

UNIVERSIDAD CATOLICA DE CUENCA SEDE AZOGUES



**FACULTAD DE INGENIERIA INDUSTRIA Y CONSTRUCCION
INGENIERIA CIVIL**

**DISEÑO Y ANALISIS TECNICO ECONOMICO DE UNA
EDIFICACION MULTIFAMILIAR CON DISIPADORES DE
ENERGIA HISTERETICOS POR FLUENCIA DE METALES
FRENTE A UN POSIBLE SISMO SEVERO.**

Informe final del proyecto profesional de grado previo a la obtención del
grado académico de Ingeniero Civil

AUTOR:

Anabel Gabriela González Amendaño

DIRECTOR:

Ing. Roberto Gamón Torres. Msc. Ph.D.

Azogues – Ecuador

Febrero 2018

APROBACIÓN DEL TUTOR

En la calidad de tutor de grado, presentado por el Sra. Anabel Gabriela González Amendaño para optar por el título de INGENIERA CIVIL, doy fe que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a presentación pública y evaluación por parte del jurado examinador que se designe.

En la ciudad de Azogues, a los 23 días del mes de febrero de 2018.

PhD. Roberto Gamón Torres

DIRECTOR DEL PROYECTO

CI: 1752913887

CERTIFICADO DE AUTORIA

El presente trabajo investigativo de proyecto profesional de grado previo a la obtención del título de Ingeniero Civil, cuyo tema es “DISEÑO Y ANALISIS TECNICO ECONOMICO DE UNA EDIFICACION MULTIFAMILIAR CON DISIPADORES DE ENERGIA HISTERETICO POR FLUENCIA DE METALES FRENTE A UN POSIBLE SISMO SEVERO”, corresponden al trabajo de investigación del autor, además certifico que he cumplido con todas las observaciones realizadas por el tribunal evaluador.

Anabel Gabriela González Amendaño

ESTUDIANTE

CI: 0302458716

AGRADECIMIENTOS

A mi PADRE que siempre me apoyo incondicionalmente en todo momento, me dio los ánimos para seguir adelante y no darme por vencida, por confiar en mí y enseñarme a confiar en mí misma, por su cariño, comprensión, y sobre todo por su gran amor.

A mi TUTOR de tesis el PhD Gamón que me brindo su tiempo y espacio para guiarme en el presente trabajo de tesis, por su paciencia, comprensión y sobre todo por su buena actitud de recibirme siempre con los brazos abiertos cada vez que necesitaba de sus conocimientos y experiencia.

A mis DOCENTES que durante todos estos años en las aulas de clase me formaron en una profesional no solo con conocimientos sino también con valores.

DEDICATORIA

A mi Padre que los últimos años se convirtió en padre y madre para mí y mis hermanos, por ser siempre ese hombre que a pesar de las adversidades de la vida nunca pierde el sentido del humor, y siempre lleva en su rostro una gran sonrisa.
A mi Madre que, aunque no está físicamente, me dejó su ejemplo y valores para ser una mejor persona.

A mi hijo que desde el momento que lo tuve entre mis brazos se convirtió en el motor que me impulsa a querer ser mejor cada día y es lo que más amo en este mundo.

RESUMEN

El presente trabajo contiene el diseño y análisis técnico económico de una vivienda multifamiliar con y sin disipadores de energía Histeréticos tipo ADAS, la misma que consta de tres pisos, sus miembros estructurales son de acero ASTM 36 (vigas y columnas). A la vivienda con y sin disipadores, se sometió a un sismo con las características de una de las zonas de alta probabilidad de riesgo sísmico en Ecuador, como es el caso de Manabí que está dentro de la zona 6. La edificación con y sin dispositivos ADAS, cumple con los parámetros establecidos en la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC).

Los disipadores ADAS se colocaron en la edificación junto con sus soportes (diagonales) de tal manera que disipen la energía que es inducida por un sismo, tratando de evitar el colapso de la vivienda o daños severos de la misma.

A la estructura con y sin disipadores se les realizó un análisis lineal estático y dinámico modal espectral, para las cuales se compararon el comportamiento, costos y desplazamientos obtenidos.

Palabras Claves: Disipadores, ADAS, Sismo, histéresis, Derivas de piso.

ABSTRACT

The present work contains the design and technical economic analysis from a multifamily housing with and without hysteretic energy dissipaters type ADAS which has three floors, its structural elements are made of ASTM 36 Steel (beams and columns). The housing with and without dissipaters was subjected to an earthquake with the features from one of the areas of high probability of seismic risk in Ecuador like it is the case of Manabi which is inside zone 6, the building with and without ADAS dissipaters fulfills the established parameters in the Ecuadorian Construction Norm (NEC).

The ADAS dissipaters were placed in the building together with its supports (diagonals) in such a way that they dissipate energy that is induced by an earthquake, trying to avoid the housing collapse or severe damage of it.

In the structure with and without dissipaters was applied a static and dynamic linear spectral modal analysis, then was compared its behavior, costs and obtained displacements in both cases.

Key Words: Dissipaters, ADAS, earthquake, hysteresis, floor drifts.

ÍNDICE GENERAL

APROBACIÓN DEL TUTOR	II
CERTIFICADO DE AUTORIA.....	III
AGRADECIMIENTOS	IV
DEDICATORIA	V
RESUMEN	VI
ABSTRACT.....	VII
CAPITULO I	1
INTRODUCCION	1
1.1 ANTECEDENTES	2
1.2 JUSTIFICACION.....	3
1.3 OBJETIVOS.....	3
1.3.1 OBJETIVO GENERAL	3
1.3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	4
1.4 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	4
CAPITULO II.....	6
SISTEMAS DE CONTROL DE LA RESPUESTA SISMICA	6
2.1 SISTEMAS DE CONTROL PASIVO	6
2.1.1 DISIPADORES DE ENERGIA.....	7
2.1.1.1 Disipadores Histeréticos.....	8
2.1.1.2 Disipadores con Comportamiento Viscoelástico.....	8
2.2 SISTEMAS DE CONTROL SEMIACTIVO.....	8
2.3 SISTEMAS DE CONTROL ACTIVO	9
2.4 SISTEMAS DE CONTROL HIBRIDO.....	9
2.5 DISIPADORES POR FLUENCIA DE METALES.....	10
2.5.1 DISPOSITIVOS ADAS	10
2.5.2 DISPOSITIVOS TADAS.....	11
2.5.3 DISIPADOR HONEY COMB.....	12
2.5.4 BARRAS DE PANDEO RESTRINGIDO (BRB).....	12
2.5.5 PLACAS EN FORMA U	13
2.5.6 DISIPADORES BASADOS EN LA EXTRUSION DE METALES	14
2.6 DISPOSITIVOS ADAS	15
2.6.1 CARACTERISTICAS MECANICAS BASICAS DE LOS DISIPADORES ADAS.....	15
2.6.2 CONFIGURACION Y MECANISMO	16
2.6.3 MODELAMIENTO MATEMATICO	17
2.6.3.1 Modelo de Ramberg-Osgood	18

2.6.3.2	Modelo de Bouc-wen	18
2.6.3.3	Modelo Bilineal	20
2.7	AMORTIGUAMIENTO EQUIVALENTE	21
2.8	NORMA DE DISIPACION DE ENERGIA	22
CAPITULO III.....		24
DISEÑO Y ANALISIS DE LAS EDIFICACIONES SIN Y CON DISIPADORES DE ENERGIA ADAS		24
3.1	NORMAS Y CODIGOS UTILIZADOS.....	24
3.2	CARACTERISTICAS DE LA ZONA	25
3.3	ESTADOS DE CARGAS.....	26
3.3.1	CARGA MUERTA.....	26
3.3.2	CARGA VIVA.....	26
3.3.3	CARGA SISMICA.....	27
3.3.4	FACTOR DE ZONA.....	28
3.3.4.1	Coeficientes de perfil de Suelo Fa, Fd y Fs.....	28
3.4	Espectro Elástico de Diseño (Sa)	29
3.4.1.1	Metodología del Sismorresistente	31
3.5	DESCRIPCION DE LAS EDIFICACIONES.....	32
3.5.1	CONFIGURACION ESTRUCTURAL.....	34
3.6	DETERMINACION DEL PERIODO DE VIBRACION T.....	36
3.7	DIMENSIONAMIENTO DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES	37
3.8	CRITERIO DE COLUMNA FUERTE – VIGA DEBIL	45
3.9	CORTANTE BASAL DE DISEÑO.....	48
3.10	DISTRIBUCION VERTICAL DE LAS FUERZAS LATERALES ...	50
3.11	MODELO Y DIMENSIONES DE LOS DISIPADORES ADAS.....	51
3.11.1	PROPIEDADES DE LOS DISIPADORES ADAS.....	53
3.12	DISEÑO DE DIAGONALES PARA DISPOSITIVOS ADAS	55
CAPITULO IV		58
MODELACION CON ETABS DE LAS EDIFICACIONES SIN Y CON DISIPADORES DE ENERGIA ADAS		58
4.1	EDIFICACION SIN DISIPADORES DE ENERGIA	58
4.1.1	CONSIDERACIONES DEL PROGRAMA	58
4.1.2	DISEÑO DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES	58
4.1.3	COMBINACION DE CARGAS.....	62
4.1.4	ANALISIS ESTÁTICO	63
4.1.4.1	Calculo del Cortante Basal de Diseño	65

4.1.4.2	Calculo de las Fuerzas Laterales	66
4.1.4.3	Calculo de la Carga Sísmica en las diferentes direcciones.....	66
4.1.5	ANALISIS DINÁMICO	68
4.1.5.1	Análisis Modal Espectral.....	70
4.1.5.2	Control de la Deriva de Piso.....	72
4.2	EDIFICACION CON DISIPADORES DE ENERGIA	72
4.2.1	CONSIDERACIONES DEL PROGRAMA	72
4.2.2	DISEÑO DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES	72
4.2.3	COMBINACION DE CARGAS.....	75
4.2.4	ANALISIS ESTÁTICO	76
4.2.4.1	Calculo del Cortante Basal de diseño	76
4.2.4.2	Calculo de las fuerzas laterales.....	77
4.2.4.3	Calculo de la carga Sísmica en las diferentes direcciones.....	78
4.2.5	ANALISIS DINÁMICO	78
4.2.5.1	Análisis Modal Espectral.....	78
4.2.5.2	Control de la deriva de piso.....	79
4.3	COSTOS.....	80
4.3.1	VIVIENDA SIN DISIPADORES DE ENERGIA	80
4.3.2	VIVIENDA CON DISIPADORES DE ENERGIA	81
4.4	ANALISIS COMPARATIVO.....	83
	CONCLUSIONES	85
	BIBLIOGRAFIA	86

INDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Sistemas de control estructural ante sismos	6
Figura 2.2 Modelo de un dispositivo ADAS	11
Figura 2.3 Dispositivo TADAS	12
Figura 2.4 Disipador Honey-comb	12
Figura 2.5 Barra de pandeo restringida.....	13
Figura 2.6 Disipador por Flexión.....	14
Figura 2.7 El PVD en un muro de un edificio alto.	14
Figura 2.8 Disipador por extrusión de plomo	15
Figura 2.9 Deformación y Esfuerzo en disipadores ADAS.....	16
Figura 2.10 Instalación de un Dispositivo ADAS	16
Figura 2.11 Curva de histéresis de disipadores ADAS.....	17
Figura 2.12 Modelo de Bouc-Wen, disipador de cobre.	19
Figura 2.13 Ciclo de histéresis de un dispositivo con comportamiento bilineal	20
Figura 3.1. Ecuador, zonas sísmicas para propósitos de diseño	25
Figura 3.2. Espectro sísmico elástico de aceleraciones que representa el sismo de diseño	30
Figura 3.3. Vista en Planta de la vivienda	33
Figura 3.4. Vista en Elevación de la Edificación sin disipadores.....	34
Figura 3.5. Vista en Elevación de la Edificación con Disipadores ADAS	34
Figura 3.6. Planta con sus respectivas vigas principales y secundarias.....	38
Figura 3.7. Elevación con sus respectivas vigas y columnas.....	38
Figura 3.8. Perfil W	39
Figura 3.9. Pórtico a ser Analizado.....	47
Figura 3.10. Espectro de Diseño	50
Figura 3.11. Curva típica fuerza-deformación de un disipador hysterético con comportamiento bilineal.	51
Figura 3.12. Dispositivo ADAS.....	53
Figura 3.13. Geometría idealizada por Whittaker.....	54
Figura 4.1. Geometría de las Columnas.....	59
Figura 4.2. Geometría de las Vigas Principales.....	59
Figura 4.3. Geometría de las Vigas Secundarias	60
Figura 4.4. Características de las losas	61
Figura 4.5. Diafragma	61
Figura 4.6. (a) Carga Muerta. (b) Carga viva)	64
Figura 4.7. Periodo de Vibración en ETABS	65
Figura 4.8. Distribución de fuerzas laterales	66
Figura 4.9. (a) Carga dirección X. (b) Carga dirección Y	68
Figura 4.10. Comportamiento de la estructura bajo cargas sísmicas estáticas	68
Figura 4.11. Aceleración del Sismo.....	69
Figura 4.12. Aceleración del Sismo en ETABS	69
Figura 4.13. Espectro de Diseño en ETABS	70
Figura 4.14. Deformación de la Estructura.....	70
Figura 4.15. Estructura con Disipadores.....	75
Figura 4.16. Valores Cs y k	78

INDICE DE TABLAS

Tabla 3.1. Valores del factor de zona z en función de la zona sísmica adoptada	25
Tabla 3.2. Clasificación de los perfiles de suelo.....	26
Tabla 3.3. Sobrecargas mínimas uniformemente distribuidas, y concentradas	27
Tabla 3.4. Tipo de suelo y Factores de sitio Fa	28
Tabla 3.5. Tipo de suelo y Factores de sitio Fd	29
Tabla 3.6. Tipo de suelo y Factores de sitio Fs.....	29
Tabla 3.7. Tipo de uso, destino e importancia de la estructura.....	32
Tabla 3.8. Valores de ΔM máximos, expresados como fracción de la altura de piso	32
Tabla 3.9. Configuraciones estructurales recomendadas.....	35
Tabla 3.10. Coeficientes de irregularidad en planta	35
Tabla 3.11. valores de C_t y α	36
Tabla 3.12. Perfil Compacto o no compacto	40
Tabla 3.13. Tipo de Viga	41
Tabla 3.14. Momentos Nominales	42
Tabla 3.15. Deflexiones máximas.....	43
Tabla 3.16. Diseño de vigas.....	44
Tabla 3.17. Perfil compacto o esbelto.....	44
Tabla 3.18. Pandeo por flexión de miembros	44
Tabla 3.19. Dimensiones de Columnas	45
Tabla 3.20. Valores de R_y y R_t	47
Tabla 3.21. Criterio de Columna fuerte-Viga débil	48
Tabla 3.22. Coeficiente R para sistemas estructurales dúctiles	49
Tabla 3.23. Valores de k	51
Tabla 3.24. Dimensiones dispositivo ADAS	53
Tabla 4.1. Combinación de Cargas	62
Tabla 4.2. Combinación de Cargas	63
Tabla 4.3. Carga Sísmica, Estructura sin disipadores.....	65
Tabla 4.4. Distribución Vertical de las Fuerzas Laterales, Estructura sin disipadores	66
Tabla 4.5. Cortante Escalonado estructura sin disipadores	71
Tabla 4.6. Modos de Vibración de la estructura sin disipadores	71
Tabla 4.7. Control de Derivas en la dirección x, Estructura sin disipadores	72
Tabla 4.8. Control de Derivas en la dirección Y, Estructura sin disipadores	72
Tabla 4.9. Parámetros de las Diagonales pórticos BC y CD	73
Tabla 4.10. Parámetros de las Diagonales pórtico AB	73
Tabla 4.11. Parámetros de las Diagonales pórtico 2-3	73
Tabla 4.12. Parámetros de las Diagonales pórtico 1-2	74
Tabla 4.13. Parámetros de las Diagonales pórtico 3-4	74
Tabla 4.14. Características de los Disipadores ADAS	74
Tabla 4.15. Carga Sísmica Estructura con disipadores.....	76
Tabla 4.16. Factor de reducción del Cortante	77
Tabla 4.17 Distribución Vertical de las Fuerzas Laterales, Estructura con Disipadores	77
Tabla 4.18. Cortante Escalonado, Estructura con disipadores.....	78
Tabla 4.19. Modos de Vibración, Estructura con disipadores	79
Tabla 4.20. Control de Derivas en la dirección x, Estructura con disipadores	79

Tabla 4.21. Control de Derivas en la dirección Y, Estructura con disipadores	80
Tabla 4.22. Comparación de Carga Reactiva	83
Tabla 4.23. Comparación de los Cortantes Estático y Dinámico	83
Tabla 4.24. Comparación de derivas en la dirección x	84
Tabla 4.25. Comparación de derivas en la dirección y	84
Tabla 4.26. Comparación de Costos	84

INDICE DE ECUACIONES

Ecuación. 2.1 Modelo de Ramberg Osgood para curvas.....	18
Ecuación. 2.2 Modelo de Ramberg Osgood para curvas.....	18
Ecuación. 2.3 Fuerza Restauradora.....	18
Ecuación. 2.4 Variable adimensional.	18
Ecuación. 2.5 Runge Kutta.	19
Ecuación. 2.6 Wen.....	19
Ecuación. 2.7 Wen discretizada.....	19
Ecuación. 2.8 Wen simplificada.	19
Ecuación. 2.9 Wen factorizada.....	19
Ecuación. 2.10 Funcion de incremento.....	19
Ecuación. 2.11 Amortiguamiento equivalente.....	21
Ecuación. 2.12 Coeficiente de amortiguamiento.	21
Ecuación. 2.13 Periodo fundamental de la estructura T.....	21
Ecuación. 2.14 Amortiguamiento equivalente en funcion de las energias.	21
Ecuación. 2.15 Energia disipada por un disipador.....	21
Ecuación. 2.16 Energia elastica por un disipador.	21
Ecuación. 2.17 Factor de amortiguamiento equivalente.....	22
Ecuación. 3.1 Espectro de diseño para $0 \leq T \leq T_c$	30
Ecuación. 3.2 Espectro de diseño para $T > T_c$	30
Ecuación. 3.3 Periodo limite de vibración T_c	31
Ecuación. 3.4 Espectro de diseño para $T \leq T_o$	31
Ecuación. 3.5 T_o	31
Ecuación. 3.6 Periodo de vibracion.	36
Ecuación. 3.7 Momento ultimo.....	39
Ecuación. 3.8 Longitud Limite L_p	41
Ecuación. 3.9 Longitud Limite L_r	41
Ecuación. 3.10 r_t	41
Ecuación. 3.11 Momento plastico.....	42
Ecuación. 3.12 Factor de modificación de pandeo lateral - torsional.....	42
Ecuación. 3.13 Cortante Nominal.....	42
Ecuación. 3.14 Resistencia Nominal de un alma.....	45
Ecuación. 3.15 Relacion conexión viga-columna.....	46
Ecuación. 3.16 Sumatoria de momentos plasticos nominales de las columnas.....	46
Ecuación. 3.17 Sumatoria de momentos plasticos nominales de las vigas.....	46
Ecuación. 3.18 Factor para la fuerza de conexión entre viga y columna.	46
Ecuación. 3.19 Cortante basal.....	48
Ecuación. 3.20 Carga sismica reactiva.....	49
Ecuación. 3.21 Fuerza Lateral aplicada en el piso i de la estructura.....	50
Ecuación. 3.22 Rigidez equivalente.....	52
Ecuación. 3.23 Coeficiente β	52
Ecuación. 3.24 Desplazamiento de fluencia.	54
Ecuación. 3.25 Desplazamiento ultimo.	54
Ecuación. 3.26 Rigidez post fluencia.....	54
Ecuación. 3.27 Rigidez Elastica.	55
Ecuación. 3.28 Rigidez efectiva.	55
Ecuación. 3.29 Cortante por fluencia.....	55
Ecuación. 3.30 Cortante plastico ultimo.....	55

Ecuación. 3.31 Rigidez de la diagonal.....	55
Ecuación. 3.32 Carga axial maxima de la diagonal.....	55
Ecuación. 3.33 Relacion de esbeltez.....	56
Ecuación. 3.34 Factor de seguridad.....	56
Ecuación. 3.35 Parametro de esbeltez.....	56
Ecuación. 3.36 Carga Axial de la diagonal.....	56
Ecuación. 4.1 Cs.....	66
Ecuación. 4.2 Factor escala.....	71
Ecuación. 4.3 Deriva inelastica.....	72
Ecuación. 4.4 Cortante basal minimo 1.....	76
Ecuación. 4.4 Cortante basal minimo 2.....	76

CAPITULO I

INTRODUCCION

Durante el sismo sucedido el pasado 16 de abril del 2016 en Ecuador que afecto a gran parte de la costa ecuatoriana, perjudicando a unos sectores más que otros, llevando con el grandes pérdidas materiales, dejando de esta manera a muchas personas sin hogares y sobre todo dolor por todas las pérdidas humanas que dejo, nació la idea de buscar nuevas técnicas de construcción que puedan ser aplicadas a futuras viviendas y para la rehabilitación de viviendas ya existentes sin que esto implique un costo adicional muy grande de obra y de materiales para ser llevada a cabo y lo más importante que ofrezca mayor tranquilidad y seguridad a sus ocupantes, teniendo así edificaciones más resistente y seguras.

Por lo que en este trabajo se llevó a cabo la modelación, análisis y el diseño mediante el uso del software ETABS (Extended Three Dimensional Analysis of Building Systems) para una edificación cuyos miembros estructurales son de acero, de tres pisos de altura, a la vez a la misma vivienda se colocara un nuevo método o técnica de construcción, disipadores de Energía pasivos histeréticos por fluencia de metales tipo ADAS (Added Damping and Stiffness), los mismos que disiparon la energía inducida por un sismo, tratando de evitar daños estructurales graves o el colapso de la misma.

La estructura cumplió con los parámetros establecidos en las normas de construcción vigentes en nuestro país, la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC) y otros códigos extranjeros (AISC) frente al sismo severo.

Los datos obtenidos de la vivienda con y sin dispositivos tipo ADAS nos permitió comparar, la vivienda sin disipadores versus con disipadores desde un punto de vista técnico económico (costos, derivas máximas y otros parámetros).

1.1 ANTECEDENTES

Durante mucho tiempo atrás se ha buscado crear edificaciones que puedan soportar sismos fuertes y no terminen estas en el colapso inmediato, si no que por lo menos sus daños no sean tan severos para que de alguna manera se las pueda reparar posteriormente, es así que en muchos países de mundo ya hace algunas décadas han buscado soluciones, siendo uno de los pioneros Estados Unidos (Banco Well Fargo en San Francisco fue reestructurado con dispositivos ADAS), China y Japón que han introducido nuevas técnicas constructivas, como es el utilizar disipadores de energía como dispositivos que permiten disminuir de cierto modo el daño en las estructuras, haciendo que los desplazamientos producidos por el fenómeno sísmico en los edificios sean menores, además estas técnicas también han sido ya usadas por otros países como México que ha reestructurado varios edificios y se han construido nuevas edificaciones con el sistema de dispositivos ADAS, las cuales se han visto sometidas a sismo de mediana intensidad, dando como resultado un comportamiento adecuado de las mismas (Barrios, 2005).

En el Ecuador durante los últimos años se han realizado varias investigaciones de ciertas obras civiles que pueden ser reforzadas con nuevas técnicas de construcción, y otras que han sido llevadas a cabo, aunque son contadas su número, como es el caso de la Escuela Sucre en la ciudad de Quito que fue reforzada con disipadores de energía viscoelásticos (Topo, 2014), proyectos y temas propuestos como es “Análisis Sísmico de Estructuras con Disipadores de Energía Viscoelásticos usando espectros y acelerogramas” (Costa Castro, 2007), “Desarrollo de un programa en Excel para diseñar placas Gusset. Aplicación a una estructura con disipadores de energía de UFA-ESPE” (Aguiar, 2016), “Análisis sísmico del auditorio de UFA- ESPE con vigas San Andrés y disipadores de energía Shear Link Bozzo” (Aguiar, 2016) entre otros.

Realmente no se cuenta con información acerca del uso de disipadores de Energía Histeréticos por fluencia de metales en nuestro país como se puede apreciar, pero si se cuenta con trabajos de estos en países vecinos como Colombia como es “Disipadores Histeréticos Metálicos como técnica de control de respuesta Sísmica en edificaciones colombianas” (Oviedo & Duque, 2009).

1.2 JUSTIFICACION

Desde hace muchos años y hasta la actualidad se ha podido presenciar que en nuestro país han sucedido catástrofes en numerosas ocasiones como grandes terremotos, claro ejemplo tenemos el sucedido el 16 de abril del año pasado que no solo ha traído pérdidas materiales sino también muerte, debido a la imprudencia de construir en cualquier lugar sin un estudio de suelos previo, construir con materiales que no cumplen con los requerimientos necesarios para el medio que va ser construido, por una mala calidad de la mano de obra y al ignorar buenas alternativas de construcción, lo que ha llevado a buscar soluciones para tratar de eliminar o en mayor de los casos disminuir estos lamentables hechos, utilizando nuevas técnicas de construcción (edificaciones con Disipadores de Energía pasivos histeréticos por fluencia de metales tipo ADAS) que permitan estructuras más estables y resistentes ofreciendo de esta manera mayor tranquilidad y seguridad a sus habitantes siempre cumpliendo con lo establecido en las normas vigentes de construcción del Ecuador.

