



UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE CUENCA

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA,
INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN**

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**ANÁLISIS TENSO DEFORMACIONAL DE UN PÓRTICO
ESPECIAL A MOMENTO CON CONEXIONES RBS**

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

AUTOR: STALIN PAUL MANTILLA SUIN

DIRECTOR: ING. MSC. JUAN BARBECHO CHUISACA

CUENCA-ECUADOR

2023

DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

**UNIDAD ACADÉMICA INGENIERÍA, INDUSTRIA
Y CONSTRUCCIÓN**

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**ANÁLISIS TENSO DEFORMACIONAL DE UN PÓRTICO ESPECIAL
A MOMENTO CON CONEXIONES RBS**

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

AUTOR: STALIN PAUL MANTILLA SUIN

DIRECTOR: ING. MSC. JUAN BARBECHO CHUISACA

CUENCA - ECUADOR

2023

DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO

Declaratoria de Autoría y Responsabilidad

Stalin Paul Mantilla Suin portador de la cédula de ciudadanía N° 1105645236. Declaro ser el autor de la obra: "Análisis Tenso Deformacional de un pórtico especial a momento con conexiones RBS", sobre la cual me hago responsable sobre las opiniones, versiones e ideas expresadas. Declaro que la misma ha sido elaborada respetando los derechos de propiedad intelectual de terceros y eximo a la Universidad Católica de Cuenca sobre cualquier reclamación que pudiera existir al respecto. Declaro finalmente que mi obra ha sido realizada cumpliendo con todos los requisitos legales, éticos y bioéticos de investigación, que la misma no incumple con la normativa nacional e internacional en el área específica de investigación, sobre la que también me responsabilizo y eximo a la Universidad Católica de Cuenca de toda reclamación al respecto.

Cuenca, 4 de mayo de 2023


F:
Stalin Paul Mantilla Suin
C.I.: 110564523-6

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Stalin Paul Mantilla Suin bajo mi supervisión.

F: 

Ing. Msc. Juan Barbecho Chuisaca

CI: 0104445929

DOCENTE - TUTOR

DEDICATORIA

Esta tesis está dedicada a:

A Dios quien ha sido mi guía, fortaleza y por guiarme a lo largo de este camino, ser el apoyo y fortaleza en aquellos momentos de dificultad y de debilidad.

A mis padres Gerardo Mantilla y Patricia Suin quienes con su amor, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir hoy un sueño más, gracias por inculcar en mí los valores, el ejemplo de esfuerzo y la valentía de no temer las adversidades porque ellos estarán conmigo siempre.

A mis hermanos Santiago y Fernando por su cariño y apoyo incondicional, durante todo este proceso, por estar conmigo en todo momento gracias.

A toda mi familia porque con sus oraciones, consejos y palabras de aliento hicieron de mí una mejor persona y de una u otra forma me acompañan en todos mis sueños y metas.

A todas las personas que me han apoyado y han hecho que este trabajo se realice con éxito en especial a aquellos que me abrieron las puertas y compartieron sus consejos o conocimientos.

Finalmente quiero dedicar esta tesis a todos mis amigos, por apoyarme cuando más los necesito, por extender su mano en momentos difíciles.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mis padres Gerardo Mantilla y Patricia Suin. A mis hermanos Fernando y Santiago; y, amigos que estuvieron presentes en este tiempo de estudio, en especial al Ing. Msc. Juan Barbecho Chuisaca nuestro tutor de trabajo de titulación quien me ha guiado con mucho profesionalismo.

Resumen

El proyecto de investigación trató de la comparación de un pórtico modelado en SAP2000 y ABAQUS. Para esto se comenzó con el prediseño de una estructura de 5 plantas con tres vanos por cada eje de cada piso. Luego del análisis estático, se extrajo el pórtico a analizar. Este pórtico está ubicado en la planta bajo del marco central. Seguidamente, se diseñó los elementos viga y columna del pórtico. Para esto se consideró las combinaciones de carga recomendadas por la Normativa Ecuatoriana de la construcción. Las columnas están compuestas por perfiles tipo HEB300 y trabajan al 78% de su capacidad. Las vigas prediseñadas y verificadas cumplen con un perfil IPE240 que trabaja al 53% de su capacidad. La capacidad de trabajo de la columna se optimizó debido a la iteración del modelo Push-Over Para obtener el comienzo del daño en la viga y no la columna. Estas vigas se trabajaron con la RBS. La sección RBS tiene una profundidad de 20mm con una longitud de 170mm, ubicada a 75mm de la cara de la columna. En SAP2000 Se asigno las propiedades de la sección según lo indica en la normativa ASCE 41-13, mientras que en Abaqus se modelo la sección en el modelo. Finalmente, El análisis Push-Over en SAP2000 y ABAQUS consistió en cargar la estructura con un desplazamiento de 1m para observar su comportamiento. Este análisis nos concluyó con una variación del 4.22% en su cortante Basal y, 32.49% en su desplazamiento en el punto máximo de carga.

Palabras Clave: SAP2000, ABAQUS, Esfuerzos, Deformaciones, Giros

Abstract

The research project dealt with the comparison of a portal frame modeled in SAP2000 and ABAQUS. For this purpose, a 5-story structure with three spans for each axis of each floor was pre-designed. After the static analysis, the portal frame to be analyzed was extracted. This portal frame is located on the floor below the main frame. Next, the beam and column elements of the portal frame were designed. The load combinations recommended by the Ecuadorian Building Code were considered. The columns are made of HEB300 profiles and operate at 78% of their capacity. The beams, designed and verified in advance, correspond to an IPE240 profile that works at 53% of its capacity. The working capacity of the column was optimized by iterating the push-over model to obtain the onset of damage in the beam and not in the column. These beams were processed using the RBS (Royal Building System). The RBS section has a depth of 20mm and a length of 170mm, located 75mm from the column face. In SAP2000, the section properties were assigned according to the ASCE 41-13 standard, while in Abaqus, the section was modeled in the model. Finally, the push-over analysis in SAP2000 and ABAQUS consisted of loading the structure with a displacement of 1m to observe its behavior. This analysis concluded with a variation of 4.22% in basal shear and 32.49% in displacement at the maximum load point.

Keywords: SAP2000, ABAQUS, stresses, deformations, rotations

INDICE DE CONTENIDO

<i>Contenido de imágenes</i>	XI
Contenido de ilustraciones	XIII
1 Introducción.....	14
1.1 Planteamiento y delimitación del problema	14
1.2 Objetivos.....	16
1.2.1 GENERAL	16
1.2.2 ESPECÍFICOS.....	16
1.3 Justificación.....	16
2 Estado del Arte y Marco Teórico	18
2.1 Estado del Arte	18
2.1.1 Limites elásticos y plásticos	18
2.1.2 Análisis Sísmico por desempeño	18
2.1.3 Tipos de análisis	19
2.2 Marco Teórico	20
2.2.1 Deriva de Piso.....	20
2.2.2 Factor de reducción R.....	20
2.2.3 Pórtico Especial a momento	21
3 Materiales y Métodos	22
3.1 <i>Modelos Constitutivos de Materiales</i>	22
3.1.1 <i>Propiedades del Acero estructural</i>	22
3.1.2 <i>Ecuaciones para el Predimensionamiento del edificio</i>	23
3.1.3 <i>Prediseño de la conexión RBS</i>	26
3.2 <i>Modelado del pórtico en SAP2000</i>	26
3.2.1 Asignación de Cargas	27
3.3 <i>Diseño de los elementos estructurales</i>	30
3.3.1 <i>Elección del pórtico a analizar</i>	30
3.3.2 Cargas actuantes en la columna.....	31
3.3.3 Cargas Actuantes en Vigas	32
3.3.4 Verificación de capacidad nominal de los elementos más solicitados	33
3.4 <i>Análisis PUSH-OVER</i>	40
3.4.1 Asignación de las cargas gravitacionales no lineales	40
3.4.2 Asignación de las conexiones en los elementos estructurales	41
3.5 <i>Modelación de la conexión RBS y el pórtico resistente a momento en el software ABAQUS</i>	43
3.5.1 <i>Configuración de materiales y Geometría de los elementos</i>	43
4 Resultados.....	52
4.1 <i>Resultados de Capacidades de elementos en SAP2000</i>	52

4.2	Resultado del modelo Push-Over y Espectros de diseño del marco en SAP2000.....	53
4.2.1	Curva de capacidad del modelo PUSH-OVER	53
4.3	<i>Resultados del modelo del pórtico en ABAQUS</i>	58
4.3.1	Esfuerzos producidos por el desplazamiento.....	58
4.3.1	Cortantes Basales producidas por el desplazamiento	63
4.4	Comparación de las curvas de capacidad del marco en SAP2000 y ABAQUS	64
4.5	Comparación de Rotaciones de la conexión RBS	66
5	Conclusiones y recomendaciones.....	68
5.1	Capacidades de elementos en SAP2000.....	68
5.2	Modelo PUSH-OVER y Espectros de diseño del marco en SAP2000.....	68
5.3	Pórtico en ABAQUS	69
5.4	Comparación de Curvas de capacidad.....	69
5.5	Generalidades	69
6	Recomendaciones	71
7	Bibliografía.....	71
8	ANEXOS.....	73

Contenido de imágenes

Ilustración 1 Niveles de desempeño (Aguiar, 2015)	19
Ilustración 2 Conexión RBS (AISC 358-10, 2010).....	22
Ilustración 3 Propiedades mecánicas del material A36 tomada de SAP2000	23
Ilustración 4 Sección ancho grueso patín (AISC 360-16, 2016)	24
Ilustración 5 Sección ancho grueso alma (AISC 360-16, 2016)	24
Ilustración 6 Momento nominal para elementos a flexión (AISC 360-16, 2016)	25
Ilustración 7 Sección ancho grueso patín (AISC 360-16, 2016)	25
Ilustración 8 Sección ancho grueso alma (AISC 360-16, 2016)	25
Ilustración 9 Relación ancho grueso para elementos a compresión (Alma) (AISC 360-16, 2016).....	26
Ilustración 10 Ecuaciones para el Predimensionamiento de la sección reducida Eq 5.8-1, 5.8-2 y 5.8-3 (AISC 358-10, 2010)	26
Ilustración 11 Configuración del edificio en SAP2000.....	27
Ilustración 12 Edificio Modelado en SAP2000.....	27
Ilustración 13 Cargas de Viento del edificio en KN en SAP2000.....	28
Ilustración 14 Cargas aplicadas del 1 al 4to piso en SAP2000.....	29
Ilustración 15 Cargas aplicadas en el último piso en SAP2000	29
Ilustración 16 Asignación del espectro de respuesta en SAP2000	30
Ilustración 17 elección del pórtico más solicitado en función de las cargas establecidas en SAP2000.....	31
Ilustración 18 Cargas axiales en columnas (KN)	32
Ilustración 19 Momentos (kN*m) y cortantes (kN) en columnas	32
Ilustración 20 Momentos (kN*m) y cortantes (kN) en vigas principales.....	33
Ilustración 21 Comprobación a compresión Axial de la columna HEB200.....	34
Ilustración 22 Comprobación a Flexión de la columna HEB200	34
Ilustración 23 Comprobación de la combinación de cargas y, cortante de la columna HEB200.....	35
Ilustración 24 Análisis Push-Over Con una Columna HEB200.....	35
Ilustración 25 Comprobación a compresión axial de la columna HEB300.....	36
Ilustración 26 Comprobación a flexión de la columna HEB300.....	37
Ilustración 27 Comprobación de la combinación de cargas y, cortante de la columna HEB300.....	37
Ilustración 28 Comprobación a flexión de la viga IPE240.....	39
Ilustración 29 Comprobación a cortante de la viga IPE240	39
Ilustración 30 nomenclatura de diseño RBS (AISC 358-10, 2010).....	40
Ilustración 31 Cargas Aplicadas al pórtico.....	40
Ilustración 32 Asignación de las CGNL en SAP2000.....	41
Ilustración 33 Asignación de conexiones en la Columna de acero en SAP2000	41
Ilustración 34 Capacidad Momento Rotación de la RBS en SAP2000	42
Ilustración 35 Configuración del modelo Push-Over en SAP2000	42
Ilustración 36 Modelo Extruido de la sección HEB300 en ABAQUS	43
Ilustración 37 Modelo Extruido de la sección IPE240 en ABAQUS.....	44
Ilustración 38 Modelado del corte de la sección reducida en la viga IPE240 en ABAQUS	44
Ilustración 39 Ubicación de particiones de los elementos en ABAQUS.....	45
Ilustración 40 Asignación del material A36.....	45
Ilustración 41 Ensamblaje del pórtico en ABAQUS	46
Ilustración 42 Creación del caso de análisis del modelo en ABAQUS	46
Ilustración 43 Interacción Columna-Viga en ABAQUS	47
Ilustración 44 interacción de cuerpo rígido de la viga donde se colocará el desplazamiento lateral	47
Ilustración 45 interacción de cuerpo rígido de la base para colocar el empotramiento en ABAQUS.....	48
Ilustración 46 Restricción del desplazamiento en ABAQUS	49
Ilustración 47 Asignación del desplazamiento lateral del pórtico en ABAQUS.....	49
Ilustración 48 Mallado de los elementos estructurales del pórtico en ABAQUS.....	50
Ilustración 49 Configuración para la asignación de modelo de trabajo en ABAQUS.....	51

Ilustración 50 Grafico de curva de capacidad del modelo Push-Over en SAP2000.....	53
Ilustración 51 Nivel de desempeño del pórtico en SAP2000	54
Ilustración 52 Relación Capacidad del pórtico vs Espectro de diseño con un sismo muy raro en SAP 2000 (Suelo Tipo C).....	54
Ilustración 53 Curva de Capacidad del modelo en ABAQUS.....	63
Ilustración 54 Relación entre las curvas de capacidad del modelo en ABAQUS y el nivel de desempeño....	63
Ilustración 55 Relación de curvas de capacidad en ABAQUS y SAP2000.....	64
Ilustración 56 Relación de curvas de capacidad y nivel de desempeño	65
Ilustración 57 Comparación de las rotaciones de la sección RBS.....	67

Contenido de ilustraciones

Tabla 1 Derivas máximas de piso.....	20
Tabla 2 Propiedades mecánicas del acero ASTM A36	22
Tabla 3 Datos de entrada del modelo SAP2000	26
Tabla 4 Solicitaciones de la columna de diseño extraídas del modelo de SAP.....	31
Tabla 5 Solicitaciones máximas de las columnas.....	33
Tabla 6 Geometría del perfil HEB200.....	33
Tabla 7 Geometría del perfil HEB300.....	36
Tabla 8 Solicitaciones máximas de las vigas.....	37
Tabla 9 Geometría del perfil IPE240.....	38
Tabla 10 Límites del prediseño	39
Tabla 11 Diseño de la RBS	39
Tabla 12 Resumen de capacidad de la Columna HEB300	52
Tabla 13 Resumen de capacidad de la Viga IPE240	52
Tabla 14 Niveles de desempeño del pórtico	53
Tabla 15 Esfuerzos en SAP2000 en cada nivel de desempeño	56
Tabla 16 Steps en función del nivel del desempeño.....	58
Tabla 17 Esfuerzos en ABAQUS en cada nivel de desempeño	59
Tabla 18 Esfuerzos en ABAQUS en cada nivel de desempeño (Conexión RBS).....	61
Tabla 19 Análisis del nivel de desempeño de las capacidades en SAP2000 y ABAQUS.....	66
Tabla 20 Comparación de las rotaciones en los modelos	66

1 Introducción

1.1 Planteamiento y delimitación del problema

La presente investigación para titulación estará fundamentada en el análisis de un pórtico especial a momento. El trabajo consiste en la generación de una reducción en su sección usando las normas vigentes. Se considerará el método PUSH-OVER con el que se puede obtener el punto de desgaste de la sección. Para la selección de las secciones se hará un predimensionamiento con un modelo de edificio tomando en cuenta el pórtico central de la parte baja.

Con el análisis PUSH-OVER en SAP2000 se establecerá la deformación máxima que tiene el pórtico y, esta magnitud se la aplicará en el modelamiento de elementos finitos en el ABAQs FEM. Este modelamiento constará del análisis tenso-deformacional de la conexión RBS.

Esperamos que la sección plastifique en el punto reducido y así poder correlacionar los resultados obtenidos y determinar qué porcentaje de variación tiene cada uno. Esta investigación pretende ser un punto clave para el método de modelos finitos utilizando softwares actuales y poder verificar de una manera más técnica el funcionamiento de las conexiones en obras ingenieriles.

Cuando se estudia en las diferentes cátedras de acero en el pregrado, al igual que en la cátedra de análisis sísmo resistente. Estos se centran en la hipótesis de marcos sometidos a momento. De la misma manera cuando se aplica en softwares como el SAP2000, se inserta estas características de la conexión para posteriormente hacer un análisis PUSH-OVER.

Pero a pesar de todos estos instructivos brindados por docentes en las diferentes cátedras, la complejidad de un análisis de conexión, aplicabilidad en diferentes softwares y un criterio para la determinación de parámetros geométricos adecuados ha conllevado a generar interés sobre el tema y realizar esta línea de investigación.

Se investigará la formulación de la aplicación del método de modelos finitos en una conexión especial a momento utilizando la filosofía de estudio LRFD. Se necesita conocer este método PUSH OVER para poder determinar límites permisibles de deformaciones, límites máximos, esfuerzos admisibles,

esfuerzos máximos y esfuerzos de rotura. Además de esto se pretende determinar la carga máxima que plastificará la sección reducida.

Se requiere conocer como está actuando la carga lateral sobre nuestra conexión. La zona de esfuerzos que se diseña versus la zona que en realidad está actuando es complicado de determinar con un análisis rápido en softwares estructurales. Cuando se tiene una sección reducida, se espera que los esfuerzos y las deformaciones deben comenzar en el punto medio de esta conexión especial a momento. Pero en algunos casos esta verificación no se la realiza y en casos donde la construcción no es la adecuada. Las deformaciones comienzan a afectar la columna y esto provoca que el trabajo de nuestra conexión sea ineficiente.

La aplicación del SAP2000 para conexiones especiales a momento es un tema abordado por la catedra de diseño Sismorresistente; pero, la profundización de la aplicación de las conexiones especiales a momento es un tema clave para la vida practica ya que nos brindara un enfoque muy acertado del trabajo que realizan estos elementos.

Cuando se investiga la aplicación de modelos finitos en softwares actuales, se piensa en ABAQS. Aplicar el modelo es un tema complejo a nivel de pregrado y el estudio para nuestro análisis es esencial y un punto determinante para comprender el comportamiento de la conexión.

El estado de análisis terminará cuando correlacionemos los datos obtenidos mediante los diferentes resultados computacionales. El método contara del Predimensionamiento de los elementos así mismo como su conexión; luego de esto, el modelo computacional comprendido por el programa SAP200 y ABAQUS determinara las deformaciones, desplazamientos y esfuerzos máximos.

1.2 Objetivos

1.2.1 GENERAL

- Estudiar comportamiento tenso-deformacional de un pórtico especial a momento provisto con conexiones RBS mediante la construcción de modelos numéricos

1.2.2 ESPECÍFICOS

- Diseñar un pórtico de acero (bajo cargas verticales) considerando la situación de diseño de un pórtico del nivel inferior de un edificio de 5 pisos
- Realizar el análisis PUSH-OVER sobre pórtico especial a momento con conexiones RBS en el programa SAP2000
- Comparar de los resultados de las modelaciones en ABAQs FEM y SAP2000, mediante las curvas de capacidad obtenidas en ambos programas.

