



UNIVERSIDAD JOSÉ CARLOS MARIÁTEGUI

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y
ARQUITECTURA**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

**AISLADORES Y DISIPADORES SÍSMICOS EN EDIFICACIONES
DE CONCRETO ARMADO**

PRESENTADO POR

BACHILLER KAREN LILIANA SANTOS ZEBALLOS

ASESOR

ING. RENÉ HERADIO FLORES PAURO

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE

INGENIERO CIVIL

MOQUEGUA- PERÚ

2017

CONTENIDO

PORTADA	
Página de jurado	i
Dedicatoria.....	ii
Agradecimientos.....	iii
Contenido.....	iv
Índice de tablas.....	viii
Índice de figuras.....	ix
RESUMEN.....	xii
ABSTRACT.....	xiii

CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO II OBJETIVOS

2.1. Objetivo general.....	3
2.2. Objetivos específicos	3

CAPÍTULO III DESARROLLO DEL TEMA

3.1. Marco teórico.....	4
3.1.1. Marco teórico de aisladores sísmicos.....	5
3.1.1.1. Definición de aislador sísmico	5
3.1.1.2. Tipos de aisladores sísmicos.....	7
A. Aisladores elastoméricos	7
1) Aisladores elastoméricos de bajo amortiguamiento (LDRB).....	8
2) Aisladores elastoméricos con núcleo de plomo (LRB)	9
3) Aisladores (HDRB).....	10
B. Aisladores deslizantes.....	11
1) Apoyos deslizantes planos	11
2) Péndulos friccionales	12

3.1.1.3. Estructuras candidatas para ser aisladas.....	13
3.1.1.4. Ejemplos y aplicaciones.....	14
3.1.2. Marco teórico de disipadores de energía.....	16
3.1.2.1. Definición de disipador de energía.....	16
3.1.2.2. Clasificación de los disipadores de energía.....	17
A. Disipadores activados por desplazamientos.....	17
1) Disipadores metálicos.....	18
2) Disipadores friccionales.....	18
3) Disipadores de extrusión de materiales.....	20
4) Disipadores autocentrantes.....	20
B. Disipadores activados por velocidad.....	21
1) Dispositivos fluido-viscosos.....	21
2) Muros viscosos.....	23
C. Disipadores activados por desplazamiento y velocidad.....	24
1) Dispositivos viscoelásticos sólidos.....	24
D. Dispositivos activados por movimiento.....	25
3.1.2.3. Aspectos arquitectónicos.....	26
3.1.2.4. Beneficios de uso.....	27
3.1.2.5. Ejemplos y aplicaciones.....	27
3.2. Caso práctico.....	29
3.2.1. Descripción y estructuración del proyecto.....	29
3.2.1.1. Generalidades de la edificación.....	29
3.2.1.2. Descripción del edificio.....	29
3.2.2. Dimensionamiento de elementos estructurales.....	32
3.2.3. Cargas de diseño.....	32
3.2.3.1. Carga muerta.....	33
3.2.3.2. Carga viva.....	34
3.2.3.3. Carga sísmica.....	35
➤ Coeficiente de reducción sísmica.....	36
➤ Factor de amplificación sísmica (C).....	36
➤ Aceleración espectral de diseño sísmico.....	36
3.2.3.4. Participación de la masa.....	39

3.2.4. Verificaciones reglamentarias.....	40
3.2.4.1. Fuerza basal mínima para el análisis sísmico.....	40
3.2.4.2. Revisión de los desplazamientos máximos.....	40
3.2.4.3. Participación modal.....	41
3.2.4.4. Estados de cargas.....	41
3.2.4.5. Combinaciones de diseño.....	42
3.2.5. Procedimiento del análisis sísmico y estructural.....	43
3.2.6. Análisis dinámico con sistema aporticado.....	44
3.2.6.1. Modelamiento estructural.....	44
3.2.6.2. Factor de escala sísmica estática.....	45
3.2.6.3. Aceleración espectral de diseño.....	46
3.2.6.4. Centros de masa y rigidez.....	46
3.2.6.5. Peso total de la estructura.....	48
3.2.6.6. Fuerzas cortantes sísmicas estáticas y dinámicas.....	49
3.2.6.7. Factores de escalonamiento.....	51
3.2.6.8. Fuerzas inerciales de entrepiso.....	53
3.2.6.9. Rigidez elástica de entrepiso.....	54
3.2.6.10. Desplazamientos y distorsiones angulares permisibles de entrepisos.....	56
3.2.6.11. Modos de vibración.....	59
3.2.7. Diseño de los dispositivos pasivos de disipación de energía.....	60
3.2.7.1. Cálculos para disipadores visco elásticos sólidos.....	60
3.2.7.2. Modelamiento estructural (Etabs v.13).....	64
3.2.7.3. Análisis dinámico con dispositivos visco elásticos sólidos.....	68
a) Factor de escala sísmica estática.....	68
b) Aceleración espectral de diseño.....	68
c) Centros de masa y rigidez.....	68
d) Peso total de la estructura.....	68
e) Fuerzas cortantes sísmicas estáticas y dinámicas.....	68
f) Fuerzas inerciales de entrepiso.....	70
g) Rigidez elástica de entrepiso.....	72
h) Desplazamientos máximos permisibles.....	73

i) Modos de vibración.....	77
3.3. Resultados y discusión.....	78
3.3.1. Análisis de aceptabilidad de resultados.....	78
3.3.2. Estructura con disipador vs estructura sin disipador.....	78
3.3.2.1. Fuerzas cortantes sísmicas dinámicas.....	78
3.3.2.2. Distorsiones elásticas de entrepiso.....	80
3.3.2.3. Modos principales de vibración.....	82

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones.....	84
4.2. Recomendaciones.....	85
 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	 87
APÉNDICES.....	90
AUTORIZACIÓN PARA PUBLICACIÓN.....	91