La utilización de disipadores ADAS en varios países del mundo desde hace varios años, como es el caso de México que utilizo este método para rehabilitar algunas edificaciones que fueron víctimas del terremoto de 1985, dando muy buenos resultados, también este sistema fue implementado en Japón en edificios de 5, 9, 15 y muchos más pisos, un ejemplo de estos lo tenemos en el Oujiseishi Headquartes Building ubicado en Tokio que consta de 15 niveles, es decir que se podría aplicar esos en estructuras construidas en nuestro país, esperando los mismos resultados favorables.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

Realizar el modelo, Análisis y diseño de una edificación multifamiliar (3 pisos) sin utilizar y utilizando Disipadores de Energía pasivos Histeréticos como un mecanismo para aliviar el efecto debido a un sismo severo y evitar el colapso de esta y pérdidas humanas.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Modelar la edificación multifamiliar con y sin disipadores de Energía con la ayuda del programa ETABS utilizando las normas vigentes en nuestro país (NEC).
- Observar el comportamiento de las estructuras con y sin disipadores frente a un posible sismo severo.
- Comparar los resultados de la estructura sin disipadores versus la edificación con disipadores de Energía tipo ADAS.

1.4 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la actualidad en nuestro país se hallan construidas varias edificaciones que ni siquiera cuentan con un permiso de construcción otras tienen serios problemas constructivos como la mala calidad de los materiales, mala supervisión de obra, por construirse en suelos inestables sin un estudio previo entre otros, por lo que en el momento de estar frente a un sismo severo terminan con daños graves, o en colapso inmediato produciendo así grandes pérdidas materiales y muerte de sus ocupantes, debido a que en la mayoría de nuestros lugares de residencia de cierto modo se da mayor importancia a edificios de gran altura y se deja de lado las viviendas multifamiliares de pocos pisos, sabiendo que estas suelen ser las más afectadas durante un sismo, puesto que no cuentan con los parámetros de construcción ya nombrados anteriormente.

Además, se debe tener en cuenta que un terremoto puede ocurrir en el momento menos esperado puesto que el Ecuador es un país que se encuentra en una zona de alta vulnerabilidad sísmica ya que nos encontramos dentro del cinturón de fuego y sobre dos placas que están en constante movimiento la placa sudamericana y la Nazca por lo que se debe recurrir a nuevas alternativas de construcción para obtener viviendas más resistentes y seguras para sus habitantes.

CAPITULO II

SISTEMAS DE CONTROL DE LA RESPUESTA SISMICA

En el diseño sismo resistente de una edificación se toma en cuenta las fuerzas dinámicas incitadas por cierto tipo de sollicitación, por medio de la capacidad de disipación de energía y de la redundancia estructural, en función de los elementos estructurales que las componen (vigas, columnas y conexiones). Por lo general la disipación de energía se da en los extremos de los elementos y se garantiza con un detallado especial de los mismos, de tal manera que se relacionan directamente la disipación de energía con la ductilidad de un elemento estructural (Bozzo & Ordóñez, 2001).

Se ha considerado varias opciones para tratar de mitigar la respuesta dinámica en las estructuras como es incorporar componentes externos. Existe un parte de la mecánica estructural encargada de manejar estos conceptos, conocido como control estructural (Oviedo & Villarreal, 2009).

Control Estructural. - Consiste en sistemas sismorresistentes avanzados cuyo trabajo es controlar los desplazamientos de una edificación fig. 2.1 (Oviedo & Villarreal, 2009, p. 24).

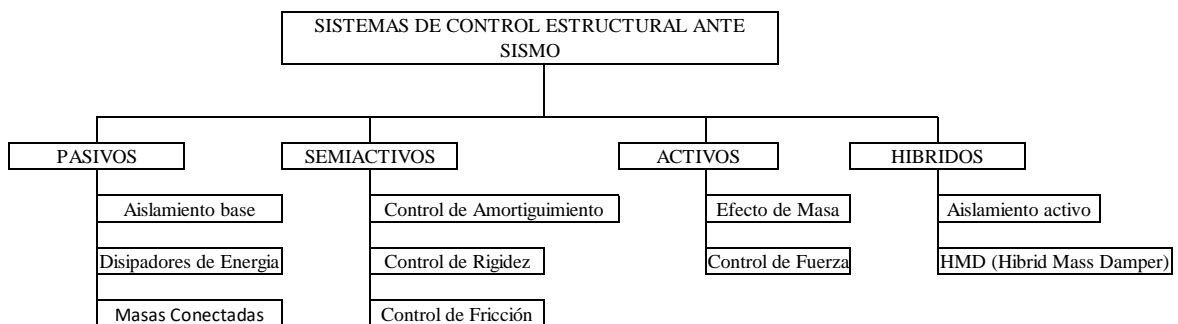


Figura 2.1 Sistemas de control estructural ante sismos
(Segovia, 2016; Oviedo & Villarreal,2009)

2.1 SISTEMAS DE CONTROL PASIVO

Estos dispositivos son elementos de carácter reactivo, es decir que cuya respuesta no se puede controlar y depende necesariamente de las condiciones de

trabajo en las que se encuentre. Estos provocan cambios en las propiedades dinámicas del edificio lo que conlleva a la reducción de la respuesta estructural, teniendo ventajas económicas (Oviedo & Villarreal, 2009, p. 30).

Los sistemas pasivos empiezan su funcionamiento una vez que comienzan los desplazamientos en la edificación debido al movimiento de un sismo. Estos no requieren energía externa y pueden ser básicamente tres: aisladores, control pasivo con disipadores de energía y sistemas de masas conectadas (Segovia, 2016).

2.1.1 DISIPADORES DE ENERGIA

Uno de los principales objetivos de la ingeniería Estructural es que todos los miembros que conforman una estructura cumplan con sus funciones para las cuales fueron diseñadas. Esto se puede lograr teniendo amplio conocimiento del proceso de transmisión de las cargas desde la naturaleza, pasando por el sistema de resistencia sísmica o de viento, su cimentación y finalmente hacia el suelo de fundación. (Cancelado, 2012).

Los cuales están relacionados con el intercambio y balance de energía que es provocada a la estructura y que se manifiesta en varias formas, tanto en los elementos estructurales como los no estructurales que forman parte de esta. En este momento es cuando los dispositivos de disipación de energía entran a actuar para aliviar la energía absorbida por los elementos estructurales (Cancelado, 2012).

En el planteamiento de este proyecto se consideraron dispositivos pasivos por disipación de energía para ser estudiados, por lo que se hablará más detalladamente de estos, con lo que se puede decir que este tipo de dispositivos se divide en dos amplios grupos disipadores histeréticos y disipadores con comportamiento viscoelástico y se subdividen por un lado en fluencia de metales y por fricción entre superficies, los cuales dependen básicamente del desplazamiento y por otro lado sólidos viscoelásticos y fluidos viscoelásticos los que dependen de la velocidad.

2.1.1.1 Disipadores Histeréticos

Estos elementos son conocidos también como disipadores metálicos cuya función principal es la de disipar energía que se produce en un sismo, lo hacen por medio de deformaciones inelásticas que se producen en los mismos, las deformaciones ocasionadas se dan principalmente por flexión, cortante y fricción. Por lo general para la construcción de estos componentes se utiliza como material acero estructural, cobre y aluminio, estos dispositivos se clasifican por fluencia de metales (ADAS, TADAS, panel “honeycomb”, barras de pandeo restringido, placas en forma de U, Sistema DUR “Dissipator Using Steel Rods” y disipadores basados en la extrusión de metales) y por fricción (Dispositivo de la empresa Sumimoto Metal Industries Ltd , Dispositivo de la empresa Pall Dynamics Ltd , Dispositivo de la empresa Fluor Daniel Inc. llamado EDR “Energy Dissipating Restraint” (Segovia, 2016).

2.1.1.2 Disipadores con Comportamiento Viscoelástico

Estos elementos se han empleado durante los últimos treinta años para reducir la respuesta de edificios de gran altura al verse sometidos al viento. Sus últimos estudios se han enfocado para ser utilizados con fines sismorresistentes. Los dispositivos están formados por chapas metálicas unidas por capas finas de material viscoelástico y presenta unos ciclos histeréticos de forma elípticos. La manera de disipar energía se basa en el aumento de amortiguamiento, presenta ciertas ventajas con respecto a los disipadores histeréticos. Los disipadores de este tipo se clasifican por un lado en disipadores Viscoelásticos (Sólidos viscoelásticos y fluidos viscolásticos) y por otro lado disipadores de fluido viscoso (fluidos con comportamiento lineal y fluidos con comportamiento No-lineal), (Oller & Salomón, 2000).

2.2 SISTEMAS DE CONTROL SEMIACTIVO

Son un tipo de sistemas de control activo, donde la energía externa necesaria es de inferior magnitud con respecto a los sistemas convencionales. Los dispositivos de control semiactivo por lo general no suministran energía mecánica al sistema estructural (estructura y actuadores), lo que garantiza la estabilidad tipo entrada-acotada salida-acotada. A este tipo de elementos con frecuencia se les considera como

dispositivos pasivos controlables y pueden ser entre algunos los siguientes: sistemas semiactivos de fricción, dispositivos de rigidez variable y los dispositivos de amortiguamiento (Gómez, Marulanda & Thomson, 2008).

2.3 SISTEMAS DE CONTROL ACTIVO

El comportamiento de este tipo de sistema es similar a los sistemas pasivos pero son mucho más complejos como en vez de dispositivos inertes (disipadores) se colocan mecanismos activos alimentados de energía, lo cual les permite empujar exitosamente a la estructura, intentando contrarrestar el efecto de la excitación, otra de las características de estos es que se instalan sensores que dan a conocer en tiempo real la situación en la que se ve la estructura (velocidad y aceleración), cuya información es procesada por un controlador por lo general un ordenador, el cual toma las decisiones de que hacer y transmite a los actuadores las ordenes con precisión, para que los mismos actúen sobre la estructura de una manera eficaz y estos sistemas pueden ser por efecto de Masa y por Control de fuerza (Almansa & Bozzo, s.f).

2.4 SISTEMAS DE CONTROL HIBRIDO

Los sistemas híbridos tienen semejanzas con los sistemas activos, pero en estos intervienen componentes pasivos que reducen el consumo energético del sistema frente a la presencia de un sismo (Oviedo & Villarreal, p. 27).

Se puede decir que estos sistemas son una versión mejorada de los sistemas activos ya que son una combinación de los sistemas pasivos y activos es así en caso de presentarse alguna falla en el sistema activo, por el que está conformado automáticamente el dispositivo de tipo pasivo está en la capacidad de controlar la respuesta del sistema. Algunos de los sistemas más conocidos de estos son el HMD (Híbrido Mass Damper) y el sistema de Aislamiento de base con control activo (Cahis, 2000).

2.5 DISIPADORES POR FLUENCIA DE METALES

Estos dispositivos conocidos en muchos casos como disipadores por plastificación de metales. La plastificación de metales en disipadores se puede producir a partir de esfuerzos estructurales o por el proceso de extrusión. Los esfuerzos de torsión, flexión, cortante o axial pueden llevar a procesos de plastificación de metales. Siendo el acero uno de los metales más utilizado en disipadores, ya que este presenta grandes virtudes como su bajo costo y elevada ductilidad. Se han realizado varios ensayos en acero bajo condiciones cuasiestáticas dando como resultados valores del límite de fluencia inferior en un 17% y de tensión máxima de rotura inferiores en un 3% con velocidades de deformación del 10%, obteniendo este buen comportamiento basado en la caracterización estática, la caracterización dinámica aumenta su complejidad, con lo que se concluyó que para reducir la respuesta estructural, es preferible disipar energía a partir de rangos bajos de fuerza y desplazamiento. Es esta la razón por la cual se ha ensayado disipadores con acero de bajo límite elástico y con gran capacidad de alargamiento en relación con otros aceros utilizados en construcción y de determinadas aleaciones de aluminio. Dentro de estos disipadores existen una gran variedad de ellos que serán descritos brevemente, de los cuales se les dará mayor importancia a los disipadores ADAS, los que serán modelados en este trabajo (Oviedo & Villarreal, 2009, pp. 61-66).

2.5.1 DISPOSITIVOS ADAS

El Added Damping and Stiffnes (ADAS) es un dispositivo compuesto por una serie de chapas en paralelo, con espesor constante y sección variable con forma de X. Es un sistema parecido a dos trapecios unidos por la base menor. Es un disipador que se ajusta a las necesidades de la estructura a la cual se ve incorporado (Villarreal & Oviedo, 2009, p. 34).

Este elemento permite aumentar la resistencia, rigidez y la capacidad de disipación de energía en las edificaciones donde es instalado. El número de chapas o placas del que se compone este dispositivo depende de cada situación para el cual se vaya a adaptar, el desplazamiento de fluencia puede ser modificado cambiando la altura y espesor de las placas o la calidad del material. Este tipo de dispositivos por lo

general se instalan en estructuras de pórtico, a los cuales se les conecta a través de bulones riostras tipo k con las vigas de la estructura. Una de las grandes ventajas de los elementos ADAS es que se da una distribución uniforme de las deformaciones plásticas en toda la altura del dispositivo debido a la forma en X de las placas (Crisafulli & Palazzo, 2004)



Figura 2.2 Modelo de un dispositivo ADAS
(Almansa & Bozzo, 1998)

Los elementos ADAS se pueden utilizar para edificaciones nuevas, pero a la vez también para la reparación de viviendas que tengan ciertos daños después de haber pasado por un sismo. Ofrece una cantidad substancial de amortiguamiento interno suplementario a la edificación, lo cual reduce el espectro de aceleraciones y a la vez las fuerzas sísmicas. Esta clase de dispositivo permite reducir la cantidad de energía que es disipada internamente por cada una de las piezas que conforman la estructura y la consolida en el material del que está hecho, es por esta razón que solo se sustituye el disipador en caso de que resulte dañado después del terremoto (Almansa & Bozzo, s.f)

2.5.2 DISPOSITIVOS TADAS

En cambio, la forma de los TADAS (Triangular Added Damping and Stiffness) es triangular con dimensión b , en la parte más ancha; para los dos disipadores h es la altura del disipador y t es el espesor de una de las placas, que pueden ser de acero o aleaciones a base de cobre, zinc y aluminio (Heresi, 2012).

Este tipo de disipador se caracteriza por que no toman las cargas de gravedad ya que no se encuentra empotrado en sus dos nodos de tal manera que hace que su respuesta sea muy predecible (Segovia, 2016).

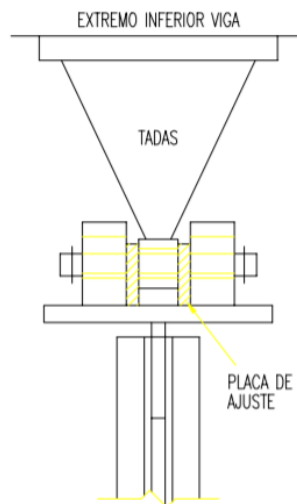


Figura 2.3 Dispositivo TADAS
(Almanza & Bozzo)

2.5.3 DISIPADOR HONEY COMB

Este tipo de dispositivo fue fabricado por una empresa japonesa llamada Kajima Corporation, es un amortiguador de acero histerético, el mismo que es un amortiguador de placa de acero con varias aberturas en forma de rejillas en el medio de él, por la misma razón lleva el nombre de panal de abaja. Este elemento actúa en una sola dirección, utiliza como mecanismo disipador la deformación relativa entre elementos estructurales principales de tal manera que la deformación del amortiguador disipe la energía de vibración con lo que se espera que disminuya el movimiento de respuesta de la edificación (Avilés, 2001).



Figura 2.4 Disipador Honey-comb
(Chiriboga, 2013)

2.5.4 BARRAS DE PANDEO RESTRINGIDO (BRB)

Estas barras cuyas siglas en inglés significa Buckling Restrained Braces son la más utilizadas para protección sísmica de estructuras. Las barras de pandeo restringido

son barras esbeltas de acero que se encuentran conectadas a la edificación en forma de diagonales o en V invertida. Este tipo de barras para proyectos sismorresistentes se dimensionan de tal manera que estén en la capacidad de absorber las fuerzas axiales generadas en las mismas por las acciones sísmicas de proyecto, generalmente correspondientes a periodos de retornos próximos a 475 años, pero dichas barras presentan ciertos problemas como; estas incrementan sensiblemente la rigidez lateral del edificio lo que puede llegar a provocar mayores fuerzas sísmicas equivalentes con lo que a su vez aumentaría su periodo fundamental y como otra desventaja es el nivel de amortiguamiento global de la edificación no aumenta por efecto de las barras, quedando así este con una ductilidad excesivamente limitada, por lo que la forma más correcta de usar estas barras sería que sean de menor sección o que sean de acero de límite elástico más bajo, con lo que se lograría que se plastifiquen para las acciones sísmicas de proyecto o incluso antes, es así que se aporta al edificio amortiguamiento en vez de rigidez (Almansa, Medina & Oller, 2014).

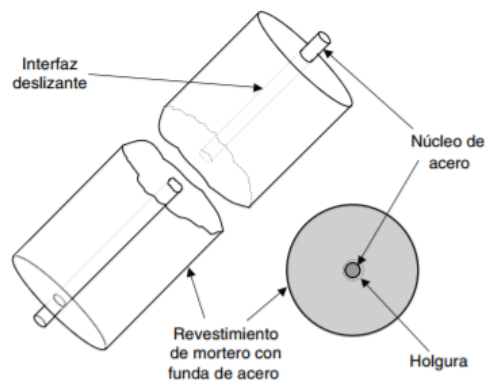


Figura 2.5 Barra de pandeo restringida
(Almansa, Medina & Oller, 2014)

2.5.5 PLACAS EN FORMA U

Este tipo de sistema disipa energía por flexión pura al enrollarse debido al desplazamiento relativo producido entre sus extremos (Oviedo & Villarreal, 2009).

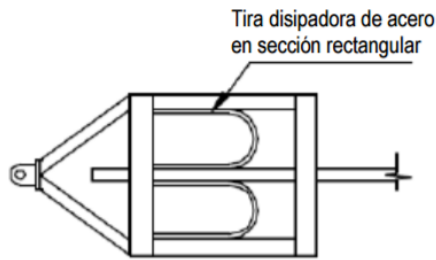


Figura 2.6 Disipador por Flexión
(Oviedo & Villarreal, 2009)

2.5.6 DISIPADORES BASADOS EN LA EXTRUSION DE METALES

- **Amortiguador de Vibración Penguin – PVD**

Sus siglas significan Penguin Vibration Damper, es un dispositivo de amortiguamiento compacto y eficiente, que es utilizado como un “amortiguamiento suplementario” en estructuras altas y/o flexibles mediante la distribución de varios dispositivos de pequeña capacidad por todos los lados de la estructura, dando resultados muy satisfactorios para la protección de vibración en las estructuras con periodos que están fuera del rango práctico de aislamiento sísmico, lo que hace que se distribuya uniformemente el amortiguamiento por toda la estructura, lo que crea una estructura altamente amortiguada (Avilés, 2001).

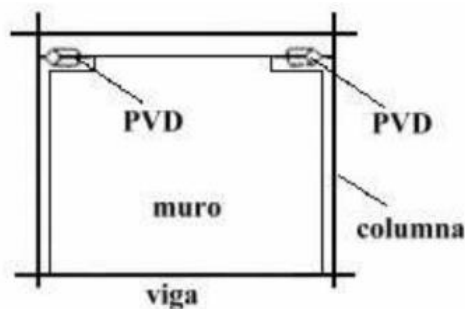


Figura 2.7 El PVD en un muro de un edificio alto.

(Avilés, 2001)

- **Disipador por extrusión de plomo**

Es un elemento que es desarrollado por la empresa neozelandesa Penguin Engineering Ltd, los mismos que se han utilizado en varias edificaciones y puentes en algunos países del mundo como Japón, Estados Unidos, Italia y Nueva Zelanda, dando muy buenos resultados. Este disipador, donde el plomo es extruido

cíclicamente se encuentra en un cuerpo cilíndrico de acero, que por medio de un embolo se fuerza a fluir a través de un orificio. El proceso de extrusión es un problema alasto-plástico, en el que se producen grandes deformaciones plásticas. Existen dos tipos de estos; el tubo contraído y el tipo vástago pandeado (Avilés, 2001).

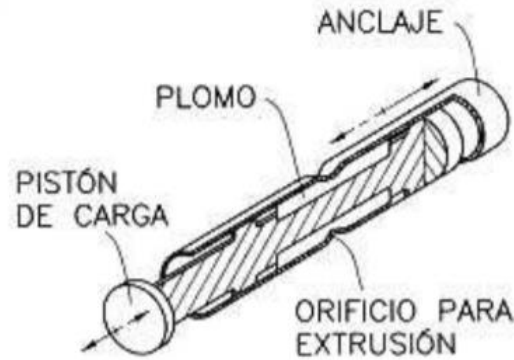


Figura 2.8 Disipador por extrusión de plomo
(Almanza & Bozzo)

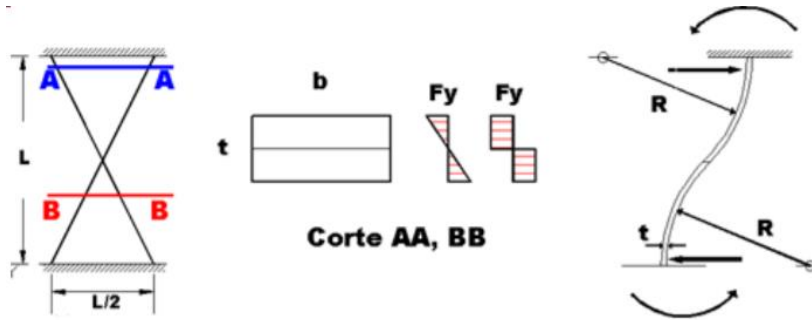
2.6 DISPOSITIVOS ADAS

2.6.1 CARACTERÍSTICAS MECANICAS BASICAS DE LOS DISIPADORES ADAS

Sabemos ya que debido a la forma X que poseen los disipadores ADAS, se da una deformación uniforme en toda su sección, lo que permite una muy buena resistencia y capacidad de deformación ante cargas cíclicas (Segovia, 2016).

Se han realizado algunos ensayos de este dispositivo para encontrar algunas de sus propiedades siendo el más relevante el realizado por Alonso y Whittaker en el año de 1989, el cual se llamó “Ensayo de carga lateral cíclica de dispositivos ADAS”. Dando como resultados un buen comportamiento ante dichas cargas soportando grandes deformaciones sin perder resistencia. Los elementos ADAS cuando se encuentran en empotramiento perfecto, es decir que no ven expuestos a desplazamiento lateral (con secciones simétricas) lo que provoca que se deforme en doble curvatura con radios iguales “R” de tal manera que produce esfuerzos iguales en

cada sección del disipador (ver Fig. 2.9), lo que garantiza una plastificación uniforme en toda la longitud del elemento evitando de tal manera fallas locales (Segovia, 2016)



Esfuerzo A-A= Esfuerzo B-B

Figura 2.9 Deformación y Esfuerzo en disipadores ADAS

(Segovia, 2016)

2.6.2 CONFIGURACION Y MECANISMO

Los dispositivos ADAS comúnmente son instalados entre el extremo superior de un arreglo de dos riostras con la forma de V invertida, el mismo que también es conocido como un brazo chevron, y la viga superior de un marco como se observa en la figura 2.10 (Oviedo & Villarreal, 2009). Estos elementos son elaborados de acero estructural por lo general de acero ASTM A36.

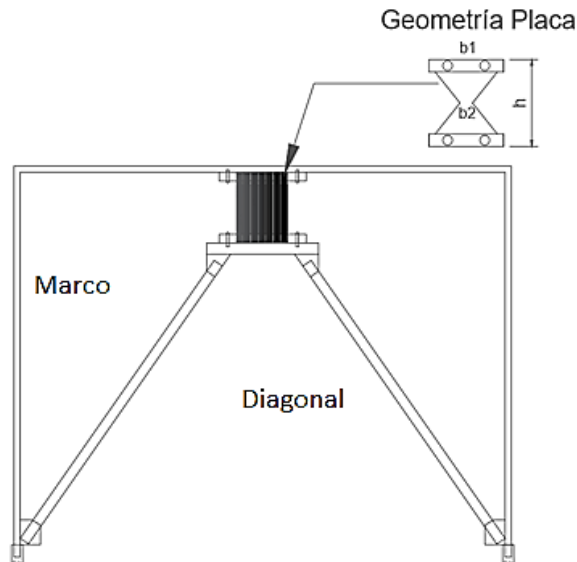


Figura 2.10 Instalación de un Dispositivo ADAS

(Elaboración propia, 2017)

Los sistemas Histeréticos disipan la energía por medio de mecanismos que no dependen del rango de aplicación de la carga, siendo el mecanismo más efectivo para disipar energía de un sismo en una edificación, los de deformación inelástica de materiales metálicos. La respuesta del disipador está directamente relacionada con el comportamiento cíclico esfuerzo- deformación del metal con el que es elaborado. Un espécimen de 28 acero, que fue sometido a una carga uniaxial tiene una respuesta como se muestra en la figura 2.11. Los disipadores ADAS trabajan básicamente a cortante, lo que provoca que se plastifique en su totalidad en una doble curvatura, de tal manera que logra disipar energía por histéresis (Tena, 1993).