1.3 Justificación

Esta investigación de titulación se enfocará principalmente en realizar las evaluaciones de las conexiones resistentes a momento de un pórtico. Esto servirá de ayuda en la carrera profesional para entender de una manera más clara cómo funcionan las conexiones de acero y su uso adecuado en la construcción. Se empleará herramientas como el SAP2000 y el ABAQS FEM que permitirá detallar esta conexión y observar cómo se comporta. El ABAQS FEM si bien no es una herramienta comúnmente utilizada en la vida profesional, va a ser una ayuda trascendental en la caracterización de modelos FEM los mismos que presentan un alto nivel de complejidad en su cálculo. Por otro lado, el SAP2000 servirá de apoyo posteriormente en la vida profesional pudiendo así asignar de manera correcta una conexión a un modelo real.

Se pretende que el trabajo quede como un punto de referencia para estudiantes y docentes que quieran comprender de mejor manera como función las conexiones de acero resistentes a momento. La falta de profundización en conexiones especiales a momento mediante normativas vigentes, es la razón de querer dejar conceptos claros y precisos de ese cálculo además de la inclusión a los softwares antes mencionados.

Los análisis de conexiones es un tema amplio para un Ingeniero Civil, ya que al tener construcciones de mayor envergadura no se está muy capacitado para poder diseñar estos elementos. En esta

investigación se fundamentará temas que posteriormente ayudaran a tener un mejor criterio en el proceso de profesionalización.

2 Estado del Arte y Marco Teórico

2.1 Estado del Arte

2.1.1 Límites elásticos y plásticos

Los límites elásticos y plásticos tienen fundamentales conceptos en cuanto a su comportamiento. Cuando los elementos se encuentran en un estado elástico, los elementos se deforman aplicando una carga y, al retirarla el elemento regresa a su estado natural. En cambio, en los estados plásticos al retirar la carga, el elemento no regresa a su posición original. (Pere, 2006)

2.1.2 Análisis Sísmico por desempeño

Este método consiste en visualizar el desempeño de una estructura a través de niveles de operación que tiene la misma. Los niveles de desempeño son los siguientes: (Aguiar, 2015)

Operacional: Se define como operacional cuando la estructura permanece en condiciones normales para su uso. En este nivel se esperan daños leves en la estructura y, entra en funcionamiento inmediatamente. (Aguiar, 2015)

Inmediatamente ocupacional: No se detecta daño significativo ya que la estructura se mantiene su resistencia luego del evento sísmico. La estructura debe tener pequeños arreglos. (Aguiar, 2015)

Seguridad de vida: Se presentan daños significativos en los elementos. La resistencia y rigidez de estos se ven afectadas mínimamente. Los elementos siguen en su etapa de funcionamiento a pesar del daño que tienen. Luego del evento sísmico se debe reparar los elementos y reforzarlos para su posterior funcionamiento. (Aguiar, 2015)

Prevención de Colapso: Daño considerable estructural y también no estructural. Existe una pérdida considerable de la resistencia al igual que su rigidez. Este punto está muy cercano al colapso de la estructura. (Aguiar, 2015)

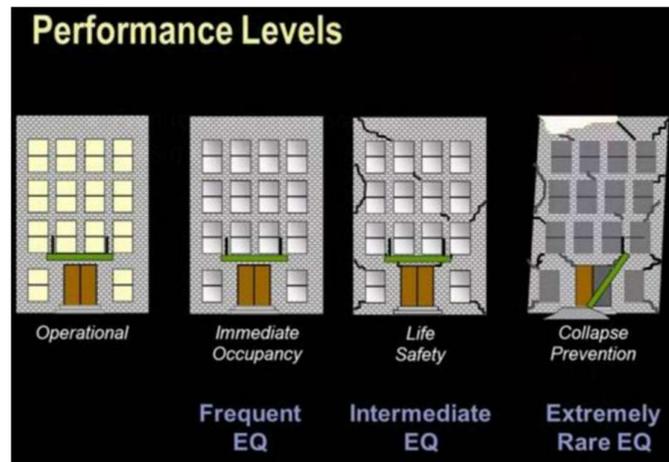


Ilustración 1 Niveles de desempeño (Aguar, 2015)

2.1.3 Tipos de análisis

2.1.3.1 Análisis PUSH-OVER

El análisis estático no lineal conocido como PUSH-OVER es aquel que debido a una fuerza lateral produce daño a la estructura. Estos valores se analizan con la deriva de piso que existe únicamente en el primer modo de vibración, ya que la fuerza lateral equivalente es asumida por toda la masa de la estructura. (Fernandez & Subía, 2014)

El análisis PUSH-OVER consiste en someter un desplazamiento lateral a un sistema estructural. Este desplazamiento en modelos computacionales indica el nivel de daño progresivo sometido en las conexiones. Una vez concluido el desplazamiento se analiza los diferentes puntos de desplazamiento que tuvo la estructura, para esto se observara la curva de capacidad de la estructura. (Valencia, 2012)

Una curva de capacidad se define como la relación que existe entre la resistencia a la carga lateral de una estructura y su desplazamiento lateral característico. Típicamente se obtiene por medio de un análisis estático no lineal, conocido en la literatura inglesa como análisis Push-Over. (López, 2003)

2.1.3.2 Análisis por elementos finitos

Este método determina el comportamiento de una estructura sometida a acciones exteriores, sustituyendo la solución continua y exacta de las ecuaciones diferenciales que expresan el equilibrio de un elemento diferencial genérico por una solución discontinua o discreta; y, por tanto, aproximada. Si el objetivo de un diseño es analizar la estructura con el comportamiento real de la misma a las cargas

aplicadas, el mejor método es el de elementos finitos. Estos elementos permiten analizar de una manera discretizada los puntos reales de fallas (López, 2003)

2.2 Marco Teórico

2.2.1 Deriva de Piso

Es conocida como el desplazamiento lateral de un pórtico debido a una carga horizontal. Este valor es adimensional ya que es la relación matemática entre la altura del piso dividido para el desplazamiento lateral del piso. (NEC, 2015b)

Según el Comité VISION 2000, las derivas máximas admisibles según su nivel de desempeño son las siguientes:

Tabla 1 Derivas máximas de piso

Fuente: VISION 2000

Operacional	Inmediatamente ocupacional	Seguridad de vida	Prevención de Colapso	Colapso
<0.2%	<0.6%	<1.5%	<2.5%	>2.5%

Por otra parte, se analizarán las derivas inelásticas, estas derivas son aquellas que pasaron el límite de fluencia y están trabajando en el rango plástico. Para esto se debe considerar el factor de Reducción R y el desplazamiento obtenido por fuerzas laterales. (NEC, 2015c)

Para el cálculo de esta, se deben utilizar las siguientes consideraciones:

- Deflexiones debidas a efectos traslacionales
- Efectos de segundo orden

2.2.2 Factor de reducción R

El factor R reduce las fuerzas sísmicas de diseño, esto permite que las estructuras y sus conexiones puedan desarrollar un mecanismo de falla previsible y con adecuada ductilidad, donde el daño se concentre en elementos puntuales para funcionar como rótulas plásticas. (NEC, 2015c)

2.2.3 Pórtico Especial a momento

Los pórticos resistentes a cargas laterales son aquellos sistemas compuestos de elementos estructurales que llevan las cargas horizontales que se producen en una edificación, y llevarlas hacia el terreno a través de los elementos de fundición.

Las cargas horizontales pueden ser provocadas por: Viento, sismos, empujes de terreno o agua, acciones accidentales como explosiones, etc. Además de esto, Estos pórticos distribuyen los esfuerzos internos horizontales generados por las cargas verticales en el sistema. A continuación, se hablará de los pórticos estudiados en el tema de titulación.

Los pórticos resistentes a momento son aquellos que, por su configuración, resisten las cargas laterales a través de la fluencia por flexión en las vigas. Las columnas son diseñadas para que sean más fuertes que las vigas, teniendo como principio fundamental la plasticidad en los elementos tipo vigas mientras que, las columnas se encuentran en el rango elástico. (AISC 341-16, 2016)

Para que el pórtico sea considerado como resistente a momento se realizara conexiones RBS (Viga de Sección Reducida). Estas conexiones son del tipo Viga-Columna en acero estructural. Estas conexiones están precalificadas. La característica fundamental es la reducción que se realiza en los patines de la viga. Este recorte pretende que los esfuerzos en la sección reducida superen la fluencia para amortiguar las cargas laterales. (AISC 358-10, 2010)

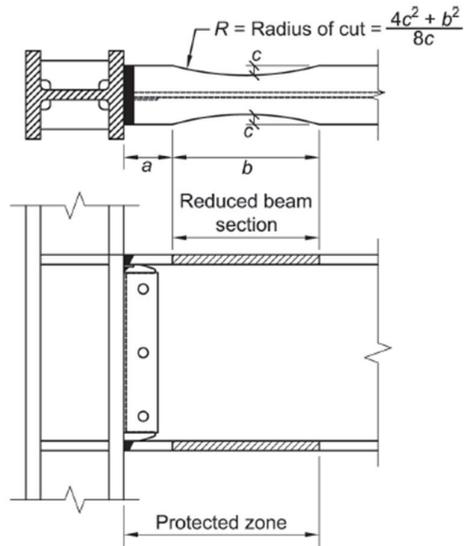


Ilustración 2 Conexión RBS (AISC 358-10, 2010)

3 Materiales y Métodos

3.1 Modelos Constitutivos de Materiales

Para los modelos constitutivos de los materiales nos basaremos principalmente en las propiedades del acero estructural.

3.1.1 Propiedades del Acero estructural

El acero estructural utilizado para el modelo será el ASTM A36, el cual cuenta con las siguientes características:

Tabla 2 Propiedades mecánicas del acero ASTM A36

Límite de fluencia (Fy)	36ksi (250MPa)
Límite ultimo (Fu)	58ksi (400MPa)
% Alargamiento	20%
Módulo de Elasticidad (E)	200GPa

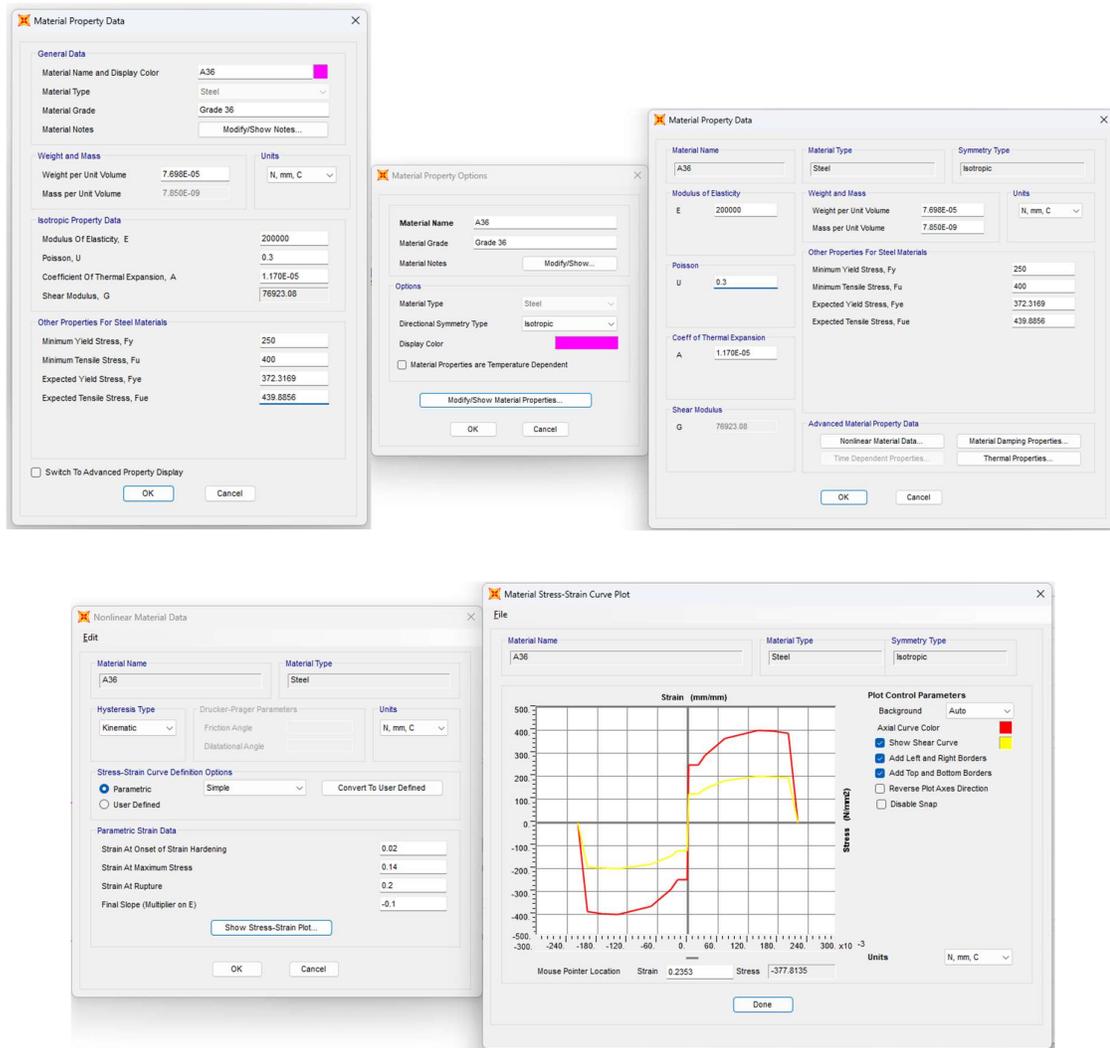


Ilustración 3 Propiedades mecánicas del material A36 tomada de SAP2000

3.1.2 Ecuaciones para el Predimensionamiento del edificio

3.1.2.1 Elementos Vigas

La primera verificación que se analizará es los requerimientos mínimos del peralte de la viga. Para esto se tomará la predimensión de $L/25$ descrita en la (AISC 360-16, 2016). Seguidamente de esto, se escogerá un perfil comercial en la zona y se procederá a la verificación del modelo.

Para las vigas con sección reducida se consideró la tabla 9-4 de la normativa (ASCE/SEI, 2013). En este apartado nos indica las capacidades momento curvatura que tiene la sección RBS en función del perfil escogido

Para la verificación del Predimensionamiento de los elementos de vigas se utilizarán las siguientes ecuaciones:

Para la elección del perfil:

Relación Ancho Grueso para elementos sometidos a flexión (patín)

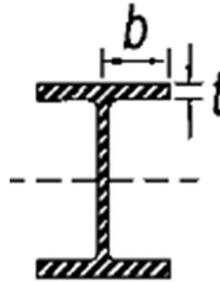


Ilustración 4 Sección ancho grueso patín (AISC 360-16, 2016)

$$0.38 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad \lambda_p \text{ relación ancho grueso (Patín) (AISC 360-16, 2016)}$$

$$1 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad \lambda_r \text{ relación ancho grueso (Patín) (AISC 360-16, 2016)}$$

Relación Ancho Grueso para elementos sometidos a flexión (alma):

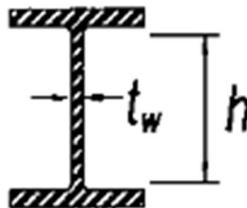


Ilustración 5 Sección ancho grueso alma (AISC 360-16, 2016)

$$3.76 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad \lambda_p \text{ relación ancho grueso (Alma) (AISC 360-16, 2016)}$$

$$5.70 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad \lambda_r \text{ relación ancho grueso (Alma) (AISC 360-16, 2016)}$$

Momento nominal elementos a flexión:

$$M_n = C_b \left[M_p - (M_p - 0.7F_y S_x) \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \leq M_p$$

Ilustración 6 Momento nominal para elementos a flexión (AISC 360-16, 2016)

3.1.2.2 Elementos Columnas

Para el Predimensionamiento y verificación de los elementos de columnas se utilizarán las siguientes ecuaciones:

Para la elección del perfil

Relación Ancho Grueso para elementos sometidos a compresión (patín):

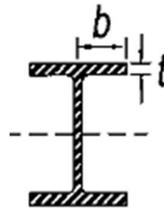


Ilustración 7 Sección ancho grueso patín (AISC 360-16, 2016)

$$0.32 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad \lambda h d \text{ relación ancho grueso (Patín) (AISC 360-16, 2016)}$$

$$0.40 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad \lambda h d \text{ relación ancho grueso (Patín) (AISC 360-16, 2016)}$$

Relación Ancho Grueso para elementos sometidos a compresión (alma):

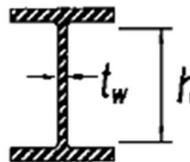


Ilustración 8 Sección ancho grueso alma (AISC 360-16, 2016)

For $C_a \leq 0.114$ $2.57 \sqrt{\frac{E}{R_y F_y}} (1 - 1.04 C_a)$	For $C_a \leq 0.114$ $3.96 \sqrt{\frac{E}{R_y F_y}} (1 - 3.04 C_a)$
For $C_a > 0.114$ $0.88 \sqrt{\frac{E}{R_y F_y}} (2.68 - C_a)$	For $C_a > 0.114$ $1.29 \sqrt{\frac{E}{R_y F_y}} (2.12 - C_a)$
$\geq 1.57 \sqrt{\frac{E}{R_y F_y}}$	$\geq 1.57 \sqrt{\frac{E}{R_y F_y}}$

Ilustración 9 Relación ancho grueso para elementos a compresión (Alma) (AISC 360-16, 2016)

Capacidad a Compresión nominal:

$$P_n = F_{cr} A_g \text{ Capacidad nominal a compresión (AISC 360-16, 2016)}$$

3.1.3 Prediseño de la conexión RBS

$$\text{Eq. 3.1.3-1} \quad 0.5b_{bf} \leq a \leq 0.75b_{bf}$$

$$\text{Eq. 3.1.3-2} \quad 0.65d \leq b \leq 0.85d$$

$$\text{Eq. 3.1.3-3} \quad 0.1b_{bf} \leq c \leq 0.25b_{bf}$$

Ilustración 10 Ecuaciones para el Predimensionamiento de la sección reducida Eq 5.8-1, 5.8-2 y 5.8-3 (AISC 358-10, 2010)

3.2 Modelado del pórtico en SAP2000

Los datos de entrada para la predimensión de los elementos estructurales fue la siguiente:

Tabla 3 Datos de entrada del modelo SAP2000

Número de pisos	5.00
Numero de vanos en el eje x-x	3
Numero de vanos en el eje y-y	3
Altura de Columnas	3m
Longitud de Vigas	6m
Cantidad de vigas secundarias	3

En la ilustración 11 y 12, se muestra el ingreso de la geometría general del edificio

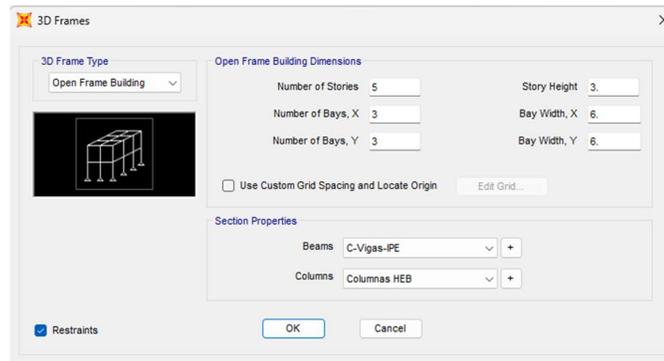


Ilustración 11 Configuración del edificio en SAP2000

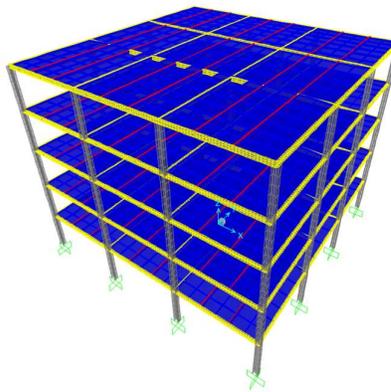


Ilustración 12 Edificio Modelado en SAP2000

Los materiales utilizados para el modelo fueron: Hormigón Armado de 250kgf/cm² para la losa y Acero A36 para los elementos estructurales Ver Ilustración 3.