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Centros de masa (XCCM, YCCM) y rigidez (XCR, YCR).....	46
Tabla 2. Peso sísmico de la edificación considerando 100 % CM + 50 % CV.....	48
Tabla 3. Cortante sísmico estático acumulado de cada entrepiso	49
Tabla 4. Cortante sísmico dinámico acumulado de cada entrepiso.....	50
Tabla 5. Fuerzas inerciales de cada entrepiso para la dirección DINXX amplificado.....	53
Tabla 6. Fuerzas inerciales de cada entrepiso para la dirección DINYY amplificado.....	54
Tabla 7. Rigidez elástica de cada entrepiso para la dirección X.....	55
Tabla 8. Rigidez elástica de cada entrepiso para la dirección Y.....	55
Tabla 9. Distorsión angular elástica para la dirección XX	57
Tabla 10. Distorsión angular elástica para la dirección YY.....	57
Tabla 11. Distorsión angular inelástica reglamentaria para la dirección XX.....	58
Tabla 12. Distorsión angular inelástica reglamentaria para la dirección YY.....	59
Tabla 13. Resultados del análisis modal de la edificación	60
Tabla 14. Cortante sísmico dinámico acumulado de cada entrepiso.....	69
Tabla 15. Fuerzas inerciales de cada entrepiso para la dirección DINXX.....	70
Tabla 16. Fuerzas inerciales de cada entrepiso para la dirección DINYY.....	71
Tabla 17. Rigidez elástica de cada entrepiso para la dirección X	72
Tabla 18. Rigidez elástica de cada entrepiso para la dirección Y.....	73
Tabla 19. Distorsión angular elástica para la dirección XX.....	74
Tabla 20. Distorsión angular elástica para la dirección YY.....	74
Tabla 21. Control de distorsiones angulares de entrepiso en XX.....	75
Tabla 22. Control de distorsiones angulares de entrepiso en YY.....	75
Tabla 23. Resultados del análisis modal de la edificación.....	77
Tabla 24. Cortante sísmico dinámico de cada entrepiso en la dirección X.....	78
Tabla 25. Cortante sísmico dinámico de cada entrepiso en la dirección Y.....	79
Tabla 26. Distorsiones angulares elásticas de entrepiso en la dirección X	80
Tabla 27. Distorsiones angulares elásticas de entrepiso en la dirección Y.....	81
Tabla 28. Resultados del análisis modal de la edificación.....	83

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.</i> Clasificación de sistemas de protección sísmica pasivos.....	5
<i>Figura 2.</i> Comparación entre un edificio sin aislación y uno con aislación.....	6
<i>Figura 3.</i> Aislador tipo LDRB.....	8
<i>Figura 4.</i> Aislador tipo LRB.....	9
<i>Figura 5.</i> Componentes de un aislador tipo LRB.....	10
<i>Figura 6.</i> Aislador de goma de alto amortiguamiento.....	11
<i>Figura 7.</i> Apoyo deslizante plano.....	12
<i>Figura 8.</i> Péndulo friccional.....	13
<i>Figura 9.</i> Aplicación aislador elastomérico. Edificio San Agustín (Chile).....	14
<i>Figura 10.</i> Aisladores elastoméricos. San Francisco City Hall (EEUU).....	14
<i>Figura 11.</i> Aislador elastomérico. Puente Golden Gate, (EEUU).....	15
<i>Figura 12.</i> Primer edificio con aislador sísmico UNI (PERÚ).....	15
<i>Figura 13.</i> Comparación de edificio sin disipadores y edificio con disipadores de energía.....	16
<i>Figura 14.</i> Disipador metálico tipo ADAS	18
<i>Figura 15.</i> Conexión tipo SBC (Slotted Bolted Connection).....	19
<i>Figura 16.</i> Esquema disipador de energía tipo Pall.....	19
<i>Figura 17.</i> Disipador de extrusión de plomo.....	20
<i>Figura 18.</i> Ubicación del disipador de extrusión de plomo.....	20
<i>Figura 19.</i> Biela autocentrante.....	21
<i>Figura 20.</i> Disipador de fluido-viscoso.....	22
<i>Figura 21.</i> Funcionamiento de un disipador de fluido viscoso.....	22
<i>Figura 22.</i> Disipador muro viscoso.....	23
<i>Figura 23.</i> Colocación de un disipador muro viscoso.....	23
<i>Figura 24.</i> Disipador sólido viscoelástico	24
<i>Figura 25.</i> Amortiguador de masa sintonizada.....	25
<i>Figura 26.</i> Ubicación de Amortiguador de masa.....	26
<i>Figura 27.</i> Rehabilitación de la torre del Aeropuerto Internacional Jorge Chávez	27
<i>Figura 28.</i> Aplicación disipador metálico en apoyo de puente.....	28

<i>Figura 29.</i> Aplicación amortiguador viscoso en apoyo de puente.....	28
<i>Figura 30.</i> Arquitectura del 1er nivel – bloque proyectado.....	30
<i>Figura 31</i> Arquitectura de 2do nivel – bloque proyectado.....	31
<i>Figura 32.</i> Arquitectura del 3er nivel – bloque proyectado.....	31
<i>Figura 33.</i> Arquitectura del 4to nivel – bloque proyectado.....	32
<i>Figura 34.</i> Definición del C°A° en Etabs V.13.....	34
<i>Figura 35.</i> Definición de losa en Etabs V.13.....	35
<i>Figura 36.</i> Ejemplo de definición de espectro.....	37
<i>Figura 37.</i> Definición de CM, CV, SX y SY en Etabs V.13.....	38
<i>Figura 38.</i> Definición de DINXX y DINYY en Etabs V.13.....	39
<i>Figura 39.</i> Participación de masas en Etabs V.13	39
<i>Figura 40.</i> Definición de DESPXX en Etabs V.13.....	40
<i>Figura 41.</i> Definición de DESPY Y en Etabs V.13.....	41
<i>Figura 42.</i> Definición de PESO en Etabs V.13.....	42
<i>Figura 43.</i> Combinaciones de diseño en Etabs V.13.....	43
<i>Figura 44.</i> Modelamiento del Sistema aporticado en Etabs V.13	44
<i>Figura 45.</i> Factor de escala estático de XX en Etabs V.13.....	45
<i>Figura 46.</i> Factor de escala estático de YY en Etabs V.13.....	45
<i>Figura 47.</i> Espectro de diseño insertado en Etabs V.13.....	46
<i>Figura 48.</i> Centros de masa y rigidez vs altura.....	47
<i>Figura 49.</i> Excentricidades vs altura.....	47
<i>Figura 50.</i> Pesos sísmicos vs altura.....	48
<i>Figura 51.</i> Cortante estático (SX, SY) vs altura.....	50
<i>Figura 52.</i> Cortante dinámico (DINXX, DINYY) vs altura.....	51
<i>Figura 53.</i> Factores de amplificación dinámica.....	51
<i>Figura 54.</i> Amplificación dinámica XX en Etabs V.13.....	52
<i>Figura 55.</i> Amplificación dinámica YY en Etabs V.13.....	52
<i>Figura 56.</i> Fuerzas inerciales dirección YY amplificado	53
<i>Figura 57.</i> Fuerzas inerciales dirección YY amplificado	54
<i>Figura 58.</i> Gráfica de rigidez elástica vs altura en la dirección XX.....	55
<i>Figura 59.</i> Gráfica de rigidez elástica vs altura en la dirección YY.....	56
<i>Figura 60.</i> Distorsión angular elástica XX vs distorsión angular reglamentaria.....	58