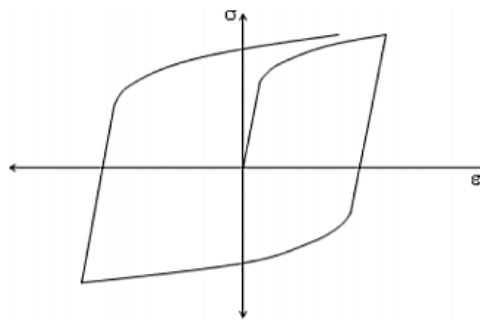


Figura 2.11 Curva de histéresis de disipadores ADAS
(Symans, 2008).

2.6.3 MODELAMIENTO MATEMATICO

El modelo matemático de los dispositivos ADAS de cierta manera puede ser complejo ya que hay que desarrollar un modelo que represente a la estructura que se va a llevarse a cabo (vivienda multifamiliar de tres pisos), dentro del cual se debe hacer incluir las propiedades del disipador y a la vez que su proceso sea efectivo en diseño y análisis. Con el avance de la tecnología es posible modelar y analizar de forma tridimensional la estructura con la ayuda de ciertos programas como ETABS y SAP.

Existen modelos de los disipadores histereticos, las cuales son ecuaciones que de forma aproximada indican las relaciones existentes entre carga y descarga vs desplazamiento de un elemento en estudio, van desde modelos simples a complejos entre los cuales tenemos: Modelo de Ramberg- Osgood, Modelo de Bouc-wen (Segovia,2016).

2.6.3.1 Modelo de Ramberg-Osgood

Es un modelo que fue desarrollado por Ramberg y Osgood en el año de 1943, el cual representa los ciclos de histéresis de los materiales dúctiles, de tal manera que se logre el efecto de Bauschinger (“Fenómeno por el que aumenta la resistencia a la tensión y disminuye la resistencia a la compresión, al deformarse plásticamente un metal”) sin pérdida de rigidez. Este modelo consiste en una curva esqueleto y una familia de curvas representadas por las siguientes ecuaciones respectivamente: (Segovia,2016)

$$\frac{d}{dy} = \frac{F}{F_y} \left(1 + \alpha \left| \frac{F}{F_y} \right|^{n-1} \right) \quad \text{Ecuación 2.1}$$

$$\frac{d-d_o}{2dy} = \frac{F-F_o}{2F_y} \left(1 + \alpha \left| \frac{F-F_o}{2F_y} \right|^{n-1} \right) \quad \text{Ecuación 2.2}$$

Donde:

dy= desplazamiento de fluencia

α , n = coeficientes

2.6.3.2 Modelo de Bouc-wen

Este modelo está compuesto por una fuerza restauradora (donde la variable es el desplazamiento) y una variable adimensional denominada z (Lagos, 2012).

$$fr = \alpha k_1 x + (1 - \alpha) f_y z \quad \text{Ecuación 2.3}$$

$$\dot{z} = A \dot{x} - \beta z |\dot{x}| |z|^{n-1} - \gamma \dot{x} |z|^n \quad \text{Ecuación 2.4}$$

Donde:

A= factor de escala general

α = razón de proporcionalidad entre fuerza lineal / fuerza no lineal

β γ = determinan la forma de la curva

n= regula la suavidad de transición entre región lineal y no lineal

El modelo de Bouc-wen representa diferentes tipos de constitutivas dependiendo de los valores de sus parámetros, lo que le permite competir con una gran variedad de dispositivos, por su comportamiento elastoplástico y su respuesta en el tiempo, pero este presenta un problema ya que es un modelo descrito por una ecuación diferencial que tiene que ser incluido en la expresión general del dispositivo por medio de un algoritmo que combine y resuelva de forma eficaz, el comportamiento de la edificación y de los dispositivos (Gatica, 2012).

Solución para el modelo

Esta se da a través de Runge kutta que pasa por definir una función de la siguiente manera:

$$y_{i+1} = y_i + \Phi(x_i, y_i)h \quad \text{Ecuación 2.5}$$

Al aplicar esta solución es necesario redefinir mediante la propuesta de Ordoñez en 1996, en la cual la variable independiente es el desplazamiento, pero teniendo de base la ecuación de Wen en notación diferencial (Peldoza, 2002).

$$\frac{dz}{dt} = \frac{1}{\delta_y} \left(A \frac{dx}{dt} - \beta z \left| \frac{dx}{dt} \right| |z|^{n-1} - \gamma \frac{dx}{dt} |z|^n \right) \quad \text{Ecuación 2.6}$$

Se expresa la formula en forma discretizada:

$$\frac{\Delta z}{\Delta t} = \frac{1}{\delta_y} \left(A \frac{\Delta x}{\Delta t} - \beta z \left| \frac{\Delta x}{\Delta t} \right| |z|^{n-1} - \gamma \frac{\Delta x}{\Delta t} |z|^n \right) \quad \text{Ecuación 2.7}$$

Como Δt es una constante positiva para todos los valores del input, y se puede aplicar que $|\Delta x| = \text{sign}(\Delta x)\Delta x$. Sign es la función del signo el cual toma el valor de 1 debido a que es igual o mayor a 0 y el valor de -1 si es menor que 0.

$$\Delta z = \frac{1}{\delta_y} (A\Delta x - \beta z |z|^{n-1} \text{sign}(\Delta x)\Delta x - \gamma \Delta x |z|^n) \quad \text{Ecuación 2.8}$$

Factorizando por Δt y resolviendo por medio de Runge-Kutta tenemos:

$$z_i = z_{i+1} + \frac{1}{\delta_y} (A - \beta z_{i-1} |z_{i-1}|^{n-1} \text{sign}(\Delta x) - \gamma |z_{i-1}|^n) \Delta x \quad \text{Ecuación 2.9}$$

Cuya función de incremento es:

$$\Phi = \frac{1}{\delta_y} (A - \beta z |z|^{n-1} \text{sign}(\Delta x) - \gamma |z|^n) \quad \text{Ecuación 2.10}$$

Se puede observar el comportamiento histerético de un disipador de cobre recocido en donde se tiene la curva experimental versus la curva propuesta por el modelo de Wen (Ver Fig. 2.12).

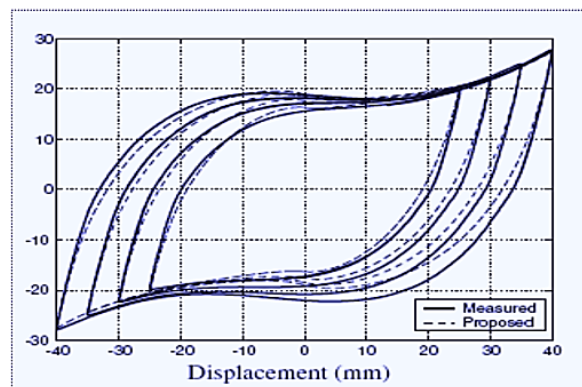


Figura 2.12 Modelo de Bouc-Wen, disipador de cobre.

(De La Llera, 2004)

2.6.3.3 Modelo Bilineal

Este modelo permite representar el comportamiento histerético no lineal de algunos elementos, con precisión y de acorde a pruebas experimentales, que el modelo elastoplástico. Este asigna a la rigidez una pendiente positiva después de su fluencia, con lo cual se simula las características de endurecimiento del material con el cual está elaborado. Este modelo tiene la ventaja de ser un procedimiento fácil y simplificado para la modelación de la curva de histéresis, pero no representa en su totalidad las zonas de transición, donde la mejor aproximación es una curva, lo cual se traduce en considerar deformaciones menores que reales. Es muy común realizar una aproximación bilineal de resultados experimentales con dispositivos ADAS reales. En este modelo se da un valor a la pendiente post-fluencia del elemento disipador, que se encuentra entre el 2 y 10% de la pendiente antes de fluencia (Whittaker, Bertero, Alonsor y Thompson, 1989), con lo cual se representa las características de endurecimiento del acero por deformación. En la práctica es conveniente que la pendiente sea aproximadamente el 5% de la pendiente elástica ($k_2=0.05k_1$), (Lacayo,2015).

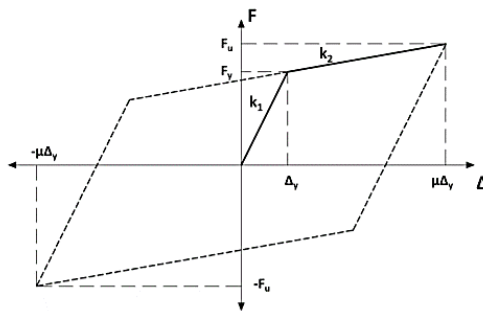


Figura 2.13 Ciclo de histéresis de un dispositivo con comportamiento bilineal
(Tena, 1998)

En la figura 2.11 se puede observar lo siguiente:

- 1) Una rigidez inicial (k_1), asociada a la reacción del dispositivo frente a cargas de baja magnitud. Se obtiene al trazar una recta tangente a las zonas de menor carga del ciclo (Vidal, 2008).
- 2) Una rigidez post - fluencia (k_2), asociada a la reacción del dispositivo frente a las cargas más altas del ciclo. Se obtiene al trazar una recta tangente a la curva que pase por el punto de mayor desplazamiento de la histéresis (Vidal, 2008).

- 3) Una carga de fluencia (F_y), con su correspondiente desplazamiento de fluencia (Δ_y), que establecen un valor convencional de transición entre las relaciones carga - deformación antes mencionadas. Se obtiene en el punto de intersección de la recta de rigidez post - fluencia con la de rigidez inicial, esta última debe pasar por el origen de coordenadas (Vidal, 2008).
- 4) $\mu\Delta_y$ corresponde a la deformación última, definida según el umbral de fluencia o demanda de ductilidad (Lacayo, s.f).

2.7 AMORTIGUAMIENTO EQUIVALENTE

El amortiguamiento equivalente de un disipador representado por un coeficiente C_d puede ser expresado en función de un factor de amortiguamiento como se muestra a continuación (Aguar, 2012)

$$\xi_{eq} = \frac{C_d}{2mW_n} \quad \text{Ecuación 2.11}$$

Donde C_d puede estar en función del periodo:

$$C_d = \frac{2\Delta_y(K_{DDE}-K_2)(\mu\Delta_y-\Delta_y)T}{\pi^2(\mu\Delta_y)^2} \quad \text{Ecuación 2.12}$$

$$T = \frac{2\pi}{W_n} \quad \text{Ecuación 2.13}$$

Donde:

K_{DDE} = Rigidez Elástica

K_2 = Rigidez post fluencia

W_n = Frecuencia Natural

El amortiguamiento equivalente también se puede expresar de la siguiente manera:

$$\xi_{eq} = \frac{E_D}{4\pi E_E} \quad \text{Ecuación 2.14}$$

Donde:

E_D = Energía disipada por un disipador

$$E_D = 4\Delta_y(K_{DDE} - K_2)(\mu\Delta_y - \Delta_y) \quad \text{Ecuación 2.15}$$

E_E = Energía Elastica por un disipador

$$E_E = \frac{1}{2} K_{EDDE} (\mu\Delta_y)^2 \quad \text{Ecuación 2.16}$$

2.8 NORMA DE DISIPACION DE ENERGIA

En la norma extranjera de Estados Unidos en el capítulo 18 (ASCE, 2010) consideran que las edificaciones con sistemas de disipación de energía deberían tener un factor de amortiguamiento equivalente a:

$$\xi_{eq} = \xi + \sum_{i=1}^{na} \xi_{efi} \quad \text{Ecuación 2.17}$$

Donde

ξ = factor de amortiguamiento que tiene la estructura (0.05)

na= número de disipadores

ξ_{efi} = amortiguamiento efectivo de cada disipador

CAPITULO III

DISEÑO Y ANALISIS DE LAS EDIFICACIONES SIN Y CON DISIPADORES DE ENERGIA ADAS

Para llevar a cabo este trabajo es necesario tomar en cuenta varios parámetros, condiciones y métodos con los cuales se va a empezar a diseñar las edificaciones en estudio, como es el tipo de material, la zona donde posiblemente puede ser construida, las cargas a las que se va a ver sometida, las condiciones físicas (número de pisos, dimensiones, etc.) entre otras, las mismas que tienen que ser aplicadas a los dos tipos de estructuras a ser analizadas posteriormente.

3.1 NORMAS Y CODIGOS UTILIZADOS

En el diseño de las edificaciones tanto sin y con disipadores de energía, construidas con acero estructural tipo ASTM 36 es necesario llevar a cabo un proceso riguroso cumpliendo varios parámetros establecidos en normas y códigos vigentes en nuestro país, siendo algunos de estos tomados de referencias extranjeras, los cuales serán nombrados a continuación:

Para el Diseño de la estructura en acero se utilizará los siguientes códigos y normas.

Guía para estructuras de acero

- Specification for Structural Steel Buildings, AISC 360-10
- Seismic Provisions for Structural Steel Buildings, AISC 341-10
- Prequalified Connections for Special and Intermediate Steel Moment Frames for Seismic Applications, AISC 358-10.
- NEC-SE-AC: Estructuras de Acero
- Guía práctica para el diseño de estructuras de acero de conformidad con la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC 2015

Para cuestión de estados de carga se considerarán los siguientes:

- NEC-SE-DS: Peligro Sísmico, diseño sismo resistente
- NEC-SE-CG: Cargas (no sísmicas)

3.2 CARACTERISTICAS DE LA ZONA

El lugar que se escogió para analizar el comportamiento de la edificación en estudio es en la provincia de Manabí, cantón Portoviejo que es una zona con alto grado de vulnerabilidad sísmica (Zona VI), según últimos estudios realizados en el 2011 y que constan en la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC). Este lugar nos da las características necesarias donde se pueda producir un sismo severo, que nos permitiría analizar el comportamiento de las edificaciones que se pretende diseñar.

Esta provincia posee aceleraciones sísmicas de 0.5g, según las características de sus suelos le corresponde un tipo de perfil C de los seis tipos de perfiles que clasifica la norma ecuatoriana de la construcción (A, B, C, D, E y F) ver Tabla. 3.2.

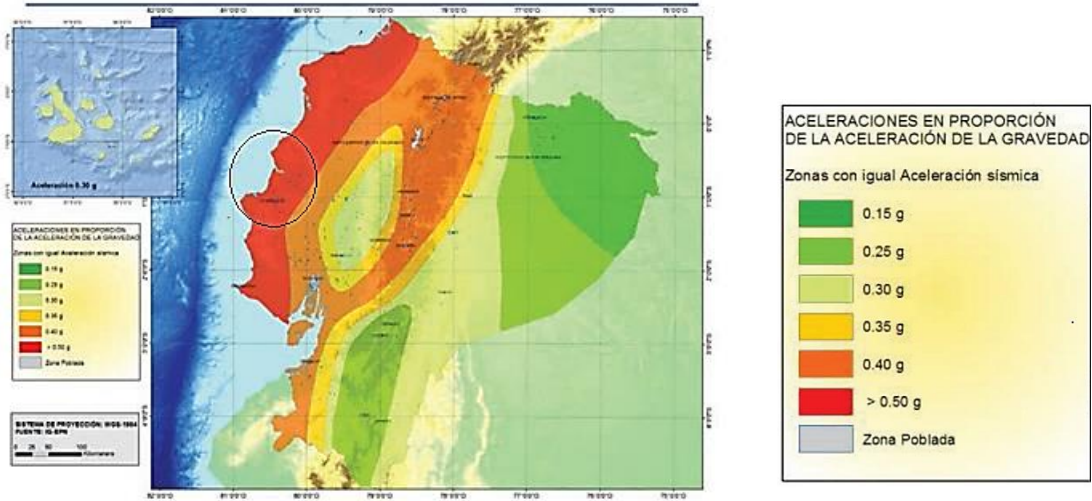


Figura 3.1. Ecuador, zonas sísmicas para propósitos de diseño
(Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2015)

Tabla 3.1. Valores del factor de zona z en función de la zona sísmica adoptada
(Norma Ecuatoriana de la Construcción. Peligro Sísmico. Diseño Sismo Resistente, 2015).

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

Tabla 3.2. Clasificación de los perfiles de suelo

(Norma Ecuatoriana de la Construcción. Peligro Sísmico. Diseño Sismo Resistente, 2015).

Tipo de perfil	Descripción	Definición
A	Perfil de roca competente	$V_s \geq 1500$ m/s
B	Perfil de roca de rigidez media	1500 m/s $> V_s \geq 760$ m/s
C	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	760 m/s $> V_s \geq 360$ m/s
	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con cualquiera de los dos criterios	$N \geq 50.0$ $S_u \geq 100$ KPa

3.3 ESTADOS DE CARGAS

Un edificio se encuentra soportando varios tipos de carga en las que podemos decir, cargas muertas, vivas y accidentales (viento y sísmica).

3.3.1 CARGA MUERTA

Las cargas muertas son cargas de magnitud constante que permanecen fijas en un mismo lugar. Éstas son el peso propio de la estructura y otras cargas permanentemente unidas a ella. Para un edificio con estructura de acero, son cargas muertas la estructura en sí, los muros, los pisos, el techo, la plomería y los accesorios (McCORMAC, 2013, p. 41).

En el caso de nuestra edificación se hallará la carga muerta considerando todos los elementos que la conforma, es así tenemos una placa colaborante de acero metálico, una losa de hormigón, medidos por sobre la cresta de la placa, cerámica como piso terminado, instalaciones eléctricas, sanitarias y el peso propio de los componentes estructurales de acero. Utilizaremos un peso de las paredes (mampostería) de 200 kg/m², especificado en la Norma Ecuatoriana de la Construcción, y un peso de instalaciones de 10kg/m² especificado en la misma y una sobrecarga debido a todos los acabados de la losa (enlucidos, baldosa etc) de 100kg/m².

3.3.2 CARGA VIVA

“Son sobrecargas que se utilicen en el cálculo dependen de la ocupación a la que está destinada la edificación y están conformadas por los pesos de personas,

muebles, equipos y accesorios móviles o temporales, mercadería en transición, y otras” (Norma Ecuatoriana de la Construcción. Cargas no Sísmicas, 2015, p. 11).

De acuerdo para lo que va a ser utilizada la edificación en estudio la Norma Ecuatoriana de la construcción en el capítulo de cargas (no sísmicas) nos da los siguientes valores:

Tabla 3.3. *Sobrecargas mínimas uniformemente distribuidas, y concentradas* (Norma Ecuatoriana de la Construcción. Peligro Sísmico. Diseño Sismo Resistente, 2015).

Ocupación o Uso	Carga uniforme (kN/m ²)	Carga concentrada (kN)
Hospitales		
Sala de quirófanos, laboratorios	2.90	4.50
Sala de pacientes	2.00	4.50
Corredores en pisos superiores a la planta baja	4.00	4.50
Instituciones penales		
Celdas	2.00	
Corredores	4.80	
Pasamanos, guardavías y agarraderas de seguridad	Véase sección 4.5 ASCE/SEI 7-10	
Pasarelas y plataformas elevadas (excepto rutas de escape)	3.00	
Patios y terrazas peatonales	4.80	
Pisos para cuarto de máquinas de elevadores (áreas de 2600 mm²)		1.40
Residencias		
Viviendas (unifamiliares y bifamiliares)	2.00	
Hoteles y residencias multifamiliares	2.00	
Habitaciones	4.80	
Salones de uso público y sus corredores	4.80	
Salas de baile	4.80	

Entonces para nuestro caso utilizaremos la carga 2.00 KN/m² que transformándola a kg/m² nos da un valor aproximado de 204 Kg/m², cuyo valor será aplicado para cada piso excepto para el último piso que es menor y se toma por lo general la mitad de la carga del resto de pisos que sería 102Kg/m².

3.3.3 CARGA SISMICA

La Norma Ecuatoriana de la Construcción nos ofrece un diseño con un espectro de diseño de aceleraciones, que permite analizar el comportamiento dinámico de una estructura frente a un posible sismo.

Para nuestro caso se ha considerado ciertos criterios de acuerdo con el lugar donde se va a construir la estructura que serán descritos a continuación.

3.3.4 FACTOR DE ZONA

Este se lo obtiene a partir de las características de la zona, la misma que fue ya detallada con anterioridad sabiendo que es $z=0.5$ según lo estipulado en la Norma Ecuatoriana de la Construcción.

3.3.4.1 Coeficientes de perfil de Suelo F_a , F_d y F_s

- a) **F_a** . – “Coeficiente de amplificación de suelo en la zona de período cortó. Amplifica las ordenadas del espectro elástico de respuesta de aceleraciones para diseño en roca, considerando los efectos de sitio” (Norma Ecuatoriana de la Construcción. Peligro Sísmico. Diseño Sismo Resistente, 2015, p. 31). Sabiendo ya, que el lugar elegido para levantarse la edificación está ubicado en la zona VI y tiene un tipo de perfil C tenemos: $F_a=1.18$

Tabla 3.4. Tipo de suelo y Factores de sitio F_a

(Norma Ecuatoriana de la Construcción. Peligro Sísmico. Diseño Sismo Resistente, 2015).

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
F	Véase Tabla 2 : Clasificación de los perfiles de suelo y la sección 10.5.4					

- b) **F_d** . – “Coeficiente de amplificación de suelo. Amplifica las ordenadas del espectro elástico de respuesta de desplazamientos para diseño en roca, considerando los efectos de sitio” (Norma Ecuatoriana de la Construcción. Peligro Sísmico. Diseño Sismo Resistente, 2015, p. 31). $F_d=1.06$

Tabla 3.5. Tipo de suelo y Factores de sitio F_d

(Norma Ecuatoriana de la Construcción. Peligro Sísmico. Diseño Sismo Resistente, 2015).

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
F	Véase Tabla 2 : Clasificación de los perfiles de suelo y 10.6.4					

- c) F_s - “Coeficiente de amplificación de suelo. Considera el comportamiento no lineal de los suelos, la degradación del período del sitio que depende de la intensidad y contenido de frecuencia de la excitación sísmica y los desplazamientos relativos del suelo, para los espectros de aceleraciones y desplazamientos” (Norma Ecuatoriana de la Construcción. Peligro Sísmico. Diseño Sismo Resistente 2015, p. 32). $F_s=1.23$

Tabla 3.6. Tipo de suelo y Factores de sitio F_s

(Norma Ecuatoriana de la Construcción. Peligro Sísmico. Diseño Sismo Resistente, 2015).

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
F	Véase Tabla 2 : Clasificación de los perfiles de suelo y 10.6.4					

3.4 Espectro Elástico de Diseño (S_a)

“Espectro de respuesta elástico de aceleraciones expresado como fracción de la aceleración de la gravedad g), definido para una fracción del amortiguamiento respecto al crítico igual a 5%. Depende del período o modo de vibración de la

estructura” (Norma Ecuatoriana de la Construcción. Peligro Sísmico. Diseño Sismo Resistente 2015, p. 32).

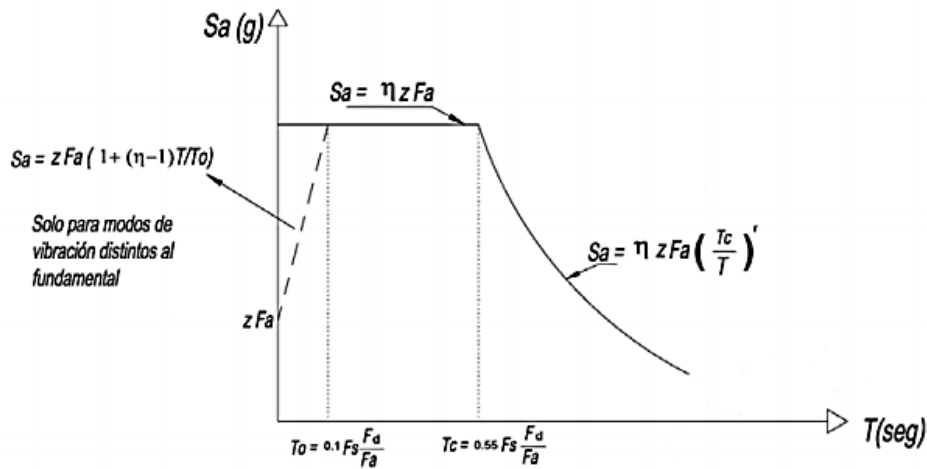


Figura 3.2. Espectro sísmico elástico de aceleraciones que representa el sismo de diseño (Norma Ecuatoriana de la Construcción. Peligro Sísmico. Diseño Sismo Resistente, 2015).

$$S_a = \eta Z F a \quad \text{para } 0 \leq T \leq T_c \quad \text{Ecuación 3.1}$$

$$S_a = \eta Z F a \left(\frac{T_c}{T}\right)^r \quad \text{para } T > T_c \quad \text{Ecuación 3.2}$$

Donde:

η = Razón entre la aceleración espectral S_a ($T=0.1s$) y el PGA para periodo de retorno seleccionado. Sabiendo que la zona elegida para este trabajo es Portoviejo que se encuentra en la Costa Ecuatoriana tenemos:

- $\eta=1.80$ Provincias de la Costa (excepto Esmeraldas)
- $\eta=2.48$ Provincias de la Sierra, Esmeraldas y Galápagos.
- $\eta=2.60$ Provincia del Oriente.

r = Factor usado en el espectro de diseño elástico, cuyos valores dependen de la ubicación geográfica del proyecto. Se definió ya el tipo de suelo en el que se llevara a cabo el proyecto, es un tipo C, tenemos así:

- $r=1$ para todos los suelos, con excepción del suelo tipo F
- $r=1.5$ para tipo de suelo E.