Las cargas para el análisis de resistencia de los diferentes tipos de elementos fueron tomadas de (NEC, 2015a) en el apartado 3.4.1 y 3.4.3-a.

3.2.1 Asignación de Cargas

Para la asignación de cargas gravitacionales fueron tomadas de la (NEC, 2015a). Considerando que la ocupación del edificio es una Residencia.

3.2.1.1 Cargas de viento

Las cargas de viento fueron calculadas según lo que dicta la norma (NEC, 2015a) en el apartado 3.2.4 las cuales se muestran a continuación (Ilustración 13).

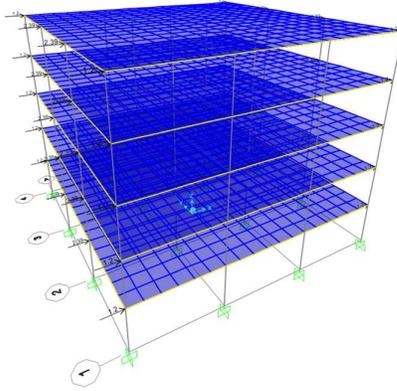


Ilustración 13 Cargas de Viento del edificio en KN en SAP2000

3.2.1.2 Cargas Vivas, granizo, cargas muertas

Para las cargas vivas como se mencionó anteriormente en el apartado 11.1.1. La ocupación del edificio es residencial. Por lo cual las cargas vivas de granizo y muertas corresponden a esta ocupación. Las cargas muertas se consideraron en función del peso propio de los elementos y; además de esto, una sobrecarga debido a un cielo raso de yeso (0.2kN/m^2) y un entrepiso de baldosa de cerámica (0.66kN/m^2) en 3cm de espesor. El granizo está considerado en una acumulación de 5cm. La carga viva es de 2kN/m^2 y la carga de cubierta es de 0.7kN/m^2 para mantenimiento. Todos estos datos fueron tomados de la (NEC, 2015a).

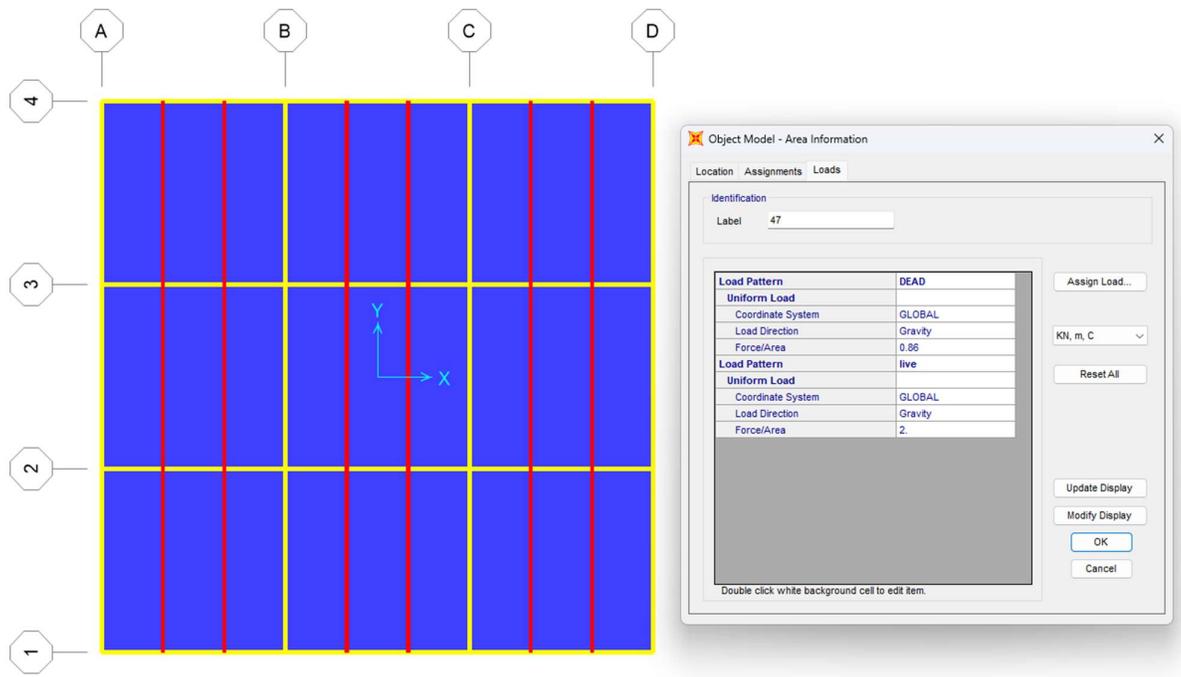


Ilustración 14 Cargas aplicadas del 1 al 4to piso en SAP2000

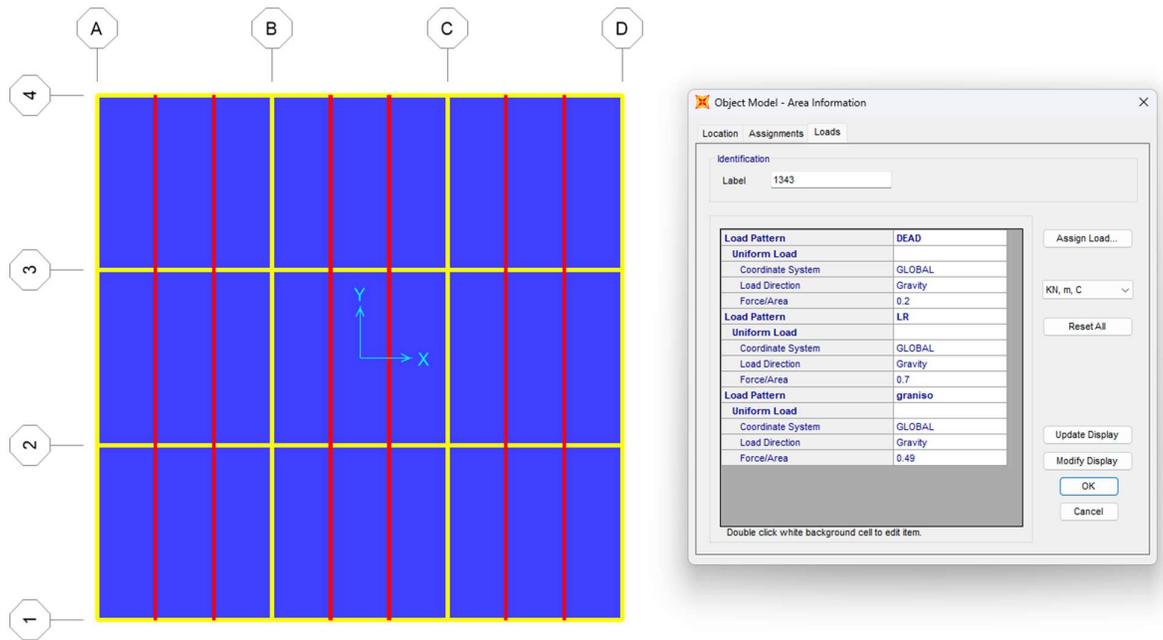


Ilustración 15 Cargas aplicadas en el último piso en SAP2000

3.2.1.3 Espectro de diseño

Para el espectro de diseño se utilizó el correspondiente a Cuenca en función del suelo tipo C para el sismo raro (NEC, 2015b).

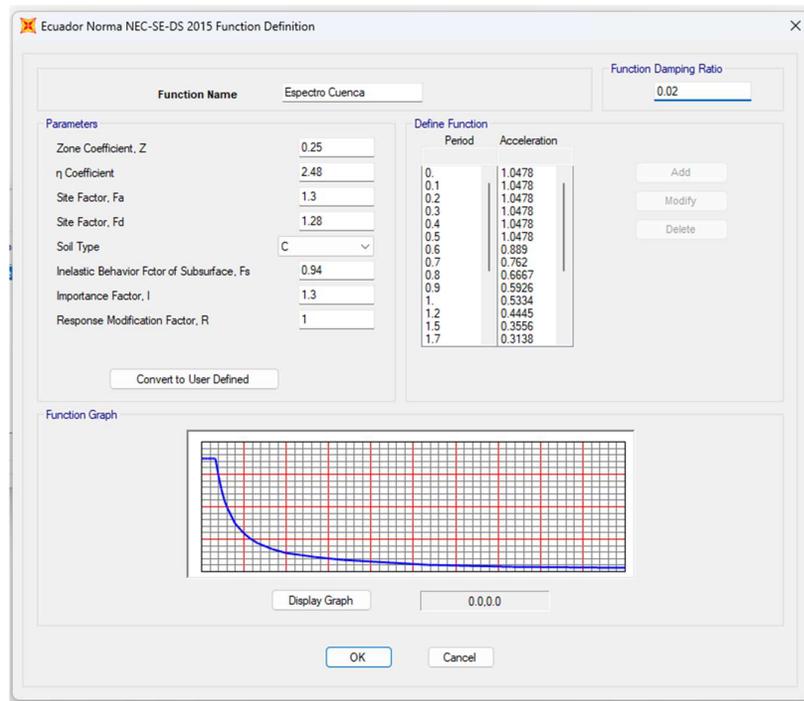


Ilustración 16 Asignación del espectro de respuesta en SAP2000

Para los posteriores análisis se utilizará distintos valores de Z y suelo para acercarse a todas las solicitaciones sísmicas.

3.3 *Diseño de los elementos estructurales*

3.3.1 *Elección del pórtico a analizar*

Para el pórtico a analizar se tomó el más solicitado con las combinaciones estipuladas por las normas. Se considerará el momento más alto con el axial más pequeño. Esto se debe a que si la carga axial es alta no hay un equilibrio entre estos esfuerzos y se llegan a equilibrar (Ilustración 17):

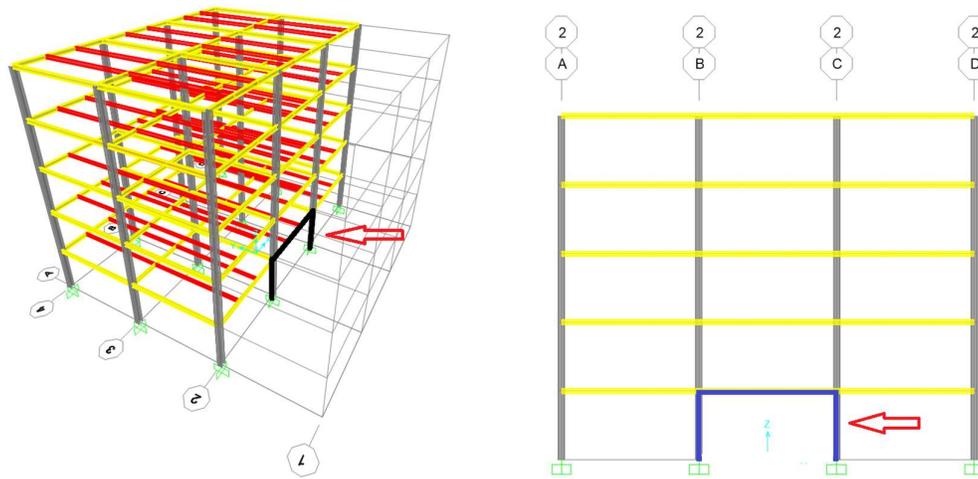


Ilustración 17 elección del pórtico más solicitado en función de las cargas establecidas en SAP2000

3.3.2 Cargas actuantes en la columna

Para análisis de los elementos se consideró las solicitaciones máximas De las combinaciones mencionadas anteriormente. Se tomará la que contenga el momento más alto con la carga axial más pequeña. El motivo se menciona en el apartado 3.3.1.

Tabla 4 Solicitaciones de la columna de diseño extraídas del modelo de SAP

Combinación	P	V2	M2	M3
	KN	KN	KN-m	KN-m
1.4D	-676.68	0.307	-0.1295	0.259
	-			
1.2D+1.6L+0.5Lr	1079.376	0.543	-0.2239	0.4587
1.2D+1.6Lr+L	-892.115	0.438	-0.1816	0.3699
1.2D+1W+L+0.5Lr	-892.115	0.438	-0.1816	0.3699
0.9D+W	-435.009	0.197	-0.0833	0.1665
1.2D+E+L+0.2S	-878.994	139.404	-0.1752	327.3881
0.9D+E	-421.888	139.164	-0.0769	327.1847

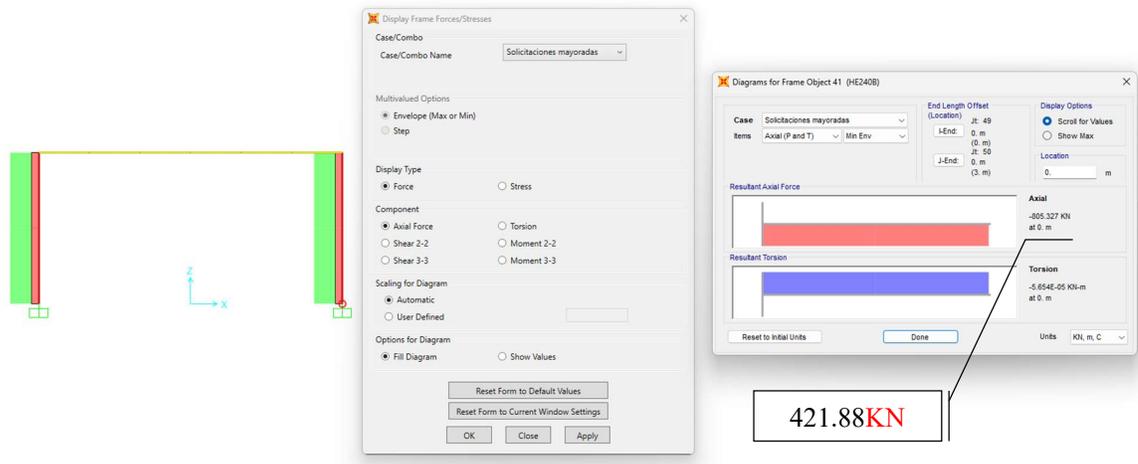


Ilustración 18 Cargas axiales en columnas (KN)

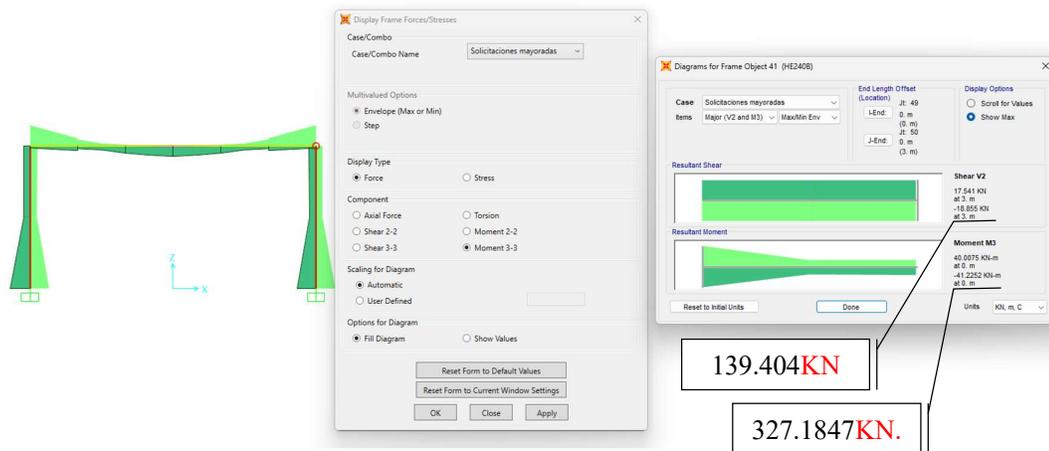


Ilustración 19 Momentos (kN*m) y cortantes (kN) en columnas

3.3.3 Cargas Actuantes en Vigas

Al igual que las columnas, las vigas se considera las solicitaciones ultimas en función de la envolvente.

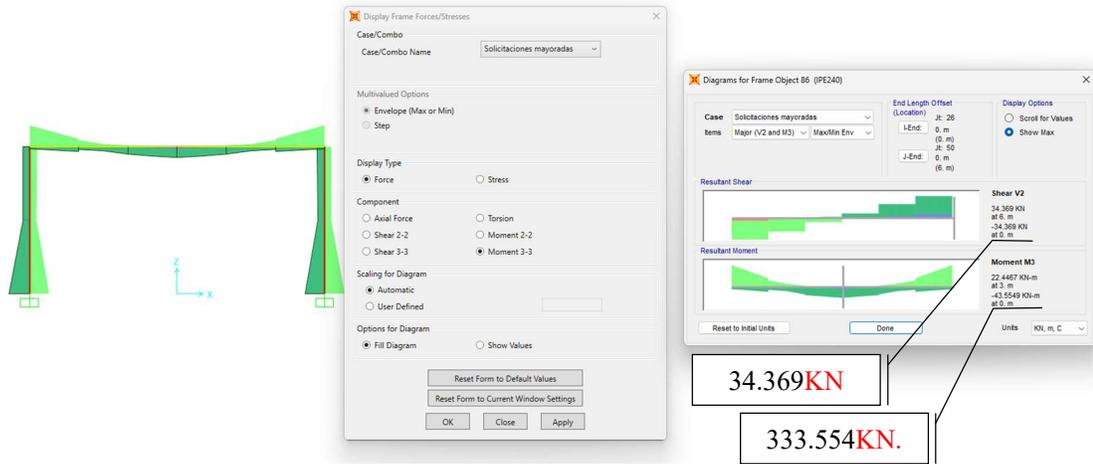


Ilustración 20 Momentos (kN*m) y cortantes (kN) en vigas principales

3.3.4 Verificación de capacidad nominal de los elementos más solicitados

3.3.4.1 Verificación de Columna

Datos:

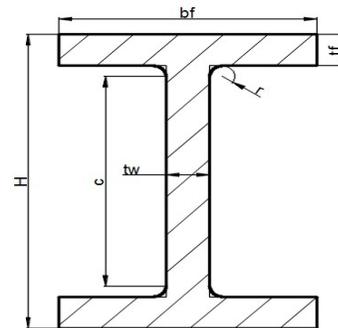
Tabla 5 Solicitaciones máximas de las columnas

Requerido, Red	
Ned	421.88 kN
Med	327.18 kN.m
Ved	139.164 kN

Perfil escogido: **HEB200**

Tabla 6 Geometría del perfil HEB200

DIMENSIONES	
bf(mm)	200
tf(mm)	15
tw(mm)	9
h(mm)	200
r(mm)	18
P(kg/m)	61.3
A(cm ²)	78.1



Wey(cm3)	569.7
Wez(cm3)	200.3
Wply(cm3)	642.6
Wplz(cm3)	305.8
iy(cm)	8.54
iz(cm)	5.07
Iz(cm4)	2003
Iy(cm4)	5697
J (cm4)	59.7

Comprobaciones:

Comprobación Axial					
Perfil:	HEB200				
Eje z			Eje y		
K	1.55		K	1.55	
Lz	3	m	Lz	3	m
rz	50.7	mm	rz	85.4	mm
Fe	234.66	N/mm2	Fe	665.79	N/mm2
Fcr	159.422	N/mm2	Fcr	212.351	N/mm2
Φ^*cPn	2732.26	kN	Φ^*cPn	3113.51	kN

Capacidad:	38%
------------	-----

Ilustración 21 Comprobación a compresión Axial de la columna HEB200

Como se puede observar en los cálculos anteriores (Ilustración 21) el perfil está trabajando al 72% de su capacidad total.

