | 4.7 | 118.0 | 38.6 | 5.9 | - | Aceptar |
| | B4 | 3/4 A325 - 1 | LE1 | 19.6 | 6.9 | 118.0 | 14.8 | 8.7 | - | Aceptar |
| | B5 | 3/4 A325 - 1 | LE1 | 19.5 | 9.0 | 118.0 | 14.7 | 11.4 | - | Aceptar |



**Datos de diseño**

| Calidad | $\phi R_{n,tracción}$ [kN] | $\phi R_{n,cortante}$ [kN] |
|---|---|---|
| 3/4 A325 - 1 | 132.5 | 79.5 |

**Resultado detallado para B3**

**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b = \quad 132.5 \quad \text{kN} \quad \geq \quad F_t = \quad 51.1 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$F_{nt} = 620.0$ MPa – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2

$A_b = 285$ mm$^2$ – Área bruta del tornillo

$\phi = 0.75$ – factor de capacidad

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b = \quad 79.5 \quad \text{kN} \quad \geq \quad V = \quad 4.7 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$F_{nv} = 372.0$ MPa – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2

$A_b = 285$ mm$^2$ – Área bruta del tornillo

$\phi = 0.75$ – factor de capacidad

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \quad \leq \quad 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$$

$$\phi R_n = \quad 118.0 \quad \text{kN} \quad \geq \quad V = \quad 4.7 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$l_c = 49$ mm – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material

$t = 9$ mm – espesor de la placa

$d = 19$ mm – dimámetro del tornillo

$F_u = 400.0$ MPa – resistencia a tracción del material conectado

$\phi = 0.75$ – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-2)

*La tensión requerida, a cortante o en tracción, es menor o igual al 30% de la resistencia y los efectos de las tensiones combinadas no*

*necesitan ser evaluadas.*

**Resultado detallado para B4**

**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b =$ 132.5 kN ≥ $F_t =$ 19.6 kN

*Donde:*

$F_{nt} =$ 620.0 MPa – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2
$A_b =$ 285 mm$^2$ – Área bruta del tornillo
$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b =$ 79.5 kN ≥ $V =$ 6.9 kN

*Donde:*

$F_{nv} =$ 372.0 MPa – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2
$A_b =$ 285 mm$^2$ – Área bruta del tornillo
$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \leq 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$

$\phi R_n =$ 118.0 kN ≥ $V =$ 6.9 kN

*Donde:*

$l_c =$ 49 mm – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material
$t =$ 9 mm – espesor de la placa
$d =$ 19 mm – dimámetro del tornillo
$F_u =$ 400.0 MPa – resistencia a tracción del material conectado
$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-2)

*La tensión requerida, a cortante o en tracción, es menor o igual al 30% de la resistencia y los efectos de las tensiones combinadas no necesitan ser evaluadas.*

**Resultado detallado para B5**

**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b = \quad 132.5 \quad \text{kN} \quad \geq \quad F_t = \quad 19.5 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$F_{nt} =$ 620.0 MPa – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2

$A_b =$ 285 mm$^2$ – Área bruta del tornillo

$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b = \quad 79.5 \quad \text{kN} \quad \geq \quad V = \quad 9.0 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$F_{nv} =$ 372.0 MPa – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2

$A_b =$ 285 mm$^2$ – Área bruta del tornillo

$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \quad \leq \quad 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$$

$$\phi R_n = \quad 118.0 \quad \text{kN} \quad \geq \quad V = \quad 9.0 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$l_c =$ 61 mm – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material

$t =$ 9 mm – espesor de la placa

$d =$ 19 mm – dimámetro del tornillo

$F_u =$ 400.0 MPa – resistencia a tracción del material conectado

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-2)

*La tensión requerida, a cortante o en tracción, es menor o igual al 30% de la resistencia y los efectos de las tensiones combinadas no necesitan ser evaluadas.*

## Soldaduras

| Ítem | Borde | Xu | $T_h$ [mm] | $L_s$ [mm] | L [mm] | $L_c$ [mm] | $F_n$ [kN] | $\phi R_n$ [kN] | Ut [%] | Estado |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| C-bfl 1 | B-bfl 1 | E70xx | - | - | 180 | - | - | - | - | Aceptar |
| C-bfl 1 | B-tfl 1 | E70xx | - | - | 180 | - | - | - | - | Aceptar |
| C-bfl 1 | B-w 1 | E70xx | - | - | 387 | - | - | - | - | Aceptar |
| C-bfl 1 | FP1 | E70xx | - | - | 312 | - | - | - | - | Aceptar |
| C-w 1 | STIFF1b | E70xx | ◢5.7◣ | ◢8.0◣ | 300 | 50 | 36.1 | 70.1 | 51.6 | Aceptar |
| | | E70xx | ◢5.7◣ | ◢8.0◣ | 300 | 50 | 35.4 | 64.3 | 55.1 | Aceptar |
| C-bfl 1 | STIFF1b | E70xx | - | - | 105 | - | - | - | - | Aceptar |
| C-tfl 1 | STIFF1b | E70xx | - | - | 105 | - | - | - | - | Aceptar |
| C-w 1 | STIFF1d | E70xx | ◢5.7◣ | ◢8.0◣ | 300 | 50 | 35.3 | 64.3 | 54.9 | Aceptar |
| | | E70xx | ◢5.7◣ | ◢8.0◣ | 300 | 50 | 36.0 | 70.1 | 51.4 | Aceptar |
| C-bfl 1 | STIFF1d | E70xx | - | - | 105 | - | - | - | - | Aceptar |
| C-tfl 1 | STIFF1d | E70xx | - | - | 105 | - | - | - | - | Aceptar |
| C-w 1 | STIFF1a | E70xx | ◢5.7◣ | ◢8.0◣ | 300 | 50 | 34.2 | 64.4 | 53.1 | Aceptar |
| | | E70xx | ◢5.7◣ | ◢8.0◣ | 300 | 50 | 34.8 | 70.9 | 49.1 | Aceptar |
| C-tfl 1 | STIFF1a | E70xx | - | - | 105 | - | - | - | - | Aceptar |
| C-bfl 1 | STIFF1a | E70xx | - | - | 105 | - | - | - | - | Aceptar |
| C-w 1 | STIFF1c | E70xx | ◢5.7◣ | ◢8.0◣ | 300 | 50 | 34.7 | 70.9 | 48.9 | Aceptar |
| | | E70xx | ◢5.7◣ | ◢8.0◣ | 300 | 50 | 34.1 | 64.4 | 52.9 | Aceptar |
| C-bfl 1 | STIFF1c | E70xx | - | - | 105 | - | - | - | - | Aceptar |
| C-tfl 1 | STIFF1c | E70xx | - | - | 105 | - | - | - | - | Aceptar |
| B-w 1 | FP1 | E70xx | ◢5.7 | ◢8.0 | 227 | 19 | 33.2 | 29.0 | 114.2 | **Incorrecto!** |
| B-w 1 | FP1 | E70xx | ◢5.7 | ◢8.0 | 32 | 16 | 33.5 | 25.0 | 134.0 | **Incorrecto!** |
| B-w 1 | FP1 | E70xx | ◢5.7 | ◢8.0 | 32 | 16 | 34.5 | 21.6 | 160.1 | **Incorrecto!** |

**Resultado detallado para C-bfl 1 / B-bfl 1 - 1**

*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

**Resultado detallado para C-bfl 1 / B-tfl 1 - 1**

*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

**Resultado detallado para C-bfl 1 / B-w 1 - 1**

*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

**Resultado detallado para C-bfl 1 / FP1 - 1**

*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

**Resultado detallado para C-w 1 / STIFF1b - 1**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 70.1 kN ≥ $F_n =$ 36.1 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 330.7 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 25.6° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 283 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-w 1 / STIFF1b - 2**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 64.3 kN ≥ $F_n =$ 35.4 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 303.4 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 12.0° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 283 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-bfl 1 / STIFF1b - 1**

*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

**Resultado detallado para C-tfl 1 / STIFF1b - 1**

*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

**Resultado detallado para C-w 1 / STIFF1d - 1**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 64.3 kN ≥ $F_n =$ 35.3 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 303.4 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 12.1° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 283 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-w 1 / STIFF1d - 2**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 70.1 kN ≥ $F_n =$ 36.0 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 330.7 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 25.6° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 283 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-bfl 1 / STIFF1d - 1**

*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

**Resultado detallado para C-tfl 1 / STIFF1d - 1**

*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

**Resultado detallado para C-w 1 / STIFF1a - 1**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 64.4 kN ≥ $F_n =$ 34.2 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 304.0 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 12.4° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 283 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-w 1 / STIFF1a - 2**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 70.9 kN ≥ $F_n =$ 34.8 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 334.5 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 27.3° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 283 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-tfl 1 / STIFF1a - 1**

*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

**Resultado detallado para C-bfl 1 / STIFF1a - 1**

*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

**Resultado detallado para C-w 1 / STIFF1c - 1**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 70.9 kN ≥ $F_n =$ 34.7 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 334.6 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 27.3° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 283 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-w 1 / STIFF1c - 2**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 64.4 kN ≥ $F_n =$ 34.1 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 304.1 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 12.4° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 283 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-bfl 1 / STIFF1c - 1**

*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

**Resultado detallado para C-tfl 1 / STIFF1c - 1**

*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

**Resultado detallado para B-w 1 / FP1 - 1**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 29.0 kN < $F_n =$ 33.2 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 362.5 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 39.3° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 107 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para B-w 1 / FP1 - 1**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 25.0 kN < $F_n =$ 33.5 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 371.2 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 43.0° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 90 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para B-w 1 / FP1 - 1**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 21.6 kN < $F_n =$ 34.5 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 314.6 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 18.1° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 91 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

## Pandeo

**El análisis de pandeo no se ha calculado.**

# Listado de material

## Operaciones

| Nombre | Placas [mm] | Forma | Nr. | Soldaduras [mm] | Longitud [mm] | Tornillos | Nr. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| CUT1 | | | | Bisel: a = 13.5<br>Bisel: a = 8.6 | 360.0<br>386.5 | | |
| STIFF1 | P24.0x143.0-398.0 (A572 Gr.50) | | 4 | | | | |
| FP1 | P10.0x100.0-312.0 (A36) | | 1 | Bisel: a = 10.0 | 312.0 | 3/4 A325 | 3 |

## Soldaduras

| Tipo | Material | Espesor de garganta [mm] | Tamaño de pierna [mm] | Longitud [mm] |
|---|---|---|---|---|
| Bisel | E70xx | - | - | 360.0 |
| Bisel | E70xx | - | - | 386.5 |
| Bisel | E70xx | - | - | 312.0 |
| Doble tendón de soldadura | E70xx | 5.7 | 8.0 | 1200.0 |
| Bisel | E70xx | - | - | 840.0 |
| tendón de soldadura simple | E70xx | 5.7 | 8.0 | 227.8 |
| tendón de soldadura simple | E70xx | 5.7 | 8.0 | 64.2 |

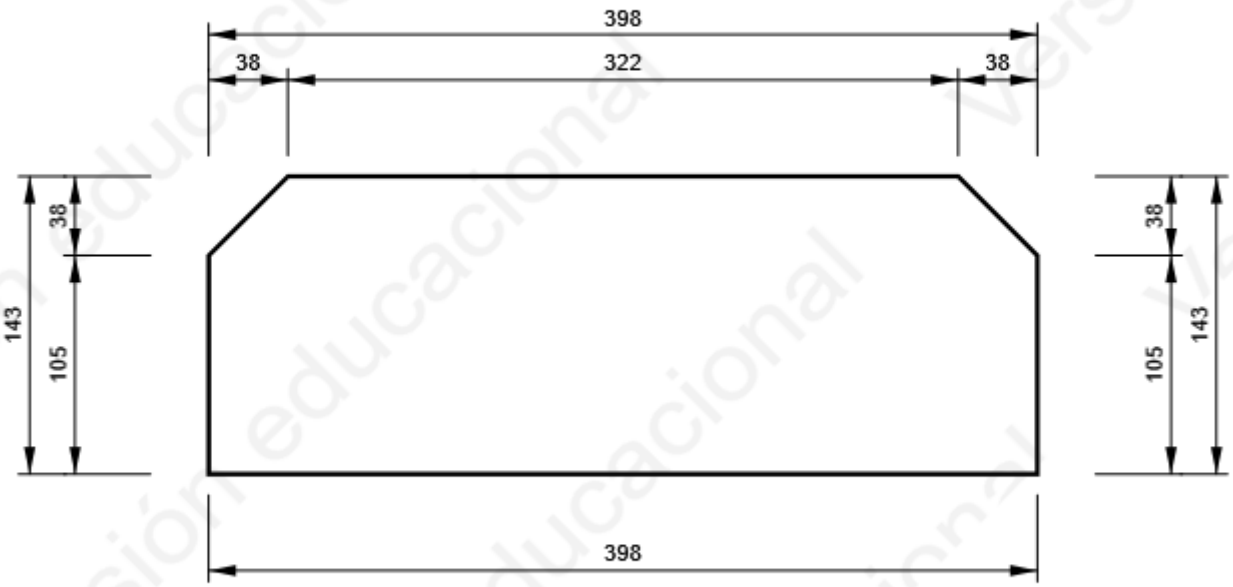
## Tornillos

| Nombre | Longitud de agarre [mm] | Cuenta |
|---|---|---|
| 3/4 A325 | 19 | 3 |

## Dibujo

## STIFF1

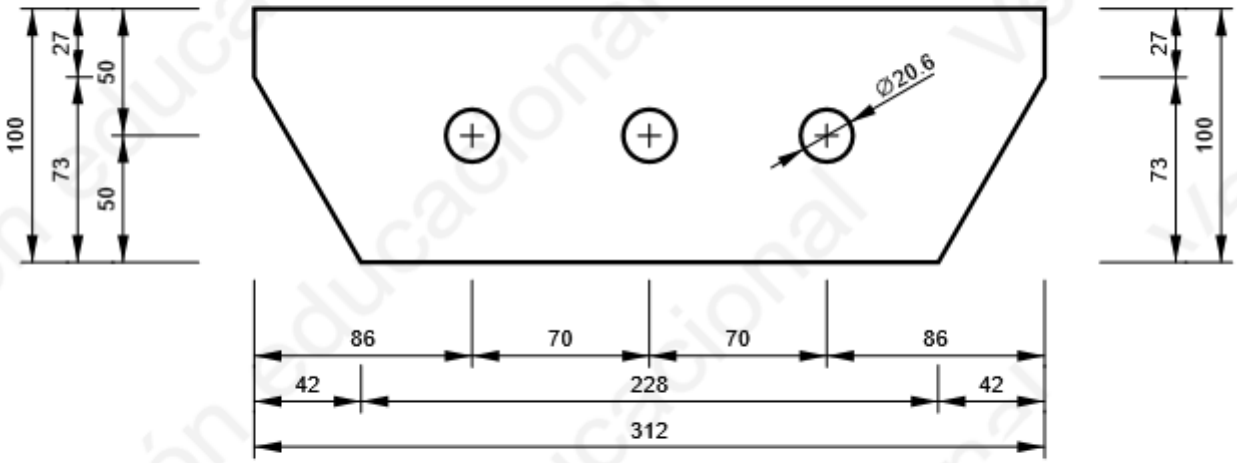
**P24.0x398-143 (A572 Gr.50)**




Versión educacional

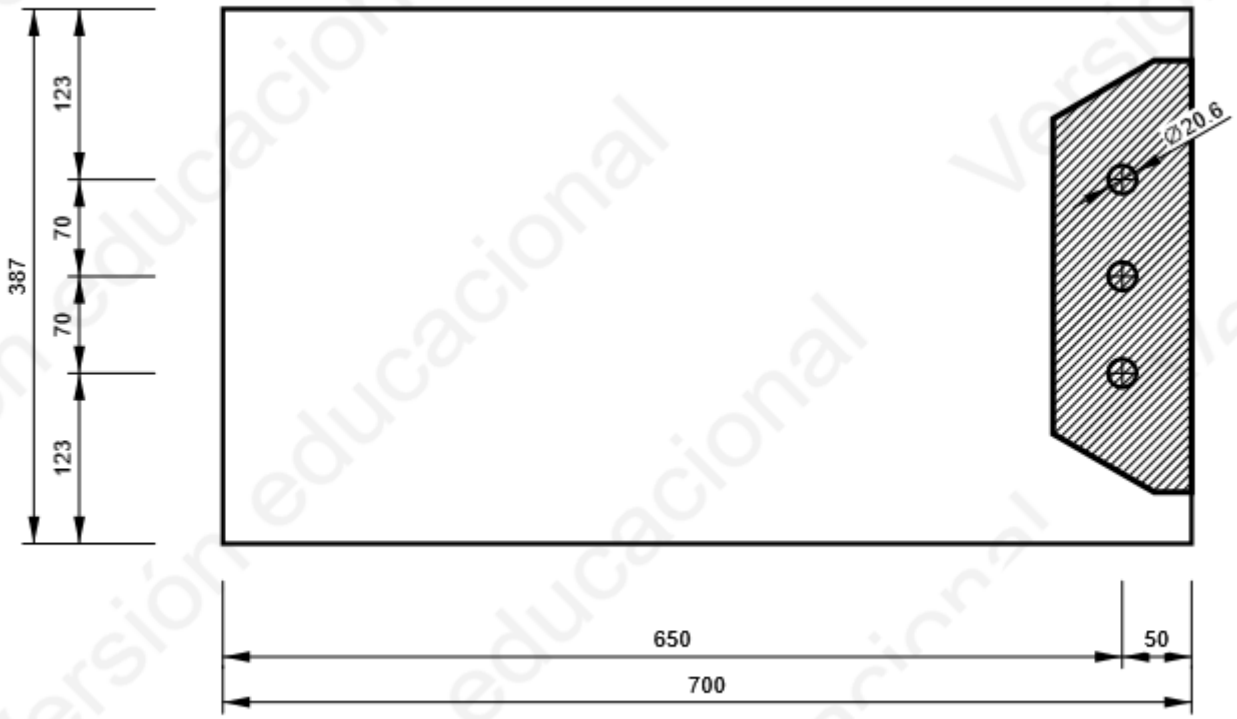
## FP1

**P10.0x312-100 (A36)**




Versión educacional

## B, IPE400 - Alma 1:




Versión educacional

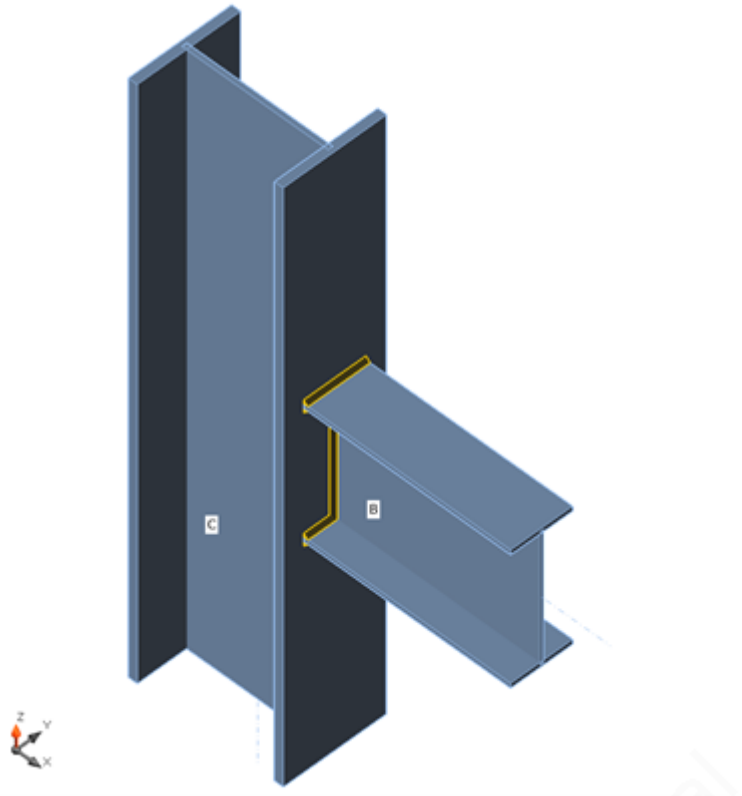
# Ítem del proyecto WUF-360-2

## Diseño

| | |
|---|---|
| Nombre | WUF-360-2 |
| Descripción | Conexion H450-I360 |
| Análisis | Tensión, deformación/ Carga simplificada |
| Normativa de cálculo | AISC - LRFD |

### Elementos estructurales

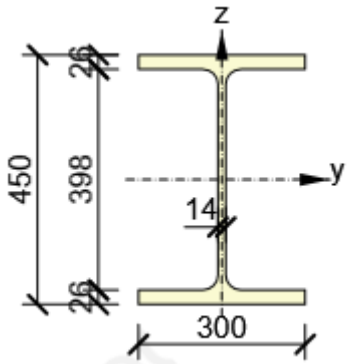
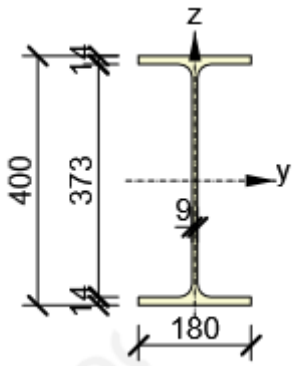
| Nombre | Sección transversal | β – Dirección [°] | γ - Inclinación [°] | α - Rotación [°] | Desplazamiento ex [mm] | Desplazamiento ey [mm] | Desplazamiento ez [mm] | Fuerzas en |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| C | 7 - HEB450 | 0.0 | -90.0 | 0.0 | 0 | 0 | 0 | Nudo |
| B | 8 - IPE400 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0 | 0 | 0 | Nudo |




### Secciones

| Nombre | Material |
|---|---|
| 7 - HEB450 | A572 Gr.50 |
| 8 - IPE400 | A36 |

## Secciones

| Nombre | Material | Dibujo |
|---|---|---|
| 7 - HEB450 | A572 Gr.50 |   |
| 8 - IPE400 | A36 |   |

## Cargas (No se requiere el equilibro)

| Nombre | Elemento | N [kN] | Vy [kN] | Vz [kN] | Mx [kNm] | My [kNm] | Mz [kNm] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| LE1 | B | 0.0 | 0.0 | -209.0 | 0.0 | 460.0 | 0.0 |

# Verificación

## Resumen

| Nombre | Valor | Estado de la verificación |
|---|---|---|
| Análisis | 100.0% | Aceptar |
| Placas | 63.4 > 5% | **Incorrecto!** |
| Soldaduras | 156.1 > 100% | **Incorrecto!** |
| Pandeo | No calculado | |

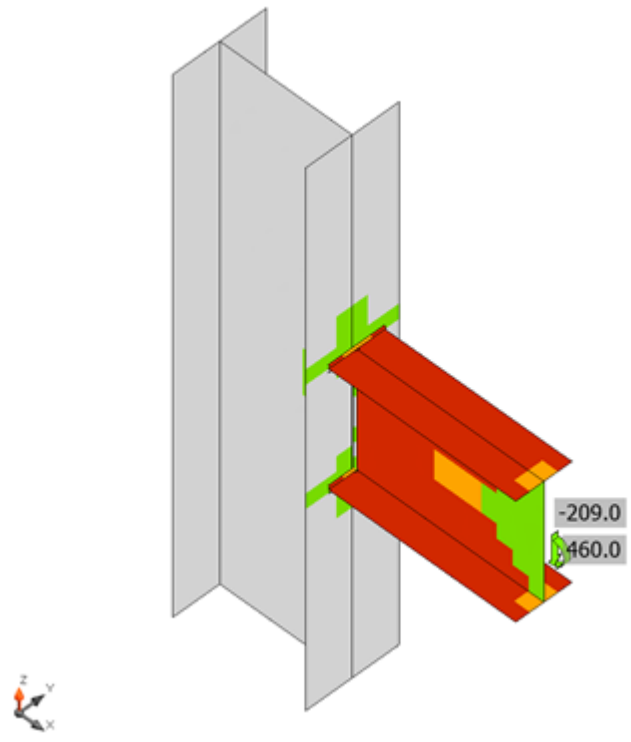
## Placas

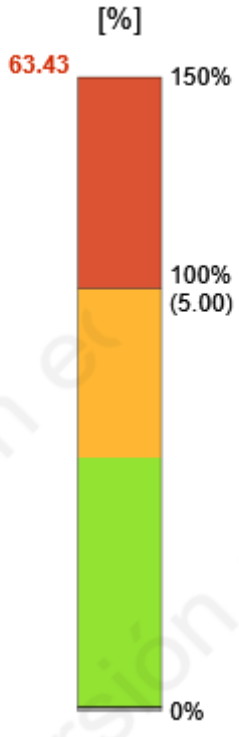
| Nombre | Material | $F_y$ [MPa] | Espesor [mm] | Cargas | $\sigma_{Ed}$ [MPa] | $\varepsilon_{Pl}$ [%] | Estado de la verificación |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| C-bfl 1 | A572 Gr.50 | 344.7 | 26.0 | LE1 | 310.5 | 0.1 | Aceptar |
| C-tfl 1 | A572 Gr.50 | 344.7 | 26.0 | LE1 | 58.8 | 0.0 | Aceptar |
| C-w 1 | A572 Gr.50 | 344.7 | 14.0 | LE1 | 311.8 | 0.8 | Aceptar |
| B-bfl 1 | A36 | 248.2 | 13.5 | LE1 | 350.4 | 63.4 | **Incorrecto!** |
| B-tfl 1 | A36 | 248.2 | 13.5 | LE1 | 350.4 | 63.4 | **Incorrecto!** |
| B-w 1 | A36 | 248.2 | 8.6 | LE1 | 339.4 | 57.9 | **Incorrecto!** |

## Datos de diseño

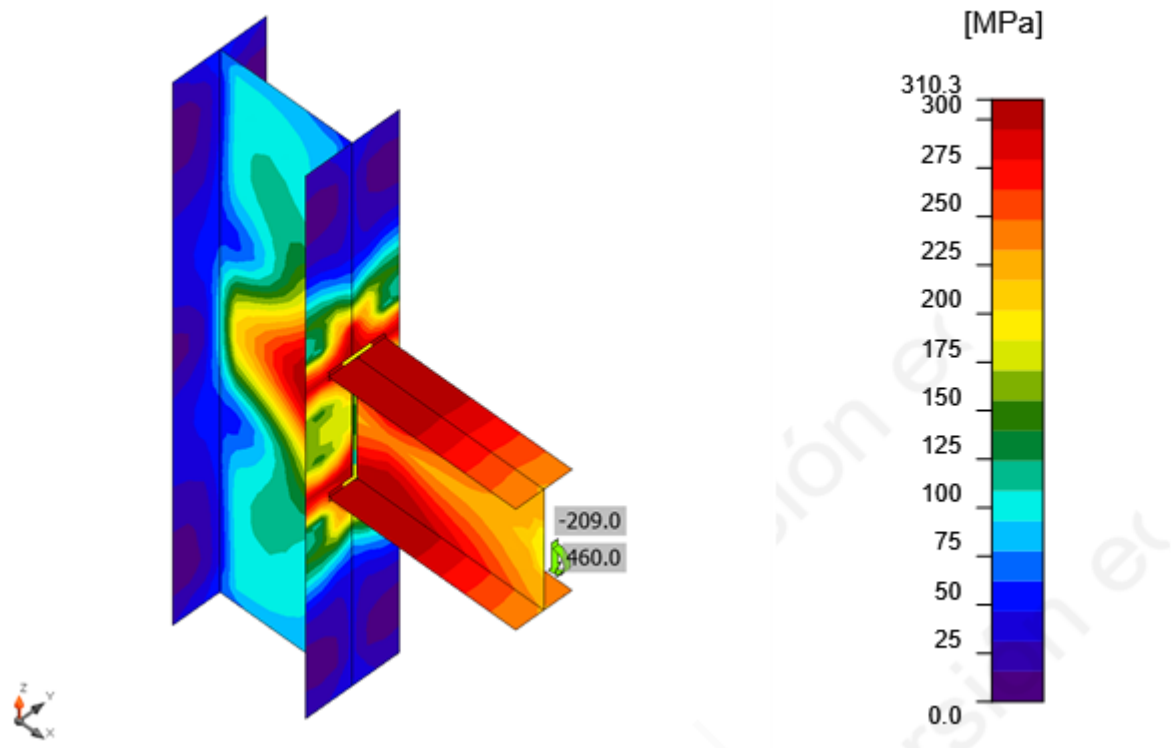
| Material | fy [MPa] | $\varepsilon_{lim}$ [%] |
|---|---|---|
| A572 Gr.50 | 344.7 | 5.0 |
| A36 | 248.2 | 5.0 |

*Verificación general, LE1*




*Verificación de deformación, LE1*




*Tensión equivalente, LE1*

## Soldaduras

| Ítem | Borde | Xu | $T_h$ [mm] | $L_s$ [mm] | L [mm] | $L_c$ [mm] | $F_n$ [kN] | $\phi R_n$ [kN] | Ut [%] | Estado |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| C-bfl 1 | B-bfl 1 | E70xx | ◢8.5◣ | ◢12.0◣ | 180 | 45 | 181.8 | 119.4 | 152.2 | **Incorrecto!** |
| | | E70xx | ◢8.5◣ | ◢12.0◣ | 180 | 45 | 187.4 | 120.1 | 156.1 | **Incorrecto!** |
| C-bfl 1 | B-tfl 1 | E70xx | ◢8.5◣ | ◢12.0◣ | 180 | 45 | 187.4 | 120.1 | 156.1 | **Incorrecto!** |
| | | E70xx | ◢8.5◣ | ◢12.0◣ | 180 | 45 | 181.8 | 119.4 | 152.2 | **Incorrecto!** |
| C-bfl 1 | B-w 1 | E70xx | ◢8.5◣ | ◢12.0◣ | 386 | 48 | 106.6 | 128.4 | 83.0 | Aceptar |
| | | E70xx | ◢8.5◣ | ◢12.0◣ | 386 | 48 | 106.7 | 128.4 | 83.1 | Aceptar |

**Resultado detallado para C-bfl 1 / B-bfl 1 - 1**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} = \quad 119.4 \quad \text{kN} \quad < \quad F_n = \quad 181.8 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$F_{nw} =$ 417.5 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 67.1° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 381 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-bfl 1 / B-bfl 1 - 2**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 120.1 kN < $F_n =$ 187.4 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 419.7 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 68.7° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 381 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-bfl 1 / B-tfl 1 - 1**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 120.1 kN < $F_n =$ 187.4 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 419.7 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 68.7° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 381 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-bfl 1 / B-tfl 1 - 2**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 119.4 kN < $F_n =$ 181.8 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 417.5 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 67.1° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 381 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-bfl 1 / B-w 1 - 1**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 128.4 kN ≥ $F_n =$ 106.6 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 418.2 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 67.5° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 410 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-bfl 1 / B-w 1 - 2**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 128.4 kN ≥ $F_n =$ 106.7 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 418.2 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 67.5° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 410 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

### Pandeo

**El análisis de pandeo no se ha calculado.**

## Listado de material

### Operaciones

| Nombre | Placas [mm] | Forma | Nr. | Soldaduras [mm] | Longitud [mm] | Tornillos | Nr. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| CUT1 | | | | Doble tendón de soldadura: a = 8.5 | 746.5 | | |

### Soldaduras

| Tipo | Material | Espesor de garganta [mm] | Tamaño de pierna [mm] | Longitud [mm] |
|---|---|---|---|---|
| Doble tendón de soldadura | E70xx | 8.5 | 12.0 | 746.5 |

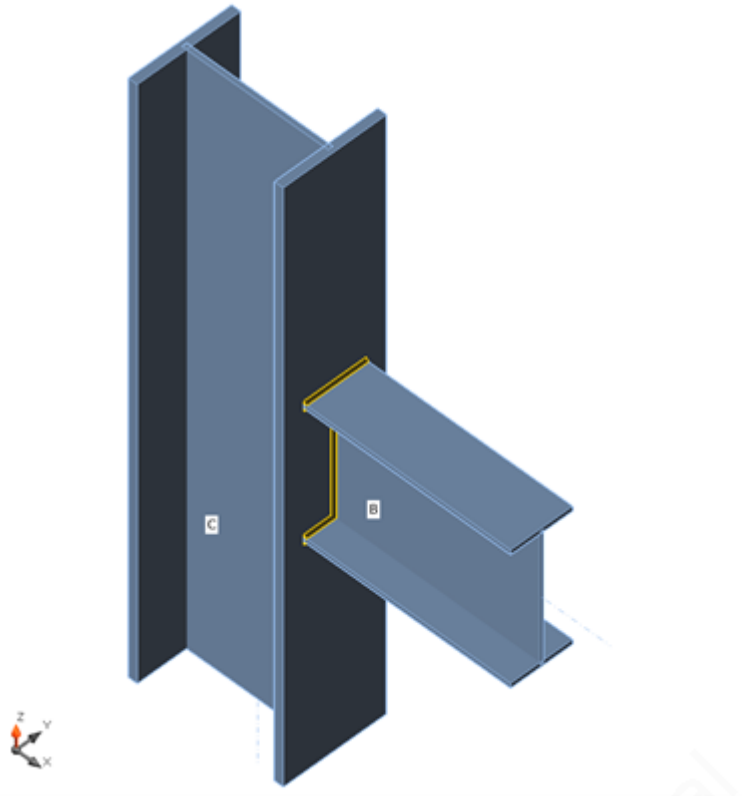
# Ítem del proyecto WUF-360-3

## Diseño

| | |
|---|---|
| Nombre | WUF-360-3 |
| Descripción | Conexion H450-I360 |
| Análisis | Tensión, deformación/ Carga simplificada |
| Normativa de cálculo | AISC - LRFD |

### Elementos estructurales

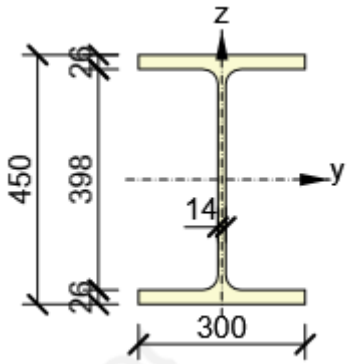
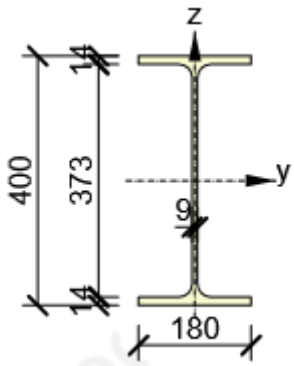
| Nombre | Sección transversal | β – Dirección [°] | γ - Inclinación [°] | α - Rotación [°] | Desplazamiento ex [mm] | Desplazamiento ey [mm] | Desplazamiento ez [mm] | Fuerzas en |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| C | 7 - HEB450 | 0.0 | -90.0 | 0.0 | 0 | 0 | 0 | Nudo |
| B | 8 - IPE400 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0 | 0 | 0 | Nudo |




### Secciones

| Nombre | Material |
|---|---|
| 7 - HEB450 | A572 Gr.50 |
| 8 - IPE400 | A36 |

## Secciones

| Nombre | Material | Dibujo |
|---|---|---|
| 7 - HEB450 | A572 Gr.50 |   |
| 8 - IPE400 | A36 |   |

## Cargas (No se requiere el equilibro)

| Nombre | Elemento | N [kN] | Vy [kN] | Vz [kN] | Mx [kNm] | My [kNm] | Mz [kNm] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| LE1 | B | 0.0 | 0.0 | -209.0 | 0.0 | 460.0 | 0.0 |

# Verificación

## Resumen

| Nombre | Valor | Estado de la verificación |
|---|---|---|
| Análisis | 100.0% | Aceptar |
| Placas | 64.5 > 5% | **Incorrecto!** |
| Soldaduras | 212.8 > 100% | **Incorrecto!** |
| Pandeo | No calculado | |

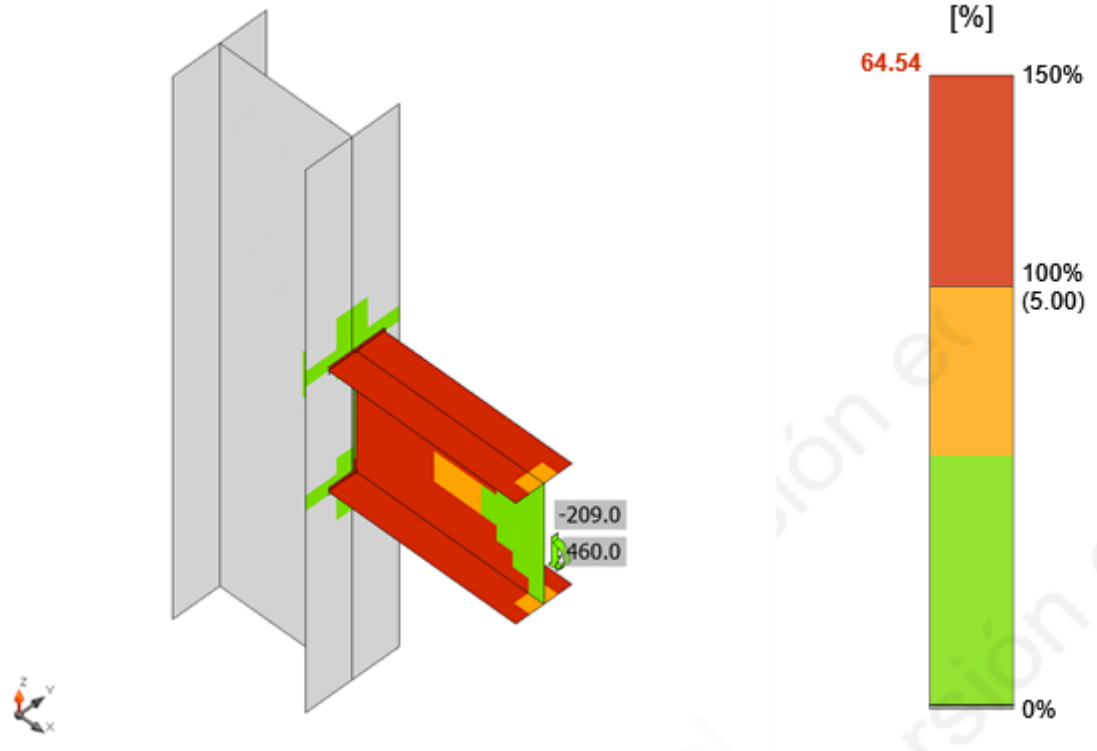
## Placas

| Nombre | Material | $F_y$ [MPa] | Espesor [mm] | Cargas | $\sigma_{Ed}$ [MPa] | $\varepsilon_{Pl}$ [%] | Estado de la verificación |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| C-bfl 1 | A572 Gr.50 | 344.7 | 26.0 | LE1 | 310.5 | 0.1 | Aceptar |
| C-tfl 1 | A572 Gr.50 | 344.7 | 26.0 | LE1 | 58.8 | 0.0 | Aceptar |
| C-w 1 | A572 Gr.50 | 344.7 | 14.0 | LE1 | 311.8 | 0.8 | Aceptar |
| B-bfl 1 | A36 | 248.2 | 13.5 | LE1 | 352.6 | 64.5 | **Incorrecto!** |
| B-tfl 1 | A36 | 248.2 | 13.5 | LE1 | 352.6 | 64.5 | **Incorrecto!** |
| B-w 1 | A36 | 248.2 | 8.6 | LE1 | 340.2 | 58.3 | **Incorrecto!** |

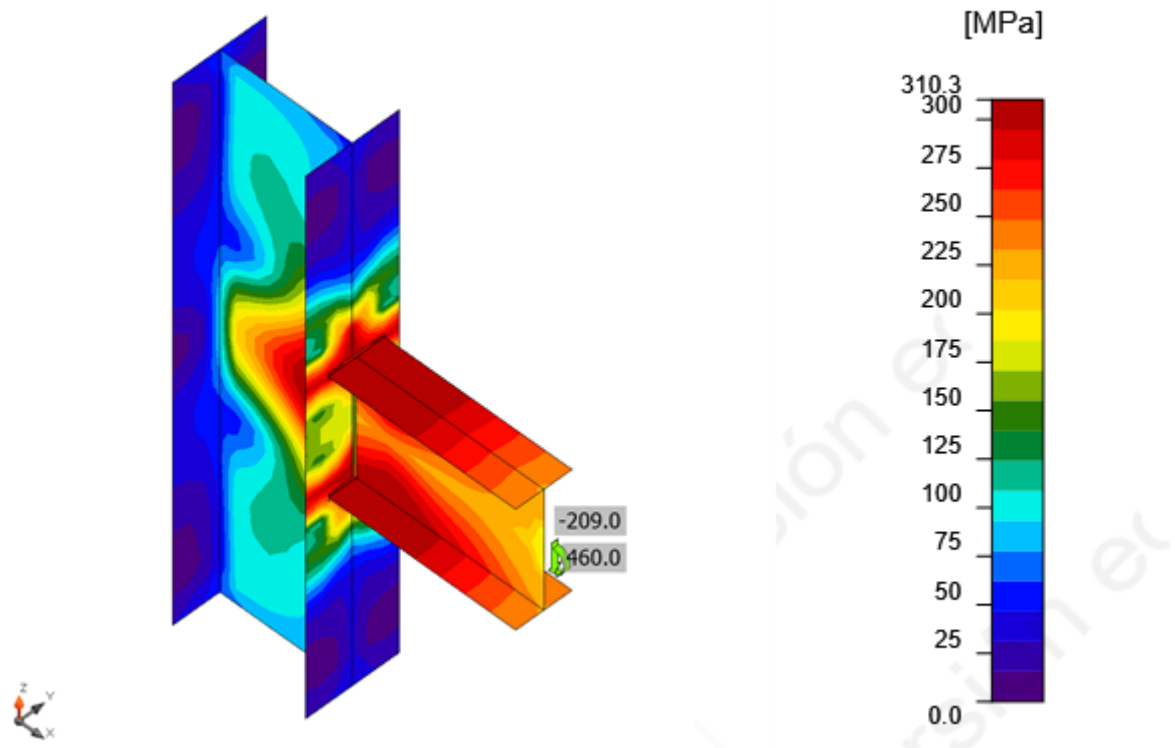
### Datos de diseño

| Material | fy [MPa] | $\varepsilon_{lim}$ [%] |
|---|---|---|
| A572 Gr.50 | 344.7 | 5.0 |
| A36 | 248.2 | 5.0 |

*Verificación general, LE1*




*Verificación de deformación, LE1*




*Tensión equivalente, LE1*

## Soldaduras

| Ítem | Borde | Xu | $T_h$ [mm] | $L_s$ [mm] | L [mm] | $L_c$ [mm] | $F_n$ [kN] | $\phi R_n$ [kN] | Ut [%] | Estado |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| C-bfl 1 | B-bfl 1 | E70xx | ◢5.7◣ | ◢8.0◣ | 180 | 45 | 163.5 | 79.2 | 206.4 | **Incorrecto!** |
| | | E70xx | ◢5.7◣ | ◢8.0◣ | 180 | 45 | 169.7 | 79.8 | 212.8 | **Incorrecto!** |
| C-bfl 1 | B-tfl 1 | E70xx | ◢5.7◣ | ◢8.0◣ | 180 | 45 | 169.7 | 79.8 | 212.8 | **Incorrecto!** |
| | | E70xx | ◢5.7◣ | ◢8.0◣ | 180 | 45 | 163.5 | 79.2 | 206.4 | **Incorrecto!** |
| C-bfl 1 | B-w 1 | E70xx | ◢5.7◣ | ◢8.0◣ | 386 | 48 | 94.1 | 85.8 | 109.7 | **Incorrecto!** |
| | | E70xx | ◢5.7◣ | ◢8.0◣ | 386 | 48 | 94.2 | 85.8 | 109.7 | **Incorrecto!** |

**Resultado detallado para C-bfl 1 / B-bfl 1 - 1**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} = \quad 79.2 \quad \text{kN} \quad < \quad F_n = \quad 163.5 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$F_{nw} =$ 415.5 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 65.7° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 254 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-bfl 1 / B-bfl 1 - 2**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 79.8 kN < $F_n =$ 169.7 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 418.2 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 67.5° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 254 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-bfl 1 / B-tfl 1 - 1**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 79.8 kN < $F_n =$ 169.7 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 418.2 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 67.5° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 254 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-bfl 1 / B-tfl 1 - 2**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 79.2 kN < $F_n =$ 163.5 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 415.5 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 65.6° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 254 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-bfl 1 / B-w 1 - 1**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 85.8 kN < $F_n =$ 94.1 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 419.1 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 68.2° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 273 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-bfl 1 / B-w 1 - 2**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 85.8 kN < $F_n =$ 94.2 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 419.1 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 68.2° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 273 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

## Pandeo

**El análisis de pandeo no se ha calculado.**

# Listado de material

## Operaciones

| Nombre | Placas [mm] | Forma | Nr. | Soldaduras [mm] | Longitud [mm] | Tornillos | Nr. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| CUT1 | | | | Doble tendón de soldadura: a = 5.7 | 746.5 | | |

## Soldaduras

| Tipo | Material | Espesor de garganta [mm] | Tamaño de pierna [mm] | Longitud [mm] |
|---|---|---|---|---|
| Doble tendón de soldadura | E70xx | 5.7 | 8.0 | 746.5 |

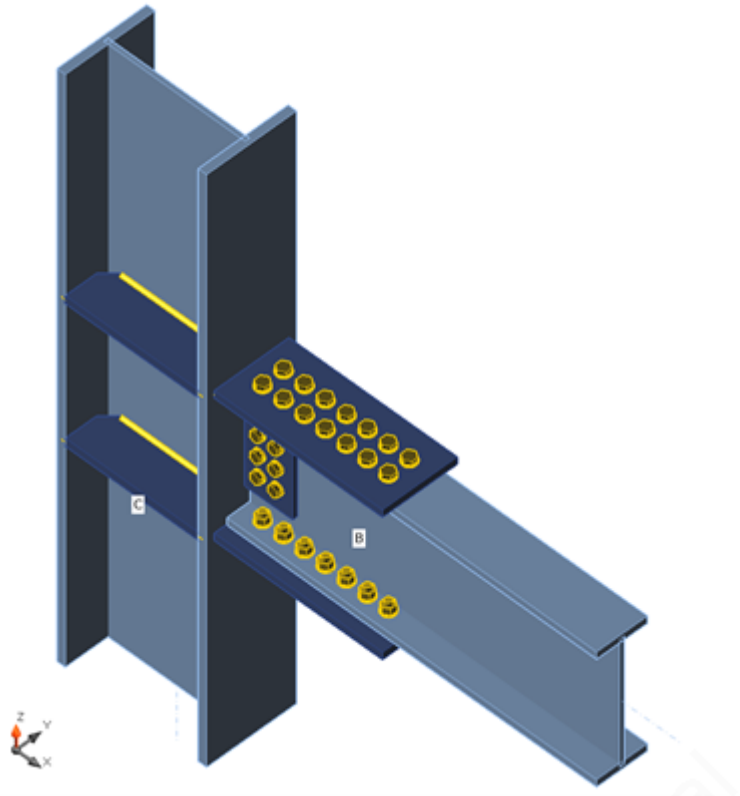
# Ítem del proyecto BFP-450-1

## Diseño

| | |
|---|---|
| Nombre | BFP-450-1 |
| Descripción | Conexion H500-I450 |
| Análisis | Tensión, deformación/ Carga simplificada |
| Normativa de cálculo | AISC - LRFD |

### Elementos estructurales

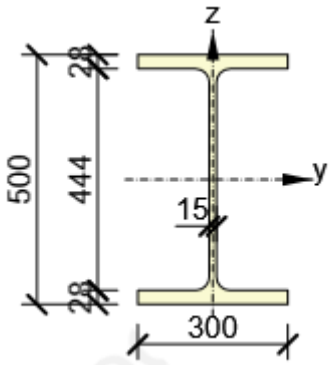
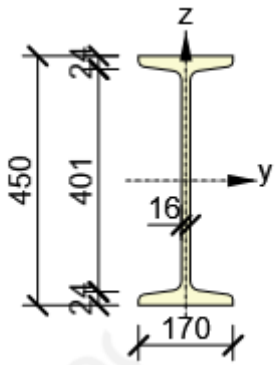
| Nombre | Sección transversal | β – Dirección [°] | γ - Inclinación [°] | α - Rotación [°] | Desplazamiento ex [mm] | Desplazamiento ey [mm] | Desplazamiento ez [mm] | Fuerzas en |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| C | 3 - HEB500 | 0.0 | -90.0 | 0.0 | 0 | 0 | 0 | Nudo |
| B | 4 - IPN450 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0 | 0 | 0 | Nudo |




### Secciones

| Nombre | Material |
|---|---|
| 3 - HEB500 | A572 Gr.50 |
| 4 - IPN450 | A36 |

## Secciones

| Nombre | Material | Dibujo |
|---|---|---|
| 3 - HEB500 | A572 Gr.50 |  |
| 4 - IPN450 | A36 |  |

## Tornillos

| Nombre | Conjunto de tornillo | Diámetro [mm] | fu [MPa] | Área bruta [mm$^2$] |
|---|---|---|---|---|
| 7/8 A490 | 7/8 A490 | 22 | 1034.2 | 388 |
| 3/4 A325 | 3/4 A325 | 19 | 825.0 | 285 |

## Cargas (No se requiere el equilibro)

| Nombre | Elemento | N [kN] | Vy [kN] | Vz [kN] | Mx [kNm] | My [kNm] | Mz [kNm] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| LE1 | B | 0.0 | 0.0 | -248.0 | 0.0 | 736.0 | 0.0 |

# Verificación

## Resumen

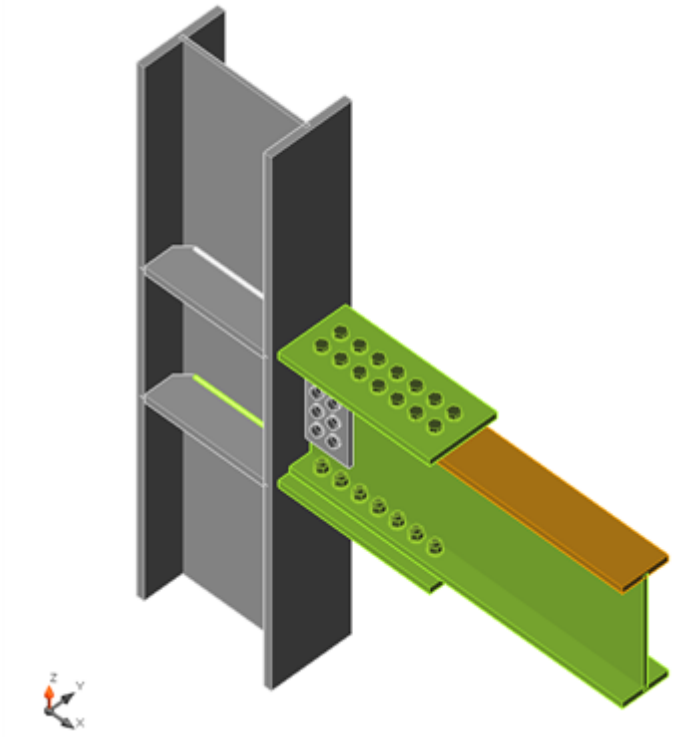
| Nombre | Valor | Estado de la verificación |
|---|---|---|
| Análisis | 100.0% | Aceptar |
| Placas | 4.9 < 5% | Aceptar |
| Tornillos | 80.9 < 100% | Aceptar |
| Soldaduras | 60.1 < 100% | Aceptar |
| Pandeo | No calculado | |

## Placas

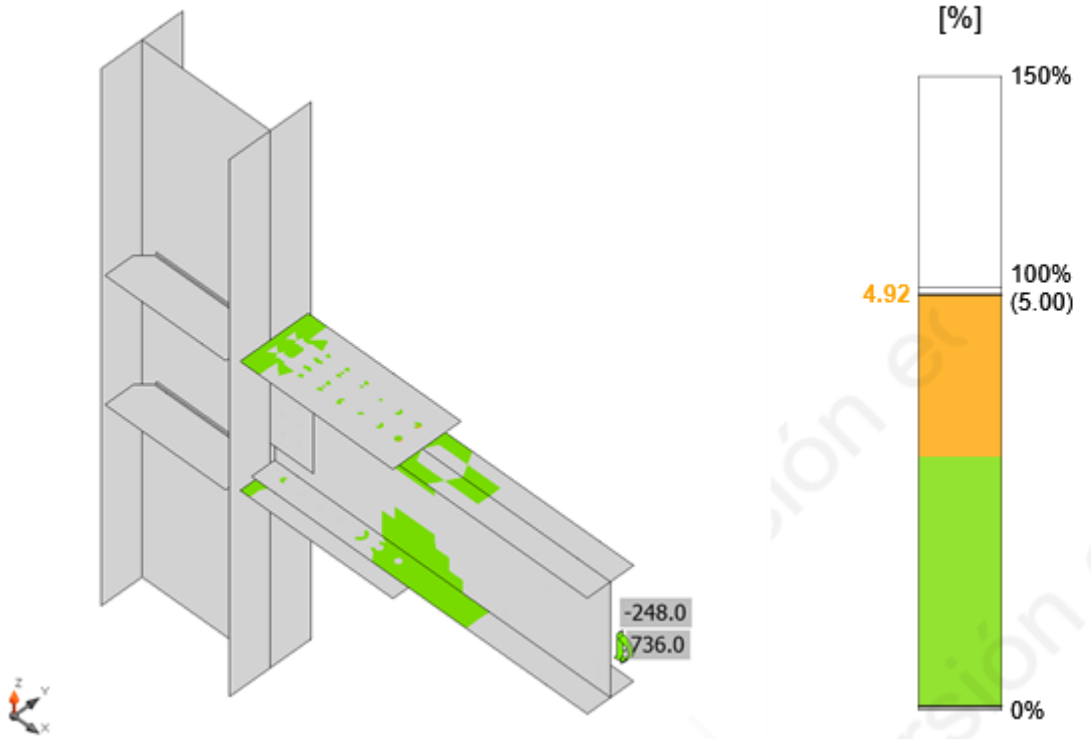
| Nombre | Material | $F_y$ [MPa] | Espesor [mm] | Cargas | $\sigma_{Ed}$ [MPa] | $\varepsilon_{Pl}$ [%] | Estado de la verificación |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| C-bfl 1 | A572 Gr.50 | 344.7 | 28.0 | LE1 | 207.3 | 0.0 | Aceptar |
| C-tfl 1 | A572 Gr.50 | 344.7 | 28.0 | LE1 | 120.5 | 0.0 | Aceptar |
| C-w 1 | A572 Gr.50 | 344.7 | 14.5 | LE1 | 272.2 | 0.0 | Aceptar |
| B-bfl 1 | A36 | 248.2 | 24.3 | LE1 | 225.2 | 0.9 | Aceptar |
| B-tfl 1 | A36 | 248.2 | 24.3 | LE1 | 233.2 | 4.9 | Aceptar |
| B-w 1 | A36 | 248.2 | 16.2 | LE1 | 225.2 | 0.9 | Aceptar |
| FP1 | A36 | 248.2 | 15.0 | LE1 | 115.9 | 0.0 | Aceptar |
| FP2 | A572 Gr.50 | 344.7 | 25.0 | LE1 | 310.8 | 0.3 | Aceptar |
| FP3 | A572 Gr.50 | 344.7 | 25.0 | LE1 | 310.8 | 0.2 | Aceptar |
| STIFF1a | A572 Gr.55 | 379.2 | 27.0 | LE1 | 235.2 | 0.0 | Aceptar |
| STIFF1b | A572 Gr.55 | 379.2 | 27.0 | LE1 | 234.0 | 0.0 | Aceptar |
| RIGIDIZAR2a | A572 Gr.55 | 379.2 | 27.0 | LE1 | 231.5 | 0.0 | Aceptar |
| RIGIDIZAR2b | A572 Gr.55 | 379.2 | 27.0 | LE1 | 228.2 | 0.0 | Aceptar |

**Datos de diseño**

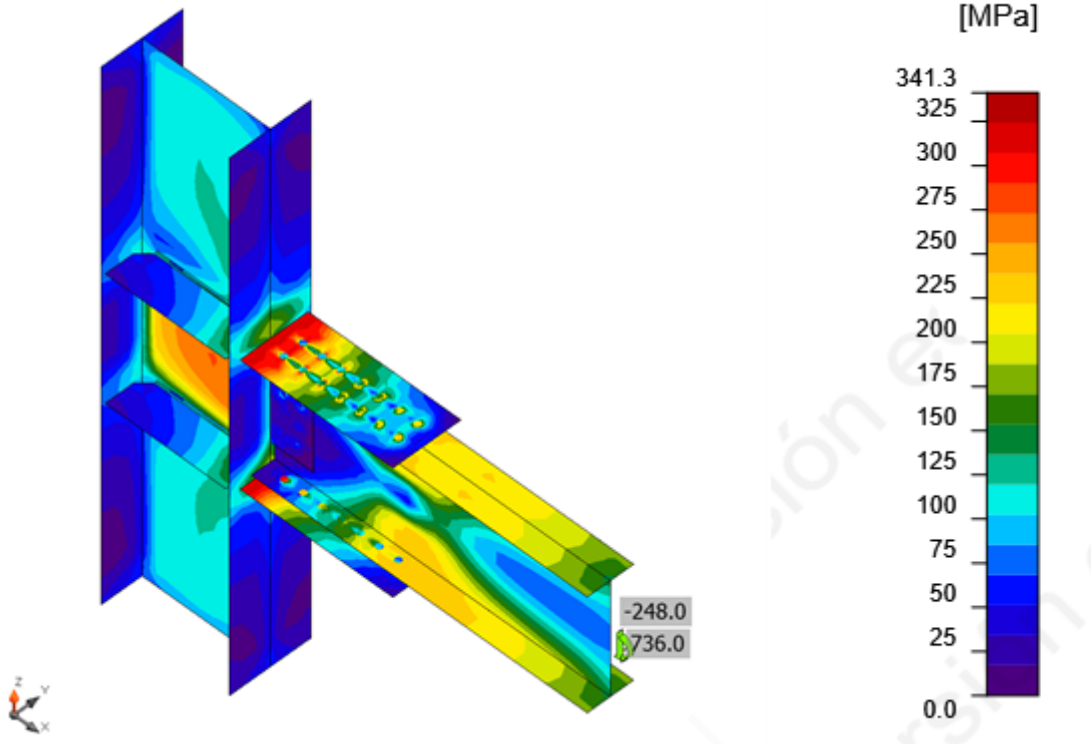
| Material | fy [MPa] | $\varepsilon_{lim}$ [%] |
|---|---|---|
| A572 Gr.50 | 344.7 | 5.0 |
| A36 | 248.2 | 5.0 |
| A572 Gr.55 | 379.2 | 5.0 |