<i>Figura 61.</i> Distorsión angular elástica YY vs distorsión angular reglamentaria	59
<i>Figura 62.</i> Definición de DISIPADOR 1 del 1er nivel en Etabs V13	64
<i>Figura 63.</i> Propiedades de DISIPADOR 1 del 1er nivel en Etabs V13	65
<i>Figura 64.</i> Propiedades de DISIPADOR 2 del 2do, 3er y 4to nivel	65
<i>Figura 65.</i> Ubicación de las diagonales en todos los niveles	66
<i>Figura 66.</i> Ubicación de los disipadores en todos los niveles	66
<i>Figura 67.</i> Vista en planta de los disipadores del 1er nivel en Etabs V13	67
<i>Figura 68.</i> Vista en planta de los disipadores del 2do, 3er y 4to nivel	67
<i>Figura 69.</i> Cortante dinámico (DINXX, DINYY) vs altura	69
<i>Figura 70.</i> Fuerzas inerciales DINXX	70
<i>Figura 71.</i> Fuerzas inerciales DINYY	71
<i>Figura 72.</i> Gráfica de rigidez elástica vs altura en la dirección XX	72
<i>Figura 73.</i> Gráfica de rigidez elástica vs altura en la dirección YY	73
<i>Figura 74.</i> Distorsión angular elástica XX vs distorsión angular reglamentaria	76
<i>Figura 75.</i> Distorsión angular elástica YY vs distorsión angular reglamentaria	76
<i>Figura 76.</i> Cortante sin disipador vs cortante con disipador en X	79
<i>Figura 77.</i> Cortante sin disipador vs cortante con disipador en Y	80
<i>Figura 78.</i> Distorsiones elásticas sin disipador vs distorsiones elásticas con disipador en X	81
<i>Figura 79.</i> Distorsiones elásticas sin disipador vs distorsiones elásticas con disipador en Y	82
<i>Figura 80.</i> Reducción de modos de vibración	83

RESUMEN

La presente investigación muestra las características de los sistemas de protección sísmica, que se colocan en los edificios con el fin de disminuir los daños. Los sistemas de disipación de energía liberan la energía sísmica de entrada en forma de amortiguamiento, mientras que los sistemas de aislamiento sísmico permiten disminuir la energía sísmica de entrada. Se escogió una estructura del tipo Esencial (aportificada) de 4 niveles; con 368,33 m² de área techada por nivel, cuya deriva superaba el límite permitido por la norma NTE E.030 (7 ‰). Para cumplir conformemente con este límite se incluyó un sistema de protección sísmica de disipadores viscoelásticos sólidos. El objetivo principal de este estudio es evaluar y comparar los resultados obtenidos de la comparación de la estructura sin disipadores y con disipadores. Utilizando el programa de análisis estructural ETABS V13. Los resultados del presente trabajo indican que el sistema diseñado permitirá reducir las fuerzas actuantes en el edificio, distorsiones elásticas así como los periodos de los modos de vibración de los entrepisos. Por último se exponen las conclusiones y las recomendaciones de los resultados obtenidos con y sin disipadores de energía.

Palabras clave: aisladores sísmicos, disipadores de energía, fuerzas cortantes, distorsiones angulares, modos de vibración, sismos, edificaciones, rigidez.

ABSTRACT

The present investigation shows the characteristics of seismic protection systems, which are placed in buildings in order to reduce damage. The energy dissipation systems release incoming seismic energy in the form of damping, while the seismic isolation systems allow to reduce the incoming seismic energy. A structure of the type Esencial (contributed) of 4 levels was chosen; with 368.33 m² of roofed area per level, whose drift exceeded the limit allowed by the NTE E.030 standard (7 ‰). To comply with this limit, a seismic protection system for solid viscoelastic dissipaters was included. The main objective of this study is to evaluate and compare the results obtained from the comparison of the structure without dissipaters and with dissipaters. Using the ETABS V13 structural analysis program. The results of the present work indicate that the designed system will allow to reduce the acting forces in the building, elastic distortions as well as the periods of the vibration modes of the mezzanines. Finally, the conclusions and recommendations of the results obtained with and without energy dissipaters are presented.

Keywords: seismic isolators, energy dissipation, shear forces, angular distortions, vibration modes, earthquakes, buildings, rigidity.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Actualmente, los movimientos sísmicos son los fenómenos naturales más usuales y responsables del mayor daño en las estructuras. Por lo que se inició una mayor investigación y estudio de alternativas que permitan reducir su impacto y sus efectos a las estructuras.

Siendo así los sistemas de protección sísmica una buena opción ante tal preocupación, los dispositivos más utilizados en el extranjero y que están ingresando a nuestro país son los aisladores sísmicos y los disipadores de energía. Utilizar estas tecnologías será necesario para proyectar una cultura de prevención sísmica que debe insertarse en los inversionistas y empresarios del sector construcción.

Según reconocidos ingenieros consideran que la utilización de estos dispositivos sísmicos es una inversión altamente rentable, ya que ofrecen mayor seguridad a la estructura y sus contenidos de posibles daños, pero sobretodo protegerán la vida de las personas que lo habitan.

Estos sistemas de protección sísmica se clasifican en tres categorías: Sistemas activos, sistemas semi-activos y sistemas pasivos, siendo los sistemas pasivos los más utilizados.

En el Perú ya se cuenta con una cantidad considerable de edificaciones proyectadas o reforzadas con estos sistemas modernos de protección sísmica, siendo la primera experiencia el reforzamiento de la torre de vuelos internacionales del Aeropuerto Nacional Jorge Chávez en el que se emplearon disipadores de Fluido Viscoso.

El presente trabajo se concentra fundamentalmente en los sistemas pasivos de protección sísmica, considerando un ejemplo aplicativo que consiste en el análisis sísmico a una edificación del tipo Esencial usando disipadores viscoelásticos sólidos.

CAPÍTULO II

OBJETIVOS

2.1. Objetivo General

- Mostrar un ejemplo aplicativo de un análisis sísmico a una edificación del tipo Esencial, implementada con disipadores viscoelásticos sólidos.

2.2. Objetivos Específicos

- Calcular las fuerzas cortantes acumuladas de cada entrepiso de la edificación, sometida a un análisis dinámico modal espectral.
- Calcular las distorsiones angulares elásticas de cada entrepiso, que se genera en la edificación como resultado de un análisis sísmico dinámico modal espectral.
- Determinar el periodo que corresponda al Modo de mayor participación de masa en la edificación.

CAPÍTULO III

DESARROLLO DEL TEMA

3.1. Marco teórico

Los aisladores sísmicos de base y los disipadores de energía pertenecen a la categoría de los sistemas pasivos, los cuales son los más empleados en la actualidad en comparación a los sistemas activos y semi-activos, es por ello que serán tratados con mayor detalle en los próximos subcapítulos (Cámara Chilena de la Construcción, 2011).

En la *Figura 1* se muestra la clasificación de sistemas de protección sísmica pasivos.