Comprobación a Flexión					
Perfil:	HEB200				
lb	3	m	Mmax	327.184	kNm
lp	2.53	m	Ma	327.184	kNm
lr	13.88	m	Mb	215.25	kNm
			Mc	85.63	kNm

Cb	1.4	
Mn	159.49	kNm
ΦMn	143.55	kNm
Capacidad:	228%	

Ilustración 22 Comprobación a Flexión de la columna HEB200

La columna a flexión está trabajando al 29%. Considerando que tiene vigas secundarias cada 3m (Ilustración 22).

Comprobación a Cortante y Carga Combinada				
Perfil:	HEB200			
Combinación de Carga		Cortante		
Pr	805.33	h/tw	14.89	
Pc	1120.58	Cv	1	
Pr/Pc	0.72	Aw	1800	mm ²
		ΦVn	268.066	kN

Capacidad:	52%	Capacidad:	36%
------------	-----	------------	-----

Ilustración 23 Comprobación de la combinación de cargas y, cortante de la columna HEB200

En la combinación de compresión más flexión se tiene un trabajo del 97% de su capacidad operacional. Y a cortante el 7%. Por lo cual no se necesita de atizadores transversales.

Luego de haber realizado el análisis estático no lineal se observó que la sección HEB200 realiza la rótula plástica antes que la RBS . En el comportamiento RBS lo que se busca obtener es la plasticidad de la viga antes que la columna. Por lo cual se iteró nuevamente dando como resultado una HEB300 para el diseño.

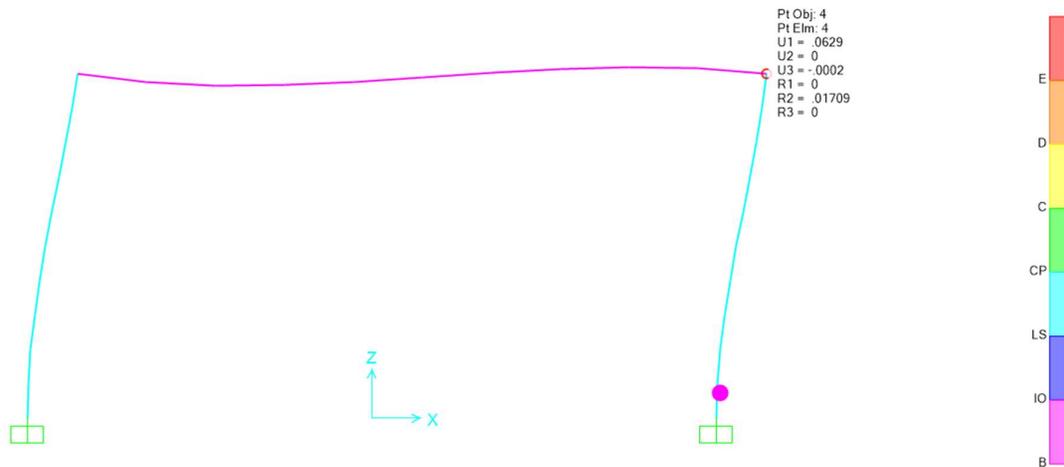


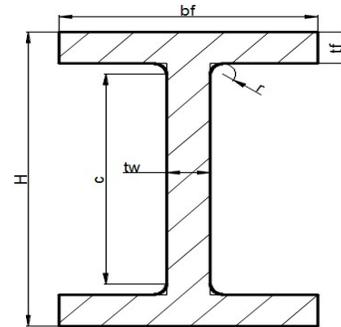
Ilustración 24 Análisis Push-Over Con una Columna HEB200

En la ilustración Anterior Podemos Observar el comienzo de falla con la columna HEB200 en un desplazamiento de 62mm; por lo cual, se optó por adoptar una sección más rígida

Perfil Escogido: HEB300

Tabla 7 Geometría del perfil HEB300

DIMENSIONES	
bf(mm)	300
tf(mm)	19
tw(mm)	11
h(mm)	300
r(mm)	27
P(kg/m)	117
A(cm ²)	149.1
Wey(cm ³)	1677.8
Wez(cm ³)	570.9
Wply(cm ³)	1868.8
Wplz(cm ³)	870.1
iy(cm)	12.99
iz(cm)	7.58
Iz(cm ⁴)	8563
Iy(cm ⁴)	25168
J (cm ⁴)	189.2



Comprobaciones:

Comprobación Axial						
Perfil:	HEB300					
	Eje z			Eje y		
K	1.55			K	1.55	
Lz	3	m		Lz	3	m
rz	75.8	mm		rz	129.9	mm
Fe	524.52	N/mm ²		Fe	1540.43	N/mm ²
Fcr	203.611	N/mm ²		Fcr	232.02	N/mm ²
Φ*cPn	2732.26	kN		Φ*cPn	3113.51	kN

Capacidad:	15%
-------------------	-----

Ilustración 25 Comprobación a compresión axial de la columna HEB300

Comprobación a Flexión					
Perfil:	HEB300				
lb	3	m	Mmax	327.18	kNm
lp	3.78	m	Ma	327.18	kNm
lr	17.64	m	Mb	215.25	kNm
			Mc	85.63	kNm

Cb	1.4	
Mn	463.85	kNm
ΦMn	417.47	kNm
Capacidad:	78%	

Ilustración 26 Comprobación a flexión de la columna HEB300

Comprobación a Cortante y Carga Combinada					
Perfil:	HEB300				
Combinación de Carga			Cortante		
Pr	805.33		h/tw	18.91	
Pc	2732.26		Cv	1	
Pr/Pc	0.29		Aw	3300	mm ²
			ΦVn	491.45	kN

Capacidad:	86%	Capacidad:	28%
-------------------	-----	-------------------	-----

Ilustración 27 Comprobación de la combinación de cargas y, cortante de la columna HEB300

3.3.4.2 Verificación de Vigas

Datos:

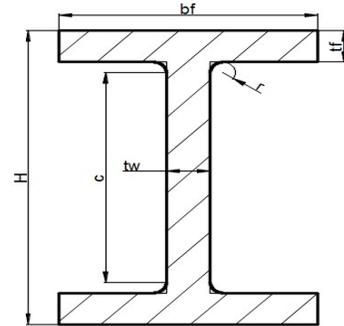
Tabla 8 Solicitaciones máximas de las vigas

Requerido, Red	
Ned	0.00 kN
Med	333.55 kN.m
Ved	34.37 kN

Perfil Escogido: **IPE240**

Tabla 9 Geometría del perfil IPE240

DIMENSIONES	
bf(mm)	120
tf(mm)	9.8
tw(mm)	6.2
h(mm)	240
r(mm)	15
P(kg/m)	30.7
A(cm ²)	39.1
Wey(cm ³)	324.3
Wez(cm ³)	47.3
Wply(cm ³)	366.7
Wplz(cm ³)	73.9
iy(cm)	9.97
iz(cm)	2.69
Iz(cm ⁴)	284
Iy(cm ⁴)	3892
J (cm ⁴)	13



Comprobaciones:

Comprobación a Flexión					
Perfil:	IPE240				
lb	2	m	Mmax	22.128	kNm
lp	1.37	m	Ma	8.26	kNm
lr	4.95	m	Mb	22.128	kNm
			Mc	8.607	kNm

Cb	1.42
Mn	91.67 kNm

ΦM_n	83.57	kNm
Capacidad:	63%	

Ilustración 28 Comprobación a flexión de la viga IPE240

Como se observa el perfil trabaja al 63% de su capacidad

Cortante		
h/tw	30.71	
Cv	1	
Aw	1488	mm ²
ΦV_n	223.2	kN

Capacidad:	15%
-------------------	-----

Ilustración 29 Comprobación a cortante de la viga IPE240

La viga trabaja al 15% de su capacidad a cortante. **El perfil IPE240 es el mínimo para colocarse según la configuración L/25 en la norma (AISC 360-16, 2016)**

3.3.4.3 Predimensionamiento de la sección reducida en la viga

Como ya se mencionó anteriormente en la ilustración 2. La predimensión escogida fue la siguiente:

Tabla 10 Limites del prediseño

	Inferior	Superior
a	60.00mm	90mm
b	156mm	204mm
c	12mm	30mm

Tabla 11 Diseño de la RBS

a	75mm
b	170mm
c	20mm

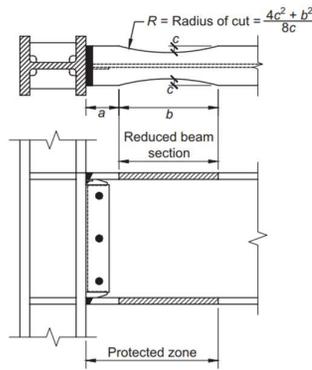


Ilustración 30 nomenclatura de diseño RBS (AISC 358-10, 2010)

3.4 Análisis PUSH-OVER

Para el análisis Estático no lineal o (PUSH-OVER) Se lo realizó con el pórtico más solicitado extrayendo sus cargas.

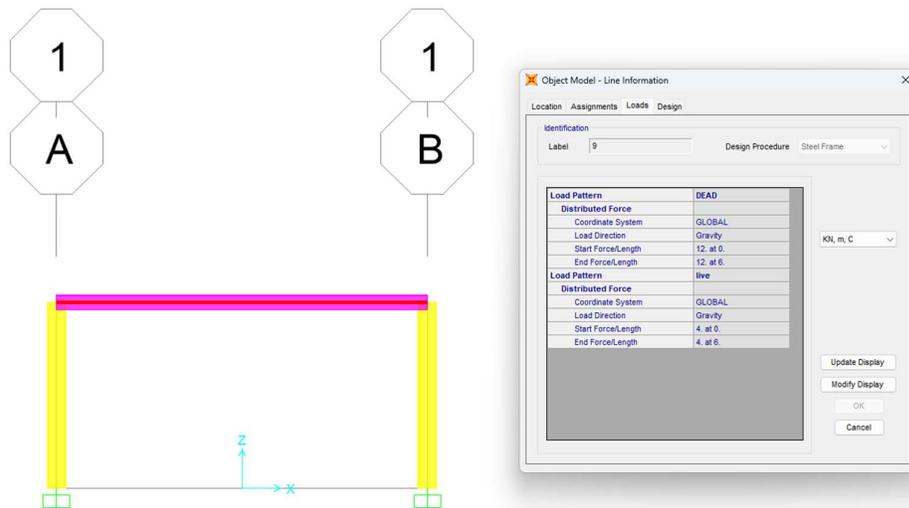


Ilustración 31 Cargas Aplicadas al pórtico

3.4.1 Asignación de las cargas gravitacionales no lineales

Las cargas gravitacionales no lineales se las colocó en función de la asignación de la norma (NEC, 2015c). La cual nos indica que esta carga debe ser colocada el 100% de las cargas muertas. Y; adicional a este, se agregó el 25% de las cargas vivas para aumentar la sollicitación sísmica.

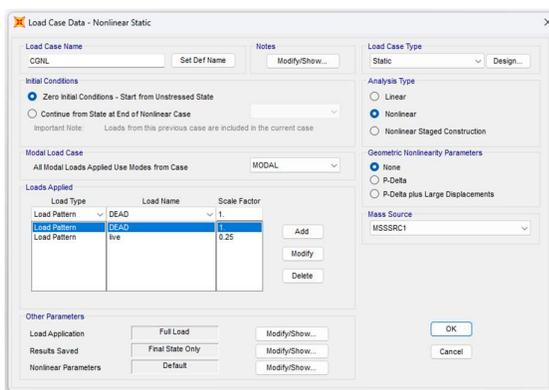


Ilustración 32 Asignación de las CGNL en SAP2000

3.4.2 Asignación de las conexiones en los elementos estructurales

Para la asignación de las conexiones se tomó como referencia las siguientes consideraciones:

Para las columnas. – Se considerará la conexión preestablecida de la columna de acero del programa SAP 2000

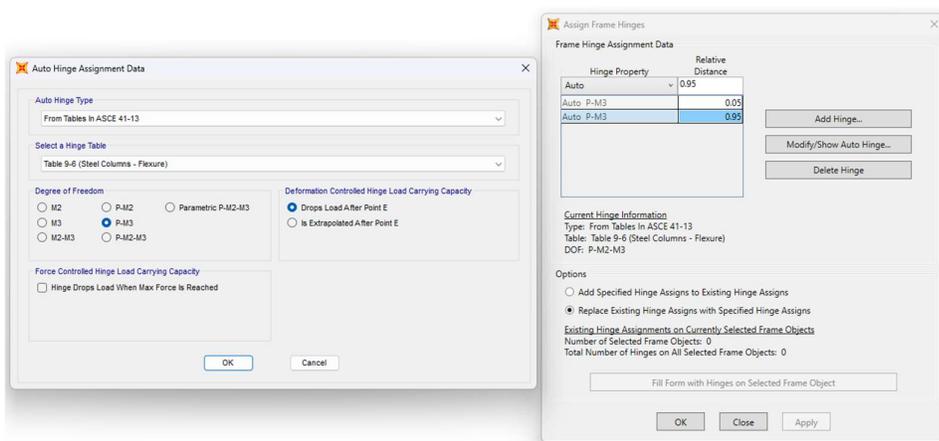


Ilustración 33 Asignación de conexiones en la Columna de acero en SAP2000

Para las vigas con sección reducida se consideró la tabla 9-4 como se indica en el apartado 3.1.2.1.

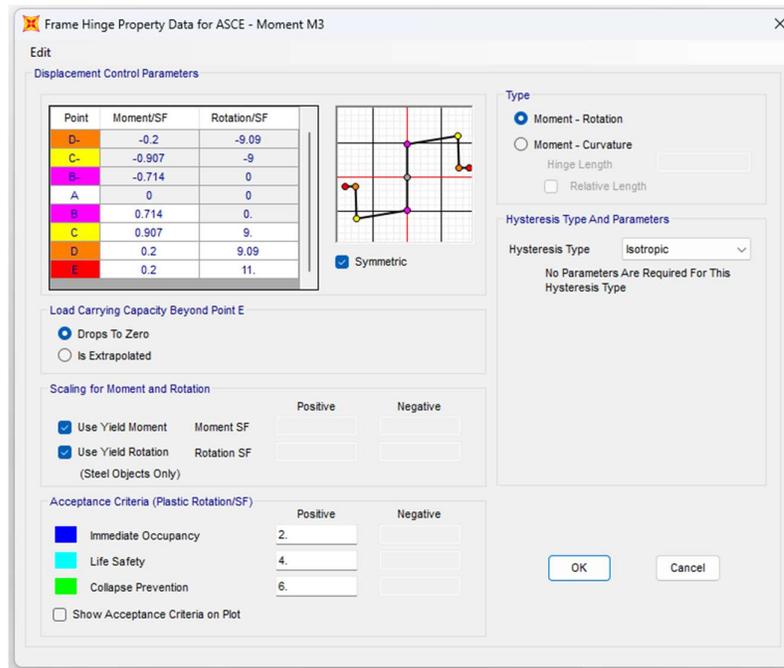


Ilustración 34 Capacidad Momento Rotación de la RBS en SAP2000

Como último paso tenemos la configuración del caso de carga Push-Over. Este proceso consiste en darle una carga lateral al pórtico para revisar su capacidad de las conexiones. Para esto se consideró la siguiente configuración:

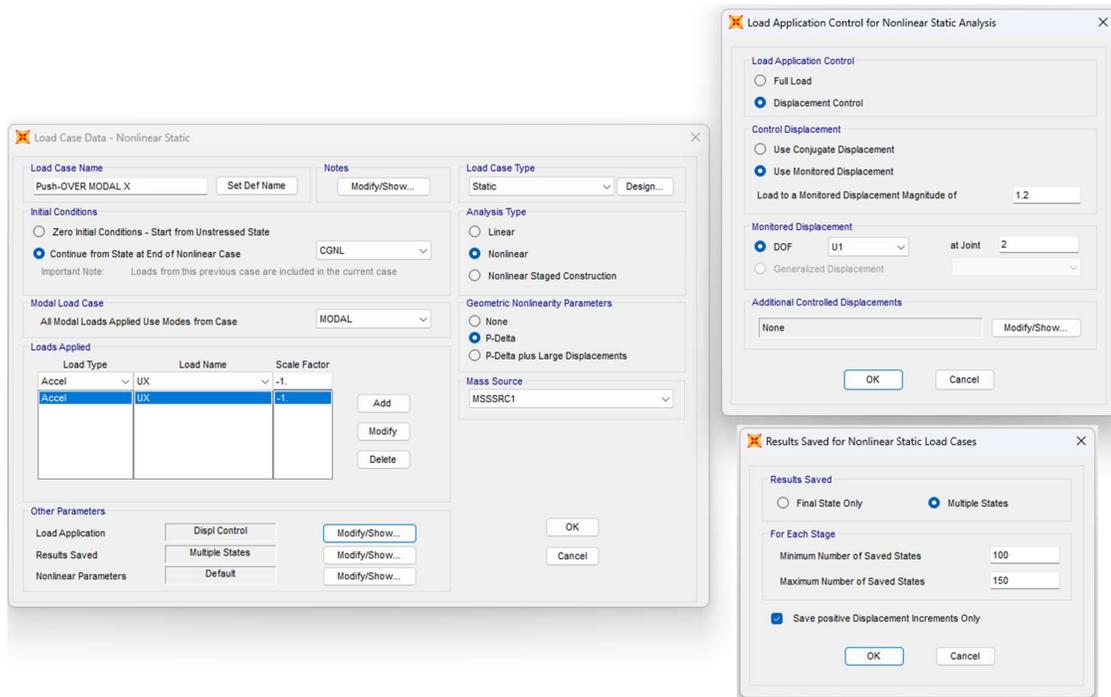


Ilustración 35 Configuración del modelo Push-Over en SAP2000

Como se observa en la ilustración anterior. Se dará un desplazamiento máximo de 1.2m para observar el comportamiento. Además de esto, el análisis partirá luego de continuar con las cargas gravitacionales no lineales. Estas cargas son la obtención de las cargas vivas y muertas con el factor de mayoración explicado en el apartado 3.4.1

3.5 Modelación de la conexión RBS y el pórtico resistente a momento en el software ABAQUS.

3.5.1 Configuración de materiales y Geometría de los elementos

Las unidades establecidas para los modelos son las siguientes:

Longitud: milímetros (mm)

Peso: Newtons (N)

Esfuerzo: Mega pascales (MPa o N/mm²)

3.5.1.1 Geometría del modelo

Para modelar los elementos estructurales, se lo realizo mediante extrusiones en 3D. A continuación, exponemos las secciones utilizadas en el modelo. La columna tiene una altura total de 3m y la viga de 6m (Ilustración 35 y 36).