*Verificación general, LE1*

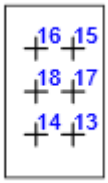



*Verificación de deformación, LE1*




*Tensión equivalente, LE1*

## Tornillos

| Forma | Ítem | Calidad | Cargas | $F_t$ [kN] | V [kN] | $\phi R_{n,portante}$ [kN] | $Ut_t$ [%] | $Ut_s$ [%] | $Ut_{ts}$ [%] | Estado |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
|  | B13 | 3/4 A325 - 1 | LE1 | 1.0 | 22.9 | 205.7 | 0.8 | 28.8 | - | Aceptar |
| | B14 | 3/4 A325 - 1 | LE1 | 0.1 | 15.8 | 205.7 | 0.1 | 19.8 | - | Aceptar |
| | B15 | 3/4 A325 - 1 | LE1 | 1.8 | 28.2 | 205.7 | 1.4 | 35.4 | - | Aceptar |
| | B16 | 3/4 A325 - 1 | LE1 | 3.1 | 22.1 | 205.7 | 2.4 | 27.8 | - | Aceptar |
| | B17 | 3/4 A325 - 1 | LE1 | 0.7 | 17.8 | 205.7 | 0.5 | 22.4 | - | Aceptar |
| | B18 | 3/4 A325 - 1 | LE1 | 1.2 | 4.1 | 205.7 | 0.9 | 5.1 | - | Aceptar |
| | B27 | 7/8 A490 - 2 | LE1 | 0.7 | 98.9 | 388.9 | 0.3 | 72.5 | - | Aceptar |
| | B28 | 7/8 A490 - 2 | LE1 | 28.6 | 102.0 | 388.9 | 12.6 | 74.7 | - | Aceptar |
| | B29 | 7/8 A490 - 2 | LE1 | 6.7 | 96.7 | 388.9 | 2.9 | 70.8 | - | Aceptar |
| | B30 | 7/8 A490 - 2 | LE1 | 27.7 | 101.8 | 388.9 | 12.2 | 74.6 | - | Aceptar |
| | B31 | 7/8 A490 - 2 | LE1 | 0.7 | 98.9 | 388.9 | 0.3 | 72.5 | - | Aceptar |
| | B32 | 7/8 A490 - 2 | LE1 | 28.6 | 101.9 | 388.9 | 12.6 | 74.7 | - | Aceptar |
| | B33 | 7/8 A490 - 2 | LE1 | 6.7 | 96.4 | 388.9 | 2.9 | 70.7 | - | Aceptar |
| | B34 | 7/8 A490 - 2 | LE1 | 28.3 | 101.5 | 388.9 | 12.5 | 74.4 | - | Aceptar |
| | B35 | 7/8 A490 - 2 | LE1 | 1.3 | 93.0 | 388.9 | 0.6 | 68.2 | - | Aceptar |
| | B36 | 7/8 A490 - 2 | LE1 | 1.4 | 93.2 | 388.9 | 0.6 | 68.3 | - | Aceptar |
| | B37 | 7/8 A490 - 2 | LE1 | 0.0 | 94.4 | 388.9 | 0.0 | 69.2 | - | Aceptar |
| | B38 | 7/8 A490 - 2 | LE1 | 0.0 | 94.3 | 388.9 | 0.0 | 69.1 | - | Aceptar |
| | B39 | 7/8 A490 - 2 | LE1 | 1.2 | 92.3 | 388.9 | 0.5 | 67.6 | - | Aceptar |
| | B40 | 7/8 A490 - 2 | LE1 | 1.0 | 92.2 | 388.9 | 0.5 | 67.5 | - | Aceptar |
| | B49 | 7/8 A490 - 2 | LE1 | 2.4 | 101.3 | 388.9 | 1.0 | 74.2 | - | Aceptar |
| | B50 | 7/8 A490 - 2 | LE1 | 9.8 | 110.4 | 388.9 | 4.3 | 80.9 | - | Aceptar |
| | B51 | 7/8 A490 - 2 | LE1 | 0.1 | 95.5 | 388.9 | 0.0 | 70.0 | - | Aceptar |
| | B52 | 7/8 A490 - 2 | LE1 | 0.0 | 101.1 | 388.9 | 0.0 | 74.1 | - | Aceptar |
| | B53 | 7/8 A490 - 2 | LE1 | 2.3 | 101.2 | 388.9 | 1.0 | 74.2 | - | Aceptar |
| | B54 | 7/8 A490 - 2 | LE1 | 9.7 | 110.3 | 388.9 | 4.3 | 80.8 | - | Aceptar |
| | B55 | 7/8 A490 - 2 | LE1 | 0.0 | 95.5 | 388.9 | 0.0 | 70.0 | - | Aceptar |
| | B56 | 7/8 A490 - 2 | LE1 | 0.0 | 101.1 | 388.9 | 0.0 | 74.1 | - | Aceptar |
| | B57 | 7/8 A490 - 2 | LE1 | 0.6 | 92.5 | 388.9 | 0.3 | 67.7 | - | Aceptar |
| | B58 | 7/8 A490 - 2 | LE1 | 0.7 | 92.5 | 388.9 | 0.3 | 67.8 | - | Aceptar |
| | B59 | 7/8 A490 - 2 | LE1 | 1.8 | 95.3 | 388.9 | 0.8 | 69.8 | - | Aceptar |
| | B60 | 7/8 A490 - 2 | LE1 | 1.7 | 95.3 | 388.9 | 0.8 | 69.9 | - | Aceptar |
| | B61 | 7/8 A490 - 2 | LE1 | 0.7 | 92.5 | 388.9 | 0.3 | 67.8 | - | Aceptar |
| | B62 | 7/8 A490 - 2 | LE1 | 0.6 | 92.5 | 388.9 | 0.3 | 67.8 | - | Aceptar |

### Datos de diseño

| Calidad | $\phi R_{n,tracción}$ [kN] | $\phi R_{n,cortante}$ [kN] |
|---|---|---|
| 3/4 A325 - 1 | 132.5 | 79.5 |
| 7/8 A490 - 2 | 227.0 | 136.5 |

**Resultado detallado para B13**

**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b = \quad 132.5 \quad \text{kN} \quad \geq \quad F_t = \quad 1.0 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$F_{nt} =$ 620.0 MPa – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2

$A_b =$ 285 mm$^2$ – Área bruta del tornillo

$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b = \quad 79.5 \quad \text{kN} \quad \geq \quad V = \quad 22.9 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$F_{nv} =$ 372.0 MPa – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2

$A_b =$ 285 mm$^2$ – Área bruta del tornillo

$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \quad \leq \quad 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$$

$$\phi R_n = \quad 205.7 \quad \text{kN} \quad \geq \quad V = \quad 22.9 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$l_c =$ 84 mm – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material

$t =$ 15 mm – espesor de la placa

$d =$ 19 mm – dimámetro del tornillo

$F_u =$ 400.0 MPa – resistencia a tracción del material conectado

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-2)

*La tensión requerida, a cortante o en tracción, es menor o igual al 30% de la resistencia y los efectos de las tensiones combinadas no necesitan ser evaluadas.*

**Resultado detallado para B14**

**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b = \quad 132.5 \quad \text{kN} \quad \geq \quad F_t = \quad 0.1 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$F_{nt} =$ 620.0 MPa – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2

$A_b =$ 285 mm$^2$ – Área bruta del tornillo

$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b =$ 79.5 kN ≥ $V =$ 15.8 kN

*Donde:*

$F_{nv} =$ 372.0 MPa – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2
$A_b =$ 285 mm$^2$ – Área bruta del tornillo
$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \leq 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$

$\phi R_n =$ 205.7 kN ≥ $V =$ 15.8 kN

*Donde:*

$l_c =$ 39 mm – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material
$t =$ 15 mm – espesor de la placa
$d =$ 19 mm – dimámetro del tornillo
$F_u =$ 400.0 MPa – resistencia a tracción del material conectado
$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-2)
*La tensión requerida, a cortante o en tracción, es menor o igual al 30% de la resistencia y los efectos de las tensiones combinadas no necesitan ser evaluadas.*

**Resultado detallado para B15**
**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b =$ 132.5 kN ≥ $F_t =$ 1.8 kN

*Donde:*

$F_{nt} =$ 620.0 MPa – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2
$A_b =$ 285 mm$^2$ – Área bruta del tornillo
$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b =$ 79.5 kN ≥ $V =$ 28.2 kN

*Donde:*

$F_{nv} =$ 372.0 MPa – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2
$A_b =$ 285 mm$^2$ – Área bruta del tornillo
$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \leq 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$

$\phi R_n =$ 205.7 kN ≥ $V =$ 28.2 kN

*Donde:*

| | |
|---|---|
| $l_c = 54$ mm | – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material |
| $t = 15$ mm | – espesor de la placa |
| $d = 19$ mm | – dimámetro del tornillo |
| $F_u = 400.0$ MPa | – resistencia a tracción del material conectado |
| $\phi = 0.75$ | – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos |

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-2)

*La tensión requerida, a cortante o en tracción, es menor o igual al 30% de la resistencia y los efectos de las tensiones combinadas no necesitan ser evaluadas.*

**Resultado detallado para B16**

**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b =$ 132.5 kN ≥ $F_t =$ 3.1 kN

*Donde:*

| | |
|---|---|
| $F_{nt} = 620.0$ MPa | – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2 |
| $A_b = 285$ mm$^2$ | – Área bruta del tornillo |
| $\phi = 0.75$ | – factor de capacidad |

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b =$ 79.5 kN ≥ $V =$ 22.1 kN

*Donde:*

| | |
|---|---|
| $F_{nv} = 372.0$ MPa | – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2 |
| $A_b = 285$ mm$^2$ | – Área bruta del tornillo |
| $\phi = 0.75$ | – factor de capacidad |

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \leq 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$

$\phi R_n =$ 205.7 kN ≥ $V =$ 22.1 kN

*Donde:*

| | |
|---|---|
| $l_c = 39$ mm | – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material |
| $t = 15$ mm | – espesor de la placa |
| $d = 19$ mm | – dimámetro del tornillo |
| $F_u = 400.0$ MPa | – resistencia a tracción del material conectado |
| $\phi = 0.75$ | – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos |

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-2)

*La tensión requerida, a cortante o en tracción, es menor o igual al 30% de la resistencia y los efectos de las tensiones combinadas no*

*necesitan ser evaluadas.*

**Resultado detallado para B17**

**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b =$ 132.5 kN ≥ $F_t =$ 0.7 kN

*Donde:*

$F_{nt} =$ 620.0 MPa – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2
$A_b =$ 285 mm$^2$ – Área bruta del tornillo
$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b =$ 79.5 kN ≥ $V =$ 17.8 kN

*Donde:*

$F_{nv} =$ 372.0 MPa – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2
$A_b =$ 285 mm$^2$ – Área bruta del tornillo
$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \leq 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$

$\phi R_n =$ 205.7 kN ≥ $V =$ 17.8 kN

*Donde:*

$l_c =$ 49 mm – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material
$t =$ 15 mm – espesor de la placa
$d =$ 19 mm – dimámetro del tornillo
$F_u =$ 400.0 MPa – resistencia a tracción del material conectado
$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-2)

*La tensión requerida, a cortante o en tracción, es menor o igual al 30% de la resistencia y los efectos de las tensiones combinadas no necesitan ser evaluadas.*

**Resultado detallado para B18**

**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b = \quad 132.5 \quad \text{kN} \quad \geq \quad F_t = \quad 1.2 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$F_{nt} =$ 620.0 MPa – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2

$A_b =$ 285 mm$^2$ – Área bruta del tornillo

$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b = \quad 79.5 \quad \text{kN} \quad \geq \quad V = \quad 4.1 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$F_{nv} =$ 372.0 MPa – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2

$A_b =$ 285 mm$^2$ – Área bruta del tornillo

$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \quad \leq \quad 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$$

$$\phi R_n = \quad 205.7 \quad \text{kN} \quad \geq \quad V = \quad 4.1 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$l_c =$ 124 mm – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material

$t =$ 15 mm – espesor de la placa

$d =$ 19 mm – dimámetro del tornillo

$F_u =$ 400.0 MPa – resistencia a tracción del material conectado

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-2)

*La tensión requerida, a cortante o en tracción, es menor o igual al 30% de la resistencia y los efectos de las tensiones combinadas no necesitan ser evaluadas.*

**Resultado detallado para B27**

**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b = \quad 227.0 \quad \text{kN} \quad \geq \quad F_t = \quad 0.7 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$F_{nt} =$ 780.0 MPa – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2

$A_b =$ 388 mm$^2$ – Área bruta del tornillo

$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b =$ 136.5 kN ≥ $V =$ 98.9 kN

*Donde:*

$F_{nv} =$ 469.0 MPa – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2
$A_b =$ 388 mm$^2$ – Área bruta del tornillo
$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \leq 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$

$\phi R_n =$ 388.9 kN ≥ $V =$ 98.9 kN

*Donde:*

$l_c =$ 46 mm – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material
$t =$ 24 mm – espesor de la placa
$d =$ 22 mm – dimámetro del tornillo
$F_u =$ 400.0 MPa – resistencia a tracción del material conectado
$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-2)
*La tensión requerida, a cortante o en tracción, es menor o igual al 30% de la resistencia y los efectos de las tensiones combinadas no necesitan ser evaluadas.*

**Resultado detallado para B28**
**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b =$ 227.0 kN ≥ $F_t =$ 28.6 kN

*Donde:*

$F_{nt} =$ 780.0 MPa – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2
$A_b =$ 388 mm$^2$ – Área bruta del tornillo
$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b =$ 136.5 kN ≥ $V =$ 102.0 kN

*Donde:*

$F_{nv} =$ 469.0 MPa – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2
$A_b =$ 388 mm$^2$ – Área bruta del tornillo
$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \leq 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$

$\phi R_n =$ 388.9 kN ≥ $V =$ 102.0 kN

*Donde:*

| | |
|---|---|
| $l_c = 46$ mm | – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material |
| $t = 24$ mm | – espesor de la placa |
| $d = 22$ mm | – dimámetro del tornillo |
| $F_u = 400.0$ MPa | – resistencia a tracción del material conectado |
| $\phi = 0.75$ | – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos |

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-2)

*La tensión requerida, a cortante o en tracción, es menor o igual al 30% de la resistencia y los efectos de las tensiones combinadas no necesitan ser evaluadas.*

**Resultado detallado para B29**

**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b =$ 227.0 kN ≥ $F_t =$ 6.7 kN

*Donde:*

| | |
|---|---|
| $F_{nt} = 780.0$ MPa | – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2 |
| $A_b = 388$ mm$^2$ | – Área bruta del tornillo |
| $\phi = 0.75$ | – factor de capacidad |

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b =$ 136.5 kN ≥ $V =$ 96.7 kN

*Donde:*

| | |
|---|---|
| $F_{nv} = 469.0$ MPa | – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2 |
| $A_b = 388$ mm$^2$ | – Área bruta del tornillo |
| $\phi = 0.75$ | – factor de capacidad |

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \leq 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$

$\phi R_n =$ 388.9 kN ≥ $V =$ 96.7 kN

*Donde:*

| | |
|---|---|
| $l_c = 46$ mm | – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material |
| $t = 24$ mm | – espesor de la placa |
| $d = 22$ mm | – dimámetro del tornillo |
| $F_u = 400.0$ MPa | – resistencia a tracción del material conectado |
| $\phi = 0.75$ | – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos |

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-2)

*La tensión requerida, a cortante o en tracción, es menor o igual al 30% de la resistencia y los efectos de las tensiones combinadas no*

*necesitan ser evaluadas.*

**Resultado detallado para B30**

**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b =$ 227.0 kN ≥ $F_t =$ 27.7 kN

*Donde:*

$F_{nt} =$ 780.0 MPa – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2
$A_b =$ 388 mm$^2$ – Área bruta del tornillo
$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b =$ 136.5 kN ≥ $V =$ 101.8 kN

*Donde:*

$F_{nv} =$ 469.0 MPa – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2
$A_b =$ 388 mm$^2$ – Área bruta del tornillo
$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \leq 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$

$\phi R_n =$ 388.9 kN ≥ $V =$ 101.8 kN

*Donde:*

$l_c =$ 46 mm – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material
$t =$ 24 mm – espesor de la placa
$d =$ 22 mm – dimámetro del tornillo
$F_u =$ 400.0 MPa – resistencia a tracción del material conectado
$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-2)

*La tensión requerida, a cortante o en tracción, es menor o igual al 30% de la resistencia y los efectos de las tensiones combinadas no necesitan ser evaluadas.*

**Resultado detallado para B31**

**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b = \quad 227.0 \quad \text{kN} \quad \geq \quad F_t = \quad 0.7 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$F_{nt} =$ 780.0 MPa – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2

$A_b =$ 388 mm$^2$ – Área bruta del tornillo

$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b = \quad 136.5 \quad \text{kN} \quad \geq \quad V = \quad 98.9 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$F_{nv} =$ 469.0 MPa – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2

$A_b =$ 388 mm$^2$ – Área bruta del tornillo

$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \quad \leq \quad 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$$

$$\phi R_n = \quad 388.9 \quad \text{kN} \quad \geq \quad V = \quad 98.9 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$l_c =$ 46 mm – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material

$t =$ 24 mm – espesor de la placa

$d =$ 22 mm – dimámetro del tornillo

$F_u =$ 400.0 MPa – resistencia a tracción del material conectado

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-2)

*La tensión requerida, a cortante o en tracción, es menor o igual al 30% de la resistencia y los efectos de las tensiones combinadas no necesitan ser evaluadas.*

**Resultado detallado para B32**

**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b = \quad 227.0 \quad \text{kN} \quad \geq \quad F_t = \quad 28.6 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$F_{nt} =$ 780.0 MPa – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2

$A_b =$ 388 mm$^2$ – Área bruta del tornillo

$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b =$ 136.5 kN ≥ $V =$ 101.9 kN

*Donde:*

$F_{nv} =$ 469.0 MPa – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2
$A_b =$ 388 mm$^2$ – Área bruta del tornillo
$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \leq 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$

$\phi R_n =$ 388.9 kN ≥ $V =$ 101.9 kN

*Donde:*

$l_c =$ 46 mm – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material
$t =$ 24 mm – espesor de la placa
$d =$ 22 mm – dimámetro del tornillo
$F_u =$ 400.0 MPa – resistencia a tracción del material conectado
$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-2)
*La tensión requerida, a cortante o en tracción, es menor o igual al 30% de la resistencia y los efectos de las tensiones combinadas no necesitan ser evaluadas.*

**Resultado detallado para B33**
**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b =$ 227.0 kN ≥ $F_t =$ 6.7 kN

*Donde:*

$F_{nt} =$ 780.0 MPa – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2
$A_b =$ 388 mm$^2$ – Área bruta del tornillo
$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b =$ 136.5 kN ≥ $V =$ 96.4 kN

*Donde:*

$F_{nv} =$ 469.0 MPa – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2
$A_b =$ 388 mm$^2$ – Área bruta del tornillo
$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \leq 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$

$\phi R_n =$ 388.9 kN ≥ $V =$ 96.4 kN

*Donde:*

| | |
|---|---|
| $l_c = 46$ mm | – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material |
| $t = 24$ mm | – espesor de la placa |
| $d = 22$ mm | – dimámetro del tornillo |
| $F_u = 400.0$ MPa | – resistencia a tracción del material conectado |
| $\phi = 0.75$ | – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos |

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-2)

*La tensión requerida, a cortante o en tracción, es menor o igual al 30% de la resistencia y los efectos de las tensiones combinadas no necesitan ser evaluadas.*

**Resultado detallado para B34**

**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b =$ 227.0 kN ≥ $F_t =$ 28.3 kN

*Donde:*

| | |
|---|---|
| $F_{nt} = 780.0$ MPa | – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2 |
| $A_b = 388$ mm$^2$ | – Área bruta del tornillo |
| $\phi = 0.75$ | – factor de capacidad |

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b =$ 136.5 kN ≥ $V =$ 101.5 kN

*Donde:*

| | |
|---|---|
| $F_{nv} = 469.0$ MPa | – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2 |
| $A_b = 388$ mm$^2$ | – Área bruta del tornillo |
| $\phi = 0.75$ | – factor de capacidad |

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \leq 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$

$\phi R_n =$ 388.9 kN ≥ $V =$ 101.5 kN

*Donde:*

| | |
|---|---|
| $l_c = 46$ mm | – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material |
| $t = 24$ mm | – espesor de la placa |
| $d = 22$ mm | – dimámetro del tornillo |
| $F_u = 400.0$ MPa | – resistencia a tracción del material conectado |
| $\phi = 0.75$ | – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos |

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-2)

*La tensión requerida, a cortante o en tracción, es menor o igual al 30% de la resistencia y los efectos de las tensiones combinadas no*

*necesitan ser evaluadas.*

**Resultado detallado para B35**

**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b =$ 227.0 kN ≥ $F_t =$ 1.3 kN

*Donde:*

$F_{nt} =$ 780.0 MPa – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2
$A_b =$ 388 mm$^2$ – Área bruta del tornillo
$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b =$ 136.5 kN ≥ $V =$ 93.0 kN

*Donde:*

$F_{nv} =$ 469.0 MPa – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2
$A_b =$ 388 mm$^2$ – Área bruta del tornillo
$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \leq 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$

$\phi R_n =$ 388.9 kN ≥ $V =$ 93.0 kN

*Donde:*

$l_c =$ 46 mm – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material
$t =$ 24 mm – espesor de la placa
$d =$ 22 mm – dimámetro del tornillo
$F_u =$ 400.0 MPa – resistencia a tracción del material conectado
$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-2)

*La tensión requerida, a cortante o en tracción, es menor o igual al 30% de la resistencia y los efectos de las tensiones combinadas no necesitan ser evaluadas.*

**Resultado detallado para B36**

**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b = \quad 227.0 \quad \text{kN} \quad \geq \quad F_t = \quad 1.4 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$F_{nt} =$ 780.0 MPa – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2

$A_b =$ 388 mm$^2$ – Área bruta del tornillo

$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b = \quad 136.5 \quad \text{kN} \quad \geq \quad V = \quad 93.2 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$F_{nv} =$ 469.0 MPa – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2

$A_b =$ 388 mm$^2$ – Área bruta del tornillo

$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \quad \leq \quad 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$$

$$\phi R_n = \quad 388.9 \quad \text{kN} \quad \geq \quad V = \quad 93.2 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$l_c =$ 46 mm – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material

$t =$ 24 mm – espesor de la placa

$d =$ 22 mm – dimámetro del tornillo

$F_u =$ 400.0 MPa – resistencia a tracción del material conectado

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-2)

*La tensión requerida, a cortante o en tracción, es menor o igual al 30% de la resistencia y los efectos de las tensiones combinadas no necesitan ser evaluadas.*

**Resultado detallado para B37**

**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b = \quad 227.0 \quad \text{kN} \quad \geq \quad F_t = \quad 0.0 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$F_{nt} =$ 780.0 MPa – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2

$A_b =$ 388 mm$^2$ – Área bruta del tornillo

$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b =$ 136.5 kN ≥ $V =$ 94.4 kN

*Donde:*

$F_{nv} =$ 469.0 MPa – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2
$A_b =$ 388 mm$^2$ – Área bruta del tornillo
$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \leq 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$

$\phi R_n =$ 388.9 kN ≥ $V =$ 94.4 kN

*Donde:*

$l_c =$ 46 mm – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material
$t =$ 24 mm – espesor de la placa
$d =$ 22 mm – dimámetro del tornillo
$F_u =$ 400.0 MPa – resistencia a tracción del material conectado
$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-2)
*La tensión requerida, a cortante o en tracción, es menor o igual al 30% de la resistencia y los efectos de las tensiones combinadas no necesitan ser evaluadas.*

**Resultado detallado para B38**
**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b =$ 227.0 kN ≥ $F_t =$ 0.0 kN

*Donde:*

$F_{nt} =$ 780.0 MPa – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2
$A_b =$ 388 mm$^2$ – Área bruta del tornillo
$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b =$ 136.5 kN ≥ $V =$ 94.3 kN

*Donde:*

$F_{nv} =$ 469.0 MPa – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2
$A_b =$ 388 mm$^2$ – Área bruta del tornillo
$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \leq 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$

$\phi R_n =$ 388.9 kN ≥ $V =$ 94.3 kN

*Donde:*

| | |
|---|---|
| $l_c = 46$ mm | – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material |
| $t = 24$ mm | – espesor de la placa |
| $d = 22$ mm | – dimámetro del tornillo |
| $F_u = 400.0$ MPa | – resistencia a tracción del material conectado |
| $\phi = 0.75$ | – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos |

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-2)

*La tensión requerida, a cortante o en tracción, es menor o igual al 30% de la resistencia y los efectos de las tensiones combinadas no necesitan ser evaluadas.*

**Resultado detallado para B39**

**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b =$ 227.0 kN ≥ $F_t =$ 1.2 kN

*Donde:*

| | |
|---|---|
| $F_{nt} = 780.0$ MPa | – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2 |
| $A_b = 388$ mm$^2$ | – Área bruta del tornillo |
| $\phi = 0.75$ | – factor de capacidad |

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b =$ 136.5 kN ≥ $V =$ 92.3 kN

*Donde:*

| | |
|---|---|
| $F_{nv} = 469.0$ MPa | – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2 |
| $A_b = 388$ mm$^2$ | – Área bruta del tornillo |
| $\phi = 0.75$ | – factor de capacidad |

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \leq 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$

$\phi R_n =$ 388.9 kN ≥ $V =$ 92.3 kN

*Donde:*

| | |
|---|---|
| $l_c = 46$ mm | – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material |
| $t = 24$ mm | – espesor de la placa |
| $d = 22$ mm | – dimámetro del tornillo |
| $F_u = 400.0$ MPa | – resistencia a tracción del material conectado |
| $\phi = 0.75$ | – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos |

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-2)

*La tensión requerida, a cortante o en tracción, es menor o igual al 30% de la resistencia y los efectos de las tensiones combinadas no*

*necesitan ser evaluadas.*

**Resultado detallado para B40**

**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b =$ 227.0 kN ≥ $F_t =$ 1.0 kN

*Donde:*

$F_{nt} =$ 780.0 MPa – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2
$A_b =$ 388 mm$^2$ – Área bruta del tornillo
$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b =$ 136.5 kN ≥ $V =$ 92.2 kN

*Donde:*

$F_{nv} =$ 469.0 MPa – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2
$A_b =$ 388 mm$^2$ – Área bruta del tornillo
$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \leq 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$

$\phi R_n =$ 388.9 kN ≥ $V =$ 92.2 kN

*Donde:*

$l_c =$ 46 mm – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material
$t =$ 24 mm – espesor de la placa
$d =$ 22 mm – dimámetro del tornillo
$F_u =$ 400.0 MPa – resistencia a tracción del material conectado
$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-2)

*La tensión requerida, a cortante o en tracción, es menor o igual al 30% de la resistencia y los efectos de las tensiones combinadas no necesitan ser evaluadas.*

**Resultado detallado para B49**

**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b = \quad 227.0 \quad \text{kN} \quad \geq \quad F_t = \quad 2.4 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$F_{nt} =$ 780.0 MPa – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2

$A_b =$ 388 mm$^2$ – Área bruta del tornillo

$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b = \quad 136.5 \quad \text{kN} \quad \geq \quad V = \quad 101.3 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$F_{nv} =$ 469.0 MPa – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2

$A_b =$ 388 mm$^2$ – Área bruta del tornillo

$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \quad \leq \quad 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$$

$$\phi R_n = \quad 388.9 \quad \text{kN} \quad \geq \quad V = \quad 101.3 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$l_c =$ 46 mm – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material

$t =$ 24 mm – espesor de la placa

$d =$ 22 mm – dimámetro del tornillo

$F_u =$ 400.0 MPa – resistencia a tracción del material conectado

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-2)

*La tensión requerida, a cortante o en tracción, es menor o igual al 30% de la resistencia y los efectos de las tensiones combinadas no necesitan ser evaluadas.*

**Resultado detallado para B50**

**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b = \quad 227.0 \quad \text{kN} \quad \geq \quad F_t = \quad 9.8 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$F_{nt} =$ 780.0 MPa – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2

$A_b =$ 388 mm$^2$ – Área bruta del tornillo

$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b =$ 136.5 kN ≥ $V =$ 110.4 kN

*Donde:*

$F_{nv} =$ 469.0 MPa – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2
$A_b =$ 388 mm$^2$ – Área bruta del tornillo
$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \leq 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$

$\phi R_n =$ 388.9 kN ≥ $V =$ 110.4 kN

*Donde:*

$l_c =$ 46 mm – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material
$t =$ 24 mm – espesor de la placa
$d =$ 22 mm – dimámetro del tornillo
$F_u =$ 400.0 MPa – resistencia a tracción del material conectado
$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-2)
*La tensión requerida, a cortante o en tracción, es menor o igual al 30% de la resistencia y los efectos de las tensiones combinadas no necesitan ser evaluadas.*

**Resultado detallado para B51**
**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b =$ 227.0 kN ≥ $F_t =$ 0.1 kN

*Donde:*

$F_{nt} =$ 780.0 MPa – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2
$A_b =$ 388 mm$^2$ – Área bruta del tornillo
$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b =$ 136.5 kN ≥ $V =$ 95.5 kN

*Donde:*

$F_{nv} =$ 469.0 MPa – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2
$A_b =$ 388 mm$^2$ – Área bruta del tornillo
$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \leq 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$

$\phi R_n =$ 388.9 kN ≥ $V =$ 95.5 kN

*Donde:*

| | |
|---|---|
| $l_c = 46$ mm | – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material |
| $t = 24$ mm | – espesor de la placa |
| $d = 22$ mm | – dimámetro del tornillo |
| $F_u = 400.0$ MPa | – resistencia a tracción del material conectado |
| $\phi = 0.75$ | – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos |

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-2)

*La tensión requerida, a cortante o en tracción, es menor o igual al 30% de la resistencia y los efectos de las tensiones combinadas no necesitan ser evaluadas.*

**Resultado detallado para B52**

**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b =$ 227.0 kN ≥ $F_t =$ 0.0 kN

*Donde:*

| | |
|---|---|
| $F_{nt} = 780.0$ MPa | – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2 |
| $A_b = 388$ mm$^2$ | – Área bruta del tornillo |
| $\phi = 0.75$ | – factor de capacidad |

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b =$ 136.5 kN ≥ $V =$ 101.1 kN

*Donde:*

| | |
|---|---|
| $F_{nv} = 469.0$ MPa | – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2 |
| $A_b = 388$ mm$^2$ | – Área bruta del tornillo |
| $\phi = 0.75$ | – factor de capacidad |

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \leq 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$

$\phi R_n =$ 388.9 kN ≥ $V =$ 101.1 kN

*Donde:*

| | |
|---|---|
| $l_c = 46$ mm | – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material |
| $t = 24$ mm | – espesor de la placa |
| $d = 22$ mm | – dimámetro del tornillo |
| $F_u = 400.0$ MPa | – resistencia a tracción del material conectado |
| $\phi = 0.75$ | – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos |

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-2)

*La tensión requerida, a cortante o en tracción, es menor o igual al 30% de la resistencia y los efectos de las tensiones combinadas no*

*necesitan ser evaluadas.*

**Resultado detallado para B53**

**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b =$ 227.0 kN ≥ $F_t =$ 2.3 kN

*Donde:*

$F_{nt} =$ 780.0 MPa – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2
$A_b =$ 388 mm$^2$ – Área bruta del tornillo
$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b =$ 136.5 kN ≥ $V =$ 101.2 kN

*Donde:*

$F_{nv} =$ 469.0 MPa – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2
$A_b =$ 388 mm$^2$ – Área bruta del tornillo
$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \leq 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$

$\phi R_n =$ 388.9 kN ≥ $V =$ 101.2 kN

*Donde:*

$l_c =$ 46 mm – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material
$t =$ 24 mm – espesor de la placa
$d =$ 22 mm – dimámetro del tornillo
$F_u =$ 400.0 MPa – resistencia a tracción del material conectado
$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-2)

*La tensión requerida, a cortante o en tracción, es menor o igual al 30% de la resistencia y los efectos de las tensiones combinadas no necesitan ser evaluadas.*

**Resultado detallado para B54**

**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b = \quad 227.0 \quad \text{kN} \quad \geq \quad F_t = \quad 9.7 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$F_{nt} =$ 780.0 MPa – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2

$A_b =$ 388 mm$^2$ – Área bruta del tornillo

$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b = \quad 136.5 \quad \text{kN} \quad \geq \quad V = \quad 110.3 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$F_{nv} =$ 469.0 MPa – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2

$A_b =$ 388 mm$^2$ – Área bruta del tornillo

$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \quad \leq \quad 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$$

$$\phi R_n = \quad 388.9 \quad \text{kN} \quad \geq \quad V = \quad 110.3 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$l_c =$ 46 mm – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material

$t =$ 24 mm – espesor de la placa

$d =$ 22 mm – dimámetro del tornillo

$F_u =$ 400.0 MPa – resistencia a tracción del material conectado

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-2)

*La tensión requerida, a cortante o en tracción, es menor o igual al 30% de la resistencia y los efectos de las tensiones combinadas no necesitan ser evaluadas.*

**Resultado detallado para B55**

**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b = \quad 227.0 \quad \text{kN} \quad \geq \quad F_t = \quad 0.0 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$F_{nt} =$ 780.0 MPa – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2

$A_b =$ 388 mm$^2$ – Área bruta del tornillo

$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b =$ 136.5 kN ≥ $V =$ 95.5 kN

*Donde:*

$F_{nv} =$ 469.0 MPa – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2
$A_b =$ 388 mm$^2$ – Área bruta del tornillo
$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \leq 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$

$\phi R_n =$ 388.9 kN ≥ $V =$ 95.5 kN

*Donde:*

$l_c =$ 46 mm – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material
$t =$ 24 mm – espesor de la placa
$d =$ 22 mm – dimámetro del tornillo
$F_u =$ 400.0 MPa – resistencia a tracción del material conectado
$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-2)
*La tensión requerida, a cortante o en tracción, es menor o igual al 30% de la resistencia y los efectos de las tensiones combinadas no necesitan ser evaluadas.*

**Resultado detallado para B56**
**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b =$ 227.0 kN ≥ $F_t =$ 0.0 kN

*Donde:*

$F_{nt} =$ 780.0 MPa – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2
$A_b =$ 388 mm$^2$ – Área bruta del tornillo
$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b =$ 136.5 kN ≥ $V =$ 101.1 kN

*Donde:*

$F_{nv} =$ 469.0 MPa – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2
$A_b =$ 388 mm$^2$ – Área bruta del tornillo
$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \leq 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$

$\phi R_n =$ 388.9 kN ≥ $V =$ 101.1 kN

*Donde:*

| | |
|---|---|
| $l_c = 46$ mm | – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material |
| $t = 24$ mm | – espesor de la placa |
| $d = 22$ mm | – dimámetro del tornillo |
| $F_u = 400.0$ MPa | – resistencia a tracción del material conectado |
| $\phi = 0.75$ | – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos |

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-2)

*La tensión requerida, a cortante o en tracción, es menor o igual al 30% de la resistencia y los efectos de las tensiones combinadas no necesitan ser evaluadas.*

**Resultado detallado para B57**

**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b =$ 227.0 kN ≥ $F_t =$ 0.6 kN

*Donde:*

| | |
|---|---|
| $F_{nt} = 780.0$ MPa | – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2 |
| $A_b = 388$ mm$^2$ | – Área bruta del tornillo |
| $\phi = 0.75$ | – factor de capacidad |

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b =$ 136.5 kN ≥ $V =$ 92.5 kN

*Donde:*

| | |
|---|---|
| $F_{nv} = 469.0$ MPa | – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2 |
| $A_b = 388$ mm$^2$ | – Área bruta del tornillo |
| $\phi = 0.75$ | – factor de capacidad |

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \leq 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$

$\phi R_n =$ 388.9 kN ≥ $V =$ 92.5 kN

*Donde:*

| | |
|---|---|
| $l_c = 46$ mm | – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material |
| $t = 24$ mm | – espesor de la placa |
| $d = 22$ mm | – dimámetro del tornillo |
| $F_u = 400.0$ MPa | – resistencia a tracción del material conectado |
| $\phi = 0.75$ | – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos |

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-2)

*La tensión requerida, a cortante o en tracción, es menor o igual al 30% de la resistencia y los efectos de las tensiones combinadas no*

*necesitan ser evaluadas.*

**Resultado detallado para B58**

**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b = \quad 227.0 \quad \text{kN} \quad \geq \quad F_t = \quad 0.7 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$F_{nt} =$ 780.0 MPa – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2

$A_b =$ 388 mm$^2$ – Área bruta del tornillo

$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b = \quad 136.5 \quad \text{kN} \quad \geq \quad V = \quad 92.5 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$F_{nv} =$ 469.0 MPa – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2

$A_b =$ 388 mm$^2$ – Área bruta del tornillo

$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \quad \leq \quad 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$$

$$\phi R_n = \quad 388.9 \quad \text{kN} \quad \geq \quad V = \quad 92.5 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$l_c =$ 46 mm – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material

$t =$ 24 mm – espesor de la placa

$d =$ 22 mm – dimámetro del tornillo

$F_u =$ 400.0 MPa – resistencia a tracción del material conectado

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-2)

*La tensión requerida, a cortante o en tracción, es menor o igual al 30% de la resistencia y los efectos de las tensiones combinadas no necesitan ser evaluadas.*

**Resultado detallado para B59**

**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b = \quad 227.0 \quad \text{kN} \quad \geq \quad F_t = \quad 1.8 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$F_{nt} =$ 780.0 MPa – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2

$A_b =$ 388 mm$^2$ – Área bruta del tornillo

$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b = \quad 136.5 \quad \text{kN} \quad \geq \quad V = \quad 95.3 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$F_{nv} =$ 469.0 MPa – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2

$A_b =$ 388 mm$^2$ – Área bruta del tornillo

$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \quad \leq \quad 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$$

$$\phi R_n = \quad 388.9 \quad \text{kN} \quad \geq \quad V = \quad 95.3 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$l_c =$ 46 mm – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material

$t =$ 24 mm – espesor de la placa

$d =$ 22 mm – dimámetro del tornillo

$F_u =$ 400.0 MPa – resistencia a tracción del material conectado

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-2)

*La tensión requerida, a cortante o en tracción, es menor o igual al 30% de la resistencia y los efectos de las tensiones combinadas no necesitan ser evaluadas.*

**Resultado detallado para B60**

**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b = \quad 227.0 \quad \text{kN} \quad \geq \quad F_t = \quad 1.7 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$F_{nt} =$ 780.0 MPa – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2

$A_b =$ 388 mm$^2$ – Área bruta del tornillo

$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b =$ 136.5 kN ≥ $V =$ 95.3 kN

*Donde:*

$F_{nv} =$ 469.0 MPa – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2
$A_b =$ 388 mm$^2$ – Área bruta del tornillo
$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \leq 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$

$\phi R_n =$ 388.9 kN ≥ $V =$ 95.3 kN

*Donde:*

$l_c =$ 46 mm – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material
$t =$ 24 mm – espesor de la placa
$d =$ 22 mm – dimámetro del tornillo
$F_u =$ 400.0 MPa – resistencia a tracción del material conectado
$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-2)
*La tensión requerida, a cortante o en tracción, es menor o igual al 30% de la resistencia y los efectos de las tensiones combinadas no necesitan ser evaluadas.*

**Resultado detallado para B61**
**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b =$ 227.0 kN ≥ $F_t =$ 0.7 kN

*Donde:*

$F_{nt} =$ 780.0 MPa – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2
$A_b =$ 388 mm$^2$ – Área bruta del tornillo
$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b =$ 136.5 kN ≥ $V =$ 92.5 kN

*Donde:*

$F_{nv} =$ 469.0 MPa – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2
$A_b =$ 388 mm$^2$ – Área bruta del tornillo
$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \leq 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$

$\phi R_n =$ 388.9 kN ≥ $V =$ 92.5 kN

*Donde:*

| | |
|---|---|
| $l_c = 46$ mm | – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material |
| $t = 24$ mm | – espesor de la placa |
| $d = 22$ mm | – dimámetro del tornillo |
| $F_u = 400.0$ MPa | – resistencia a tracción del material conectado |
| $\phi = 0.75$ | – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos |

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-2)

*La tensión requerida, a cortante o en tracción, es menor o igual al 30% de la resistencia y los efectos de las tensiones combinadas no necesitan ser evaluadas.*

**Resultado detallado para B62**

**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b =$ 227.0 kN ≥ $F_t =$ 0.6 kN

*Donde:*

| | |
|---|---|
| $F_{nt} = 780.0$ MPa | – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2 |
| $A_b = 388$ mm$^2$ | – Área bruta del tornillo |
| $\phi = 0.75$ | – factor de capacidad |

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b =$ 136.5 kN ≥ $V =$ 92.5 kN

*Donde:*

| | |
|---|---|
| $F_{nv} = 469.0$ MPa | – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2 |
| $A_b = 388$ mm$^2$ | – Área bruta del tornillo |
| $\phi = 0.75$ | – factor de capacidad |

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \leq 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$

$\phi R_n =$ 388.9 kN ≥ $V =$ 92.5 kN

*Donde:*

| | |
|---|---|
| $l_c = 46$ mm | – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material |
| $t = 24$ mm | – espesor de la placa |
| $d = 22$ mm | – dimámetro del tornillo |
| $F_u = 400.0$ MPa | – resistencia a tracción del material conectado |
| $\phi = 0.75$ | – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos |

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-2)

*La tensión requerida, a cortante o en tracción, es menor o igual al 30% de la resistencia y los efectos de las tensiones combinadas no*

*necesitan ser evaluadas.*

## Soldaduras

| Ítem | Borde | Xu | $T_h$ [mm] | $L_s$ [mm] | L [mm] | $L_c$ [mm] | $F_n$ [kN] | $\phi R_n$ [kN] | Ut [%] | Estado |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| C-bfl 1 | FP1 | E70xx | - | - | 280 | - | - | - | - | Aceptar |
| C-bfl 1 | FP2 | E70xx | - | - | 250 | - | - | - | - | Aceptar |
| C-bfl 1 | FP3 | E70xx | - | - | 250 | - | - | - | - | Aceptar |
| C-w 1 | STIFF1b | E70xx | ◢5.7◣ | ◢8.0◣ | 350 | 50 | 39.7 | 71.6 | 55.4 | Aceptar |
| | | E70xx | ◢5.7◣ | ◢8.0◣ | 350 | 50 | 39.3 | 65.4 | 60.1 | Aceptar |
| C-tfl 1 | STIFF1b | E70xx | - | - | 105 | - | - | - | - | Aceptar |
| C-bfl 1 | STIFF1b | E70xx | - | - | 105 | - | - | - | - | Aceptar |
| C-w 1 | STIFF1a | E70xx | ◢5.7◣ | ◢8.0◣ | 350 | 50 | 39.0 | 65.5 | 59.6 | Aceptar |
| | | E70xx | ◢5.7◣ | ◢8.0◣ | 350 | 50 | 39.3 | 71.8 | 54.7 | Aceptar |
| C-bfl 1 | STIFF1a | E70xx | - | - | 105 | - | - | - | - | Aceptar |
| C-tfl 1 | STIFF1a | E70xx | - | - | 105 | - | - | - | - | Aceptar |
| C-w 1 | RIGIDIZAR2b | E70xx | ◢5.7◣ | ◢8.0◣ | 350 | 50 | 39.0 | 65.4 | 59.7 | Aceptar |
| | | E70xx | ◢5.7◣ | ◢8.0◣ | 350 | 50 | 39.5 | 71.6 | 55.2 | Aceptar |
| C-tfl 1 | RIGIDIZAR2b | E70xx | - | - | 105 | - | - | - | - | Aceptar |
| C-bfl 1 | RIGIDIZAR2b | E70xx | - | - | 105 | - | - | - | - | Aceptar |
| C-w 1 | RIGIDIZAR2a | E70xx | ◢5.7◣ | ◢8.0◣ | 350 | 50 | 39.0 | 71.7 | 54.4 | Aceptar |
| | | E70xx | ◢5.7◣ | ◢8.0◣ | 350 | 50 | 38.8 | 65.5 | 59.3 | Aceptar |
| C-bfl 1 | RIGIDIZAR2a | E70xx | - | - | 105 | - | - | - | - | Aceptar |
| C-tfl 1 | RIGIDIZAR2a | E70xx | - | - | 105 | - | - | - | - | Aceptar |

**Resultado detallado para C-bfl 1 / FP1 - 1**

*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

**Resultado detallado para C-bfl 1 / FP2 - 1**

*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

**Resultado detallado para C-bfl 1 / FP3 - 1**

*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

**Resultado detallado para C-w 1 / STIFF1b - 1**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 71.6 kN ≥ $F_n =$ 39.7 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 337.9 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 28.7° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 283 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-w 1 / STIFF1b - 2**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 65.4 kN ≥ $F_n =$ 39.3 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 308.5 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 14.9° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 283 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-tfl 1 / STIFF1b - 1**

*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

**Resultado detallado para C-bfl 1 / STIFF1b - 1**

*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

**Resultado detallado para C-w 1 / STIFF1a - 1**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 65.5 kN ≥ $F_n =$ 39.0 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 308.9 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 15.1° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 283 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-w 1 / STIFF1a - 2**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 71.8 kN ≥ $F_n =$ 39.3 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 338.6 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 29.1° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 283 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-bfl 1 / STIFF1a - 1**

*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

**Resultado detallado para C-tfl 1 / STIFF1a - 1**

*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

**Resultado detallado para C-w 1 / RIGIDIZAR2b - 1**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 65.4 kN ≥ $F_n =$ 39.0 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 308.6 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 15.0° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 283 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-w 1 / RIGIDIZAR2b - 2**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 71.6 kN ≥ $F_n =$ 39.5 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 337.7 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 28.7° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 283 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-tfl 1 / RIGIDIZAR2b - 1**

*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

**Resultado detallado para C-bfl 1 / RIGIDIZAR2b - 1**

*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

**Resultado detallado para C-w 1 / RIGIDIZAR2a - 1**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 71.7 kN ≥ $F_n =$ 39.0 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 338.5 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 29.0° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 283 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-w 1 / RIGIDIZAR2a - 2**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 65.5 kN ≥ $F_n =$ 38.8 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 309.0 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 15.2° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 283 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-bfl 1 / RIGIDIZAR2a - 1**

*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

**Resultado detallado para C-tfl 1 / RIGIDIZAR2a - 1**

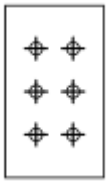
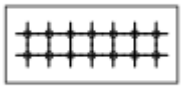
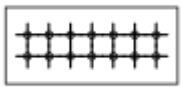
*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

## Pandeo

**El análisis de pandeo no se ha calculado.**

# Listado de material

## Operaciones

| Nombre | Placas [mm] | Forma | Nr. | Soldaduras [mm] | Longitud [mm] | Tornillos | Nr. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| FP1 | P15.0x160.0-280.0 (A36) |  | 1 | Bisel: a = 15.0 | 280.0 | 3/4 A325 | 6 |
| FP2 | P25.0x562.0-250.0 (A572 Gr.50) |  | 1 | Bisel: a = 25.0 | 250.0 | 7/8 A490 | 14 |
| FP3 | P25.0x562.0-250.0 (A572 Gr.50) |  | 1 | Bisel: a = 25.0 | 250.0 | 7/8 A490 | 14 |
| STIFF1 | P27.0x142.7-444.0 (A572 Gr.55) | | 2 | | | | |
| RIGIDIZAR2 | P27.0x142.7-444.0 (A572 Gr.55) | | 2 | | | | |

## Soldaduras

| Tipo | Material | Espesor de garganta [mm] | Tamaño de pierna [mm] | Longitud [mm] |
|---|---|---|---|---|
| Bisel | E70xx | - | - | 280.0 |
| Bisel | E70xx | - | - | 500.0 |
| Doble tendón de soldadura | E70xx | 5.7 | 8.0 | 1400.0 |
| Bisel | E70xx | - | - | 838.0 |

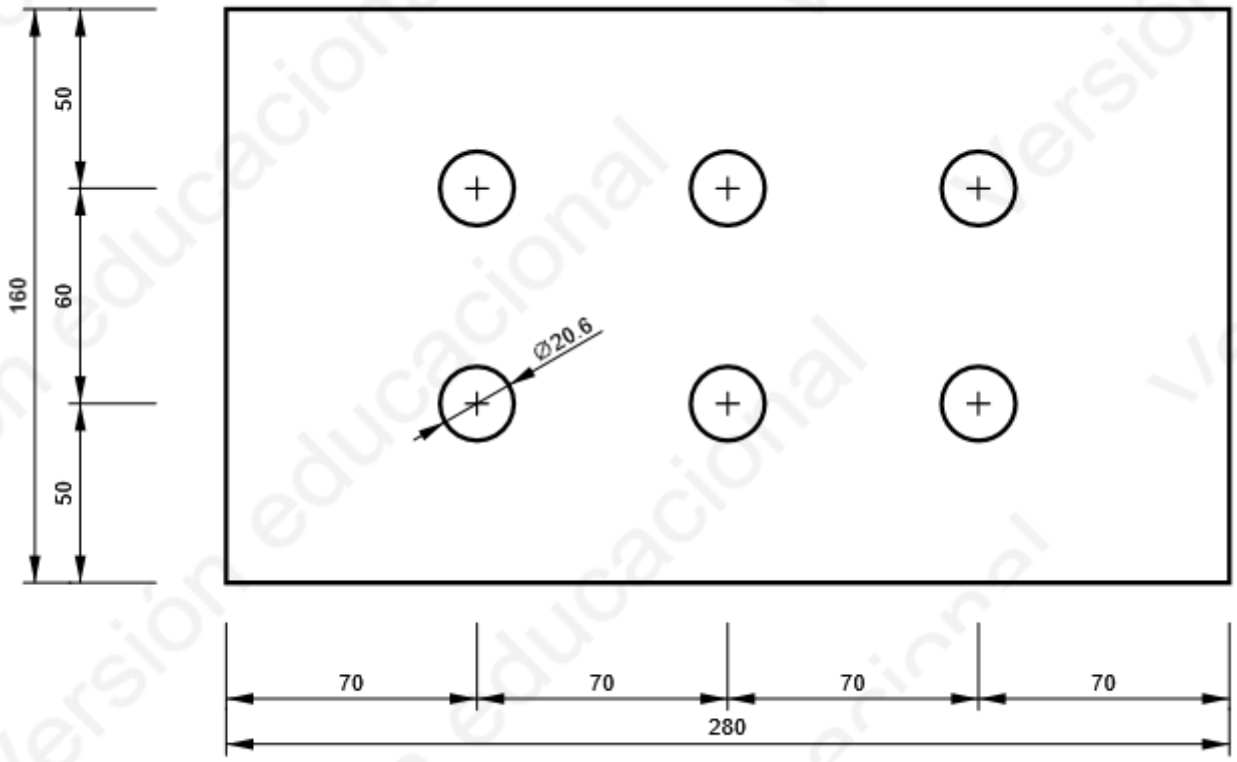
## Tornillos

| Nombre | Longitud de agarre [mm] | Cuenta |
|---|---|---|
| 3/4 A325 | 31 | 6 |
| 7/8 A490 | 49 | 28 |