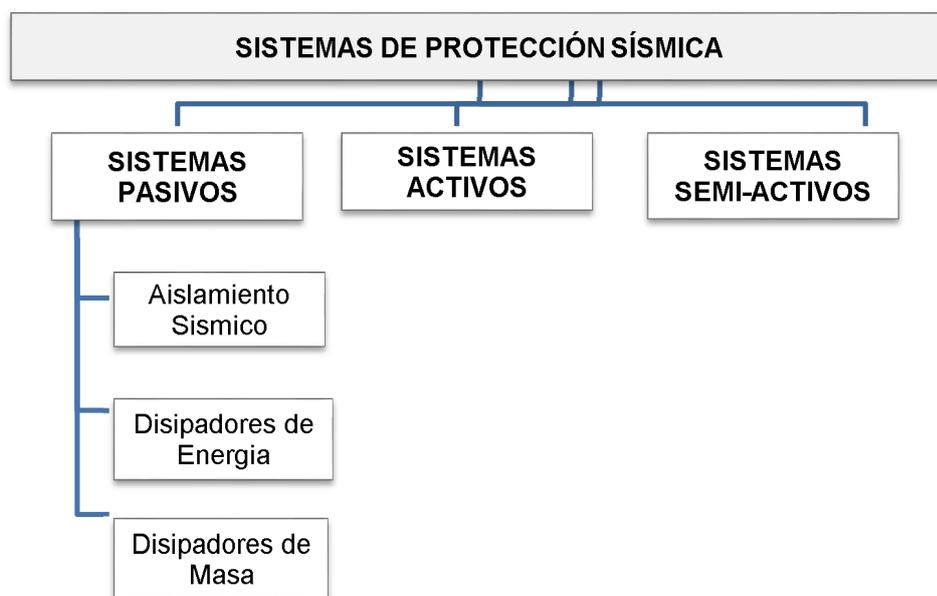


Figura 1. Clasificación de sistemas de protección sísmica pasivos

Fuente: Elaboración propia

3.1.1. Marco teórico de aisladores sísmicos

3.1.1.1. Definición de aislador sísmico

Los aisladores son dispositivos lateralmente flexibles, así mismo son capaces de resistir las cargas verticales de la estructura. Debido a que los aisladores son más flexibles que la estructura, la mayor parte de los movimientos laterales se producen en ellos. Como consecuencia, la estructura aislada percibe menos movimiento y una notable disminución de las fuerzas sísmicas (Eriksen, 2007).

Estos dispositivos protegen las estructuras contra los resultados destructivos de un terremoto, separando la estructura del suelo y aportándole amortiguamiento. Esta división permite que la estructura actúe con mayor flexibilidad, permitiendo mejorar su respuesta ante un

terremoto. El amortiguamiento adicional permite que la energía del terremoto sea captada por el sistema de aislamiento, disminuyendo la energía transmitida al edificio (Eriksen, 2007).

En la *Figura 2* se puede observar la comparación entre un edificio sin aislación y uno con aislación.

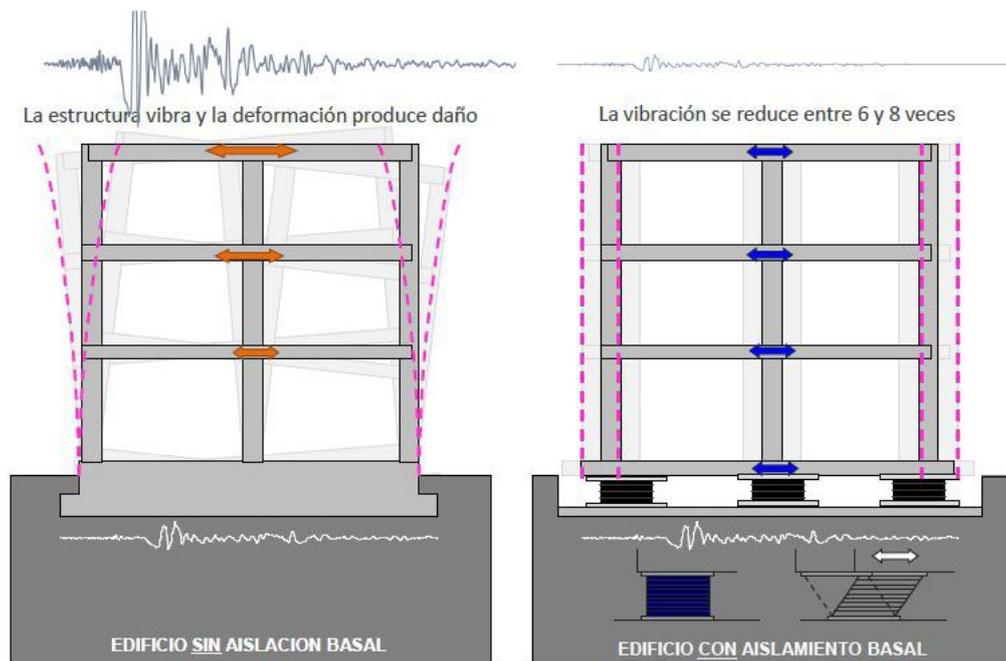


Figura 2. Comparación entre un edificio sin aislación y uno con aislación

Fuente: Carranza, S. F.

Estos dispositivos son usados preferentemente en edificios, estructuras o instalaciones de baja altura (usualmente menos de 15 pisos). Disminuyen el impacto de un terremoto entre un 70 % a un 90 % (Kaffman, 2013).

Comúnmente son diseñados para una vida útil mínima de 50 años. Esta condición debe ser requerida por el diseñador en las

especificaciones técnicas de los dispositivos, y avalada por el fabricante (Cámara Chilena de la Construcción, 2011).

Los objetivos principales son dos:

- a) Aumentar la seguridad sísmica de la estructura, así como el de las personas, por medio de la disminución o eliminación de los daños en ella.
- b) Preservar los contenidos de la estructura y así mismo mantener su funcionamiento después del sismo (Saavedra, 2005).

3.1.1.2. Tipos de aisladores sísmicos

Los aisladores sísmicos más usados en la actualidad son los aisladores elastoméricos de alto amortiguamiento y los deslizantes o friccionales.

A continuación se menciona de manera breve las características generales de estos sistemas de aislación sísmica (Cámara Chilena de la Construcción, 2011).

A. Aisladores elastoméricos

Los aisladores elastoméricos están compuestos por un grupo de láminas planas de elastómeros combinadas con capas de acero. A través de esta composición se logra la flexibilidad lateral necesaria para proporcionar el desplazamiento horizontal relativo entre la estructura aislada y el suelo (Cámara Chilena de la Construcción, 2011).

Los tipos de aisladores elastoméricos son los siguientes: aisladores de goma de bajo amortiguamiento (LDRB, Low-Damping Rubber Bearing) y de alto amortiguamiento (HDRB, High-Damping Rubber Bearing), y los aisladores de goma con núcleo de plomo (LRB, Lead-plug Rubber Bearing) (Cámara Chilena de la Construcción, 2011).

1) Aisladores elastoméricos de bajo amortiguamiento (LDRB)

Son los aisladores más simples de los aisladores elastoméricos. Los cuales tienen un bajo amortiguamiento, por lo que comúnmente se usan en conjunto con disipadores de energía que proporcionan amortiguamiento adicional al sistema. Tienen la ventaja de ser fáciles de fabricar. La *Figura 3* muestra un aislador elastomérico tipo LDRB (Cámara Chilena de la Construcción, 2011).