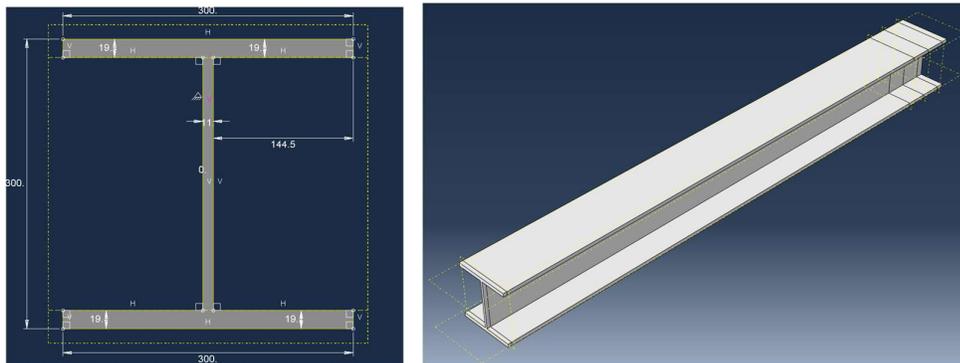


Ilustración 36 Modelo Extruido de la sección HEB300 en ABAQUS

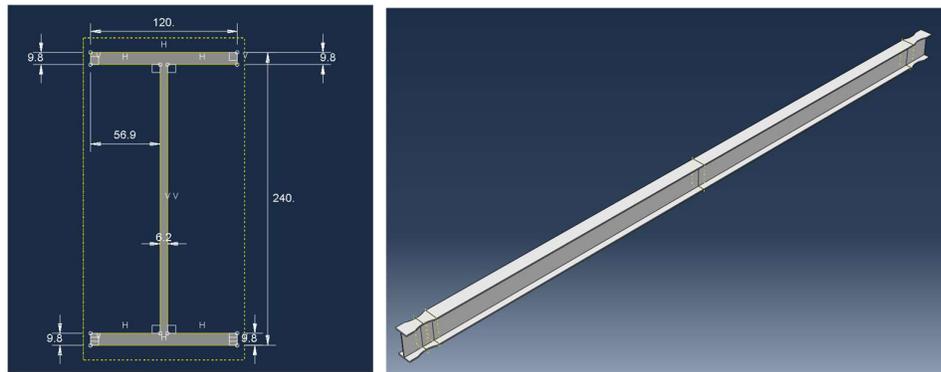


Ilustración 37 Modelo Extruido de la sección IPE240 en ABAQUS

Para la conformación de la sección reducida se utilizó la herramienta (Crear Corte utilizando una curva con tres puntos). El proceso consiste en seleccionar la cara del perfil a cortar; luego de eso, dibujamos el arco ayudándonos con líneas guía para poder crear con precisión el corte de la RBS (Ilustración 37).

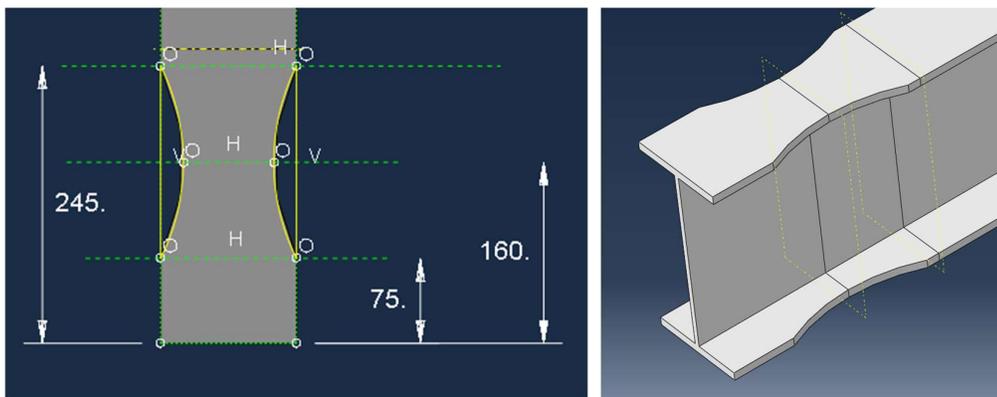


Ilustración 38 Modelado del corte de la sección reducida en la viga IPE240 en ABAQUS

Finalmente se particiona la viga en 3 posiciones para poder colocar las restricciones de desplazamiento. La columna igualmente está dividida en los lugares donde luego se nos facilite encontrar el punto para el ensamblaje del pórtico (Ilustración 38).

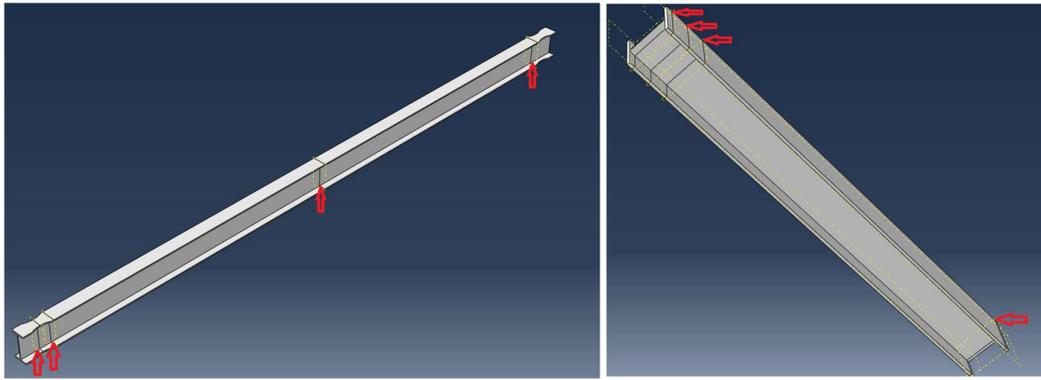


Ilustración 39 Ubicación de particiones de los elementos en ABAQUS

3.5.1.2 Materiales

Para el material a utilizar, se modificó el modelo para el tipo de acero A36 con las características antes expuestas (Ilustración 40).

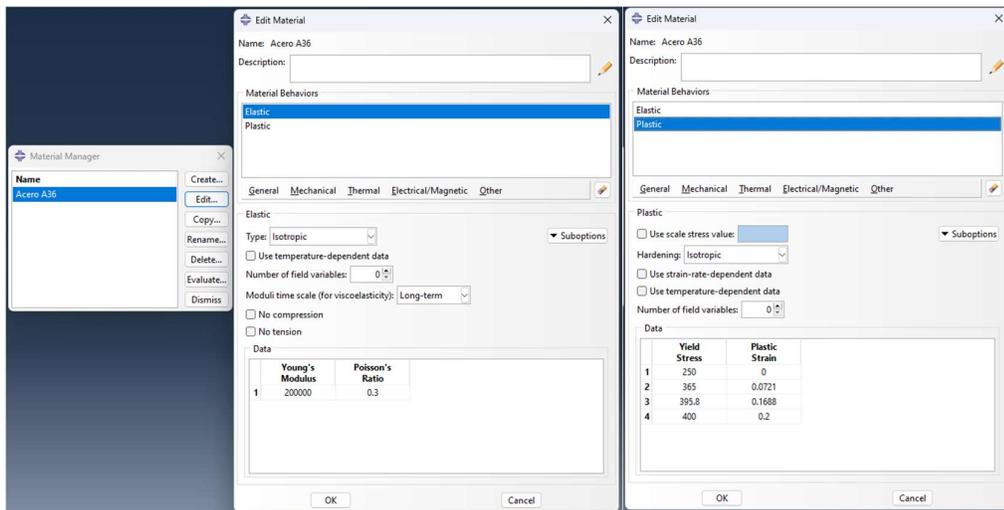


Ilustración 40 Asignación del material A36

3.5.1.3 Ensamblaje del pórtico

El pórtico se lo unió cada elemento estructural por separado. Primero se colocaron la viga y; luego de eso, se ubican las columnas con ayuda de las particiones previamente realizadas. (Ilustración 40)

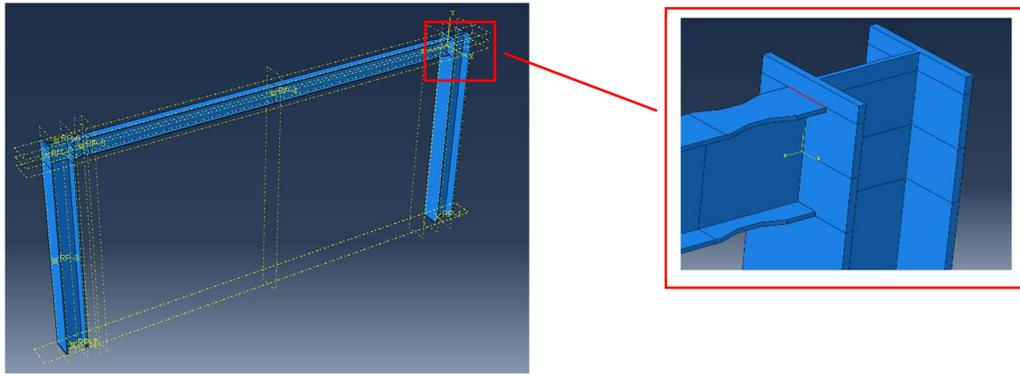


Ilustración 41 Ensamblaje del pórtico en ABAQUS

3.5.1.4 Definición de los casos de análisis

Para las interacciones se tomó las condiciones recomendadas del programa para un análisis no lineal. Si se llega a exceder estas recomendaciones el tiempo de espera del análisis estático no lineal llega a hacer hasta 6 horas de corrida del modelo (Ilustración 42).

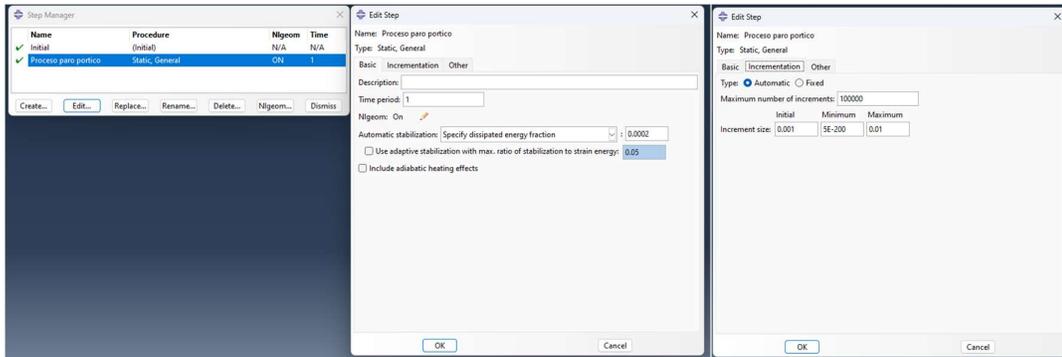


Ilustración 42 Creación del caso de análisis del modelo en ABAQUS

Como se observa se harán iteraciones comenzando desde 0.001 hasta 0.01 con un máximo de 1000000 pasos de análisis.

3.5.1.5 Interacciones

Para las interacciones del modelo del pórtico, se las realizo mediante la unión rígida entre la sección de la viga y la una cara de la columna. Esto se realizó para idealizar una soldadura de penetración completa y; además de esto, tener la misma idealización de unión viga columna que el SAP2000 (Ilustración 43).

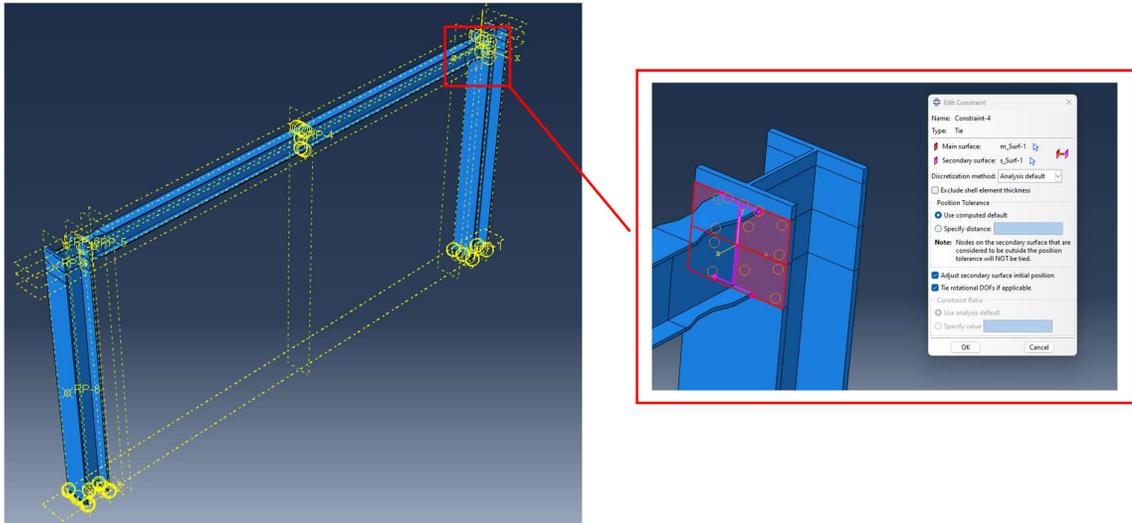


Ilustración 43 Interacción Columna-Viga en ABAQUS

En la ilustración 44 se asignó como superficie maestra a la columna y la superficie secundaria a la IPE240.

La siguiente interacción convierte el corte en la viga IPE240 en un cuerpo rígido donde, se colocará el desplazamiento lateral del portico. Para esto se selecciona la cara de la sección de la viga y, un punto donde ubicaremos el desplazamiento (Ilustración 43).

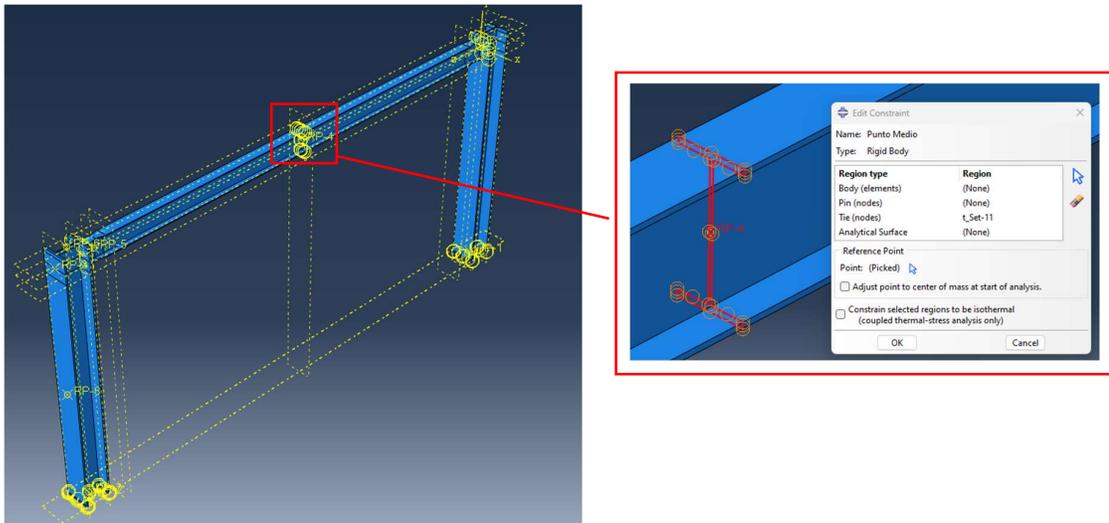


Ilustración 44 interacción de cuerpo rígido de la viga donde se colocará el desplazamiento lateral

Finalmente, Se realiza la asignación de cuerpo rigidez para simular el punto con la sección donde se analizará el empotramiento (Ilustración 44).

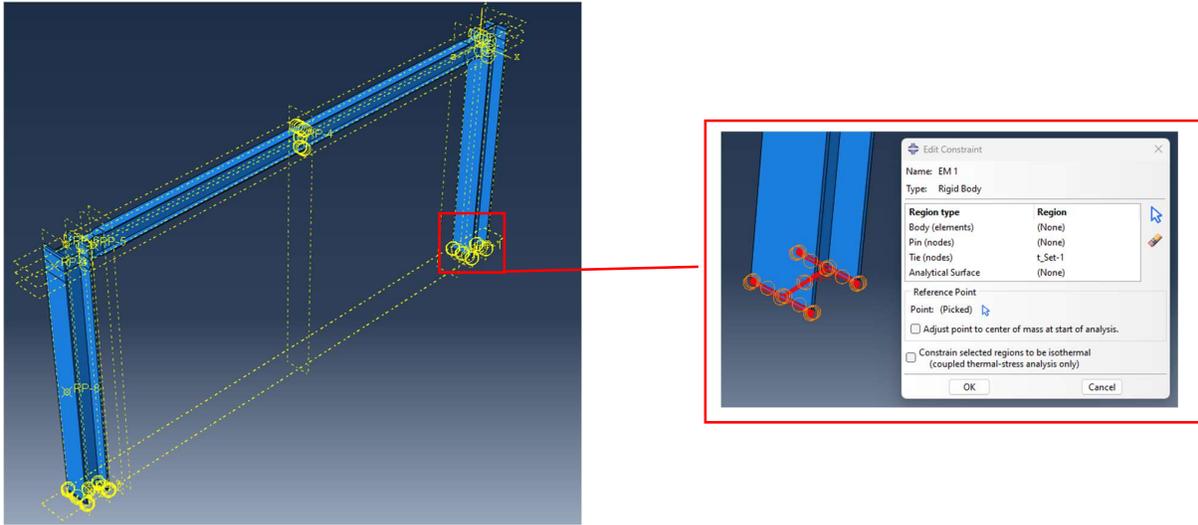


Ilustración 45 interacción de cuerpo rígido de la base para colocar el empotramiento en ABAQUS

3.5.1.6 Asignación de cargas y condiciones de contorno

Para las condiciones de contorno, la primera condición que se asignara es la de la restricción del desplazamiento en los ejes locales. En nuestra investigación se está analizando el marco en dos dimensiones en SAP2000 y ABAQUS; por consiguiente, en ABAQUS se debe restringir el desplazamiento perpendicular a la dirección del desplazamiento lateral del pórtico. A continuación, se presenta un esquema de lo antes expuesto (Ilustración 46).

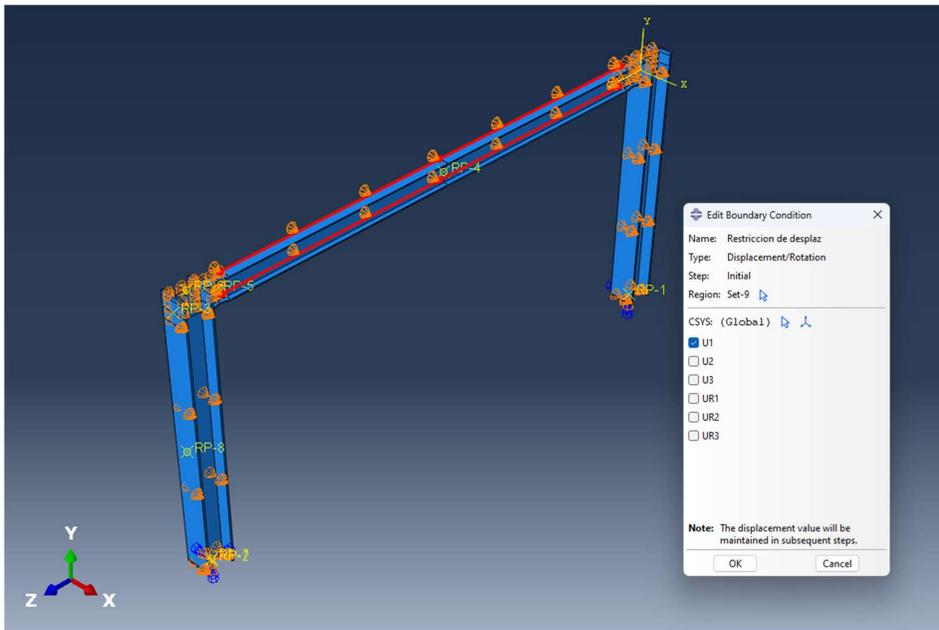


Ilustración 46 Restricción del desplazamiento en ABAQUS

Como se presenta en la ilustración anterior, la restricción de desplazamiento se encuentra asignada en la dirección X (U1), que es la perpendicular al plano del marco. Esto nos restringirá los pandeos locales de las secciones y se tendrá iguales condiciones de análisis con SAP2000 (Ilustración 47).