## Dibujo

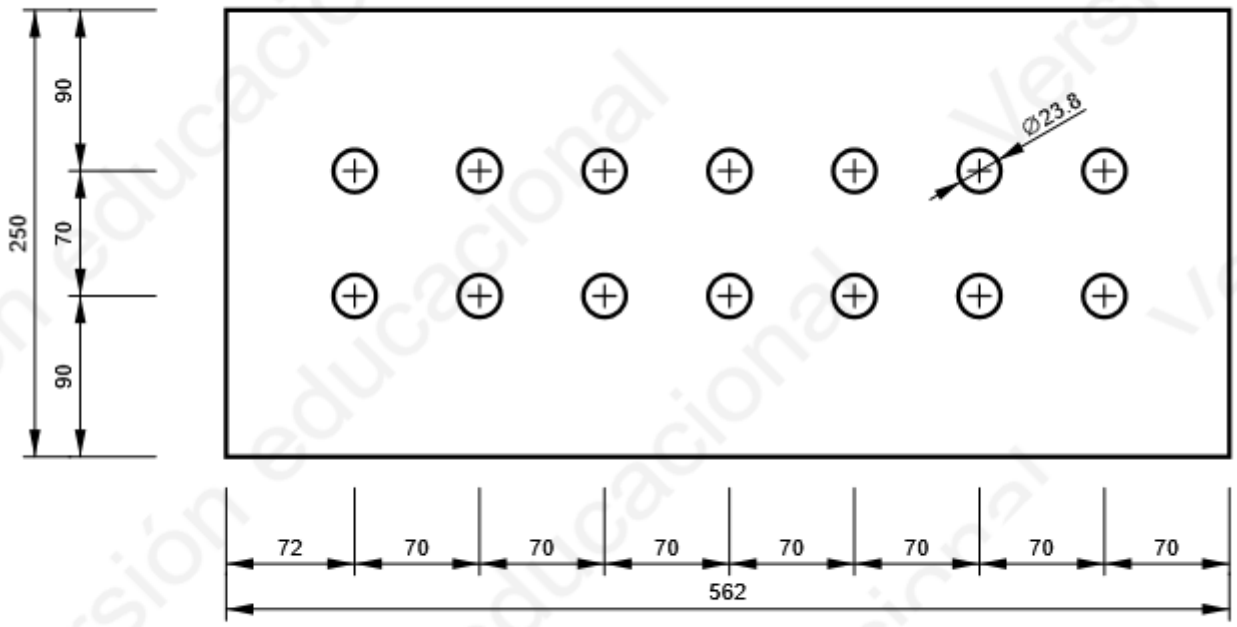
### FP1

**P15.0x280-160 (A36)**



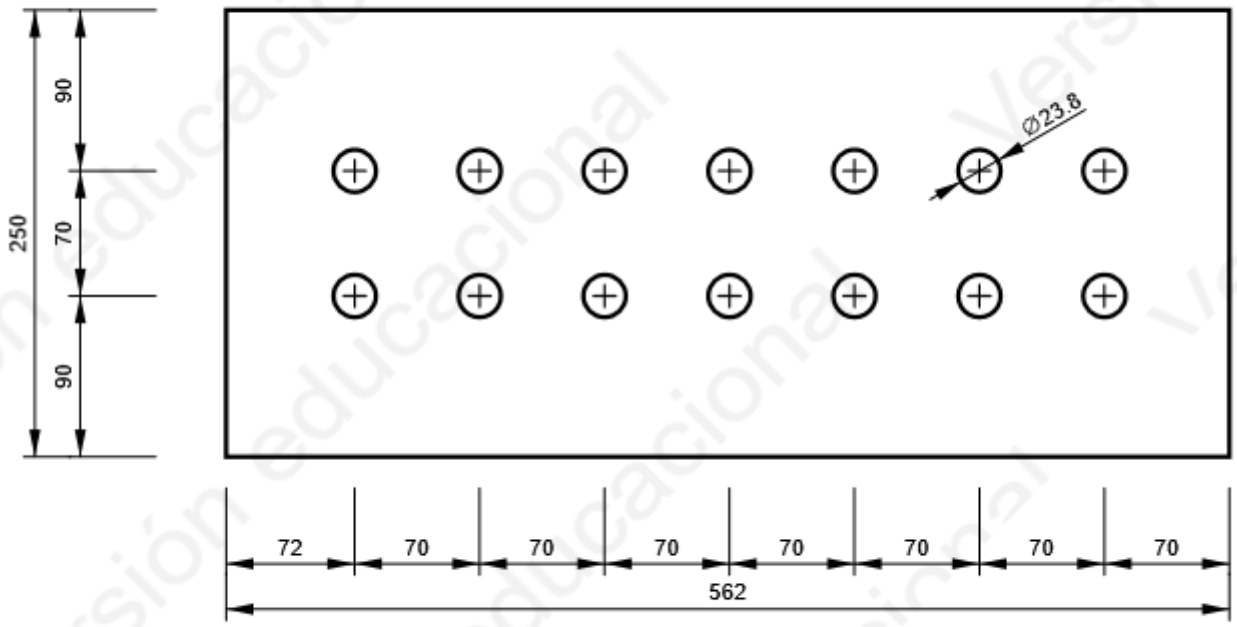
## FP2

**P25.0x250-562 (A572 Gr.50)**



## FP3

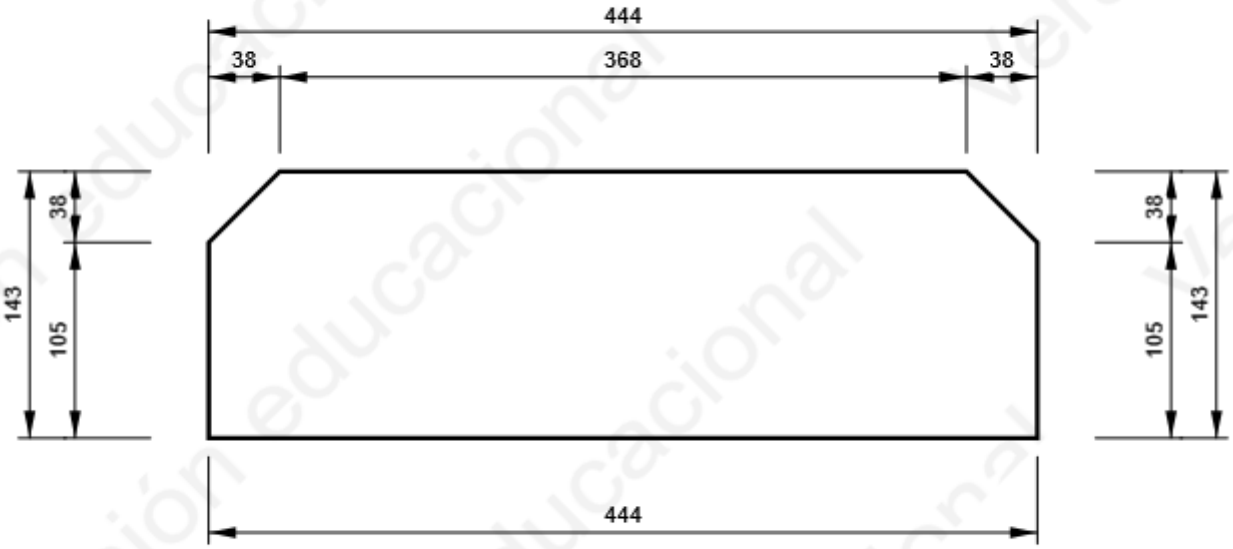
**P25.0x250-562 (A572 Gr.50)**




Versión educacional

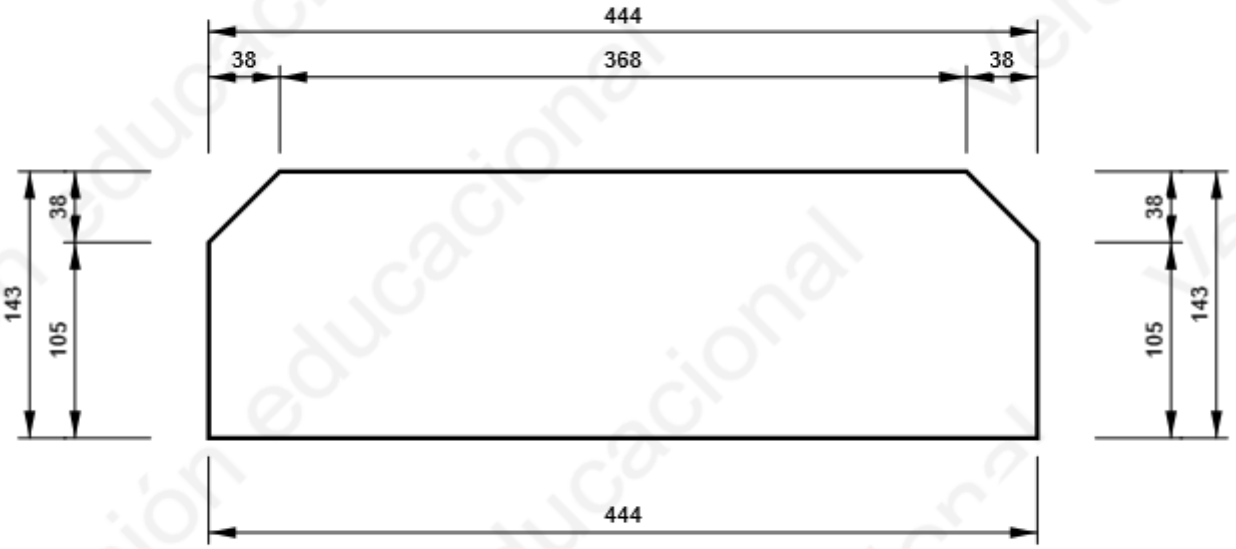
## STIFF1

**P27.0x444-143 (A572 Gr.55)**



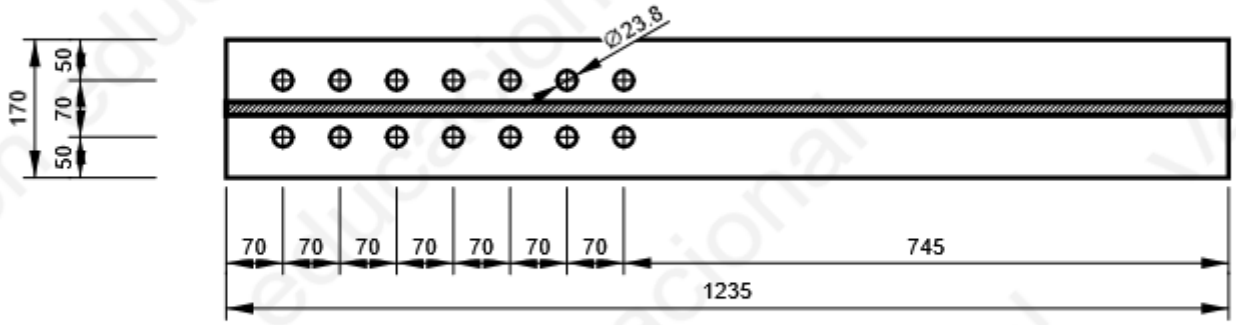
## RIGIDIZAR2

**P27.0x444-143 (A572 Gr.55)**

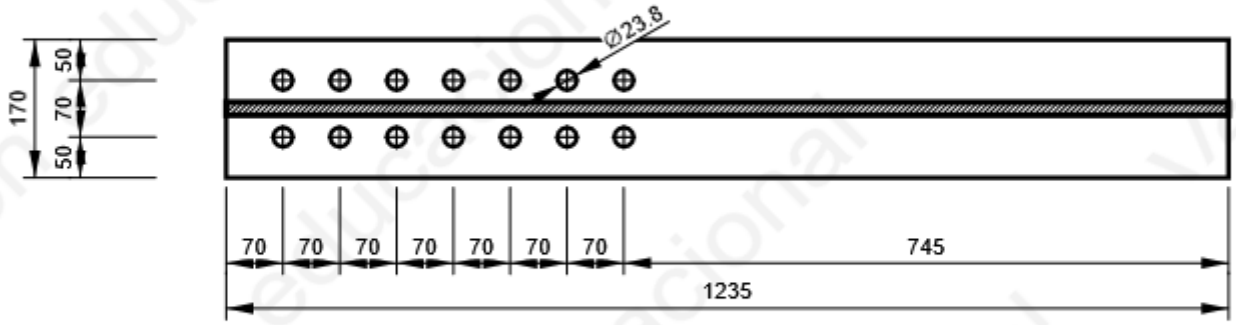



Versión educacional

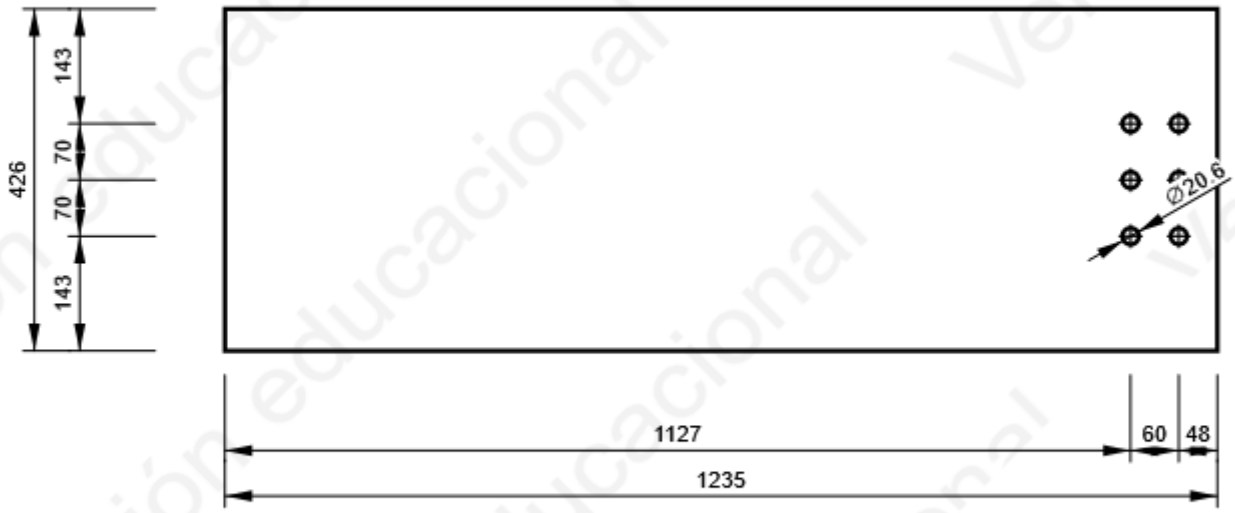
## B, IPN450 - Ala inferior 1:



## B, IPN450 - Ala superior 1:



## B, IPN450 - Alma 1:




Versión educacional

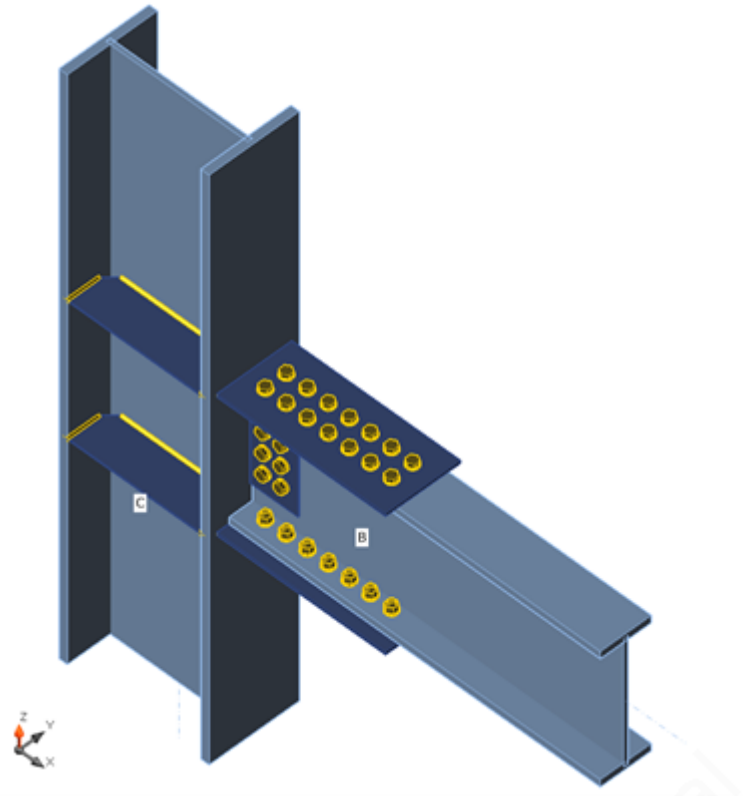
# Ítem del proyecto BFP-450-2

## Diseño

| | |
|---|---|
| Nombre | BFP-450-2 |
| Descripción | Conexion H500-I450 |
| Análisis | Tensión, deformación/ Carga simplificada |
| Normativa de cálculo | AISC - LRFD |

### Elementos estructurales

| Nombre | Sección transversal | β – Dirección [°] | γ - Inclinación [°] | α - Rotación [°] | Desplazamiento ex [mm] | Desplazamiento ey [mm] | Desplazamiento ez [mm] | Fuerzas en |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| C | 3 - HEB500 | 0.0 | -90.0 | 0.0 | 0 | 0 | 0 | Nudo |
| B | 4 - IPN450 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0 | 0 | 0 | Nudo |

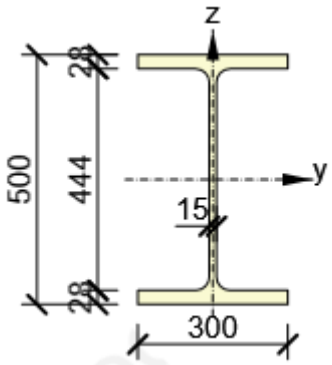
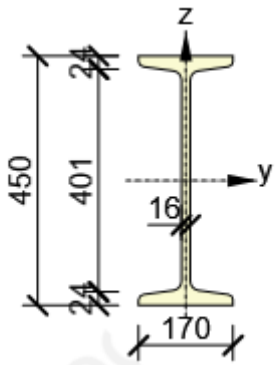



### Secciones

| Nombre | Material |
|---|---|
| 3 - HEB500 | A572 Gr.50 |
| 4 - IPN450 | A36 |

**Proyecto:** Conexiones SMF 4
**Proyecto nº:**
**Autor:** Tapia & Arbito

## Secciones

| Nombre | Material | Dibujo |
|---|---|---|
| 3 - HEB500 | A572 Gr.50 |   |
| 4 - IPN450 | A36 |   |

## Tornillos

| Nombre | Conjunto de tornillo | Diámetro [mm] | fu [MPa] | Área bruta [mm$^2$] |
|---|---|---|---|---|
| 3/4 A325 | 3/4 A325 | 19 | 825.0 | 285 |

## Cargas (No se requiere el equilibro)

| Nombre | Elemento | N [kN] | Vy [kN] | Vz [kN] | Mx [kNm] | My [kNm] | Mz [kNm] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| LE1 | B | 0.0 | 0.0 | -248.0 | 0.0 | 736.0 | 0.0 |

# Verificación

## Resumen

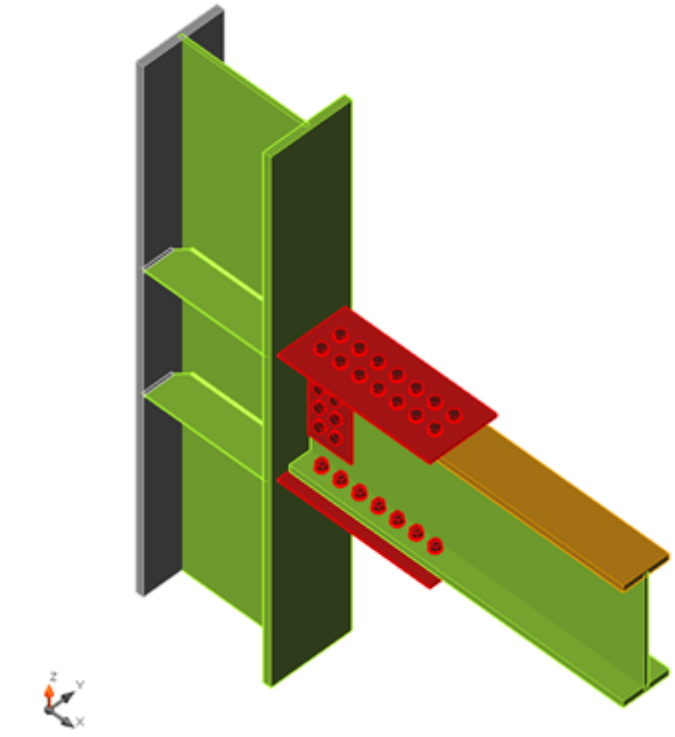
| Nombre | Valor | Estado de la verificación |
|---|---|---|
| Análisis | 100.0% | Aceptar |
| Placas | 242.0 > 5% | **Incorrecto!** |
| Tornillos | 2649.0 > 100% | **Incorrecto!** |
| Soldaduras | 82.8 < 100% | Aceptar |
| Pandeo | No calculado | |

## Placas

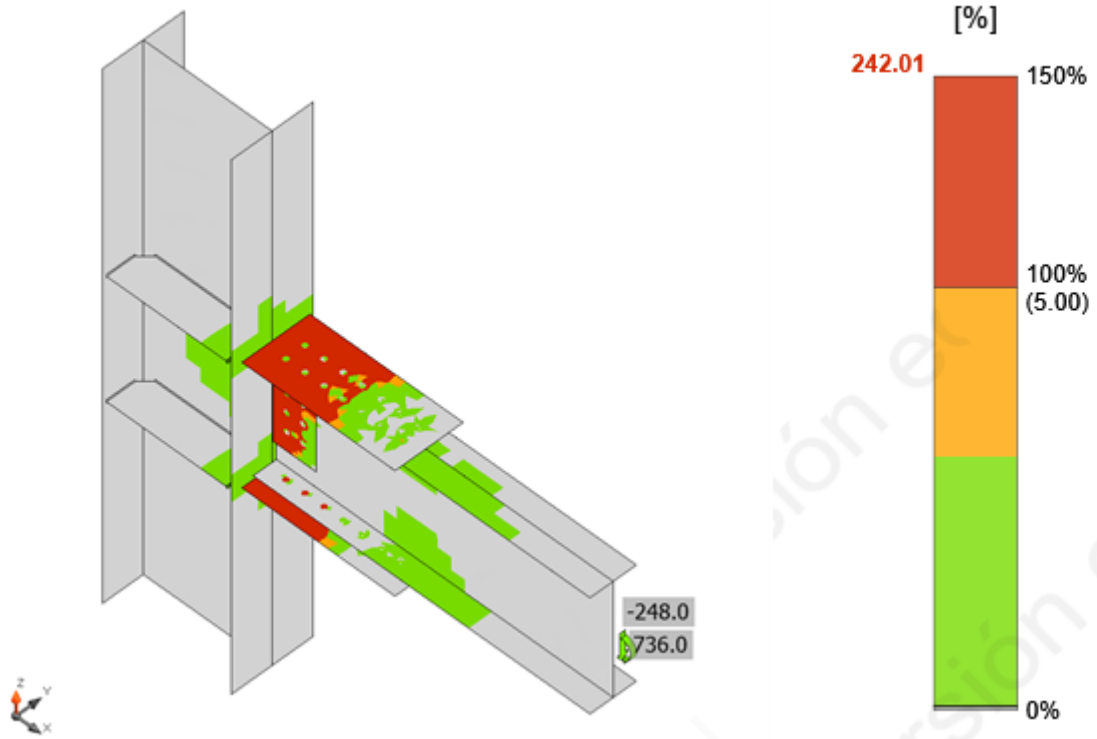
| Nombre | Material | $F_y$ [MPa] | Espesor [mm] | Cargas | $\sigma_{Ed}$ [MPa] | $\varepsilon_{Pl}$ [%] | Estado de la verificación |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| C-bfl 1 | A572 Gr.50 | 344.7 | 28.0 | LE1 | 310.5 | 0.1 | Aceptar |
| C-tfl 1 | A572 Gr.50 | 344.7 | 28.0 | LE1 | 110.1 | 0.0 | Aceptar |
| C-w 1 | A572 Gr.50 | 344.7 | 14.5 | LE1 | 310.6 | 0.2 | Aceptar |
| B-bfl 1 | A36 | 248.2 | 24.3 | LE1 | 225.0 | 0.8 | Aceptar |
| B-tfl 1 | A36 | 248.2 | 24.3 | LE1 | 233.4 | 5.0 | Aceptar |
| B-w 1 | A36 | 248.2 | 16.2 | LE1 | 226.3 | 1.5 | Aceptar |
| FP1 | A36 | 248.2 | 6.0 | LE1 | 593.9 | 185.1 | **Incorrecto!** |
| FP2 | A572 Gr.50 | 344.7 | 10.0 | LE1 | 794.8 | 242.0 | **Incorrecto!** |
| FP3 | A572 Gr.50 | 344.7 | 10.0 | LE1 | 743.8 | 216.6 | **Incorrecto!** |
| STIFF1a | A572 Gr.55 | 379.2 | 6.0 | LE1 | 331.4 | 0.8 | Aceptar |
| STIFF1b | A572 Gr.55 | 379.2 | 6.0 | LE1 | 340.4 | 1.0 | Aceptar |
| RIGIDIZAR2a | A572 Gr.55 | 379.2 | 6.0 | LE1 | 327.7 | 0.8 | Aceptar |
| RIGIDIZAR2b | A572 Gr.55 | 379.2 | 6.0 | LE1 | 342.5 | 1.1 | Aceptar |

### Datos de diseño

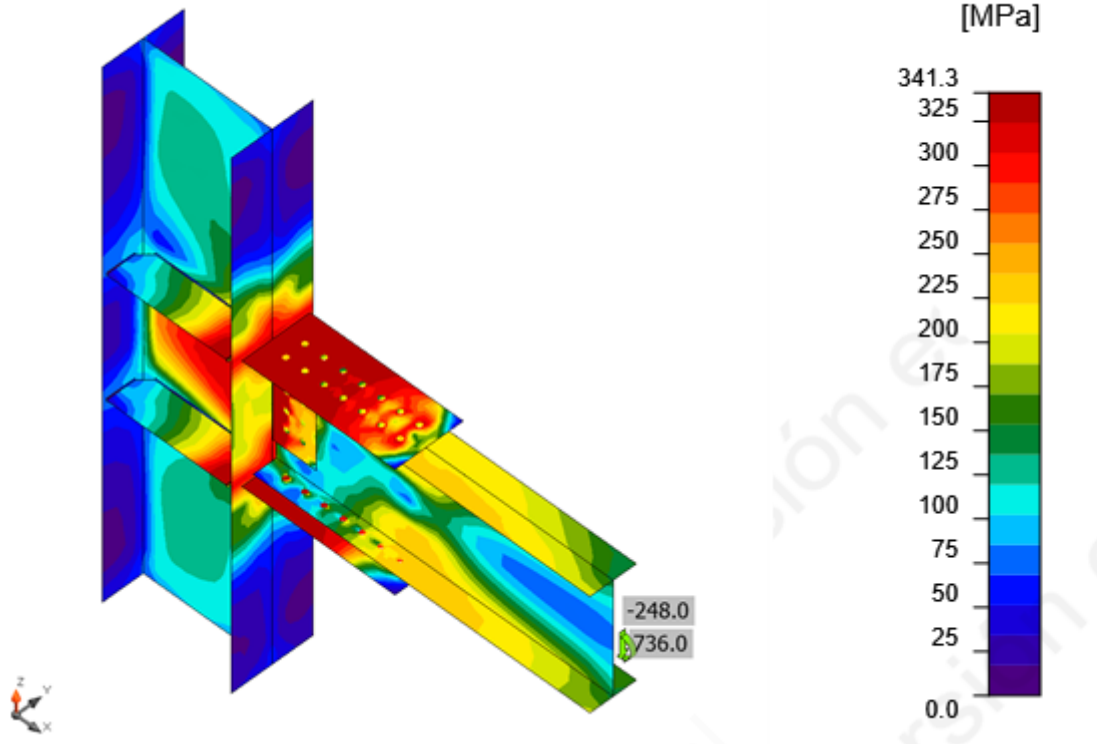
| Material | fy [MPa] | $\varepsilon_{lim}$ [%] |
|---|---|---|
| A572 Gr.50 | 344.7 | 5.0 |
| A36 | 248.2 | 5.0 |
| A572 Gr.55 | 379.2 | 5.0 |



*Verificación general, LE1*

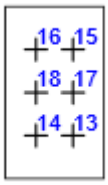
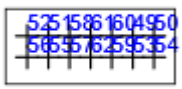



*Verificación de deformación, LE1*




*Tensión equivalente, LE1*

## Tornillos

| Forma | Ítem | Calidad | Cargas | $F_t$ [kN] | V [kN] | $\phi R_{n,portante}$ [kN] | $Ut_t$ [%] | $Ut_s$ [%] | $Ut_{ts}$ [%] | Estado |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
|  | B13 | 3/4 A325 - 1 | LE1 | 20.8 | 84.4 | 82.3 | 15.7 | 106.2 | - | Incorrecto! |
| | B14 | 3/4 A325 - 1 | LE1 | 33.4 | 83.0 | 82.3 | 25.2 | 104.4 | - | Incorrecto! |
| | B15 | 3/4 A325 - 1 | LE1 | 23.6 | 84.8 | 82.3 | 17.8 | 106.7 | - | Incorrecto! |
| | B16 | 3/4 A325 - 1 | LE1 | 27.2 | 83.5 | 82.3 | 20.5 | 105.1 | - | Incorrecto! |
| | B17 | 3/4 A325 - 1 | LE1 | 18.8 | 82.8 | 82.3 | 14.2 | 104.1 | - | Incorrecto! |
| | B18 | 3/4 A325 - 1 | LE1 | 32.4 | 79.7 | 82.3 | 24.5 | 100.3 | - | Incorrecto! |
| | B27 | 3/4 A325 - 1 | LE1 | 1.5 | 94.8 | 153.7 | 1.1 | 119.2 | - | Incorrecto! |
| | B28 | 3/4 A325 - 1 | LE1 | 13.6 | 94.8 | 153.7 | 10.3 | 119.2 | - | Incorrecto! |
| | B29 | 3/4 A325 - 1 | LE1 | 41.6 | 96.7 | 153.7 | 31.4 | 121.6 | 374.7 | Incorrecto! |
| | B30 | 3/4 A325 - 1 | LE1 | 44.2 | 100.7 | 153.7 | 33.3 | 126.6 | 972.0 | Incorrecto! |
| | B31 | 3/4 A325 - 1 | LE1 | 1.5 | 94.8 | 153.7 | 1.1 | 119.2 | - | Incorrecto! |
| | B32 | 3/4 A325 - 1 | LE1 | 14.1 | 94.8 | 153.7 | 10.6 | 119.2 | - | Incorrecto! |
| | B33 | 3/4 A325 - 1 | LE1 | 39.9 | 96.7 | 153.7 | 30.1 | 121.6 | 357.9 | Incorrecto! |
| | B34 | 3/4 A325 - 1 | LE1 | 42.9 | 100.6 | 153.7 | 32.4 | 126.6 | 941.0 | Incorrecto! |
| | B35 | 3/4 A325 - 1 | LE1 | 31.0 | 95.0 | 153.7 | 23.4 | 119.4 | - | Incorrecto! |
| | B36 | 3/4 A325 - 1 | LE1 | 32.5 | 95.0 | 153.7 | 24.5 | 119.5 | - | Incorrecto! |
| | B37 | 3/4 A325 - 1 | LE1 | 2.2 | 94.8 | 153.7 | 1.7 | 119.2 | - | Incorrecto! |
| | B38 | 3/4 A325 - 1 | LE1 | 2.2 | 94.8 | 153.7 | 1.6 | 119.2 | - | Incorrecto! |
| | B39 | 3/4 A325 - 1 | LE1 | 15.6 | 94.8 | 153.7 | 11.7 | 119.2 | - | Incorrecto! |
| | B40 | 3/4 A325 - 1 | LE1 | 15.4 | 94.8 | 153.7 | 11.6 | 119.2 | - | Incorrecto! |
|  | B49 | 3/4 A325 - 1 | LE1 | 0.9 | 97.1 | 153.7 | 0.7 | 122.1 | - | Incorrecto! |
| | B50 | 3/4 A325 - 1 | LE1 | 0.7 | 97.1 | 153.7 | 0.5 | 122.1 | - | Incorrecto! |
| | B51 | 3/4 A325 - 1 | LE1 | 37.0 | 98.3 | 153.7 | 27.9 | 123.6 | - | Incorrecto! |
| | B52 | 3/4 A325 - 1 | LE1 | 104.1 | 101.0 | 153.7 | 78.5 | 127.0 | 2649.0 | Incorrecto! |
| | B53 | 3/4 A325 - 1 | LE1 | 0.9 | 97.1 | 153.7 | 0.7 | 122.1 | - | Incorrecto! |
| | B54 | 3/4 A325 - 1 | LE1 | 0.8 | 97.1 | 153.7 | 0.6 | 122.1 | - | Incorrecto! |
| | B55 | 3/4 A325 - 1 | LE1 | 37.7 | 98.3 | 153.7 | 28.4 | 123.6 | - | Incorrecto! |
| | B56 | 3/4 A325 - 1 | LE1 | 95.8 | 101.0 | 153.7 | 72.3 | 127.0 | 2437.9 | Incorrecto! |
| | B57 | 3/4 A325 - 1 | LE1 | 26.7 | 97.1 | 153.7 | 20.1 | 122.1 | - | Incorrecto! |
| | B58 | 3/4 A325 - 1 | LE1 | 27.5 | 97.1 | 153.7 | 20.7 | 122.1 | - | Incorrecto! |
| | B59 | 3/4 A325 - 1 | LE1 | 0.8 | 97.1 | 153.7 | 0.6 | 122.1 | - | Incorrecto! |
| | B60 | 3/4 A325 - 1 | LE1 | 0.8 | 97.1 | 153.7 | 0.6 | 122.1 | - | Incorrecto! |
| | B61 | 3/4 A325 - 1 | LE1 | 5.3 | 97.1 | 153.7 | 4.0 | 122.1 | - | Incorrecto! |
| | B62 | 3/4 A325 - 1 | LE1 | 5.4 | 97.1 | 153.7 | 4.1 | 122.1 | - | Incorrecto! |

### Datos de diseño

| Calidad | $\phi R_{n,tracción}$ [kN] | $\phi R_{n,cortante}$ [kN] |
|---|---|---|
| 3/4 A325 - 1 | 132.5 | 79.5 |

**Resultado detallado para B13**

**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b = \quad 132.5 \quad \text{kN} \quad \geq \quad F_t = \quad 20.8 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$F_{nt} =$ 620.0 MPa – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2

$A_b =$ 285 mm$^2$ – Área bruta del tornillo

$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b = \quad 79.5 \quad \text{kN} \quad < \quad V = \quad 84.4 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$F_{nv} =$ 372.0 MPa – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2

$A_b =$ 285 mm$^2$ – Área bruta del tornillo

$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \quad \leq \quad 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$$

$$\phi R_n = \quad 82.3 \quad \text{kN} \quad < \quad V = \quad 84.4 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$l_c =$ 93 mm – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material

$t =$ 6 mm – espesor de la placa

$d =$ 19 mm – dimámetro del tornillo

$F_u =$ 400.0 MPa – resistencia a tracción del material conectado

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-2)

*La tensión requerida, a cortante o en tracción, es menor o igual al 30% de la resistencia y los efectos de las tensiones combinadas no necesitan ser evaluadas.*

**Resultado detallado para B14**

**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b = \quad 132.5 \quad \text{kN} \quad \geq \quad F_t = \quad 33.4 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$F_{nt} =$ 620.0 MPa – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2

$A_b =$ 285 mm$^2$ – Área bruta del tornillo

$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b =$ 79.5 kN < $V =$ 83.0 kN

*Donde:*

$F_{nv} =$ 372.0 MPa – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2
$A_b =$ 285 mm$^2$ – Área bruta del tornillo
$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \leq 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$

$\phi R_n =$ 82.3 kN < $V =$ 83.0 kN

*Donde:*

$l_c =$ 39 mm – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material
$t =$ 6 mm – espesor de la placa
$d =$ 19 mm – dimámetro del tornillo
$F_u =$ 400.0 MPa – resistencia a tracción del material conectado
$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-2)
*La tensión requerida, a cortante o en tracción, es menor o igual al 30% de la resistencia y los efectos de las tensiones combinadas no necesitan ser evaluadas.*

**Resultado detallado para B15**
**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b =$ 132.5 kN ≥ $F_t =$ 23.6 kN

*Donde:*

$F_{nt} =$ 620.0 MPa – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2
$A_b =$ 285 mm$^2$ – Área bruta del tornillo
$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b =$ 79.5 kN < $V =$ 84.8 kN

*Donde:*

$F_{nv} =$ 372.0 MPa – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2
$A_b =$ 285 mm$^2$ – Área bruta del tornillo
$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \leq 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$

$\phi R_n =$ 82.3 kN < $V =$ 84.8 kN

*Donde:*

| | |
|---|---|
| $l_c = 55$ mm | – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material |
| $t = 6$ mm | – espesor de la placa |
| $d = 19$ mm | – dimámetro del tornillo |
| $F_u = 400.0$ MPa | – resistencia a tracción del material conectado |
| $\phi = 0.75$ | – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos |

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-2)

*La tensión requerida, a cortante o en tracción, es menor o igual al 30% de la resistencia y los efectos de las tensiones combinadas no necesitan ser evaluadas.*

**Resultado detallado para B16**

**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b =$ 132.5 kN ≥ $F_t =$ 27.2 kN

*Donde:*

| | |
|---|---|
| $F_{nt} = 620.0$ MPa | – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2 |
| $A_b = 285$ mm$^2$ | – Área bruta del tornillo |
| $\phi = 0.75$ | – factor de capacidad |

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b =$ 79.5 kN < $V =$ 83.5 kN

*Donde:*

| | |
|---|---|
| $F_{nv} = 372.0$ MPa | – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2 |
| $A_b = 285$ mm$^2$ | – Área bruta del tornillo |
| $\phi = 0.75$ | – factor de capacidad |

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \leq 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$

$\phi R_n =$ 82.3 kN < $V =$ 83.5 kN

*Donde:*

| | |
|---|---|
| $l_c = 39$ mm | – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material |
| $t = 6$ mm | – espesor de la placa |
| $d = 19$ mm | – dimámetro del tornillo |
| $F_u = 400.0$ MPa | – resistencia a tracción del material conectado |
| $\phi = 0.75$ | – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos |

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-2)

*La tensión requerida, a cortante o en tracción, es menor o igual al 30% de la resistencia y los efectos de las tensiones combinadas no*

*necesitan ser evaluadas.*

**Resultado detallado para B17**

**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b =$ 132.5 kN ≥ $F_t =$ 18.8 kN

*Donde:*

$F_{nt} =$ 620.0 MPa – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2
$A_b =$ 285 mm$^2$ – Área bruta del tornillo
$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b =$ 79.5 kN < $V =$ 82.8 kN

*Donde:*

$F_{nv} =$ 372.0 MPa – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2
$A_b =$ 285 mm$^2$ – Área bruta del tornillo
$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \leq 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$

$\phi R_n =$ 82.3 kN < $V =$ 82.8 kN

*Donde:*

$l_c =$ 49 mm – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material
$t =$ 6 mm – espesor de la placa
$d =$ 19 mm – dimámetro del tornillo
$F_u =$ 400.0 MPa – resistencia a tracción del material conectado
$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-2)

*La tensión requerida, a cortante o en tracción, es menor o igual al 30% de la resistencia y los efectos de las tensiones combinadas no necesitan ser evaluadas.*

**Resultado detallado para B18**

**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b = \quad 132.5 \quad \text{kN} \quad \geq \quad F_t = \quad 32.4 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$F_{nt} =$ 620.0 MPa – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2

$A_b =$ 285 mm$^2$ – Área bruta del tornillo

$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b = \quad 79.5 \quad \text{kN} \quad < \quad V = \quad 79.7 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$F_{nv} =$ 372.0 MPa – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2

$A_b =$ 285 mm$^2$ – Área bruta del tornillo

$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \quad \leq \quad 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$$

$$\phi R_n = \quad 82.3 \quad \text{kN} \quad \geq \quad V = \quad 79.7 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$l_c =$ 49 mm – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material

$t =$ 6 mm – espesor de la placa

$d =$ 19 mm – dimámetro del tornillo

$F_u =$ 400.0 MPa – resistencia a tracción del material conectado

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-2)

*La tensión requerida, a cortante o en tracción, es menor o igual al 30% de la resistencia y los efectos de las tensiones combinadas no necesitan ser evaluadas.*

**Resultado detallado para B27**

**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b = \quad 132.5 \quad \text{kN} \quad \geq \quad F_t = \quad 1.5 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$F_{nt} =$ 620.0 MPa – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2

$A_b =$ 285 mm$^2$ – Área bruta del tornillo

$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b =$ 79.5 kN < $V =$ 94.8 kN

*Donde:*

$F_{nv} =$ 372.0 MPa – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2
$A_b =$ 285 mm$^2$ – Área bruta del tornillo
$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \leq 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$

$\phi R_n =$ 153.7 kN ≥ $V =$ 94.8 kN

*Donde:*

$l_c =$ 49 mm – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material
$t =$ 10 mm – espesor de la placa
$d =$ 19 mm – dimámetro del tornillo
$F_u =$ 448.2 MPa – resistencia a tracción del material conectado
$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-2)
*La tensión requerida, a cortante o en tracción, es menor o igual al 30% de la resistencia y los efectos de las tensiones combinadas no necesitan ser evaluadas.*

**Resultado detallado para B28**
**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b =$ 132.5 kN ≥ $F_t =$ 13.6 kN

*Donde:*

$F_{nt} =$ 620.0 MPa – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2
$A_b =$ 285 mm$^2$ – Área bruta del tornillo
$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b =$ 79.5 kN < $V =$ 94.8 kN

*Donde:*

$F_{nv} =$ 372.0 MPa – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2
$A_b =$ 285 mm$^2$ – Área bruta del tornillo
$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \leq 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$

$\phi R_n =$ 153.7 kN ≥ $V =$ 94.8 kN

*Donde:*

$l_c = 49$ mm – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material

$t = 10$ mm – espesor de la placa

$d = 19$ mm – dimámetro del tornillo

$F_u = 448.2$ MPa – resistencia a tracción del material conectado

$\phi = 0.75$ – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-2)

*La tensión requerida, a cortante o en tracción, es menor o igual al 30% de la resistencia y los efectos de las tensiones combinadas no necesitan ser evaluadas.*

**Resultado detallado para B29**

**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b =$ 132.5 kN ≥ $F_t =$ 41.6 kN

*Donde:*

$F_{nt} = 620.0$ MPa – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2

$A_b = 285$ mm$^2$ – Área bruta del tornillo

$\phi = 0.75$ – factor de capacidad

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b =$ 79.5 kN < $V =$ 96.7 kN

*Donde:*

$F_{nv} = 372.0$ MPa – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2

$A_b = 285$ mm$^2$ – Área bruta del tornillo

$\phi = 0.75$ – factor de capacidad

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \leq 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$

$\phi R_n =$ 153.7 kN ≥ $V =$ 96.7 kN

*Donde:*

$l_c = 49$ mm – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material

$t = 10$ mm – espesor de la placa

$d = 19$ mm – dimámetro del tornillo

$F_u = 448.2$ MPa – resistencia a tracción del material conectado

$\phi = 0.75$ – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-3b)

$\phi R_n = \phi \cdot F'_{nt} \cdot A_b =$ 11.1 kN < $F_t =$ 41.6 kN

*Donde:*

$F'_{nt}$ = 51.9 MPa – resistencia a tracción nominal modificada para incluir los efectos de las tensiones tangenciales

- $F'_{nt} = 1.3 \cdot F_{nt} - \frac{f_{rv} \cdot F_{nt}}{\phi \cdot F_{nv}} \leq F_{nt}$ , donde:
  - $F_{nt}$ = 620.0 MPa – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2
  - $F_{nv}$ = 372.0 MPa – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2
  - $f_{rv}$ = 339.3 MPa – tensión tangencial requerida usando combinaciones LRFD o ASD. La tensión tangencial en el anclaje debe ser igual o mayor a la tensión tangencial requerida
  - $\phi$ = 0.75 – factor de resistencia para combinación tracción-cortante

$A_b$ = 285 mm$^2$ – Área bruta del tornillo

**Resultado detallado para B30**

**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b =$ 132.5 kN ≥ $F_t =$ 44.2 kN

*Donde:*

$F_{nt}$ = 620.0 MPa – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2

$A_b$ = 285 mm$^2$ – Área bruta del tornillo

$\phi$ = 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b =$ 79.5 kN < $V =$ 100.7 kN

*Donde:*

$F_{nv}$ = 372.0 MPa – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2

$A_b$ = 285 mm$^2$ – Área bruta del tornillo

$\phi$ = 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \leq 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$

$\phi R_n =$ 153.7 kN ≥ $V =$ 100.7 kN

*Donde:*

$l_c$ = 49 mm – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material

$t$ = 10 mm – espesor de la placa

$d$ = 19 mm – dimámetro del tornillo

$F_u$ = 448.2 MPa – resistencia a tracción del material conectado

$\phi$ = 0.75 – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-3b)

$\phi R_n = \phi \cdot F'_{nt} \cdot A_b =$ 4.5 kN < $F_t =$ 44.2 kN

*Donde:*

– resistencia a tracción nominal modificada para incluir los efectos de las tensiones tangenciales

$F'_{nt} = 21.3$ MPa

- $F'_{nt} = 1.3 \cdot F_{nt} - \frac{f_{rv} \cdot F_{nt}}{\phi \cdot F_{nv}} \leq F_{nt}$ , donde:
  - $F_{nt} =$ 620.0 MPa – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2
  - $F_{nv} =$ 372.0 MPa – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2
  - $f_{rv} =$ 353.1 MPa – tensión tangencial requerida usando combinaciones LRFD o ASD. La tensión tangencial en el anclaje debe ser igual o mayor a la tensión tangencial requerida
  - $\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para combinación tracción-cortante

$A_b = 285$ mm$^2$ – Área bruta del tornillo

**Resultado detallado para B31**

**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b =$ 132.5 kN ≥ $F_t =$ 1.5 kN

*Donde:*

$F_{nt} = 620.0$ MPa – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2
$A_b = 285$ mm$^2$ – Área bruta del tornillo
$\phi = 0.75$ – factor de capacidad

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b =$ 79.5 kN < $V =$ 94.8 kN

*Donde:*

$F_{nv} = 372.0$ MPa – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2
$A_b = 285$ mm$^2$ – Área bruta del tornillo
$\phi = 0.75$ – factor de capacidad

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \leq 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$

$\phi R_n =$ 153.7 kN ≥ $V =$ 94.8 kN

*Donde:*

$l_c = 49$ mm – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material
$t = 10$ mm – espesor de la placa
$d = 19$ mm – dimámetro del tornillo
$F_u = 448.2$ MPa – resistencia a tracción del material conectado
$\phi = 0.75$ – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-2)

*La tensión requerida, a cortante o en tracción, es menor o igual al 30% de la resistencia y los efectos de las tensiones combinadas no necesitan ser evaluadas.*

**Resultado detallado para B32**

**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b = \quad 132.5 \quad \text{kN} \quad \geq \quad F_t = \quad 14.1 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$F_{nt} =$ 620.0 MPa – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2

$A_b =$ 285 mm$^2$ – Área bruta del tornillo

$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b = \quad 79.5 \quad \text{kN} \quad < \quad V = \quad 94.8 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$F_{nv} =$ 372.0 MPa – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2

$A_b =$ 285 mm$^2$ – Área bruta del tornillo

$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \quad \leq \quad 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$$

$$\phi R_n = \quad 153.7 \quad \text{kN} \quad \geq \quad V = \quad 94.8 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$l_c =$ 49 mm – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material

$t =$ 10 mm – espesor de la placa

$d =$ 19 mm – dimámetro del tornillo

$F_u =$ 448.2 MPa – resistencia a tracción del material conectado

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-2)

*La tensión requerida, a cortante o en tracción, es menor o igual al 30% de la resistencia y los efectos de las tensiones combinadas no necesitan ser evaluadas.*

**Resultado detallado para B33**

**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b = \quad 132.5 \quad \text{kN} \quad \geq \quad F_t = \quad 39.9 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$F_{nt} =$ 620.0 MPa – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2

$A_b =$ 285 mm$^2$ – Área bruta del tornillo

$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b =$ 79.5 kN < $V =$ 96.7 kN

*Donde:*

$F_{nv} =$ 372.0 MPa – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2
$A_b =$ 285 mm$^2$ – Área bruta del tornillo
$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \leq 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$

$\phi R_n =$ 153.7 kN ≥ $V =$ 96.7 kN

*Donde:*

$l_c =$ 49 mm – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material
$t =$ 10 mm – espesor de la placa
$d =$ 19 mm – dimámetro del tornillo
$F_u =$ 448.2 MPa – resistencia a tracción del material conectado
$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-3b)

$\phi R_n = \phi \cdot F'_{nt} \cdot A_b =$ 11.2 kN < $F_t =$ 39.9 kN

*Donde:*

$F'_{nt} =$ 52.2 MPa – resistencia a tracción nominal modificada para incluir los efectos de las tensiones tangenciales

- $F'_{nt} = 1.3 \cdot F_{nt} - \frac{f_{rv} \cdot F_{nt}}{\phi \cdot F_{nv}} \leq F_{nt}$ , donde:
  - $F_{nt} =$ 620.0 MPa – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2
  - $F_{nv} =$ 372.0 MPa – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2
  - $f_{rv} =$ 339.2 MPa – tensión tangencial requerida usando combinaciones LRFD o ASD. La tensión tangencial en el anclaje debe ser igual o mayor a la tensión tangencial requerida
  - $\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para combinación tracción-cortante

$A_b =$ 285 mm$^2$ – Área bruta del tornillo

**Resultado detallado para B34**

**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b =$ 132.5 kN ≥ $F_t =$ 42.9 kN

*Donde:*

$F_{nt} =$ 620.0 MPa – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2
$A_b =$ 285 mm$^2$ – Área bruta del tornillo
$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b =$ 79.5 kN < $V =$ 100.6 kN

*Donde:*

$F_{nv} =$ 372.0 MPa – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2
$A_b =$ 285 mm$^2$ – Área bruta del tornillo
$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \quad \leq \quad 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$$

$$\phi R_n = \quad 153.7 \quad \text{kN} \quad \geq \quad V = \quad 100.6 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$l_c =$ 49 mm – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material
$t =$ 10 mm – espesor de la placa
$d =$ 19 mm – dimámetro del tornillo
$F_u =$ 448.2 MPa – resistencia a tracción del material conectado
$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-3b)

$$\phi R_n = \phi \cdot F'_{nt} \cdot A_b = \quad 4.6 \quad \text{kN} \quad < \quad F_t = \quad 42.9 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$F'_{nt} =$ 21.3 MPa – resistencia a tracción nominal modificada para incluir los efectos de las tensiones tangenciales

- $F'_{nt} = 1.3 \cdot F_{nt} - \frac{f_{rv} \cdot F_{nt}}{\phi \cdot F_{nv}} \leq F_{nt}$ , donde:
  - $F_{nt} =$ 620.0 MPa – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2
  - $F_{nv} =$ 372.0 MPa – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2
  - $f_{rv} =$ 353.1 MPa – tensión tangencial requerida usando combinaciones LRFD o ASD. La tensión tangencial en el anclaje debe ser igual o mayor a la tensión tangencial requerida
  - $\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para combinación tracción-cortante

$A_b =$ 285 mm$^2$ – Área bruta del tornillo

**Resultado detallado para B35**

**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b = \quad 132.5 \quad \text{kN} \quad \geq \quad F_t = \quad 31.0 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$F_{nt} =$ 620.0 MPa – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2
$A_b =$ 285 mm$^2$ – Área bruta del tornillo
$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b = \quad 79.5 \quad \text{kN} \quad < \quad V = \quad 95.0 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

– resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2

$F_{nv}$ = 372.0 MPa
$A_b$ = 285 mm$^2$ – Área bruta del tornillo
$\phi$ = 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \quad \leq \quad 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$$

$$\phi R_n = \quad 153.7 \quad \text{kN} \quad \geq \quad V = \quad 95.0 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$l_c$ = 49 mm – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material
$t$ = 10 mm – espesor de la placa
$d$ = 19 mm – dimámetro del tornillo
$F_u$ = 448.2 MPa – resistencia a tracción del material conectado
$\phi$ = 0.75 – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-2)
*La tensión requerida, a cortante o en tracción, es menor o igual al 30% de la resistencia y los efectos de las tensiones combinadas no necesitan ser evaluadas.*

**Resultado detallado para B36**
**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b = \quad 132.5 \quad \text{kN} \quad \geq \quad F_t = \quad 32.5 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$F_{nt}$ = 620.0 MPa – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2
$A_b$ = 285 mm$^2$ – Área bruta del tornillo
$\phi$ = 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b = \quad 79.5 \quad \text{kN} \quad < \quad V = \quad 95.0 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$F_{nv}$ = 372.0 MPa – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2
$A_b$ = 285 mm$^2$ – Área bruta del tornillo
$\phi$ = 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \quad \leq \quad 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$$

$$\phi R_n = \quad 153.7 \quad \text{kN} \quad \geq \quad V = \quad 95.0 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$l_c$ = 49 mm – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material

$t = 10$ mm – espesor de la placa
$d = 19$ mm – dimámetro del tornillo
$F_u = 448.2$ MPa – resistencia a tracción del material conectado
$\phi = 0.75$ – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-2)
*La tensión requerida, a cortante o en tracción, es menor o igual al 30% de la resistencia y los efectos de las tensiones combinadas no necesitan ser evaluadas.*

**Resultado detallado para B37**

**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b = \quad 132.5 \quad \text{kN} \quad \geq \quad F_t = \quad 2.2 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$F_{nt} = 620.0$ MPa – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2
$A_b = 285$ mm$^2$ – Área bruta del tornillo
$\phi = 0.75$ – factor de capacidad

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b = \quad 79.5 \quad \text{kN} \quad < \quad V = \quad 94.8 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$F_{nv} = 372.0$ MPa – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2
$A_b = 285$ mm$^2$ – Área bruta del tornillo
$\phi = 0.75$ – factor de capacidad

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \quad \leq \quad 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$$

$$\phi R_n = \quad 153.7 \quad \text{kN} \quad \geq \quad V = \quad 94.8 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$l_c = 49$ mm – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material
$t = 10$ mm – espesor de la placa
$d = 19$ mm – dimámetro del tornillo
$F_u = 448.2$ MPa – resistencia a tracción del material conectado
$\phi = 0.75$ – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-2)
*La tensión requerida, a cortante o en tracción, es menor o igual al 30% de la resistencia y los efectos de las tensiones combinadas no necesitan ser evaluadas.*

**Resultado detallado para B38**

**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b = \quad 132.5 \quad \text{kN} \quad \geq \quad F_t = \quad 2.2 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$F_{nt} =$ 620.0 MPa – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2

$A_b =$ 285 mm$^2$ – Área bruta del tornillo

$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b = \quad 79.5 \quad \text{kN} \quad < \quad V = \quad 94.8 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$F_{nv} =$ 372.0 MPa – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2

$A_b =$ 285 mm$^2$ – Área bruta del tornillo

$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \quad \leq \quad 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$$

$$\phi R_n = \quad 153.7 \quad \text{kN} \quad \geq \quad V = \quad 94.8 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$l_c =$ 49 mm – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material

$t =$ 10 mm – espesor de la placa

$d =$ 19 mm – dimámetro del tornillo

$F_u =$ 448.2 MPa – resistencia a tracción del material conectado

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-2)

*La tensión requerida, a cortante o en tracción, es menor o igual al 30% de la resistencia y los efectos de las tensiones combinadas no necesitan ser evaluadas.*

**Resultado detallado para B39**

**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b = \quad 132.5 \quad \text{kN} \quad \geq \quad F_t = \quad 15.6 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$F_{nt} =$ 620.0 MPa – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2

$A_b =$ 285 mm$^2$ – Área bruta del tornillo

$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b =$ 79.5 kN < $V =$ 94.8 kN

*Donde:*

$F_{nv} =$ 372.0 MPa – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2
$A_b =$ 285 mm$^2$ – Área bruta del tornillo
$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \leq 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$

$\phi R_n =$ 153.7 kN ≥ $V =$ 94.8 kN

*Donde:*

$l_c =$ 49 mm – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material
$t =$ 10 mm – espesor de la placa
$d =$ 19 mm – dimámetro del tornillo
$F_u =$ 448.2 MPa – resistencia a tracción del material conectado
$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-2)
*La tensión requerida, a cortante o en tracción, es menor o igual al 30% de la resistencia y los efectos de las tensiones combinadas no necesitan ser evaluadas.*

**Resultado detallado para B40**
**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b =$ 132.5 kN ≥ $F_t =$ 15.4 kN

*Donde:*

$F_{nt} =$ 620.0 MPa – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2
$A_b =$ 285 mm$^2$ – Área bruta del tornillo
$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b =$ 79.5 kN < $V =$ 94.8 kN

*Donde:*

$F_{nv} =$ 372.0 MPa – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2
$A_b =$ 285 mm$^2$ – Área bruta del tornillo
$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \leq 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$

$\phi R_n =$ 153.7 kN ≥ $V =$ 94.8 kN

*Donde:*

| | |
|---|---|
| $l_c = 49$ mm | – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material |
| $t = 10$ mm | – espesor de la placa |
| $d = 19$ mm | – dimámetro del tornillo |
| $F_u = 448.2$ MPa | – resistencia a tracción del material conectado |
| $\phi = 0.75$ | – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos |

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-2)

*La tensión requerida, a cortante o en tracción, es menor o igual al 30% de la resistencia y los efectos de las tensiones combinadas no necesitan ser evaluadas.*

**Resultado detallado para B49**

**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b =$ 132.5 kN ≥ $F_t =$ 0.9 kN

*Donde:*

| | |
|---|---|
| $F_{nt} = 620.0$ MPa | – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2 |
| $A_b = 285$ mm$^2$ | – Área bruta del tornillo |
| $\phi = 0.75$ | – factor de capacidad |

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b =$ 79.5 kN < $V =$ 97.1 kN

*Donde:*

| | |
|---|---|
| $F_{nv} = 372.0$ MPa | – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2 |
| $A_b = 285$ mm$^2$ | – Área bruta del tornillo |
| $\phi = 0.75$ | – factor de capacidad |

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \leq 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$

$\phi R_n =$ 153.7 kN ≥ $V =$ 97.1 kN

*Donde:*

| | |
|---|---|
| $l_c = 49$ mm | – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material |
| $t = 10$ mm | – espesor de la placa |
| $d = 19$ mm | – dimámetro del tornillo |
| $F_u = 448.2$ MPa | – resistencia a tracción del material conectado |
| $\phi = 0.75$ | – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos |

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-2)

*La tensión requerida, a cortante o en tracción, es menor o igual al 30% de la resistencia y los efectos de las tensiones combinadas no*

*necesitan ser evaluadas.*

**Resultado detallado para B50**

**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b =$ 132.5 kN ≥ $F_t =$ 0.7 kN

*Donde:*

$F_{nt} =$ 620.0 MPa – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2
$A_b =$ 285 mm$^2$ – Área bruta del tornillo
$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b =$ 79.5 kN < $V =$ 97.1 kN

*Donde:*

$F_{nv} =$ 372.0 MPa – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2
$A_b =$ 285 mm$^2$ – Área bruta del tornillo
$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \leq 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$

$\phi R_n =$ 153.7 kN ≥ $V =$ 97.1 kN

*Donde:*

$l_c =$ 49 mm – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material
$t =$ 10 mm – espesor de la placa
$d =$ 19 mm – dimámetro del tornillo
$F_u =$ 448.2 MPa – resistencia a tracción del material conectado
$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-2)

*La tensión requerida, a cortante o en tracción, es menor o igual al 30% de la resistencia y los efectos de las tensiones combinadas no necesitan ser evaluadas.*

**Resultado detallado para B51**

**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b = \quad 132.5 \quad \text{kN} \quad \geq \quad F_t = \quad 37.0 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$F_{nt} =$ 620.0 MPa – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2

$A_b =$ 285 mm$^2$ – Área bruta del tornillo

$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b = \quad 79.5 \quad \text{kN} \quad < \quad V = \quad 98.3 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$F_{nv} =$ 372.0 MPa – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2

$A_b =$ 285 mm$^2$ – Área bruta del tornillo

$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \quad \leq \quad 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$$

$$\phi R_n = \quad 153.7 \quad \text{kN} \quad \geq \quad V = \quad 98.3 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$l_c =$ 49 mm – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material

$t =$ 10 mm – espesor de la placa

$d =$ 19 mm – dimámetro del tornillo

$F_u =$ 448.2 MPa – resistencia a tracción del material conectado

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-2)

*La tensión requerida, a cortante o en tracción, es menor o igual al 30% de la resistencia y los efectos de las tensiones combinadas no necesitan ser evaluadas.*

**Resultado detallado para B52**

**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b = \quad 132.5 \quad \text{kN} \quad \geq \quad F_t = \quad 104.1 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$F_{nt} =$ 620.0 MPa – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2

$A_b =$ 285 mm$^2$ – Área bruta del tornillo

$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b =$ 79.5 kN < $V =$ 101.0 kN

*Donde:*

$F_{nv} =$ 372.0 MPa – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2
$A_b =$ 285 mm$^2$ – Área bruta del tornillo
$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \leq 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$

$\phi R_n =$ 153.7 kN ≥ $V =$ 101.0 kN

*Donde:*

$l_c =$ 49 mm – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material
$t =$ 10 mm – espesor de la placa
$d =$ 19 mm – dimámetro del tornillo
$F_u =$ 448.2 MPa – resistencia a tracción del material conectado
$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-3b)

$\phi R_n = \phi \cdot F'_{nt} \cdot A_b =$ 3.9 kN < $F_t =$ 104.1 kN

*Donde:*

$F'_{nt} =$ 18.4 MPa – resistencia a tracción nominal modificada para incluir los efectos de las tensiones tangenciales

- $F'_{nt} = 1.3 \cdot F_{nt} - \frac{f_{rv} \cdot F_{nt}}{\phi \cdot F_{nv}} \leq F_{nt}$ , donde:
  - $F_{nt} =$ 620.0 MPa – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2
  - $F_{nv} =$ 372.0 MPa – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2
  - $f_{rv} =$ 354.4 MPa – tensión tangencial requerida usando combinaciones LRFD o ASD. La tensión tangencial en el anclaje debe ser igual o mayor a la tensión tangencial requerida
  - $\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para combinación tracción-cortante

$A_b =$ 285 mm$^2$ – Área bruta del tornillo

**Resultado detallado para B53**

**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b =$ 132.5 kN ≥ $F_t =$ 0.9 kN

*Donde:*

$F_{nt} =$ 620.0 MPa – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2
$A_b =$ 285 mm$^2$ – Área bruta del tornillo
$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b =$ 79.5 kN < $V =$ 97.1 kN

*Donde:*

$F_{nv}$ = 372.0 MPa – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2
$A_b$ = 285 mm$^2$ – Área bruta del tornillo
$\phi$ = 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \quad \leq \quad 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$$

$$\phi R_n = \quad 153.7 \quad \text{kN} \quad \geq \quad V = \quad 97.1 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$l_c$ = 49 mm – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material
$t$ = 10 mm – espesor de la placa
$d$ = 19 mm – dimámetro del tornillo
$F_u$ = 448.2 MPa – resistencia a tracción del material conectado
$\phi$ = 0.75 – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-2)
*La tensión requerida, a cortante o en tracción, es menor o igual al 30% de la resistencia y los efectos de las tensiones combinadas no necesitan ser evaluadas.*

**Resultado detallado para B54**
**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b = \quad 132.5 \quad \text{kN} \quad \geq \quad F_t = \quad 0.8 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$F_{nt}$ = 620.0 MPa – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2
$A_b$ = 285 mm$^2$ – Área bruta del tornillo
$\phi$ = 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b = \quad 79.5 \quad \text{kN} \quad < \quad V = \quad 97.1 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$F_{nv}$ = 372.0 MPa – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2
$A_b$ = 285 mm$^2$ – Área bruta del tornillo
$\phi$ = 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \quad \leq \quad 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$$

$$\phi R_n = \quad 153.7 \quad \text{kN} \quad \geq \quad V = \quad 97.1 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$l_c = 49$ mm – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material
$t = 10$ mm – espesor de la placa
$d = 19$ mm – dimámetro del tornillo
$F_u = 448.2$ MPa – resistencia a tracción del material conectado
$\phi = 0.75$ – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-2)
*La tensión requerida, a cortante o en tracción, es menor o igual al 30% de la resistencia y los efectos de las tensiones combinadas no necesitan ser evaluadas.*

**Resultado detallado para B55**
**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b = \quad 132.5 \quad \text{kN} \quad \geq \quad F_t = \quad 37.7 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$F_{nt} = 620.0$ MPa – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2
$A_b = 285$ mm$^2$ – Área bruta del tornillo
$\phi = 0.75$ – factor de capacidad