S_a = Espectro de respuesta elástico de aceleraciones (expresado como fracción de la aceleración de la gravedad g). Depende del periodo o modo de vibración de la estructura.

T = Periodo fundamental de vibración de la estructura.

T_c = Periodo límite de vibración en el espectro sísmico elástico de aceleraciones que representa el sismo de diseño.

$$T_c = 0.55 F_s \frac{F_d}{F_a} \quad \text{Ecuación 3.3}$$

Reemplazando nuestros datos tenemos que el periodo límite de vibración es:

$$T_c = 0.55(1.23)\left(\frac{1.06}{1.18}\right)$$

$$T_c = 0.608$$

Z = Aceleración máxima en roca esperada para el sismo de diseño, expresada como fracción de la aceleración de la gravedad g .

“Para análisis dinámico y, únicamente para evaluar la respuesta de los modos de vibración diferentes al modo fundamental, el valor de S_a debe evaluarse mediante la siguiente expresión, para valores de vibración menores a T_o ” (Norma Ecuatoriana de la Construcción. Peligro Sísmico. Diseño Sismo Resistente, 2015, p. 35):

$$S_a = ZFa \left[1 + (\eta - 1) \frac{T}{T_o} \right] \quad \text{para } T \leq T_o \quad \text{Ecuación 3.4}$$

$$T_o = 0.10 F_s \frac{F_d}{F_a} \quad \text{Ecuación 3.5}$$

3.4.1.1 Metodología del Sismorresistente

1. Categoría de edificio y coeficiente de importancia **I**

“El propósito del factor **I** es incrementar la demanda sísmica de diseño para estructuras, que por sus características de utilización o de importancia deben permanecer operativas o sufrir menos daños durante y después de la ocurrencia del sismo de diseño” (Norma Ecuatoriana de la Construcción. Peligro Sísmico. Diseño Sismo Resistente,” 2015, p. 39). En nuestro caso se trata de una vivienda nos da el siguiente valor de acuerdo a su importancia.

Tabla 3.7. *Tipo de uso, destino e importancia de la estructura*
 (Norma Ecuatoriana de la Construcción. Peligro Sísmico. Diseño Sismo Resistente, 2015).

Categoría	Tipo de uso, destino e importancia	Coefficiente I
Edificaciones esenciales	Hospitales, clínicas, Centros de salud o de emergencia sanitaria. Instalaciones militares, de policía, bomberos, defensa civil. Garajes o estacionamientos para vehículos y aviones que atienden emergencias. Torres de control aéreo. Estructuras de centros de telecomunicaciones u otros centros de atención de emergencias. Estructuras que albergan equipos de generación y distribución eléctrica. Tanques u otras estructuras utilizadas para depósito de agua u otras sustancias anti-incendio. Estructuras que albergan depósitos tóxicos, explosivos, químicos u otras sustancias peligrosas.	1.5
Estructuras de ocupación especial	Museos, iglesias, escuelas y centros de educación o deportivos que albergan más de trescientas personas. Todas las estructuras que albergan más de cinco mil personas. Edificios públicos que requieren operar continuamente	1.3
Otras estructuras	Todas las estructuras de edificación y otras que no clasifican dentro de las categorías anteriores	1.0

2. Límites permisibles de las derivas de piso

“La deriva máxima para cualquier piso no excederá los límites de deriva inelástica establecidos en la Tabla 3.8, en la cual la deriva máxima se expresa como un porcentaje de la altura de piso” (Norma Ecuatoriana de la Construcción. Peligro Sísmico. Diseño Sismo Resistente, 2015, p. 40). Para nuestro trabajo según el tipo de estructura la norma nos da una deriva de piso de:

Tabla 3.8. *Valores de Δ_M máximos, expresados como fracción de la altura de piso*
 (Norma Ecuatoriana de la Construcción. Peligro Sísmico. Diseño Sismo Resistente, 2015).

Estructuras de:	Δ_M máxima (sin unidad)
Hormigón armado, estructuras metálicas y de madera	0.02
De mampostería	0.01

3.5 DESCRIPCION DE LAS EDIFICACIONES

Las edificaciones tienen tres pisos, están destinadas para viviendas multifamiliares, son estructuras de acero ASTM 36, de peso específico de $\gamma_a=7850$ kg/m³ con un límite de fluencia de $f_y=2530$ kg/cm², un módulo de elasticidad del acero de 29000 Ksi según ANSI/AISC 360-10 (aproximadamente es igual $E_a=2100000$ kg/cm²) y un coeficiente de poisson $\nu=0,3$, la altura de entresijos es de 3,50m. Estas alturas dan el espacio suficiente para colocar todas las instalaciones necesarias (eléctricas, sanitarias, entre otras). Se utilizará una placa colaborante de acero metálico de 0.76mm de espesor para la losa de hormigón de 50mm de espesor,

medidos por sobre la cresta de la placa, cuya resistencia de diseño a la compresión es de $f'_c=210\text{kg/cm}^2$, con un peso específico de $\gamma_h=2400\text{kg/m}^3$, un módulo de elasticidad $E_h=217370.65\text{kg/cm}^2$ y un coeficiente de poisson $\nu_h=0,2$.

La altura total de las estructuras es de 10,5 m desde el nivel del suelo. En si las dos estructuras consisten en el mismo modelo a diferencia que en una de ellas se colocara los dispositivos de disipación de energía ADAS en los pórticos que la componen. Las edificaciones se mostrarán a continuación en la Fig. 3.3 y Fig. 3.4.

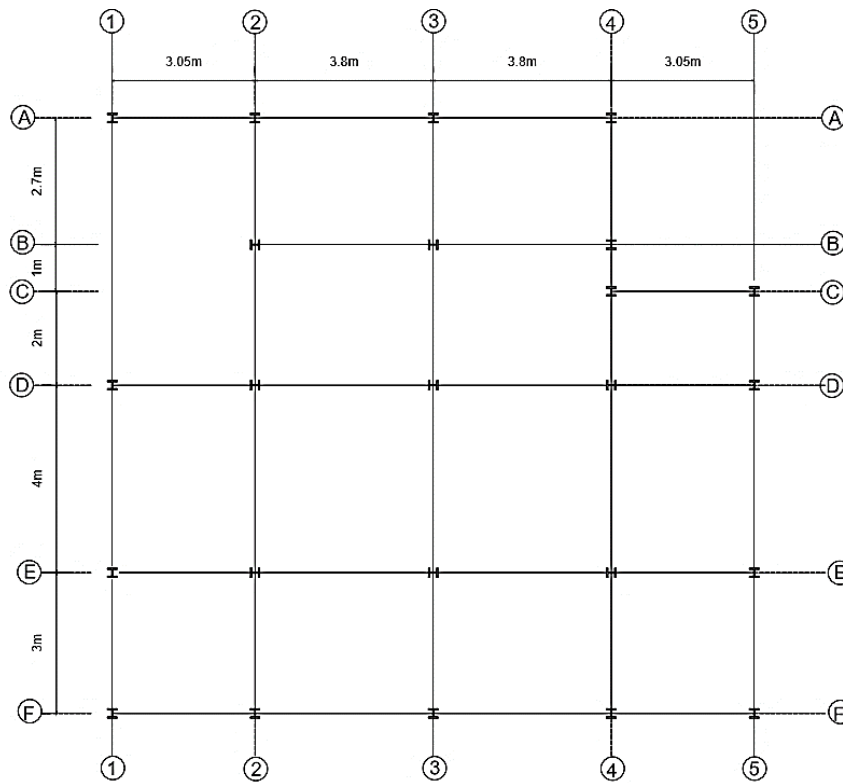


Figura 3.3. Vista en Planta de la vivienda

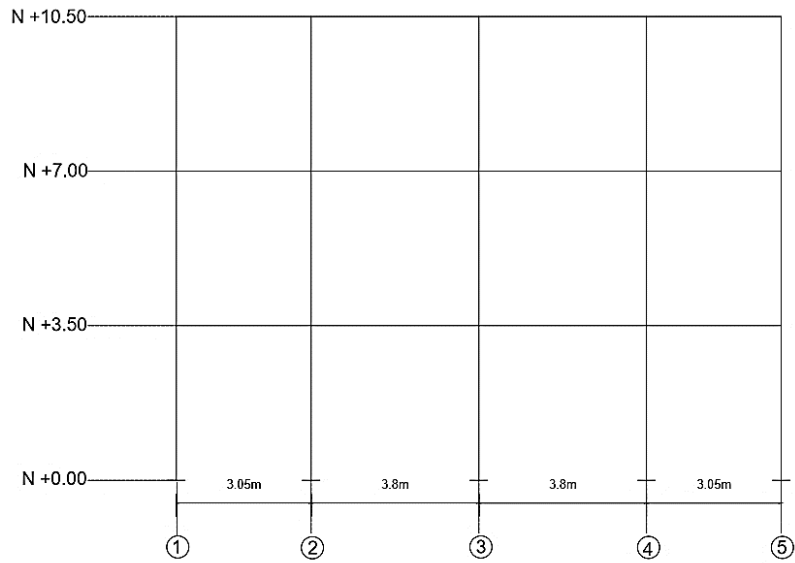


Figura 3.4. Vista en Elevación de la Edificación sin disipadores

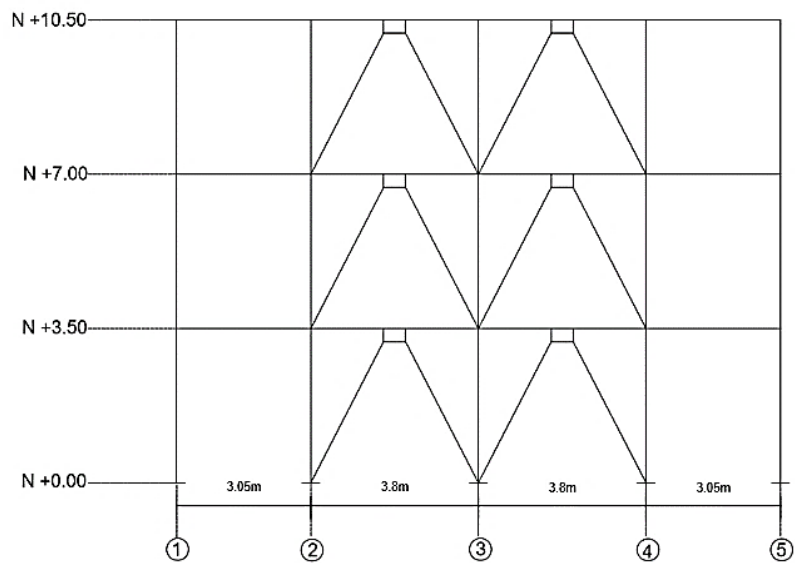


Figura 3.5. Vista en Elevación de la Edificación con Disipadores ADAS

3.5.1 CONFIGURACION ESTRUCTURAL

- **Configuraciones a privilegiar**

“Es cuando la configuración de la estructura es simple y regular para lograr un adecuado desempeño sísmico” (Norma Ecuatoriana de la Construcción. Peligro Sísmico. Diseño Sismo Resistente, 2015, p. 48).

- **Configuraciones más complejas**

“Es cuando existen cambios abruptos de rigidez y resistencia, los cuales deben evitarse con el fin de impedir acumulación de daño en algunos componentes en desmedro de la ductilidad global del sistema y por lo tanto no se recomiendan” (Norma Ecuatoriana de la Construcción. Peligro Sísmico. Diseño Sismo Resistente, 2015, p. 48).

En nuestro proyecto tenemos una configuración regular en elevación de acuerdo con lo mostrado en la Norma Ecuatoriana de la Construcción, pero irregular en planta con lo que tenemos que:

Tabla 3.9. Configuraciones estructurales recomendadas

(Norma Ecuatoriana de la Construcción. Peligro Sísmico. Diseño Sismo Resistente, 2015).



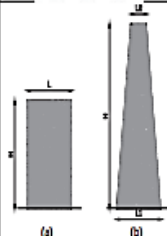
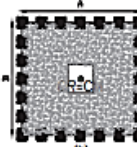
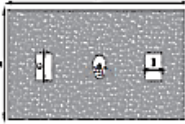
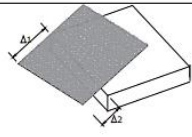

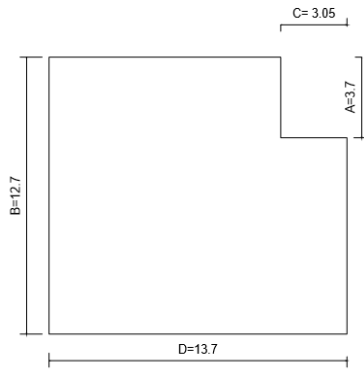
CONFIGURACIÓN EN ELEVACIÓN $\phi_E=1$		CONFIGURACIÓN EN PLANTA $\phi_P=1$	
La altura de entrepiso y la configuración vertical de sistemas aporticados, es constante en todos los niveles. $\phi_E=1$		La configuración en planta ideal en un sistema estructural es cuando el Centro de Rigidez es semejante al Centro de Masa. $\phi_P=1$	
La dimensión del muro permanece constante a lo largo de su altura o varía de forma proporcional. $\phi_E=1$			
			

Tabla 3.10. Coeficientes de irregularidad en planta

(Norma Ecuatoriana de la Construcción. Peligro Sísmico. Diseño Sismo Resistente, 2015).

<p>Tipo 1 - Irregularidad torsional $\phi_T=0.9$ $\Delta > 1.2 \frac{(\Delta_1 + \Delta_2)}{2}$</p> <p>Existe irregularidad por torsión, cuando la máxima deriva de piso de un extremo de la estructura calculada incluyendo la torsión accidental y medida perpendicularmente a un eje determinado, es mayor que 1,2 veces la deriva promedio de los extremos de la estructura con respecto al mismo eje de referencia. La torsión accidental se define en el numeral 6.4.2 del presente código.</p>	
<p>Tipo 2 - Retrocesos excesivos en las esquinas $\phi_T=0.9$ $A > 0.15B$ y $C > 0.15D$</p> <p>La configuración de una estructura se considera irregular cuando presenta entrantes excesivos en sus esquinas. Un entrante en una esquina se considera excesivo cuando las proyecciones de la estructura, a ambos lados del entrante, son mayores que el 15% de la dimensión de la planta de la estructura en la dirección del entrante.</p>	



$$A > 0.15B$$

$$3.7 > 0.15(12.7) \quad \text{CUMPLE}$$

$$C > 0.15D$$

$$3.05 > 0.15(13.7) \quad \text{CUMPLE}$$

Por lo tanto $\phi_E = 1$ y $\phi_P = 0.9$

3.6 DETERMINACION DEL PERIODO DE VIBRACION T

“El periodo de vibración aproximativo de la estructura T, para cada dirección principal, será estimado a partir de la ecuación 3.6” (Norma Ecuatoriana de la Construcción. Peligro Sísmico. Diseño Sismo Resistente, 2015, p. 65).

$$T = C_t h_n^\alpha \quad \text{Ecuación 3.6}$$

Donde:

C_t = Coeficiente que depende del tipo de edificio.

h_n = Altura máxima de la edificación de n pisos, medida desde la base de la estructura, en metros.

T = Periodo de vibración.

Tabla 3.11. valores de C_t y α

(Norma Ecuatoriana de la Construcción. Peligro Sísmico. Diseño Sismo Resistente, 2015).

Tipo de estructura	C_t	α
Estructuras de acero		
Sin arriostramientos	0.072	0.8
Con arriostramientos	0.073	0.75
Pórticos especiales de hormigón armado		
Sin muros estructurales ni diagonales rigidizadoras	0.055	0.9
Con muros estructurales o diagonales rigidizadoras y para otras estructuras basadas en muros estructurales y mampostería estructural	0.055	0.75

En nuestro caso se utilizará una estructura de acero sin arriostramientos para la edificación que no posee disipadores de energía, y con arriostramiento para la vivienda multifamiliar con disipadores de energía.

1. Periodo de Vibración para la estructura sin disipadores de Energía reemplazando en la ecuación 3.6 tenemos: $C_t = 0.072, \alpha = 0.8$

$$T = C_t h_n^\alpha$$

$$T = 0.072(10.5)^{0.8}$$

$$T = 0.472s$$

2. Periodo de Vibración para la estructura con disipadores de Energía reemplazando en la ecuación 3.6 tenemos: $C_t = 0.073, \alpha = 0.75$

$$T = 0.073(10.5)^{0.75}$$

$$T = 0.426s$$

3.7 DIMENSIONAMIENTO DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES

Se sabe que al momento que una edificación se ve frente a un sismo fuerte lo último que puede fallar son los elementos estructurales (vigas y columnas) ya que de estos dependerá que se salve muchas vidas, es así como para el diseño de estos es necesario seguir un procedimiento riguroso, para este proyecto se ha escogido diseñar los elementos estructurales de acero por ultima resistencia LRFD, usando perfiles W. La estructura cuenta con vigas principales tipo A, tipo B, tipo C y tipo D, vigas secundarias tipo 1 y tipo 2 de acuerdo a las cargas que soportan y columnas de perfiles w.

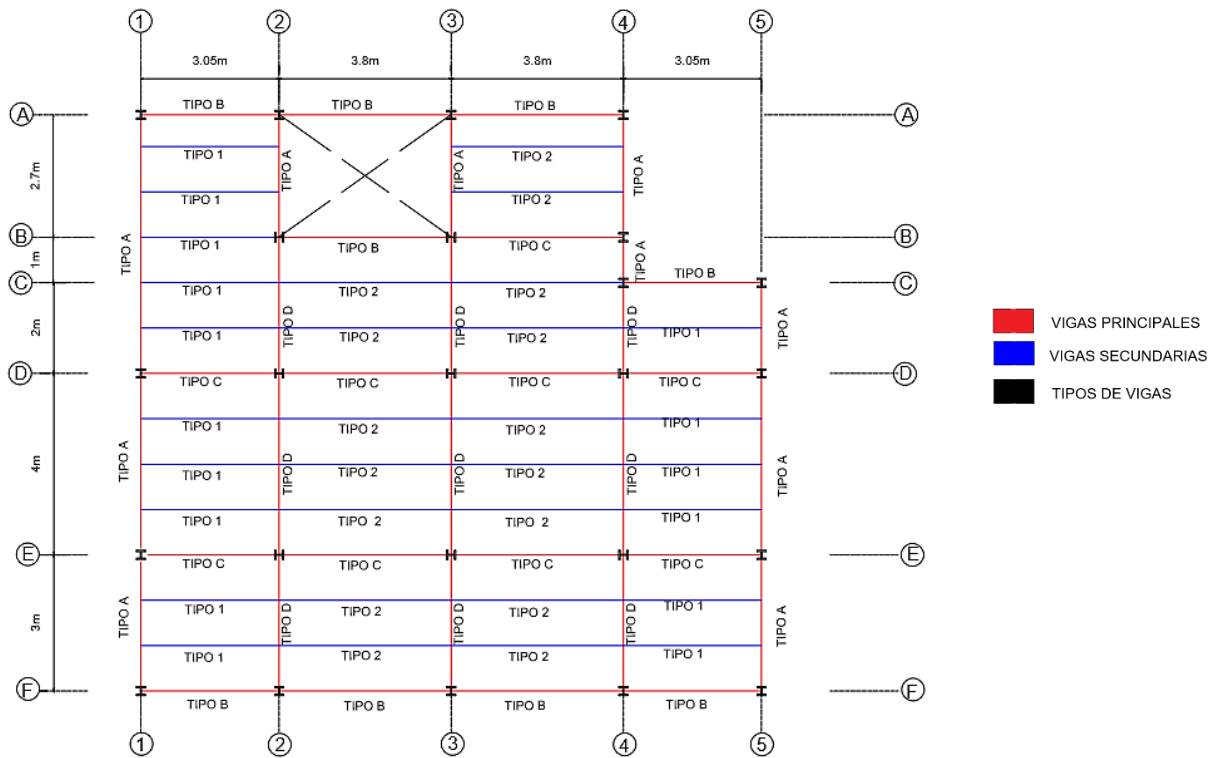


Figura 3.6. Planta con sus respectivas vigas principales y secundarias

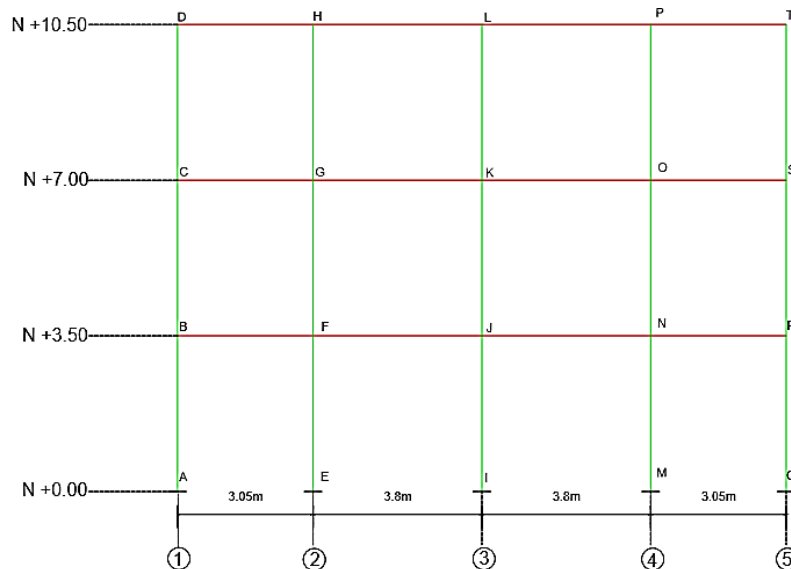


Figura 3.7. Elevación con sus respectivas vigas y columnas

- **Diseño de Vigas**

Para hallar las dimensiones adecuadas de las vigas que soporten las cargas se deberá escoger un perfil que tenga suficiente resistencia y que cumpla con los

requisitos de servicio y de acuerdo con el AISC 341-10, por lo que se seguirá el siguiente procedimiento:

- **Calculo del Momento factorizado Mu**

Sera el mismo que la resistencia de diseño requerida ϕMn . El peso de la viga es parte de la carga muerta, pero en este momento se desconoce. Puede suponerse un valor o el peso puede ignorarse inicialmente y revisarse después de ya haber elegido un perfil (Segui, 1999).

Debido a que las estructuras a ser modeladas poseen continuidad entre sus vigas se utilizara una aproximación para hallar el momento de diseño con la siguiente ecuación

$$Mu = \frac{wL^2}{12}$$

Ecuación 3.7

- **Selección de un tipo de Perfil**

Una vez decidido el tipo de perfil a utilizar como elemento viga, será necesario analizar otras características de este que se explicaran a continuación: En nuestro caso se decidió utilizar un perfil w.