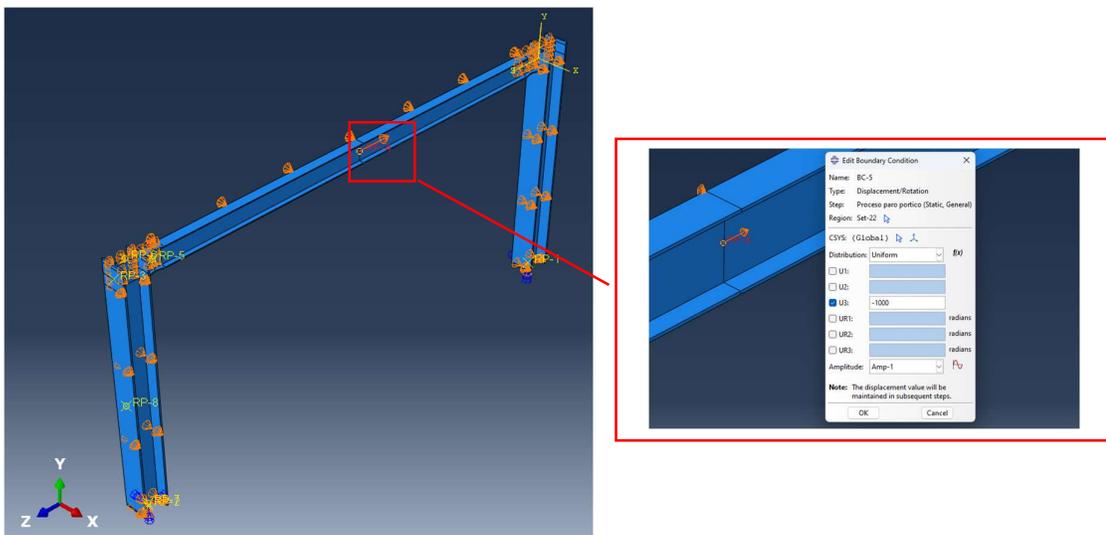


Ilustración 47 Asignación del desplazamiento lateral del pórtico en ABAQUS

En la ilustración 47 se observa el desplazamiento lateral del pórtico en la dirección Z (U3), En este paso se asignó un desplazamiento de 1m (1000mm).

3.5.1.7 Mallado del pórtico

Para hacer un correcto análisis de modelos finitos dividimos nuestros elementos en varios elementos más pequeños. Entre más pequeño el elemento, más exacto será el análisis. Pero, Entre más pequeño sea el elemento finito más tiempo de análisis requerirá. Para fines prácticos y por las capacidades computacionales del investigador se adoptó un mallado de 30mm para la columna y, de 15mm para la viga. A continuación, se muestra un esquema de lo explicado (Ilustración 48).

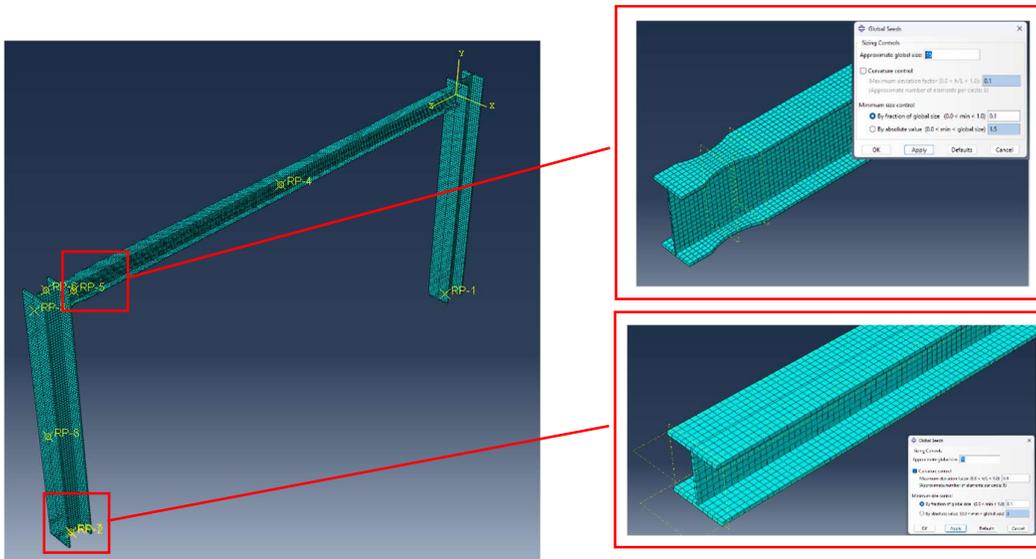


Ilustración 48 Mallado de los elementos estructurales del pórtico en ABAQUS

3.5.1.8 Asignación del modelo de trabajo

Para el análisis de datos se creó un modelo de trabajo de manera tal que, ocupe todos los recursos del computador y así, lo haga de la manera más rápida posible. La computadora cuenta con 32Gb de RAM y un procesador con 8 procesadores lógicos. El modelo de trabajo correrá el periodo de 1 dividido en dos puntos de análisis. El primero será el estado de origen antes de aplicar las cargas laterales y el segundo ya cuando estas cargas y además de esto, aplicado las cargas gravitacionales (Ilustración 48).

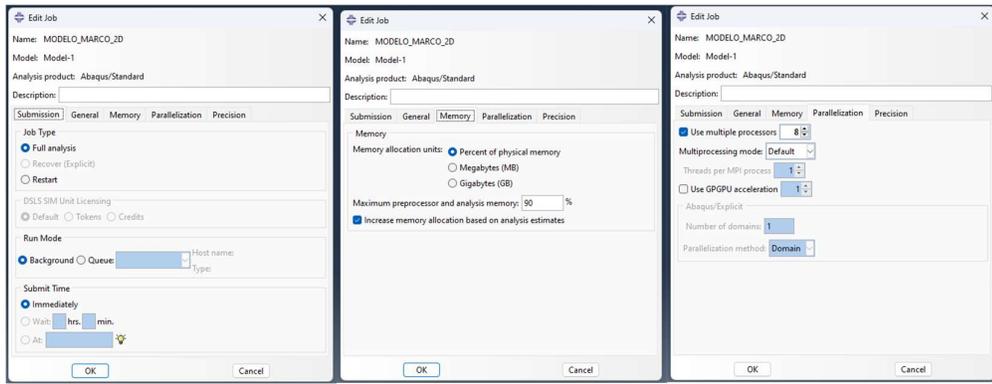


Ilustración 49 Configuración para la asignación de modelo de trabajo en ABAQUS

4 Resultados

4.1 Resultados de Capacidades de elementos en SAP2000

A continuación, se presenta un resumen de las capacidades de la columna y la viga (Tabla 12).

Tabla 12 Resumen de capacidad de la Columna HEB300

COLUMNA HEB300									
Cargas Requeridas			Cargas Resistentes			Capacidad de operación individual			Capacidad de Operación Combinada (%)
Axial (kN)	Cortante (kN)	Momento (kN*m)	Axial (kN)	Cortante (kN)	Momento (kN*m)	Axial (%)	Cortante (kN)	Momento (%)	
805.33	18.55	41.23	2732.26	491.456	417.47	29%	4%	10%	38%

Tabla 13 Resumen de capacidad de la Viga IPE240

VIGA IPE240					
Cargas Requeridas		Cargas Resistentes		Capacidad de operación individual	
Cortante (kN)	Momento (kN*m)	Cortante (kN)	Momento (kN*m)	Cortante (kN)	Momento (%)
43.55	333.23	491.456	417.47	4%	79%

La capacidad actuante de la viga se debe al predimensionamiento ya que la IPE240 es el perfil mínimo para cumplir los requerimientos mencionados en el apartado 11.2.4.2.

4.2 Resultado del modelo Push-Over y Espectros de diseño del marco en SAP2000

4.2.1 Curva de capacidad del modelo PUSH-OVER

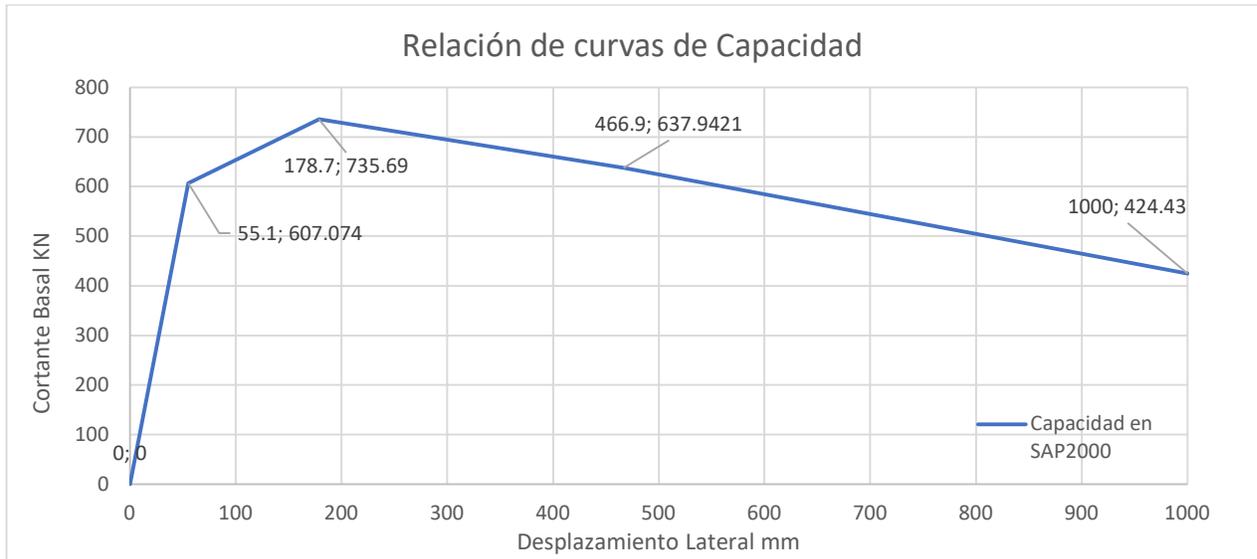


Ilustración 50 Grafico de curva de capacidad del modelo Push-Over en SAP2000

En la ilustración 49 podemos ver el modelo Push-Over con el desplazamiento total que se le asignó.

En la siguiente tabla y gráfico se extrae una porción de la curva de capacidad para ubicar los diferentes niveles de desempeños analizados con la norma VISION 2000 (Tabla 14 eh ilustración 50).

Tabla 14 Niveles de desempeño del pórtico

Altura del pórtico		3m
Nivel de desempeño	Deriva adoptada	Desplazamiento lateral (mm)
Operacional	0.20%	6
Ocupación inmediata	0.50%	15
Seguridad de vida	1.50%	45
Prevención al colapso	2.50%	75
Colapso	>2.5%	>75mm

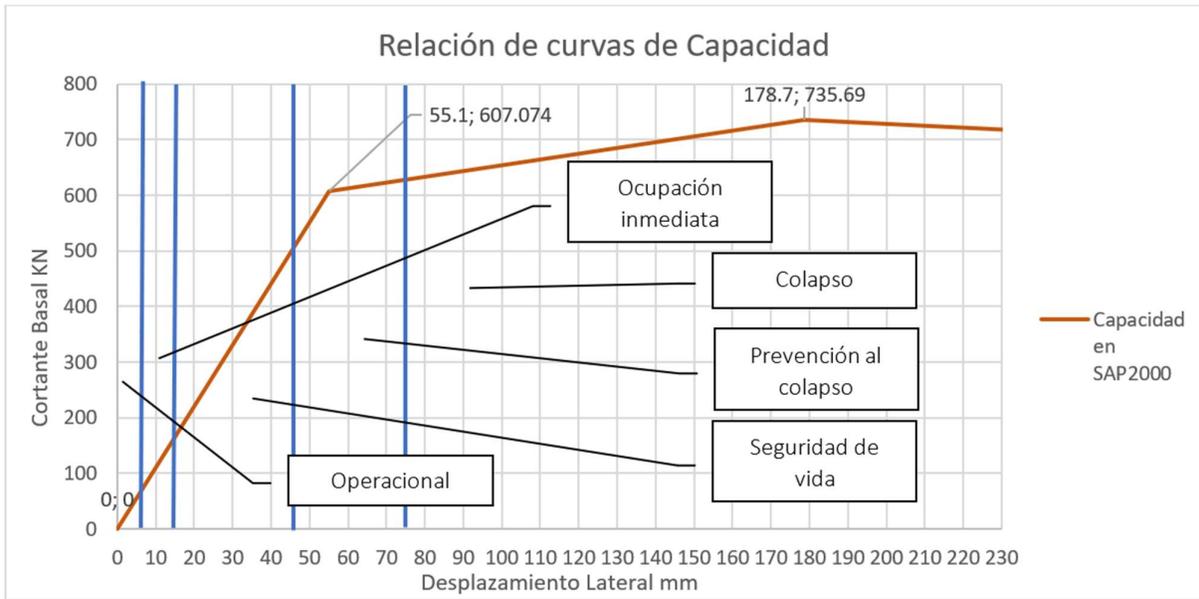


Ilustración 51 Nivel de desempeño del pórtico en SAP2000

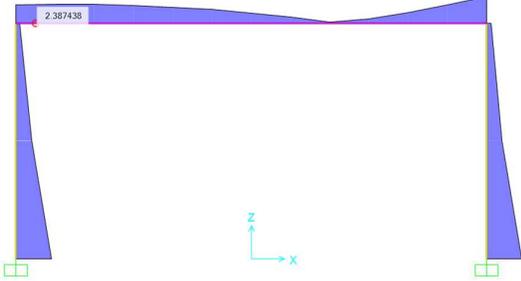
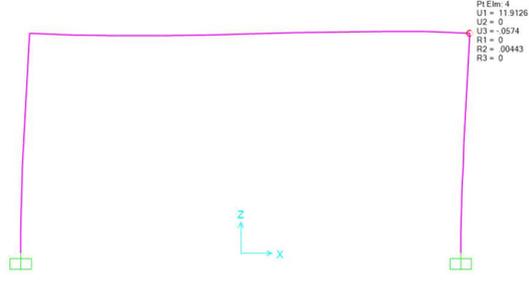
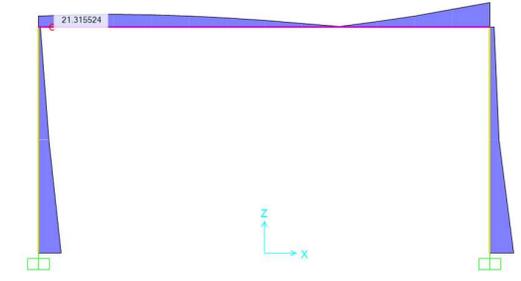
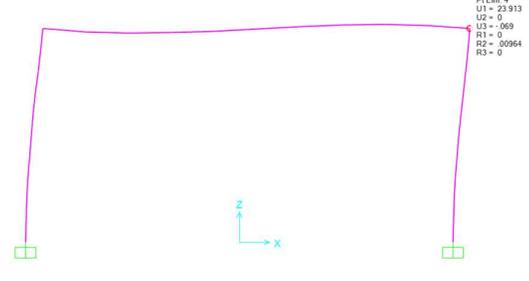
En la ilustración 51 Se presenta los niveles de desempeño de la estructura en función de la curva de capacidad del modelo.

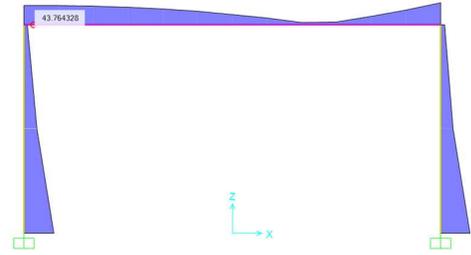
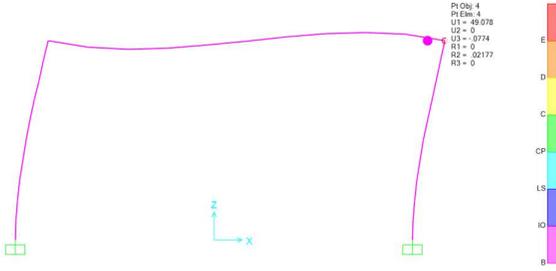
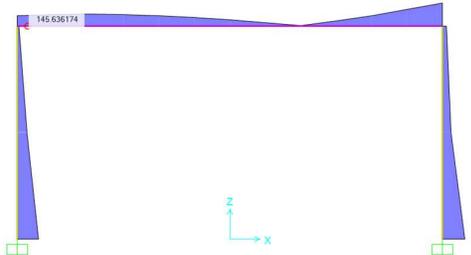
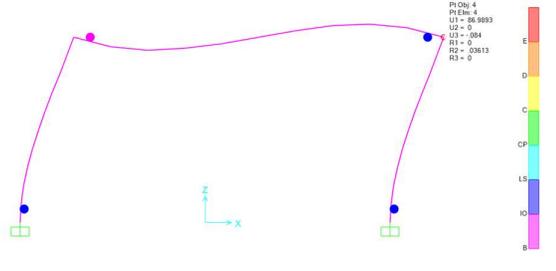
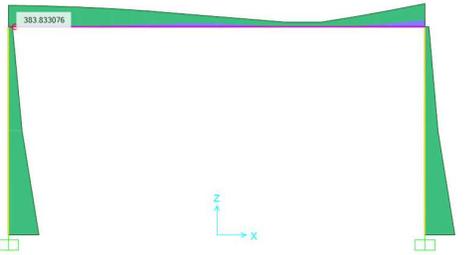
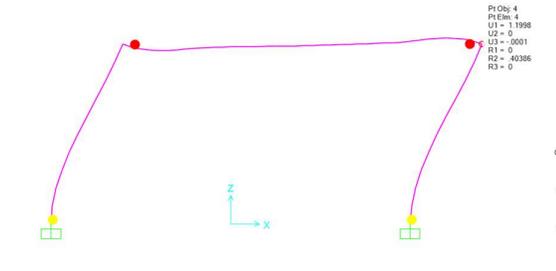


Ilustración 52 Relación Capacidad del pórtico vs Espectro de diseño con un sismo muy raro en SAP 2000 (Suelo Tipo C)

A continuación, presentamos los resultados del PUSH-OVER en el modelo computacional de SAP2000 (Tabla 14). En esta grafica podemos observar los sismos de analisis desde el muy raro hasta el operacional

Tabla 15 Esfuerzos en SAP2000 en cada nivel de desempeño

Nivel de desempeño	Imagen de Esfuerzo	Esfuerzo en Conexión MPa	Imagen Desplazamiento	Desplazamiento lateral (mm)
Operacional		2.358		11.91
Ocupación inmediata		21.031		23.91

Seguridad de vida		43.261		49.08
Prevención al colapso		145.632		86.98
Colapso		383.25		>75mm

4.3 Resultados del modelo del pórtico en ABAQUS

Para este análisis se estudió el avance del desplazamiento en función de los esfuerzos producidos por la deriva de piso y; además de esto, Las cortantes basales producidas por este desplazamiento.

4.3.1 Esfuerzos producidos por el desplazamiento

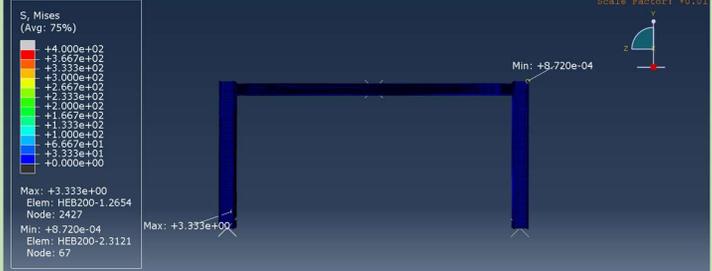
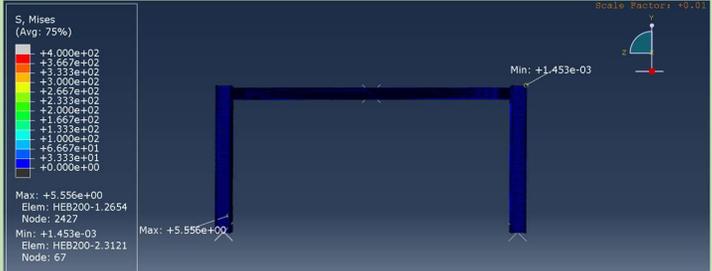
En la siguiente tabla se puede observar los distintos niveles de desempeño con relación a los esfuerzos en ABAQUS.