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b = \quad 79.5 \quad \text{kN} \quad < \quad V = \quad 98.3 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$F_{nv} = 372.0$ MPa – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2
$A_b = 285$ mm$^2$ – Área bruta del tornillo
$\phi = 0.75$ – factor de capacidad

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \quad \leq \quad 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$$

$$\phi R_n = \quad 153.7 \quad \text{kN} \quad \geq \quad V = \quad 98.3 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$l_c = 49$ mm – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material
$t = 10$ mm – espesor de la placa
$d = 19$ mm – dimámetro del tornillo
$F_u = 448.2$ MPa – resistencia a tracción del material conectado
$\phi = 0.75$ – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-2)
*La tensión requerida, a cortante o en tracción, es menor o igual al 30% de la resistencia y los efectos de las tensiones combinadas no necesitan ser evaluadas.*

**Resultado detallado para B56**

**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b = \quad 132.5 \quad \text{kN} \quad \geq \quad F_t = \quad 95.8 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$F_{nt} =$ 620.0 MPa – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2

$A_b =$ 285 mm$^2$ – Área bruta del tornillo

$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b = \quad 79.5 \quad \text{kN} \quad < \quad V = \quad 101.0 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$F_{nv} =$ 372.0 MPa – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2

$A_b =$ 285 mm$^2$ – Área bruta del tornillo

$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \quad \leq \quad 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$$

$$\phi R_n = \quad 153.7 \quad \text{kN} \quad \geq \quad V = \quad 101.0 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$l_c =$ 49 mm – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material

$t =$ 10 mm – espesor de la placa

$d =$ 19 mm – dimámetro del tornillo

$F_u =$ 448.2 MPa – resistencia a tracción del material conectado

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-3b)

$$\phi R_n = \phi \cdot F'_{nt} \cdot A_b = \quad 3.9 \quad \text{kN} \quad < \quad F_t = \quad 95.8 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$F'_{nt} =$ 18.4 MPa – resistencia a tracción nominal modificada para incluir los efectos de las tensiones tangenciales

- $F'_{nt} = 1.3 \cdot F_{nt} - \frac{f_{rv} \cdot F_{nt}}{\phi \cdot F_{nv}} \leq F_{nt}$ , donde:
  - $F_{nt} =$ 620.0 MPa – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2
  - $F_{nv} =$ 372.0 MPa – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2
  - $f_{rv} =$ 354.4 MPa – tensión tangencial requerida usando combinaciones LRFD o ASD. La tensión tangencial en el anclaje debe ser igual o mayor a la tensión tangencial requerida
  - $\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para combinación tracción-cortante

$A_b =$ 285 mm$^2$ – Área bruta del tornillo

**Resultado detallado para B57**

**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b = \quad 132.5 \quad \text{kN} \quad \geq \quad F_t = \quad 26.7 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$F_{nt} =$ 620.0 MPa – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2

$A_b =$ 285 mm$^2$ – Área bruta del tornillo

$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b = \quad 79.5 \quad \text{kN} \quad < \quad V = \quad 97.1 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$F_{nv} =$ 372.0 MPa – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2

$A_b =$ 285 mm$^2$ – Área bruta del tornillo

$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \quad \leq \quad 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$$

$$\phi R_n = \quad 153.7 \quad \text{kN} \quad \geq \quad V = \quad 97.1 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$l_c =$ 49 mm – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material

$t =$ 10 mm – espesor de la placa

$d =$ 19 mm – dimámetro del tornillo

$F_u =$ 448.2 MPa – resistencia a tracción del material conectado

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-2)

*La tensión requerida, a cortante o en tracción, es menor o igual al 30% de la resistencia y los efectos de las tensiones combinadas no necesitan ser evaluadas.*

**Resultado detallado para B58**

**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b = \quad 132.5 \quad \text{kN} \quad \geq \quad F_t = \quad 27.5 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$F_{nt} =$ 620.0 MPa – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2

$A_b =$ 285 mm$^2$ – Área bruta del tornillo

$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b =$ 79.5 kN < $V =$ 97.1 kN

*Donde:*

$F_{nv} =$ 372.0 MPa – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2
$A_b =$ 285 mm$^2$ – Área bruta del tornillo
$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \leq 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$

$\phi R_n =$ 153.7 kN ≥ $V =$ 97.1 kN

*Donde:*

$l_c =$ 49 mm – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material
$t =$ 10 mm – espesor de la placa
$d =$ 19 mm – dimámetro del tornillo
$F_u =$ 448.2 MPa – resistencia a tracción del material conectado
$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-2)
*La tensión requerida, a cortante o en tracción, es menor o igual al 30% de la resistencia y los efectos de las tensiones combinadas no necesitan ser evaluadas.*

**Resultado detallado para B59**
**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b =$ 132.5 kN ≥ $F_t =$ 0.8 kN

*Donde:*

$F_{nt} =$ 620.0 MPa – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2
$A_b =$ 285 mm$^2$ – Área bruta del tornillo
$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b =$ 79.5 kN < $V =$ 97.1 kN

*Donde:*

$F_{nv} =$ 372.0 MPa – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2
$A_b =$ 285 mm$^2$ – Área bruta del tornillo
$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \leq 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$

$\phi R_n =$ 153.7 kN ≥ $V =$ 97.1 kN

*Donde:*

| | |
|---|---|
| $l_c = 49$ mm | – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material |
| $t = 10$ mm | – espesor de la placa |
| $d = 19$ mm | – dimámetro del tornillo |
| $F_u = 448.2$ MPa | – resistencia a tracción del material conectado |
| $\phi = 0.75$ | – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos |

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-2)

*La tensión requerida, a cortante o en tracción, es menor o igual al 30% de la resistencia y los efectos de las tensiones combinadas no necesitan ser evaluadas.*

**Resultado detallado para B60**

**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b =$ 132.5 kN ≥ $F_t =$ 0.8 kN

*Donde:*

| | |
|---|---|
| $F_{nt} = 620.0$ MPa | – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2 |
| $A_b = 285$ mm$^2$ | – Área bruta del tornillo |
| $\phi = 0.75$ | – factor de capacidad |

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b =$ 79.5 kN < $V =$ 97.1 kN

*Donde:*

| | |
|---|---|
| $F_{nv} = 372.0$ MPa | – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2 |
| $A_b = 285$ mm$^2$ | – Área bruta del tornillo |
| $\phi = 0.75$ | – factor de capacidad |

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \quad \leq \quad 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$

$\phi R_n =$ 153.7 kN ≥ $V =$ 97.1 kN

*Donde:*

| | |
|---|---|
| $l_c = 49$ mm | – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material |
| $t = 10$ mm | – espesor de la placa |
| $d = 19$ mm | – dimámetro del tornillo |
| $F_u = 448.2$ MPa | – resistencia a tracción del material conectado |
| $\phi = 0.75$ | – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos |

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-2)

*La tensión requerida, a cortante o en tracción, es menor o igual al 30% de la resistencia y los efectos de las tensiones combinadas no*

*necesitan ser evaluadas.*

**Resultado detallado para B61**

**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b =$ 132.5 kN ≥ $F_t =$ 5.3 kN

*Donde:*

$F_{nt} =$ 620.0 MPa – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2
$A_b =$ 285 mm$^2$ – Área bruta del tornillo
$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b =$ 79.5 kN < $V =$ 97.1 kN

*Donde:*

$F_{nv} =$ 372.0 MPa – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2
$A_b =$ 285 mm$^2$ – Área bruta del tornillo
$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \leq 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$

$\phi R_n =$ 153.7 kN ≥ $V =$ 97.1 kN

*Donde:*

$l_c =$ 49 mm – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material
$t =$ 10 mm – espesor de la placa
$d =$ 19 mm – dimámetro del tornillo
$F_u =$ 448.2 MPa – resistencia a tracción del material conectado
$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-2)

*La tensión requerida, a cortante o en tracción, es menor o igual al 30% de la resistencia y los efectos de las tensiones combinadas no necesitan ser evaluadas.*

**Resultado detallado para B62**

**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b = \quad 132.5 \quad \text{kN} \quad \geq \quad F_t = \quad 5.4 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

| | |
|---|---|
| $F_{nt} = 620.0$ MPa | – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2 |
| $A_b = 285$ mm$^2$ | – Área bruta del tornillo |
| $\phi = 0.75$ | – factor de capacidad |

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b = \quad 79.5 \quad \text{kN} \quad < \quad V = \quad 97.1 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

| | |
|---|---|
| $F_{nv} = 372.0$ MPa | – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2 |
| $A_b = 285$ mm$^2$ | – Área bruta del tornillo |
| $\phi = 0.75$ | – factor de capacidad |

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \quad \leq \quad 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$$

$$\phi R_n = \quad 153.7 \quad \text{kN} \quad \geq \quad V = \quad 97.1 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

| | |
|---|---|
| $l_c = 49$ mm | – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material |
| $t = 10$ mm | – espesor de la placa |
| $d = 19$ mm | – dimámetro del tornillo |
| $F_u = 448.2$ MPa | – resistencia a tracción del material conectado |
| $\phi = 0.75$ | – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos |

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-2)

*La tensión requerida, a cortante o en tracción, es menor o igual al 30% de la resistencia y los efectos de las tensiones combinadas no necesitan ser evaluadas.*

## Soldaduras

| Ítem | Borde | Xu | $T_h$ [mm] | $L_s$ [mm] | L [mm] | $L_c$ [mm] | $F_n$ [kN] | $\phi R_n$ [kN] | Ut [%] | Estado |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| C-bfl 1 | FP1 | E70xx | - | - | 280 | - | - | - | - | Aceptar |
| C-bfl 1 | FP2 | E70xx | - | - | 250 | - | - | - | - | Aceptar |
| C-bfl 1 | FP3 | E70xx | - | - | 250 | - | - | - | - | Aceptar |
| C-w 1 | STIFF1b | E70xx | ◢4.2◣ | ◢6.0◣ | 367 | 52 | 36.9 | 55.7 | 66.3 | Aceptar |
| | | E70xx | ◢4.2◣ | ◢6.0◣ | 367 | 52 | 37.1 | 55.6 | 66.7 | Aceptar |
| C-tfl 1 | STIFF1b | E70xx | ◢4.2◣ | ◢6.0◣ | 105 | 52 | 17.9 | 65.1 | 27.5 | Aceptar |
| | | E70xx | ◢4.2◣ | ◢6.0◣ | 105 | 52 | 19.4 | 66.4 | 29.3 | Aceptar |
| C-bfl 1 | STIFF1b | E70xx | ◢4.2◣ | ◢6.0◣ | 105 | 52 | 59.2 | 71.5 | 82.8 | Aceptar |
| | | E70xx | ◢4.2◣ | ◢6.0◣ | 105 | 52 | 59.0 | 71.5 | 82.5 | Aceptar |
| C-w 1 | STIFF1a | E70xx | ◢4.2◣ | ◢6.0◣ | 367 | 52 | 34.9 | 53.8 | 64.8 | Aceptar |
| | | E70xx | ◢4.2◣ | ◢6.0◣ | 367 | 52 | 35.2 | 53.9 | 65.2 | Aceptar |
| C-bfl 1 | STIFF1a | E70xx | ◢4.2◣ | ◢6.0◣ | 105 | 52 | 57.8 | 71.6 | 80.8 | Aceptar |
| | | E70xx | ◢4.2◣ | ◢6.0◣ | 105 | 52 | 58.1 | 71.7 | 81.1 | Aceptar |
| C-tfl 1 | STIFF1a | E70xx | ◢4.2◣ | ◢6.0◣ | 105 | 52 | 19.5 | 66.8 | 29.2 | Aceptar |
| | | E70xx | ◢4.2◣ | ◢6.0◣ | 105 | 52 | 17.9 | 65.6 | 27.3 | Aceptar |
| C-w 1 | RIGIDIZAR2b | E70xx | ◢4.2◣ | ◢6.0◣ | 367 | 52 | 37.1 | 56.0 | 66.2 | Aceptar |
| | | E70xx | ◢4.2◣ | ◢6.0◣ | 367 | 52 | 36.9 | 56.1 | 65.7 | Aceptar |
| C-tfl 1 | RIGIDIZAR2b | E70xx | ◢4.2◣ | ◢6.0◣ | 105 | 52 | 19.3 | 66.3 | 29.1 | Aceptar |
| | | E70xx | ◢4.2◣ | ◢6.0◣ | 105 | 52 | 18.0 | 65.2 | 27.6 | Aceptar |
| C-bfl 1 | RIGIDIZAR2b | E70xx | ◢4.2◣ | ◢6.0◣ | 105 | 52 | 58.9 | 71.4 | 82.5 | Aceptar |
| | | E70xx | ◢4.2◣ | ◢6.0◣ | 105 | 52 | 58.9 | 71.5 | 82.4 | Aceptar |
| C-w 1 | RIGIDIZAR2a | E70xx | ◢4.2◣ | ◢6.0◣ | 367 | 52 | 34.1 | 53.3 | 63.9 | Aceptar |
| | | E70xx | ◢4.2◣ | ◢6.0◣ | 367 | 52 | 33.7 | 53.1 | 63.5 | Aceptar |
| C-tfl 1 | RIGIDIZAR2a | E70xx | ◢4.2◣ | ◢6.0◣ | 105 | 52 | 17.9 | 65.9 | 27.1 | Aceptar |
| | | E70xx | ◢4.2◣ | ◢6.0◣ | 105 | 52 | 19.2 | 66.9 | 28.7 | Aceptar |
| C-bfl 1 | RIGIDIZAR2a | E70xx | ◢4.2◣ | ◢6.0◣ | 105 | 52 | 57.2 | 71.7 | 79.7 | Aceptar |
| | | E70xx | ◢4.2◣ | ◢6.0◣ | 105 | 52 | 57.1 | 71.7 | 79.7 | Aceptar |

**Resultado detallado para C-bfl 1 / FP1 - 1**

*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

**Resultado detallado para C-bfl 1 / FP2 - 1**

*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

**Resultado detallado para C-bfl 1 / FP3 - 1**

*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

**Resultado detallado para C-w 1 / STIFF1b - 1**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 55.7 kN ≥ $F_n =$ 36.9 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 333.7 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 26.9° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 223 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-w 1 / STIFF1b - 2**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 55.6 kN ≥ $F_n =$ 37.1 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 333.1 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 26.7° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 223 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-tfl 1 / STIFF1b - 1**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 65.1 kN ≥ $F_n =$ 17.9 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 391.1 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 52.1° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 222 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-tfl 1 / STIFF1b - 2**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 66.4 kN ≥ $F_n =$ 19.4 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 398.7 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 55.9° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 222 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-bfl 1 / STIFF1b - 1**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 71.5 kN ≥ $F_n =$ 59.2 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 429.5 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 77.8° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 222 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-bfl 1 / STIFF1b - 2**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 71.5 kN ≥ $F_n =$ 59.0 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 429.2 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 77.5° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 222 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-w 1 / STIFF1a - 1**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 53.8 kN ≥ $F_n =$ 34.9 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 322.1 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 21.7° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 223 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-w 1 / STIFF1a - 2**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 53.9 kN ≥ $F_n =$ 35.2 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 323.1 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 22.1° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 223 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-bfl 1 / STIFF1a - 1**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 71.6 kN ≥ $F_n =$ 57.8 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 430.1 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 78.6° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 222 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-bfl 1 / STIFF1a - 2**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 71.7 kN ≥ $F_n =$ 58.1 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 430.3 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 78.9° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 222 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-tfl 1 / STIFF1a - 1**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 66.8 kN ≥ $F_n =$ 19.5 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 401.3 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 57.3° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 222 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-tfl 1 / STIFF1a - 2**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 65.6 kN ≥ $F_n =$ 17.9 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 393.7 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 53.4° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 222 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-w 1 / RIGIDIZAR2b - 1**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 56.0 kN ≥ $F_n =$ 37.1 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 335.3 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 27.6° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 223 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-w 1 / RIGIDIZAR2b - 2**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 56.1 kN ≥ $F_n =$ 36.9 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 335.8 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 27.8° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 223 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-tfl 1 / RIGIDIZAR2b - 1**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 66.3 kN ≥ $F_n =$ 19.3 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 398.3 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 55.7° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 222 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-tfl 1 / RIGIDIZAR2b - 2**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 65.2 kN ≥ $F_n =$ 18.0 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 391.6 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 52.3° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 222 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-bfl 1 / RIGIDIZAR2b - 1**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 71.4 kN ≥ $F_n =$ 58.9 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 429.1 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 77.3° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 222 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-bfl 1 / RIGIDIZAR2b - 2**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 71.5 kN ≥ $F_n =$ 58.9 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 429.2 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 77.4° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 222 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-w 1 / RIGIDIZAR2a - 1**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 53.3 kN ≥ $F_n =$ 34.1 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 319.3 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 20.3° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 223 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-w 1 / RIGIDIZAR2a - 2**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 53.1 kN ≥ $F_n =$ 33.7 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 318.3 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 19.9° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 223 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-tfl 1 / RIGIDIZAR2a - 1**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 65.9 kN ≥ $F_n =$ 17.9 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 395.5 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 54.3° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 222 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-tfl 1 / RIGIDIZAR2a - 2**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 66.9 kN ≥ $F_n =$ 19.2 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 402.0 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 57.6° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 222 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-bfl 1 / RIGIDIZAR2a - 1**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 71.7 kN ≥ $F_n =$ 57.2 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 430.8 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 79.5° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 222 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-bfl 1 / RIGIDIZAR2a - 2**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 71.7 kN ≥ $F_n =$ 57.1 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 430.5 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 79.2° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 222 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

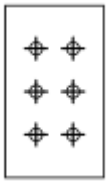
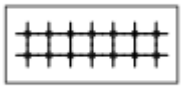
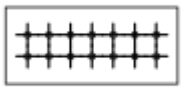
$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

## Pandeo

**El análisis de pandeo no se ha calculado.**

# Listado de material

## Operaciones

| Nombre | Placas [mm] | Forma | Nr. | Soldaduras [mm] | Longitud [mm] | Tornillos | Nr. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| FP1 | P6.0x160.0-280.0 (A36) |  | 1 | Bisel: a = 6.0 | 280.0 | 3/4 A325 | 6 |
| FP2 | P10.0x562.0-250.0 (A572 Gr.50) |  | 1 | Bisel: a = 10.0 | 250.0 | 3/4 A325 | 14 |
| FP3 | P10.0x562.0-250.0 (A572 Gr.50) |  | 1 | Bisel: a = 10.0 | 250.0 | 3/4 A325 | 14 |
| STIFF1 | P6.0x142.7-444.0 (A572 Gr.55) | | 2 | | | | |
| RIGIDIZAR2 | P6.0x142.7-444.0 (A572 Gr.55) | | 2 | | | | |

## Soldaduras

| Tipo | Material | Espesor de garganta [mm] | Tamaño de pierna [mm] | Longitud [mm] |
|---|---|---|---|---|
| Bisel | E70xx | - | - | 280.0 |
| Bisel | E70xx | - | - | 500.0 |
| Doble tendón de soldadura | E70xx | 4.2 | 6.0 | 2310.0 |

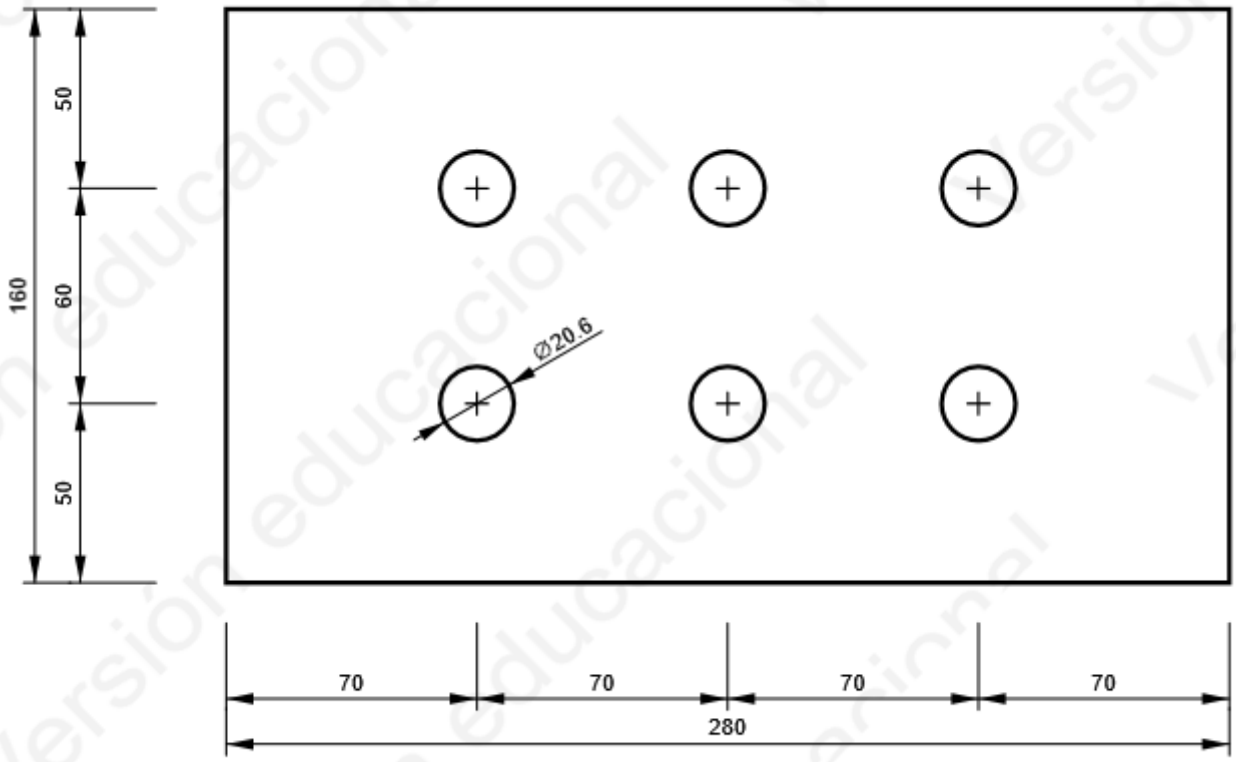
## Tornillos

| Nombre | Longitud de agarre [mm] | Cuenta |
|---|---|---|
| 3/4 A325 | 22 | 6 |
| 3/4 A325 | 34 | 28 |

## Dibujo

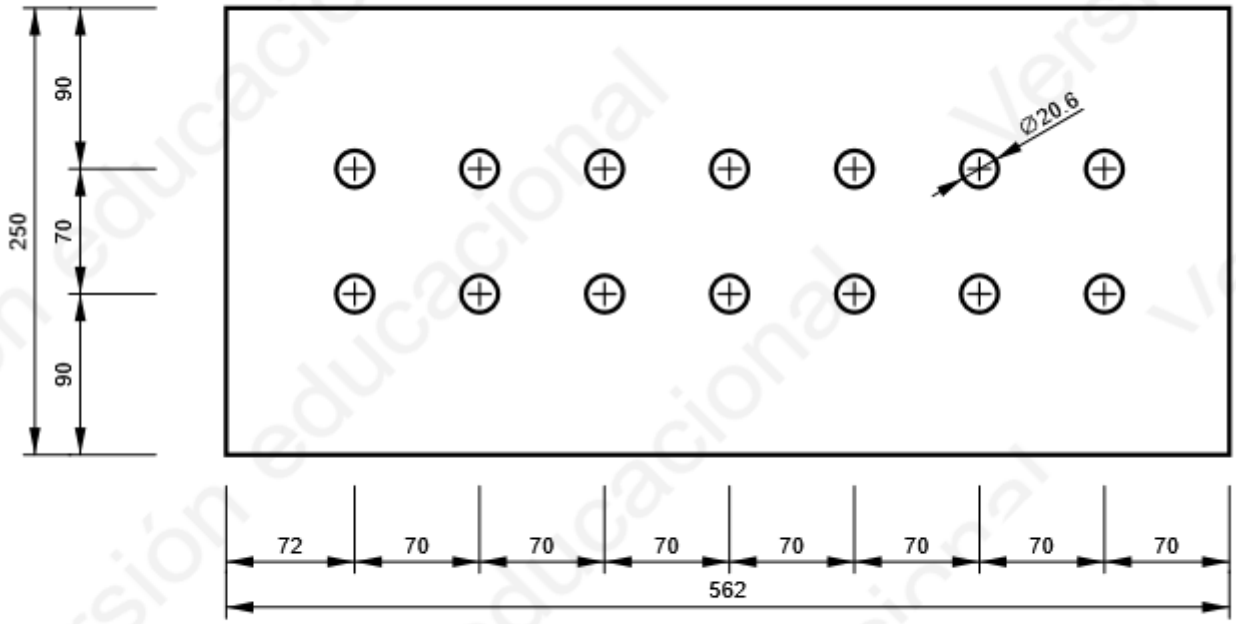
### FP1

**P6.0x280-160 (A36)**



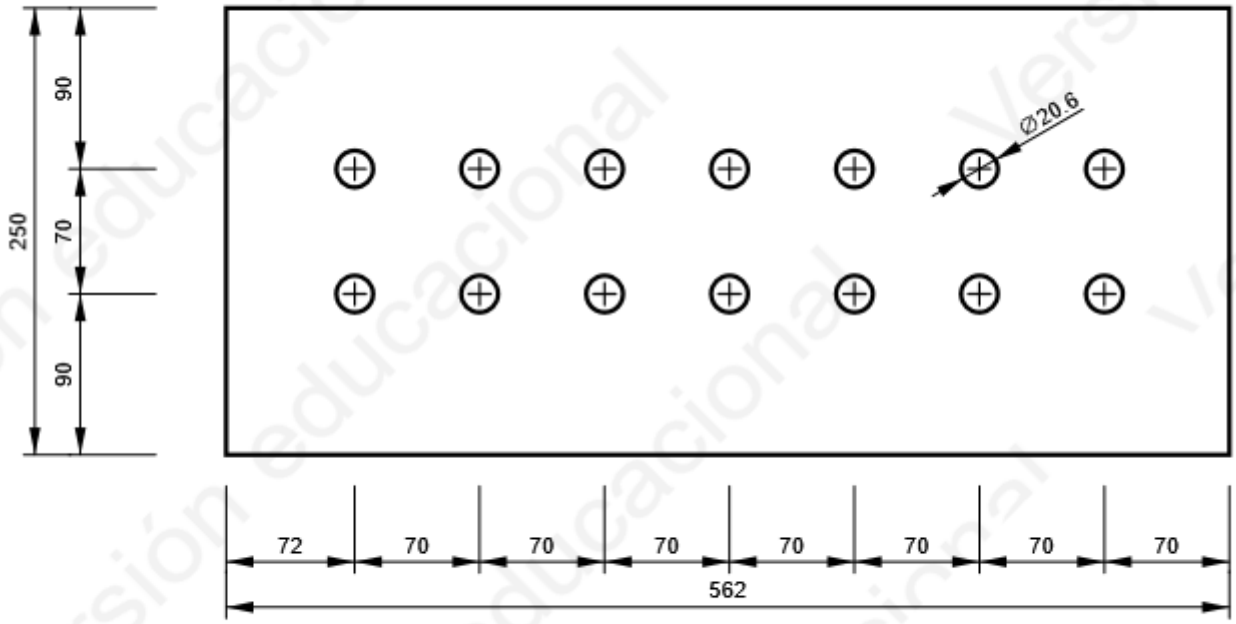
## FP2

**P10.0x250-562 (A572 Gr.50)**



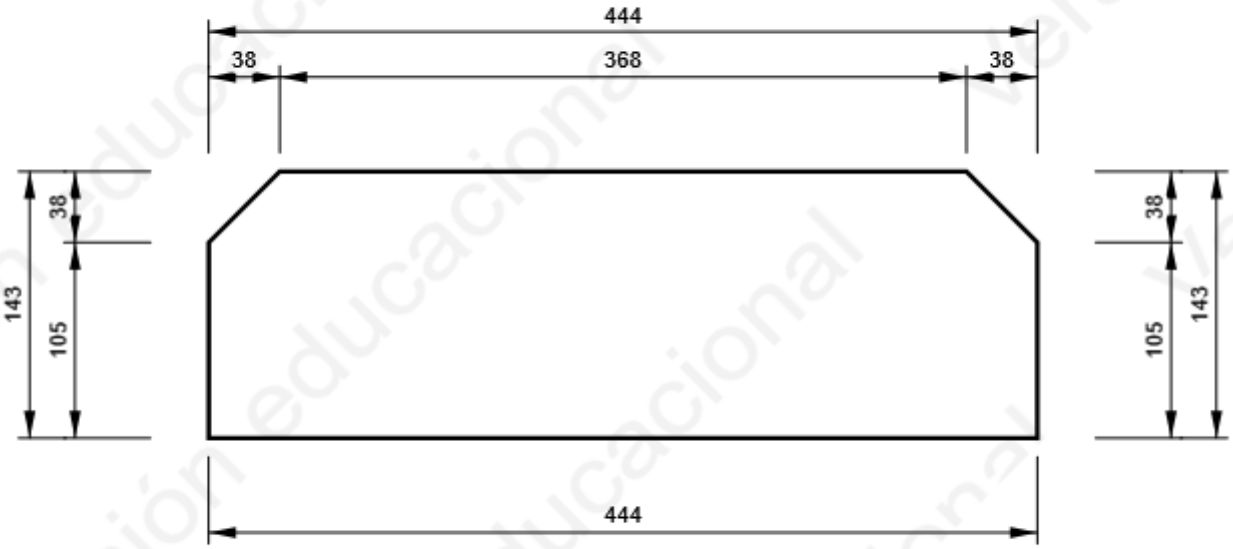
## FP3

**P10.0x250-562 (A572 Gr.50)**



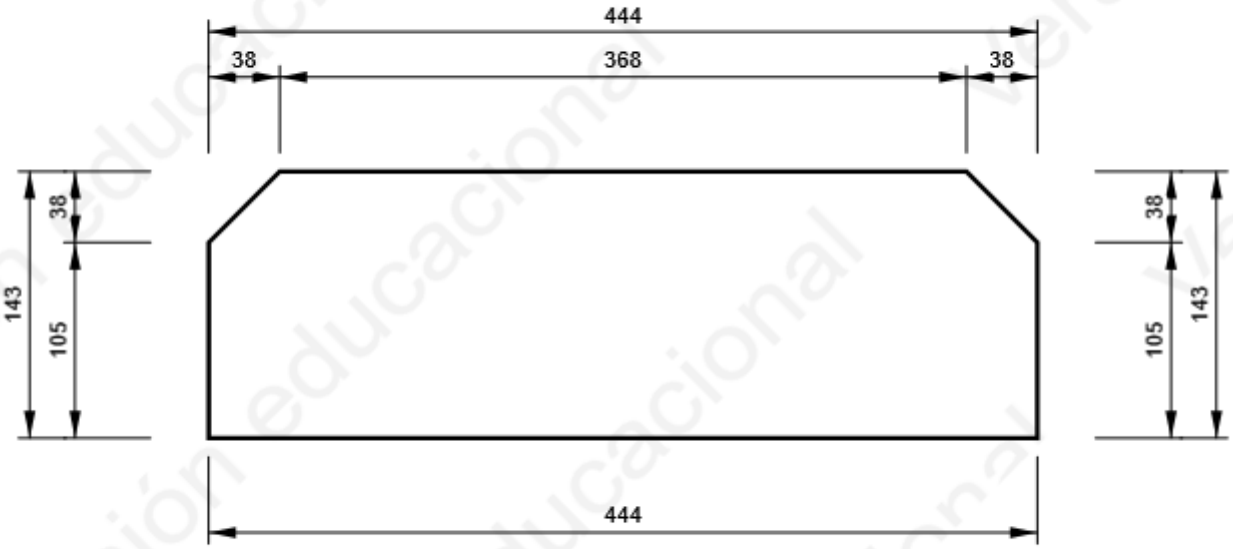
## STIFF1

**P6.0x444-143 (A572 Gr.55)**



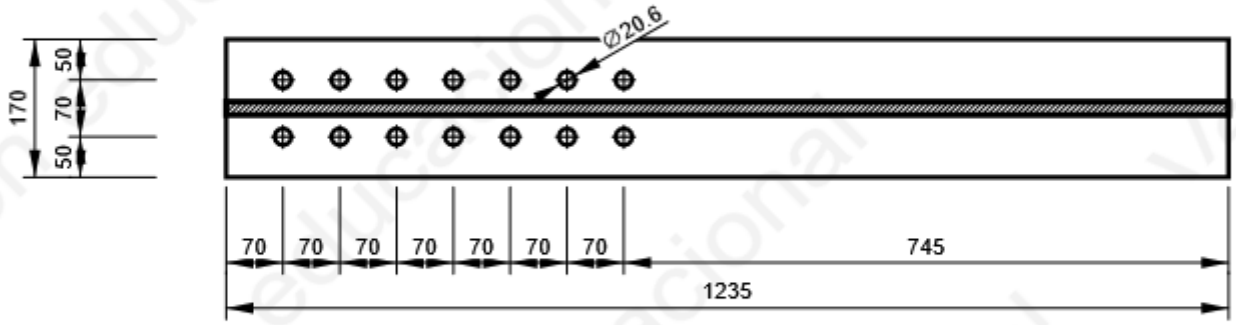
## RIGIDIZAR2

**P6.0x444-143 (A572 Gr.55)**



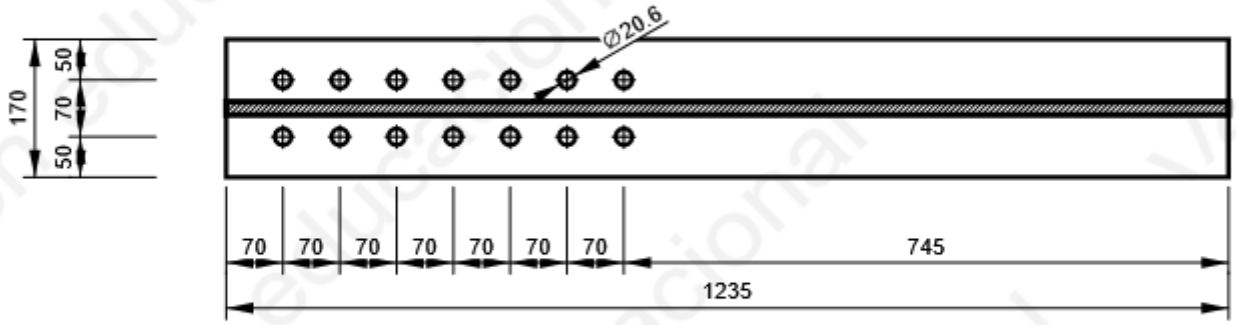

Versión educacional

## B, IPN450 - Ala inferior 1:



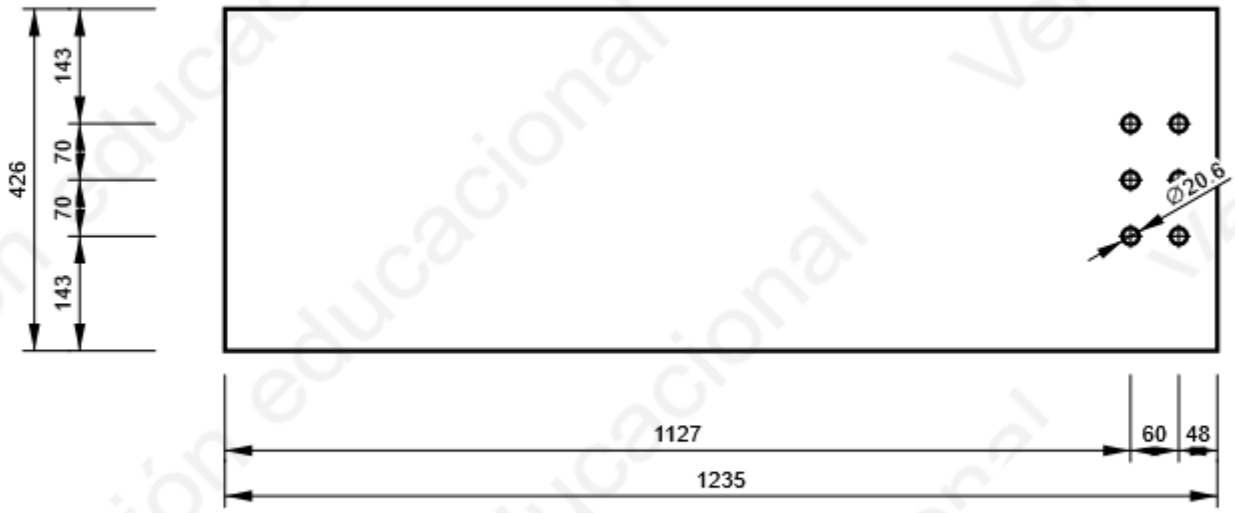

Versión educacional

## B, IPN450 - Ala superior 1:




Versión educacional

## B, IPN450 - Alma 1:




Versión educacional

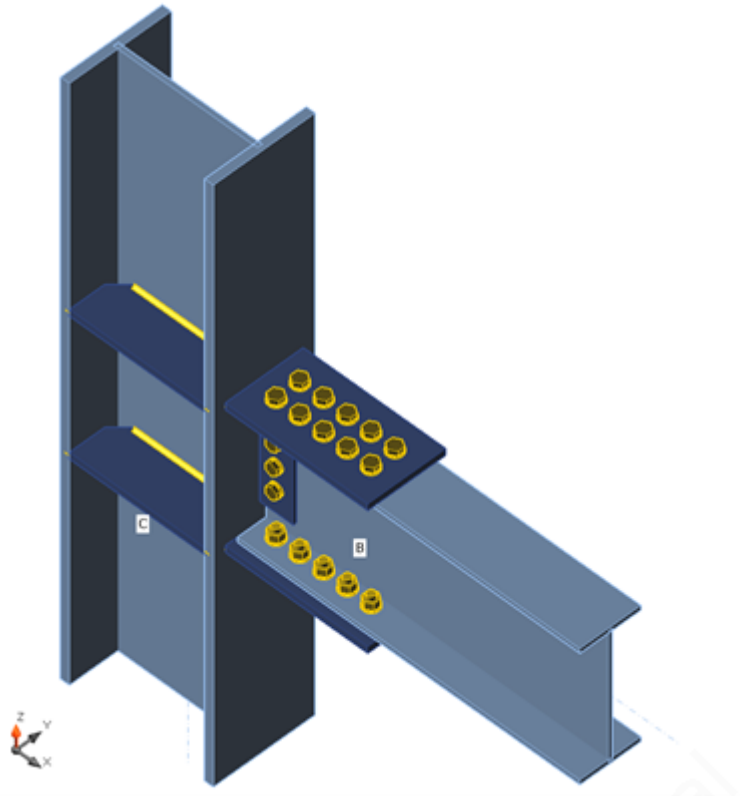
# Ítem del proyecto BFP-400-1

## Diseño

| | |
|---|---|
| Nombre | BFP-400-1 |
| Descripción | Conexion H450-I400 |
| Análisis | Tensión, deformación/ Carga simplificada |
| Normativa de cálculo | AISC - LRFD |

### Elementos estructurales

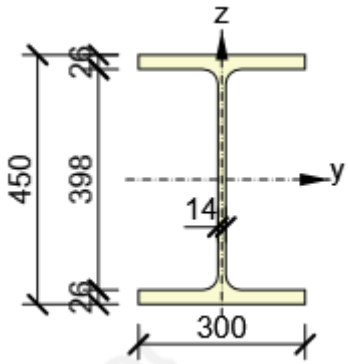
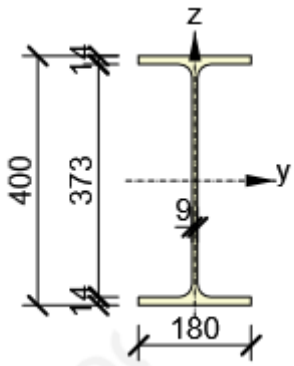
| Nombre | Sección transversal | β – Dirección [°] | γ - Inclinación [°] | α - Rotación [°] | Desplazamiento ex [mm] | Desplazamiento ey [mm] | Desplazamiento ez [mm] | Fuerzas en |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| C | 7 - HEB450 | 0.0 | -90.0 | 0.0 | 0 | 0 | 0 | Nudo |
| B | 8 - IPE400 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0 | 0 | 0 | Nudo |




### Secciones

| Nombre | Material |
|---|---|
| 7 - HEB450 | A572 Gr.50 |
| 8 - IPE400 | A36 |

## Secciones

| Nombre | Material | Dibujo |
|---|---|---|
| 7 - HEB450 | A572 Gr.50 |   |
| 8 - IPE400 | A36 |   |

## Tornillos

| Nombre | Conjunto de tornillo | Diámetro [mm] | fu [MPa] | Área bruta [mm$^2$] |
|---|---|---|---|---|
| 7/8 A490 | 7/8 A490 | 22 | 1034.2 | 388 |
| 3/4 A325 | 3/4 A325 | 19 | 825.0 | 285 |

## Cargas (No se requiere el equilibro)

| Nombre | Elemento | N [kN] | Vy [kN] | Vz [kN] | Mx [kNm] | My [kNm] | Mz [kNm] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| LE1 | B | 0.0 | 0.0 | -144.0 | 0.0 | 409.0 | 0.0 |

# Verificación

## Resumen

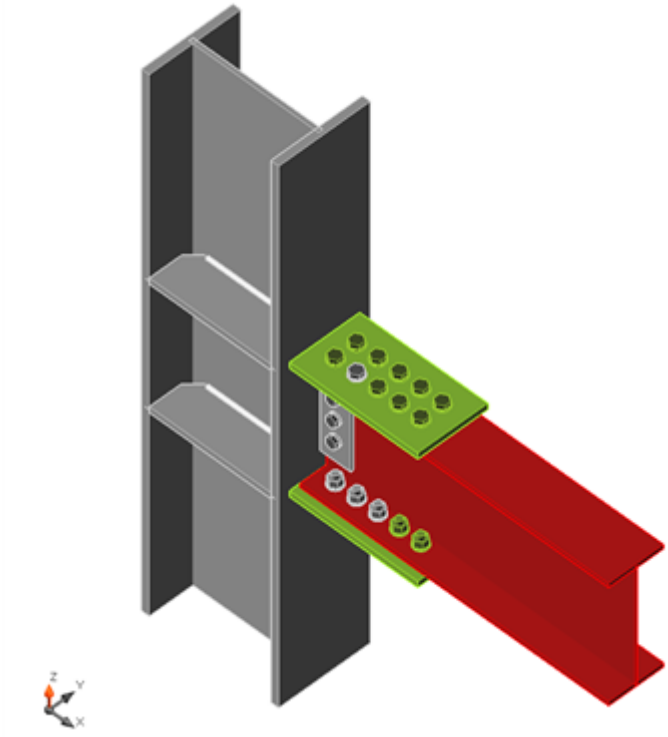
| Nombre | Valor | Estado de la verificación |
|---|---|---|
| Análisis | 100.0% | Aceptar |
| Placas | 44.6 > 5% | **Incorrecto!** |
| Tornillos | 87.7 < 100% | Aceptar |
| Soldaduras | 41.2 < 100% | Aceptar |
| Pandeo | No calculado | |

## Placas

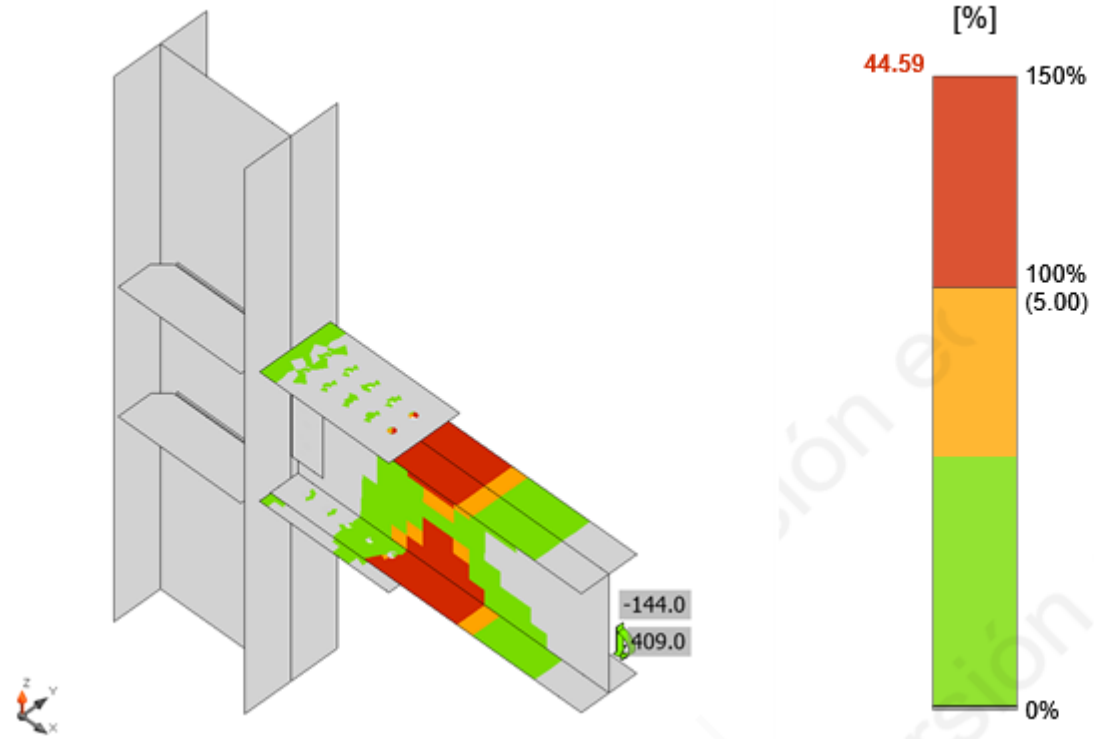
| Nombre | Material | $F_y$ [MPa] | Espesor [mm] | Cargas | $\sigma_{Ed}$ [MPa] | $\varepsilon_{Pl}$ [%] | Estado de la verificación |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| C-bfl 1 | A572 Gr.50 | 344.7 | 26.0 | LE1 | 142.4 | 0.0 | Aceptar |
| C-tfl 1 | A572 Gr.50 | 344.7 | 26.0 | LE1 | 84.3 | 0.0 | Aceptar |
| C-w 1 | A572 Gr.50 | 344.7 | 14.0 | LE1 | 198.1 | 0.0 | Aceptar |
| B-bfl 1 | A36 | 248.2 | 13.5 | LE1 | 258.9 | 17.7 | **Incorrecto!** |
| B-tfl 1 | A36 | 248.2 | 13.5 | LE1 | 312.7 | 44.6 | **Incorrecto!** |
| B-w 1 | A36 | 248.2 | 8.6 | LE1 | 250.4 | 13.5 | **Incorrecto!** |
| FP1 | A36 | 248.2 | 10.0 | LE1 | 111.7 | 0.0 | Aceptar |
| FP2 | A572 Gr.50 | 344.7 | 20.0 | LE1 | 310.6 | 0.2 | Aceptar |
| FP3 | A572 Gr.50 | 344.7 | 20.0 | LE1 | 310.7 | 0.2 | Aceptar |
| STIFF1a | A572 Gr.55 | 379.2 | 20.0 | LE1 | 188.5 | 0.0 | Aceptar |
| STIFF1b | A572 Gr.55 | 379.2 | 20.0 | LE1 | 188.4 | 0.0 | Aceptar |
| RIGIDIZAR2a | A572 Gr.55 | 379.2 | 20.0 | LE1 | 185.5 | 0.0 | Aceptar |
| RIGIDIZAR2b | A572 Gr.55 | 379.2 | 20.0 | LE1 | 184.4 | 0.0 | Aceptar |

### Datos de diseño

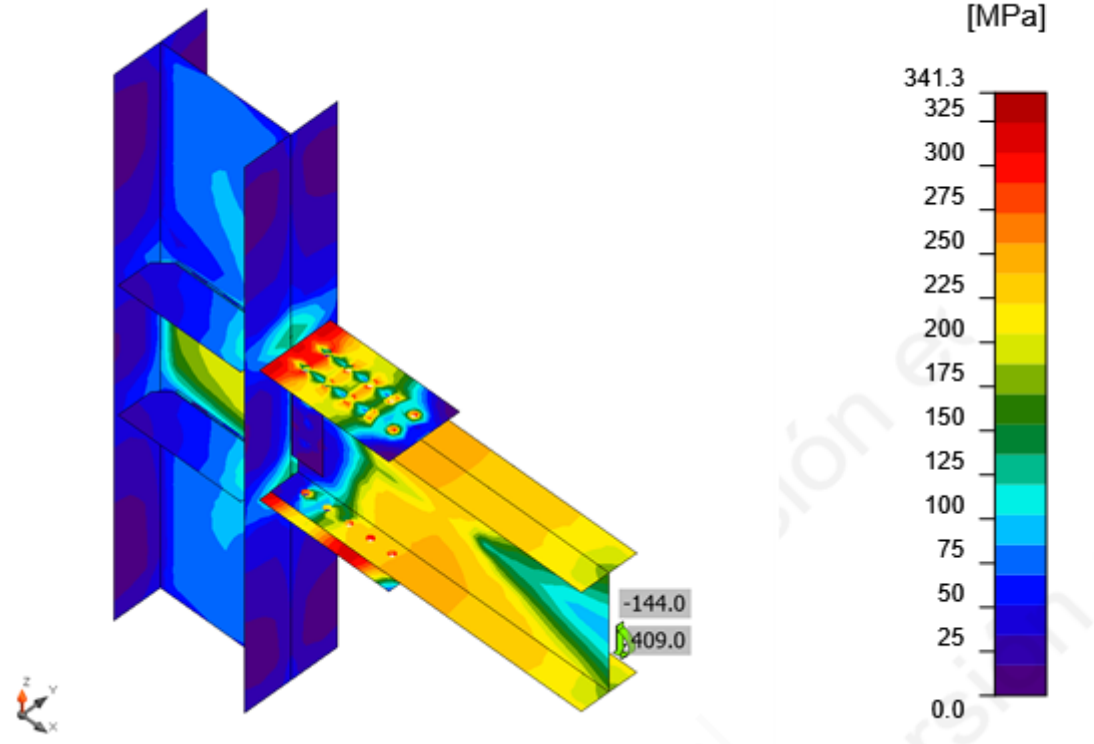
| Material | fy [MPa] | $\varepsilon_{lim}$ [%] |
|---|---|---|
| A572 Gr.50 | 344.7 | 5.0 |
| A36 | 248.2 | 5.0 |
| A572 Gr.55 | 379.2 | 5.0 |



*Verificación general, LE1*

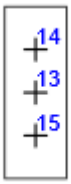
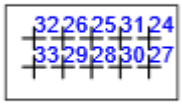
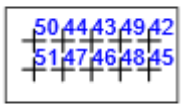



*Verificación de deformación, LE1*




*Tensión equivalente, LE1*

## Tornillos

| Forma | Ítem | Calidad | Cargas | $F_t$ [kN] | V [kN] | $\phi R_{n,portante}$ [kN] | $Ut_t$ [%] | $Ut_s$ [%] | $Ut_{ts}$ [%] | Estado |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
|  | B13 | 3/4 A325 - 1 | LE1 | 1.2 | 8.7 | 118.0 | 0.9 | 11.0 | - | Aceptar |
| | B14 | 3/4 A325 - 1 | LE1 | 3.2 | 23.4 | 98.3 | 2.4 | 29.4 | - | Aceptar |
| | B15 | 3/4 A325 - 1 | LE1 | 0.5 | 13.0 | 118.0 | 0.4 | 16.3 | - | Aceptar |
|  | B24 | 7/8 A490 - 2 | LE1 | 110.6 | 101.6 | 216.1 | 48.7 | 74.5 | 87.7 | Aceptar |
| | B25 | 7/8 A490 - 2 | LE1 | 3.4 | 83.9 | 216.1 | 1.5 | 61.5 | - | Aceptar |
| | B26 | 7/8 A490 - 2 | LE1 | 9.3 | 81.9 | 216.1 | 4.1 | 60.0 | - | Aceptar |
| | B27 | 7/8 A490 - 2 | LE1 | 110.6 | 101.6 | 216.1 | 48.7 | 74.4 | 87.7 | Aceptar |
| | B28 | 7/8 A490 - 2 | LE1 | 3.3 | 83.9 | 216.1 | 1.5 | 61.5 | - | Aceptar |
| | B29 | 7/8 A490 - 2 | LE1 | 9.0 | 81.8 | 216.1 | 4.0 | 59.9 | - | Aceptar |
| | B30 | 7/8 A490 - 2 | LE1 | 10.5 | 86.9 | 216.1 | 4.6 | 63.7 | - | Aceptar |
| | B31 | 7/8 A490 - 2 | LE1 | 10.5 | 86.9 | 216.1 | 4.6 | 63.7 | - | Aceptar |
| | B32 | 7/8 A490 - 2 | LE1 | 25.1 | 83.3 | 216.1 | 11.1 | 61.1 | - | Aceptar |
| | B33 | 7/8 A490 - 2 | LE1 | 25.1 | 83.2 | 216.1 | 11.1 | 61.0 | - | Aceptar |
|  | B42 | 7/8 A490 - 2 | LE1 | 88.7 | 115.8 | 216.1 | 39.1 | 84.8 | 86.6 | Aceptar |
| | B43 | 7/8 A490 - 2 | LE1 | 12.7 | 79.5 | 216.1 | 5.6 | 58.3 | - | Aceptar |
| | B44 | 7/8 A490 - 2 | LE1 | 2.0 | 75.4 | 216.1 | 0.9 | 55.3 | - | Aceptar |
| | B45 | 7/8 A490 - 2 | LE1 | 88.7 | 115.8 | 216.1 | 39.1 | 84.8 | 86.6 | Aceptar |
| | B46 | 7/8 A490 - 2 | LE1 | 12.4 | 79.5 | 216.1 | 5.5 | 58.3 | - | Aceptar |
| | B47 | 7/8 A490 - 2 | LE1 | 2.2 | 75.5 | 216.1 | 1.0 | 55.3 | - | Aceptar |
| | B48 | 7/8 A490 - 2 | LE1 | 31.4 | 92.3 | 216.1 | 13.9 | 67.6 | - | Aceptar |
| | B49 | 7/8 A490 - 2 | LE1 | 31.4 | 92.3 | 216.1 | 13.8 | 67.6 | - | Aceptar |
| | B50 | 7/8 A490 - 2 | LE1 | 2.0 | 77.2 | 216.1 | 0.9 | 56.6 | - | Aceptar |
| | B51 | 7/8 A490 - 2 | LE1 | 1.8 | 77.3 | 216.1 | 0.8 | 56.6 | - | Aceptar |

**Datos de diseño**

| Calidad | $\phi R_{n,tracción}$ [kN] | $\phi R_{n,cortante}$ [kN] |
|---|---|---|
| 3/4 A325 - 1 | 132.5 | 79.5 |
| 7/8 A490 - 2 | 227.0 | 136.5 |

**Resultado detallado para B13**

**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b = \quad 132.5 \quad \text{kN} \quad \geq \quad F_t = \quad 1.2 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$F_{nt} = 620.0$ MPa – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2

$A_b = 285$ mm$^2$ – Área bruta del tornillo

$\phi = 0.75$ – factor de capacidad

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b = \quad 79.5 \quad \text{kN} \quad \geq \quad V = \quad 8.7 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$F_{nv}$ = 372.0 MPa – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2
$A_b$ = 285 mm$^2$ – Área bruta del tornillo
$\phi$ = 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \quad \leq \quad 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$$

$$\phi R_n = \quad 118.0 \quad \text{kN} \quad \geq \quad V = \quad 8.7 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$l_c$ = 50 mm – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material
$t$ = 9 mm – espesor de la placa
$d$ = 19 mm – dimámetro del tornillo
$F_u$ = 400.0 MPa – resistencia a tracción del material conectado
$\phi$ = 0.75 – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-2)
*La tensión requerida, a cortante o en tracción, es menor o igual al 30% de la resistencia y los efectos de las tensiones combinadas no necesitan ser evaluadas.*

**Resultado detallado para B14**
**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b = \quad 132.5 \quad \text{kN} \quad \geq \quad F_t = \quad 3.2 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$F_{nt}$ = 620.0 MPa – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2
$A_b$ = 285 mm$^2$ – Área bruta del tornillo
$\phi$ = 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b = \quad 79.5 \quad \text{kN} \quad \geq \quad V = \quad 23.4 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$F_{nv}$ = 372.0 MPa – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2
$A_b$ = 285 mm$^2$ – Área bruta del tornillo
$\phi$ = 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \quad \leq \quad 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$$

$$\phi R_n = \quad 98.3 \quad \text{kN} \quad \geq \quad V = \quad 23.4 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$l_c = 32$ mm – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material
$t = 9$ mm – espesor de la placa
$d = 19$ mm – dimámetro del tornillo
$F_u = 400.0$ MPa – resistencia a tracción del material conectado
$\phi = 0.75$ – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-2)
*La tensión requerida, a cortante o en tracción, es menor o igual al 30% de la resistencia y los efectos de las tensiones combinadas no necesitan ser evaluadas.*

**Resultado detallado para B15**
**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b = \quad 132.5 \quad \text{kN} \quad \geq \quad F_t = \quad 0.5 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$F_{nt} = 620.0$ MPa – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2
$A_b = 285$ mm$^2$ – Área bruta del tornillo
$\phi = 0.75$ – factor de capacidad

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b = \quad 79.5 \quad \text{kN} \quad \geq \quad V = \quad 13.0 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$F_{nv} = 372.0$ MPa – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2
$A_b = 285$ mm$^2$ – Área bruta del tornillo
$\phi = 0.75$ – factor de capacidad

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \quad \leq \quad 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$$

$$\phi R_n = \quad 118.0 \quad \text{kN} \quad \geq \quad V = \quad 13.0 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$l_c = 575$ mm – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material
$t = 9$ mm – espesor de la placa
$d = 19$ mm – dimámetro del tornillo
$F_u = 400.0$ MPa – resistencia a tracción del material conectado
$\phi = 0.75$ – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-2)
*La tensión requerida, a cortante o en tracción, es menor o igual al 30% de la resistencia y los efectos de las tensiones combinadas no necesitan ser evaluadas.*

**Resultado detallado para B24**

**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b = \quad 227.0 \quad \text{kN} \quad \geq \quad F_t = \quad 110.6 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$F_{nt} =$ 780.0 MPa – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2

$A_b =$ 388 mm$^2$ – Área bruta del tornillo

$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b = \quad 136.5 \quad \text{kN} \quad \geq \quad V = \quad 101.6 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$F_{nv} =$ 469.0 MPa – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2