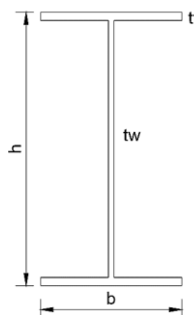
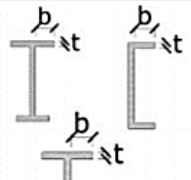
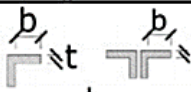
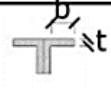
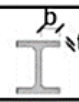

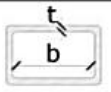

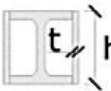
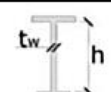
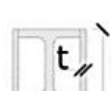

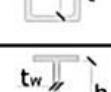
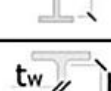



Figura 3.8. Perfil W

- **Revisar Perfil compacto o no compacto**

Lo conveniente en el momento de buscar las dimensiones adecuadas para una viga, es que el perfil a utilizar sea sísmicamente compacto de acuerdo con lo establecido en la AISC 341-10 en la tabla D1.1 como se muestra a continuación:

Tabla 3.12. Perfil Compacto o no compacto

	Tipo de elemento	Relación ancho-espesor	Límites	Ejemplo
			λ_{ps}	
Elementos no Rigidizados	Flexión en alas de vigas "I" roladas o armadas, canales y vigas "T"	b/t	$0.30 \sqrt{E/F_y}$	
	Lados de ángulos simples o dobles con separadores			
	Lados salientes de pares de ángulos en contacto continuo			
	Alas de secciones para pilotes "H"	b/t	$0.45 \sqrt{E/F_y}$	
	Alma de vigas "T"	d/t	$0.30 \sqrt{E/F_y}^{[a]}$	
	Barras planas	b/t	2.5	
Elementos Rigidizados	Paredes de HSS rectangulares	b/t	$0.55 \sqrt{E/F_y}^{[b]}$	
	Alas de perfiles "I" encajonados, y secciones cajón armadas	b/t		
	Placas laterales de secciones laminadas "I" encajonadas y paredes de perfiles armados encajonados usados como arriostramientos diagonales	h/t		
	Almas de perfiles "I" armados o rolados usados para vigas o columnas ^[c]	h/ t _w	Para $C_a \leq 0.125$ $2.45 \sqrt{E/F_y} (1 - 0.93 C_a)$ Para $C_a > 0.125$ $0.77 \sqrt{E/F_y} (2.93 - C_a)$ $\geq 1.49 \sqrt{E/F_y}$ donde: $C_a = \frac{P_u}{\phi_b P_y}$ (DFCR) $C_a = \frac{\Omega_c P_u}{P_y}$ (DRB)	
	Placas laterales de secciones laminadas "I" encajonados usados como vigas o columnas	h/t		
	Almas de secciones cajón armadas usados como vigas o columnas	h/t		
	Almas de perfiles "I" rolados o armados usados como arriostramientos diagonales	h/ t _w	$1.49 \sqrt{E/F_y}$	
Almas de secciones para pilotes "H"	h/ t _w	$0.94 \sqrt{E/F_y}$		
Paredes de HSS de sección circular	D/t	$0.038 E / F_y$		

- **Tipo de Viga**

En el momento que se está escogiendo un perfil siempre es preferible que la longitud soportada L_b sea inferior a la longitud de plastificación L_p , lo que permitirá asegurar que los perfiles escogidos trabajaran adecuadamente.

$$L_p = 1.76ry \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad \text{Ecuación 3.8}$$

$$L_r = 1,95rts \cdot \frac{E}{0.7F_y} \cdot \sqrt{\frac{J \cdot c}{S_x \cdot h_o}} \cdot \sqrt{1 + \sqrt{1 + 6,76 \left(\frac{0,7 \cdot F_y \cdot S_x \cdot h_o}{E \cdot J \cdot c} \right)^2}} \quad \text{Ecuación 3.9}$$

Tabla 3.13. *Tipo de Viga*
(Elaboración propia & AISC 360-10)

DESCRIPCION	CRITERIO
L_p y L_r	Longitudes Limite
L_b	Longitud no soportada Lateramente
$L_b \leq L_p$	Viga Corta
$L_p < L_b \leq L_r$	Viga Intermedia
$L_b > L_r$	Viga Larga

Donde:

E = Modulo de elasticidad del acero

$$rts = \sqrt{\frac{\sqrt{I_y C_w}}{S_x}} \quad \text{Ecuación 3.10}$$

J = constante torsional

$c=1$ para vigas I con doble simetría

h_o = Distancia entre los centroides de los patines

- **Pandeo lateral torsionante**

Para saber si existe o no pandeo en un miembro estructural es necesario que se cumplan los siguientes parámetros.

Tabla 3.14. *Momentos Nominales*
(Elaboración propia & AISC 360-10)

CONDICION	MOMENTO NOMINAL
$L_b < L_p$	El estado limite de pandeo lateral no se aplica
$L_p < L_b \leq L_r$	$M_n = C_b \cdot \left[M_p - (M_p - 0,7F_y \cdot S_x) \cdot \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \leq M_p$
$L_b > L_r$	$M_n = C_b \cdot S_x \cdot \left(\frac{\pi^2 \cdot E}{(L_b/r_{ts})^2} \right) \cdot \sqrt{1 + 0,078 \frac{J \cdot c}{S_x \cdot h_o} \left(\frac{L_b}{r_{ts}} \right)^2} \leq M_p$

Donde:

M_p = Momento plástico

$$M_p = z \cdot F_y \quad \text{Ecuación 3.11}$$

S_x = Modulo de sección elástico

C_b = El factor de modificación de pandeo lateral-torsional

$$C_b = \frac{12,5M_{max}}{2,5M_{max} + 3M_A + 4M_B + 3M_C} \quad \text{Ecuación 3.12}$$

M_{max} = valor absoluto del momento máximo en el segmento no reforzado

M_A = valor absoluto del momento en el cuarto de punto del segmento sin arriostramiento,

M_B = valor absoluto del momento en la línea central del segmento no reforzado

M_C = valor absoluto del momento en el punto de tres cuartos del segmento sin arriostramiento

- **Resistencia a Cortante en el alma del perfil**

La resistencia nominal al cortante de un alma sin rigidizar o rigidizada se especifica de la siguiente manera siempre y cuando esta sea compacta (AISC 360-10):

$$V_n = 0,6F_y A_w C_v \quad \text{Ecuación 3.13}$$

Donde los valores de C_v dependerá de las siguientes condiciones:

a. Si $\frac{h}{t_w} \leq 1,1 \sqrt{\frac{K_v \cdot E}{F_y}} \quad C_v = 1$

$$1,1 \sqrt{\frac{K_v \cdot E}{F_y}} < \frac{h}{t_w} \leq 1,37 \sqrt{\frac{K_v \cdot E}{F_y}} \quad C_v = 1,1 \frac{\sqrt{((K_v \cdot E)/F_y)}}{h/t_w}$$

b. Si

$$c. \text{ Si } \frac{h}{t_w} > 1.37 \sqrt{\frac{K_v \cdot E}{F_y}} \quad C_v = \frac{1.51 K_v \cdot E}{\left(\frac{h}{t_w}\right)^2 \cdot F_y}$$

Donde se tiene que cumplir:

$$\phi V_n > V_u$$

• **Control de Deflexiones**

Las deflexiones de las vigas de acero se limitan a valores máximos que se encuentran descritos en la AISC que se encuentran en función de la luz (tabla 3.15). Algunas de las buenas razones para limitar las deflexiones son las siguientes (McCormac, 2013, p. 310).

1. las deflexiones excesivas pueden dañar los materiales unidos o soportados por la viga considerada (McCormac, 2013, p. 310).
2. La apariencia de las estructuras se ve afectada por deflexiones excesivas (McCormac, 2013, p. 310).
3. Las deformaciones excesivas no inspiran confianza en las personas que utilizan una estructura, aunque exista una completa seguridad desde el punto de vista de la resistencia (McCormac, 2013, p. 310).

La deflexión no debe ser excesiva por las razones que se nombró anteriormente por lo que existen ciertos límites en ellas:

Tabla 3.15. *Deflexiones máximas*
(IBC,2009)

Miembros	Condiciones de carga		
	L	D + L	S o W
Para miembros de piso	$\frac{L}{360}$	$\frac{L}{240}$	—
Para miembros de techo que soportan plafón de yeso*	$\frac{L}{360}$	$\frac{L}{240}$	$\frac{L}{360}$
Para miembros de techo que soportan plafones que no son de yeso*	$\frac{L}{240}$	$\frac{L}{180}$	$\frac{L}{240}$
Para miembros de techo que no soportan plafones*	$\frac{L}{180}$	$\frac{L}{120}$	$\frac{L}{180}$

*Todos los miembros de techo deberán investigarse en cuanto al encharcamiento.

Ya se explicó el proceso que se utilizó para hallar las dimensiones de las vigas y cuyos valores obtenidos se resumen en la Tabla. 3.16.

Tabla 3.16. *Diseño de vigas*

TIPO	SECCION	b (mm)	tf (mm)	tw (mm)	Vu (kg)	ϕVn(kg)	Mu(kg.m)	ϕMn (kg/m)	Δ max
1	W180x19	91	8	5.3	1299.76	11875.01	660.71	286958.93	0.42
2	W200x23	100	8.5	5.6	1619.37	14000.82	1025.60	345946.05	0.53
A	W240x31	120	9.8	6.2	2429.06	18668.85	2307.61	433081.15	0.79
B	W400x67	180	13.5	8.6	1619.37	43824.96	1025.60	2699039.45	0.53
C	W400x67	180	13.5	8.6	1619.37	43824.96	1025.60	2699039.45	0.53
D	W270x36	135	10.2	6.6	1704.60	22506.23	1136.40	875619.00	0.56

- **Diseño de Columnas**

Para conocer las dimensiones necesarias de las columnas, sabiendo que el mayor esfuerzo que soportan estas es la compresión se seguirá el siguiente

proceso:

1. **Columna Compacta no compacta o Esbelta**

Para conocer si una columna es compacta, no compacta o esbelta se debe cumplir con λr que se muestra en la tabla 3.17.

Tabla 3.17. *Perfil compacto o esbelto*

	λ	λr	COMPACTO	NO COMPACTO	ESBELTA
ALETAS	$\frac{b}{2tf}$	$0,3 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$\lambda \leq \lambda p$	$\lambda p < \lambda < \lambda r$	$\lambda > \lambda r$
ALMA	$\frac{h}{tw}$	$0,77 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$\lambda \leq \lambda p$	$\lambda p < \lambda < \lambda r$	$\lambda > \lambda r$

2. **Pandeo por flexión de miembros comprimidos**

Este es aplicable exclusivamente a miembros estructurales a compresión compactos.

Tabla 3.18. *Pandeo por flexión de miembros*

CONDICION	F_{cr}	F_e
$\frac{kL}{r} \leq 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$[0,685 \frac{F_y}{F_e}] F_y$	$\frac{\pi^2 E}{(KL/r)^2}$
$\frac{kL}{r} > 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$0,877 F_e$	

Donde

F_{cr} = Esfuerzo critico

F_e = Tensión de pandeo elástico de Euler

3. Hallar la Resistencia de diseño:

$$\phi P_n = 0,9 \cdot A_g \cdot F_{cr}$$

Ecuación 3.14

4. Comprobar que se cumpla:

$$\phi P_n \geq P_u$$

A continuación, se resumirá en la tabla 3,19 las dimensiones de las columnas obtenidos a través del proceso ya descrito y que cumplen.

Tabla 3.19. Dimensiones de Columnas

ELEMENTO COLUMNA	SECCION (mm)	b (mm)	tf (mm)	tw (mm)	P_u (kg)	ϕP_n (kg)	$\phi P_n > P_u$
A-B	W550x106	210	17.2	11.1	20065.70	294750.12	CUMPLE
BC	W550x106	210	17.2	11.1	13198.65	294750.12	CUMPLE
CD	W400x67	280	18	10.5	6477.50	176040.70	CUMPLE
EF	W550x106	210	17.2	11.1	20577.08	294750.12	CUMPLE
FG	W550x106	210	17.2	11.1	13539.57	294750.12	CUMPLE
GH	W400x67	280	18	10.5	6647.96	176040.70	CUMPLE
IJ	W550x106	210	17.2	11.1	20577.08	294750.12	CUMPLE
JK	W550x106	210	17.2	11.1	13539.57	294750.12	CUMPLE
KL	W400x67	280	18	10.5	6647.96	176040.70	CUMPLE
MN	W550x106	210	17.2	11.1	20577.08	294750.12	CUMPLE
NO	W550x106	210	17.2	11.1	13539.57	294750.12	CUMPLE
OP	W400x67	280	18	10.5	6647.96	176040.70	CUMPLE
QR	W550x106	210	17.2	11.1	20065.70	294750.12	CUMPLE
RS	W550x106	210	17.2	11.1	13198.65	294750.12	CUMPLE
ST	W400x67	280	18	10.5	6477.50	176040.70	CUMPLE

3.8 CRITERIO DE COLUMNA FUERTE – VIGA DEBIL

El criterio de columna fuerte – viga débil tiene como objetivo fundamental contar con un sistema estructural en el cual las columnas son generalmente más fuertes que las vigas a fin de forzar el estado límite de fluencia por flexión en las vigas en los diferentes niveles de los PEM cuando éstos estén sujetos a las fuerzas resultantes producidas por el sismo de diseño. De esta manera, se logra un alto nivel de disipación

de energía (“Norma Ecuatoriana de la Construcción. Estructuras de Acero,” 2015 & AISC 358-10).

La siguiente relación debe satisfacerse en la conexión viga – columna:

$$\frac{\sum M_{pc}^*}{\sum M_{pv}^*} \geq 1 \quad \text{Ecuación 3.15}$$

Donde:

$\sum M_{pc}^*$ =La suma de los momentos plásticos nominales de las columnas que llegan a la junta.

$$\sum M_{pc}^* = \sum Z_c \left(Fy - \frac{Puc}{Ag} \right) \quad \text{Ecuación 3.16}$$

Sabiendo:

Ag = Área gruesa

Fy = Mínimo esfuerzo de fluencia especificado para el tipo de acero usado para las columnas.

Puc =Resistencia a carga axial requerida de una columna usando las combinaciones de carga para las columnas.

Zc = Módulo plástico de la columna

$\sum M_{pv}^*$ =La suma de momentos plásticos nominales de las vigas que llegan a la junta.

$$\sum M_{pv}^* = \sum (C_{pr} Ry Fy Z_c) \quad \text{Ecuación 3.17}$$

Sabiendo:

C_{pr} =Factor a tomar en cuenta para la fuerza de conexión, incluyendo endurecimiento por deformación, reducción local, refuerzo adicional y otras condiciones de conexión.

$$C_{pr} = \frac{Fy + Fu}{2Fy} \leq 1,2 \quad \text{Ecuacion 3.18}$$

Ry =Relación del esfuerzo de fluencia esperado, sobre el esfuerzo de fluencia mínimo, f_y , este coeficiente depende del material que se utiliza, como se trata de acero A36, entonces $Ry = 1$

Tabla 3.20. Valores de R_y y R_t .
(AISC 341-10)

TABLE A3.1 R_y and R_t Values for Steel and Steel Reinforcement Materials		
Application	R_y	R_t
Hot-rolled structural shapes and bars:		
• ASTM A36/A36M	1.5	1.2
• ASTM A1043/1043M Gr. 36 (250)	1.3	1.1
• ASTM A572/572M Gr. 50 (345), or 55 (380), ASTM A913/A913M Gr. 50 (345), 60 (415), or 65 (450), ASTM A588/A588M, ASTM A992/A992M	1.1	1.1
• ASTM A1043/A1043M Gr. 50 (345)	1.2	1.1
• ASTM A529 Gr. 50 (345)	1.2	1.2
• ASTM A529 Gr. 55 (380)	1.1	1.2

F_y = Límite de fluencia mínimo especificado del elemento, ($F_y=2530\text{kg/cm}^2$)

Z_c =Módulo de sección de columna

F_u =La resistencia mínima a la tensión especificada del acero ($F_u= 4077,73\text{kg/cm}^2$)

Se procederá hacer el análisis del pórtico de interés en este caso el que se ve en la Fig. 3.9:

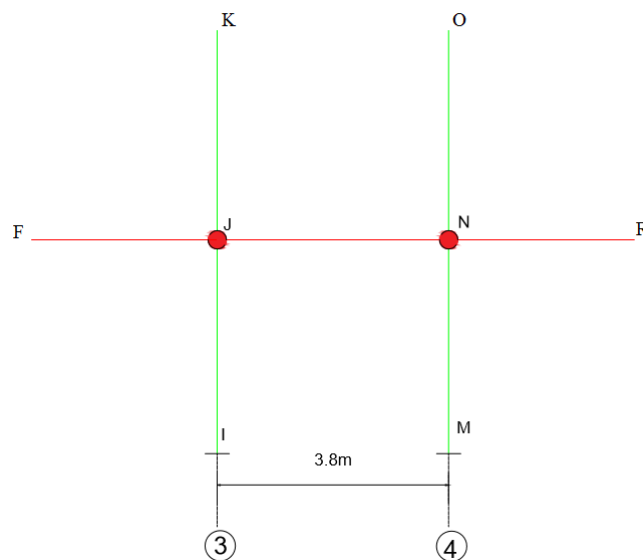


Figura 3.9. Pórtico Analizado

Reemplazando en la ecuación 3.18 tenemos:

$$C_{pr} = \frac{2530 + 4077,73}{2(2530)} \leq 1,2$$

$$C_{pr} = 1,31 \leq 1,2$$

Como no cumple con la condición se toma el valor de $C_{pr}=1,2$ para los cálculos. A continuación, se resumirá en la tabla 3.21 si se cumple con el criterio de columna fuerte- viga débil.

Tabla 3.21. *Criterio de Columna fuerte-Viga débil*

CONEXION	SECCION	ELEMENTO	Z(cm3)	Pu(kg)	Ag (cm2)	Mp(kg/cm2)	Σ	$\Sigma M_{pc}/\Sigma M_{pv} \geq 1$			
J	W400x67	VIGA	1313.5	-	84.8	5981679	11963358.00	1.130			
	W400x67					5981679					
	W550x106	COLUMNA				2798.5			15609.2	134.9	6756393
	W550x106										6756393
N	W400x67	VIGA	1313.5	-	84.8		5981679	11963358			1.130
	W400x67						5981679				
	W550x106	COLUMNA				2798.5	15609.2		134.9	6756393	
	W550x106									6756393	

3.9 CORTANTE BASAL DE DISEÑO

“El cortante basal total de diseño V , a nivel de cargas ultimas, aplicado a una estructura en una dirección especificada, se determinará mediante la expresión 3.19” (“Norma Ecuatoriana de la Construcción. Peligro Sísmico. Diseño Sismo Resistente,” 2015, p 64).

$$V = \frac{IS_a(T_a)}{R\phi_P\phi_E} W \quad \text{Ecuación 3.19}$$

Donde:

$S_a(T_a)$ = Espectro de diseño en aceleración

ϕ_P y ϕ_E = Coeficientes de configuración en planta y elevación

I = Coeficiente de importancia

R = Factor de reducción de resistencia sísmica.

V = Cortante basal total de diseño

W = Carga sísmica reactiva.

T_a = Periodo de vibración

En nuestro caso para hallar el cortante basal ya se ha obtenido algunos de los parámetros de los cuales depende este y los faltantes se procederá a hallarnos como:

- **Factor de reducción de resistencia sísmica R**

Este permite una reducción de las fuerzas sísmicas de diseño, lo cual es permitido siempre que las estructuras y sus conexiones se diseñen para desarrollar un mecanismo de falla previsible y con adecuada ductilidad, donde el daño se concentre en secciones especialmente detalladas para funcionar como rotulas plásticas (“Norma Ecuatoriana de la Construcción. Peligro Sísmico. Diseño Sismo Resistente,” 2015).

Tabla 3.22. Coeficiente R para sistemas estructurales dúctiles
 (“Norma Ecuatoriana de la Construcción. Peligro Sísmico. Diseño Sismo Resistente,” 2015).

Sistemas Estructurales Dúctiles	R
Sistemas Duales	
Pórticos especiales sismo resistentes, de hormigón armado con vigas descolgadas y con muros estructurales de hormigón armado o con diagonales rigidizadoras (sistemas duales).	8
Pórticos especiales sismo resistentes de acero laminado en caliente, sea con diagonales rigidizadoras (excéntricas o concéntricas) o con muros estructurales de hormigón armado.	8
Pórticos con columnas de hormigón armado y vigas de acero laminado en caliente con diagonales rigidizadoras (excéntricas o concéntricas).	8

- **Carga Sísmica reactiva W**

“La carga sísmica W representa la carga reactiva por sismo” (“Norma Ecuatoriana de la Construcción. Peligro Sísmico. Diseño Sismo Resistente,” 2015, p. 58).

$$W=D \qquad \text{Ecuación 3.20}$$

- **Calculo del espectro de diseño**

Anteriormente ya se definió el espectro de diseño y cuáles eran sus expresiones para su cálculo, se procederá a reemplazar los datos en la ecuación 3.1, además que ya se halló los parámetros necesarios para la misma:

$$T = 0.472s \quad \text{Sin disipadores de energía}$$

$$T = 0.426s \quad \text{Con disipadores de energía}$$

$$T_c = 0.608 \quad \text{para ambos casos}$$

Tanto para el caso de la estructura sin y con disipadores de energía ADAS, el espectro de diseño es el mismo ya que cumplen con la condición de que $0 \leq T \leq T_c$

$$S_a = \eta Z F a \qquad \text{para } 0 \leq T \leq T_c$$

$$S_a = 1.8 (0.5)(1.18) \quad \text{para } 0 \leq 0.472 \leq 0.608$$

$$S_a = 1,062 \quad \text{para } 0 \leq 0.472 \leq 0.608$$

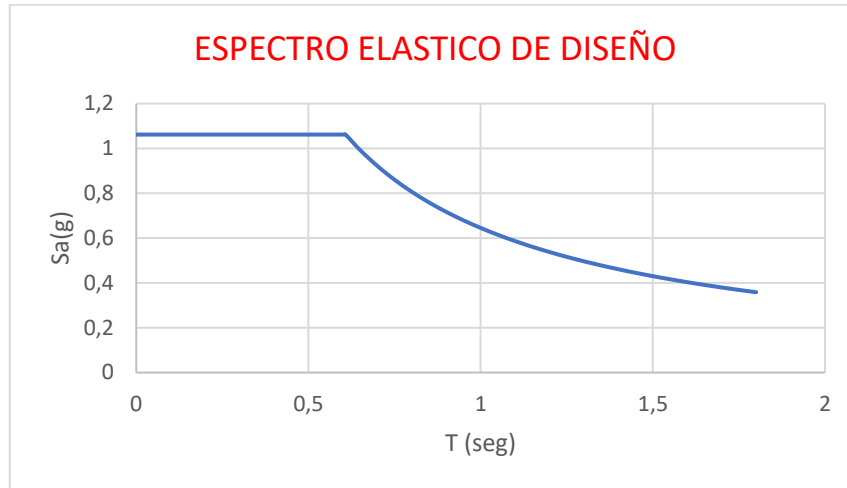


Figura 3.10. Espectro de Diseño

3.10 DISTRIBUCION VERTICAL DE LAS FUERZAS LATERALES

La distribución de fuerzas verticales se asemeja a una distribución lineal (triangular), similar al modo fundamental de vibración, pero dependiente del período fundamental de vibración T_a . En ausencia de un procedimiento más riguroso, basado en los principios de la dinámica, las fuerzas laterales totales de cálculo deben ser distribuidas en la altura de la estructura, utilizando las siguientes expresiones (“Norma Ecuatoriana de la Construcción. Peligro Sísmico. Diseño Sismo Resistente,” 2015, p. 69).

$$F_x = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k} V \quad \text{Ecuación 3.21}$$

$$V = \sum_{i=1}^n F_i$$

Donde:

V= Cortante total en la base de la estructura

V_x=Cortante total en el piso x de la estructura.

F_i= Fuerza Lateral aplicada en el piso i de la estructura

F_x= Fuerza lateral aplicada en el piso x de la estructura.

n= numero de pisos de la estructura

w_x = Peso aginado al piso o nivel x de la estructura, siendo una fracción de la carga w .

w_i = Peso aginado al piso o nivel i de la estructura, siendo una fracción de la carga reactiva.

h_x = altura del piso x de la estructura.

h_i = altura de piso i de la estructura.

k = coeficiente relacionado con el periodo de vibración de la estructura T .

Determinación de k :

Tabla 3.23. Valores de k

(“Norma Ecuatoriana de la Construcción. Peligro Sísmico. Diseño Sismo Resistente,” 2015).

Valores de T (s)	k
≤ 0.5	1
$0.5 < T \leq 2.5$	$0.75 + 0.50 T$
> 2.5	2

Sabiendo que los valores obtenidos del periodo de vibración son:

Estructura sin disipadores de energía $T = 0.472s$ y como $T \leq 0.5$ por lo tanto $k=1$

Estructura con disipadores de Energía $T = 0.426s$ y como $T \leq 0.5$ por lo tanto $k=1$

3.11 MODELO Y DIMENSIONES DE LOS DISIPADORES ADAS

Se analiza un modelo simple, con capacidad de tener en cuenta el endurecimiento por deformación y el comportamiento de histéresis bilineal ver Fig. 3.11.

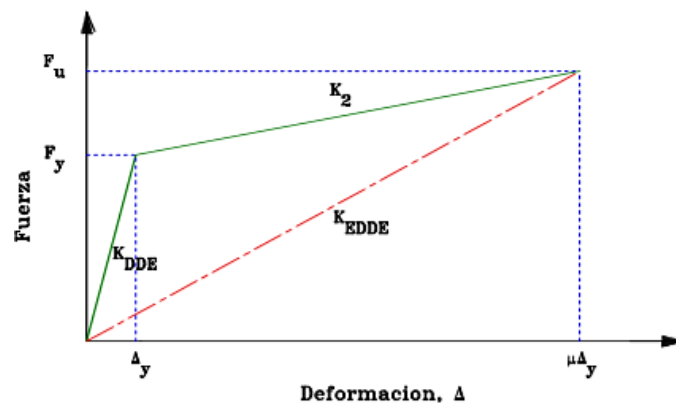


Figura 3.11. Curva típica fuerza-deformación de un disipador histérico con comportamiento bilineal.

(Colunga & Hernández, 2013)

La combinación de los elementos mostrados en la Fig. 3.11 se lo conoce como ensamblaje del arriostramiento del dispositivo, de donde a la vez se obtiene la rigidez equivalente de este conjunto que está representado por la siguiente expresión:

$$k_{eq} = \frac{\beta k_{diag} + k_2(\mu - 1)}{\beta + 2\mu \cos^2 \theta + \frac{k_2(\mu - 1)}{k_{diag}}} \quad \text{Ecuación 3.22}$$

Donde:

k_{diag} = Rigidez lateral de los contravientos (diagonales)

k_2 = rigidez posterior a la fluencia del elemento disipador de energía. Los reglamentos suponen un comportamiento elastoplástico perfecto ($K_2 = 0$)

θ = ángulo de inclinación de las diagonales

El coeficiente β se hallará con la siguiente expresión:

$$\beta = \frac{k_{DDE}}{k_{diag}} \quad \text{Ecuación 3.23}$$

μ = ductilidad de los disipadores (2.84 para este caso)

En función de este, se determinarán las rigideces elásticas requeridas tanto de los disipadores como de los contravientos.