Para obtener los resultados en función de los desplazamientos, se optó por analizar de acuerdo con el step (Paso) donde se ubican los niveles de desempeño. A continuación, se muestra una tabla de lo explicado (Tabla 15). El step no es más que el punto de desplazamiento que genera el modelo en Abacus para analizar los diferentes análisis. Desplazamiento

Tabla 16 Steps en función del nivel del desempeño

Desplazamiento mm	Paso	Nivel de desempeño
6	0.005	Operacional
15	0.011	Ocupación inmediata
45	0.029	Seguridad de Vida
75	0.049	Prevención al Colapso
1000	1.000	Colapso

Tabla 17 Esfuerzos en ABAQUS en cada nivel de desempeño

Nivel de desempeño	Imagen de Esfuerzo	Esfuerzo en Columna MPa	Imagen Desplazamiento	Desplazamiento lateral (mm)
Operacional	 <p>S, Mises (Avg: 75%)</p> <p>Max: +3.333e+00 Elem: HEB200-1.2654 Node: 2427</p> <p>Min: +8.720e-04 Elem: HEB200-2.3121 Node: 67</p>	3.333	 <p>U, U3</p> <p>Max: +1.765e-01 Node: HEB200-1.1488</p> <p>Min: -8.727e+00 Node: HEB200-2.723</p>	6
Ocupación inmediata	 <p>S, Mises (Avg: 75%)</p> <p>Max: +5.556e+00 Elem: HEB200-1.2654 Node: 2427</p> <p>Min: +1.453e-03 Elem: HEB200-2.3121 Node: 67</p>	25.456	 <p>U, U3</p> <p>Max: +2.942e-01 Node: HEB200-2.723</p> <p>Min: -1.463e+01 Node: HEB200-1.1488</p>	15

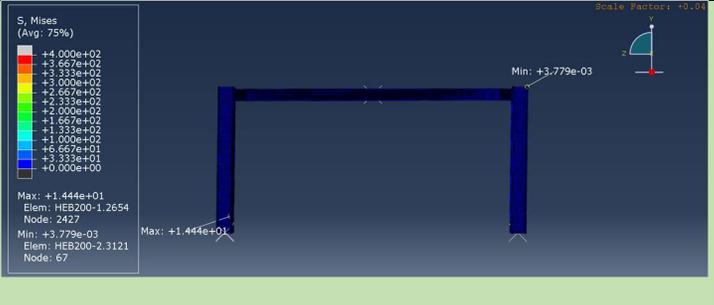
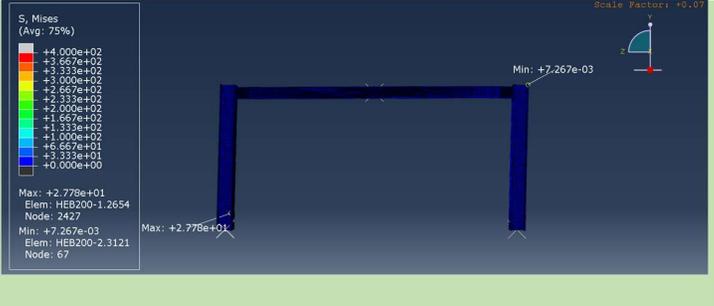
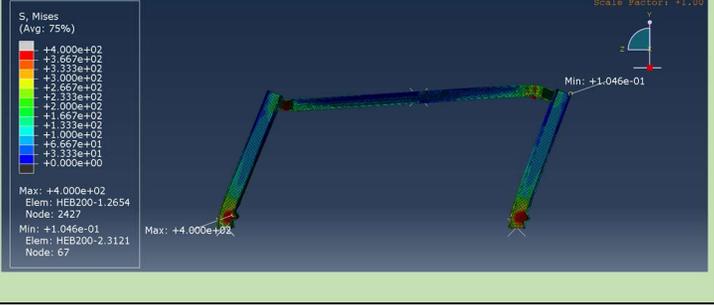
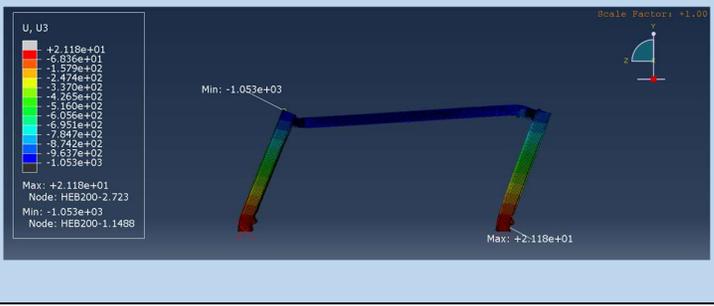
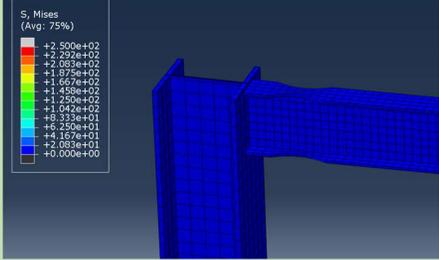
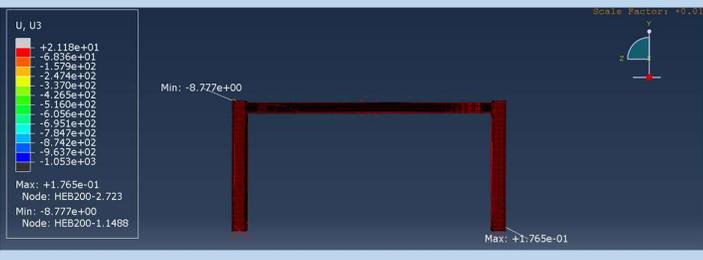
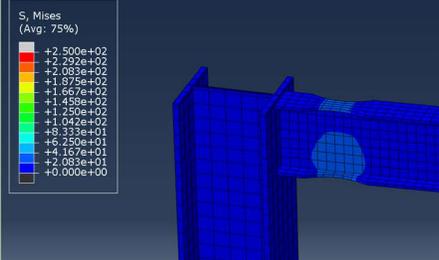
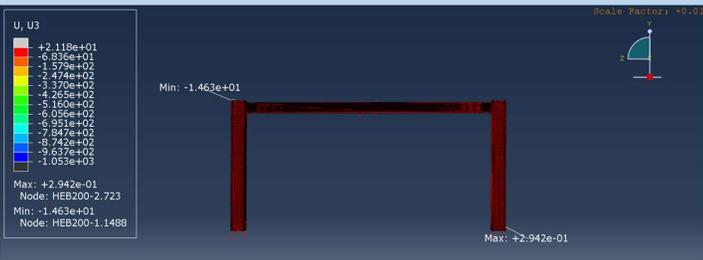
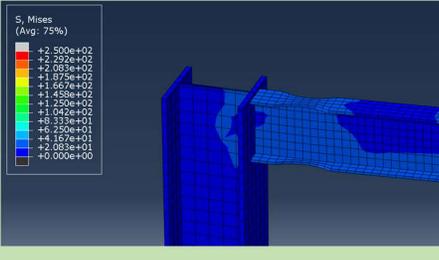
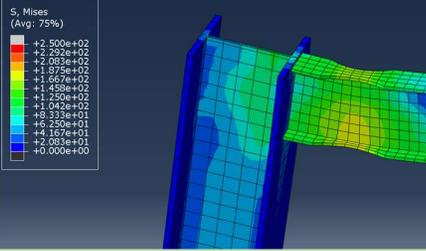
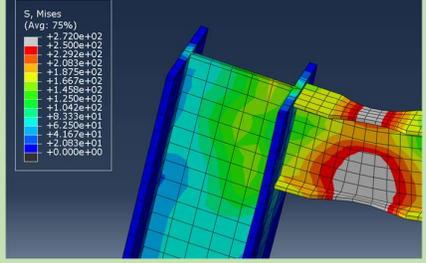
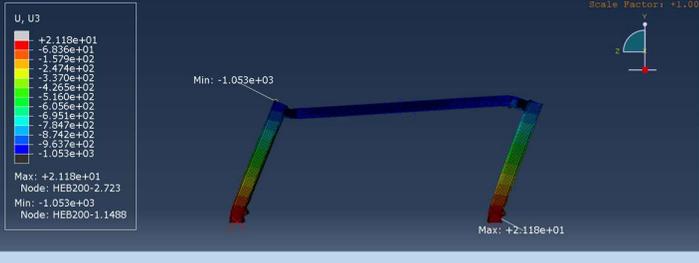
<p>Seguridad de vida</p>	 <p>S, Mises (Avg: 75%)</p> <p>Max: +1.444e+01 Elem: HEB200-1.2654 Node: 2427</p> <p>Min: +3.779e-03 Elem: HEB200-2.3121 Node: 67</p>	<p>44.434</p>	 <p>U, U3</p> <p>Max: +9.414e-01 Node: HEB200-2.723</p> <p>Min: -4.681e+01 Node: HEB200-1.1488</p>	<p>45</p>
<p>Prevención al colapso</p>	 <p>S, Mises (Avg: 75%)</p> <p>Max: +2.778e+01 Elem: HEB200-1.2654 Node: 2427</p> <p>Min: +7.267e-03 Elem: HEB200-2.3121 Node: 67</p>	<p>167.783</p>	 <p>U, U3</p> <p>Max: +1.530e+00 Node: HEB200-2.723</p> <p>Min: -7.607e+01 Node: HEB200-1.1488</p>	<p>75</p>
<p>Colapso</p>	 <p>S, Mises (Avg: 75%)</p> <p>Max: +4.000e+02 Elem: HEB200-1.2654 Node: 2427</p> <p>Min: +1.046e-01 Elem: HEB200-2.3121 Node: 67</p>	<p>400</p>	 <p>U, U3</p> <p>Max: +2.118e+01 Node: HEB200-2.723</p> <p>Min: -1.053e+03 Node: HEB200-1.1488</p>	<p>>75mm</p>

Tabla 18 Esfuerzos en ABAQUS en cada nivel de desempeño (Conexión RBS)

Nivel de desempeño	Imagen de Esfuerzo	Esfuerzo en Conexión MPa	Imagen Desplazamiento	Desplazamiento lateral (mm)
Operacional		4.178		6
Ocupación inmediata		32.651		15
Seguridad de vida		53.152		45

<p>Prevención al colapso</p>	 <p>S, Mises (Avg: 75%)</p> <ul style="list-style-type: none"> +2.500e+02 +2.292e+02 +2.083e+02 +1.875e+02 +1.667e+02 +1.458e+02 +1.250e+02 +1.042e+02 +8.333e+01 +6.250e+01 +4.167e+01 +2.083e+01 +0.000e+00 	<p>173.417</p>	 <p>U, U3</p> <ul style="list-style-type: none"> +2.118e+01 +6.836e+01 -1.579e+02 -2.474e+02 -3.370e+02 -4.265e+02 -5.160e+02 -6.056e+02 -6.951e+02 -7.847e+02 -8.742e+02 -9.637e+02 -1.053e+03 <p>Max: +1.530e+00 Node: HEB200-2.723 Min: -7.607e+01 Node: HEB200-1.1468</p> <p>Scale Factor: 10.00</p> <p>Min: -7.607e+01 Max: +1.530e+00</p>	<p>75</p>
<p>Colapso</p>	 <p>S, Mises (Avg: 75%)</p> <ul style="list-style-type: none"> +2.720e+02 +2.500e+02 +2.292e+02 +2.083e+02 +1.875e+02 +1.667e+02 +1.458e+02 +1.250e+02 +1.042e+02 +8.333e+01 +6.250e+01 +4.167e+01 +2.083e+01 +0.000e+00 	<p>400</p>	 <p>U, U3</p> <ul style="list-style-type: none"> +2.118e+01 +6.836e+01 -1.579e+02 -2.474e+02 -3.370e+02 -4.265e+02 -5.160e+02 -6.056e+02 -6.951e+02 -7.847e+02 -8.742e+02 -9.637e+02 -1.053e+03 <p>Max: +2.118e+01 Node: HEB200-2.723 Min: -1.053e+03 Node: HEB200-1.1468</p> <p>Scale Factor: +1.00</p> <p>Min: -1.053e+03 Max: +2.118e+01</p>	<p>>75mm</p>

4.3.1 Cortantes Basales producidas por el desplazamiento

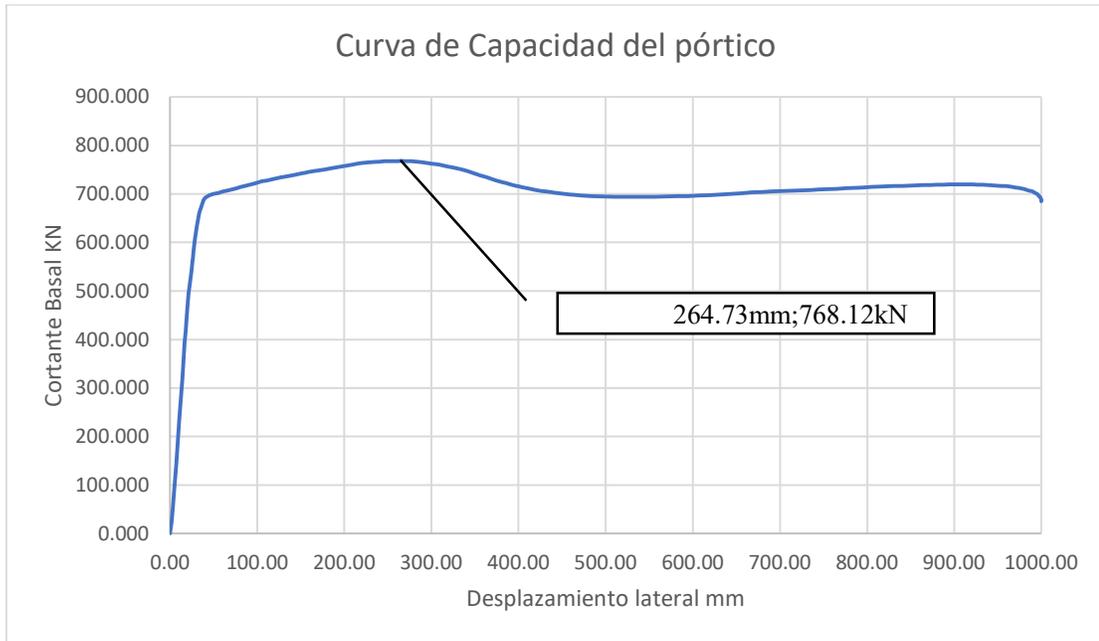


Ilustración 53 Curva de Capacidad del modelo en ABAQUS

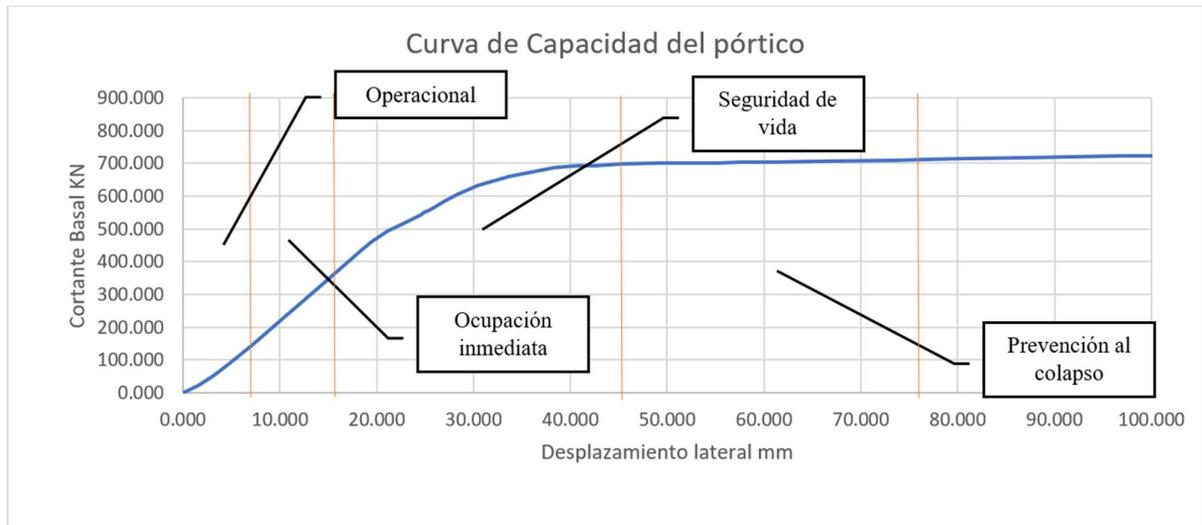


Ilustración 54 Relación entre las curvas de capacidad del modelo en ABAQUS y el nivel de desempeño

4.4 Comparación de las curvas de capacidad del marco en SAP2000 y ABAQUS

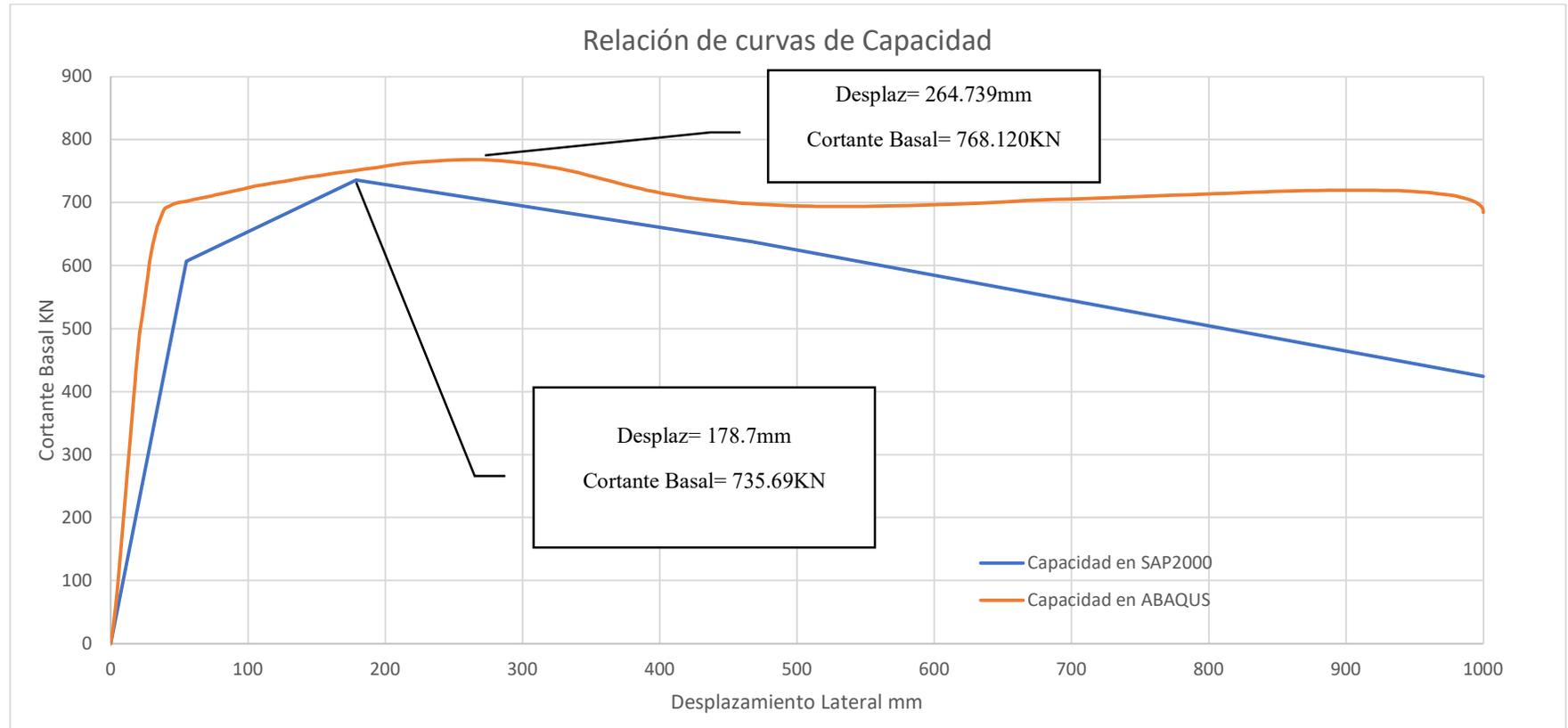


Ilustración 55 Relación de curvas de capacidad en ABAQUS y SAP2000

A continuación, se presentará los niveles de desempeño en función de las curvas de capacidad obtenida en los dos modelos computacionales (Ilustración 55).