$A_b =$ 388 mm$^2$ – Área bruta del tornillo

$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \quad \leq \quad 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$$

$$\phi R_n = \quad 216.1 \quad \text{kN} \quad \geq \quad V = \quad 101.6 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$l_c =$ 140 mm – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material

$t =$ 14 mm – espesor de la placa

$d =$ 22 mm – dimámetro del tornillo

$F_u =$ 400.0 MPa – resistencia a tracción del material conectado

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-3b)

$$\phi R_n = \phi \cdot F'_{nt} \cdot A_b = \quad 126.1 \quad \text{kN} \quad \geq \quad F_t = \quad 110.6 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$F'_{nt} =$ 433.3 MPa – resistencia a tracción nominal modificada para incluir los efectos de las tensiones tangenciales

- $F'_{nt} = 1.3 \cdot F_{nt} - \frac{f_{rv} \cdot F_{nt}}{\phi \cdot F_{nv}} \leq F_{nt}$ , donde:
  - $F_{nt} =$ 780.0 MPa – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2
  - $F_{nv} =$ 469.0 MPa – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2
  - $f_{rv} =$ 261.9 MPa – tensión tangencial requerida usando combinaciones LRFD o ASD. La tensión tangencial en el anclaje debe ser igual o mayor a la tensión tangencial requerida
  - $\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para combinación tracción-cortante

$A_b =$ 388 mm$^2$ – Área bruta del tornillo

**Resultado detallado para B25**

**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b = \quad 227.0 \quad \text{kN} \quad \geq \quad F_t = \quad 3.4 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$F_{nt} =$ 780.0 MPa – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2

$A_b =$ 388 mm$^2$ – Área bruta del tornillo

$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b = \quad 136.5 \quad \text{kN} \quad \geq \quad V = \quad 83.9 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$F_{nv} =$ 469.0 MPa – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2

$A_b =$ 388 mm$^2$ – Área bruta del tornillo

$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \quad \leq \quad 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$$

$$\phi R_n = \quad 216.1 \quad \text{kN} \quad \geq \quad V = \quad 83.9 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$l_c =$ 46 mm – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material

$t =$ 14 mm – espesor de la placa

$d =$ 22 mm – dimámetro del tornillo

$F_u =$ 400.0 MPa – resistencia a tracción del material conectado

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-2)

*La tensión requerida, a cortante o en tracción, es menor o igual al 30% de la resistencia y los efectos de las tensiones combinadas no necesitan ser evaluadas.*

**Resultado detallado para B26**

**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b = \quad 227.0 \quad \text{kN} \quad \geq \quad F_t = \quad 9.3 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$F_{nt} =$ 780.0 MPa – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2

$A_b =$ 388 mm$^2$ – Área bruta del tornillo

$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b =$ 136.5 kN ≥ $V =$ 81.9 kN

*Donde:*

$F_{nv} =$ 469.0 MPa – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2
$A_b =$ 388 mm$^2$ – Área bruta del tornillo
$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \leq 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$

$\phi R_n =$ 216.1 kN ≥ $V =$ 81.9 kN

*Donde:*

$l_c =$ 46 mm – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material
$t =$ 14 mm – espesor de la placa
$d =$ 22 mm – dimámetro del tornillo
$F_u =$ 400.0 MPa – resistencia a tracción del material conectado
$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-2)
*La tensión requerida, a cortante o en tracción, es menor o igual al 30% de la resistencia y los efectos de las tensiones combinadas no necesitan ser evaluadas.*

**Resultado detallado para B27**
**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b =$ 227.0 kN ≥ $F_t =$ 110.6 kN

*Donde:*

$F_{nt} =$ 780.0 MPa – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2
$A_b =$ 388 mm$^2$ – Área bruta del tornillo
$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b =$ 136.5 kN ≥ $V =$ 101.6 kN

*Donde:*

$F_{nv} =$ 469.0 MPa – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2
$A_b =$ 388 mm$^2$ – Área bruta del tornillo
$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \leq 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$

$\phi R_n =$ 216.1 kN ≥ $V =$ 101.6 kN

*Donde:*

$l_c = 140$ mm – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material

$t = 14$ mm – espesor de la placa

$d = 22$ mm – dimámetro del tornillo

$F_u = 400.0$ MPa – resistencia a tracción del material conectado

$\phi = 0.75$ – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-3b)

$\phi R_n = \phi \cdot F'_{nt} \cdot A_b =$ 126.1 kN ≥ $F_t =$ 110.6 kN

*Donde:*

$F'_{nt} = 433.4$ MPa – resistencia a tracción nominal modificada para incluir los efectos de las tensiones tangenciales

- $F'_{nt} = 1.3 \cdot F_{nt} - \frac{f_{rv} \cdot F_{nt}}{\phi \cdot F_{nv}} \leq F_{nt}$ , donde:
  - $F_{nt} =$ 780.0 MPa – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2
  - $F_{nv} =$ 469.0 MPa – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2
  - $f_{rv} =$ 261.8 MPa – tensión tangencial requerida usando combinaciones LRFD o ASD. La tensión tangencial en el anclaje debe ser igual o mayor a la tensión tangencial requerida
  - $\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para combinación tracción-cortante

$A_b = 388$ mm$^2$ – Área bruta del tornillo

**Resultado detallado para B28**

**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b =$ 227.0 kN ≥ $F_t =$ 3.3 kN

*Donde:*

$F_{nt} = 780.0$ MPa – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2

$A_b = 388$ mm$^2$ – Área bruta del tornillo

$\phi = 0.75$ – factor de capacidad

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b =$ 136.5 kN ≥ $V =$ 83.9 kN

*Donde:*

$F_{nv} = 469.0$ MPa – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2

$A_b = 388$ mm$^2$ – Área bruta del tornillo

$\phi = 0.75$ – factor de capacidad

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \leq 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$

$\phi R_n =$ 216.1 kN ≥ $V =$ 83.9 kN

*Donde:*

– distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o

$l_c = 46$ mm — borde del material
$t = 14$ mm – espesor de la placa
$d = 22$ mm – dimámetro del tornillo
$F_u = 400.0$ MPa – resistencia a tracción del material conectado
$\phi = 0.75$ – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-2)
*La tensión requerida, a cortante o en tracción, es menor o igual al 30% de la resistencia y los efectos de las tensiones combinadas no necesitan ser evaluadas.*

**Resultado detallado para B29**

**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b = \quad 227.0 \quad \text{kN} \quad \geq \quad F_t = \quad 9.0 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$F_{nt} = 780.0$ MPa – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2
$A_b = 388$ mm$^2$ – Área bruta del tornillo
$\phi = 0.75$ – factor de capacidad

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b = \quad 136.5 \quad \text{kN} \quad \geq \quad V = \quad 81.8 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$F_{nv} = 469.0$ MPa – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2
$A_b = 388$ mm$^2$ – Área bruta del tornillo
$\phi = 0.75$ – factor de capacidad

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \quad \leq \quad 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$$

$$\phi R_n = \quad 216.1 \quad \text{kN} \quad \geq \quad V = \quad 81.8 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$l_c = 46$ mm – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material
$t = 14$ mm – espesor de la placa
$d = 22$ mm – dimámetro del tornillo
$F_u = 400.0$ MPa – resistencia a tracción del material conectado
$\phi = 0.75$ – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-2)
*La tensión requerida, a cortante o en tracción, es menor o igual al 30% de la resistencia y los efectos de las tensiones combinadas no necesitan ser evaluadas.*

**Resultado detallado para B30**

**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b = \quad 227.0 \quad \text{kN} \quad \geq \quad F_t = \quad 10.5 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$F_{nt} =$ 780.0 MPa – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2

$A_b =$ 388 mm$^2$ – Área bruta del tornillo

$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b = \quad 136.5 \quad \text{kN} \quad \geq \quad V = \quad 86.9 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$F_{nv} =$ 469.0 MPa – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2

$A_b =$ 388 mm$^2$ – Área bruta del tornillo

$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \quad \leq \quad 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$$

$$\phi R_n = \quad 216.1 \quad \text{kN} \quad \geq \quad V = \quad 86.9 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$l_c =$ 46 mm – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material

$t =$ 14 mm – espesor de la placa

$d =$ 22 mm – dimámetro del tornillo

$F_u =$ 400.0 MPa – resistencia a tracción del material conectado

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-2)

*La tensión requerida, a cortante o en tracción, es menor o igual al 30% de la resistencia y los efectos de las tensiones combinadas no necesitan ser evaluadas.*

**Resultado detallado para B31**

**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b = \quad 227.0 \quad \text{kN} \quad \geq \quad F_t = \quad 10.5 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$F_{nt} =$ 780.0 MPa – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2

$A_b =$ 388 mm$^2$ – Área bruta del tornillo

$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b =$ 136.5 kN ≥ $V =$ 86.9 kN

*Donde:*

$F_{nv} =$ 469.0 MPa – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2
$A_b =$ 388 mm$^2$ – Área bruta del tornillo
$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \leq 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$

$\phi R_n =$ 216.1 kN ≥ $V =$ 86.9 kN

*Donde:*

$l_c =$ 46 mm – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material
$t =$ 14 mm – espesor de la placa
$d =$ 22 mm – dimámetro del tornillo
$F_u =$ 400.0 MPa – resistencia a tracción del material conectado
$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-2)
*La tensión requerida, a cortante o en tracción, es menor o igual al 30% de la resistencia y los efectos de las tensiones combinadas no necesitan ser evaluadas.*

**Resultado detallado para B32**
**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b =$ 227.0 kN ≥ $F_t =$ 25.1 kN

*Donde:*

$F_{nt} =$ 780.0 MPa – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2
$A_b =$ 388 mm$^2$ – Área bruta del tornillo
$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b =$ 136.5 kN ≥ $V =$ 83.3 kN

*Donde:*

$F_{nv} =$ 469.0 MPa – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2
$A_b =$ 388 mm$^2$ – Área bruta del tornillo
$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \leq 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$

$\phi R_n =$ 216.1 kN ≥ $V =$ 83.3 kN

*Donde:*

| | |
|---|---|
| $l_c = 46$ mm | – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material |
| $t = 14$ mm | – espesor de la placa |
| $d = 22$ mm | – dimámetro del tornillo |
| $F_u = 400.0$ MPa | – resistencia a tracción del material conectado |
| $\phi = 0.75$ | – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos |

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-2)

*La tensión requerida, a cortante o en tracción, es menor o igual al 30% de la resistencia y los efectos de las tensiones combinadas no necesitan ser evaluadas.*

**Resultado detallado para B33**

**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b =$ 227.0 kN ≥ $F_t =$ 25.1 kN

*Donde:*

| | |
|---|---|
| $F_{nt} = 780.0$ MPa | – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2 |
| $A_b = 388$ mm$^2$ | – Área bruta del tornillo |
| $\phi = 0.75$ | – factor de capacidad |

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b =$ 136.5 kN ≥ $V =$ 83.2 kN

*Donde:*

| | |
|---|---|
| $F_{nv} = 469.0$ MPa | – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2 |
| $A_b = 388$ mm$^2$ | – Área bruta del tornillo |
| $\phi = 0.75$ | – factor de capacidad |

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \leq 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$

$\phi R_n =$ 216.1 kN ≥ $V =$ 83.2 kN

*Donde:*

| | |
|---|---|
| $l_c = 46$ mm | – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material |
| $t = 14$ mm | – espesor de la placa |
| $d = 22$ mm | – dimámetro del tornillo |
| $F_u = 400.0$ MPa | – resistencia a tracción del material conectado |
| $\phi = 0.75$ | – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos |

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-2)

*La tensión requerida, a cortante o en tracción, es menor o igual al 30% de la resistencia y los efectos de las tensiones combinadas no*

*necesitan ser evaluadas.*

**Resultado detallado para B42**

**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b =$ 227.0 kN ≥ $F_t =$ 88.7 kN

*Donde:*

$F_{nt} =$ 780.0 MPa – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2
$A_b =$ 388 mm$^2$ – Área bruta del tornillo
$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b =$ 136.5 kN ≥ $V =$ 115.8 kN

*Donde:*

$F_{nv} =$ 469.0 MPa – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2
$A_b =$ 388 mm$^2$ – Área bruta del tornillo
$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \leq 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$

$\phi R_n =$ 216.1 kN ≥ $V =$ 115.8 kN

*Donde:*

$l_c =$ 46 mm – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material
$t =$ 14 mm – espesor de la placa
$d =$ 22 mm – dimámetro del tornillo
$F_u =$ 400.0 MPa – resistencia a tracción del material conectado
$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-3b)

$\phi R_n = \phi \cdot F'_{nt} \cdot A_b =$ 102.5 kN ≥ $F_t =$ 88.7 kN

*Donde:*

$F'_{nt} =$ 352.3 MPa – resistencia a tracción nominal modificada para incluir los efectos de las tensiones tangenciales

- $F'_{nt} = 1.3 \cdot F_{nt} - \frac{f_{rv} \cdot F_{nt}}{\phi \cdot F_{nv}} \leq F_{nt}$ , donde:
  - $F_{nt} =$ 780.0 MPa – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2
  - $F_{nv} =$ 469.0 MPa – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2
  - $f_{rv} =$ 298.4 MPa – tensión tangencial requerida usando combinaciones LRFD o ASD. La tensión tangencial en el anclaje debe ser igual o mayor a la tensión tangencial requerida
  - $\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para combinación tracción-cortante

$A_b =$ 388 mm$^2$ – Área bruta del tornillo

**Resultado detallado para B43**

**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b = \quad 227.0 \quad \text{kN} \quad \geq \quad F_t = \quad 12.7 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$F_{nt} =$ 780.0 MPa – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2

$A_b =$ 388 mm$^2$ – Área bruta del tornillo

$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b = \quad 136.5 \quad \text{kN} \quad \geq \quad V = \quad 79.5 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$F_{nv} =$ 469.0 MPa – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2

$A_b =$ 388 mm$^2$ – Área bruta del tornillo

$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \quad \leq \quad 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$$

$$\phi R_n = \quad 216.1 \quad \text{kN} \quad \geq \quad V = \quad 79.5 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$l_c =$ 46 mm – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material

$t =$ 14 mm – espesor de la placa

$d =$ 22 mm – dimámetro del tornillo

$F_u =$ 400.0 MPa – resistencia a tracción del material conectado

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-2)

*La tensión requerida, a cortante o en tracción, es menor o igual al 30% de la resistencia y los efectos de las tensiones combinadas no necesitan ser evaluadas.*

**Resultado detallado para B44**

**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b = \quad 227.0 \quad \text{kN} \quad \geq \quad F_t = \quad 2.0 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$F_{nt} =$ 780.0 MPa – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2

$A_b =$ 388 mm$^2$ – Área bruta del tornillo

$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b =$ 136.5 kN ≥ $V =$ 75.4 kN

*Donde:*

$F_{nv} =$ 469.0 MPa – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2
$A_b =$ 388 mm$^2$ – Área bruta del tornillo
$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \leq 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$

$\phi R_n =$ 216.1 kN ≥ $V =$ 75.4 kN

*Donde:*

$l_c =$ 46 mm – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material
$t =$ 14 mm – espesor de la placa
$d =$ 22 mm – dimámetro del tornillo
$F_u =$ 400.0 MPa – resistencia a tracción del material conectado
$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-2)
*La tensión requerida, a cortante o en tracción, es menor o igual al 30% de la resistencia y los efectos de las tensiones combinadas no necesitan ser evaluadas.*

**Resultado detallado para B45**

**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b =$ 227.0 kN ≥ $F_t =$ 88.7 kN

*Donde:*

$F_{nt} =$ 780.0 MPa – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2
$A_b =$ 388 mm$^2$ – Área bruta del tornillo
$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b =$ 136.5 kN ≥ $V =$ 115.8 kN

*Donde:*

$F_{nv} =$ 469.0 MPa – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2
$A_b =$ 388 mm$^2$ – Área bruta del tornillo
$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \leq 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$

$\phi R_n =$ 216.1 kN ≥ $V =$ 115.8 kN

*Donde:*

$l_c =$ 46 mm – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material

$t =$ 14 mm – espesor de la placa

$d =$ 22 mm – dimámetro del tornillo

$F_u =$ 400.0 MPa – resistencia a tracción del material conectado

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-3b)

$\phi R_n = \phi \cdot F'_{nt} \cdot A_b =$ 102.5 kN ≥ $F_t =$ 88.7 kN

*Donde:*

$F'_{nt} =$ 352.4 MPa – resistencia a tracción nominal modificada para incluir los efectos de las tensiones tangenciales

- $F'_{nt} = 1.3 \cdot F_{nt} - \frac{f_{rv} \cdot F_{nt}}{\phi \cdot F_{nv}} \leq F_{nt}$ , donde:
  - $F_{nt} =$ 780.0 MPa – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2
  - $F_{nv} =$ 469.0 MPa – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2
  - $f_{rv} =$ 298.4 MPa – tensión tangencial requerida usando combinaciones LRFD o ASD. La tensión tangencial en el anclaje debe ser igual o mayor a la tensión tangencial requerida
  - $\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para combinación tracción-cortante

$A_b =$ 388 mm$^2$ – Área bruta del tornillo

**Resultado detallado para B46**

**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b =$ 227.0 kN ≥ $F_t =$ 12.4 kN

*Donde:*

$F_{nt} =$ 780.0 MPa – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2

$A_b =$ 388 mm$^2$ – Área bruta del tornillo

$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b =$ 136.5 kN ≥ $V =$ 79.5 kN

*Donde:*

$F_{nv} =$ 469.0 MPa – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2

$A_b =$ 388 mm$^2$ – Área bruta del tornillo

$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \leq 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$

$\phi R_n =$ 216.1 kN ≥ $V =$ 79.5 kN

*Donde:*

| | |
|---|---|
| $l_c = 46$ mm | – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material |
| $t = 14$ mm | – espesor de la placa |
| $d = 22$ mm | – dimámetro del tornillo |
| $F_u = 400.0$ MPa | – resistencia a tracción del material conectado |
| $\phi = 0.75$ | – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos |

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-2)

*La tensión requerida, a cortante o en tracción, es menor o igual al 30% de la resistencia y los efectos de las tensiones combinadas no necesitan ser evaluadas.*

**Resultado detallado para B47**

**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b =$ 227.0 kN ≥ $F_t =$ 2.2 kN

*Donde:*

| | |
|---|---|
| $F_{nt} = 780.0$ MPa | – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2 |
| $A_b = 388$ mm$^2$ | – Área bruta del tornillo |
| $\phi = 0.75$ | – factor de capacidad |

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b =$ 136.5 kN ≥ $V =$ 75.5 kN

*Donde:*

| | |
|---|---|
| $F_{nv} = 469.0$ MPa | – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2 |
| $A_b = 388$ mm$^2$ | – Área bruta del tornillo |
| $\phi = 0.75$ | – factor de capacidad |

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \leq 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$

$\phi R_n =$ 216.1 kN ≥ $V =$ 75.5 kN

*Donde:*

| | |
|---|---|
| $l_c = 46$ mm | – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material |
| $t = 14$ mm | – espesor de la placa |
| $d = 22$ mm | – dimámetro del tornillo |
| $F_u = 400.0$ MPa | – resistencia a tracción del material conectado |
| $\phi = 0.75$ | – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos |

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-2)

*La tensión requerida, a cortante o en tracción, es menor o igual al 30% de la resistencia y los efectos de las tensiones combinadas no*

*necesitan ser evaluadas.*

**Resultado detallado para B48**

**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b =$ 227.0 kN ≥ $F_t =$ 31.4 kN

*Donde:*

$F_{nt} =$ 780.0 MPa – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2
$A_b =$ 388 mm$^2$ – Área bruta del tornillo
$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b =$ 136.5 kN ≥ $V =$ 92.3 kN

*Donde:*

$F_{nv} =$ 469.0 MPa – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2
$A_b =$ 388 mm$^2$ – Área bruta del tornillo
$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \leq 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$

$\phi R_n =$ 216.1 kN ≥ $V =$ 92.3 kN

*Donde:*

$l_c =$ 46 mm – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material
$t =$ 14 mm – espesor de la placa
$d =$ 22 mm – dimámetro del tornillo
$F_u =$ 400.0 MPa – resistencia a tracción del material conectado
$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-2)

*La tensión requerida, a cortante o en tracción, es menor o igual al 30% de la resistencia y los efectos de las tensiones combinadas no necesitan ser evaluadas.*

**Resultado detallado para B49**

**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b = \quad 227.0 \quad \text{kN} \quad \geq \quad F_t = \quad 31.4 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$F_{nt} =$ 780.0 MPa – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2

$A_b =$ 388 mm$^2$ – Área bruta del tornillo

$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b = \quad 136.5 \quad \text{kN} \quad \geq \quad V = \quad 92.3 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$F_{nv} =$ 469.0 MPa – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2

$A_b =$ 388 mm$^2$ – Área bruta del tornillo

$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \quad \leq \quad 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$$

$$\phi R_n = \quad 216.1 \quad \text{kN} \quad \geq \quad V = \quad 92.3 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$l_c =$ 46 mm – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material

$t =$ 14 mm – espesor de la placa

$d =$ 22 mm – dimámetro del tornillo

$F_u =$ 400.0 MPa – resistencia a tracción del material conectado

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-2)

*La tensión requerida, a cortante o en tracción, es menor o igual al 30% de la resistencia y los efectos de las tensiones combinadas no necesitan ser evaluadas.*

**Resultado detallado para B50**

**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b = \quad 227.0 \quad \text{kN} \quad \geq \quad F_t = \quad 2.0 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$F_{nt} =$ 780.0 MPa – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2

$A_b =$ 388 mm$^2$ – Área bruta del tornillo

$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b =$ 136.5 kN ≥ $V =$ 77.2 kN

*Donde:*

$F_{nv} =$ 469.0 MPa – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2
$A_b =$ 388 mm$^2$ – Área bruta del tornillo
$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \leq 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$

$\phi R_n =$ 216.1 kN ≥ $V =$ 77.2 kN

*Donde:*

$l_c =$ 46 mm – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material
$t =$ 14 mm – espesor de la placa
$d =$ 22 mm – dimámetro del tornillo
$F_u =$ 400.0 MPa – resistencia a tracción del material conectado
$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-2)
*La tensión requerida, a cortante o en tracción, es menor o igual al 30% de la resistencia y los efectos de las tensiones combinadas no necesitan ser evaluadas.*

**Resultado detallado para B51**
**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b =$ 227.0 kN ≥ $F_t =$ 1.8 kN

*Donde:*

$F_{nt} =$ 780.0 MPa – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2
$A_b =$ 388 mm$^2$ – Área bruta del tornillo
$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b =$ 136.5 kN ≥ $V =$ 77.3 kN

*Donde:*

$F_{nv} =$ 469.0 MPa – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2
$A_b =$ 388 mm$^2$ – Área bruta del tornillo
$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \leq 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$

$\phi R_n =$ 216.1 kN ≥ $V =$ 77.3 kN

*Donde:*

$l_c = 46$ mm – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material

$t = 14$ mm – espesor de la placa

$d = 22$ mm – dimámetro del tornillo

$F_u = 400.0$ MPa – resistencia a tracción del material conectado

$\phi = 0.75$ – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-2)
*La tensión requerida, a cortante o en tracción, es menor o igual al 30% de la resistencia y los efectos de las tensiones combinadas no necesitan ser evaluadas.*

## Soldaduras

| Ítem | Borde | Xu | $T_h$ [mm] | $L_s$ [mm] | L [mm] | $L_c$ [mm] | $F_n$ [kN] | $\phi R_n$ [kN] | Ut [%] | Estado |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| C-bfl 1 | FP1 | E70xx | - | - | 280 | - | - | - | - | Aceptar |
| C-bfl 1 | FP2 | E70xx | - | - | 230 | - | - | - | - | Aceptar |
| C-bfl 1 | FP3 | E70xx | - | - | 230 | - | - | - | - | Aceptar |
| C-w 1 | STIFF1b | E70xx | ◢5.7◣ | ◢8.0◣ | 300 | 50 | 27.6 | 70.5 | 39.1 | Aceptar |
| | | E70xx | ◢5.7◣ | ◢8.0◣ | 300 | 50 | 26.8 | 65.0 | 41.2 | Aceptar |
| C-tfl 1 | STIFF1b | E70xx | - | - | 105 | - | - | - | - | Aceptar |
| C-bfl 1 | STIFF1b | E70xx | - | - | 105 | - | - | - | - | Aceptar |
| C-w 1 | STIFF1a | E70xx | ◢5.7◣ | ◢8.0◣ | 300 | 50 | 26.8 | 65.1 | 41.1 | Aceptar |
| | | E70xx | ◢5.7◣ | ◢8.0◣ | 300 | 50 | 27.5 | 70.6 | 39.0 | Aceptar |
| C-bfl 1 | STIFF1a | E70xx | - | - | 105 | - | - | - | - | Aceptar |
| C-tfl 1 | STIFF1a | E70xx | - | - | 105 | - | - | - | - | Aceptar |
| C-w 1 | RIGIDIZAR2b | E70xx | ◢5.7◣ | ◢8.0◣ | 300 | 50 | 26.6 | 65.1 | 40.8 | Aceptar |
| | | E70xx | ◢5.7◣ | ◢8.0◣ | 300 | 50 | 27.3 | 70.5 | 38.8 | Aceptar |
| C-tfl 1 | RIGIDIZAR2b | E70xx | - | - | 105 | - | - | - | - | Aceptar |
| C-bfl 1 | RIGIDIZAR2b | E70xx | - | - | 105 | - | - | - | - | Aceptar |
| C-w 1 | RIGIDIZAR2a | E70xx | ◢5.7◣ | ◢8.0◣ | 300 | 50 | 27.3 | 70.6 | 38.7 | Aceptar |
| | | E70xx | ◢5.7◣ | ◢8.0◣ | 300 | 50 | 26.5 | 65.1 | 40.8 | Aceptar |
| C-bfl 1 | RIGIDIZAR2a | E70xx | - | - | 105 | - | - | - | - | Aceptar |
| C-tfl 1 | RIGIDIZAR2a | E70xx | - | - | 105 | - | - | - | - | Aceptar |

**Resultado detallado para C-bfl 1 / FP1 - 1**

*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

**Resultado detallado para C-bfl 1 / FP2 - 1**

*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

**Resultado detallado para C-bfl 1 / FP3 - 1**

*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

**Resultado detallado para C-w 1 / STIFF1b - 1**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 70.5 kN ≥ $F_n =$ 27.6 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 332.8 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 26.5° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 283 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-w 1 / STIFF1b - 2**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 65.0 kN ≥ $F_n =$ 26.8 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 306.9 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 14.1° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 283 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-tfl 1 / STIFF1b - 1**

*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

**Resultado detallado para C-bfl 1 / STIFF1b - 1**

*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

**Resultado detallado para C-w 1 / STIFF1a - 1**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 65.1 kN ≥ $F_n =$ 26.8 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 307.0 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 14.1° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 283 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-w 1 / STIFF1a - 2**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 70.6 kN ≥ $F_n =$ 27.5 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 333.0 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 26.6° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 283 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-bfl 1 / STIFF1a - 1**

*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

**Resultado detallado para C-tfl 1 / STIFF1a - 1**

*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

**Resultado detallado para C-w 1 / RIGIDIZAR2b - 1**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 65.1 kN ≥ $F_n =$ 26.6 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 307.1 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 14.1° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 283 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-w 1 / RIGIDIZAR2b - 2**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 70.5 kN ≥ $F_n =$ 27.3 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 332.6 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 26.4° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 283 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-tfl 1 / RIGIDIZAR2b - 1**

*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

**Resultado detallado para C-bfl 1 / RIGIDIZAR2b - 1**

*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

**Resultado detallado para C-w 1 / RIGIDIZAR2a - 1**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 70.6 kN ≥ $F_n =$ 27.3 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 332.9 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 26.6° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 283 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-w 1 / RIGIDIZAR2a - 2**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 65.1 kN ≥ $F_n =$ 26.5 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 307.0 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 14.1° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 283 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-bfl 1 / RIGIDIZAR2a - 1**

*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

**Resultado detallado para C-tfl 1 / RIGIDIZAR2a - 1**

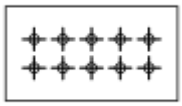
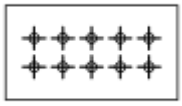
*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

## Pandeo

**El análisis de pandeo no se ha calculado.**

# Listado de material

## Operaciones

| Nombre | Placas [mm] | Forma | Nr. | Soldaduras [mm] | Longitud [mm] | Tornillos | Nr. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| FP1 | P10.0x100.0-280.0 (A36) | | 1 | Bisel: a = 10.0 | 280.0 | 3/4 A325 | 3 |
| FP2 | P20.0x420.0-230.0 (A572 Gr.50) |  | 1 | Bisel: a = 20.0 | 230.0 | 7/8 A490 | 10 |
| FP3 | P20.0x420.0-230.0 (A572 Gr.50) |  | 1 | Bisel: a = 20.0 | 230.0 | 7/8 A490 | 10 |
| STIFF1 | P20.0x143.0-398.0 (A572 Gr.55) | | 2 | | | | |
| RIGIDIZAR2 | P20.0x143.0-398.0 (A572 Gr.55) | | 2 | | | | |

## Soldaduras

| Tipo | Material | Espesor de garganta [mm] | Tamaño de pierna [mm] | Longitud [mm] |
|---|---|---|---|---|
| Bisel | E70xx | - | - | 280.0 |
| Bisel | E70xx | - | - | 1300.0 |
| Doble tendón de soldadura | E70xx | 5.7 | 8.0 | 1200.0 |

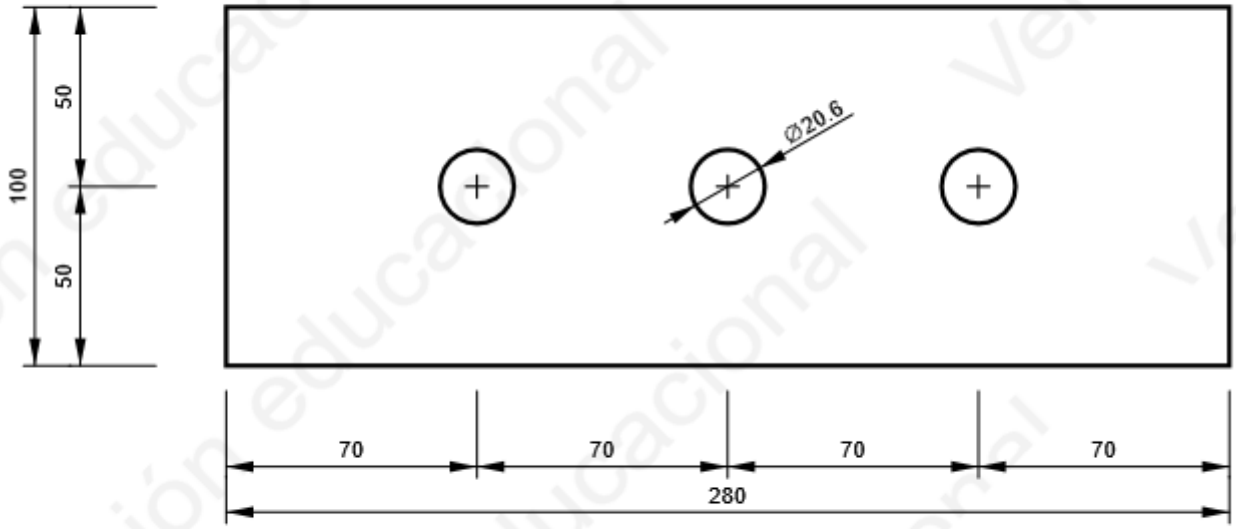
## Tornillos

| Nombre | Longitud de agarre [mm] | Cuenta |
|---|---|---|
| 3/4 A325 | 19 | 3 |
| 7/8 A490 | 34 | 20 |

## Dibujo

### FP1

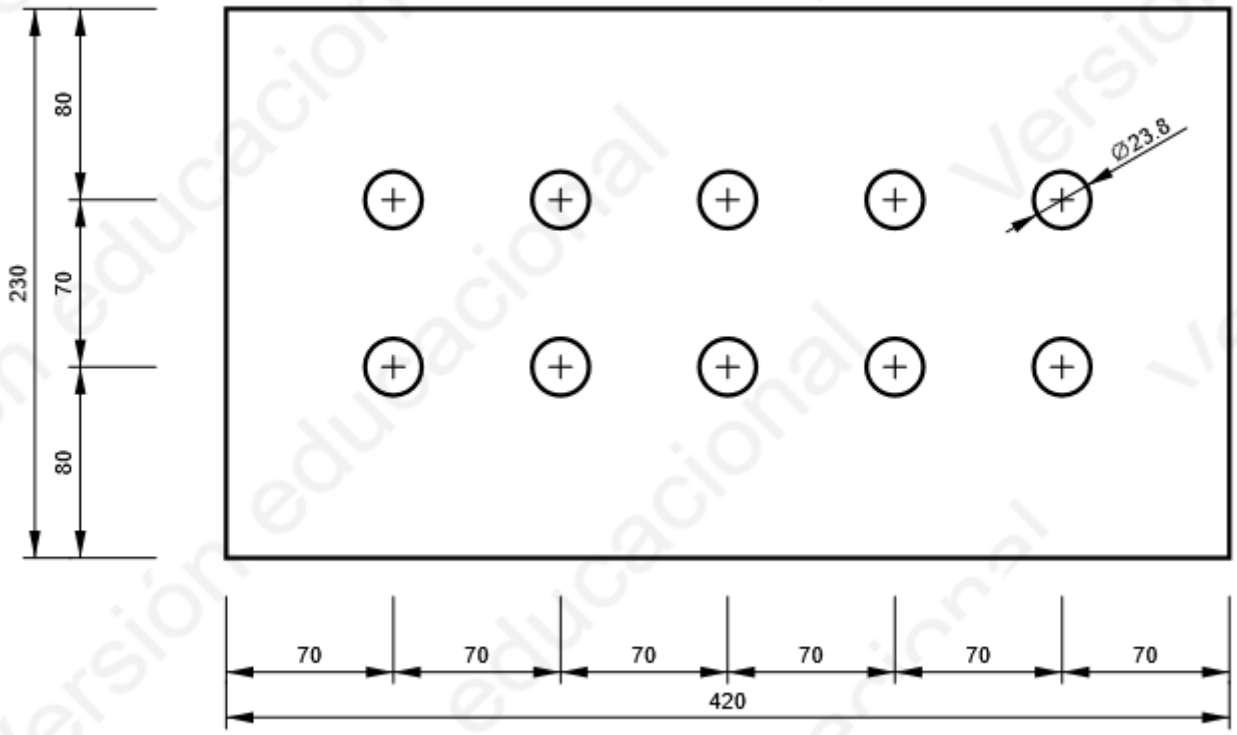
**P10.0x280-100 (A36)**




Versión educacional

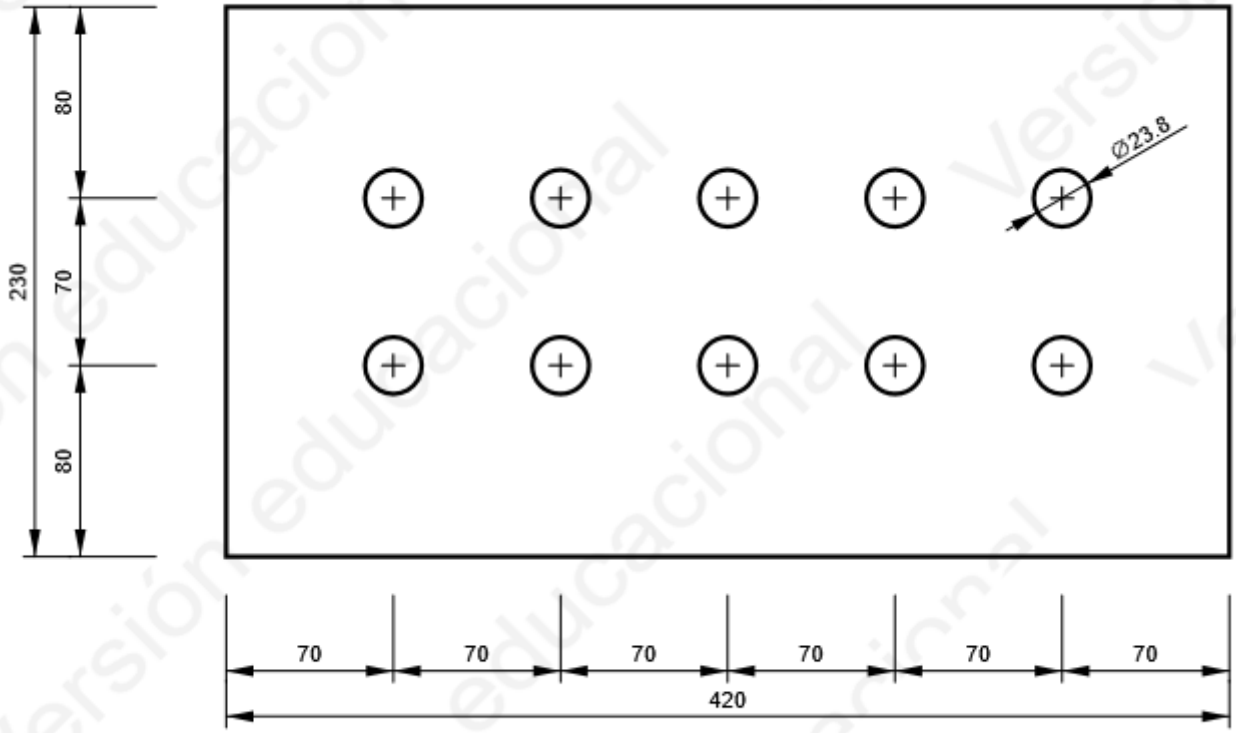
## FP2

**P20.0x230-420 (A572 Gr.50)**



## FP3

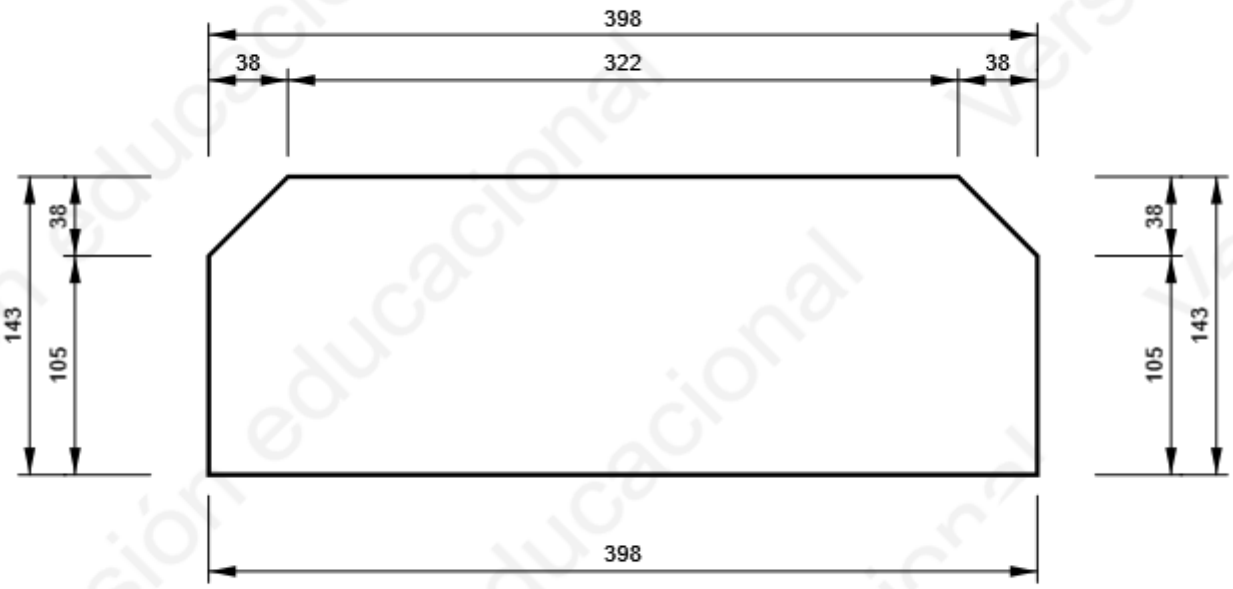
**P20.0x230-420 (A572 Gr.50)**




Versión educacional

## STIFF1

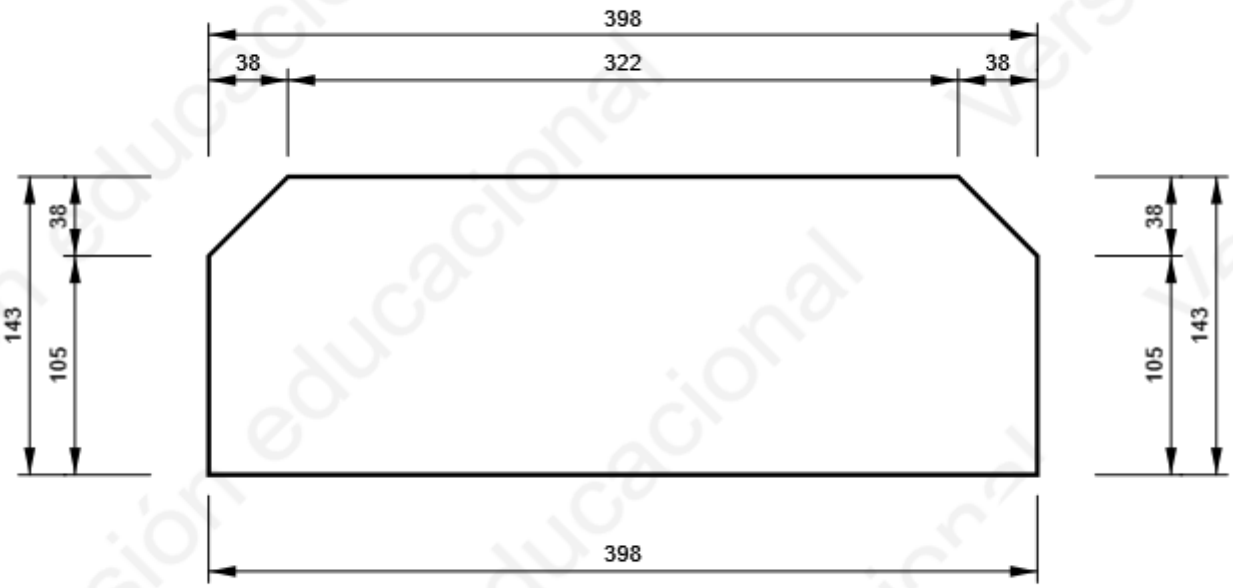
**P20.0x398-143 (A572 Gr.55)**




Versión educacional

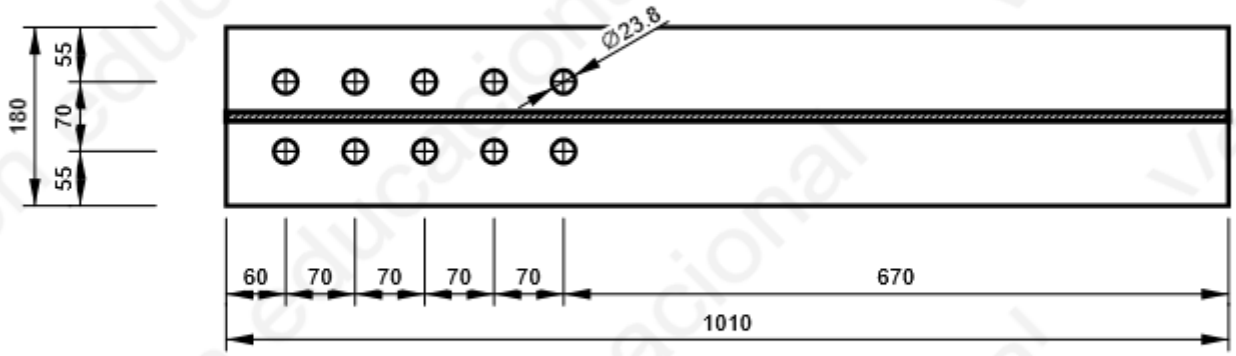
## RIGIDIZAR2

**P20.0x398-143 (A572 Gr.55)**



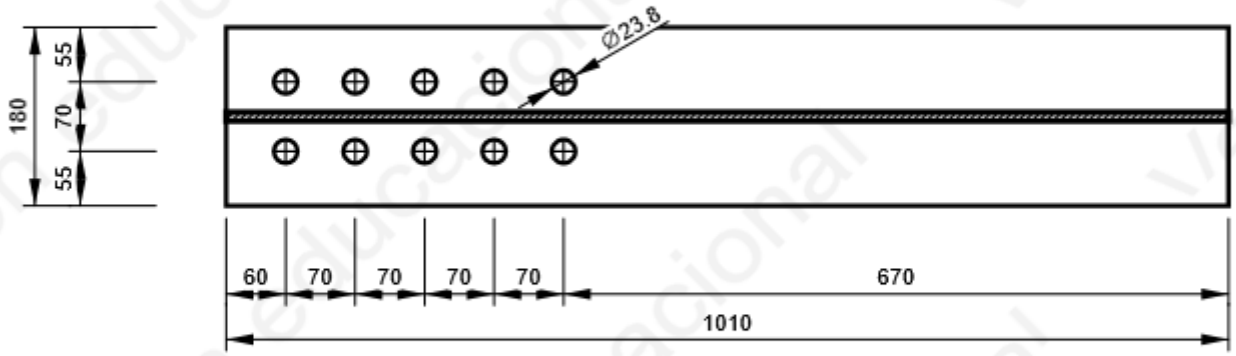

Versión educacional

## B, IPE400 - Ala inferior 1:



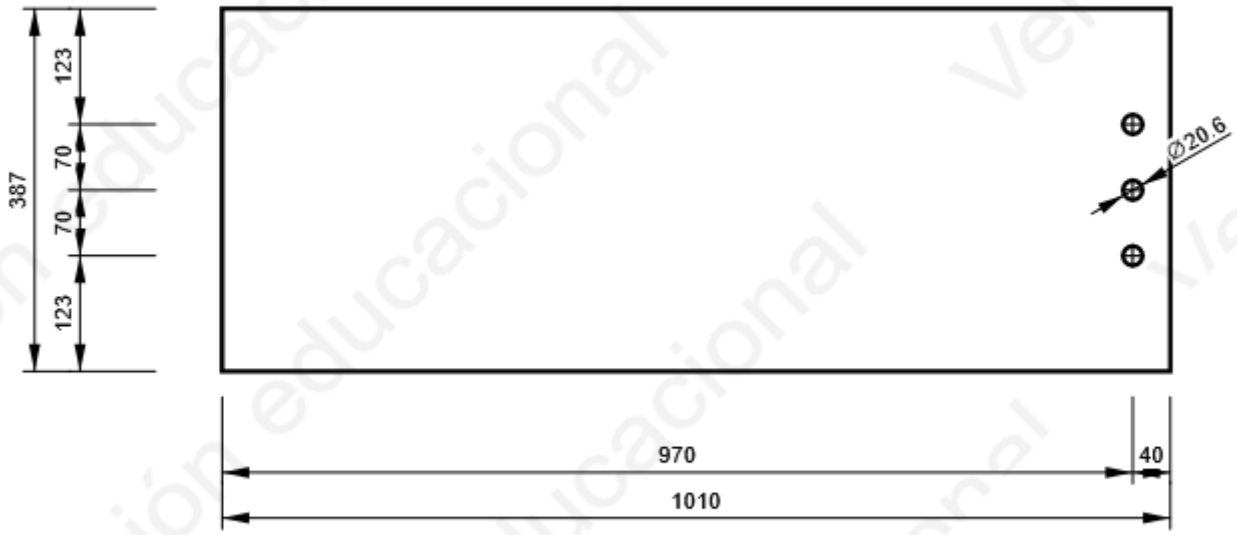

Versión educacional

## B, IPE400 - Ala superior 1:




Versión educacional

## B, IPE400 - Alma 1:



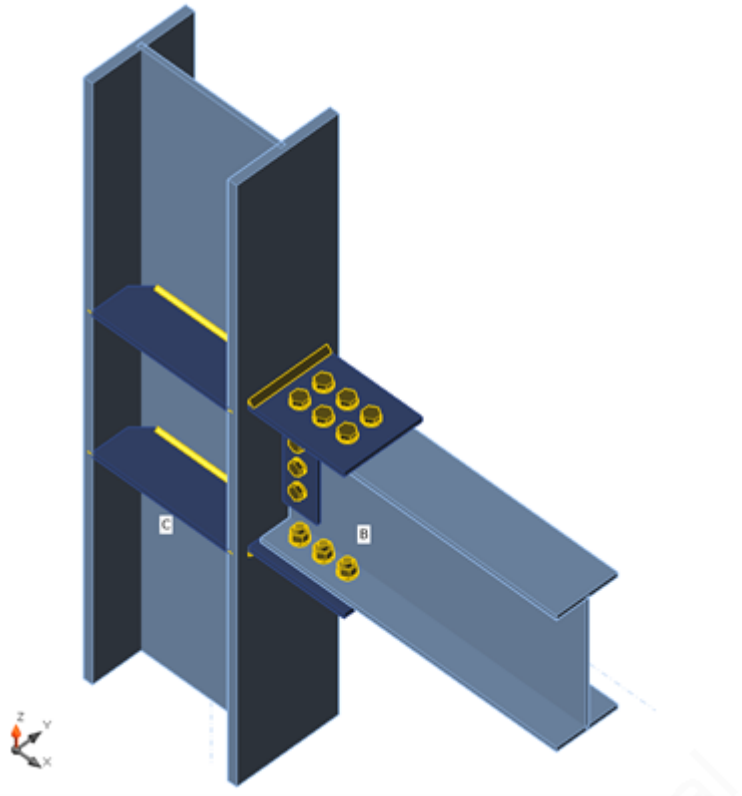
# Ítem del proyecto BFP-400-2

## Diseño

| | |
|---|---|
| Nombre | BFP-400-2 |
| Descripción | Conexion H450-I400 |
| Análisis | Tensión, deformación/ Carga simplificada |
| Normativa de cálculo | AISC - LRFD |

### Elementos estructurales

| Nombre | Sección transversal | β – Dirección [°] | γ - Inclinación [°] | α - Rotación [°] | Desplazamiento ex [mm] | Desplazamiento ey [mm] | Desplazamiento ez [mm] | Fuerzas en |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| C | 7 - HEB450 | 0.0 | -90.0 | 0.0 | 0 | 0 | 0 | Nudo |
| B | 8 - IPE400 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0 | 0 | 0 | Nudo |

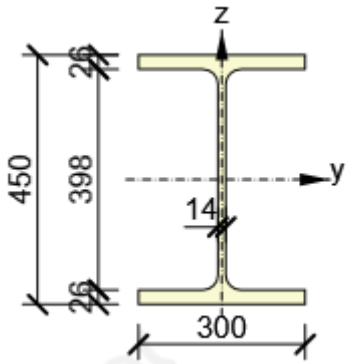
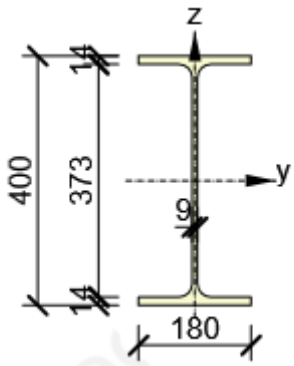



### Secciones

| Nombre | Material |
|---|---|
| 7 - HEB450 | A572 Gr.50 |
| 8 - IPE400 | A36 |

**Proyecto:** Conexiones SMF 4
**Proyecto nº:**
**Autor:** Tapia & Arbito

## Secciones

| Nombre | Material | Dibujo |
|---|---|---|
| 7 - HEB450 | A572 Gr.50 |   |
| 8 - IPE400 | A36 |   |

## Tornillos

| Nombre | Conjunto de tornillo | Diámetro [mm] | fu [MPa] | Área bruta [mm$^2$] |
|---|---|---|---|---|
| 7/8 A490 | 7/8 A490 | 22 | 1034.2 | 388 |
| 3/4 A325 | 3/4 A325 | 19 | 825.0 | 285 |

## Cargas (No se requiere el equilibro)

| Nombre | Elemento | N [kN] | Vy [kN] | Vz [kN] | Mx [kNm] | My [kNm] | Mz [kNm] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| LE1 | B | 0.0 | 0.0 | -144.0 | 0.0 | 409.0 | 0.0 |

# Verificación

## Resumen

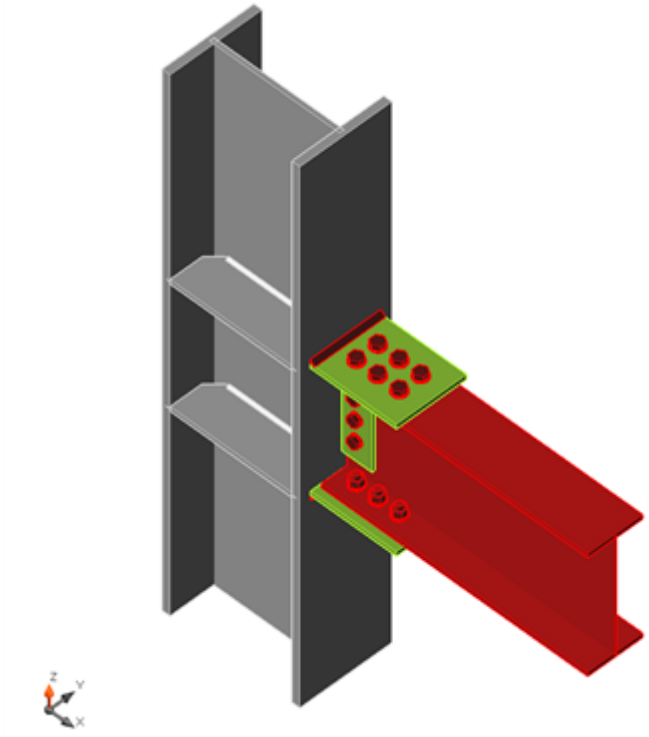
| Nombre | Valor | Estado de la verificación |
|---|---|---|
| Análisis | 100.0% | Aceptar |
| Placas | 70.8 > 5% | **Incorrecto!** |
| Tornillos | 105.8 > 100% | **Incorrecto!** |
| Soldaduras | 112.6 > 100% | **Incorrecto!** |
| Pandeo | No calculado | |

## Placas

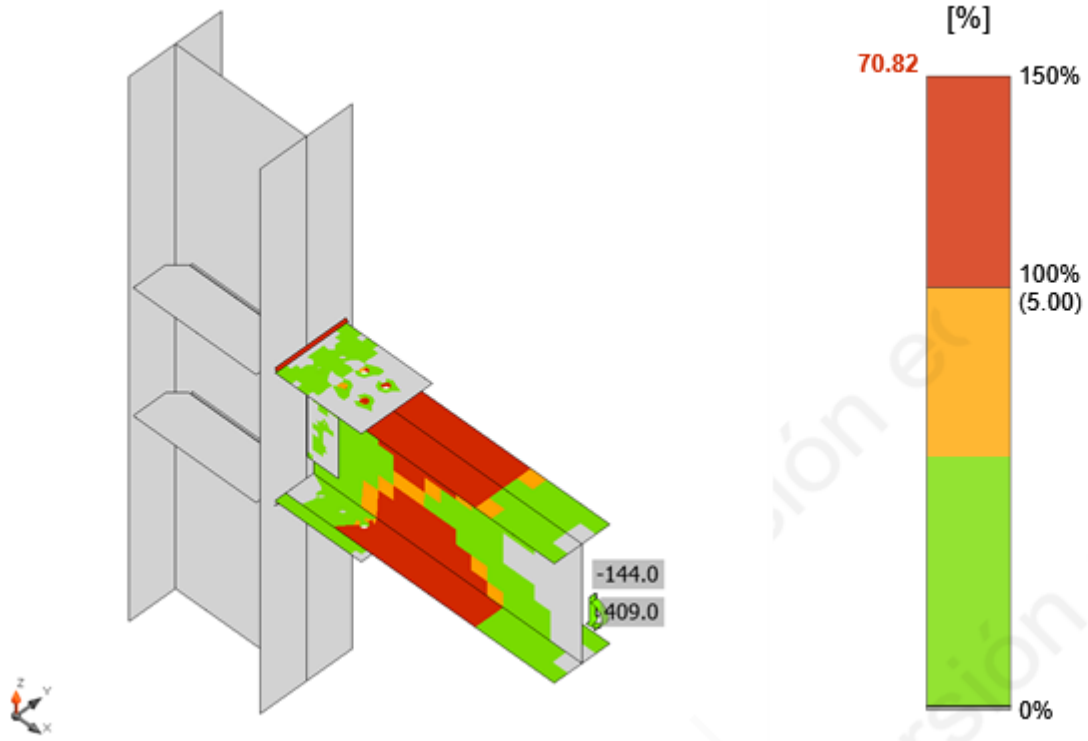
| Nombre | Material | $F_y$ [MPa] | Espesor [mm] | Cargas | $\sigma_{Ed}$ [MPa] | $\varepsilon_{Pl}$ [%] | Estado de la verificación |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| C-bfl 1 | A572 Gr.50 | 344.7 | 26.0 | LE1 | 156.8 | 0.0 | Aceptar |
| C-tfl 1 | A572 Gr.50 | 344.7 | 26.0 | LE1 | 85.4 | 0.0 | Aceptar |
| C-w 1 | A572 Gr.50 | 344.7 | 14.0 | LE1 | 220.9 | 0.0 | Aceptar |
| B-bfl 1 | A36 | 248.2 | 13.5 | LE1 | 280.5 | 28.5 | **Incorrecto!** |
| B-tfl 1 | A36 | 248.2 | 13.5 | LE1 | 365.2 | 70.8 | **Incorrecto!** |
| B-w 1 | A36 | 248.2 | 8.6 | LE1 | 266.0 | 21.3 | **Incorrecto!** |
| FP1 | A36 | 248.2 | 10.0 | LE1 | 225.8 | 1.2 | Aceptar |
| FP2 | A572 Gr.50 | 344.7 | 15.0 | LE1 | 315.3 | 2.5 | Aceptar |
| FP3 | A572 Gr.50 | 344.7 | 15.0 | LE1 | 315.9 | 2.8 | Aceptar |
| STIFF1a | A572 Gr.55 | 379.2 | 15.0 | LE1 | 205.6 | 0.0 | Aceptar |
| STIFF1b | A572 Gr.55 | 379.2 | 15.0 | LE1 | 205.9 | 0.0 | Aceptar |
| RIGIDIZAR2a | A572 Gr.55 | 379.2 | 15.0 | LE1 | 210.8 | 0.0 | Aceptar |
| RIGIDIZAR2b | A572 Gr.55 | 379.2 | 15.0 | LE1 | 208.8 | 0.0 | Aceptar |