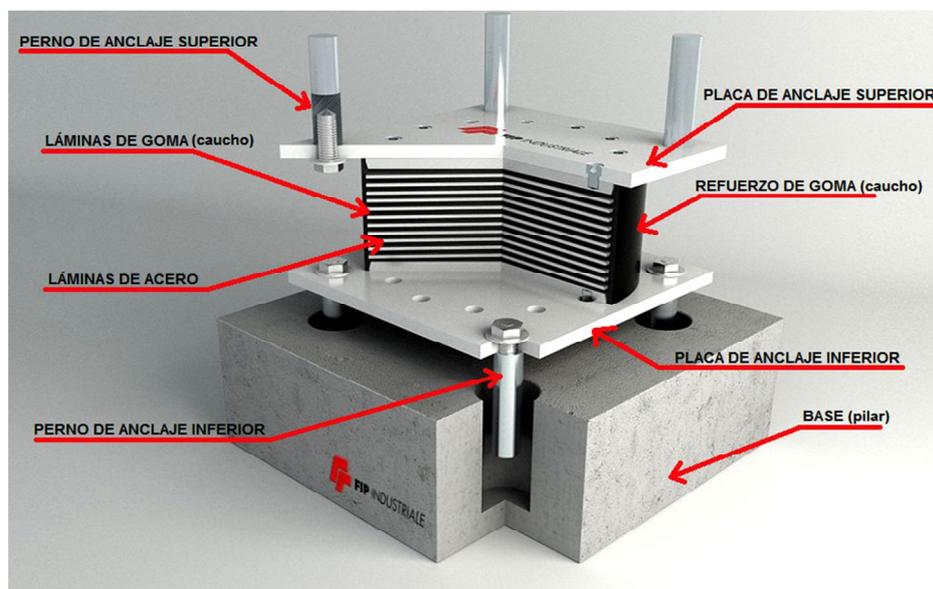


Figura 3. Aislador tipo LDRB

Fuente: Cámara Chilena de la Construcción, 2011

2) Aisladores elastoméricos con núcleo de plomo (LRB)

Los aisladores elastoméricos con núcleo de plomo (LRB) son aisladores parecidos a los LDRB, con la diferencia de que tienen un núcleo de plomo, ubicado en el medio del aislador, el cual posibilita incrementar el amortiguamiento del sistema.

Durante el movimiento de un sismo el núcleo de plomo de estos aisladores fluye, disipando energía en forma de calor. Finalizado el movimiento sísmico, la goma del aislador regresa a la estructura a su posición inicial, mientras el núcleo de plomo se recristaliza. Quedando listo el sistema ante un nuevo evento sísmico (Cámara Chilena de la Construcción, 2011).

En las *Figuras 4 y 5* se muestra un aislador LRB y sus componentes respectivamente.

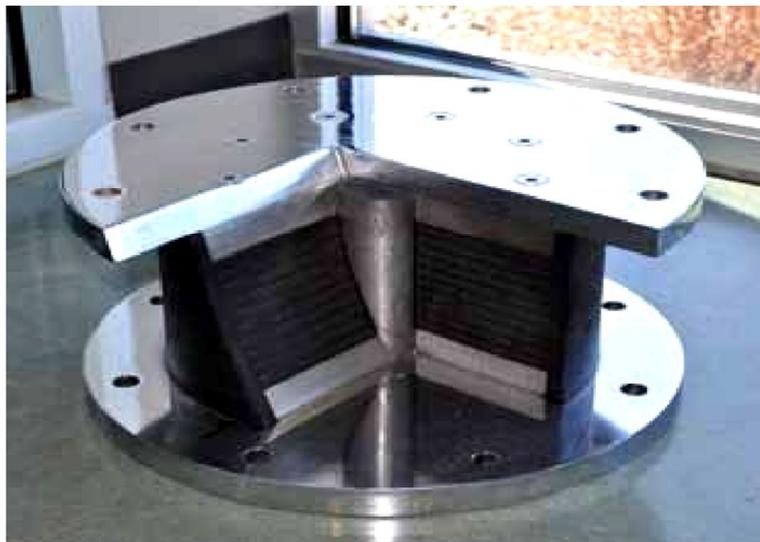


Figura 4. Aislador tipo LRB

Fuente: Cámara Chilena de la Construcción, 2011

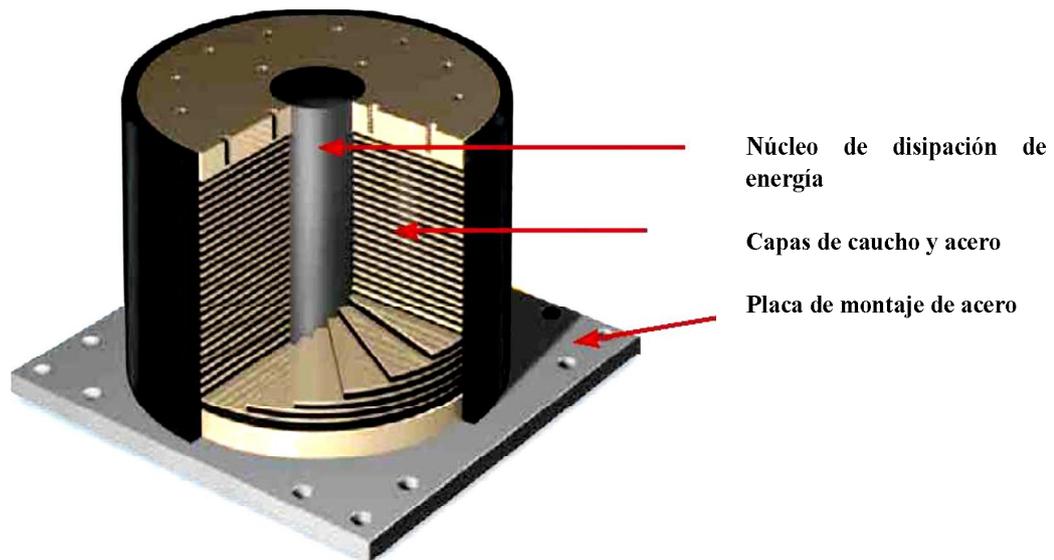


Figura 5. Componentes de un aislador tipo LRB

Fuente: Eriksen, 2007

3) Aisladores elastoméricos de alto amortiguamiento (HDRB)

Las láminas de elastómeros que componen a estos aisladores son elaborados sumando componentes como carbón, aceites y resinas, con el propósito de incrementar el amortiguamiento de la goma.

Similar a los aisladores tipo LRB, estos dispositivos combinan la flexibilidad y disipación de energía. Tienen la característica de ser de fácil fabricación (Cámara Chilena de la Construcción, 2011).

La *Figura 6* muestra las partes de un aislador de goma de alto amortiguamiento.