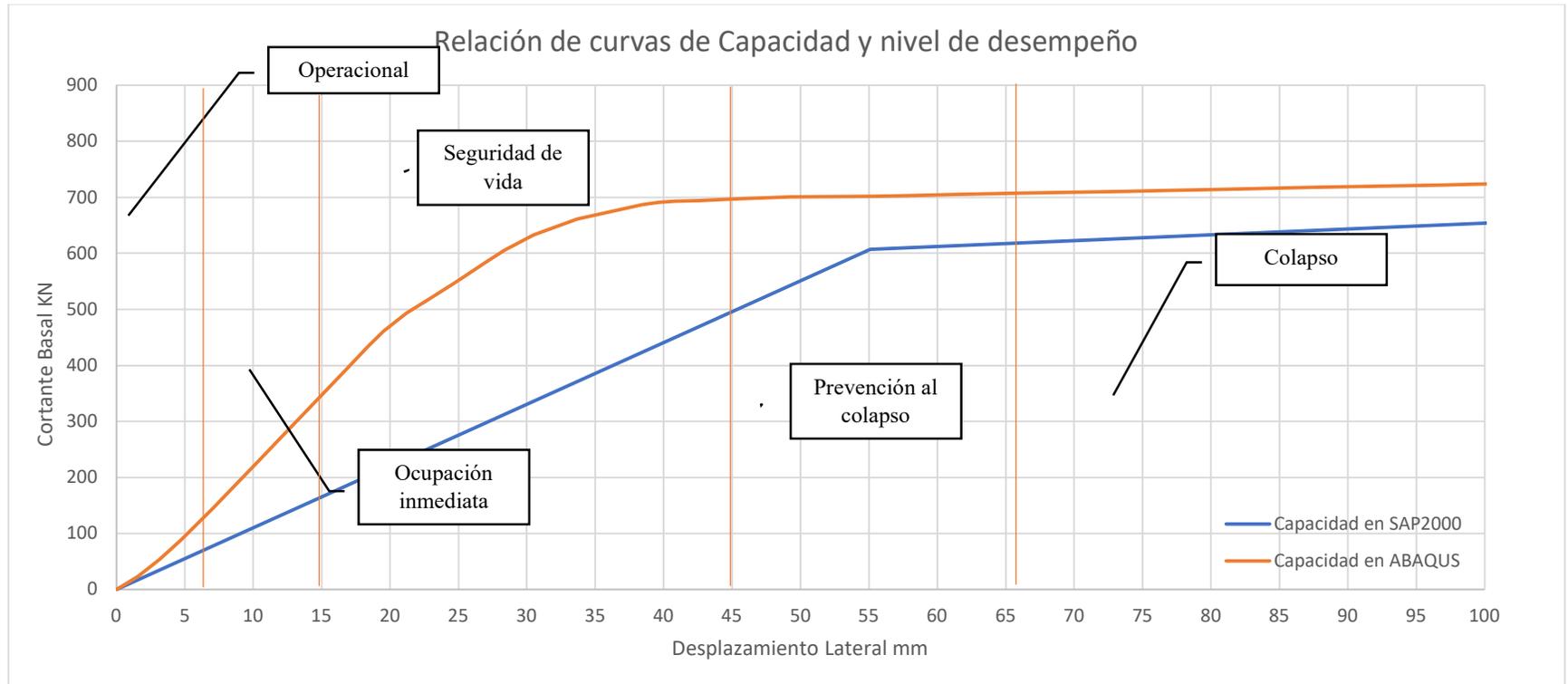


Ilustración 56 Relación de curvas de capacidad y nivel de desempeño

Tabla 19 Analisis del nivel de desempeño de las capacidades en SAP2000 y ABAQUS

Relaciones de Curvas de Capacidad		
Niveles de Desempeño	ABAQUS	SAP2000
	KN	KN
Operacional 6mm	145.204	66.108
Ocupación inmediata 15mm	495.817	165.27
Seguridad de vida 45mm	797.409	495.81
Prevención al colapso 75mm	811.984	627.785
Colapso >75mm	784.734	424.43

4.5 Comparación de Rotaciones de la conexión RBS

Tabla 20 Comparación de las rotaciones en los modelos

Nivel de desempeño	Desplazamiento en mm	Rotaciones				Esfuerzos en la conexión MPa	
		Rotaciones en Rad		Rotaciones en Grados		Modelo Abaqus	Modelo en SAP2000
		Modelo Abaqus	Modelo en SAP2000	Modelo Abaqus	Modelo en SAP2000		
Operacional	6	0.0032	0.004	0.18	0.23	4.18	2.538
Ocupación inmediata	15	0.0073	0.008	0.42	0.46	32.651	21.031
Seguridad de vida	45	0.097	0.095	5.56	5.44	53.152	43.261
Prevención al Colapso	75	0.325	0.31	18.62	17.76	173.417	145.632
Colapso	1000	0.459	0.41	26.30	23.49	40ZA0	383.25

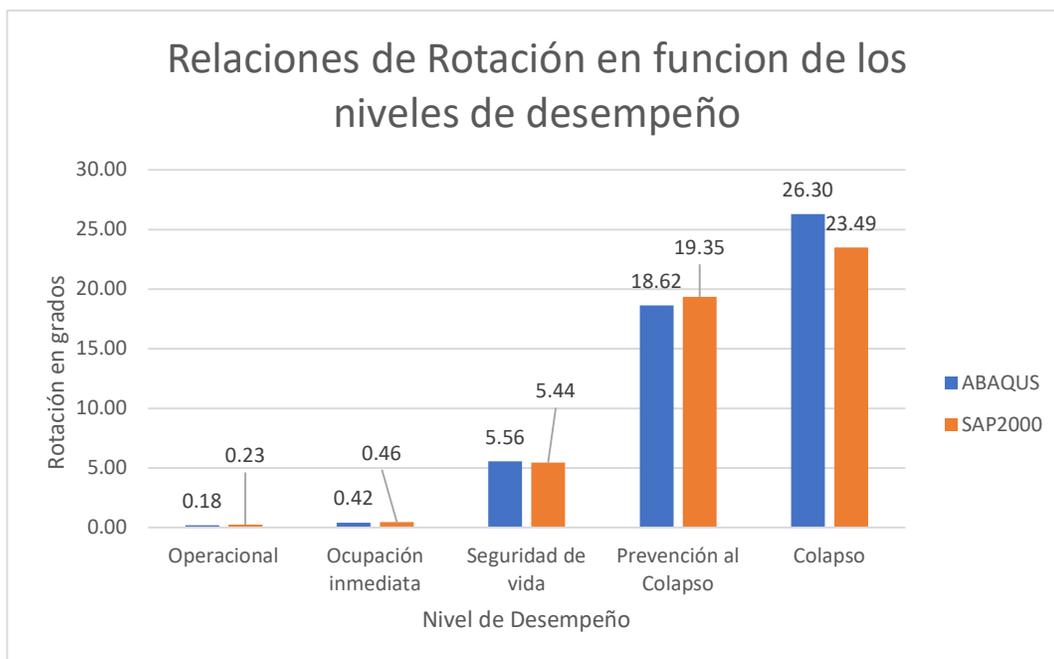


Ilustración 57 Comparación de las rotaciones de la sección RBS

Tabla 21 comparación de momentos actuantes con el momento plástico de la sección IPE240

		Fy=	250	MPa	
		Z=	0.000367	m ³	
		Mp=	82.51	kN*m	
Nivel de desempeño	Desplazamiento en mm	Momentos actuantes kN*m		Relaciones de los momentos actuantes con el momento plástico	
		Modelo Abaqus	Modelo en SAP2000	Modelo Abaqus	Modelo en SAP2000
Operacional	6	4.12	4.47	4.99%	5.42%
Ocupación inmediata	15	23.65	25.24	28.66%	30.59%
Seguridad de vida	45	61.78	60.35	74.88%	73.14%
Prevención al Colapso	75	94.65	95.25	114.72%	115.44%
Colapso	1000	333.65	325.36	404.39%	394.34%

5 Conclusiones y recomendaciones

5.1 Capacidades de elementos en SAP2000

- La columna del edificio de 5 plantas está trabajando al 38% de su capacidad. Esto se debe a que en el análisis PUSH-OVER la columna falla mucho más rápido que la conexión RBS en el modelo computacional. Por esta razón, tratamos de alejarnos de la falla de la columna y lograr que la falla comience en la plastificación de la sección reducida (RBS).
- La viga de igual manera está trabajando al 4% en capacidad a cortante y 63% a momento. Esta sobrecapacidad se debe a parámetros mínimos en la sección debido a su longitud. Estos parámetros estipulan peraltes mínimos para los estados límites de servicio como deflexión y vibración mínima.

5.2 Modelo PUSH-OVER y Espectros de diseño del marco en SAP2000

- Como se observa en la ilustración 50, la capacidad máxima del pórtico con el análisis en SAP2000, produce un cortante basal de 735.6917kN en 178.7mm de desplazamiento. Este valor es resultado de la carga lateral ingresada, versus las condiciones geométricas de la conexión RBS.
- Para el análisis del nivel de desempeño, Se escogió las derivas propuestas por VISION 2000 como se muestra en la Tabla 13. En esta tabla se detalla los límites de cada nivel de desempeño en función de la altura del pórtico estos niveles están a los: 6mm, 15mm, 45mm y 75mm (Operacional, Ocupación Inmediata, Seguridad de vida, Prevención al Colapso y Colapso).
- En la ilustración 50 nos muestra las ubicaciones de los niveles de desempeño en la gráfica de la curva de capacidad del pórtico. En esta ilustración, se resalta que estos niveles de desempeño están antes de que el pórtico llegue a su máxima capacidad de carga. Esto es producido por la capacidad de trabajo de la columna mencionada en el primer punto de la sección 13.1 del documento.
- En la ilustración 51 Se puede observar que los espectros de diseño cumplen para un tipo de suelo C. Estas graficas representan las distintas capacidades sísmicas. Si el tipo de suelo cambia, la sollicitación sísmica aumenta.
- El factor de reducción del espectro (R) seria 8, Esto se debe a la filosofía de diseño, ya que consideramos en la norma un pórtico con elementos sísmicamente compactos y, una sección resistente a momento (RBS).

5.3 Pórtico en ABAQUS

- En la tabla 16, se puede observar como el esfuerzo va variando en función de su desplazamiento. Esto se logró analizar mediante el seguimiento de los pasos puntuales a cada desplazamiento con su respectivo esfuerzo (tabla 15).
- Seguidamente tenemos la ilustración 52. En esta grafica se puede observar el comportamiento de la cortante basal en función del desplazamiento colocado en el pórtico. Uno de los valores relevantes de esta grafica es el pisco máximo (768.120 kN) y; además de esto, en la ilustración 53, observamos los distintos niveles de desempeño al igual que en el pórtico de SAP2000 ubicado en el apartado 13.2 segundo párrafo.

5.4 Comparación de Curvas de capacidad

- La relación de las curvas de capacidad se encuentra en la ilustración 54. Aquí destaca la diferencia de desplazamiento y cortante basal entre ambos análisis. En la curva del pórtico modelado en ABAQUS podemos ver que la cortante basal máxima es de 735.69 KN en un desplazamiento de 264.739mm. En cambio, en el pórtico modelado en SAP2000, la carga máxima producida es de 735.69KN en un desplazamiento de 178.7mm. Estos valores nos indican que en el modelo de ABAQUS necesito más desplazamiento para llegar a la carga máxima. Esto se debe a las simplificaciones que realiza el SAP2000 para modelar una conexión RBS. La variación entre los dos modelos computacionales de del 4.22% en cuanto a la cortante basal y, 32% en su desplazamiento. Este desplazamiento se debe a las idealizaciones matemáticas que realiza el sap2000. En cambio, en el modelo computacional de Abaqus es el desplazamiento real aplicado. Cuando se aplica una carga en SAP2000, El programa itera las diferentes rigideces en la conexión, esto puede conllevar a un error ya que solo se analizan puntos específicos de la conexión. Se debe realizar el recorrido completo de la conexión desde la unión de las placas a la columna hasta la transmisión de esfuerzos a los patines.

5.5 Generalidades

- En la Ilustración 55 y en la Tabla 18, Se observa las diferencias producidas en los distintos niveles de desempeño del pórtico. Como se mencionó en el párrafo anterior estas diferencias son

producidas por las simplificaciones que hace el SAP2000. El ABAQUS brinda una mayor certeza en los cálculos porque se ingresa todos los parámetros a diseñarse y construirse en la realidad.

- Las cargas y combinaciones del modelo computacional del edificio en SAP2000, fueron tomadas de la (NEC, 2015a). Con estas cargas y combinaciones se comprobaron las capacidades resistentes de vigas y columnas. Estas capacidades mencionadas en el apartado 13.1, nos indican que la columna y la viga más exigida del pórtico cumple con los requerimientos mínimos de diseño.
- La conexión RBS adoptada para la modelación del modelo del pórtico en SAP2000 y ABAQUS, fue tomada de la normativa (AISC-358-10, 2010), y su geometría se observa en el apartado 11.2.4.3. Consecuentemente esta sección reducida adopta ciertos parámetros mecánicos de rotación para modelar en SAP2000. Los parámetros están ingresados según la (ASCE/SEI, 2013) y, sus valores se los puede observar en la ilustración 15, en el apartado 11.3.2.
- El modelo PUSH-OVER es un modelo no lineal estático. Por lo que para obtener la curva de capacidad del pórtico en SAP200, se lo asigno siguiendo las normativas vigentes y, asignando un desplazamiento de 1m y más de 20 pasos para su correcto análisis. Este proceso va a partir luego delo análisis de las cargas gravitacionales; es decir, luego de haber terminado de cargar al modelo con las distintas cargas vivas, muertas, viento, granizo y sismo. La masa se tomó como lo recomienda la norma (Ver apartado 11.3.1.). La curva de capacidad de SAP2000 nos da un valor máximo de 735kN. En un desplazamiento de 178.7mm.
- Para el modelo en ABAQUS se lo realizó con las mismas características físicas y mecánicas para que los marcos sean la más parecida posible. Por este motivo no se ingresaron placas de corte, sueldas ni rigidizadores de cortante. Como lo recomienda la norma para conexiones RBS. Esto se realizó para que la comparación entre ambos softwares sea lo más cercano uno del otro.
- Los desplazamientos aplicados en los dos modelos matemáticos no son mayorados por el factor R. Ya que al no tratarse de un modal espectral (MODELO ESTÁTICO), el desplazamiento no se mayor.
- Los giros tienen una divergencia entre 2.06% y el 20%. Las rotaciones son 0.18°, 0.42°, 5.56°, 18.62°, 26.30° en el modelo en ABAQUS CAE y 0.23°, 0.56°, 5.44°, 19.35°, 19.35°, 23.49° en

los niveles de desempeño operacional, ocupación inmediata, seguridad de vida, prevención al colapso y colapso respectivamente.

6 Recomendaciones

- Para el modelo de SAP2000, se recomienda ingresar los valores de rotación de la conexión RBS y no modelarla con la función NO-prismatic, ya que esta produce errores en la iteración de la curva Push-Over.
- Para la sección RBS se recomienda predimensionarla con un valor medio entre el máximo y el mínimo de cada parámetro para optimizar de mejor manera la sección y obtener la curva con más capacidad.
- En el modelo ABAQUS se recomienda hacerlo con únicamente dos estados en 0 y el desplazamiento máximo. Esto se debe ya que, si las características de la computadora no son muy buenas, el software se demorará entre 20min y 1 hora, caso contrario puede demorarse entre 5 y 10 horas. En esta investigación se cuenta con una computadora con un procesador i7 de 11ava generación y 32Gb de RAM. Al hacer en un solo paso discretizo el modelo para no realizar mas pasos que compliquen el análisis y además de esto, lleven gran cantidad de tiempo. Luego de terminar el análisis se puede realizar una subdivisión a los pasos ya establecidos anteriormente. El programa va a calcular todo el recorrido de la carga, pero, es en el análisis del modelo que dividimos estos pasos.

7 Bibliografía

Aguiar, R. (2015). *Análisis Sísmico por Desempeño*. September.

AISC 341-16. (2016). Seismic Provisions for Structural Steel Buildings. *Seismic Provisions for Structural Steel Buildings, 1*, 402.

AISC 358-10. (2010). Prequalified Connections for Special and Intermediate Steel Moment Frames for Seismic Applications. *East*.

AISC 360-16. (2016). Especificación para Construcciones de Acero. *AISC 360-16*, 3–308.

AISC-358-10. (2010). *American Institute of Steel Construction*.

ASCE/SEI. (2013). *Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings*.

Fernandez, J., & Subía, M. (2014). *Análisis no lineal estático: Evaluación del desempeño de una estructura de hormigón y una de acero diseñado usando los códigos ASCE 7-10 y NEC 11 mediante el código ASCE 41-06*. 408.

López, J. (2003). *Modelo de elementos finitos para el cálculo de arcos. Validación en estructuras agroindustriales de acero*.

NEC. (2015a). *Normativa Ecuatoriana de la Construcción (Cargas No Sísmicas)*.

NEC. (2015b). *PELIGRO SÍSMICO-DISEÑO SISMO RESISTENTE Parte 1*.

NEC. (2015c). *PELIGRO SÍSMICO-DISEÑO SISMO RESISTENTE Parte 2*.

Pere, P. (2006). *Ecuaciones Constitutivas ELASTICIDAD y PLASTICIDAD*. Universidad Politécnica de Cataluña.

Valencia, J. (2012). *ANÁLISIS DEL MÉTODO “MODAL PUSH-OVER” Y SU INCIDENCIA EN EL CÁLCULO DE PÓRTICOS DE HORMIGÓN ARMADO EN EL CANTÓN DE AMBATO*.

8 ANEXOS

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Yo, Stalin Paul Mantilla Suin portador de la cédula de ciudadanía N.º 1105645236. En calidad de autor y titular de los derechos patrimoniales del trabajo de titulación "Análisis Tenso Deformacional de un pórtico especial a momento con conexiones RBS" 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 este trabajo de titulación en el Repositorio Institucional de conformidad a lo dispuesto en el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 4 de mayo de 2023


F:
Stalin Paul Mantilla Suin
C.I.: 110564523-6