“El ancho del disipador ADAS puede estar en función de su altura, así como $b_2=0.5h$, $b_1=0.1h$ para alturas de 30, 25, y 20 cm; para alturas del disipador de 15 y 10 cm, se trabaja con un ancho de 10 cm” (Aguiar, Mora & Rodríguez, 2016, p. 30)

Los dispositivos ADAS que se utilizarán en la estructura en estudio y conociendo que no es un edificio de mucha altura tendrán las dimensiones detalladas en la tabla. 3.24, además que el material para su elaboración es acero A36 con un espesor 10mm, un límite de fluencia de $f_y=2530 \text{ kg/cm}^2$ y módulo de Elasticidad de $E=2100000 \text{ kg/cm}^2$. El elemento ADAS estará conformado por 6 placas.

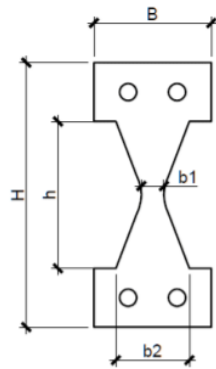


Figura 3.12. Dispositivo ADAS
(Arévalo, 2016).

Tabla 3.24. Dimensiones dispositivo ADAS

H	h	B	b1	b2
(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)
14	10	10	5	1

3.11.1 PROPIEDADES DE LOS DISIPADORES ADAS

En el momento de analizar un dispositivo de energía como este es necesario conocer algunas propiedades de este que nos permita conocer su comportamiento y capacidad para resistir el evento al que se va a ver sometido, es así que a continuación se ira describiendo algunas de ellas:

- **Desplazamiento Lateral por Fluencia**

Método de Whittaker, Bertero y Alonso

La forma curva que presenta los dispositivos ADAS, complica hallar la rigidez elástica de estas placas y de su capacidad plástica. En 1989 Withaker, Bertero y Alonso, dieron a conocer un procedimiento para determinar analíticamente la curva carga deformación de cada placa que es parte del dispositivo, utilizando triángulos inscritos equivalentes en forma de cruz como se ve en la Fig. 3.12.

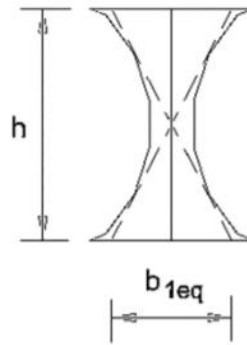


Figura 3.13. Geometría idealizada por Whittaker

(Whittaker, 1989).

El método supone:

1. Las placas en X están empotradas en sus extremos.
2. Las placas se deforman en doble curvatura, antisimétricas con respecto a su sección media.
3. El ancho equivalente de las placas en sus extremos es igual a la mitad de la longitud del dispositivo ($b_{eq} = h/2$).

Teniendo en cuenta estas consideraciones whittaker nos dice que el desplazamiento de fluencia de cada placa es:

$$\Delta_y = \frac{f_y h^2}{2Et} \quad \text{Ecuación 3.24}$$

Donde:

f_y = Limite de fluencia del acero

E = Modulo de elasticidad del Acero A36

t = espesor del dispositivo

Además del desplazamiento de fluencia los disipadores tienen otras características que se describirán a continuación:

- **Desplazamiento Ultimo**

$$\Delta_u = \mu \Delta_y \quad \text{Ecuación 3.25}$$

Donde

μ = Ductilidad de los disipadores (2.84 para este caso)

- **Rigidez post fluencia**

$$K_2 = \frac{F_u - F_y}{\Delta_u - \Delta_y} \quad \text{Ecuación 3.26}$$

- **Rigidez Elástica**

De acuerdo con Whittaker esta rigidez se obtiene:

$$k_{DDE} = \frac{2Ebt^3N}{3h^3} \quad \text{Ecuación 3.27}$$

Donde:

b= b2

N= número de placas a utilizar (6 en este caso)

- **Rigidez Efectiva**

$$K_{EDDE} = \frac{F_u}{\Delta_u} \quad \text{Ecuación 3.28}$$

- **Cortante por fluencia**

$$F_y = \frac{b_2t^2N}{3h} f_y \quad \text{Ecuación 3.29}$$

- **Cortante Plástico o ultimo**

De acuerdo con Whittaker esta rigidez se obtiene:

$$V_u = \frac{b_2t^2N}{2h} f_y \quad \text{Ecuación 3.30}$$

3.12 DISEÑO DE DIAGONALES PARA DISPOSITIVOS ADAS

En el momento de diseñar las diagonales de los elementos ADAS, que vendrían a ser los contravientos, no solo es necesario definir su rigidez ecuación 3.31, sino también hay que revisar que estos se mantengan elásticos en el momento que los disipadores desarrollen su cortante ultimo a la ductilidad μ . Por lo tanto, la carga axial máxima que resistirá cada contraviento será ecuación 3.30 (Colunga & Hernández, 2013):

$$k_{diag} = \frac{E_{diag}A_{diag}}{L_{diag}} \cos^2\theta \quad \text{Ecuación 3.31}$$

$$P_{diag} \geq \frac{V_u}{2 \cos\theta} \quad \text{Ecuación 3.32}$$

Con esta carga se debe revisar que el diseño del contraviento tenga un factor de seguridad contra pandeo razonable. Para ello se utilizará la ecuación 3.34 por resistencia ultima, pero usando un factor de seguridad adicional de por lo menos de

1,5. Por ello, los contravientos deben tener una relación de esbeltez efectiva de acuerdo con la norma mexicana de diseño y construcción de estructuras metálicas (NTCEM, 2004) mostrado en la ecuación 3.33.

$$\frac{kl}{r} < 5.88 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad \text{Ecuación 3.33}$$

$$R_c = \frac{F_y}{(1+\lambda^{2n}-0.15^{2n})^{1/n}} A_t \leq F_y A_t \quad \text{Ecuación 3.34}$$

Donde:

k= Factor de longitud efectiva del elemento

l= Longitud efectiva del elemento

r= Radio de giro mínimo

A_t= Área neta del elemento

n= coeficiente adimensional (para este caso 1.4)

λ= Parámetro de esbeltez que se estima a partir de la siguiente expresión:

$$\lambda = \frac{kl}{r} \sqrt{\frac{F_y}{\pi^2 E}} \quad \text{Ecuación 3.35}$$

La carga axial se calcula:

$$P_{diag} = \frac{R_c}{1,5} \quad \text{Ecuación 3.36}$$

Es así como se diseñará nuestras diagonales se las hará con un perfil W, con un módulo de elasticidad E=2100000, el límite de fluencia es F_y=2530kg/cm², el factor de longitud efectiva k=1 para diagonales por seguridad (McCormac, Csernak, & Díaz, 2000).

CAPITULO IV

MODELACION CON ETABS DE LAS EDIFICACIONES SIN Y CON DISIPADORES DE ENERGIA ADAS

4.1 EDIFICACION SIN DISIPADORES DE ENERGIA

4.1.1 CONSIDERACIONES DEL PROGRAMA

En el momento de modelar la estructura sin disipadores de energía es necesario tomar en cuenta muchas consideraciones en el programa a utilizar (ETABS), siendo una de las más importantes que la edificación soporte las cargas a las que se va a ver sometido, las cuales ya fueron nombradas en el capítulo 3 (carga muerta, carga viva y carga de sismo) de tal manera que se cumpla con lo establecido en la norma Ecuatoriana de la Construcción, otros parámetros a considerar es las unidades con las que se desea trabajar, en nuestro caso utilizaremos el Sistema Internacional (SI), también se debe introducir correctamente los datos obtenidos en cálculos ya realizados en el capítulo anterior, definir bien las secciones, el tipo de material y dimensiones de los elementos estructurales que conforman parte de la misma.

4.1.2 DISEÑO DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES

Se modelará los elementos estructurales (vigas, columnas y losas), con las dimensiones ya seleccionadas en el capítulo 3. Para las uniones entre vigas y columnas se considerará una conexión a corte de tal manera que se considere las conexiones articuladas lo que permitirá que no se produzca momentos en las uniones de las vigas con la sección débil de la columna.

Modelamiento de Columnas

Para modelar los elementos columnas se consideró como elementos tipo frame con perfiles w con las características descritas en la tabla 3.19.

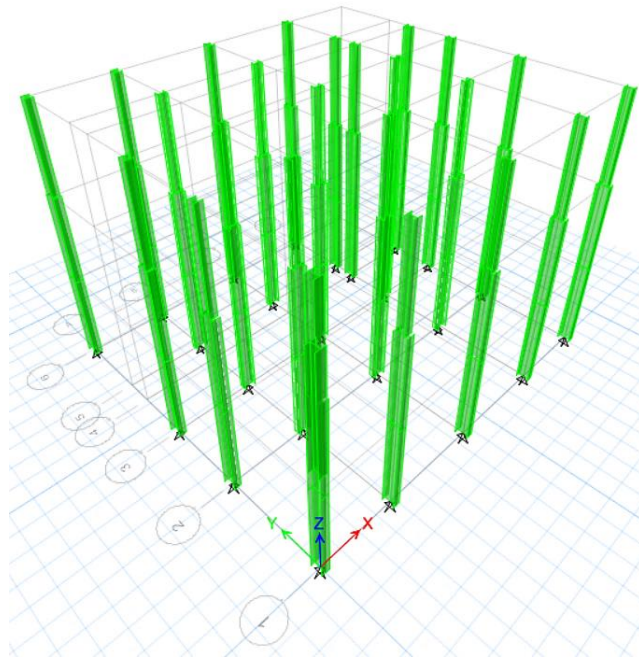


Figura 4.1. Geometría de las Columnas

Modelamiento de Vigas

Para modelar las vigas principales y secundarias se les considero como elementos frame con perfiles w con las dimensiones descritas en la tabla 3.16.

- **Vigas Principales**

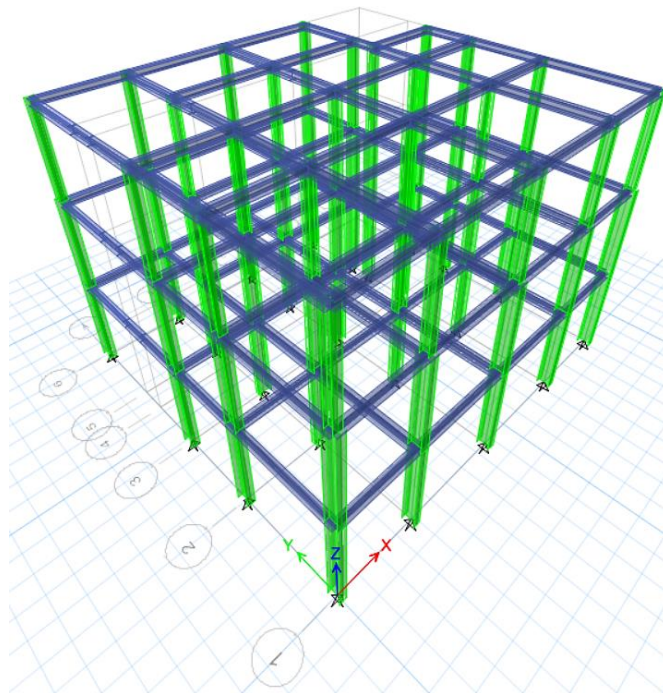


Figura 4.2. Geometría de las Vigas Principales

- **Vigas Secundarias**

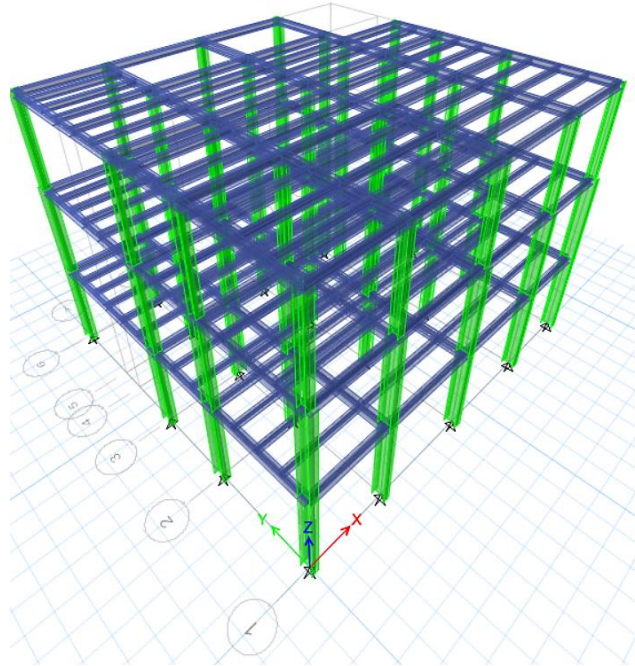


Figura 4.3. Geometría de las Vigas Secundarias

- **Definir Sistemas de Losas**

Para las losas se utilizó elementos tipo deck (placa colaborante) con las características que se puede observar en la fig. 4.4.

En cada piso se colocó diafragmas rígidos como se aprecia en la fig. 4.5, de tal manera que todos los puntos de cada piso se encuentren unidos a un solo punto en común.

Deck Property Data

General Data	
Property Name	LOSA
Type	Filled
Slab Material	HORMIGON 210
Deck Material	A653
Modeling Type	Membrane
Modifiers (Currently Default)	Modify/Show...
Display Color	Change...
Property Notes	Modify/Show...
Property Data	
Slab Depth, tc	50 mm
Rib Depth, hr	55 mm
Rib Width Top, wrt	162,5 mm
Rib Width Bottom, wrb	104 mm
Rib Spacing, sr	266,5 mm
Deck Shear Thickness	0,76 mm
Deck Unit Weight	7,87 kgf/m ²
Shear Stud Diameter	19 mm
Shear Stud Height, hs	80 mm
Shear Stud Tensile Strength, Fu	3366,08 kgf/cm ²

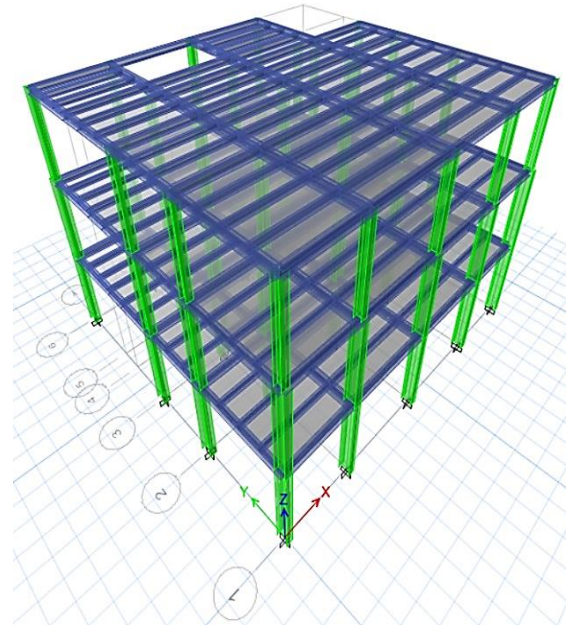


Figura 4.4. Características de las losas

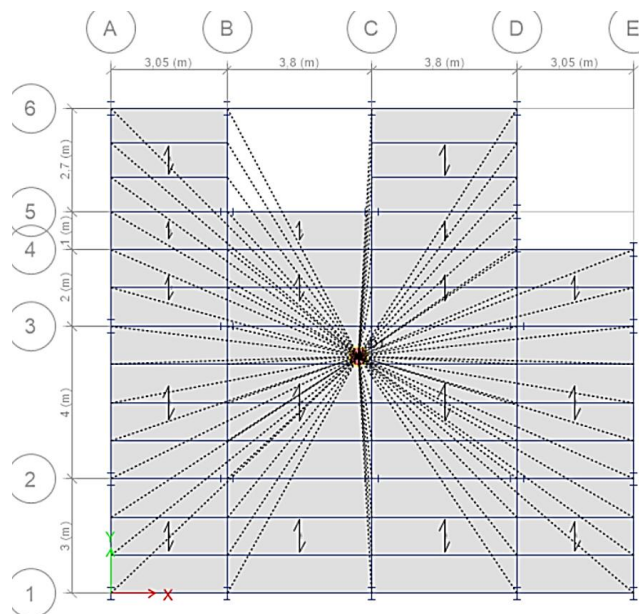


Figura 4.5. Diafragma

4.1.3 COMBINACION DE CARGAS

Para la combinación de cargas se utilizarán las establecidas en la Norma Ecuatoriana de la construcción, sin considerar la carga de viento y granizo debido a las condiciones climáticas del lugar que se consideró para el estudio.

Tabla 4.1. *Combinación de Cargas*

(“Norma Ecuatoriana de la Construcción. Peligro Sísmico. Diseño Sismo Resistente,” 2015).

Combinación 1

1.4 D

Combinación 2

1.2 D + 1.6 L + 0.5max[L_r ; S ; R]

Combinación 3*

1.2 D + 1.6 max[L_r ; S ; R] + max[L ; 0.5W]

Combinación 4*

1.2 D + 1.0 W + L + 0.5 max[L_r ; S ; R]

Combinación 5*

1.2 D + 1.0 E + L + 0.2 S

Combinación 6

0.9 D + 1.0 W

Combinación 7

0.9 D + 1.0 E

Donde:

L= Carga viva

D= Carga Muerta

E= Carga de Sismo

S= Carga de Granizo

W= Carga de viento

Con lo que nos quedaría las siete combinaciones de la siguiente manera:

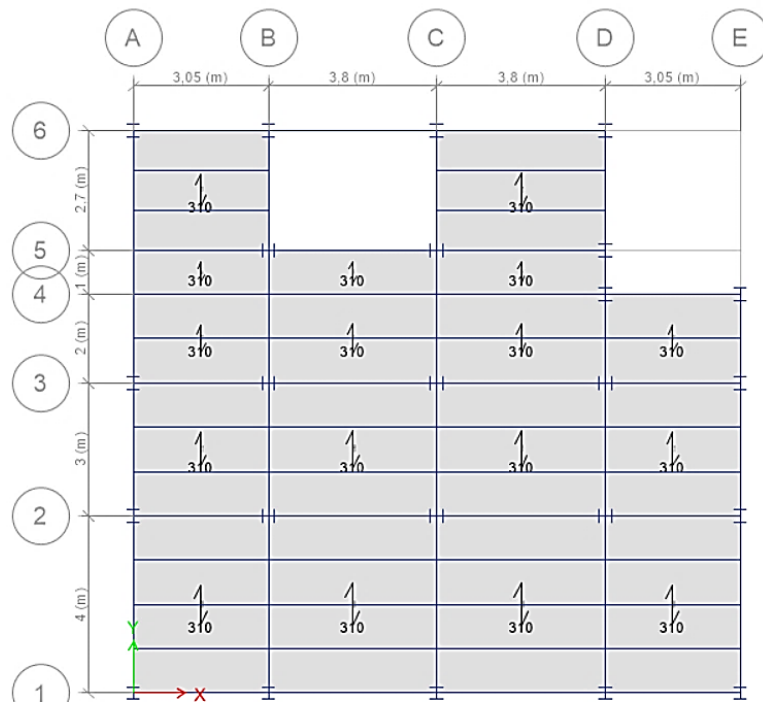
Tabla 4.2. *Combinación de Cargas*

COMBINACIONES	D	L	E
COMBINACION 1	1,4		
COMBINACION 2	1,2	1,6	
COMBINACION 3	1,2	1	
COMBINACION 4	1,2	1	
COMBINACION 5	1,2	1	1
COMBINACION 6	0,9		
COMBINACION 7	0,9		1

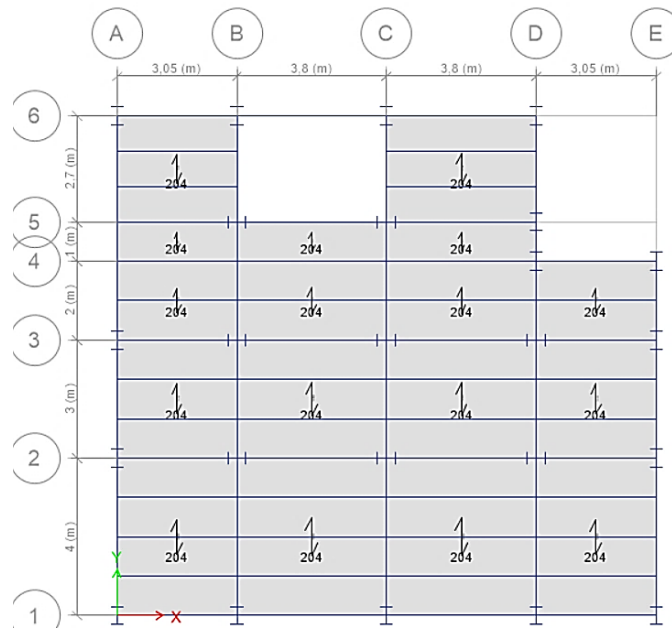
4.1.4 ANALISIS ESTÁTICO

Para proceder a realizar el análisis estático de la estructura se considerarán ciertos criterios en el programa como se ve a continuación:

- **Asignación de cargas**



(a)



(b)

Figura 4.6. (a) Carga Muerta. (b) Carga viva)

- **Periodo de Vibración**

Como se puede observar en la figura 4.7, el periodo de vibración de la estructura es igual a 0.634.

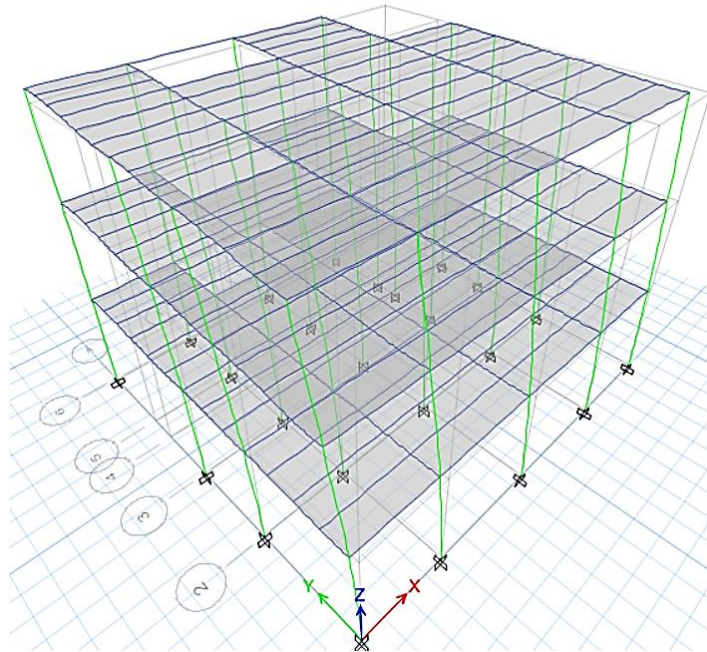


Figura 4.7. Periodo de Vibración en ETABS

4.1.4.1 Calculo del Cortante Basal de Diseño

- **Calculo de la Carga Sísmica W**

Para obtener el Cortante Basal es necesario hallar la carga sísmica la misma que resulta de la suma de todo el peso propio de la estructura incluido las sobrecargas de paredes acabados e instalaciones etc, como se muestra en la tabla 4.3.

Tabla 4.3. *Carga Sísmica, Estructura sin disipadores*

PISO	D=W (kg)
3	95501.12
2	107544.36
1	113628.89
Σ	316674.38

Reemplazando en la ecuación 3.17 los datos ya obtenidos en el capítulo 3 tenemos:

$$V = \frac{(1)(1,062)}{(8)(0,9)(1)}(316674.38)$$

V46709.47kg

4.1.4.2 Calculo de las Fuerzas Laterales

Se obtendrá dicha distribución de fuerzas como fue descrito en el numeral 3.19, obteniendo los siguientes resultados como se aprecia en la tabla 4.4

Tabla 4.4. *Distribución Vertical de las Fuerzas Laterales, Estructura sin disipadores*

Piso	Nivel (m)	W (kg)	h ^x	w _x h ^x	F _x (kg)	F _y (kg)
3	10.5	95501.12	10.5	1002761.81	21752.22	21752.22
2	7	107544.36	7	752810.54	21508.45	21508.45
1	3.5	113628.89	3.5	397701.11	11362.66	11362.66
			∑	2153273.46		

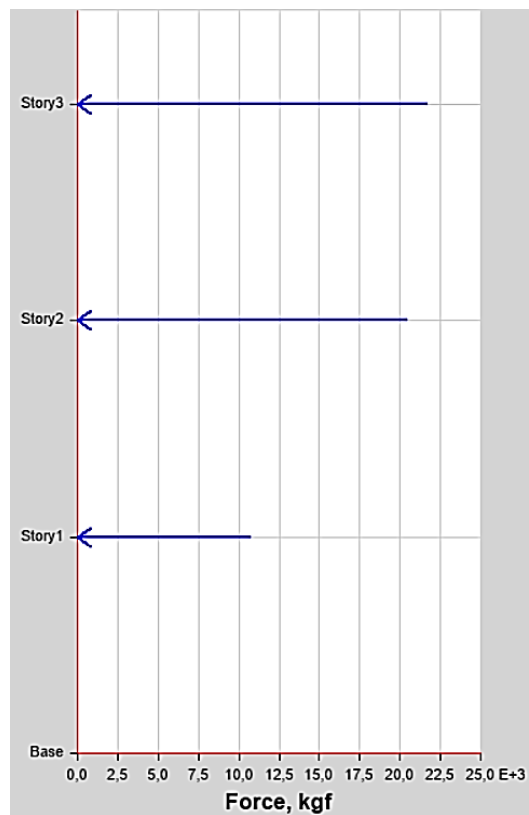


Figura 4.8. Distribución de fuerzas laterales en ETABS

4.1.4.3 Calculo de la Carga Sísmica en las diferentes direcciones

Para obtener la carga sísmica en las diferentes direcciones en el programa es necesario obtener ciertos términos que serán introducidos en el mismo, como es C_s que se describirá su ecuación a continuación y el termino k que fue hallado según la tabla 3.23.

$$C_s = \frac{I S_a(T_a)}{R \phi_P \phi_E} \quad \text{Ecuación 4.1}$$

Reemplazando los valores tenemos

$$C_s = \frac{1(1,062)}{8(0,9)(1)}$$

$$C_s = 0.148$$

Seismic Load Pattern - User Defined

Direction and Eccentricity

X Dir Y Dir

X Dir + Eccentricity Y Dir + Eccentricity

X Dir - Eccentricity Y Dir - Eccentricity

Ecc. Ratio (All Diaph.) 0.05

Overwrite Eccentricities Overwrite...