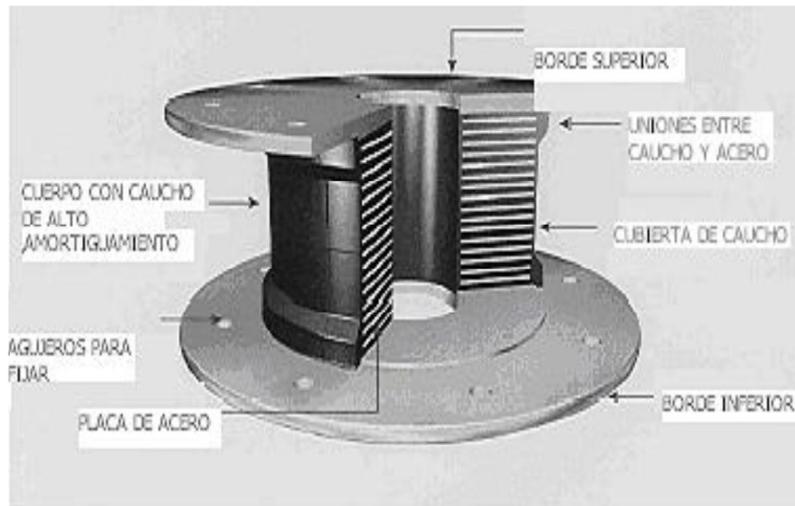


Figura 6. Aislador de goma de alto amortiguamiento

Fuente: Carranza, S. F.

B. Aisladores deslizantes

También llamados deslizadores friccionales emplean una superficie de deslizamiento de acero inoxidable, sobre la cual se desliza una placa de acero revestida de Politetra Fluoro Etileno (PTFE), sosteniendo la estructura. La superficie de deslizamiento proporciona el movimiento horizontal de la estructura de forma aislada al suelo.

Estos aisladores disipan energía a través de las fuerzas de rozamiento que se producen durante un sismo (Cámara Chilena de la Construcción, 2011).

1) Apoyos deslizantes planos

Son los aisladores más sencillos. Consta de dos superficies, una incorporada a la estructura y la otra a la fundación, las cuales tienen un bajo coeficiente de roce, permitiendo los movimientos

horizontales y soportar las cargas verticales. Para posibilitar el movimiento del deslizador durante un sismo, normalmente tienen una capa de un material elastomérico (Cámara Chilena de la Construcción, 2011).

Usualmente las superficies deslizantes son de acero inoxidable pulido. Este sistema de aislación sísmica puede necesitar de disipadores de energía adicionales, para evitar deformaciones excedentes después de un sismo (Cámara Chilena de la Construcción, 2011).

La *Figura 7* muestra el proceso de colocación de un apoyo deslizante plano.



Figura 7. Apoyo deslizante plano en la Universidad Católica del Maule
Fuente: Cámara Chilena de la Construcción, 2011

2) Péndulos friccionales (FPS, Friction Pendulum System)

Los péndulos friccionales están compuestos por un deslizador articulado situado sobre una superficie cóncava.

A diferencia de los apoyos deslizantes planos, tienen capacidad de ser autocentrantes. Después de un sismo, la estructura vuelve a su ubicación original debido a la geometría de la superficie y a la fuerza incitada por la gravedad (Cámara Chilena de la Construcción, 2011). En la *Figura 8* se muestra un péndulo friccional.



Figura.8. Péndulo friccional

Fuente: Ibáñez, S. F.

3.1.1.3. Estructuras candidatas para ser aisladas

- Instalaciones esenciales.

Hospitales, puentes, centros de emergencia, estaciones de bombero, operaciones militares etc.

- Edificios con contenido valioso.

Museos, medios de comunicación, instalaciones de fabricación de alta tecnología, etc.

- Edificios con altos costos de interrupción.

Aeropuertos, centros de computación, Hoteles, laboratorios, etc.

3.1.1.4. Ejemplos y aplicaciones

En las *Figuras 9 a la 12* se muestran ejemplos y aplicaciones de aisladores sísmicos.



Figura 9. Aplicación aislador elastomérico. Edificio San Agustín (Chile)

Fuente: Cámara Chilena de la Construcción, 2011



Figura 10. Aisladores Elastoméricos. San Francisco City Hall (EEUU)

Fuente: Cámara Chilena de la Construcción, 2011



Figura 11. Aislador Elastomérico. Puente Golden Gate, San Francisco (EEUU)
Fuente: Cámara Chilena de la Construcción, 2011



Figura 12. Primer edificio con aislador sísmico en el Perú, Centro de Información e Investigación de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Ingeniería (FIC-UNI)
Fuente: Carranza, S. F.

3.1.2. Marco teórico de disipadores de energía

3.1.2.1. Definición de disipador de energía

Los disipadores de energía son dispositivos mecánicos que se colocan en la estructura y disipan la energía sísmica que ingresa al sistema, evitando que otros elementos de la estructura no sean sobre exigidos, lo cual podría producir daños serios a la misma (Ibáñez, s.f.).

Estos dispositivos son creados para disipar la energía transmitida por sismos, fenómenos de viento fuerte u otras sollicitaciones de origen dinámico, los disipadores captan una parte de la energía, almacenándola en forma de calor y después la van liberando gradualmente al suelo o al ambiente (Kaffman, 2013).

En la *Figura 13* se muestra la comparación de una estructura sin disipadores y otra con disipadores.

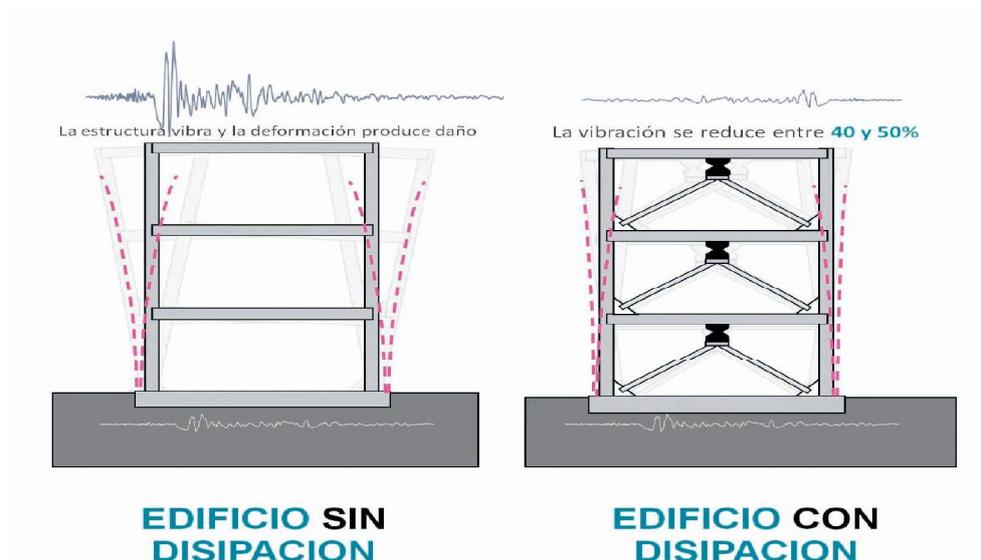


Figura 13. Comparación de edificio sin disipadores y edificio con disipadores de energía
Fuente: Carranza, S. F.