### Datos de diseño

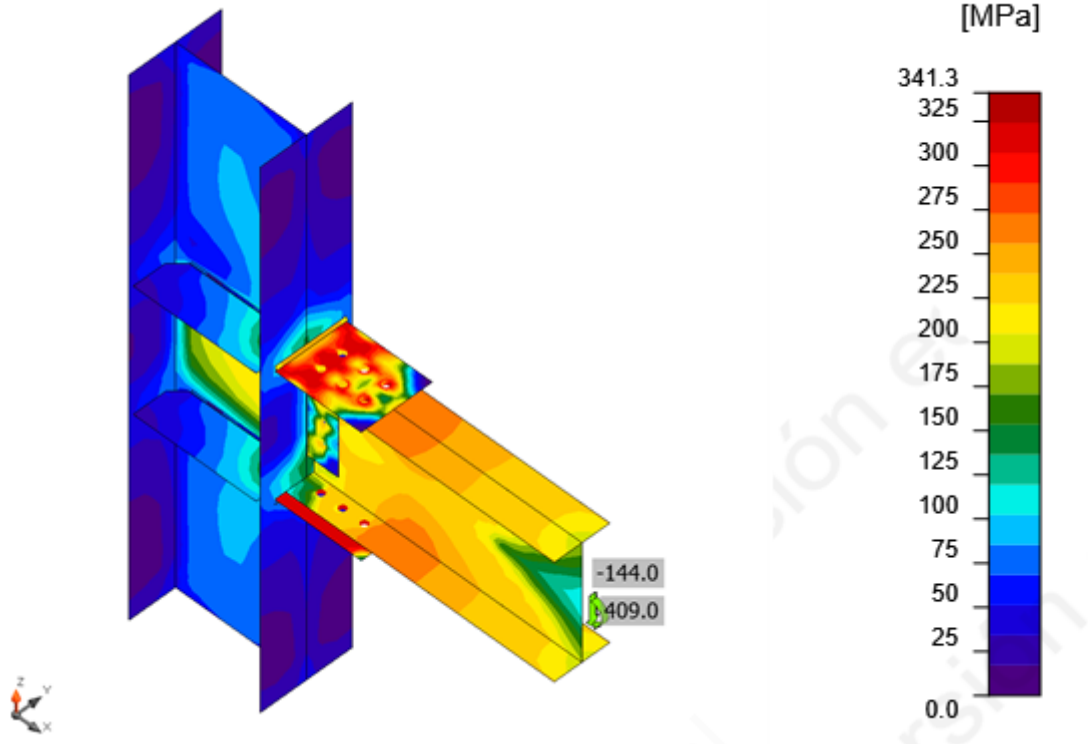
| Material | fy [MPa] | $\varepsilon_{lim}$ [%] |
|---|---|---|
| A572 Gr.50 | 344.7 | 5.0 |
| A36 | 248.2 | 5.0 |
| A572 Gr.55 | 379.2 | 5.0 |



*Verificación general, LE1*

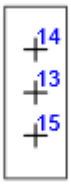
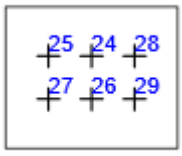
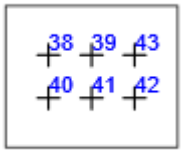



*Verificación de deformación, LE1*




*Tensión equivalente, LE1*

## Tornillos

| Forma | Ítem | Calidad | Cargas | $F_t$ [kN] | V [kN] | $\phi R_{n,portante}$ [kN] | $Ut_t$ [%] | $Ut_s$ [%] | $Ut_{ts}$ [%] | Estado |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
|  | B13 | 3/4 A325 - 1 | LE1 | 4.4 | 80.1 | 118.0 | 3.3 | 100.8 | - | Incorrecto! |
| | B14 | 3/4 A325 - 1 | LE1 | 14.8 | 81.1 | 107.5 | 11.1 | 102.0 | - | Incorrecto! |
| | B15 | 3/4 A325 - 1 | LE1 | 3.9 | 81.1 | 118.0 | 3.0 | 102.0 | - | Incorrecto! |
|  | B24 | 7/8 A490 - 2 | LE1 | 3.8 | 143.8 | 216.1 | 1.7 | 105.4 | - | Incorrecto! |
| | B25 | 7/8 A490 - 2 | LE1 | 1.2 | 143.8 | 216.1 | 0.5 | 105.4 | - | Incorrecto! |
| | B26 | 7/8 A490 - 2 | LE1 | 3.8 | 143.8 | 216.1 | 1.7 | 105.4 | - | Incorrecto! |
| | B27 | 7/8 A490 - 2 | LE1 | 1.2 | 143.8 | 216.1 | 0.5 | 105.4 | - | Incorrecto! |
| | B28 | 7/8 A490 - 2 | LE1 | 41.0 | 143.9 | 216.1 | 18.1 | 105.4 | - | Incorrecto! |
| | B29 | 7/8 A490 - 2 | LE1 | 41.0 | 143.9 | 216.1 | 18.1 | 105.4 | - | Incorrecto! |
|  | B38 | 7/8 A490 - 2 | LE1 | 23.7 | 144.4 | 216.1 | 10.4 | 105.8 | - | Incorrecto! |
| | B39 | 7/8 A490 - 2 | LE1 | 5.1 | 144.4 | 216.1 | 2.3 | 105.8 | - | Incorrecto! |
| | B40 | 7/8 A490 - 2 | LE1 | 23.9 | 144.4 | 216.1 | 10.5 | 105.8 | - | Incorrecto! |
| | B41 | 7/8 A490 - 2 | LE1 | 5.2 | 144.4 | 216.1 | 2.3 | 105.8 | - | Incorrecto! |
| | B42 | 7/8 A490 - 2 | LE1 | 24.7 | 144.4 | 216.1 | 10.9 | 105.8 | - | Incorrecto! |
| | B43 | 7/8 A490 - 2 | LE1 | 24.6 | 144.4 | 216.1 | 10.9 | 105.8 | - | Incorrecto! |

**Datos de diseño**

| Calidad | $\phi R_{n,tracción}$ [kN] | $\phi R_{n,cortante}$ [kN] |
|---|---|---|
| 3/4 A325 - 1 | 132.5 | 79.5 |
| 7/8 A490 - 2 | 227.0 | 136.5 |

**Resultado detallado para B13**

**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b = \quad 132.5 \quad \text{kN} \quad \geq \quad F_t = \quad 4.4 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$F_{nt} = 620.0$ MPa – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2

$A_b = 285$ mm$^2$ – Área bruta del tornillo

$\phi = 0.75$ – factor de capacidad

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b = \quad 79.5 \quad \text{kN} \quad < \quad V = \quad 80.1 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$F_{nv} = 372.0$ MPa – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2

$A_b = 285$ mm$^2$ – Área bruta del tornillo

$\phi = 0.75$ – factor de capacidad

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \quad \leq \quad 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$

$\phi R_n = \quad 118.0 \quad \text{kN} \quad \geq \quad V = \quad 80.1 \quad \text{kN}$

*Donde:*

| | |
|---|---|
| $l_c = 49$ mm | – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material |
| $t = 9$ mm | – espesor de la placa |
| $d = 19$ mm | – dimámetro del tornillo |
| $F_u = 400.0$ MPa | – resistencia a tracción del material conectado |
| $\phi = 0.75$ | – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos |

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-2)

*La tensión requerida, a cortante o en tracción, es menor o igual al 30% de la resistencia y los efectos de las tensiones combinadas no necesitan ser evaluadas.*

**Resultado detallado para B14**

**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b = \quad 132.5 \quad \text{kN} \quad \geq \quad F_t = \quad 14.8 \quad \text{kN}$

*Donde:*

| | |
|---|---|
| $F_{nt} = 620.0$ MPa | – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2 |
| $A_b = 285$ mm$^2$ | – Área bruta del tornillo |
| $\phi = 0.75$ | – factor de capacidad |

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b = \quad 79.5 \quad \text{kN} \quad < \quad V = \quad 81.1 \quad \text{kN}$

*Donde:*

| | |
|---|---|
| $F_{nv} = 372.0$ MPa | – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2 |
| $A_b = 285$ mm$^2$ | – Área bruta del tornillo |
| $\phi = 0.75$ | – factor de capacidad |

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \quad \leq \quad 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$

$\phi R_n = \quad 107.5 \quad \text{kN} \quad \geq \quad V = \quad 81.1 \quad \text{kN}$

*Donde:*

| | |
|---|---|
| $l_c = 35$ mm | – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material |
| $t = 9$ mm | – espesor de la placa |
| $d = 19$ mm | – dimámetro del tornillo |
| $F_u = 400.0$ MPa | – resistencia a tracción del material conectado |
| $\phi = 0.75$ | – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos |

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-2)

*La tensión requerida, a cortante o en tracción, es menor o igual al 30% de la resistencia y los efectos de las tensiones combinadas no necesitan ser evaluadas.*

**Resultado detallado para B15**

**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b =$ 132.5 kN ≥ $F_t =$ 3.9 kN

*Donde:*

$F_{nt} =$ 620.0 MPa – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2

$A_b =$ 285 mm$^2$ – Área bruta del tornillo

$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b =$ 79.5 kN < $V =$ 81.1 kN

*Donde:*

$F_{nv} =$ 372.0 MPa – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2

$A_b =$ 285 mm$^2$ – Área bruta del tornillo

$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \leq 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$

$\phi R_n =$ 118.0 kN ≥ $V =$ 81.1 kN

*Donde:*

$l_c =$ 563 mm – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material

$t =$ 9 mm – espesor de la placa

$d =$ 19 mm – dimámetro del tornillo

$F_u =$ 400.0 MPa – resistencia a tracción del material conectado

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-2)

*La tensión requerida, a cortante o en tracción, es menor o igual al 30% de la resistencia y los efectos de las tensiones combinadas no necesitan ser evaluadas.*

**Resultado detallado para B24**

**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b = \quad 227.0 \quad \text{kN} \quad \geq \quad F_t = \quad 3.8 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$F_{nt} =$ 780.0 MPa – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2

$A_b =$ 388 mm$^2$ – Área bruta del tornillo

$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b = \quad 136.5 \quad \text{kN} \quad < \quad V = \quad 143.8 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$F_{nv} =$ 469.0 MPa – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2

$A_b =$ 388 mm$^2$ – Área bruta del tornillo

$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \quad \leq \quad 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$$

$$\phi R_n = \quad 216.1 \quad \text{kN} \quad \geq \quad V = \quad 143.8 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$l_c =$ 46 mm – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material

$t =$ 14 mm – espesor de la placa

$d =$ 22 mm – dimámetro del tornillo

$F_u =$ 400.0 MPa – resistencia a tracción del material conectado

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-2)

*La tensión requerida, a cortante o en tracción, es menor o igual al 30% de la resistencia y los efectos de las tensiones combinadas no necesitan ser evaluadas.*

**Resultado detallado para B25**

**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b = \quad 227.0 \quad \text{kN} \quad \geq \quad F_t = \quad 1.2 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$F_{nt} =$ 780.0 MPa – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2

$A_b =$ 388 mm$^2$ – Área bruta del tornillo

$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b =$ 136.5 kN < $V =$ 143.8 kN

*Donde:*

$F_{nv} =$ 469.0 MPa – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2
$A_b =$ 388 mm$^2$ – Área bruta del tornillo
$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \leq 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$

$\phi R_n =$ 216.1 kN ≥ $V =$ 143.8 kN

*Donde:*

$l_c =$ 46 mm – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material
$t =$ 14 mm – espesor de la placa
$d =$ 22 mm – dimámetro del tornillo
$F_u =$ 400.0 MPa – resistencia a tracción del material conectado
$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-2)
*La tensión requerida, a cortante o en tracción, es menor o igual al 30% de la resistencia y los efectos de las tensiones combinadas no necesitan ser evaluadas.*

**Resultado detallado para B26**
**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b =$ 227.0 kN ≥ $F_t =$ 3.8 kN

*Donde:*

$F_{nt} =$ 780.0 MPa – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2
$A_b =$ 388 mm$^2$ – Área bruta del tornillo
$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b =$ 136.5 kN < $V =$ 143.8 kN

*Donde:*

$F_{nv} =$ 469.0 MPa – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2
$A_b =$ 388 mm$^2$ – Área bruta del tornillo
$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \leq 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$

$\phi R_n =$ 216.1 kN ≥ $V =$ 143.8 kN

*Donde:*

| | |
|---|---|
| $l_c = 46$ mm | – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material |
| $t = 14$ mm | – espesor de la placa |
| $d = 22$ mm | – dimámetro del tornillo |
| $F_u = 400.0$ MPa | – resistencia a tracción del material conectado |
| $\phi = 0.75$ | – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos |

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-2)

*La tensión requerida, a cortante o en tracción, es menor o igual al 30% de la resistencia y los efectos de las tensiones combinadas no necesitan ser evaluadas.*

**Resultado detallado para B27**

**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b =$ 227.0 kN ≥ $F_t =$ 1.2 kN

*Donde:*

| | |
|---|---|
| $F_{nt} = 780.0$ MPa | – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2 |
| $A_b = 388$ mm$^2$ | – Área bruta del tornillo |
| $\phi = 0.75$ | – factor de capacidad |

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b =$ 136.5 kN < $V =$ 143.8 kN

*Donde:*

| | |
|---|---|
| $F_{nv} = 469.0$ MPa | – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2 |
| $A_b = 388$ mm$^2$ | – Área bruta del tornillo |
| $\phi = 0.75$ | – factor de capacidad |

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \leq 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$

$\phi R_n =$ 216.1 kN ≥ $V =$ 143.8 kN

*Donde:*

| | |
|---|---|
| $l_c = 46$ mm | – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material |
| $t = 14$ mm | – espesor de la placa |
| $d = 22$ mm | – dimámetro del tornillo |
| $F_u = 400.0$ MPa | – resistencia a tracción del material conectado |
| $\phi = 0.75$ | – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos |

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-2)

*La tensión requerida, a cortante o en tracción, es menor o igual al 30% de la resistencia y los efectos de las tensiones combinadas no*

*necesitan ser evaluadas.*

**Resultado detallado para B28**

**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b =$ 227.0 kN ≥ $F_t =$ 41.0 kN

*Donde:*

$F_{nt} =$ 780.0 MPa – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2
$A_b =$ 388 mm$^2$ – Área bruta del tornillo
$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b =$ 136.5 kN < $V =$ 143.9 kN

*Donde:*

$F_{nv} =$ 469.0 MPa – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2
$A_b =$ 388 mm$^2$ – Área bruta del tornillo
$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \leq 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$

$\phi R_n =$ 216.1 kN ≥ $V =$ 143.9 kN

*Donde:*

$l_c =$ 46 mm – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material
$t =$ 14 mm – espesor de la placa
$d =$ 22 mm – dimámetro del tornillo
$F_u =$ 400.0 MPa – resistencia a tracción del material conectado
$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-2)

*La tensión requerida, a cortante o en tracción, es menor o igual al 30% de la resistencia y los efectos de las tensiones combinadas no necesitan ser evaluadas.*

**Resultado detallado para B29**

**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b = \quad 227.0 \quad \text{kN} \quad \geq \quad F_t = \quad 41.0 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$F_{nt} =$ 780.0 MPa – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2

$A_b =$ 388 mm$^2$ – Área bruta del tornillo

$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b = \quad 136.5 \quad \text{kN} \quad < \quad V = \quad 143.9 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$F_{nv} =$ 469.0 MPa – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2

$A_b =$ 388 mm$^2$ – Área bruta del tornillo

$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \quad \leq \quad 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$$

$$\phi R_n = \quad 216.1 \quad \text{kN} \quad \geq \quad V = \quad 143.9 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$l_c =$ 46 mm – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material

$t =$ 14 mm – espesor de la placa

$d =$ 22 mm – dimámetro del tornillo

$F_u =$ 400.0 MPa – resistencia a tracción del material conectado

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-2)

*La tensión requerida, a cortante o en tracción, es menor o igual al 30% de la resistencia y los efectos de las tensiones combinadas no necesitan ser evaluadas.*

**Resultado detallado para B38**

**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b = \quad 227.0 \quad \text{kN} \quad \geq \quad F_t = \quad 23.7 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$F_{nt} =$ 780.0 MPa – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2

$A_b =$ 388 mm$^2$ – Área bruta del tornillo

$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b =$ 136.5 kN < $V =$ 144.4 kN

*Donde:*

$F_{nv} =$ 469.0 MPa – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2
$A_b =$ 388 mm$^2$ – Área bruta del tornillo
$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \leq 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$

$\phi R_n =$ 216.1 kN ≥ $V =$ 144.4 kN

*Donde:*

$l_c =$ 46 mm – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material
$t =$ 14 mm – espesor de la placa
$d =$ 22 mm – dimámetro del tornillo
$F_u =$ 400.0 MPa – resistencia a tracción del material conectado
$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-2)
*La tensión requerida, a cortante o en tracción, es menor o igual al 30% de la resistencia y los efectos de las tensiones combinadas no necesitan ser evaluadas.*

**Resultado detallado para B39**
**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b =$ 227.0 kN ≥ $F_t =$ 5.1 kN

*Donde:*

$F_{nt} =$ 780.0 MPa – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2
$A_b =$ 388 mm$^2$ – Área bruta del tornillo
$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b =$ 136.5 kN < $V =$ 144.4 kN

*Donde:*

$F_{nv} =$ 469.0 MPa – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2
$A_b =$ 388 mm$^2$ – Área bruta del tornillo
$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \leq 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$

$\phi R_n =$ 216.1 kN ≥ $V =$ 144.4 kN

*Donde:*

| | |
|---|---|
| $l_c = 46$ mm | – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material |
| $t = 14$ mm | – espesor de la placa |
| $d = 22$ mm | – dimámetro del tornillo |
| $F_u = 400.0$ MPa | – resistencia a tracción del material conectado |
| $\phi = 0.75$ | – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos |

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-2)

*La tensión requerida, a cortante o en tracción, es menor o igual al 30% de la resistencia y los efectos de las tensiones combinadas no necesitan ser evaluadas.*

**Resultado detallado para B40**

**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b =$ 227.0 kN ≥ $F_t =$ 23.9 kN

*Donde:*

| | |
|---|---|
| $F_{nt} = 780.0$ MPa | – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2 |
| $A_b = 388$ mm$^2$ | – Área bruta del tornillo |
| $\phi = 0.75$ | – factor de capacidad |

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b =$ 136.5 kN < $V =$ 144.4 kN

*Donde:*

| | |
|---|---|
| $F_{nv} = 469.0$ MPa | – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2 |
| $A_b = 388$ mm$^2$ | – Área bruta del tornillo |
| $\phi = 0.75$ | – factor de capacidad |

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \leq 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$

$\phi R_n =$ 216.1 kN ≥ $V =$ 144.4 kN

*Donde:*

| | |
|---|---|
| $l_c = 46$ mm | – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material |
| $t = 14$ mm | – espesor de la placa |
| $d = 22$ mm | – dimámetro del tornillo |
| $F_u = 400.0$ MPa | – resistencia a tracción del material conectado |
| $\phi = 0.75$ | – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos |

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-2)

*La tensión requerida, a cortante o en tracción, es menor o igual al 30% de la resistencia y los efectos de las tensiones combinadas no*

*necesitan ser evaluadas.*

**Resultado detallado para B41**

**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b =$ 227.0 kN ≥ $F_t =$ 5.2 kN

*Donde:*

$F_{nt} =$ 780.0 MPa – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2
$A_b =$ 388 mm$^2$ – Área bruta del tornillo
$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b =$ 136.5 kN < $V =$ 144.4 kN

*Donde:*

$F_{nv} =$ 469.0 MPa – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2
$A_b =$ 388 mm$^2$ – Área bruta del tornillo
$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \leq 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$

$\phi R_n =$ 216.1 kN ≥ $V =$ 144.4 kN

*Donde:*

$l_c =$ 46 mm – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material
$t =$ 14 mm – espesor de la placa
$d =$ 22 mm – dimámetro del tornillo
$F_u =$ 400.0 MPa – resistencia a tracción del material conectado
$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-2)

*La tensión requerida, a cortante o en tracción, es menor o igual al 30% de la resistencia y los efectos de las tensiones combinadas no necesitan ser evaluadas.*

**Resultado detallado para B42**

**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b = \quad 227.0 \quad \text{kN} \quad \geq \quad F_t = \quad 24.7 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$F_{nt} =$ 780.0 MPa – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2

$A_b =$ 388 mm$^2$ – Área bruta del tornillo

$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b = \quad 136.5 \quad \text{kN} \quad < \quad V = \quad 144.4 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$F_{nv} =$ 469.0 MPa – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2

$A_b =$ 388 mm$^2$ – Área bruta del tornillo

$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \quad \leq \quad 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$$

$$\phi R_n = \quad 216.1 \quad \text{kN} \quad \geq \quad V = \quad 144.4 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$l_c =$ 46 mm – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material

$t =$ 14 mm – espesor de la placa

$d =$ 22 mm – dimámetro del tornillo

$F_u =$ 400.0 MPa – resistencia a tracción del material conectado

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-2)

*La tensión requerida, a cortante o en tracción, es menor o igual al 30% de la resistencia y los efectos de las tensiones combinadas no necesitan ser evaluadas.*

**Resultado detallado para B43**

**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b = \quad 227.0 \quad \text{kN} \quad \geq \quad F_t = \quad 24.6 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$F_{nt} =$ 780.0 MPa – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2

$A_b =$ 388 mm$^2$ – Área bruta del tornillo

$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b =$ 136.5 kN < $V =$ 144.4 kN

*Donde:*

$F_{nv} =$ 469.0 MPa – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2
$A_b =$ 388 mm$^2$ – Área bruta del tornillo
$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \leq 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$

$\phi R_n =$ 216.1 kN ≥ $V =$ 144.4 kN

*Donde:*

$l_c =$ 46 mm – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material
$t =$ 14 mm – espesor de la placa
$d =$ 22 mm – dimámetro del tornillo
$F_u =$ 400.0 MPa – resistencia a tracción del material conectado
$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-2)
*La tensión requerida, a cortante o en tracción, es menor o igual al 30% de la resistencia y los efectos de las tensiones combinadas no necesitan ser evaluadas.*

## Soldaduras

| Ítem | Borde | Xu | $T_h$ [mm] | $L_s$ [mm] | L [mm] | $L_c$ [mm] | $F_n$ [kN] | $\phi R_n$ [kN] | Ut [%] | Estado |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| C-bfl 1 | FP1 | E70xx | - | - | 280 | - | - | - | - | Aceptar |
| C-bfl 1 | FP2 | E70xx | ◢10.6 | ◢15.0 | 229 | 18 | 67.9 | 60.8 | 111.7 | **Incorrecto!** |
| C-bfl 1 | FP3 | E70xx | ◢10.6 | ◢15.0 | 229 | 18 | 68.4 | 60.8 | 112.6 | **Incorrecto!** |
| C-w 1 | STIFF1b | E70xx | ◢5.7◣ | ◢8.0◣ | 300 | 50 | 26.2 | 69.3 | 37.9 | Aceptar |
| | | E70xx | ◢5.7◣ | ◢8.0◣ | 300 | 50 | 25.4 | 65.3 | 38.8 | Aceptar |
| C-tfl 1 | STIFF1b | E70xx | - | - | 105 | - | - | - | - | Aceptar |
| C-bfl 1 | STIFF1b | E70xx | - | - | 105 | - | - | - | - | Aceptar |
| C-w 1 | STIFF1a | E70xx | ◢5.7◣ | ◢8.0◣ | 300 | 50 | 24.9 | 65.4 | 38.1 | Aceptar |
| | | E70xx | ◢5.7◣ | ◢8.0◣ | 300 | 50 | 25.8 | 69.6 | 37.1 | Aceptar |
| C-bfl 1 | STIFF1a | E70xx | - | - | 105 | - | - | - | - | Aceptar |
| C-tfl 1 | STIFF1a | E70xx | - | - | 105 | - | - | - | - | Aceptar |
| C-w 1 | RIGIDIZAR2b | E70xx | ◢5.7◣ | ◢8.0◣ | 304 | 51 | 25.5 | 66.3 | 38.4 | Aceptar |
| | | E70xx | ◢5.7◣ | ◢8.0◣ | 304 | 51 | 26.7 | 70.8 | 37.7 | Aceptar |
| C-tfl 1 | RIGIDIZAR2b | E70xx | - | - | 105 | - | - | - | - | Aceptar |
| C-bfl 1 | RIGIDIZAR2b | E70xx | - | - | 105 | - | - | - | - | Aceptar |
| C-w 1 | RIGIDIZAR2a | E70xx | ◢5.7◣ | ◢8.0◣ | 322 | 54 | 25.2 | 74.9 | 33.7 | Aceptar |
| | | E70xx | ◢5.7◣ | ◢8.0◣ | 322 | 54 | 23.8 | 69.5 | 34.3 | Aceptar |
| C-tfl 1 | RIGIDIZAR2a | E70xx | - | - | 105 | - | - | - | - | Aceptar |
| C-bfl 1 | RIGIDIZAR2a | E70xx | - | - | 105 | - | - | - | - | Aceptar |

**Resultado detallado para C-bfl 1 / FP1 - 1**

*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

**Resultado detallado para C-bfl 1 / FP2 - 1**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} = \quad 60.8 \quad \text{kN} \quad < \quad F_n = \quad 67.9 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$F_{nw} =$ 434.4 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 89.3° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 187 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-bfl 1 / FP3 - 1**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 60.8 kN < $F_n =$ 68.4 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 434.4 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 90.0° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 187 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-w 1 / STIFF1b - 1**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 69.3 kN ≥ $F_n =$ 26.2 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 326.8 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 23.9° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 283 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-w 1 / STIFF1b - 2**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 65.3 kN ≥ $F_n =$ 25.4 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 308.2 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 14.8° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 283 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-tfl 1 / STIFF1b - 1**

*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

**Resultado detallado para C-bfl 1 / STIFF1b - 1**

*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

**Resultado detallado para C-w 1 / STIFF1a - 1**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 65.4 kN ≥ $F_n =$ 24.9 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 308.6 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 15.0° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 283 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-w 1 / STIFF1a - 2**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 69.6 kN ≥ $F_n =$ 25.8 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 328.4 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 24.6° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 283 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-bfl 1 / STIFF1a - 1**

*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

**Resultado detallado para C-tfl 1 / STIFF1a - 1**

*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

**Resultado detallado para C-w 1 / RIGIDIZAR2b - 1**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 66.3 kN ≥ $F_n =$ 25.5 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 308.9 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 15.2° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 286 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-w 1 / RIGIDIZAR2b - 2**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 70.8 kN ≥ $F_n =$ 26.7 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 329.5 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 25.1° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 286 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-tfl 1 / RIGIDIZAR2b - 1**

*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

**Resultado detallado para C-bfl 1 / RIGIDIZAR2b - 1**

*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

**Resultado detallado para C-w 1 / RIGIDIZAR2a - 1**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 74.9 kN ≥ $F_n =$ 25.2 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 329.2 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 24.9° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 303 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-w 1 / RIGIDIZAR2a - 2**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 69.5 kN ≥ $F_n =$ 23.8 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 305.7 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 13.4° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 303 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-tfl 1 / RIGIDIZAR2a - 1**

*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

**Resultado detallado para C-bfl 1 / RIGIDIZAR2a - 1**

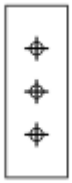
*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

## Pandeo

**El análisis de pandeo no se ha calculado.**

# Listado de material

## Operaciones

| Nombre | Placas [mm] | Forma | Nr. | Soldaduras [mm] | Longitud [mm] | Tornillos | Nr. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| FP1 | P10.0x100.0-280.0 (A36) |  | 1 | Bisel: a = 10.0 | 280.0 | 3/4 A325 | 3 |
| FP2 | P15.0x280.0-230.0 (A572 Gr.50) | | 1 | tendón de soldadura simple: a = 10.6 | 230.0 | 7/8 A490 | 6 |
| FP3 | P15.0x280.0-230.0 (A572 Gr.50) | | 1 | tendón de soldadura simple: a = 10.6 | 230.0 | 7/8 A490 | 6 |
| STIFF1 | P15.0x143.0-398.0 (A572 Gr.55) | | 2 | | | | |
| RIGIDIZAR2 | P15.0x143.0-398.0 (A572 Gr.55) | | 2 | | | | |

## Soldaduras

| Tipo | Material | Espesor de garganta [mm] | Tamaño de pierna [mm] | Longitud [mm] |
|---|---|---|---|---|
| Bisel | E70xx | - | - | 280.0 |
| tendón de soldadura simple | E70xx | 10.6 | 15.0 | 460.0 |
| Doble tendón de soldadura | E70xx | 5.7 | 8.0 | 904.0 |
| Bisel | E70xx | - | - | 840.0 |
| Doble tendón de soldadura | E70xx | 5.7 | 8.0 | 322.0 |

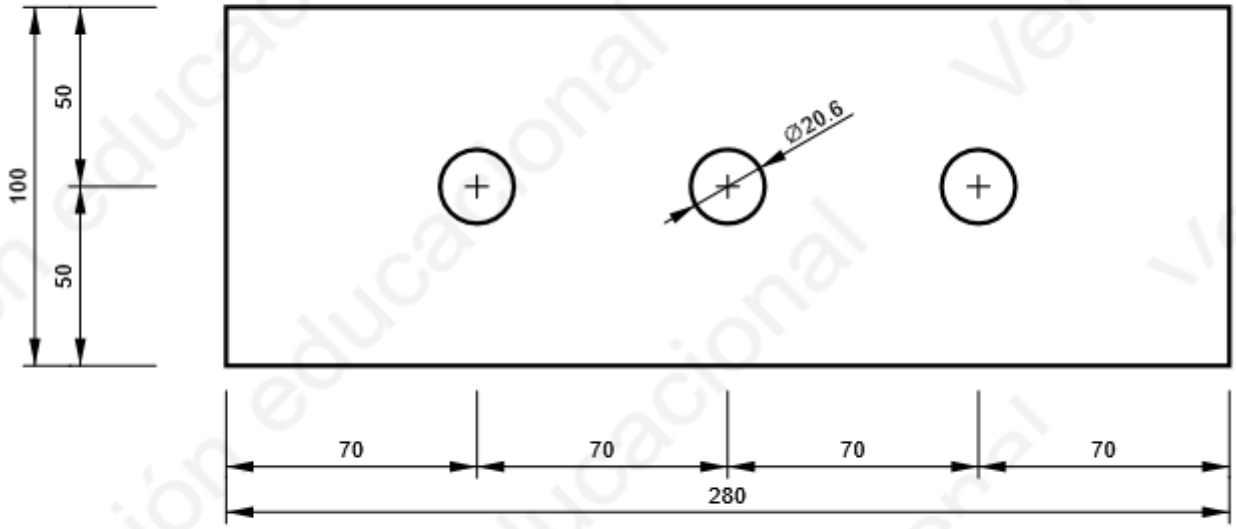
## Tornillos

| Nombre | Longitud de agarre [mm] | Cuenta |
|---|---|---|
| 3/4 A325 | 19 | 3 |
| 7/8 A490 | 29 | 12 |

## Dibujo

### FP1

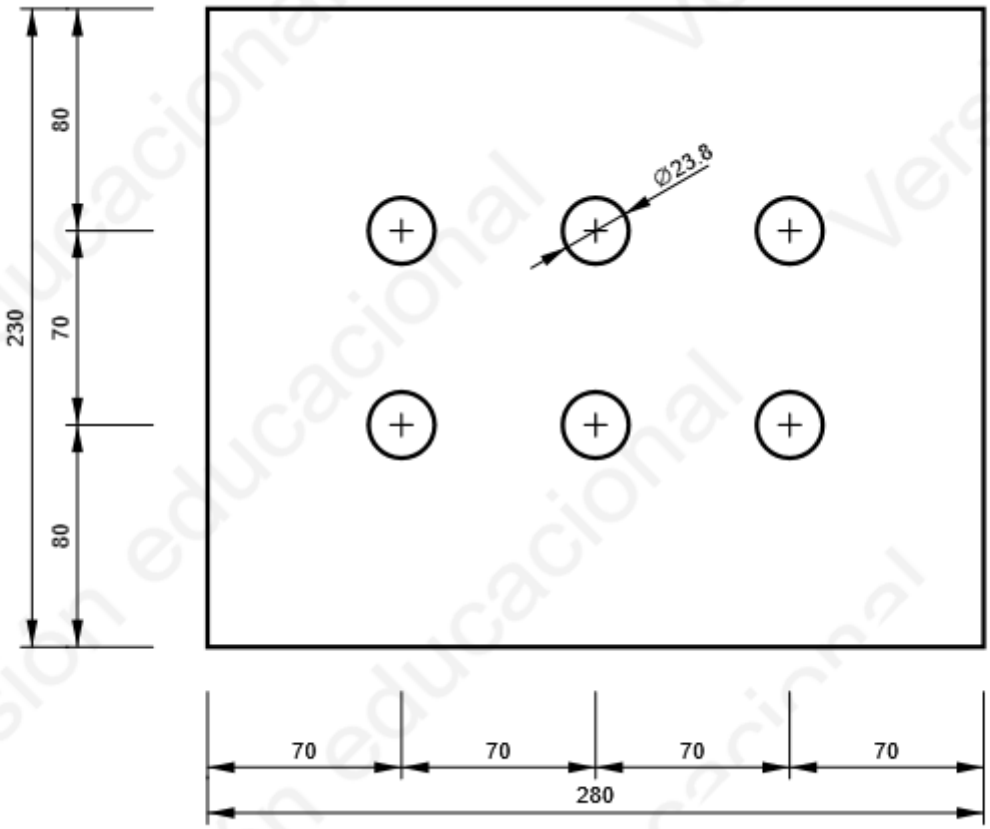
**P10.0x280-100 (A36)**




Versión educacional

## FP2

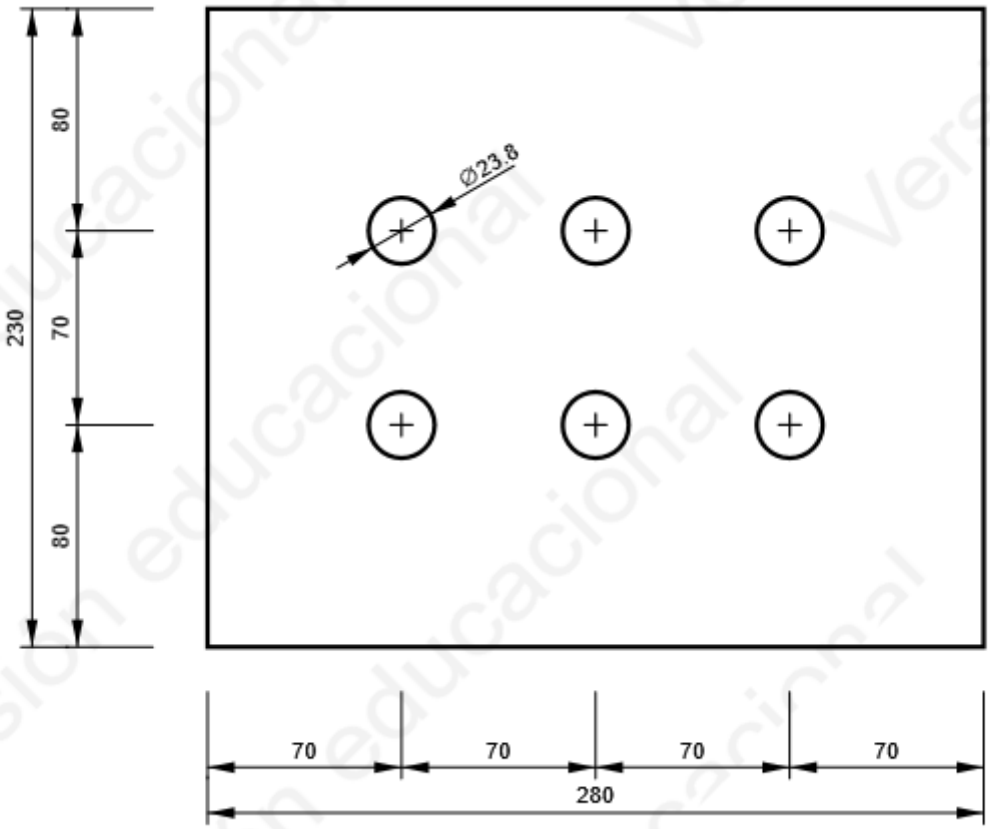
**P15.0x230-280 (A572 Gr.50)**




Versión educacional

## FP3

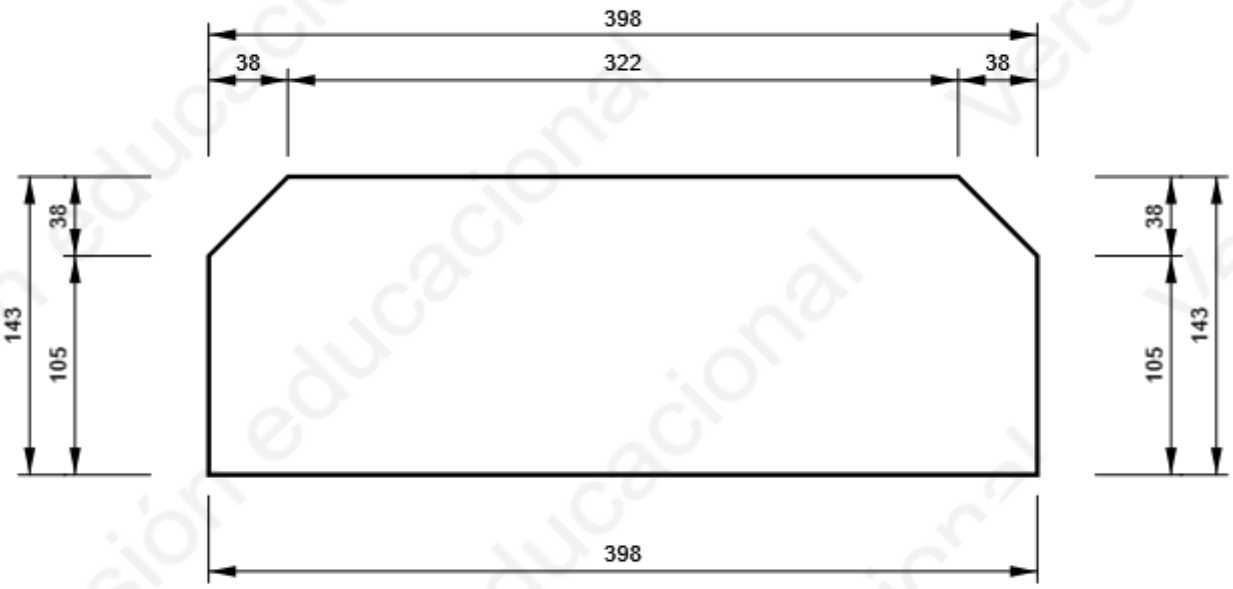
**P15.0x230-280 (A572 Gr.50)**




Versión educacional

## STIFF1

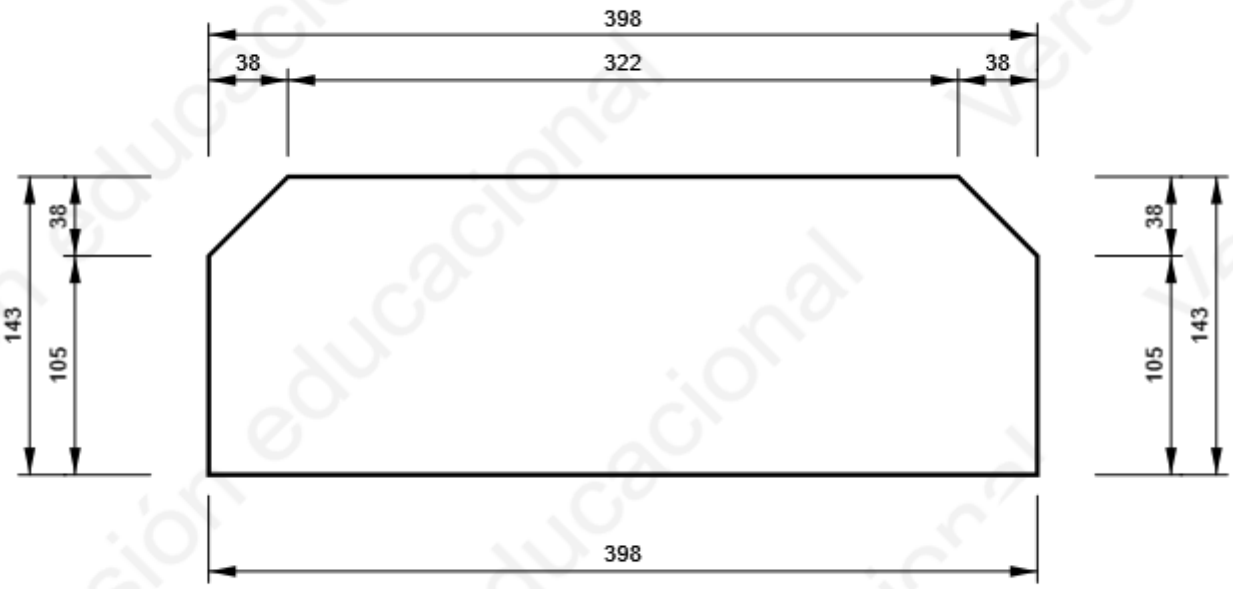
**P15.0x398-143 (A572 Gr.55)**




Versión educacional

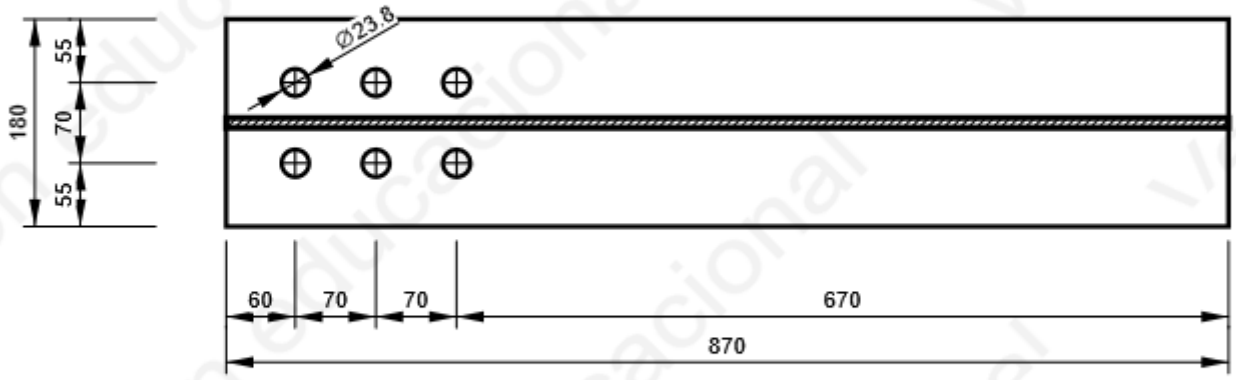
## RIGIDIZAR2

**P15.0x398-143 (A572 Gr.55)**



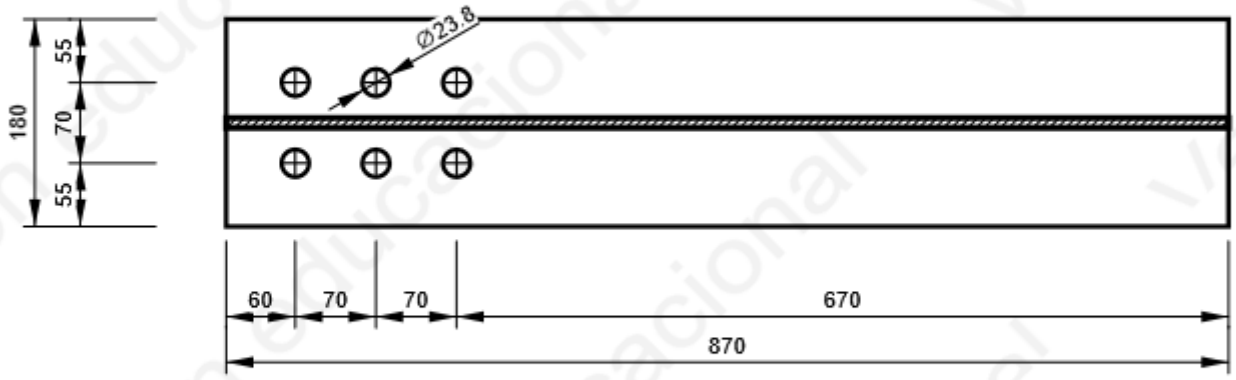

Versión educacional

## B, IPE400 - Ala inferior 1:



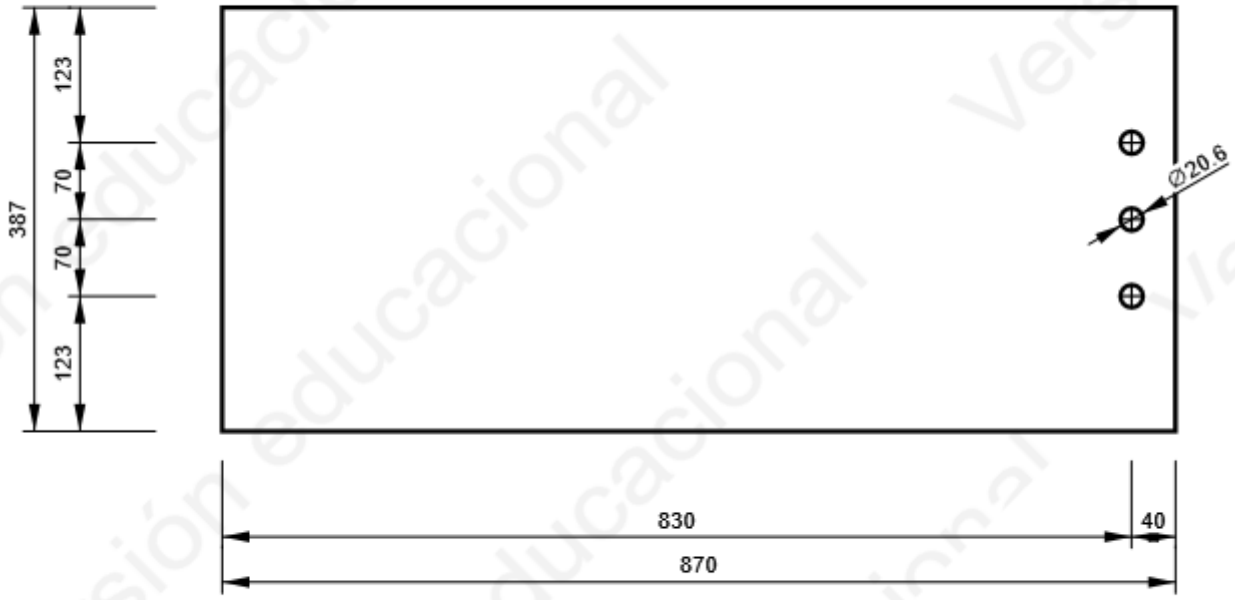

Versión educacional

## B, IPE400 - Ala superior 1:




Versión educacional

## B, IPE400 - Alma 1:



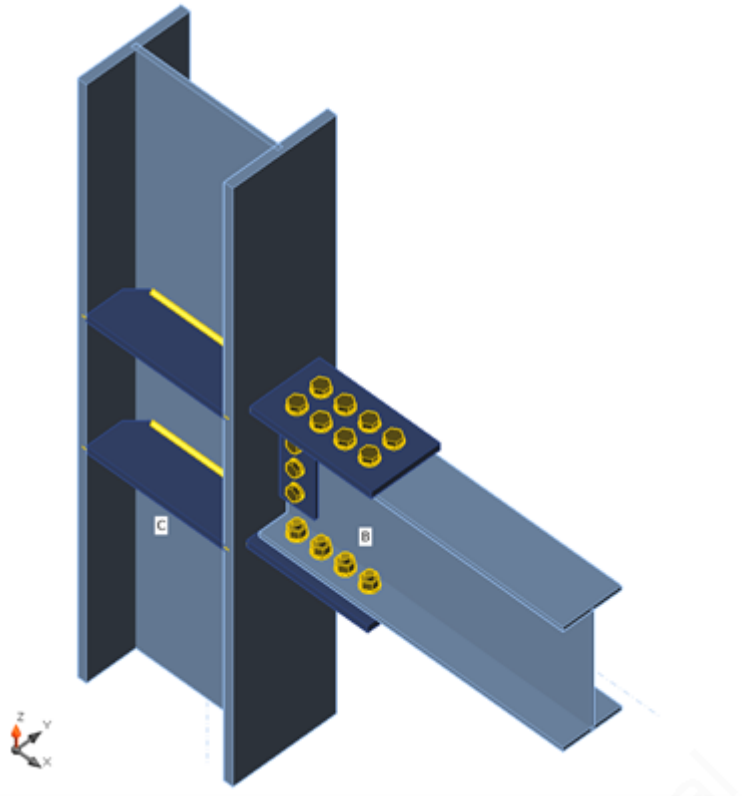
# Ítem del proyecto BFP-360-1

## Diseño

| | |
|---|---|
| Nombre | BFP-360-1 |
| Descripción | Conexion H450-I360 |
| Análisis | Tensión, deformación/ Carga simplificada |
| Normativa de cálculo | AISC - LRFD |

### Elementos estructurales

| Nombre | Sección transversal | β – Dirección [°] | γ - Inclinación [°] | α - Rotación [°] | Desplazamiento ex [mm] | Desplazamiento ey [mm] | Desplazamiento ez [mm] | Fuerzas en |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| C | 7 - HEB450 | 0.0 | -90.0 | 0.0 | 0 | 0 | 0 | Nudo |
| B | 9 - IPE360 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0 | 0 | 0 | Nudo |

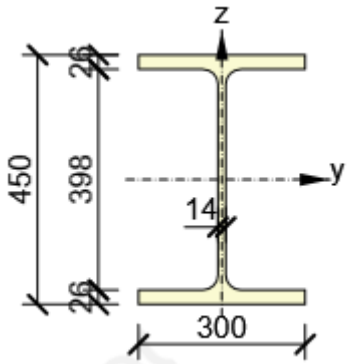
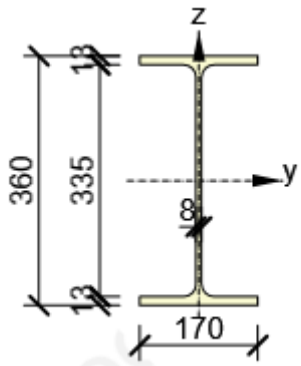



### Secciones

| Nombre | Material |
|---|---|
| 7 - HEB450 | A572 Gr.50 |
| 9 - IPE360 | A572 Gr.50 |

**Proyecto:** Conexiones SMF 4
**Proyecto nº:**
**Autor:** Tapia & Arbito

## Secciones

| Nombre | Material | Dibujo |
|---|---|---|
| 7 - HEB450 | A572 Gr.50 |   |
| 9 - IPE360 | A572 Gr.50 |   |

## Tornillos

| Nombre | Conjunto de tornillo | Diámetro [mm] | fu [MPa] | Área bruta [mm$^2$] |
|---|---|---|---|---|
| 7/8 A490 | 7/8 A490 | 22 | 1034.2 | 388 |
| 3/4 A325 | 3/4 A325 | 19 | 825.0 | 285 |

## Cargas (No se requiere el equilibro)

| Nombre | Elemento | N [kN] | Vy [kN] | Vz [kN] | Mx [kNm] | My [kNm] | Mz [kNm] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| LE1 | B | 0.0 | 0.0 | -104.0 | 0.0 | 312.0 | 0.0 |

# Verificación

## Resumen

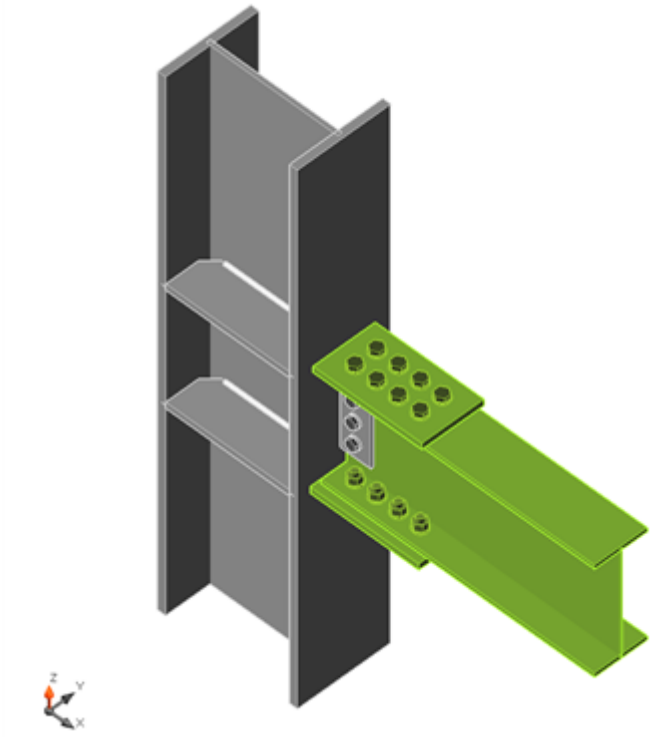
| Nombre | Valor | Estado de la verificación |
|---|---|---|
| Análisis | 100.0% | Aceptar |
| Placas | 1.4 < 5% | Aceptar |
| Tornillos | 71.3 < 100% | Aceptar |
| Soldaduras | 34.6 < 100% | Aceptar |
| Pandeo | No calculado | |

## Placas

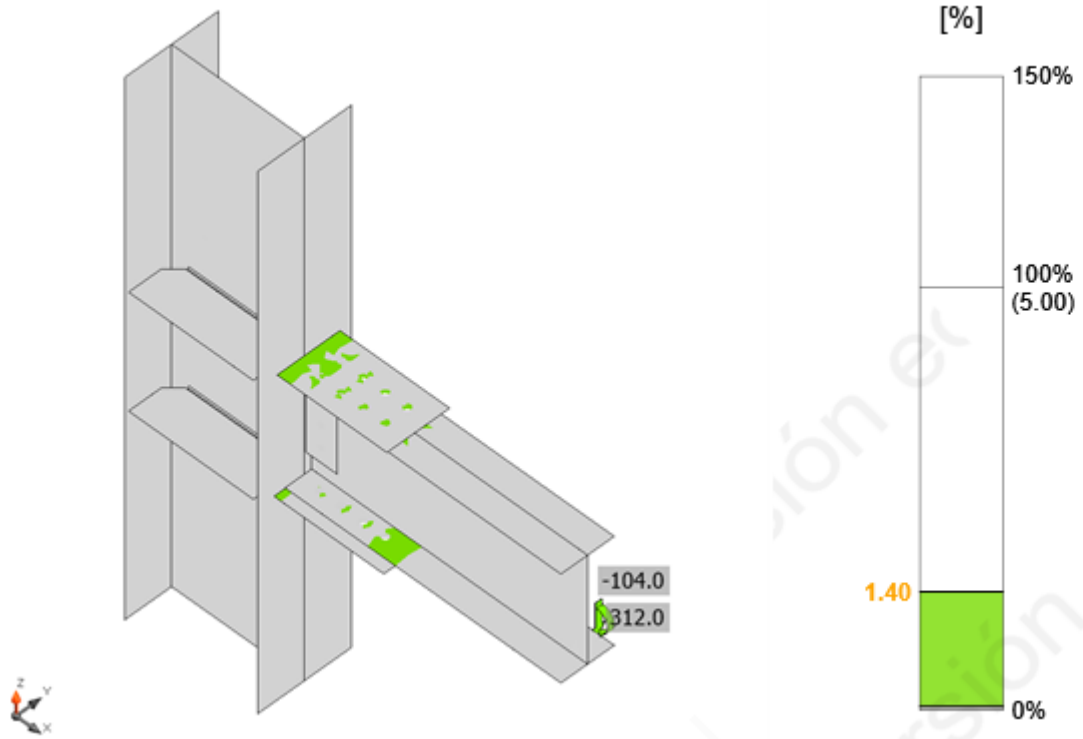
| Nombre | Material | $F_y$ [MPa] | Espesor [mm] | Cargas | $\sigma_{Ed}$ [MPa] | $\varepsilon_{Pl}$ [%] | Estado de la verificación |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| C-bfl 1 | A572 Gr.50 | 344.7 | 26.0 | LE1 | 128.8 | 0.0 | Aceptar |
| C-tfl 1 | A572 Gr.50 | 344.7 | 26.0 | LE1 | 68.1 | 0.0 | Aceptar |
| C-w 1 | A572 Gr.50 | 344.7 | 14.0 | LE1 | 173.4 | 0.0 | Aceptar |
| B-bfl 1 | A572 Gr.50 | 344.7 | 12.7 | LE1 | 310.9 | 0.3 | Aceptar |
| B-tfl 1 | A572 Gr.50 | 344.7 | 12.7 | LE1 | 313.1 | 1.4 | Aceptar |
| B-w 1 | A572 Gr.50 | 344.7 | 8.0 | LE1 | 310.5 | 0.1 | Aceptar |
| FP1 | A36 | 248.2 | 10.0 | LE1 | 111.1 | 0.0 | Aceptar |
| FP2 | A572 Gr.50 | 344.7 | 20.0 | LE1 | 310.6 | 0.2 | Aceptar |
| FP3 | A572 Gr.50 | 344.7 | 20.0 | LE1 | 310.5 | 0.1 | Aceptar |
| STIFF1a | A572 Gr.55 | 379.2 | 20.0 | LE1 | 165.2 | 0.0 | Aceptar |
| STIFF1b | A572 Gr.55 | 379.2 | 20.0 | LE1 | 164.8 | 0.0 | Aceptar |
| RIGIDIZAR2a | A572 Gr.55 | 379.2 | 20.0 | LE1 | 170.4 | 0.0 | Aceptar |
| RIGIDIZAR2b | A572 Gr.55 | 379.2 | 20.0 | LE1 | 169.3 | 0.0 | Aceptar |