Factors

Base Shear Coefficient, C 0.148

Building Height Exp., K 1

Story Range

Top Story Story3

Bottom Story Base

OK Cancel

(a)

Seismic Load Pattern - User Defined

Direction and Eccentricity

X Dir Y Dir

X Dir + Eccentricity Y Dir + Eccentricity

X Dir - Eccentricity Y Dir - Eccentricity

Ecc. Ratio (All Diaph.) 0.05

Overwrite Eccentricities Overwrite...

Factors

Base Shear Coefficient, C 0.148

Building Height Exp., K 1

Story Range

Top Story Story3

Bottom Story Base

OK Cancel

(b)

Figura 4.9. (a) Carga dirección X. (b) Carga dirección Y

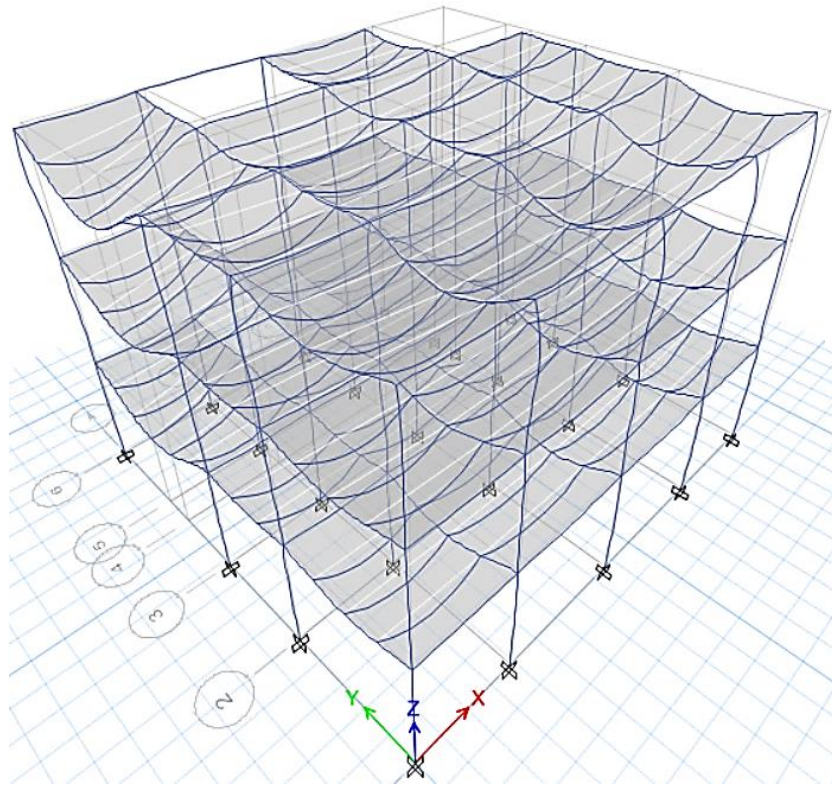


Figura 4.10. Comportamiento de la estructura bajo cargas sísmicas estáticas

4.1.5 ANALISIS DINÁMICO

Para analizar la estructura frente a un sismo severo se tomó información de un sismo de gran magnitud el sucedido el 16 de abril del 2016 en Manabí de 7.8 en la escala Richter como modelo para ser aplicado a la estructura de estudio, puesto que se eligió esta zona para construir la edificación con y sin disipadores cuya información se obtuvo del Instituto Geofísico de nuestro país, el mismo que proporciono los datos para graficar las aceleraciones en los diferentes periodos tal como se muestra en la figura 4.11:

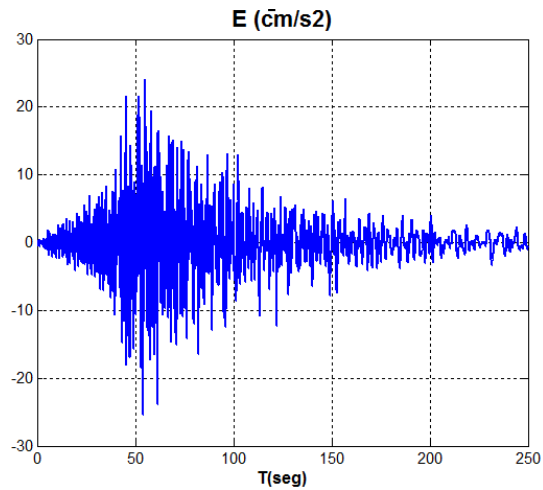


Figura 4.11. Aceleración del Sismo

A la vez estos datos fueron introducidos al programa

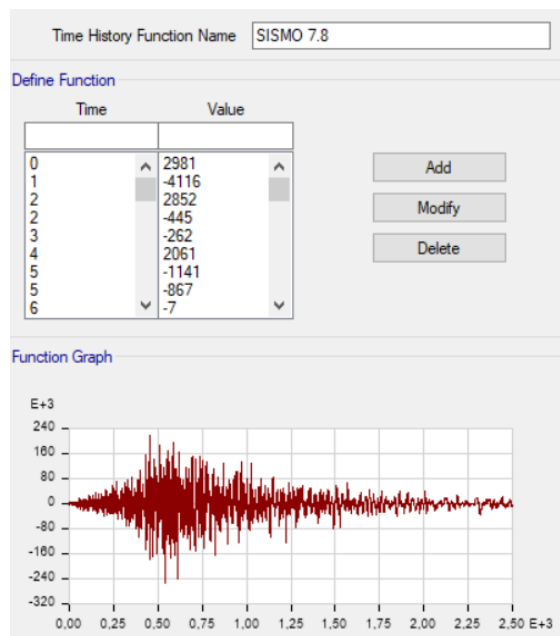


Figura 4.12. Aceleración del Sismo en ETABS

- **Espectro de Diseño**

Se introdujo los datos del espectro de diseño obtenido ya en la figura 3.9 en el programa.

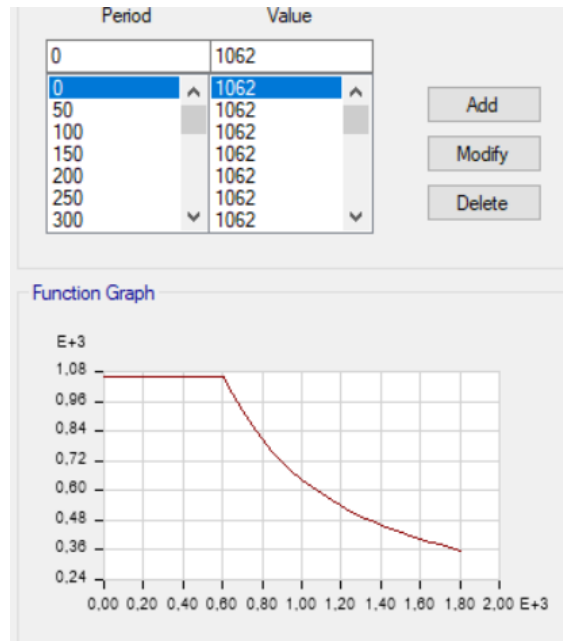


Figura 4.13. Espectro de Diseño en ETABS

Se mandó a correr el programa dando el comportamiento que se ve en la figura 4.14.

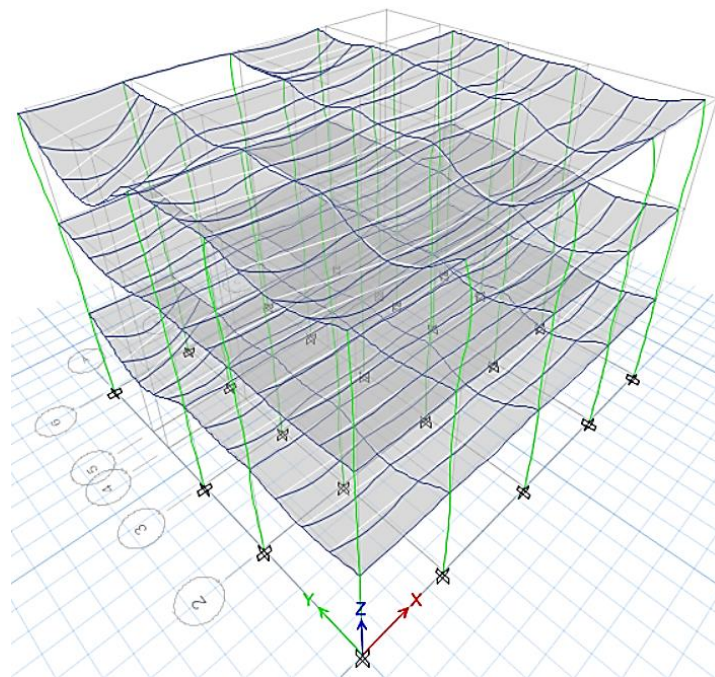


Figura 4.14. Deformación de la Estructura

4.1.5.1 Análisis Modal Espectral

Para realizar este análisis es necesario que se cumpla que el cortante dinámico sea mayor al ochenta por ciento del cortante estático, si no cumple lo dicho se tiene

que hacer el escalonamiento del cortante, multiplicando este por un factor de escala que resulta de la relación entre el 80% del cortante estático y el cortante dinámico como se muestra a continuación:

$$\text{Factor Escala} = 0.8V_{\text{estatico}}/V_{\text{dinamico}} \quad \text{Ecuación 4.2}$$

Tabla 4.5. Cortante Escalonado estructura sin disipadores

CORTANTE ESCALONADO		
CORTANTE	X	Y
ESTATICO (Kg)	46,212.86	46,212.86
DINAMICO (Kg)	29785.27	26303.56
80% ESTATICO	36970.28	36970.28
FACTOR ESCALA	1.241	1.406

Como se puede observar en la tabla 4.3 es necesario hallar multiplicar por un factor ya que no se cumple con lo dicho anteriormente, por lo tanto, el cortante escalonado en X es 41693.4kg y el cortante escalonado en Y es 41693.4kg

- **Periodos de los modos de vibración**

La Norma Ecuatoriana de la Construcción especifica que los modos de vibración de la estructura con la participación de la masa tienen que ser el 90% en todas las direcciones (x,y,z), lo que ocurre en el modo de vibración número 6, como se aprecia en la tabla 4.6.

Tabla 4.6. Modos de Vibración de la estructura sin disipadores

MODOS DE VIBRACION	PERIODOS (seg)	MASA		MASA	MASA	MASA	MASA
		MASA (X)	MASA (Y)	ACUMULADA (X)	ACUMULADA (Y)	ROTACION (Z)	ACUMULADA (Z)
1	0.634	0.0139	0.6411	0.0139	0.6411	0.1065	0.1065
2	0.532	0.3671	0.0952	0.381	0.7363	0.3267	0.4332
3	0.461	0.4487	0.0192	0.8297	0.7555	0.3433	0.7765
4	0.184	0.054	0.0549	0.8837	0.8104	0.0378	0.8143
5	0.174	0.0432	0.1037	0.9269	0.9141	0.0034	0.8177
6	0.147	0.0227	0.0069	0.9496	0.921	0.1094	0.9271
7	0.094	0.048	0.0003	0.9976	0.9213	0.0041	0.9312
8	0.077	0.0012	0.0597	0.9988	0.981	0.0142	0.9454
9	0.068	0.0012	0.0188	1	0.9998	0.0545	0.9999

4.1.5.2 Control de la Deriva de Piso

En una estructura de acero la NEC nos indica que la deriva inelástica Δ_M , no debe ser mayor al 2% (0.02) como se muestra en la tabla 3.8, la misma que se calcula con la ecuación 4.2

$$\Delta_M = 0.75R\Delta_E \quad \text{Ecuación 4.3}$$

Donde

$R=8$

Δ_E = Deriva Elástica

Tabla 4.7. Control de Derivas en la dirección x, Estructura sin disipadores

PISO	ALTURA (m)	DERIVA	DERIVA	LIMITE %	$\Delta_M < 2\%$
		ELASTICA (cm)	INELASTICA %		
3	10.5	0.0014	0.85	2	CUMPLE
2	7	0.0016	0.93	2	CUMPLE
1	3.5	0.0012	0.70	2	CUMPLE

Tabla 4.8. Control de Derivas en la dirección Y, Estructura sin disipadores

PISO	ALTURA (m)	DERIVA	DERIVA	LIMITE %	$\Delta_M < 2\%$
		ELASTICA (cm)	INELASTICA %		
3	10.5	0.0028	1.66	2	CUMPLE
2	7	0.0026	1.55	2	CUMPLE
1	3.5	0.0014	0.82	2	CUMPLE

4.2 EDIFICACION CON DISIPADORES DE ENERGIA

4.2.1 CONSIDERACIONES DEL PROGRAMA

Las consideraciones son iguales al edificio sin disipadores de energía, este se diferencia por llevar los dispositivos TADAS, y el control de derivas de piso se realizará una vez colocados los mismos (diagonales y dispositivos).

4.2.2 DISEÑO DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES

Se modelará los elementos estructurales (vigas, columnas y losas), con las dimensiones ya seleccionadas en el capítulo 3. Para las uniones entre vigas y columnas

se considerará una conexión a corte de tal manera que se considere las conexiones articuladas lo que permitirá que no se produzca momentos en las uniones de las vigas con la sección débil de la columna.

- **Modelamiento de Columnas, vigas y Losas**

Para modelar los elementos y vigas se consideró como elementos tipo frame con perfiles w con las características descritas en la tabla 3.19. igual que la vivienda sin disipadores. También para las losas se utilizó el mismo sistema que la estructura sin disipadores, se usó elementos tipo deck (placa colaborante).

- **Diagonales**

Para las diagonales se utilizará un perfil w8x24 que cumpla con los requisitos establecidos en el numeral 3.11, los cuales se muestran en las siguientes tablas.

Tabla 4.9. *Parámetros de las Diagonales pórticos BC y CD*

CARACTERISTICAS PORTICO 1 Y 6				DISTANCIA DE LAS DIAGONALES		PARAMETROS PORTICOS BC Y CD			
fy (kg/cm2)	2530	k	1	X (cm)	190	L (cm)	386	λ	0.491
E (kg/cm2)	2100000	I (cm4)	3446.40	Z(cm)	336	r	8.69	Rc	105801.84
A (cm2)	45.677	n	1.4	α (grados)	60.51	KL/r	44.44	P	70534.56

Tabla 4.10. *Parámetros de las Diagonales pórtico AB*

CARACTERISTICAS PORTICO 6				DISTANCIA DE LAS DIAGONALES		PARAMETROS PORTICOS AB			
fy (kg/cm2)	2530	k	1	X (cm)	152.5	L (cm)	369	λ	0.469
E (kg/cm2)	2100000	I (cm4)	3446.40	Z(cm)	336	r	8.69	Rc	106895.74
A (cm2)	45.677	n	1.4	α (grados)	65.59	KL/r	42.48	P	71263.8235

Tabla 4.11. *Parámetros de las Diagonales pórtico 2-3*

CARACTERISTICAS PORTICO A				DISTANCIA DE LAS DIAGONALES		PARAMETROS PORTICOS 2-3			
fy (kg/cm2)	2530	k	1	Y(cm)	150	L (cm)	367.96	λ	0.468
E (kg/cm2)	2100000	I (cm4)	3446.40	Z(cm)	336	r	8.69	Rc	106959.73
A (cm2)	45.677	n	1.4	α (grados)	65.94	KL/r	42.36	P	71306.4892

Tabla 4.12. *Parámetros de las Diagonales pórtico 1-2*

DISTANCIA DE									
CARACTERISTICAS PORTICO E				LAS		PARAMETROS PORTICOS 1-2			
DIAGONALES									
fy (kg/cm2)	2530	k	1	Y (cm)	200	L (cm)	391.02	λ	0.497
E (kg/cm2)	2100000	I (cm4)	3446.40	Z(cm)	336	r	8.69	Rc	105467.42
A (cm2)	45.677	η	1.4	α (grados)	59.24	KL/r	45.02	P	70311.6137

Tabla 4.13. *Parámetros de las Diagonales pórtico 3-4*

DISTANCIA DE									
CARACTERISTICAS PORTICO E				LAS		PARAMETROS PORTICOS 3-4			
DIAGONALES									
fy (kg/cm2)	2530	k	1	Y (cm)	100	L (cm)	350.57	λ	0.446
E (kg/cm2)	2100000	I (cm4)	3446.40	Z(cm)	336	r	8.69	Rc	108009.47
A (cm2)	45.677	η	1.4	α (grados)	73.43	KL/r	40.36	P	72006.3142

- **Disipadores**

Para llevar a cabo el modelamiento de los disipadores ADAS se procederá a hallar los parámetros establecidos en el numera 3.10.1 los cuales se detallarán en la siguiente tabla, se los modelo como elemento link como se muestra en la figura 4.16, además se

Tabla 4.14. *Características de los Disipadores ADAS*

CARACTERISTICAS				PARAMETROS			
fy(kg/cm2)	2530	n	6	Δ_y (cm)	0.6024	Δu (cm)	1.711
E (kg/cm2)	2100000	t (cm)	1	K_{DDE} (kg/cm)	42000	K_{EDDE}	2218.31
h (cm)	10	μ	2.84	Fy (kg/cm2)	2530	K_2 (k)	1141.3
B (cm)	5	'(modo 1	0.727	Vu(kg)	3795	Cd	1373.19

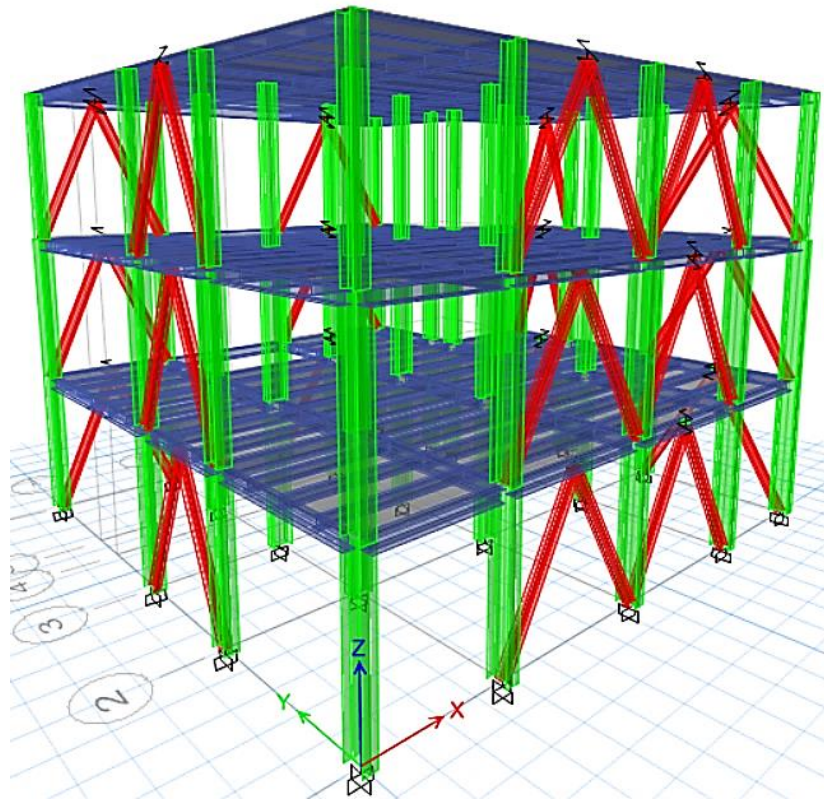


Figura 4.15. Estructura con Disipadores

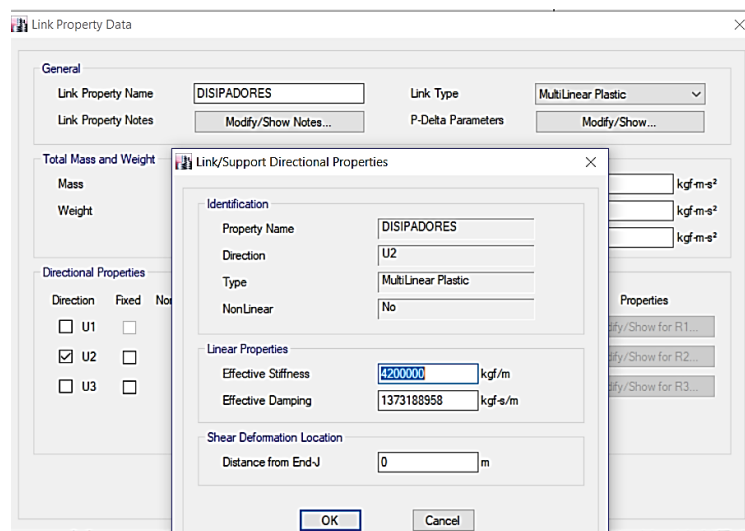


Figura 4.16 Disipadores tipo Link

4.2.3 COMBINACION DE CARGAS

Para la combinación de cargas se utilizarán las establecidas en la Norma Ecuatoriana de la construcción, sin considerar la carga de viento y granizo debido a

las condiciones climáticas del lugar que se consideró para el estudio tal como se mostró en la tabla 4.5.

4.2.4 ANALISIS ESTÁTICO

Para proceder a realizar el análisis estático de la estructura se considerarán la misma asignación de carga muerta y viva que la edificación sin disipadores de energía.