Con estos dispositivos se logra reducciones entre un 30 % y un 50 %, en las deformaciones de las estructuras, lo cual garantizara la seguridad de sus ocupantes, prevenir los daños estructurales, no estructurales y proporcionar su operatividad (Kaffman, 2013).

Los disipadores de energía los más utilizados son los sistemas viscosos, metálicos y friccionales.

3.1.2.2. Clasificación de los disipadores de energía

Los sistemas pasivos de disipación de energía se clasifican en cuatro categorías, según estos sean activados por desplazamientos, velocidades, por una combinación de desplazamientos y velocidades, o por movimiento. A continuación se define rápidamente las propiedades generales de cada una de estas categorías (Cámara Chilena de la Construcción, 2011).

A. Disipadores activados por desplazamientos

Estos disipadores son activados a través de los desplazamientos relativos de los extremos del dispositivo, generados por los movimientos de la estructura durante un sismo.

En esta clasificación se ubican los dispositivos metálicos, friccionales, de extrusión de materiales y los sistemas autocentrantes (Cámara Chilena de la Construcción, 2011).

1) Disipadores metálicos

Disipan energía a través de la fluencia de metales sometidos a esfuerzos de flexión, corte, torsión, o una combinación de ellos. Los disipadores metálicos ofrecen un comportamiento seguro a largo plazo, así mismo poseen una buena resistencia ante agentes ambientales y de temperatura.

La *Figura 14* muestra un disipador metálico tipo ADAS (Added Damping/Added Stiffness), este dispositivo acrónimo del concepto Added Damping/Added Stiffness. Este tipo de dispositivo permite adicionar simultáneamente, rigidez y amortiguamiento a la estructura (Cámara Chilena de la Construcción, 2011).

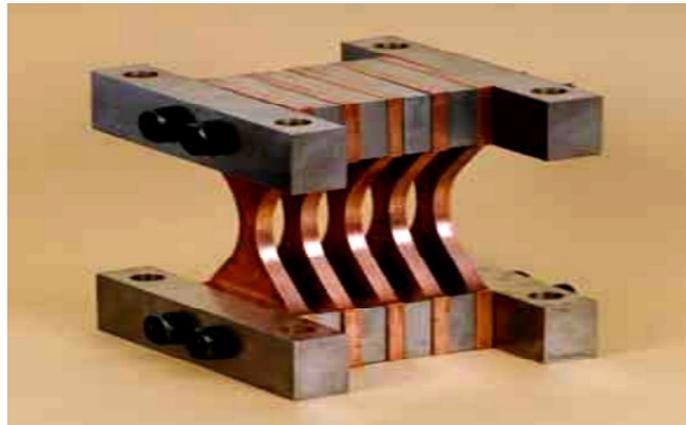


Figura 14. Disipador metálico tipo ADAS

Fuente: Cámara Chilena de la Construcción, 2011

2) Disipadores friccionales

Estos dispositivos disipan energía a través de la fricción que se genera durante el desplazamiento entre dos o más superficies en contacto. Son diseñados para activarse una vez obtenido un determinado nivel de carga en el dispositivo. Mientras la

solicitud no alcance dicha carga, el mecanismo de disipación se mantiene inactivo.

La *Figura 15* muestra un disipador friccional con conexiones deslizantes con orificios ovalados o SBC (Slotted Bolted Connection) y la *Figura 16* muestra un disipador friccional tipo Pall (Cámara Chilena de la Construcción, 2011).

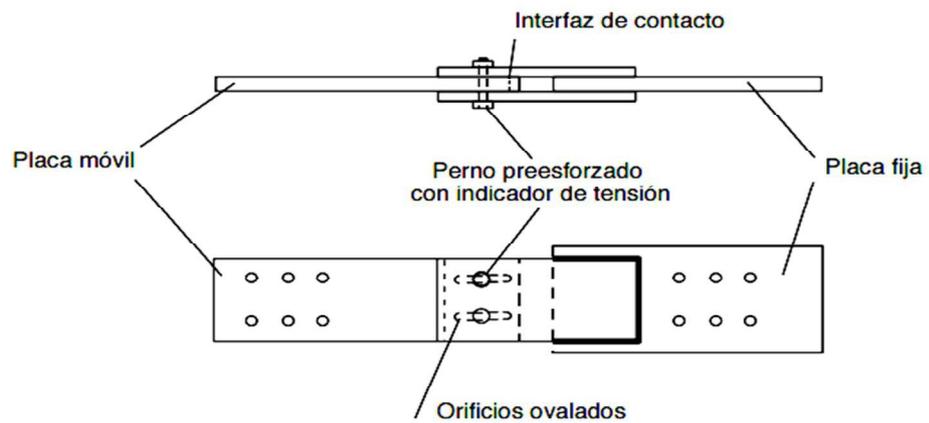


Figura 15. Conexión tipo SBC (Slotted Bolted Connection)

Fuente: Cámara Chilena de la Construcción, 2011

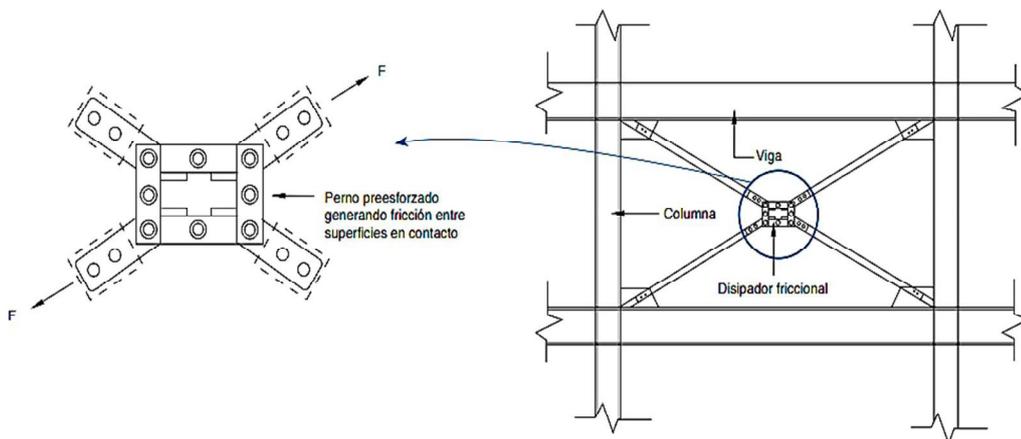


Figura 16. Esquema disipador de energía tipo Pall

Fuente: Cámara Chilena de la Construcción, 2011

3) Disipadores de extrusión de materiales

Su comportamiento se basa en la extrusión de materiales (específicamente plomo) a través de orificios. En esta categoría se ubican las diagonales de pandeo restringido o BRB's (Buckling Restrained Braces). Estos disipadores son duraderos en el tiempo sin verse perjudicados por la cantidad de ciclos de carga o efectos climáticos (Cámara Chilena de la Construcción, 2011).