**Datos de diseño**

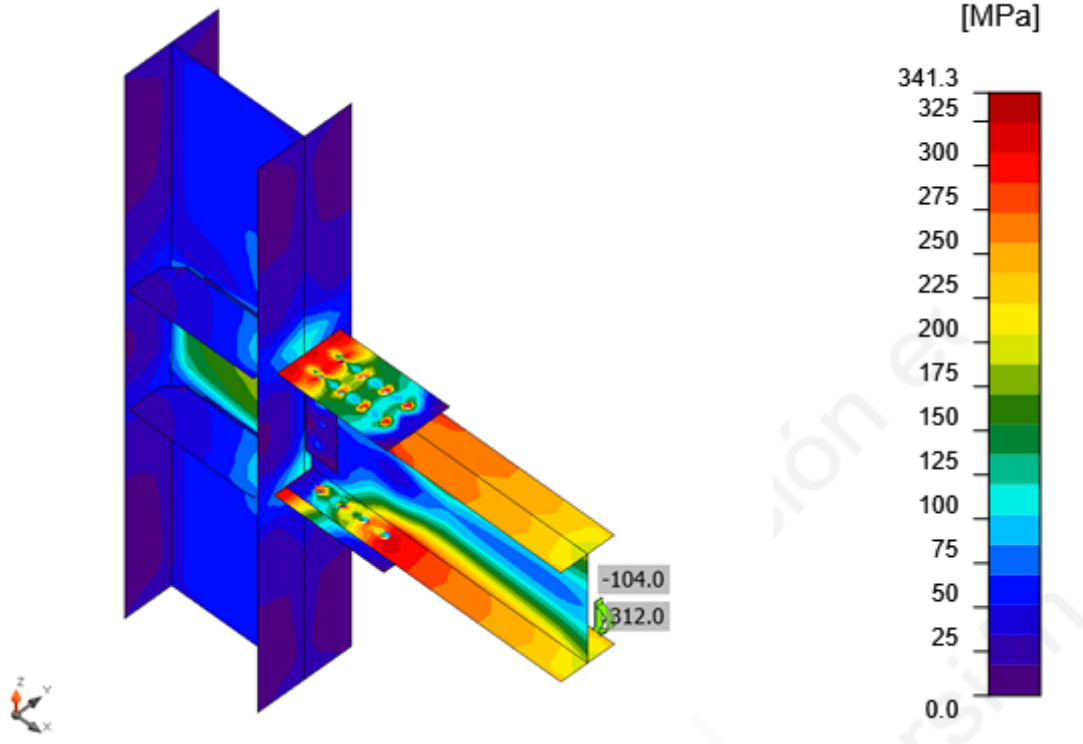
| Material | fy [MPa] | $\varepsilon_{lim}$ [%] |
|---|---|---|
| A572 Gr.50 | 344.7 | 5.0 |
| A36 | 248.2 | 5.0 |
| A572 Gr.55 | 379.2 | 5.0 |



*Verificación general, LE1*

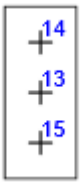
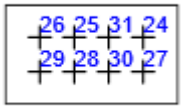
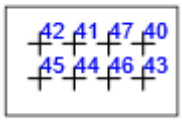



*Verificación de deformación, LE1*




*Tensión equivalente, LE1*

## Tornillos

| Forma | Ítem | Calidad | Cargas | $F_t$ [kN] | V [kN] | $\phi R_{n,portante}$ [kN] | $Ut_t$ [%] | $Ut_s$ [%] | $Ut_{ts}$ [%] | Estado |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
|  | B13 | 3/4 A325 - 1 | LE1 | 1.0 | 5.1 | 122.9 | 0.8 | 6.4 | - | Aceptar |
| | B14 | 3/4 A325 - 1 | LE1 | 3.3 | 23.9 | 98.2 | 2.5 | 30.0 | - | Aceptar |
| | B15 | 3/4 A325 - 1 | LE1 | 1.3 | 17.7 | 122.9 | 1.0 | 22.2 | - | Aceptar |
|  | B24 | 7/8 A490 - 2 | LE1 | 27.3 | 92.5 | 227.7 | 12.0 | 67.8 | - | Aceptar |
| | B25 | 7/8 A490 - 2 | LE1 | 6.6 | 89.9 | 227.7 | 2.9 | 65.9 | - | Aceptar |
| | B26 | 7/8 A490 - 2 | LE1 | 16.5 | 90.3 | 227.7 | 7.3 | 66.2 | - | Aceptar |
| | B27 | 7/8 A490 - 2 | LE1 | 27.3 | 92.5 | 227.7 | 12.0 | 67.8 | - | Aceptar |
| | B28 | 7/8 A490 - 2 | LE1 | 6.4 | 89.9 | 227.7 | 2.8 | 65.9 | - | Aceptar |
| | B29 | 7/8 A490 - 2 | LE1 | 16.4 | 90.2 | 227.7 | 7.2 | 66.1 | - | Aceptar |
| | B30 | 7/8 A490 - 2 | LE1 | 6.4 | 90.5 | 227.7 | 2.8 | 66.3 | - | Aceptar |
| | B31 | 7/8 A490 - 2 | LE1 | 6.4 | 90.5 | 227.7 | 2.8 | 66.3 | - | Aceptar |
|  | B40 | 7/8 A490 - 2 | LE1 | 10.0 | 97.2 | 227.7 | 4.4 | 71.3 | - | Aceptar |
| | B41 | 7/8 A490 - 2 | LE1 | 4.4 | 89.3 | 227.7 | 1.9 | 65.4 | - | Aceptar |
| | B42 | 7/8 A490 - 2 | LE1 | 2.4 | 89.7 | 227.7 | 1.0 | 65.7 | - | Aceptar |
| | B43 | 7/8 A490 - 2 | LE1 | 10.0 | 97.3 | 227.7 | 4.4 | 71.3 | - | Aceptar |
| | B44 | 7/8 A490 - 2 | LE1 | 4.5 | 89.3 | 227.7 | 2.0 | 65.4 | - | Aceptar |
| | B45 | 7/8 A490 - 2 | LE1 | 2.4 | 89.7 | 227.7 | 1.1 | 65.7 | - | Aceptar |
| | B46 | 7/8 A490 - 2 | LE1 | 3.4 | 91.6 | 227.7 | 1.5 | 67.1 | - | Aceptar |
| | B47 | 7/8 A490 - 2 | LE1 | 3.4 | 91.5 | 227.7 | 1.5 | 67.1 | - | Aceptar |

**Datos de diseño**

| Calidad | $\phi R_{n,tracción}$ [kN] | $\phi R_{n,cortante}$ [kN] |
|---|---|---|
| 3/4 A325 - 1 | 132.5 | 79.5 |
| 7/8 A490 - 2 | 227.0 | 136.5 |

**Resultado detallado para B13**

**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b = \quad 132.5 \quad \text{kN} \quad \geq \quad F_t = \quad 1.0 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$F_{nt}$ = 620.0 MPa – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2

$A_b$ = 285 mm$^2$ – Área bruta del tornillo

$\phi$ = 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b = \quad 79.5 \quad \text{kN} \quad \geq \quad V = \quad 5.1 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$F_{nv}$ = 372.0 MPa – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2

$A_b$ = 285 mm$^2$ – Área bruta del tornillo

$\phi = 0.75$ – factor de capacidad

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \quad \leq \quad 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$$

$$\phi R_n = \quad 122.9 \quad \text{kN} \quad \geq \quad V = \quad 5.1 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$l_c = 49$ mm – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material

$t = 8$ mm – espesor de la placa

$d = 19$ mm – dimámetro del tornillo

$F_u = 448.2$ MPa – resistencia a tracción del material conectado

$\phi = 0.75$ – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-2)

*La tensión requerida, a cortante o en tracción, es menor o igual al 30% de la resistencia y los efectos de las tensiones combinadas no necesitan ser evaluadas.*

**Resultado detallado para B14**

**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b = \quad 132.5 \quad \text{kN} \quad \geq \quad F_t = \quad 3.3 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$F_{nt} = 620.0$ MPa – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2

$A_b = 285$ mm$^2$ – Área bruta del tornillo

$\phi = 0.75$ – factor de capacidad

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b = \quad 79.5 \quad \text{kN} \quad \geq \quad V = \quad 23.9 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$F_{nv} = 372.0$ MPa – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2

$A_b = 285$ mm$^2$ – Área bruta del tornillo

$\phi = 0.75$ – factor de capacidad

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \quad \leq \quad 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$$

$$\phi R_n = \quad 98.2 \quad \text{kN} \quad \geq \quad V = \quad 23.9 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$l_c = 30$ mm – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material

$t = 8$ mm – espesor de la placa

$d = 19$ mm – dimámetro del tornillo

$F_u = 448.2$ MPa – resistencia a tracción del material conectado
$\phi = 0.75$ – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-2)
*La tensión requerida, a cortante o en tracción, es menor o igual al 30% de la resistencia y los efectos de las tensiones combinadas no necesitan ser evaluadas.*

**Resultado detallado para B15**
**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b =$ 132.5 kN ≥ $F_t =$ 1.3 kN

*Donde:*

$F_{nt} = 620.0$ MPa – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2
$A_b = 285$ mm$^2$ – Área bruta del tornillo
$\phi = 0.75$ – factor de capacidad

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b =$ 79.5 kN ≥ $V =$ 17.7 kN

*Donde:*

$F_{nv} = 372.0$ MPa – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2
$A_b = 285$ mm$^2$ – Área bruta del tornillo
$\phi = 0.75$ – factor de capacidad

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \leq 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$

$\phi R_n =$ 122.9 kN ≥ $V =$ 17.7 kN

*Donde:*

$l_c = 843$ mm – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material
$t = 8$ mm – espesor de la placa
$d = 19$ mm – dimámetro del tornillo
$F_u = 448.2$ MPa – resistencia a tracción del material conectado
$\phi = 0.75$ – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-2)
*La tensión requerida, a cortante o en tracción, es menor o igual al 30% de la resistencia y los efectos de las tensiones combinadas no necesitan ser evaluadas.*

**Resultado detallado para B24**

**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b = \quad 227.0 \quad \text{kN} \quad \geq \quad F_t = \quad 27.3 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$F_{nt} =$ 780.0 MPa – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2

$A_b =$ 388 mm$^2$ – Área bruta del tornillo

$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b = \quad 136.5 \quad \text{kN} \quad \geq \quad V = \quad 92.5 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$F_{nv} =$ 469.0 MPa – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2

$A_b =$ 388 mm$^2$ – Área bruta del tornillo

$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \quad \leq \quad 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$$

$$\phi R_n = \quad 227.7 \quad \text{kN} \quad \geq \quad V = \quad 92.5 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$l_c =$ 46 mm – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material

$t =$ 13 mm – espesor de la placa

$d =$ 22 mm – dimámetro del tornillo

$F_u =$ 448.2 MPa – resistencia a tracción del material conectado

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-2)

*La tensión requerida, a cortante o en tracción, es menor o igual al 30% de la resistencia y los efectos de las tensiones combinadas no necesitan ser evaluadas.*

**Resultado detallado para B25**

**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b = \quad 227.0 \quad \text{kN} \quad \geq \quad F_t = \quad 6.6 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$F_{nt} =$ 780.0 MPa – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2

$A_b =$ 388 mm$^2$ – Área bruta del tornillo

$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b =$ 136.5 kN ≥ $V =$ 89.9 kN

*Donde:*

$F_{nv} =$ 469.0 MPa – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2
$A_b =$ 388 mm$^2$ – Área bruta del tornillo
$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \leq 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$

$\phi R_n =$ 227.7 kN ≥ $V =$ 89.9 kN

*Donde:*

$l_c =$ 46 mm – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material
$t =$ 13 mm – espesor de la placa
$d =$ 22 mm – dimámetro del tornillo
$F_u =$ 448.2 MPa – resistencia a tracción del material conectado
$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-2)
*La tensión requerida, a cortante o en tracción, es menor o igual al 30% de la resistencia y los efectos de las tensiones combinadas no necesitan ser evaluadas.*

**Resultado detallado para B26**
**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b =$ 227.0 kN ≥ $F_t =$ 16.5 kN

*Donde:*

$F_{nt} =$ 780.0 MPa – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2
$A_b =$ 388 mm$^2$ – Área bruta del tornillo
$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b =$ 136.5 kN ≥ $V =$ 90.3 kN

*Donde:*

$F_{nv} =$ 469.0 MPa – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2
$A_b =$ 388 mm$^2$ – Área bruta del tornillo
$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \leq 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$

$\phi R_n =$ 227.7 kN ≥ $V =$ 90.3 kN

*Donde:*

| | |
|---|---|
| $l_c = 46$ mm | – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material |
| $t = 13$ mm | – espesor de la placa |
| $d = 22$ mm | – dimámetro del tornillo |
| $F_u = 448.2$ MPa | – resistencia a tracción del material conectado |
| $\phi = 0.75$ | – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos |

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-2)

*La tensión requerida, a cortante o en tracción, es menor o igual al 30% de la resistencia y los efectos de las tensiones combinadas no necesitan ser evaluadas.*

**Resultado detallado para B27**

**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b =$ 227.0 kN ≥ $F_t =$ 27.3 kN

*Donde:*

| | |
|---|---|
| $F_{nt} = 780.0$ MPa | – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2 |
| $A_b = 388$ mm$^2$ | – Área bruta del tornillo |
| $\phi = 0.75$ | – factor de capacidad |

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b =$ 136.5 kN ≥ $V =$ 92.5 kN

*Donde:*

| | |
|---|---|
| $F_{nv} = 469.0$ MPa | – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2 |
| $A_b = 388$ mm$^2$ | – Área bruta del tornillo |
| $\phi = 0.75$ | – factor de capacidad |

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \leq 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$

$\phi R_n =$ 227.7 kN ≥ $V =$ 92.5 kN

*Donde:*

| | |
|---|---|
| $l_c = 46$ mm | – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material |
| $t = 13$ mm | – espesor de la placa |
| $d = 22$ mm | – dimámetro del tornillo |
| $F_u = 448.2$ MPa | – resistencia a tracción del material conectado |
| $\phi = 0.75$ | – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos |

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-2)

*La tensión requerida, a cortante o en tracción, es menor o igual al 30% de la resistencia y los efectos de las tensiones combinadas no*

*necesitan ser evaluadas.*

**Resultado detallado para B28**

**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b =$ 227.0 kN ≥ $F_t =$ 6.4 kN

*Donde:*

$F_{nt} =$ 780.0 MPa – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2
$A_b =$ 388 mm$^2$ – Área bruta del tornillo
$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b =$ 136.5 kN ≥ $V =$ 89.9 kN

*Donde:*

$F_{nv} =$ 469.0 MPa – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2
$A_b =$ 388 mm$^2$ – Área bruta del tornillo
$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \leq 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$

$\phi R_n =$ 227.7 kN ≥ $V =$ 89.9 kN

*Donde:*

$l_c =$ 46 mm – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material
$t =$ 13 mm – espesor de la placa
$d =$ 22 mm – dimámetro del tornillo
$F_u =$ 448.2 MPa – resistencia a tracción del material conectado
$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-2)

*La tensión requerida, a cortante o en tracción, es menor o igual al 30% de la resistencia y los efectos de las tensiones combinadas no necesitan ser evaluadas.*

**Resultado detallado para B29**

**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b = \quad 227.0 \quad \text{kN} \quad \geq \quad F_t = \quad 16.4 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$F_{nt} =$ 780.0 MPa – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2

$A_b =$ 388 mm$^2$ – Área bruta del tornillo

$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b = \quad 136.5 \quad \text{kN} \quad \geq \quad V = \quad 90.2 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$F_{nv} =$ 469.0 MPa – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2

$A_b =$ 388 mm$^2$ – Área bruta del tornillo

$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \quad \leq \quad 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$$

$$\phi R_n = \quad 227.7 \quad \text{kN} \quad \geq \quad V = \quad 90.2 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$l_c =$ 46 mm – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material

$t =$ 13 mm – espesor de la placa

$d =$ 22 mm – dimámetro del tornillo

$F_u =$ 448.2 MPa – resistencia a tracción del material conectado

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-2)

*La tensión requerida, a cortante o en tracción, es menor o igual al 30% de la resistencia y los efectos de las tensiones combinadas no necesitan ser evaluadas.*

**Resultado detallado para B30**

**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b = \quad 227.0 \quad \text{kN} \quad \geq \quad F_t = \quad 6.4 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$F_{nt} =$ 780.0 MPa – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2

$A_b =$ 388 mm$^2$ – Área bruta del tornillo

$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b =$ 136.5 kN ≥ $V =$ 90.5 kN

*Donde:*

$F_{nv} =$ 469.0 MPa – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2
$A_b =$ 388 mm$^2$ – Área bruta del tornillo
$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \leq 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$

$\phi R_n =$ 227.7 kN ≥ $V =$ 90.5 kN

*Donde:*

$l_c =$ 46 mm – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material
$t =$ 13 mm – espesor de la placa
$d =$ 22 mm – dimámetro del tornillo
$F_u =$ 448.2 MPa – resistencia a tracción del material conectado
$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-2)
*La tensión requerida, a cortante o en tracción, es menor o igual al 30% de la resistencia y los efectos de las tensiones combinadas no necesitan ser evaluadas.*

**Resultado detallado para B31**
**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b =$ 227.0 kN ≥ $F_t =$ 6.4 kN

*Donde:*

$F_{nt} =$ 780.0 MPa – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2
$A_b =$ 388 mm$^2$ – Área bruta del tornillo
$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b =$ 136.5 kN ≥ $V =$ 90.5 kN

*Donde:*

$F_{nv} =$ 469.0 MPa – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2
$A_b =$ 388 mm$^2$ – Área bruta del tornillo
$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \leq 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$

$\phi R_n =$ 227.7 kN ≥ $V =$ 90.5 kN

*Donde:*

| | |
|---|---|
| $l_c = 46$ mm | – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material |
| $t = 13$ mm | – espesor de la placa |
| $d = 22$ mm | – dimámetro del tornillo |
| $F_u = 448.2$ MPa | – resistencia a tracción del material conectado |
| $\phi = 0.75$ | – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos |

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-2)

*La tensión requerida, a cortante o en tracción, es menor o igual al 30% de la resistencia y los efectos de las tensiones combinadas no necesitan ser evaluadas.*

**Resultado detallado para B40**

**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b =$ 227.0 kN ≥ $F_t =$ 10.0 kN

*Donde:*

| | |
|---|---|
| $F_{nt} = 780.0$ MPa | – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2 |
| $A_b = 388$ mm$^2$ | – Área bruta del tornillo |
| $\phi = 0.75$ | – factor de capacidad |

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b =$ 136.5 kN ≥ $V =$ 97.2 kN

*Donde:*

| | |
|---|---|
| $F_{nv} = 469.0$ MPa | – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2 |
| $A_b = 388$ mm$^2$ | – Área bruta del tornillo |
| $\phi = 0.75$ | – factor de capacidad |

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \leq 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$

$\phi R_n =$ 227.7 kN ≥ $V =$ 97.2 kN

*Donde:*

| | |
|---|---|
| $l_c = 46$ mm | – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material |
| $t = 13$ mm | – espesor de la placa |
| $d = 22$ mm | – dimámetro del tornillo |
| $F_u = 448.2$ MPa | – resistencia a tracción del material conectado |
| $\phi = 0.75$ | – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos |

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-2)

*La tensión requerida, a cortante o en tracción, es menor o igual al 30% de la resistencia y los efectos de las tensiones combinadas no*

*necesitan ser evaluadas.*

**Resultado detallado para B41**

**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b =$ 227.0 kN ≥ $F_t =$ 4.4 kN

*Donde:*

$F_{nt} =$ 780.0 MPa – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2
$A_b =$ 388 mm$^2$ – Área bruta del tornillo
$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b =$ 136.5 kN ≥ $V =$ 89.3 kN

*Donde:*

$F_{nv} =$ 469.0 MPa – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2
$A_b =$ 388 mm$^2$ – Área bruta del tornillo
$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \leq 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$

$\phi R_n =$ 227.7 kN ≥ $V =$ 89.3 kN

*Donde:*

$l_c =$ 46 mm – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material
$t =$ 13 mm – espesor de la placa
$d =$ 22 mm – dimámetro del tornillo
$F_u =$ 448.2 MPa – resistencia a tracción del material conectado
$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-2)

*La tensión requerida, a cortante o en tracción, es menor o igual al 30% de la resistencia y los efectos de las tensiones combinadas no necesitan ser evaluadas.*

**Resultado detallado para B42**

**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b = \quad 227.0 \quad \text{kN} \quad \geq \quad F_t = \quad 2.4 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$F_{nt} =$ 780.0 MPa – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2

$A_b =$ 388 mm$^2$ – Área bruta del tornillo

$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b = \quad 136.5 \quad \text{kN} \quad \geq \quad V = \quad 89.7 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$F_{nv} =$ 469.0 MPa – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2

$A_b =$ 388 mm$^2$ – Área bruta del tornillo

$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \quad \leq \quad 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$$

$$\phi R_n = \quad 227.7 \quad \text{kN} \quad \geq \quad V = \quad 89.7 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$l_c =$ 46 mm – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material

$t =$ 13 mm – espesor de la placa

$d =$ 22 mm – dimámetro del tornillo

$F_u =$ 448.2 MPa – resistencia a tracción del material conectado

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-2)

*La tensión requerida, a cortante o en tracción, es menor o igual al 30% de la resistencia y los efectos de las tensiones combinadas no necesitan ser evaluadas.*

**Resultado detallado para B43**

**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b = \quad 227.0 \quad \text{kN} \quad \geq \quad F_t = \quad 10.0 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$F_{nt} =$ 780.0 MPa – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2

$A_b =$ 388 mm$^2$ – Área bruta del tornillo

$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b =$ 136.5 kN ≥ $V =$ 97.3 kN

*Donde:*

$F_{nv} =$ 469.0 MPa – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2
$A_b =$ 388 mm$^2$ – Área bruta del tornillo
$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \leq 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$

$\phi R_n =$ 227.7 kN ≥ $V =$ 97.3 kN

*Donde:*

$l_c =$ 46 mm – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material
$t =$ 13 mm – espesor de la placa
$d =$ 22 mm – dimámetro del tornillo
$F_u =$ 448.2 MPa – resistencia a tracción del material conectado
$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-2)
*La tensión requerida, a cortante o en tracción, es menor o igual al 30% de la resistencia y los efectos de las tensiones combinadas no necesitan ser evaluadas.*

**Resultado detallado para B44**
**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b =$ 227.0 kN ≥ $F_t =$ 4.5 kN

*Donde:*

$F_{nt} =$ 780.0 MPa – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2
$A_b =$ 388 mm$^2$ – Área bruta del tornillo
$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b =$ 136.5 kN ≥ $V =$ 89.3 kN

*Donde:*

$F_{nv} =$ 469.0 MPa – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2
$A_b =$ 388 mm$^2$ – Área bruta del tornillo
$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \leq 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$

$\phi R_n =$ 227.7 kN ≥ $V =$ 89.3 kN

*Donde:*

| | |
|---|---|
| $l_c = 46$ mm | – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material |
| $t = 13$ mm | – espesor de la placa |
| $d = 22$ mm | – dimámetro del tornillo |
| $F_u = 448.2$ MPa | – resistencia a tracción del material conectado |
| $\phi = 0.75$ | – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos |

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-2)

*La tensión requerida, a cortante o en tracción, es menor o igual al 30% de la resistencia y los efectos de las tensiones combinadas no necesitan ser evaluadas.*

**Resultado detallado para B45**

**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b =$ 227.0 kN ≥ $F_t =$ 2.4 kN

*Donde:*

| | |
|---|---|
| $F_{nt} = 780.0$ MPa | – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2 |
| $A_b = 388$ mm$^2$ | – Área bruta del tornillo |
| $\phi = 0.75$ | – factor de capacidad |

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b =$ 136.5 kN ≥ $V =$ 89.7 kN

*Donde:*

| | |
|---|---|
| $F_{nv} = 469.0$ MPa | – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2 |
| $A_b = 388$ mm$^2$ | – Área bruta del tornillo |
| $\phi = 0.75$ | – factor de capacidad |

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \leq 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$

$\phi R_n =$ 227.7 kN ≥ $V =$ 89.7 kN

*Donde:*

| | |
|---|---|
| $l_c = 46$ mm | – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material |
| $t = 13$ mm | – espesor de la placa |
| $d = 22$ mm | – dimámetro del tornillo |
| $F_u = 448.2$ MPa | – resistencia a tracción del material conectado |
| $\phi = 0.75$ | – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos |

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-2)

*La tensión requerida, a cortante o en tracción, es menor o igual al 30% de la resistencia y los efectos de las tensiones combinadas no*

*necesitan ser evaluadas.*

**Resultado detallado para B46**

**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b =$ 227.0 kN ≥ $F_t =$ 3.4 kN

*Donde:*

$F_{nt} =$ 780.0 MPa – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2
$A_b =$ 388 mm$^2$ – Área bruta del tornillo
$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b =$ 136.5 kN ≥ $V =$ 91.6 kN

*Donde:*

$F_{nv} =$ 469.0 MPa – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2
$A_b =$ 388 mm$^2$ – Área bruta del tornillo
$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \leq 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$

$\phi R_n =$ 227.7 kN ≥ $V =$ 91.6 kN

*Donde:*

$l_c =$ 46 mm – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material
$t =$ 13 mm – espesor de la placa
$d =$ 22 mm – dimámetro del tornillo
$F_u =$ 448.2 MPa – resistencia a tracción del material conectado
$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-2)

*La tensión requerida, a cortante o en tracción, es menor o igual al 30% de la resistencia y los efectos de las tensiones combinadas no necesitan ser evaluadas.*

**Resultado detallado para B47**

**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b = \quad 227.0 \quad \text{kN} \quad \geq \quad F_t = \quad 3.4 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$F_{nt} =$ 780.0 MPa – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2

$A_b =$ 388 mm$^2$ – Área bruta del tornillo

$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b = \quad 136.5 \quad \text{kN} \quad \geq \quad V = \quad 91.5 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$F_{nv} =$ 469.0 MPa – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2

$A_b =$ 388 mm$^2$ – Área bruta del tornillo

$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \quad \leq \quad 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$$

$$\phi R_n = \quad 227.7 \quad \text{kN} \quad \geq \quad V = \quad 91.5 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$l_c =$ 46 mm – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material

$t =$ 13 mm – espesor de la placa

$d =$ 22 mm – dimámetro del tornillo

$F_u =$ 448.2 MPa – resistencia a tracción del material conectado

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-2)

*La tensión requerida, a cortante o en tracción, es menor o igual al 30% de la resistencia y los efectos de las tensiones combinadas no necesitan ser evaluadas.*

## Soldaduras

| Ítem | Borde | Xu | $T_h$ [mm] | $L_s$ [mm] | L [mm] | $L_c$ [mm] | $F_n$ [kN] | $\phi R_n$ [kN] | Ut [%] | Estado |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| C-bfl 1 | FP1 | E70xx | - | - | 240 | - | - | - | - | Aceptar |
| C-bfl 1 | FP2 | E70xx | - | - | 200 | - | - | - | - | Aceptar |
| C-bfl 1 | FP3 | E70xx | - | - | 220 | - | - | - | - | Aceptar |
| C-w 1 | STIFF1b | E70xx | ◢5.7◣ | ◢8.0◣ | 300 | 50 | 23.1 | 70.7 | 32.6 | Aceptar |
| | | E70xx | ◢5.7◣ | ◢8.0◣ | 300 | 50 | 22.4 | 64.7 | 34.6 | Aceptar |
| C-tfl 1 | STIFF1b | E70xx | - | - | 105 | - | - | - | - | Aceptar |
| C-bfl 1 | STIFF1b | E70xx | - | - | 105 | - | - | - | - | Aceptar |
| C-w 1 | STIFF1a | E70xx | ◢5.7◣ | ◢8.0◣ | 300 | 50 | 22.3 | 64.7 | 34.5 | Aceptar |
| | | E70xx | ◢5.7◣ | ◢8.0◣ | 300 | 50 | 23.1 | 70.8 | 32.6 | Aceptar |
| C-bfl 1 | STIFF1a | E70xx | - | - | 105 | - | - | - | - | Aceptar |
| C-tfl 1 | STIFF1a | E70xx | - | - | 105 | - | - | - | - | Aceptar |
| C-w 1 | RIGIDIZAR2b | E70xx | ◢5.7◣ | ◢8.0◣ | 300 | 50 | 22.1 | 64.7 | 34.2 | Aceptar |
| | | E70xx | ◢5.7◣ | ◢8.0◣ | 300 | 50 | 22.8 | 70.7 | 32.3 | Aceptar |
| C-tfl 1 | RIGIDIZAR2b | E70xx | - | - | 105 | - | - | - | - | Aceptar |
| C-bfl 1 | RIGIDIZAR2b | E70xx | - | - | 105 | - | - | - | - | Aceptar |
| C-w 1 | RIGIDIZAR2a | E70xx | ◢5.7◣ | ◢8.0◣ | 300 | 50 | 22.8 | 70.7 | 32.2 | Aceptar |
| | | E70xx | ◢5.7◣ | ◢8.0◣ | 300 | 50 | 22.1 | 64.6 | 34.1 | Aceptar |
| C-bfl 1 | RIGIDIZAR2a | E70xx | - | - | 105 | - | - | - | - | Aceptar |
| C-tfl 1 | RIGIDIZAR2a | E70xx | - | - | 105 | - | - | - | - | Aceptar |

**Resultado detallado para C-bfl 1 / FP1 - 1**

*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

**Resultado detallado para C-bfl 1 / FP2 - 1**

*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

**Resultado detallado para C-bfl 1 / FP3 - 1**

*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

**Resultado detallado para C-w 1 / STIFF1b - 1**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 70.7 kN ≥ $F_n =$ 23.1 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 333.8 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 27.0° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 283 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-w 1 / STIFF1b - 2**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 64.7 kN ≥ $F_n =$ 22.4 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 305.1 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 13.1° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 283 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-tfl 1 / STIFF1b - 1**

*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

**Resultado detallado para C-bfl 1 / STIFF1b - 1**

*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

**Resultado detallado para C-w 1 / STIFF1a - 1**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 64.7 kN ≥ $F_n =$ 22.3 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 305.1 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 13.1° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 283 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-w 1 / STIFF1a - 2**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 70.8 kN ≥ $F_n =$ 23.1 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 334.0 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 27.1° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 283 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-bfl 1 / STIFF1a - 1**

*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

**Resultado detallado para C-tfl 1 / STIFF1a - 1**

*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

**Resultado detallado para C-w 1 / RIGIDIZAR2b - 1**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 64.7 kN ≥ $F_n =$ 22.1 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 305.1 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 13.0° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 283 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-w 1 / RIGIDIZAR2b - 2**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 70.7 kN ≥ $F_n =$ 22.8 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 333.4 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 26.8° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 283 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-tfl 1 / RIGIDIZAR2b - 1**

*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

**Resultado detallado para C-bfl 1 / RIGIDIZAR2b - 1**

*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

**Resultado detallado para C-w 1 / RIGIDIZAR2a - 1**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 70.7 kN ≥ $F_n =$ 22.8 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 333.7 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 26.9° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 283 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-w 1 / RIGIDIZAR2a - 2**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 64.6 kN ≥ $F_n =$ 22.1 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 305.0 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 13.0° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 283 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-bfl 1 / RIGIDIZAR2a - 1**

*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

**Resultado detallado para C-tfl 1 / RIGIDIZAR2a - 1**

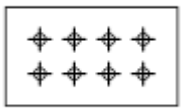
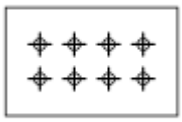
*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

## Pandeo

**El análisis de pandeo no se ha calculado.**

# Listado de material

## Operaciones

| Nombre | Placas [mm] | Forma | Nr. | Soldaduras [mm] | Longitud [mm] | Tornillos | Nr. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| FP1 | P10.0x100.0-240.0 (A36) | | 1 | Bisel: a = 10.0 | 240.0 | 3/4 A325 | 3 |
| FP2 | P20.0x350.0-200.0 (A572 Gr.50) |  | 1 | Bisel: a = 20.0 | 200.0 | 7/8 A490 | 8 |
| FP3 | P20.0x350.0-220.0 (A572 Gr.50) |  | 1 | Bisel: a = 20.0 | 220.0 | 7/8 A490 | 8 |
| STIFF1 | P20.0x143.0-398.0 (A572 Gr.55) | | 2 | | | | |
| RIGIDIZAR2 | P20.0x143.0-398.0 (A572 Gr.55) | | 2 | | | | |

## Soldaduras

| Tipo | Material | Espesor de garganta [mm] | Tamaño de pierna [mm] | Longitud [mm] |
|---|---|---|---|---|
| Bisel | E70xx | - | - | 240.0 |
| Bisel | E70xx | - | - | 1260.0 |
| Doble tendón de soldadura | E70xx | 5.7 | 8.0 | 1200.0 |

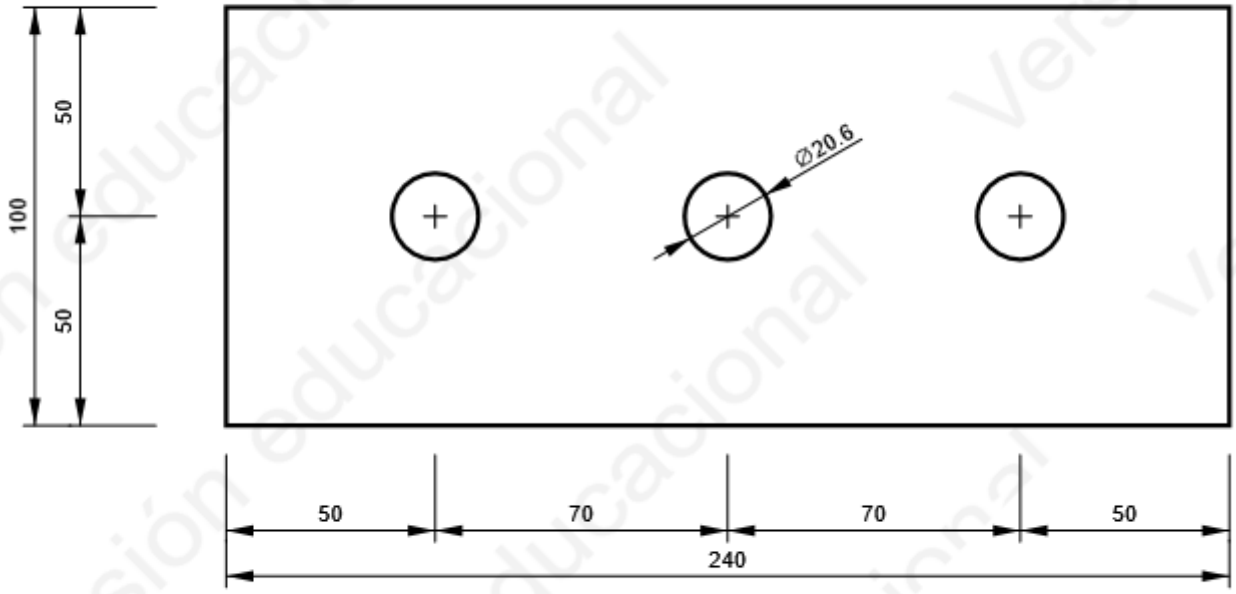
## Tornillos

| Nombre | Longitud de agarre [mm] | Cuenta |
|---|---|---|
| 3/4 A325 | 18 | 3 |
| 7/8 A490 | 33 | 16 |

## Dibujo

### FP1

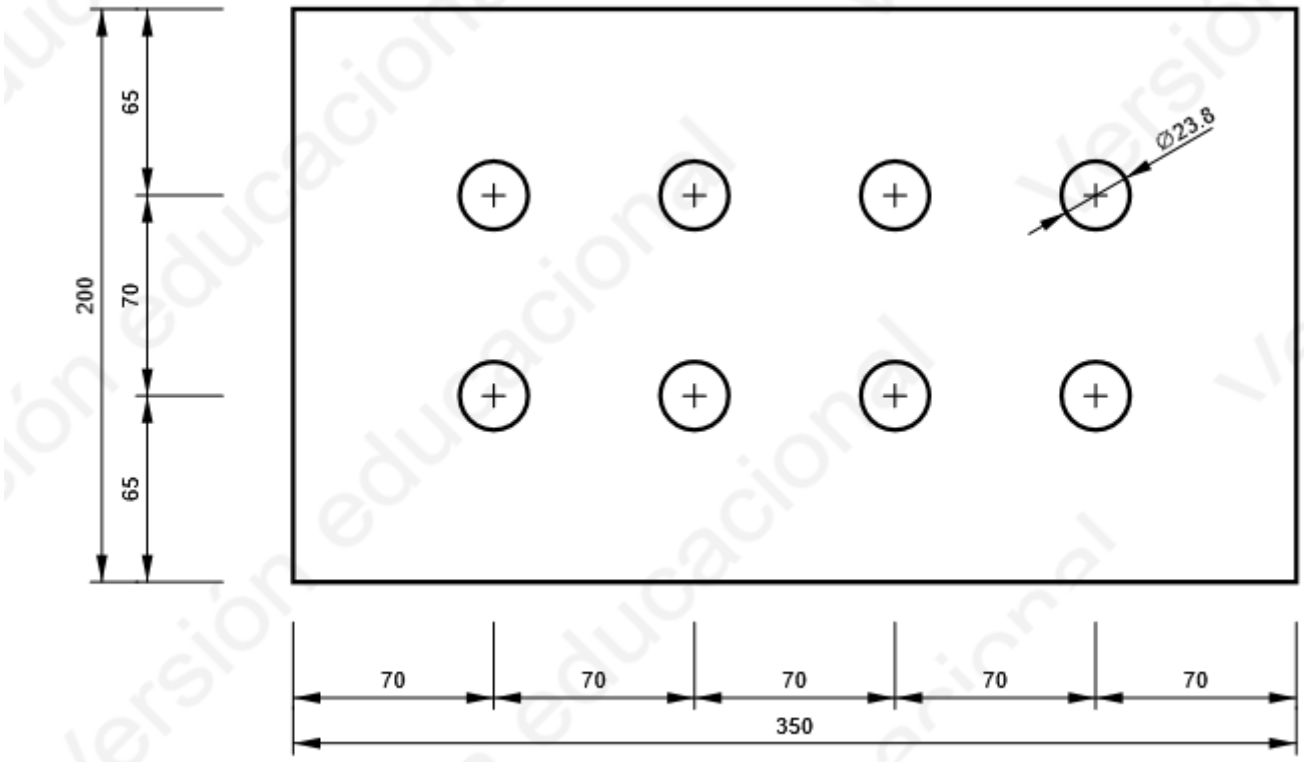
**P10.0x240-100 (A36)**




Versión educacional

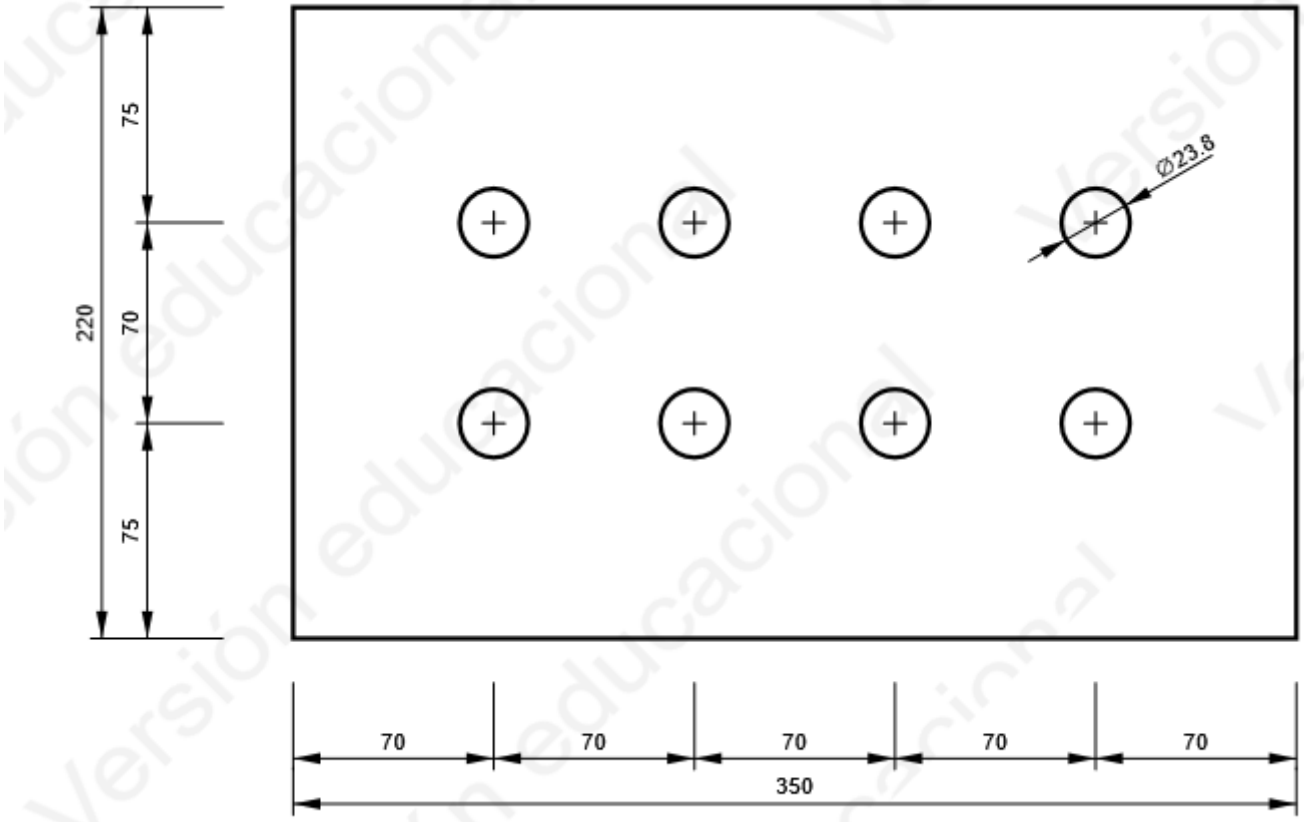
## FP2

**P20.0x200-350 (A572 Gr.50)**



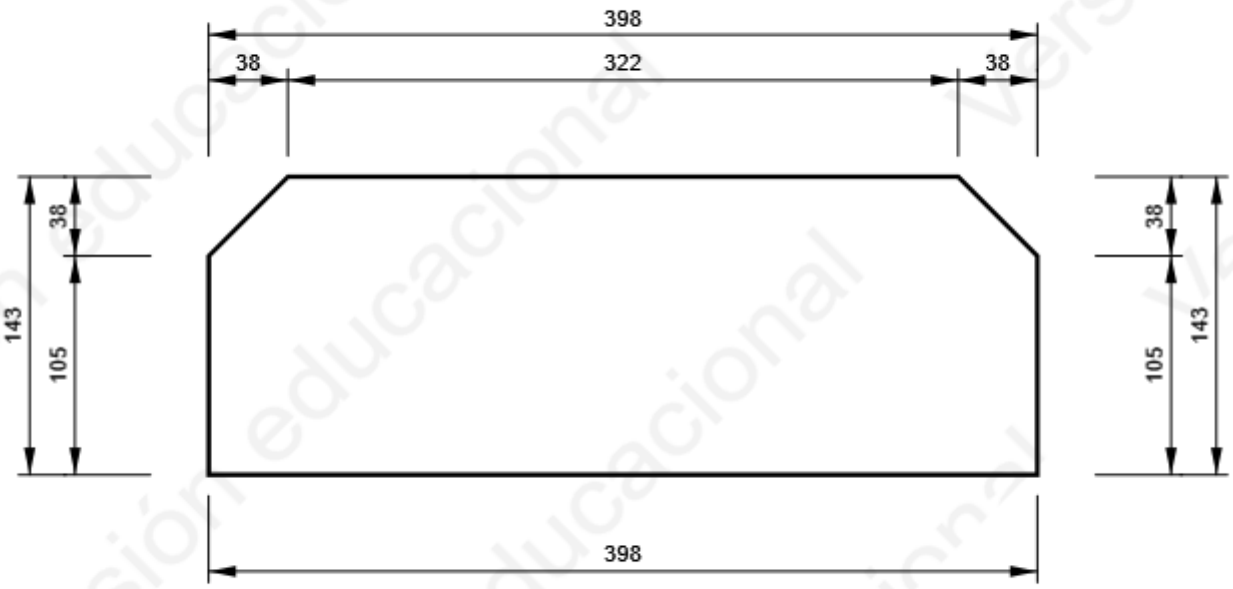
## FP3

**P20.0x220-350 (A572 Gr.50)**



## STIFF1

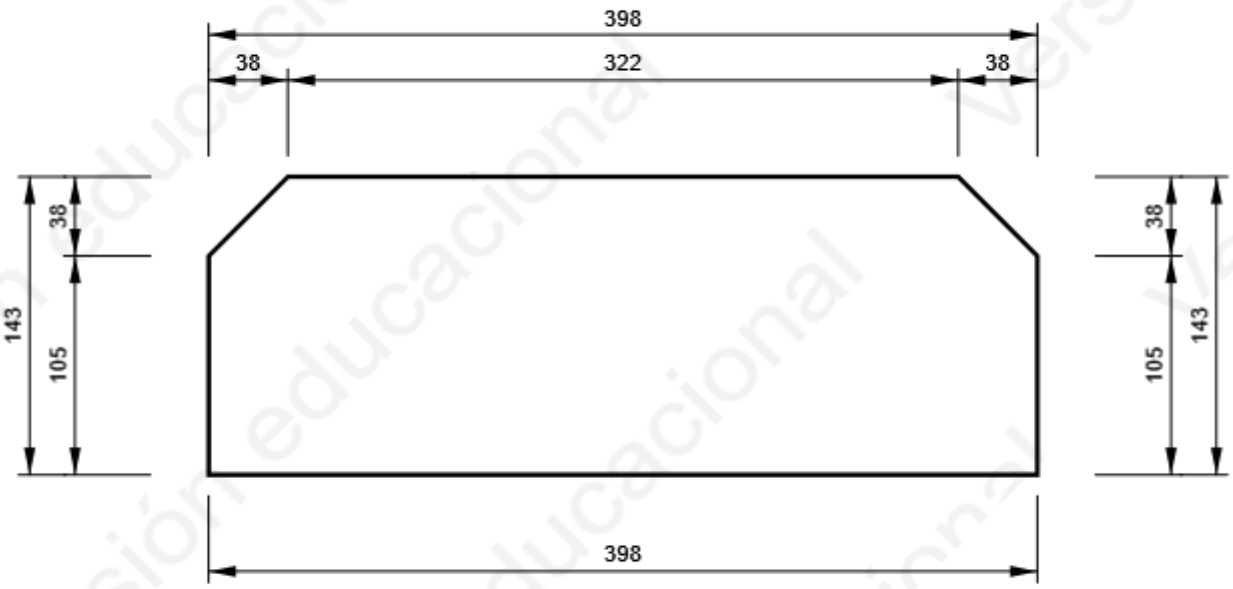
**P20.0x398-143 (A572 Gr.55)**




Versión educacional

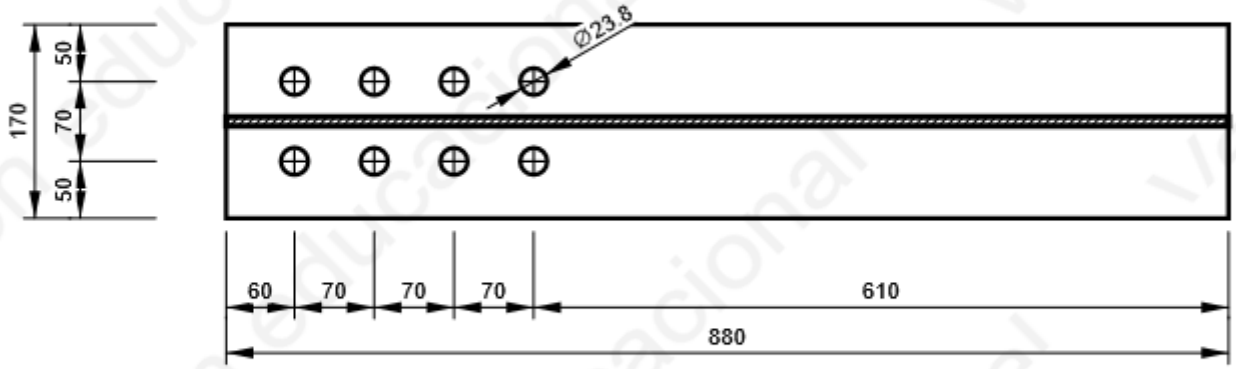
## RIGIDIZAR2

**P20.0x398-143 (A572 Gr.55)**



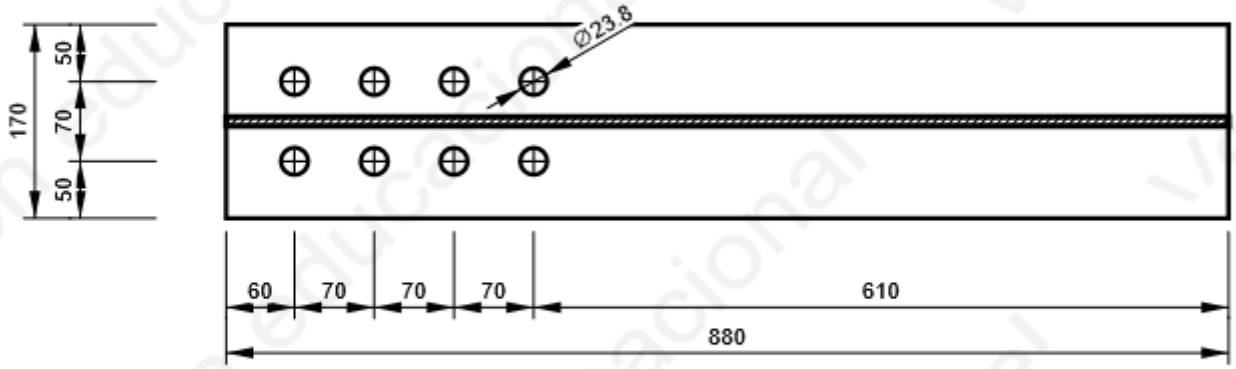

Versión educacional

## B, IPE360 - Ala inferior 1:




Versión educacional

## B, IPE360 - Ala superior 1:




Versión educacional

## B, IPE360 - Alma 1:

Versión educacional

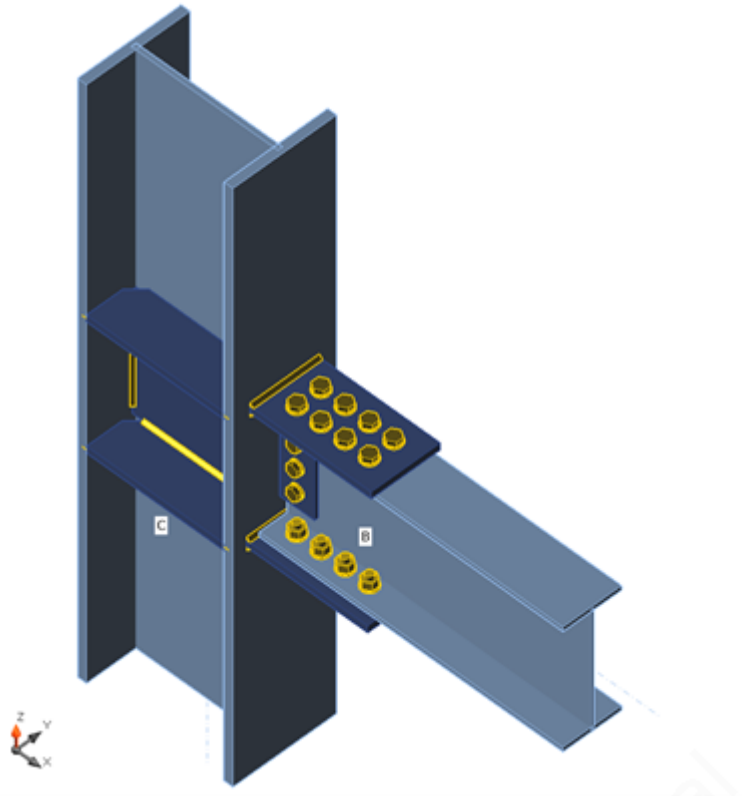
# Ítem del proyecto BFP-360-2

## Diseño

| | |
|---|---|
| Nombre | BFP-360-2 |
| Descripción | Conexion H450-I360 |
| Análisis | Tensión, deformación/ Carga simplificada |
| Normativa de cálculo | AISC - LRFD |

### Elementos estructurales

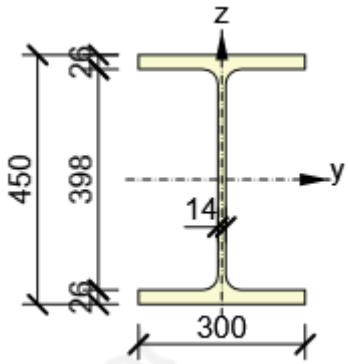
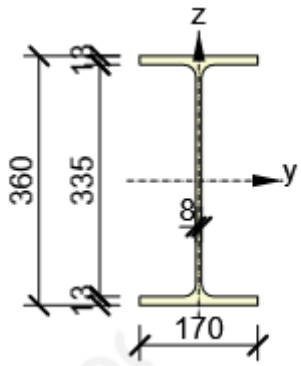
| Nombre | Sección transversal | β – Dirección [°] | γ - Inclinación [°] | α - Rotación [°] | Desplazamiento ex [mm] | Desplazamiento ey [mm] | Desplazamiento ez [mm] | Fuerzas en |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| C | 7 - HEB450 | 0.0 | -90.0 | 0.0 | 0 | 0 | 0 | Nudo |
| B | 9 - IPE360 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0 | 0 | 0 | Nudo |




### Secciones

| Nombre | Material |
|---|---|
| 7 - HEB450 | A572 Gr.50 |
| 9 - IPE360 | A572 Gr.50 |

## Secciones

| Nombre | Material | Dibujo |
|---|---|---|
| 7 - HEB450 | A572 Gr.50 |  |
| 9 - IPE360 | A572 Gr.50 |  |

## Tornillos

| Nombre | Conjunto de tornillo | Diámetro [mm] | fu [MPa] | Área bruta [mm$^2$] |
|---|---|---|---|---|
| 7/8 A490 | 7/8 A490 | 22 | 1034.2 | 388 |
| 3/4 A325 | 3/4 A325 | 19 | 825.0 | 285 |

## Cargas (No se requiere el equilibro)

| Nombre | Elemento | N [kN] | Vy [kN] | Vz [kN] | Mx [kNm] | My [kNm] | Mz [kNm] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| LE1 | B | 0.0 | 0.0 | -104.0 | 0.0 | 312.0 | 0.0 |

# Verificación

## Resumen

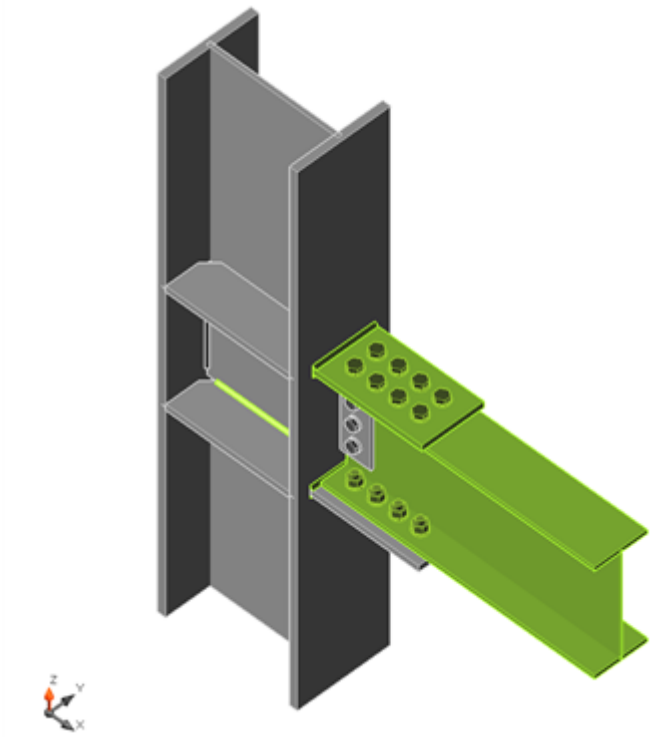
| Nombre | Valor | Estado de la verificación |
|---|---|---|
| Análisis | 100.0% | Aceptar |
| Placas | 1.4 < 5% | Aceptar |
| Tornillos | 72.1 < 100% | Aceptar |
| Soldaduras | 86.3 < 100% | Aceptar |
| Pandeo | No calculado | |