4.2.4.1 Calculo del Cortante Basal de diseño

- **Calculo de la Carga Sísmica W**

Esta se halla de igual manera como la vivienda sin disipadores, cuyos valores se muestran a continuación:

Tabla 4.15. *Carga Sísmica Estructura con disipadores*

PISO	D=W (kg)
3	96547.23
2	108409.84
1	113053.18
Σ	318010.25

El cortante basal se calcula de igual manera que la edificación sin disipadores de energía la única diferencia radica que el ASCE 7-10 exige una leve modificación en el cortante basal en estructuras que contienen un sistema de amortiguación, nos da un factor de reducción para contrarrestar la reducción de la demanda ya que la estructura posee un amortiguamiento adicional, es así como nos presenta:

$$V_{min} = \frac{V}{\beta_{V+1}} \quad \text{Ecuación 4.4}$$

$$V_{min} = 0.75V \quad \text{Ecuación 4.5}$$

Tabla 4.16. *Factor de reducción del Cortante*
(ASCE, 2010)

Amortiguamiento Efectivo	β_{V+1}
≤ 2	0.8
5	1
10	1.2
20	1.5
30	1.8
40	2.1
50	2.4
60	2.7
70	3
80	3.3
90	3.6
≥ 100	4

Para la estructura con disipadores se desea llegar a un amortiguamiento del 20% por lo que $\beta_{V+1} = 1.5$, se toma el valor máximo de las ecuaciones 4.4 o 4.5, obteniendo el siguiente resultado

hallamos el cortante basal con la ecuación 3.17 obteniendo el siguiente resultado:

$$V = \frac{(1)(1.062)}{(8)(0.9)(1)}(318010.25)$$

$$V = 46906.51 \text{ Kg}$$

Reemplazando en la ecuación 4.4 tenemos

$$V_{min} = 0.75(46906.51)$$

$$V_{min} = 35179.88 \text{ kg}$$

4.2.4.2 Calculo de las fuerzas laterales

Se obtendrá dicha distribución de fuerzas como fue descrito en el numeral 3.19, obteniendo los siguientes resultados como se aprecia en la tabla 4.17

Tabla 4.17 *Distribución Vertical de las Fuerzas Laterales, Estructura con Disipadores*

Piso	Nivel (m)	W (kg)	h^x	$w_x h^x$	Fx (kg)	Fy (kg)
3	10.5	96547.23	10.5	1013745.90	21838.08	21838.08
2	7	108409.84	7	758868.89	21681.54	21681.54
1	3.5	113053.18	3.5	395686.12	11305.09	11305.09
			Σ	2168300.91		

4.2.4.3 Cálculo de la carga Sísmica en las diferentes direcciones

Para obtener la carga sísmica en las diferentes direcciones se realizará el mismo procedimiento que la vivienda sin disipadores, para ambos casos el espectro de diseño es el mismo y el resto de los parámetros necesarios para hallar C_s por lo tanto este es igual a la estructura sin disipadores al igual que el factor $k=1$, $C_s=0.148$, los cuales se introdujeron en el programa como se ve en la figura 4.17

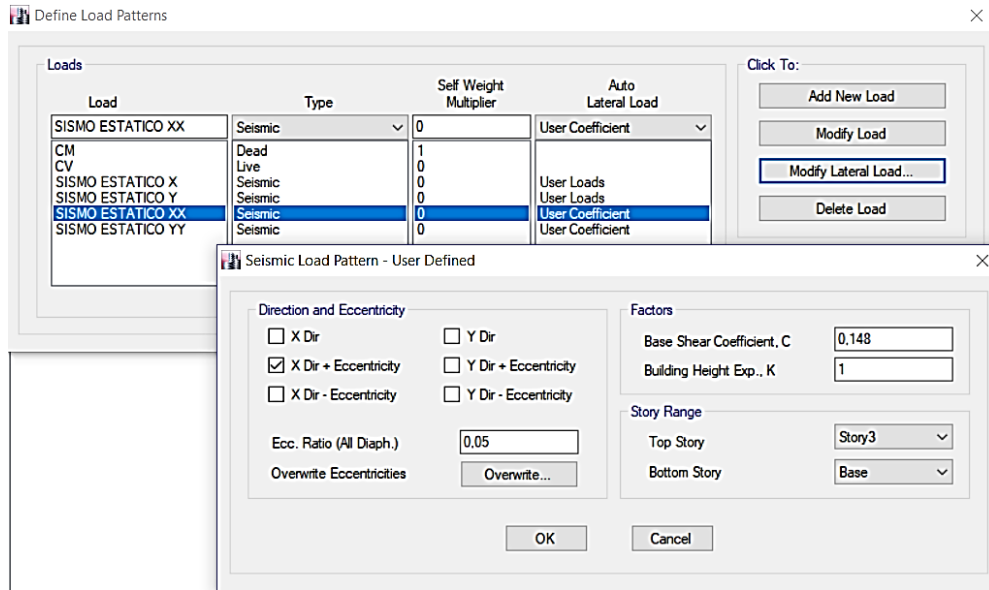


Figura 4.17. Valores C_s y k

4.2.5 ANALISIS DINÁMICO

Para analizar la estructura frente a un sismo severo se tomó la misma información del sismo del análisis dinámico de la estructura sin disipadores.

4.2.5.1 Análisis Modal Espectral

Para realizar este análisis se sigue el mismo procedimiento que la estructura sin disipadores donde se obtuvo los siguientes resultados

Tabla 4.18. Cortante Escalonado, Estructura con disipadores

CORTANTE	X	Y
ESTATICO (Kg)	46,515.84	46,515.84
DINAMICO (Kg)	29830.74	26049.45
80% ESTATICO	37212.675	37212.68
FACTOR ESCALA	1.247	1.429

Como se puede observar en la tabla 4.16 es necesario hallar un factor ya que no se cumple con lo dicho anteriormente, por lo tanto, el cortante dinámico en la dirección x es 37212.68 y el cortante en la dirección y es 37212.68.

- **Periodos de los modos de vibración**

La NEC especifica que los modos de vibración de la estructura con la participación de la masa tienen que ser el 90% en todas las direcciones (x,y,z), lo que ocurre en el modo de vibración número 10, como se aprecia en la tabla 4.19.

Tabla 4.19. *Modos de Vibración, Estructura con disipadores*

MODOS DE VIBRACION	PERIODOS (seg)	MASA		MASA ACUMULADA	MASA ACUMULADA	MASA ROTACION	MASA ACUMULADA
		(X)	(Y)	(X)	(Y)	(Z)	(Z)
1	0.727	0.077	0.5539	0.077	0.554	0.186	0.186
2	0.662	0.6845	0.138	0.762	0.692	0.0186	0.205
3	0.565	0.088	0.1168	0.850	0.809	0.6244	0.829
4	0.257	0.0887	0.008	0.938	0.817	0.0231	0.852
5	0.238	0.0142	0.0943	0.952	0.911	0.0208	0.873
6	0.213	0.0001	0	0.953	0.911	0.0001	0.873
7	0.212	0.0009	0.0002	0.953	0.911	0.0009	0.874
8	0.211	0.0004	0	0.954	0.911	0.0007	0.875
9	0.206	0.0003	0.0009	0.954	0.912	0.0039	0.879
10	0.206	0.0013	0.0004	0.955	0.913	0.0218	0.900
11	0.205	0.032	0.0001	0.988	0.913	0.0003	0.901
12	0.205	0.0226	0.0002	1.010	0.913	0.0004	0.901

4.2.5.2 Control de la deriva de piso

Se sigue los mismos lineamientos que la vivienda sin disipadores la deriva debe ser inferior al 2%, cuyos resultados se muestran a continuación:

Tabla 4.20. *Control de Derivas en la dirección x, Estructura con disipadores*

PISO	ALTURA (m)	DERIVA ELASTICA (cm)	DERIVA INELASTICA %	LIMITE %	$\Delta M < 2\%$
3	10.5	0.00128	0.77	2	CUMPLE
2	7	0.00104	0.63	2	CUMPLE
1	3.5	0.00099	0.60	2	CUMPLE

Tabla 4.21. Control de Derivas en la dirección Y, Estructura con disipadores

PISO	ALTURA (m)	DERIVA ELASTICA (cm)	DERIVA INELASTICA %	LIMITE %	$\Delta M < 2\%$
3	10.5	0.0018	1.09	2	CUMPLE
2	7	0.0015	0.88	2	CUMPLE
1	3.5	0.0010	0.62	2	CUMPLE

4.3 COSTOS

Se analizará los costos de la edificación con y sin disipadores de energía, para lo cual se realizó un presupuesto con los siguientes rubros:

4.3.1 VIVIENDA SIN DISIPADORES DE ENERGIA

DENOMINACION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	TOTAL
PRELIMINARES				
Desbroce y limpieza	m2	212.09	1.96	415.70
Replanteo y nivelación	m2	212.09	0.20	42.42
Relleno de piedra bola	m3	87.00	15.07	1,311.09
Relleno compactado con material de sitio	m3	162.71	5.44	885.14
LOSA DE HORMIGON				
Losa con placa colaborante e= 0.76 mm	m2	488.16	34.82	16,997.73
ESTRUCTURA DE ACERO				
Acero perfilera fy= 2400 kg/cm2 (acero y varios)	Kg	61175.8	1.58	96,657.76
MAMPOSTERIA				
Mampostería ladrillo visto	m2	122.2	25.67	3,136.87
Mesones	m2	12	87.05	1,044.60
ENLUCIDO				
Enlucido con malla nervometal sobre estructura metálica	m2	151.2	17.19	2,599.13
PISOS				
Contrapiso de hormigón simple	m2	488.16	15.60	7,615.30

ESCALERAS				
Hormigón en gradas, incluye encofrado	m3	2.025	225.93	457.51
CARPINTERIA				
Puerta de madera incluye cerradura	m2	15	140.00	2,100.00
Pasamano metálico	m	12	63.46	761.52
IIINSTALACIONES SANITARIAS				
Suministro y colocación inodoro	U	3	83.81	251.43
Suministro y colocación lavabo	U	3	46.65	139.95
Dotación e instalación de fregaderos	U	3	133.18	399.54
Instalación tubería sanitaria PVC 2"	ml	131.32	3.04	399.21
Pozo de revisión de 60x60x60 con tapa	U	1	146.17	146.17
INSTALACIONES ELECTRICAS				
Suministro e instalación ducha eléctrica	m2	3	2.26	6.78
Suministro e instalación de breakers	U	3	6.71	20.13
Instalación interruptor simple	pto	3	16.36	49.08
Instalación eléctrica para tomacorriente	Pto	3	16.94	50.82
ACABADOS				
Pintura	m2	515.55	2.21	1,139.37
Pintura esmalte para perfiles estructura metálica	m2	70.64	2.20	155.41
Subtotal Costos Directos				136,782.65
Indirectos hasta el 20%				27,356.53
Subtotal Costos				164,139.19
Total Directos+ Indirectos				164,139.19

4.3.2 VIVIENDA CON DISIPADORES DE ENERGIA

DENOMINACION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	TOTAL
PRELIMINARES				
Desbroce y limpieza	m2	212.09	1.96	415.70
Replanteo y nivelación	m2	212.09	0.20	42.42
Relleno de piedra bola	m3	87.00	15.07	1,311.09
Relleno compactado con material de sitio	m3	162.71	5.44	885.14

LOSA DE HORMIGON				
Losa con placa colaborante e= 0.76 mm	m2	488.16	34.82	16,997.73
ESTRUCTURA DE ACERO				
Acero perfilera fy= 2400 kg/cm2 (acero y varios)	Kg	61175.8	1.58	96,657.76
DISIPADORES				
Diagonales	Kg	2838.2	1.58	4,484.36
Placas de disipadores	Kg	1440	18.50	26,640.00
MAMPOSTERIA				
Mampostería ladrillo visto	m2	122.2	25.67	3,136.87
Mesones	m2	12	87.05	1,044.60
ENLUCIDO				
Enlucido con malla nervometal sobre estructura metálica	m2	151.2	17.19	2,599.13
PISOS				
Contrapiso de hormigón simple	m2	488.16	15.60	7,615.30
ESCALERAS				
Hormigón en gradas, incluye encofrado	m3	2.025	225.93	457.51
CARPINTERIA				
Puerta de madera incluye cerradura	m2	15	140.00	2,100.00
Pasamano metálico	m	12	63.46	761.52
IIINSTALACIONES SANITARIAS				
Suministro y colocación inodoro	U	3	83.81	251.43
Suministro y colocación lavabo	U	3	46.65	139.95
Dotación e instalación de fregaderos	U	3	133.18	399.54
Instalación tubería sanitaria PVC 2"	ml	131.32	3.04	399.21
Pozo de revisión de 60x60x60 con tapa	U	1	146.17	146.17
INSTALACIONES ELECTRICAS				

Suministro e instalación ducha eléctrica	m2	3	2.26	6.78
Suministro e instalación de breakers	U	3	6.71	20.13
Instalación interruptor simple	pto	3	16.36	49.08
Instalación eléctrica para tomacorriente	Pto	3	16.94	50.82
ACABADOS				
Pintura	m2	515.55	2.21	1,139.37
Pintura esmalte para perfiles estructura metálica	m2	70.64	2.20	155.41
Subtotal Costos Directos	Subtotal Costos			167,907.01
Indirectos hasta el 20%	Total Directos+ Indirectos			33,581.40
				201,488.41

4.4 ANALISIS COMPARATIVO

Para realizar este análisis se compara la edificación con y sin disipadores, hallando porcentajes en relación la una con la otra, para ver cuanto varia la una con respecto a la otra en cuestión de varios parámetros como se muestra en las siguientes tablas:

- **Carga Sísmica Reactiva**

Tabla 4.22. Comparación de Carga Reactiva

CARGA SISMICA REACTIVA (kg)			
PISO	SIN	CON	VARIACION %
	DISIPADORES	DISIPADORES	
3	95501.12	96547.23	1.10
2	107544.36	108409.84	0.80
1	113628.89	113053.18	-0.51
Σ	316674.38	318010.25	0.42

- **Cortante Basal**

Tabla 4.23. Comparación de los Cortantes Estático y Dinámico

CORTANTE	SIN DISIPADORES		CON DISIPADORES		% VARIACION	
	X	Y	X	Y	X	Y
ESTATICO (Kg)	46212.86	46212.86	46515.84	46515.84	0.66	0.66
DINAMICO (Kg)	29785.27	26303.56	29830.74	26049.45	0.15	0.97

- **Derivas de Piso**

Tabla 4.24. Comparación de derivas en la dirección x

PISO	DERIVA INELASTICA %		LIMITE %	VARIACION %
	SIN DISIPADORES	CON DISIPADORES		
1	0.8454	0.769	2	9.08
2	0.931	0.625	2	32.86
3	0.698	0.598	2	14.35

Tabla 4.25. Comparación de derivas en la dirección y

PISO	DERIVA INELASTICA %		LIMITE %	VARIACION %
	SIN DISIPADORES	CON DISIPADORES		
1	1.6578	1.0884	2	34.35
2	1.5456	0.8772	2	43.25
3	0.8166	0.6240	2	23.59

- **Costos**

Tabla 4.26. Comparación de Costos

COSTOS		
SIN DISIPADORES	CON DISIPADORES	VARIACION %
164139.1855	201488.4127	22.8

CONCLUSIONES

Se pudo verificar que la vivienda multifamiliar de tres pisos diseñada bajo los parámetros de la Norma Ecuatoriana de la construcción y de la norma extranjera AISC frente a un sismo de gran magnitud no colapsara, pero presenta ciertos daños estructurales.

Las vigas y las columnas cumplen con los límites de deriva máxima en la vivienda con y sin disipadores de energía es decir no presentan falla por flexión las vigas y flexo comprensión las columnas ante la presencia del sismo.

Se dio una reducción en los desplazamientos laterales en la vivienda con disipadores de energía de un 19% aproximadamente en la dirección X y un 34% aproximado en la dirección Y a comparación de la vivienda sin disipadores. Ambas estructuras están dentro de los desplazamientos máximos establecidos.

Existe una diferencia moderada en cuestión de costos en materiales de un 23% aproximadamente sin incluir la mano de obra necesaria para instalar estos dispositivos con respecto a la estructura sin disipadores de energía.

El cortante basal en la estructura con disipadores ADAS disminuyó considerablemente debido a que posee un amortiguamiento extra en un 76% aproximadamente con respecto a la edificación sin disipadores

La colocación de los disipadores ADAS es fiable para una estructura de mucha altura puesto que ahí valdría la pena el costo que aumenta con estos, ya que en una vivienda de baja altura el costo que aumenta se podría decir que no es tan adimensional, pero en cuestiones de mano de obra significaría mucho.

Se pudo observar que al analizar la estructura sin disipadores y cumpliendo con lo establecido en la norma ecuatoriana de la construcción las derivas no son muy altas lo que nos hace pensar que si se cumpliera a cabalidad con lo especificado en los códigos de construcción de nuestro país no sería necesario incluir disipadores de Energía en una vivienda de baja altura.

Debido a que las derivas de la edificación con disipadores de energía están muy por debajo del 2% permitido, habría la posibilidad de disminuir las dimensiones de los miembros estructurales, con lo que tendríamos un ahorro en material, pero no equilibraría los costos con la edificación sin disipadores.

BIBLIOGRAFIA

- Aguiar, R. (2012). Dinámica de estructuras CEINCI-LAB. Centro de Investigaciones Científicas. Escuela Politécnica del Ejército, Capitulo, 5, 165.
- Aguiar, R. (2016). Análisis sísmico de Auditorio de UFA-ESPE con vigas San Andrés y Disipadores de Energía Shear Link Bozzo. *Ciencia*, 18(2). Recuperado de: <http://journal.espe.edu.ec/index.php/ciencia/article/view/190>
- Aguiar, R. (2016). Desarrollo de un programa en Excel para diseñar Placas Gusset. Aplicación a una estructura con Disipadores de Energía de UFA-ESPE. *Ciencia*, 18(3).
- Aguiar, R., Almazan, J. R., Dechent P., & Suarez V. (2008). Aisladores de Base Elastomericos y FPS. Ecuador. Recuperado de: <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/3005/1/L-ESPE-CEINCI-000007.pdf>
- Aguiar, R., Mora, D., & Rodríguez M. (2016). CEINCI-LAB un software libre para hallar la curva de capacidad sísmica de pórticos con disipadores ADAS o TADAS. *Revista ingeniería de construcción*, 31(1), 37-53.
- Aguiar, R., Mora, D., & Rodríguez, M. (2016). Análisis sísmico de estructuras con disipadores de energía ADAS o TADAS. Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería.
- AISC. (2010). *Prequalified Connections for Special and Intermediate Steel Moment Frames for Seismic Applications*. (AISC 358-10).
- AISC. (2010). *Seismic Provisions for Structural Steel Buildings*. (AISC 341-10).
- AISC. (2010). *Specification for Structural Steel Buildings*. (AISC 360 -10).
- Almansa, F. L., & Bozzo, L. M. *Aplicación del Control de Estructuras al Diseño Antisísmico*.
- Almansa, F. L., Medina, J. C., & Oller, S. (2014). Modelización numérica del comportamiento estructural cíclico de barras esbeltas de acero con pandeo restringido. *Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería*, 30(4), 229-237.

- Arancibia, F. (2012). Dispositivos de control activo de la Resistencia Sísmica. Chile. Recuperado de: <http://ingenieriasismicaylaconstruccioncivil.blogspot.com/2012/11/dispositivos-de-control-activo-de-la.html>
- ASCE. (2010). Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures (ASCE 7-10).
- Avilés, R. (2001). Dispositivos para el control de vibraciones (Tesis de grado). Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile.
- Barrios, O. F. (2005). Disipadores histeréticos de energía sísmica. Artículo de la Tesis de Magíster, Universidad de los Andes.
- Boza Farfán, Z. E., & Galán Tirapo, D. J. (2013). Diseño de un edificio aporticado con disipadores en arreglo Chevron. (Trabajo de grado). Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima, Perú
- Bozzo, L., & Ordóñez D. (2001). Disipadores mecánicos de energía. Revista Bit, marzo. Recuperado de: https://issuu.com/revista_bit/docs/bit85
- Cahís, X. (2000). Desarrollo de un nuevo disipador de energía para diseño sismorresistente. Análisis numérico y validación experimental de su comportamiento. (Tesis doctoral). Universidad Politécnica Cataluña, Barcelona, España.
- Cancelado, R. A. (2012). Caracterización mecánica y modelamiento estructural de un disipador pasivo de energía de tipo arriostamiento de pandeo restringido. parte 1 (Tesis de maestría). Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.
- Chiriboga López, E. E. (2013). Aislación sísmica del edificio bloque de hospitalización, Análisis comparativo de comportamiento y costos con un edificio tradicional. (Trabajo de grado). Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador. Recuperado de: <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/2245>
- Colunga, A. T., & Hernández, H. D. J. N. (2013). Diseño sísmico de marcos no dúctiles de concreto reforzado con disipadores de energía histeréticos: Definición de

- parámetros de diseño. *Revista Internacional de Desastres Naturales, Accidentes e Infraestructura Civil*, 13(2).
- Colunga, A. T., Soberón, C. G., & Ortega, E. V. (1993). Evaluación sísmica de dos edificios de concreto reforzado reestructurados con dispositivos disipadores de energía tipo ADAS.
- Costa Castro, A. V. (2007). Análisis sísmico de estructuras con disipadores de energía viscoelásticos usando espectros y acelerogramas. (Tesis de grado). Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Sangolquí, Ecuador. Recuperado de: <http://repositorio.espe.edu.ec/jspui/handle/21000/1564>
- Crisafulli, F., & Palazzo, G. (2004). Evaluación de la Eficiencia de Disipadores por Fluencia usados para la Rehabilitación de Pórticos. Memorias de las XVIII Jornadas Argentinas de Ingeniería Estructural, Buenos Aires, Argentina. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/267421220_EVALUACION_DE_LA_EFICIENCIA_DE_DISIPADORES_POR_FLUENCIA_USADOS_PARA_LA_REHABILITACION_DE_PORTICOS
- Cutimbo Choque, W. (2016). Ingeniería Sismorresistente. Perú. Recuperado de: <https://es.scribd.com/document/325270711/INGENIERIA-SISMORRESISTENTE-2016>
- De la Llera, J. C., Esguerra, C., & Almazán, J. L. (2004). c. *Earthquake engineering & structural dynamics*, 33(3), 329-358.
- De la Rosa Toro, A. J. (1999). Disipadores de energía en muros de albañilería. Universidad Nacional de Ingeniería. Perú. Recuperado de: <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/840>
- Gatica Lagos, V. (2012). Respuesta Sísmica de un edificio de Estructura Metálica con Aisladores. Alternativas de diseño. (Tesis de maestría). Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España.
- Gómez, D., Marulanda, J., & Thomson, P. (2008). Sistemas de control para la protección de estructuras civiles sometidas a cargas dinámicas. *Dyna*, 75(155),

77-89. Recuperado de: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/view/1742>

Heresi Venegas, P. (2012). Comportamiento de placas de CuZnAl para disipadores tipo ADAS. (Tesis de maestría). Universidad de Chile, Santiago de Chile, Chile.

Histeréticos, D. D. E., & Lacayo, V. D. J. A. Universidad Rafael Landívar.

IBC. (2009). International Building Code.

Mayorga Vela, C. A. Caracterización mecánica y modelamiento estructural de un disipador pasivo de energía de tipo arriostramiento de pandeo restringido. Parte 2 (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de Colombia).

McCORMAC, J. (2013). Diseño de estructuras de acero. Mexico: Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V.

METALCO, S.A. (1952). METALCO. Costa Rica. Recuperado de: <http://www.metalco.net/>

MIDUVI. (2015). Norma Ecuatoriana de la Construcción - NEC-SE-CG: Cargas (no sísmicas). Ecuador. Recuperado de: <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/08/NEC-SE-CG.pdf>

MIDUVI. (2015). Norma Ecuatoriana de la Construcción - NEC-SE-DS: Cargas Sísmicas: Diseño Sismo Resistente. Ecuador. Recuperado de: <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/08/NEC-SE-DS.pdf>

MIDUVI. (2016). Guía práctica para el diseño de Estructuras de Acero. Ecuador. Recuperado de: <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/10/GUIA-3-ACERO.pdf>

NTCEM. (2004). Norma Mexicana de Diseño y Construcción de Estructuras Metálicas (NTCEM -04).

Oller, S., & Salomón, O. (2000). Modelo numérico de elastómeros multi-fase y su aplicación al análisis de estructuras con aislamiento sísmico. España,

Recuperado de: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/21170/438017.pdf>

- Oviedo J. A., & Duque, M. D. P. (2009). Disipadores histeréticos metálicos como técnica de control de respuesta sísmica en edificaciones colombianas. *Revista EIA*, (11), 51-63.
- Oviedo Sarmiento, R., & Villarreal Castro, G. (2009). Edificaciones con Disipadores de Energía. Perú. Recuperado de: <https://es.slideshare.net/galvanilego/edificacin-con-disipadores-de-energa-dr-genner-villarreal-c-msc-ricardo-oviedo-s>
- Oviedo, R., & Villarreal, G. (2009). Edificaciones con Dispositivos Pasivos de disipación de Energía. Trujillo, Perú: Editora & Imprenta Grafica Norte S.R.L.
- Peldoza, E. 2002. Análisis computacional no lineal de estructuras de acero, incorporando aisladores sísmicos de comportamiento lineal y no lineal en su base. (Tesis de grado). Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile.
- Segovia, J. C. (2016). Diseño de Disipadores de Energía Metálicos para una edificación de baja altura de Concreto Armado (tesis de maestría). Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú. *Tesis*. Recuperado a partir de: <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/123456789/7120>
- Segui, W. T. (1999). Diseño de Estructuras de Acero con LRFD (2da ed.). Estados Unidos: International Thomson Editores.
- Symans, M. D., Charney, F. A., Whittaker, A. S., Constantinou, M. C., Kircher, C. A., Johnson, M. W., & McNamara, R. J. (2008). Energy dissipation systems for seismic applications: current practice and recent developments. *Journal of structural engineering*, 134(1), 3-21.
- Tena Colunga, A. (1993). Determinación analítica de la rigidez de los dispositivos tipo ADAS. In *Memorias, X Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica*, Puerto Vallarta, Jalisco, octubre (pp. 811-817).
- Topon, R. (2014). Reforzamiento de estructuras con disipadores de energía y reforzamiento clásico aplicado a una estructura de la Escuela Sucre (Trabajo de grado). Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Sangolquí,

Ecuador. Recuperado de: <http://repositorio.espe.edu.ec/jspui/handle/21000/7986>

- Vidal, M. A. (2008). Análisis y Diseño de Estructuras con Disipadores de Energía Metálicos en base a criterios de Desempeño (tesis de grado). Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile. *Tesis*. Recuperado a partir de: <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2008/bmfciv648a/doc/bmfciv648a.pdf>
- Villavicencio Astudillo, D. R., & Zúñiga Galarza, P. H. (2016). Diseño y análisis desempeño de una estructura de acero con disipadores histeréticos metálicos (tesis de grado). Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador. *Tesis*. Recuperado a partir de: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/25957>
- Whittaker, A. S., Bertero, V., Alonso, J., and Thompson C. (1989). Earthquake Simulator Testing of Steel Plate Added Damping and Stiffness Elements. Report No. EERC-89/02, Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley, California.
- Zabala, F., Bustos, J., Masanet, A., & Santalucía, J. (2003). Desarrollo de Disipadores de Fluencia de Metales y su Aplicación a Sistemas Pasivos de Protección Sísmica. Memorias del 6º Encuentro de Investigadores y Profesionales Argentinos de la Construcción, Mendoza.