## Placas

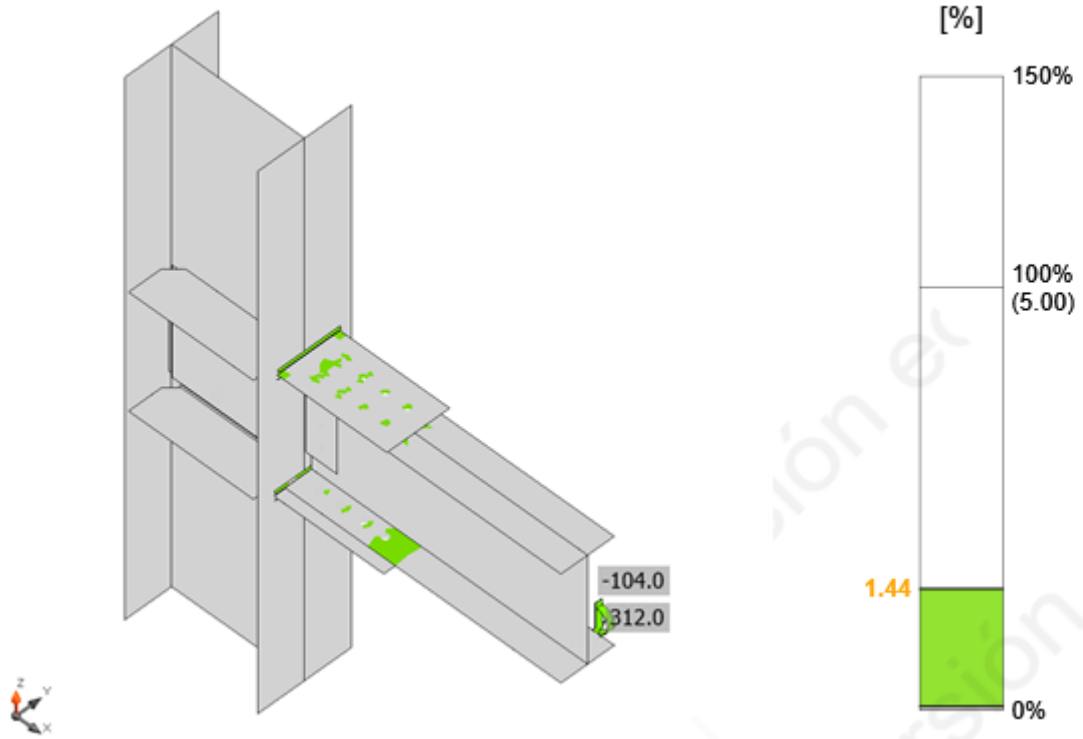
| Nombre | Material | $F_y$ [MPa] | Espesor [mm] | Cargas | $\sigma_{Ed}$ [MPa] | $\varepsilon_{Pl}$ [%] | Estado de la verificación |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| C-bfl 1 | A572 Gr.50 | 344.7 | 26.0 | LE1 | 118.6 | 0.0 | Aceptar |
| C-tfl 1 | A572 Gr.50 | 344.7 | 26.0 | LE1 | 60.7 | 0.0 | Aceptar |
| C-w 1 | A572 Gr.50 | 344.7 | 14.0 | LE1 | 137.3 | 0.0 | Aceptar |
| B-bfl 1 | A572 Gr.50 | 344.7 | 12.7 | LE1 | 311.0 | 0.3 | Aceptar |
| B-tfl 1 | A572 Gr.50 | 344.7 | 12.7 | LE1 | 313.1 | 1.4 | Aceptar |
| B-w 1 | A572 Gr.50 | 344.7 | 8.0 | LE1 | 310.5 | 0.1 | Aceptar |
| FP1 | A36 | 248.2 | 10.0 | LE1 | 139.7 | 0.0 | Aceptar |
| FP2 | A572 Gr.50 | 344.7 | 20.0 | LE1 | 310.4 | 0.1 | Aceptar |
| FP3 | A572 Gr.50 | 344.7 | 20.0 | LE1 | 253.2 | 0.0 | Aceptar |
| STIFF1a | A572 Gr.55 | 379.2 | 20.0 | LE1 | 160.7 | 0.0 | Aceptar |
| STIFF1b | A572 Gr.55 | 379.2 | 20.0 | LE1 | 159.4 | 0.0 | Aceptar |
| RIGIDIZAR2a | A572 Gr.55 | 379.2 | 20.0 | LE1 | 163.1 | 0.0 | Aceptar |
| RIGIDIZAR2b | A572 Gr.55 | 379.2 | 20.0 | LE1 | 160.9 | 0.0 | Aceptar |
| SP 1 | A572 Gr.50 | 344.7 | 10.0 | LE1 | 118.6 | 0.0 | Aceptar |

**Datos de diseño**

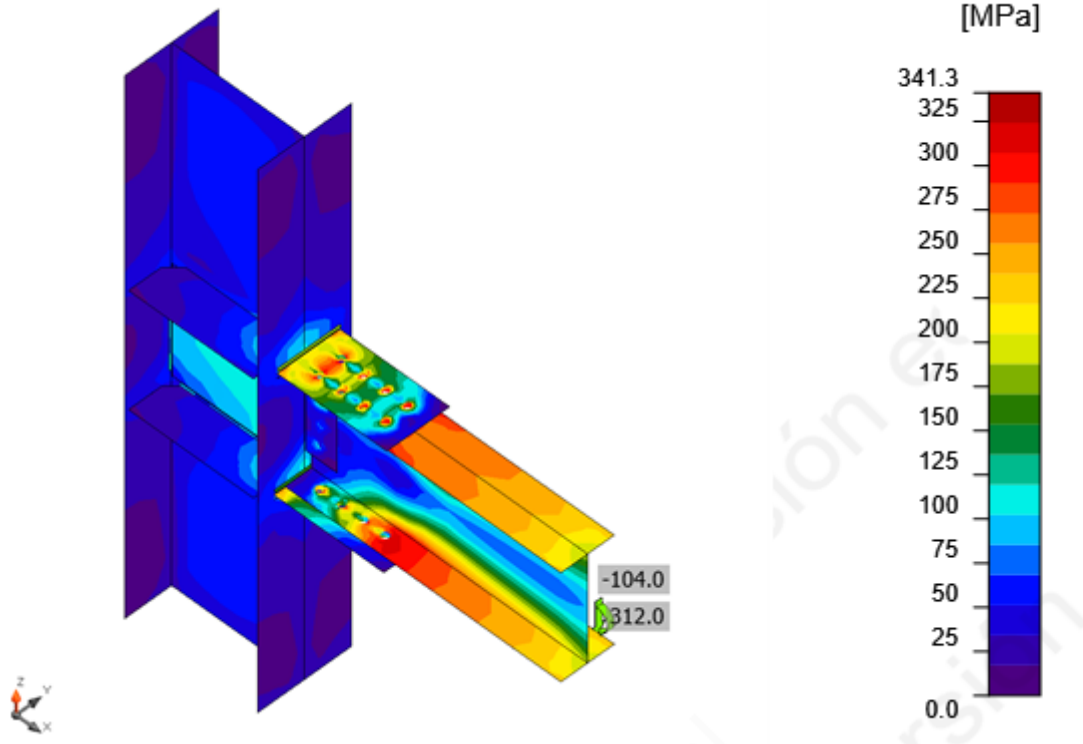
| Material | fy [MPa] | $\varepsilon_{lim}$ [%] |
|---|---|---|
| A572 Gr.50 | 344.7 | 5.0 |
| A36 | 248.2 | 5.0 |
| A572 Gr.55 | 379.2 | 5.0 |



*Verificación general, LE1*

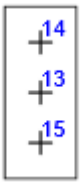
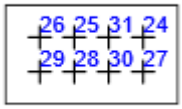
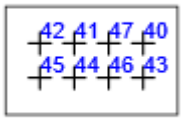



*Verificación de deformación, LE1*




*Tensión equivalente, LE1*

## Tornillos

| Forma | Ítem | Calidad | Cargas | $F_t$ [kN] | V [kN] | $\phi R_{n,portante}$ [kN] | $Ut_t$ [%] | $Ut_s$ [%] | $Ut_{ts}$ [%] | Estado |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
|  | B13 | 3/4 A325 - 1 | LE1 | 1.4 | 14.4 | 122.9 | 1.1 | 18.1 | - | Aceptar |
| | B14 | 3/4 A325 - 1 | LE1 | 4.5 | 30.4 | 113.4 | 3.4 | 38.2 | - | Aceptar |
| | B15 | 3/4 A325 - 1 | LE1 | 1.5 | 23.3 | 122.9 | 1.2 | 29.3 | - | Aceptar |
|  | B24 | 7/8 A490 - 2 | LE1 | 28.0 | 93.1 | 227.7 | 12.4 | 68.2 | - | Aceptar |
| | B25 | 7/8 A490 - 2 | LE1 | 4.3 | 90.6 | 227.7 | 1.9 | 66.4 | - | Aceptar |
| | B26 | 7/8 A490 - 2 | LE1 | 13.6 | 92.7 | 227.7 | 6.0 | 67.9 | - | Aceptar |
| | B27 | 7/8 A490 - 2 | LE1 | 28.1 | 93.1 | 227.7 | 12.4 | 68.2 | - | Aceptar |
| | B28 | 7/8 A490 - 2 | LE1 | 4.1 | 90.6 | 227.7 | 1.8 | 66.4 | - | Aceptar |
| | B29 | 7/8 A490 - 2 | LE1 | 13.6 | 92.6 | 227.7 | 6.0 | 67.9 | - | Aceptar |
| | B30 | 7/8 A490 - 2 | LE1 | 6.0 | 91.1 | 227.7 | 2.6 | 66.8 | - | Aceptar |
| | B31 | 7/8 A490 - 2 | LE1 | 6.0 | 91.1 | 227.7 | 2.7 | 66.8 | - | Aceptar |
|  | B40 | 7/8 A490 - 2 | LE1 | 10.2 | 98.1 | 227.7 | 4.5 | 71.9 | - | Aceptar |
| | B41 | 7/8 A490 - 2 | LE1 | 5.1 | 90.3 | 227.7 | 2.2 | 66.1 | - | Aceptar |
| | B42 | 7/8 A490 - 2 | LE1 | 6.4 | 92.1 | 227.7 | 2.8 | 67.5 | - | Aceptar |
| | B43 | 7/8 A490 - 2 | LE1 | 10.2 | 98.3 | 227.7 | 4.5 | 72.1 | - | Aceptar |
| | B44 | 7/8 A490 - 2 | LE1 | 5.1 | 90.5 | 227.7 | 2.3 | 66.3 | - | Aceptar |
| | B45 | 7/8 A490 - 2 | LE1 | 6.4 | 92.3 | 227.7 | 2.8 | 67.7 | - | Aceptar |
| | B46 | 7/8 A490 - 2 | LE1 | 3.7 | 92.6 | 227.7 | 1.6 | 67.9 | - | Aceptar |
| | B47 | 7/8 A490 - 2 | LE1 | 3.7 | 92.4 | 227.7 | 1.6 | 67.7 | - | Aceptar |

**Datos de diseño**

| Calidad | $\phi R_{n,tracción}$ [kN] | $\phi R_{n,cortante}$ [kN] |
|---|---|---|
| 3/4 A325 - 1 | 132.5 | 79.5 |
| 7/8 A490 - 2 | 227.0 | 136.5 |

**Resultado detallado para B13**

**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b = \quad 132.5 \quad \text{kN} \quad \geq \quad F_t = \quad 1.4 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$F_{nt} = 620.0$ MPa – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2

$A_b = 285$ mm$^2$ – Área bruta del tornillo

$\phi = 0.75$ – factor de capacidad

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b = \quad 79.5 \quad \text{kN} \quad \geq \quad V = \quad 14.4 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$F_{nv} = 372.0$ MPa – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2

$A_b = 285$ mm$^2$ – Área bruta del tornillo

$\phi = 0.75$ – factor de capacidad

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \quad \leq \quad 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$$

$$\phi R_n = \quad 122.9 \quad \text{kN} \quad \geq \quad V = \quad 14.4 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$l_c = 49$ mm – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material

$t = 8$ mm – espesor de la placa

$d = 19$ mm – dimámetro del tornillo

$F_u = 448.2$ MPa – resistencia a tracción del material conectado

$\phi = 0.75$ – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-2)

*La tensión requerida, a cortante o en tracción, es menor o igual al 30% de la resistencia y los efectos de las tensiones combinadas no necesitan ser evaluadas.*

**Resultado detallado para B14**

**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b = \quad 132.5 \quad \text{kN} \quad \geq \quad F_t = \quad 4.5 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$F_{nt} = 620.0$ MPa – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2

$A_b = 285$ mm$^2$ – Área bruta del tornillo

$\phi = 0.75$ – factor de capacidad

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b = \quad 79.5 \quad \text{kN} \quad \geq \quad V = \quad 30.4 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$F_{nv} = 372.0$ MPa – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2

$A_b = 285$ mm$^2$ – Área bruta del tornillo

$\phi = 0.75$ – factor de capacidad

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \quad \leq \quad 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$$

$$\phi R_n = \quad 113.4 \quad \text{kN} \quad \geq \quad V = \quad 30.4 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$l_c = 35$ mm – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material

$t = 8$ mm – espesor de la placa

$d = 19$ mm – dimámetro del tornillo

$F_u = 448.2$ MPa – resistencia a tracción del material conectado
$\phi = 0.75$ – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-2)
*La tensión requerida, a cortante o en tracción, es menor o igual al 30% de la resistencia y los efectos de las tensiones combinadas no necesitan ser evaluadas.*

**Resultado detallado para B15**
**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b =$ 132.5 kN ≥ $F_t =$ 1.5 kN

*Donde:*

$F_{nt} = 620.0$ MPa – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2
$A_b = 285$ mm$^2$ – Área bruta del tornillo
$\phi = 0.75$ – factor de capacidad

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b =$ 79.5 kN ≥ $V =$ 23.3 kN

*Donde:*

$F_{nv} = 372.0$ MPa – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2
$A_b = 285$ mm$^2$ – Área bruta del tornillo
$\phi = 0.75$ – factor de capacidad

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \leq 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$

$\phi R_n =$ 122.9 kN ≥ $V =$ 23.3 kN

*Donde:*

$l_c = 416$ mm – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material
$t = 8$ mm – espesor de la placa
$d = 19$ mm – dimámetro del tornillo
$F_u = 448.2$ MPa – resistencia a tracción del material conectado
$\phi = 0.75$ – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-2)
*La tensión requerida, a cortante o en tracción, es menor o igual al 30% de la resistencia y los efectos de las tensiones combinadas no necesitan ser evaluadas.*

**Resultado detallado para B24**

**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b = \quad 227.0 \quad \text{kN} \quad \geq \quad F_t = \quad 28.0 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$F_{nt} =$ 780.0 MPa – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2

$A_b =$ 388 mm$^2$ – Área bruta del tornillo

$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b = \quad 136.5 \quad \text{kN} \quad \geq \quad V = \quad 93.1 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$F_{nv} =$ 469.0 MPa – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2

$A_b =$ 388 mm$^2$ – Área bruta del tornillo

$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \quad \leq \quad 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$$

$$\phi R_n = \quad 227.7 \quad \text{kN} \quad \geq \quad V = \quad 93.1 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$l_c =$ 46 mm – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material

$t =$ 13 mm – espesor de la placa

$d =$ 22 mm – dimámetro del tornillo

$F_u =$ 448.2 MPa – resistencia a tracción del material conectado

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-2)

*La tensión requerida, a cortante o en tracción, es menor o igual al 30% de la resistencia y los efectos de las tensiones combinadas no necesitan ser evaluadas.*

**Resultado detallado para B25**

**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b = \quad 227.0 \quad \text{kN} \quad \geq \quad F_t = \quad 4.3 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$F_{nt} =$ 780.0 MPa – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2

$A_b =$ 388 mm$^2$ – Área bruta del tornillo

$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b =$ 136.5 kN ≥ $V =$ 90.6 kN

*Donde:*

$F_{nv} =$ 469.0 MPa – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2
$A_b =$ 388 mm$^2$ – Área bruta del tornillo
$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \leq 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$

$\phi R_n =$ 227.7 kN ≥ $V =$ 90.6 kN

*Donde:*

$l_c =$ 46 mm – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material
$t =$ 13 mm – espesor de la placa
$d =$ 22 mm – dimámetro del tornillo
$F_u =$ 448.2 MPa – resistencia a tracción del material conectado
$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-2)
*La tensión requerida, a cortante o en tracción, es menor o igual al 30% de la resistencia y los efectos de las tensiones combinadas no necesitan ser evaluadas.*

**Resultado detallado para B26**
**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b =$ 227.0 kN ≥ $F_t =$ 13.6 kN

*Donde:*

$F_{nt} =$ 780.0 MPa – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2
$A_b =$ 388 mm$^2$ – Área bruta del tornillo
$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b =$ 136.5 kN ≥ $V =$ 92.7 kN

*Donde:*

$F_{nv} =$ 469.0 MPa – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2
$A_b =$ 388 mm$^2$ – Área bruta del tornillo
$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \leq 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$

$\phi R_n =$ 227.7 kN ≥ $V =$ 92.7 kN

*Donde:*

| | |
|---|---|
| $l_c = 46$ mm | – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material |
| $t = 13$ mm | – espesor de la placa |
| $d = 22$ mm | – dimámetro del tornillo |
| $F_u = 448.2$ MPa | – resistencia a tracción del material conectado |
| $\phi = 0.75$ | – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos |

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-2)

*La tensión requerida, a cortante o en tracción, es menor o igual al 30% de la resistencia y los efectos de las tensiones combinadas no necesitan ser evaluadas.*

**Resultado detallado para B27**

**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b =$ 227.0 kN ≥ $F_t =$ 28.1 kN

*Donde:*

| | |
|---|---|
| $F_{nt} = 780.0$ MPa | – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2 |
| $A_b = 388$ mm$^2$ | – Área bruta del tornillo |
| $\phi = 0.75$ | – factor de capacidad |

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b =$ 136.5 kN ≥ $V =$ 93.1 kN

*Donde:*

| | |
|---|---|
| $F_{nv} = 469.0$ MPa | – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2 |
| $A_b = 388$ mm$^2$ | – Área bruta del tornillo |
| $\phi = 0.75$ | – factor de capacidad |

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \leq 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$

$\phi R_n =$ 227.7 kN ≥ $V =$ 93.1 kN

*Donde:*

| | |
|---|---|
| $l_c = 46$ mm | – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material |
| $t = 13$ mm | – espesor de la placa |
| $d = 22$ mm | – dimámetro del tornillo |
| $F_u = 448.2$ MPa | – resistencia a tracción del material conectado |
| $\phi = 0.75$ | – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos |

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-2)

*La tensión requerida, a cortante o en tracción, es menor o igual al 30% de la resistencia y los efectos de las tensiones combinadas no*

*necesitan ser evaluadas.*

**Resultado detallado para B28**

**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b =$ 227.0 kN ≥ $F_t =$ 4.1 kN

*Donde:*

$F_{nt} =$ 780.0 MPa – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2
$A_b =$ 388 mm$^2$ – Área bruta del tornillo
$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b =$ 136.5 kN ≥ $V =$ 90.6 kN

*Donde:*

$F_{nv} =$ 469.0 MPa – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2
$A_b =$ 388 mm$^2$ – Área bruta del tornillo
$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \leq 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$

$\phi R_n =$ 227.7 kN ≥ $V =$ 90.6 kN

*Donde:*

$l_c =$ 46 mm – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material
$t =$ 13 mm – espesor de la placa
$d =$ 22 mm – dimámetro del tornillo
$F_u =$ 448.2 MPa – resistencia a tracción del material conectado
$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-2)

*La tensión requerida, a cortante o en tracción, es menor o igual al 30% de la resistencia y los efectos de las tensiones combinadas no necesitan ser evaluadas.*

**Resultado detallado para B29**

**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b = \quad 227.0 \quad \text{kN} \quad \geq \quad F_t = \quad 13.6 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$F_{nt} =$ 780.0 MPa – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2

$A_b =$ 388 mm$^2$ – Área bruta del tornillo

$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b = \quad 136.5 \quad \text{kN} \quad \geq \quad V = \quad 92.6 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$F_{nv} =$ 469.0 MPa – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2

$A_b =$ 388 mm$^2$ – Área bruta del tornillo

$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \quad \leq \quad 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$$

$$\phi R_n = \quad 227.7 \quad \text{kN} \quad \geq \quad V = \quad 92.6 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$l_c =$ 46 mm – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material

$t =$ 13 mm – espesor de la placa

$d =$ 22 mm – dimámetro del tornillo

$F_u =$ 448.2 MPa – resistencia a tracción del material conectado

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-2)

*La tensión requerida, a cortante o en tracción, es menor o igual al 30% de la resistencia y los efectos de las tensiones combinadas no necesitan ser evaluadas.*

**Resultado detallado para B30**

**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b = \quad 227.0 \quad \text{kN} \quad \geq \quad F_t = \quad 6.0 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$F_{nt} =$ 780.0 MPa – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2

$A_b =$ 388 mm$^2$ – Área bruta del tornillo

$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b =$ 136.5 kN ≥ $V =$ 91.1 kN

*Donde:*

$F_{nv} =$ 469.0 MPa – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2
$A_b =$ 388 mm$^2$ – Área bruta del tornillo
$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \leq 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$

$\phi R_n =$ 227.7 kN ≥ $V =$ 91.1 kN

*Donde:*

$l_c =$ 46 mm – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material
$t =$ 13 mm – espesor de la placa
$d =$ 22 mm – dimámetro del tornillo
$F_u =$ 448.2 MPa – resistencia a tracción del material conectado
$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-2)
*La tensión requerida, a cortante o en tracción, es menor o igual al 30% de la resistencia y los efectos de las tensiones combinadas no necesitan ser evaluadas.*

**Resultado detallado para B31**
**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b =$ 227.0 kN ≥ $F_t =$ 6.0 kN

*Donde:*

$F_{nt} =$ 780.0 MPa – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2
$A_b =$ 388 mm$^2$ – Área bruta del tornillo
$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b =$ 136.5 kN ≥ $V =$ 91.1 kN

*Donde:*

$F_{nv} =$ 469.0 MPa – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2
$A_b =$ 388 mm$^2$ – Área bruta del tornillo
$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \leq 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$

$\phi R_n =$ 227.7 kN ≥ $V =$ 91.1 kN

*Donde:*

| | |
|---|---|
| $l_c = 46$ mm | – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material |
| $t = 13$ mm | – espesor de la placa |
| $d = 22$ mm | – dimámetro del tornillo |
| $F_u = 448.2$ MPa | – resistencia a tracción del material conectado |
| $\phi = 0.75$ | – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos |

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-2)

*La tensión requerida, a cortante o en tracción, es menor o igual al 30% de la resistencia y los efectos de las tensiones combinadas no necesitan ser evaluadas.*

**Resultado detallado para B40**

**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b =$ 227.0 kN ≥ $F_t =$ 10.2 kN

*Donde:*

| | |
|---|---|
| $F_{nt} = 780.0$ MPa | – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2 |
| $A_b = 388$ mm$^2$ | – Área bruta del tornillo |
| $\phi = 0.75$ | – factor de capacidad |

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b =$ 136.5 kN ≥ $V =$ 98.1 kN

*Donde:*

| | |
|---|---|
| $F_{nv} = 469.0$ MPa | – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2 |
| $A_b = 388$ mm$^2$ | – Área bruta del tornillo |
| $\phi = 0.75$ | – factor de capacidad |

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \leq 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$

$\phi R_n =$ 227.7 kN ≥ $V =$ 98.1 kN

*Donde:*

| | |
|---|---|
| $l_c = 46$ mm | – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material |
| $t = 13$ mm | – espesor de la placa |
| $d = 22$ mm | – dimámetro del tornillo |
| $F_u = 448.2$ MPa | – resistencia a tracción del material conectado |
| $\phi = 0.75$ | – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos |

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-2)

*La tensión requerida, a cortante o en tracción, es menor o igual al 30% de la resistencia y los efectos de las tensiones combinadas no*

*necesitan ser evaluadas.*

**Resultado detallado para B41**

**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b = \quad 227.0 \quad \text{kN} \quad \geq \quad F_t = \quad 5.1 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$F_{nt} =$ 780.0 MPa – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2

$A_b =$ 388 mm$^2$ – Área bruta del tornillo

$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b = \quad 136.5 \quad \text{kN} \quad \geq \quad V = \quad 90.3 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$F_{nv} =$ 469.0 MPa – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2

$A_b =$ 388 mm$^2$ – Área bruta del tornillo

$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \quad \leq \quad 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$$

$$\phi R_n = \quad 227.7 \quad \text{kN} \quad \geq \quad V = \quad 90.3 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$l_c =$ 46 mm – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material

$t =$ 13 mm – espesor de la placa

$d =$ 22 mm – dimámetro del tornillo

$F_u =$ 448.2 MPa – resistencia a tracción del material conectado

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-2)

*La tensión requerida, a cortante o en tracción, es menor o igual al 30% de la resistencia y los efectos de las tensiones combinadas no necesitan ser evaluadas.*

**Resultado detallado para B42**

**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b = \quad 227.0 \quad \text{kN} \quad \geq \quad F_t = \quad 6.4 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$F_{nt} =$ 780.0 MPa – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2

$A_b =$ 388 mm$^2$ – Área bruta del tornillo

$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b = \quad 136.5 \quad \text{kN} \quad \geq \quad V = \quad 92.1 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$F_{nv} =$ 469.0 MPa – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2

$A_b =$ 388 mm$^2$ – Área bruta del tornillo

$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \quad \leq \quad 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$$

$$\phi R_n = \quad 227.7 \quad \text{kN} \quad \geq \quad V = \quad 92.1 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$l_c =$ 46 mm – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material

$t =$ 13 mm – espesor de la placa

$d =$ 22 mm – dimámetro del tornillo

$F_u =$ 448.2 MPa – resistencia a tracción del material conectado

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-2)

*La tensión requerida, a cortante o en tracción, es menor o igual al 30% de la resistencia y los efectos de las tensiones combinadas no necesitan ser evaluadas.*

**Resultado detallado para B43**

**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b = \quad 227.0 \quad \text{kN} \quad \geq \quad F_t = \quad 10.2 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$F_{nt} =$ 780.0 MPa – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2

$A_b =$ 388 mm$^2$ – Área bruta del tornillo

$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b =$ 136.5 kN ≥ $V =$ 98.3 kN

*Donde:*

$F_{nv} =$ 469.0 MPa – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2
$A_b =$ 388 mm$^2$ – Área bruta del tornillo
$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \leq 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$

$\phi R_n =$ 227.7 kN ≥ $V =$ 98.3 kN

*Donde:*

$l_c =$ 46 mm – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material
$t =$ 13 mm – espesor de la placa
$d =$ 22 mm – dimámetro del tornillo
$F_u =$ 448.2 MPa – resistencia a tracción del material conectado
$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-2)
*La tensión requerida, a cortante o en tracción, es menor o igual al 30% de la resistencia y los efectos de las tensiones combinadas no necesitan ser evaluadas.*

**Resultado detallado para B44**
**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b =$ 227.0 kN ≥ $F_t =$ 5.1 kN

*Donde:*

$F_{nt} =$ 780.0 MPa – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2
$A_b =$ 388 mm$^2$ – Área bruta del tornillo
$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b =$ 136.5 kN ≥ $V =$ 90.5 kN

*Donde:*

$F_{nv} =$ 469.0 MPa – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2
$A_b =$ 388 mm$^2$ – Área bruta del tornillo
$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \leq 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$

$\phi R_n =$ 227.7 kN ≥ $V =$ 90.5 kN

*Donde:*

| | |
|---|---|
| $l_c = 46$ mm | – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material |
| $t = 13$ mm | – espesor de la placa |
| $d = 22$ mm | – dimámetro del tornillo |
| $F_u = 448.2$ MPa | – resistencia a tracción del material conectado |
| $\phi = 0.75$ | – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos |

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-2)

*La tensión requerida, a cortante o en tracción, es menor o igual al 30% de la resistencia y los efectos de las tensiones combinadas no necesitan ser evaluadas.*

**Resultado detallado para B45**

**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b =$ 227.0 kN ≥ $F_t =$ 6.4 kN

*Donde:*

| | |
|---|---|
| $F_{nt} = 780.0$ MPa | – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2 |
| $A_b = 388$ mm$^2$ | – Área bruta del tornillo |
| $\phi = 0.75$ | – factor de capacidad |

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b =$ 136.5 kN ≥ $V =$ 92.3 kN

*Donde:*

| | |
|---|---|
| $F_{nv} = 469.0$ MPa | – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2 |
| $A_b = 388$ mm$^2$ | – Área bruta del tornillo |
| $\phi = 0.75$ | – factor de capacidad |

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \leq 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$

$\phi R_n =$ 227.7 kN ≥ $V =$ 92.3 kN

*Donde:*

| | |
|---|---|
| $l_c = 46$ mm | – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material |
| $t = 13$ mm | – espesor de la placa |
| $d = 22$ mm | – dimámetro del tornillo |
| $F_u = 448.2$ MPa | – resistencia a tracción del material conectado |
| $\phi = 0.75$ | – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos |

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-2)

*La tensión requerida, a cortante o en tracción, es menor o igual al 30% de la resistencia y los efectos de las tensiones combinadas no*

*necesitan ser evaluadas.*

**Resultado detallado para B46**

**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b =$ 227.0 kN ≥ $F_t =$ 3.7 kN

*Donde:*

$F_{nt} =$ 780.0 MPa – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2
$A_b =$ 388 mm$^2$ – Área bruta del tornillo
$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b =$ 136.5 kN ≥ $V =$ 92.6 kN

*Donde:*

$F_{nv} =$ 469.0 MPa – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2
$A_b =$ 388 mm$^2$ – Área bruta del tornillo
$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \leq 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$

$\phi R_n =$ 227.7 kN ≥ $V =$ 92.6 kN

*Donde:*

$l_c =$ 46 mm – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material
$t =$ 13 mm – espesor de la placa
$d =$ 22 mm – dimámetro del tornillo
$F_u =$ 448.2 MPa – resistencia a tracción del material conectado
$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-2)

*La tensión requerida, a cortante o en tracción, es menor o igual al 30% de la resistencia y los efectos de las tensiones combinadas no necesitan ser evaluadas.*

**Resultado detallado para B47**

**Comprobación de la resistencia a tracción** (AISC 360-16: J3-1)

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b = \quad 227.0 \quad \text{kN} \quad \geq \quad F_t = \quad 3.7 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$F_{nt} =$ 780.0 MPa – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2

$A_b =$ 388 mm$^2$ – Área bruta del tornillo

$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de la resistencia a cortante** (AISC 360-16: J3-1)

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b = \quad 136.5 \quad \text{kN} \quad \geq \quad V = \quad 92.4 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$F_{nv} =$ 469.0 MPa – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2

$A_b =$ 388 mm$^2$ – Área bruta del tornillo

$\phi =$ 0.75 – factor de capacidad

**Comprobación de resitencia a aplastamiento** (AISC 360-16: J3-6)

$$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \quad \leq \quad 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$$

$$\phi R_n = \quad 227.7 \quad \text{kN} \quad \geq \quad V = \quad 92.4 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$l_c =$ 46 mm – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material

$t =$ 13 mm – espesor de la placa

$d =$ 22 mm – dimámetro del tornillo

$F_u =$ 448.2 MPa – resistencia a tracción del material conectado

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos

**Comprobación de la interacción tracción-cortante** (AISC 360-16: J3-2)

*La tensión requerida, a cortante o en tracción, es menor o igual al 30% de la resistencia y los efectos de las tensiones combinadas no necesitan ser evaluadas.*

## Soldaduras

| Ítem | Borde | Xu | $T_h$ [mm] | $L_s$ [mm] | L [mm] | $L_c$ [mm] | $F_n$ [kN] | $\phi R_n$ [kN] | Ut [%] | Estado |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| C-bfl 1 | FP1 | E70xx | - | - | 240 | - | - | - | - | Aceptar |
| C-bfl 1 | FP2 | E70xx | ◢7.1◣ | ◢10.0◣ | 199 | 22 | 44.0 | 51.0 | 86.3 | Aceptar |
| | | E70xx | ◢7.1◣ | ◢10.0◣ | 199 | 22 | 39.3 | 51.0 | 77.2 | Aceptar |
| C-bfl 1 | FP3 | E70xx | ◢7.1◣ | ◢10.0◣ | 219 | 22 | 42.3 | 50.4 | 84.0 | Aceptar |
| | | E70xx | ◢7.1◣ | ◢10.0◣ | 219 | 22 | 37.8 | 50.1 | 75.4 | Aceptar |
| C-bfl 1 | STIFF1a | E70xx | - | - | 105 | - | - | - | - | Aceptar |
| C-w 1 | STIFF1a | E70xx | - | - | 322 | - | - | - | - | Aceptar |
| C-tfl 1 | STIFF1a | E70xx | - | - | 105 | - | - | - | - | Aceptar |
| C-bfl 1 | STIFF1b | E70xx | - | - | 105 | - | - | - | - | Aceptar |
| C-w 1 | STIFF1b | E70xx | - | - | 322 | - | - | - | - | Aceptar |
| C-tfl 1 | STIFF1b | E70xx | - | - | 105 | - | - | - | - | Aceptar |
| C-bfl 1 | RIGIDIZAR2a | E70xx | - | - | 105 | - | - | - | - | Aceptar |
| C-w 1 | RIGIDIZAR2a | E70xx | - | - | 322 | - | - | - | - | Aceptar |
| C-tfl 1 | RIGIDIZAR2a | E70xx | - | - | 105 | - | - | - | - | Aceptar |
| C-bfl 1 | RIGIDIZAR2b | E70xx | - | - | 105 | - | - | - | - | Aceptar |
| C-w 1 | RIGIDIZAR2b | E70xx | - | - | 322 | - | - | - | - | Aceptar |
| C-tfl 1 | RIGIDIZAR2b | E70xx | - | - | 105 | - | - | - | - | Aceptar |
| C-tfl 1 | SP 1 | E70xx | ◢5.7 | ◢8.0 | 308 | 51 | 32.7 | 66.1 | 49.4 | Aceptar |
| C-bfl 1 | SP 1 | E70xx | ◢5.7 | ◢8.0 | 308 | 51 | 60.3 | 80.3 | 75.1 | Aceptar |
| RIGIDIZAR2b | SP 1 | E70xx | ◢5.7 | ◢8.0 | 332 | 47 | 46.8 | 62.2 | 75.3 | Aceptar |
| STIFF1b | SP 1 | E70xx | ◢5.7 | ◢8.0 | 332 | 47 | 46.9 | 62.2 | 75.4 | Aceptar |

**Resultado detallado para C-bfl 1 / FP1 - 1**

*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

**Resultado detallado para C-bfl 1 / FP2 - 1**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} = \quad 51.0 \quad \text{kN} \quad \geq \quad F_n = \quad 44.0 \quad \text{kN}$$

*Donde:*

$F_{nw} =$ 434.4 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 90.0° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 156 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-bfl 1 / FP2 - 2**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 51.0 kN ≥ $F_n =$ 39.3 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 434.4 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 89.7° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 156 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-bfl 1 / FP3 - 1**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 50.4 kN ≥ $F_n =$ 42.3 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 434.3 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 88.2° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 155 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-bfl 1 / FP3 - 2**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 50.1 kN ≥ $F_n =$ 37.8 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 431.7 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 80.9° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 155 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-bfl 1 / STIFF1a - 1**

*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

**Resultado detallado para C-w 1 / STIFF1a - 1**

*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

**Resultado detallado para C-tfl 1 / STIFF1a - 1**

*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

**Resultado detallado para C-bfl 1 / STIFF1b - 1**

*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

**Resultado detallado para C-w 1 / STIFF1b - 1**

*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

**Resultado detallado para C-tfl 1 / STIFF1b - 1**

*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

**Resultado detallado para C-bfl 1 / RIGIDIZAR2a - 1**

*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

**Resultado detallado para C-w 1 / RIGIDIZAR2a - 1**

*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

**Resultado detallado para C-tfl 1 / RIGIDIZAR2a - 1**

*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

**Resultado detallado para C-bfl 1 / RIGIDIZAR2b - 1**

*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

**Resultado detallado para C-w 1 / RIGIDIZAR2b - 1**

*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

**Resultado detallado para C-tfl 1 / RIGIDIZAR2b - 1**

*Las soldaduras a tope no se han comprobado. Su resistencia se asume igual a la del elemento soldado.*

**Resultado detallado para C-tfl 1 / SP 1 - 1**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 66.1 kN ≥ $F_n =$ 32.7 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 304.0 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 12.4° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 290 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para C-bfl 1 / SP 1 - 1**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 80.3 kN ≥ $F_n =$ 60.3 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 369.1 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 42.1° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 290 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para RIGIDIZAR2b / SP 1 - 1**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 62.2 kN ≥ $F_n =$ 46.8 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 309.4 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 15.4° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 268 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

**Resultado detallado para STIFF1b / SP 1 - 1**

**Comprobación de la resistencia de la soldadura** (AISC 360-16: J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 62.2 kN ≥ $F_n =$ 46.9 kN

*Donde:*

$F_{nw} =$ 309.5 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$ , donde:
  - $F_{EXX} =$ 482.6 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 15.4° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 268 mm$^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico

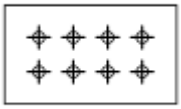
$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

## Pandeo

**El análisis de pandeo no se ha calculado.**

# Listado de material

## Operaciones

| Nombre | Placas [mm] | Forma | Nr. | Soldaduras [mm] | Longitud [mm] | Tornillos | Nr. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| FP1 | P10.0x100.0-240.0 (A36) | | 1 | Bisel: a = 10.0 | 240.0 | 3/4 A325 | 3 |
| FP2 | P20.0x350.0-200.0 (A572 Gr.50) |  | 1 | Doble tendón de soldadura: a = 7.1 | 200.0 | 7/8 A490 | 8 |
| FP3 | P20.0x350.0-220.0 (A572 Gr.50) | | 1 | Doble tendón de soldadura: a = 7.1 | 220.0 | 7/8 A490 | 8 |
| STIFF1 | P20.0x143.0-398.0 (A572 Gr.55) | | 2 | Bisel: a = 20.0<br>Bisel: a = 14.0 | 420.0<br>644.0 | | |
| RIGIDIZAR2 | P20.0x143.0-398.0 (A572 Gr.55) | | 2 | Bisel: a = 20.0<br>Bisel: a = 14.0 | 420.0<br>644.0 | | |
| SP 1 | P10.0x398.0-358.0 (A572 Gr.50) | | 1 | | | | |

## Soldaduras

| Tipo | Material | Espesor de garganta [mm] | Tamaño de pierna [mm] | Longitud [mm] |
|---|---|---|---|---|
| Bisel | E70xx | - | - | 240.0 |
| Doble tendón de soldadura | E70xx | 7.1 | 10.0 | 420.0 |
| Bisel | E70xx | - | - | 840.0 |
| Bisel | E70xx | - | - | 1288.0 |
| tendón de soldadura simple | E70xx | 5.7 | 8.0 | 616.0 |
| tendón de soldadura simple | E70xx | 5.7 | 8.0 | 664.0 |

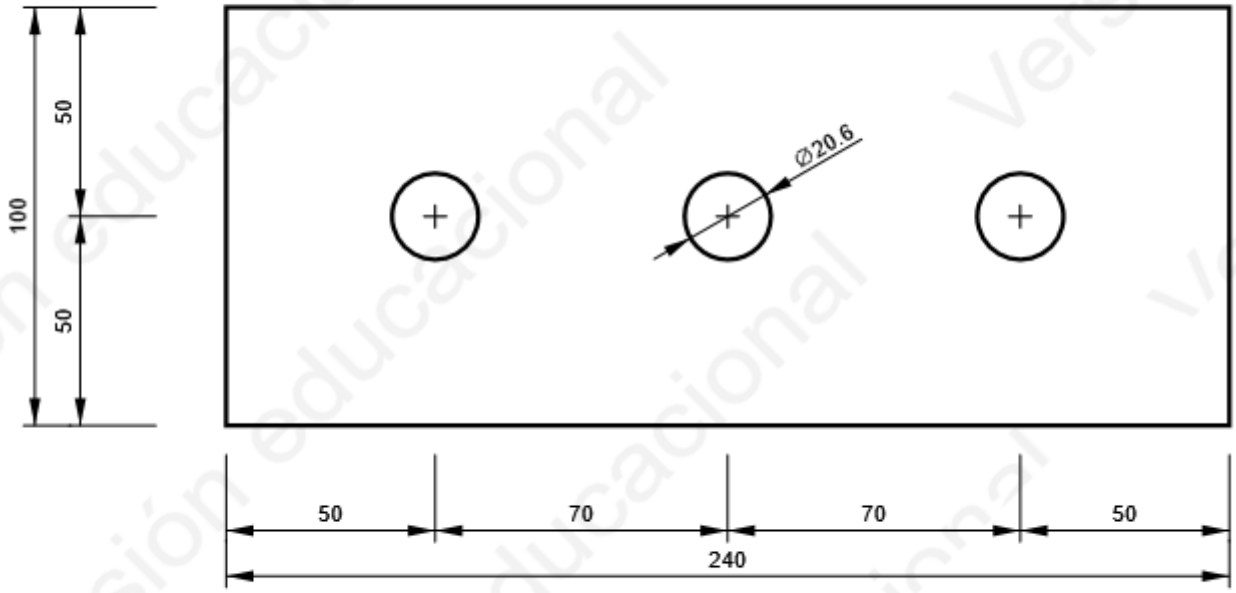
## Tornillos

| Nombre | Longitud de agarre [mm] | Cuenta |
|---|---|---|
| 3/4 A325 | 18 | 3 |
| 7/8 A490 | 33 | 16 |

## Dibujo

## FP1

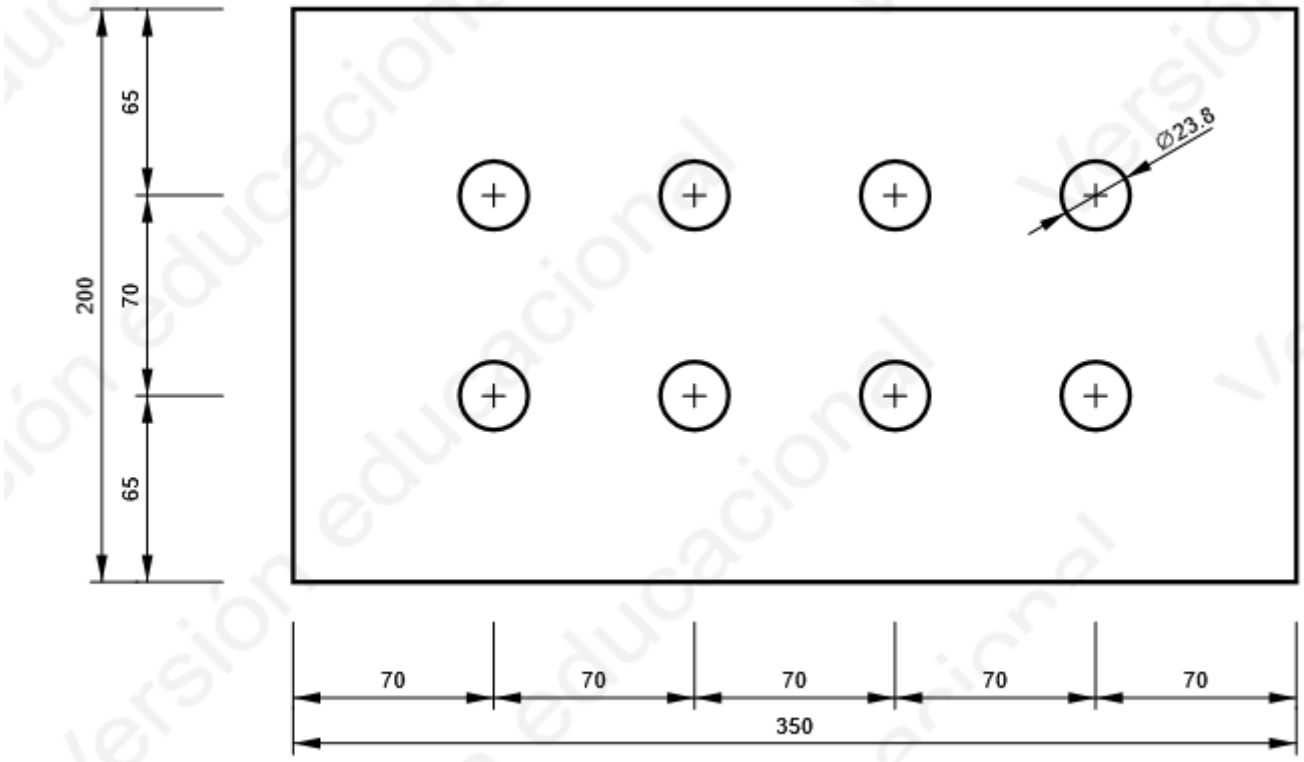
**P10.0x240-100 (A36)**




Versión educacional

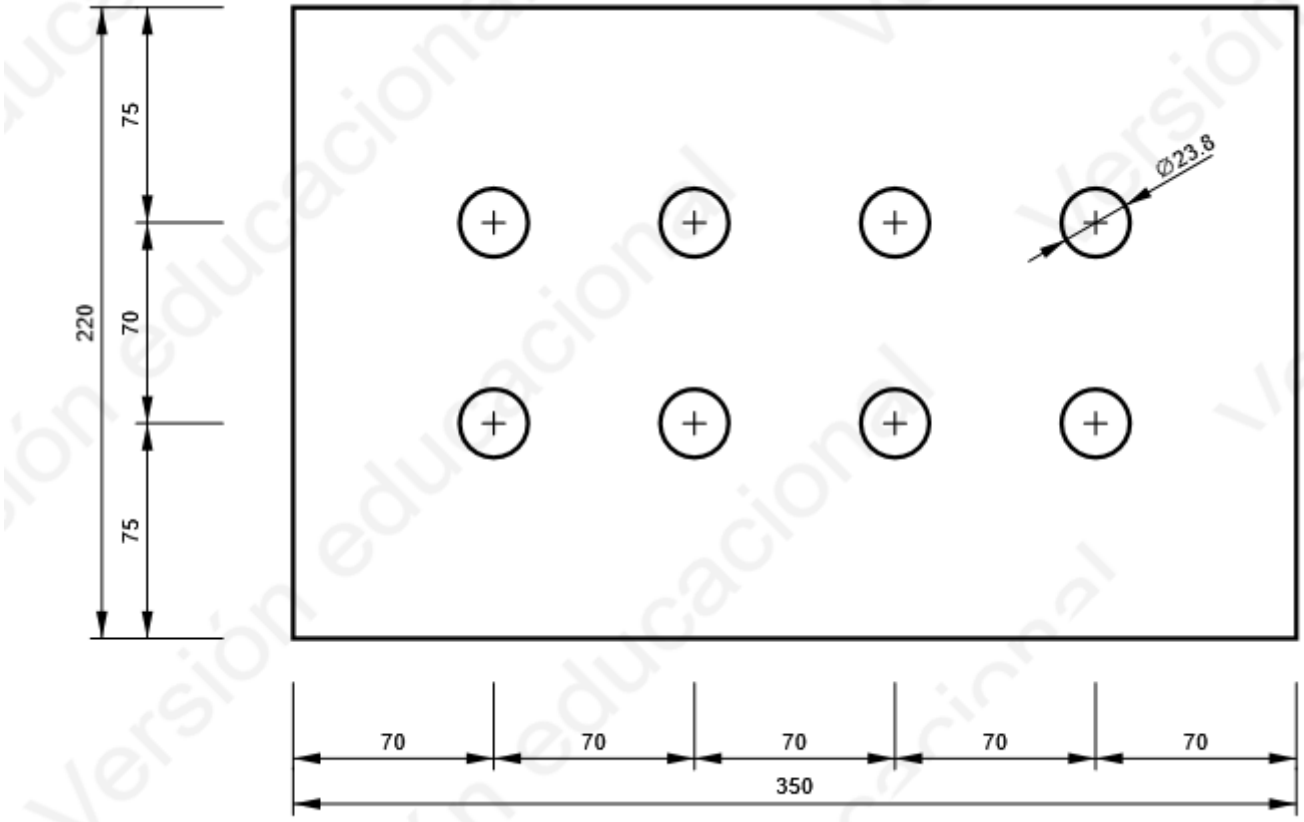
## FP2

**P20.0x200-350 (A572 Gr.50)**



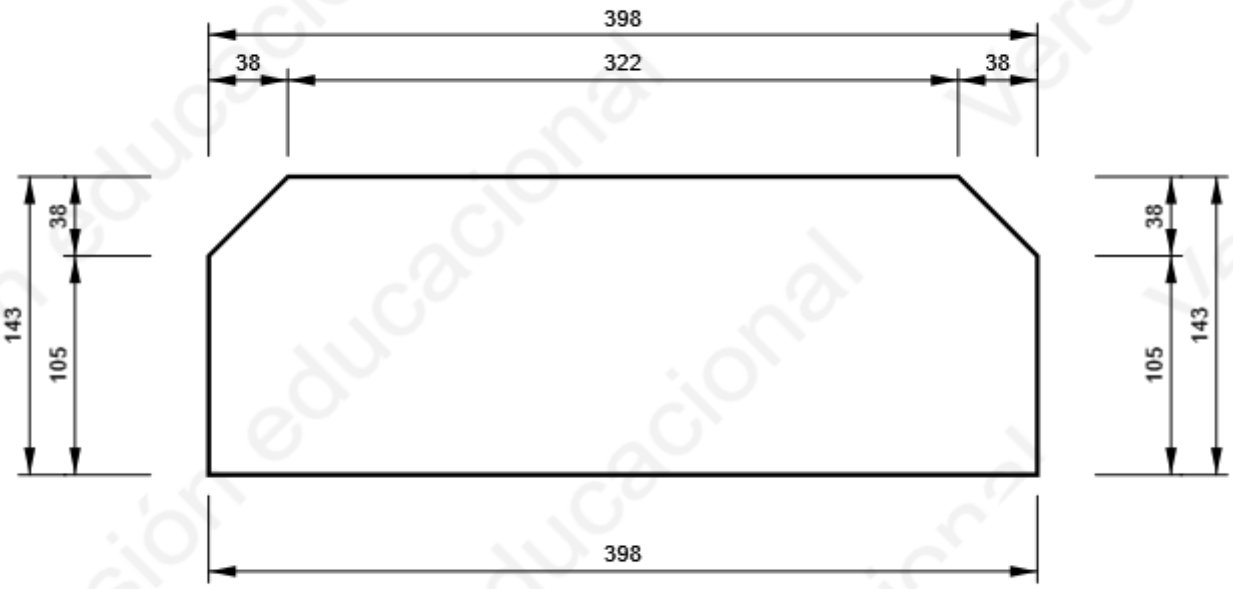
## FP3

**P20.0x220-350 (A572 Gr.50)**



## STIFF1

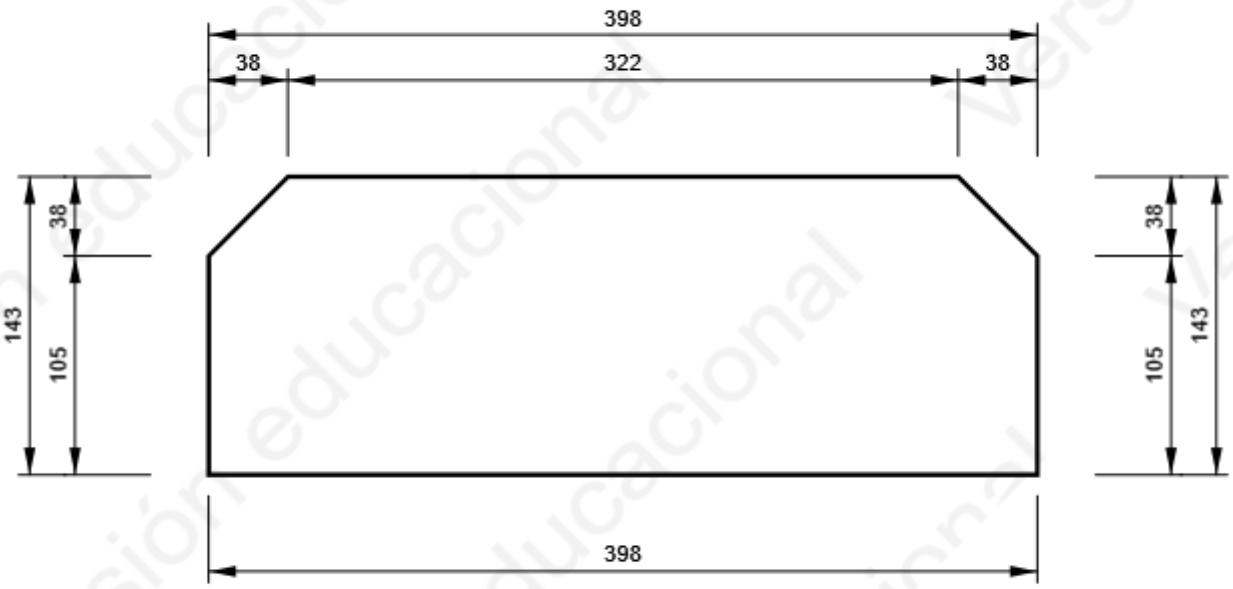
**P20.0x398-143 (A572 Gr.55)**




Versión educacional

## RIGIDIZAR2

**P20.0x398-143 (A572 Gr.55)**



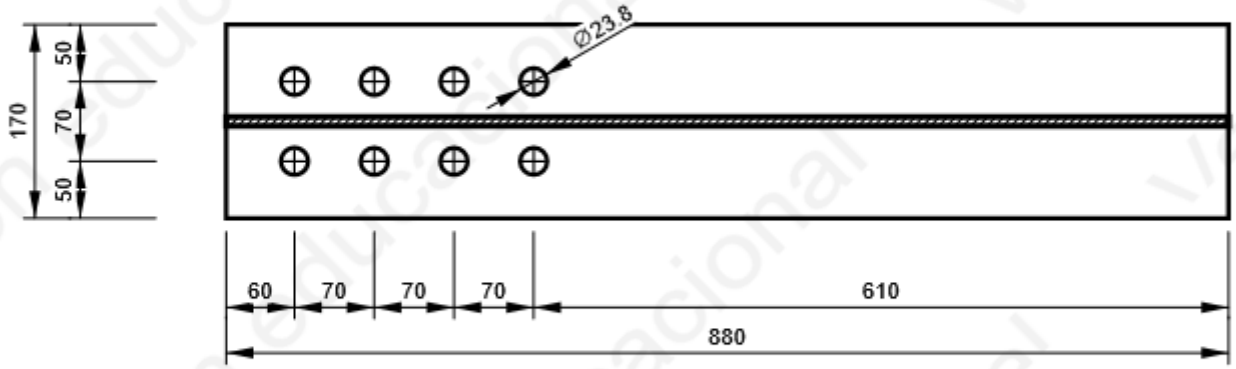

Versión educacional

## SP 1

**P10.0x358-398 (A572 Gr.50)**

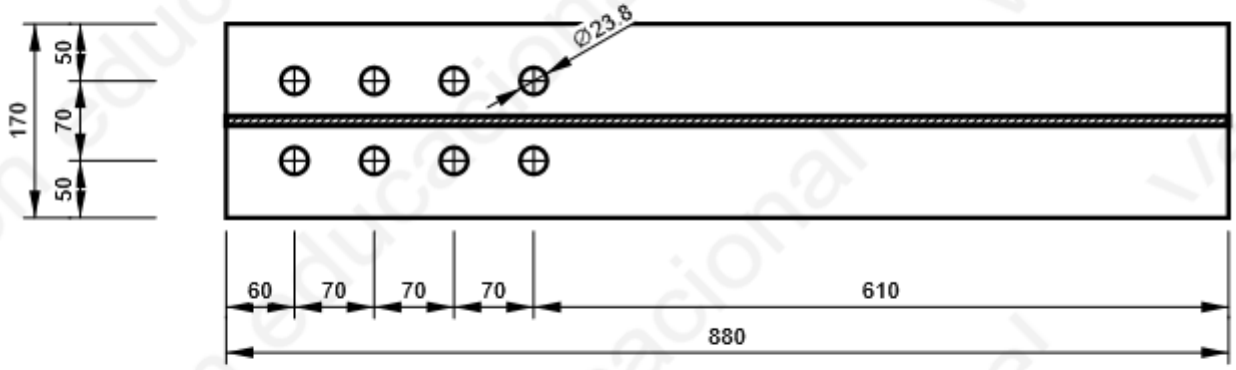
Versión educacional

## B, IPE360 - Ala inferior 1:




Versión educacional

## B, IPE360 - Ala superior 1:




Versión educacional

## B, IPE360 - Alma 1:

## Explicación del símbolo

| Símbolo | Explicación del símbolo |
|---|---|
| $\varepsilon_{Pl}$ | Deformación |
| $f_y$ | Límite elástico |
| $\varepsilon_{lim}$ | Límite de la deformación plástica |
| $F_t$ | Fuerza de tracción |
| V | Resultante de las fuerzas cortantes Vy, Vz en el tornillo. |
| $\phi Rn_{Portante}$ | Resistencia al aplastamiento de la placa AISC 360-10 J3.10 |
| Ut | Utilización |
| $Ut_s$ | Utilización a cortante |
| $Ut_{ts}$ | Utilización a tensión y cortante EN 1993-1-8 tabla 3.4 |
| $\phi Rn_{Portante}$ | Resistencia a aplastamiento de la chapa provocado por el tornillo |
| $\phi Rn_{Cortante}$ | Resistencia de los tornillos a cortante, según AISC 360-16 tabla J3.2 |
| $T_h$ | Espesor de garganta de soldadura |
| $L_s$ | Tamaño de la soldadura |
| L | Longitud de la soldadura |
| $L_c$ | Longitud del elemento de soldadura crítico |
| $F_n$ | Fuerza en el elemento crítico de la soldadura |
| $\phi Rn_w$ | Resistencia de la soldadura, AISC 360-10 J2.4 |

## Configuración de la norma

| Ítem | Valor | Unidad | Referencia |
|---|---|---|---|
| Coeficiente de fricción - hormigón | 0.40 | - | ACI 349 – B.6.1.4 |
| Coeficiente de fricción en la resistencia a deslizamiento | 0.30 | - | AISC 360-16 – J3.8 |
| Deformación plástica límite | 0.05 | - | |
| Evaluación de la tensión de la soldadura | Redistribución plástica | | |
| Detallado | No | | |
| Distancia entre tornillos [d] | 2.66 | - | AISC 360-16 – J3.3 |
| Distancia entre tornillos y el borde [d] | 1.25 | - | AISC 360-16 – J.3.4 |
| Resistencia al arrancamiento del cono de hormigón | Sí | | |
| Resistencia del metal base en la cara de fusión de la soldadura | No | | AISC 360-16 – J2-2 |
| Hormigón fisurado | Sí | | ACI 318-14 – Chapter 17 |
| Comprobación de la deformación local | No | | |
| Deformación límite local | 0.03 | - | CIDECT DG 1, 3 - 1.1 |
| No linealidad geométrica (GMNA) | Sí | | Grandes deformaciones para secciones huecas |
| Braced system | No | | |

**AUTORIZACION DE PUBLICACION EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL**

Nosotros, **Bolívar Xavier Tapia Fajardo** portador de la cédula de ciudadanía Nº 0105356380 y **Christian Xavier Arbito Iñiguez** portador de la cédula de ciudadanía Nº 0104987086. En calidad de autor/a y titular de los derechos patrimoniales del trabajo de titulación **"ANÁLISIS POR DESEMPEÑO SISMICO EN SISTEMAS DE PORTICOS ESPECIALES A MOMENTO (acero) USANDO DIFERENTES TIPOLOGIAS DE CONEXIÓNES"** de conformidad a lo establecido en el artículo 114 Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, reconozco a favor de la Universidad Católica de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos, Así mismo; autorizo a la Universidad para que realice la publicación de éste trabajo de titulación en el Repositorio Institucional de conformidad a lo dispuesto en el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 08 de diciembre de 2020

F: .....
Bolívar Xavier Tapia Fajardo
0105356380

F: .....
Christian Xavier Arbito Iñiguez
0104987086