Las Figuras 17 y 18 muestran un disipador de extrusión de materiales y su ubicación.



Figura 17. Disipador de extrusión de plomo Fuente: Mayorga, 2011

Figura 18. Ubicación del disipador Fuente: Oviedo, 2008

4) Disipadores autocentrantes

Los disipadores autocentrantes emplean las propiedades de los elementos que los conforman como son el acero y su geometría para disipar energía. Terminado el movimiento sísmico, retorna a

su posición inicial (Cámara Chilena de la Construcción, 2011). La *Figura 19* muestra un disipador autocentrante.

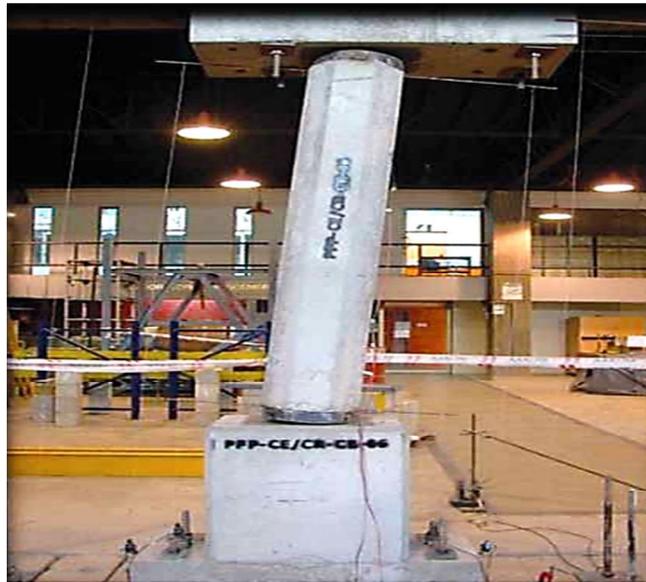


Figura 19. Disipador autocentrante

Fuente: Cámara Chilena de la Construcción, 2011

B. Disipadores activados por velocidad

Estos disipadores son activados a través de las velocidades relativas de los extremos del dispositivo, generados por los movimientos de la estructura durante un sismo. Estos sistemas agregan amortiguamiento y ofrecen protección a las estructuras durante sismos de baja, mediana y gran intensidad (Cámara Chilena de la Construcción, 2011).

1) Dispositivos fluido-viscosos

Estos dispositivos disipan energía obligando a un fluido altamente viscoso a cruzar a través de orificios con diámetros, longitudes e inclinación especialmente establecidos para verificar el paso del

fluido. Son fabricados de acero inoxidable con una duración de por lo menos 40 años.

Estos dispositivos son semejantes a los amortiguadores de un automóvil, pero con capacidad de soportar las fuerzas inducidas por terremotos (Cámara Chilena de la Construcción, 2011).

En las *Figuras 20 y 21* se observa disipadores del tipo fluido-viscoso y en el funcionamiento de un disipador de fluido viscoso respectivamente.



Figura 20. Disipador de fluido-viscoso

Fuente: Cámara Chilena de la Construcción, 2011

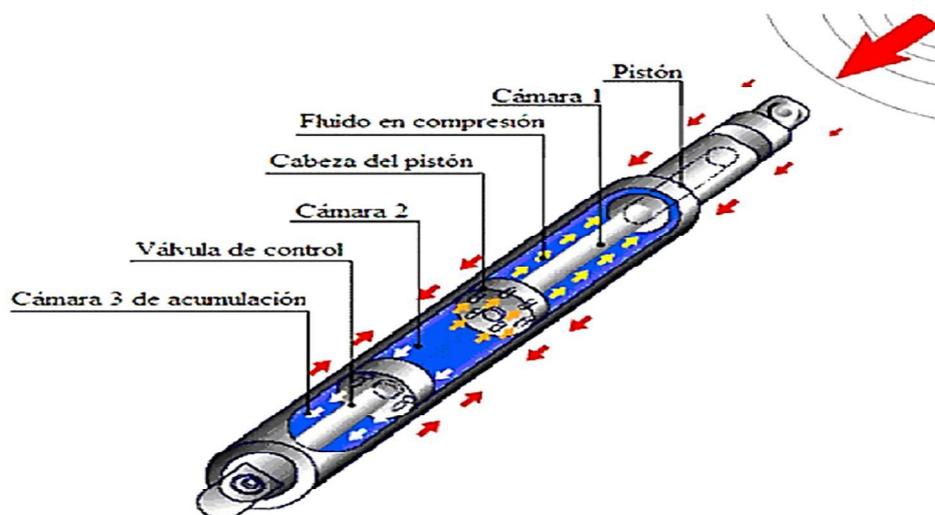


Figura 21. Funcionamiento de un disipador de fluido viscoso

Fuente: Corpus, 2015

2) Muros viscosos

Los muros viscosos están conformados por una placa interna de acero conectada al piso superior, que se desplaza en un fluido altamente viscoso colocado al interior de un molde de acero (muro) el cual va conectado al piso inferior. Este fluido viscoso proporciona amortiguamiento a la estructura (Cámara Chilena de la Construcción, 2011). Las *Figuras 22 y 23* muestran un disipador tipo muro viscoso y su colocación.

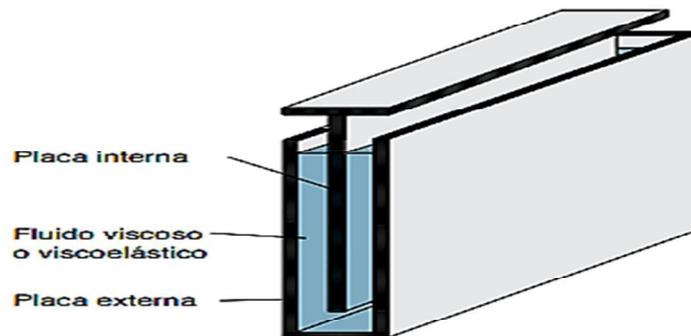


Figura 22. Disipador muro viscoso

Fuente: Cámara Chilena de la Construcción, 2011



Figura 23. Colocación de un disipador muro viscoso

Fuente: Cámara Chilena de la Construcción, 2011

C. Disipadores activados por desplazamiento y velocidad

Se activan a partir de la combinación de los desplazamientos y velocidades relativas de los extremos del dispositivo, generados por los movimientos de la estructura producidos durante un terremoto. Estos dispositivos incorporan amortiguamiento y rigidez a las estructuras (Cámara Chilena de la Construcción, 2011).

1) Disipadores viscoelásticos sólidos

Estos dispositivos están conformados de un material viscoelástico, el cual se encuentra entre placas de acero. Se encargan de disipar energía por medio de la deformación del material viscoelástico generada por el desplazamiento relativo de las placas. Se colocan normalmente acoplados en arriostres que unen diferentes pisos de la estructura. La *Figura 24* muestra un disipador viscoelástico sólido (Cámara Chilena de la Construcción, 2011).

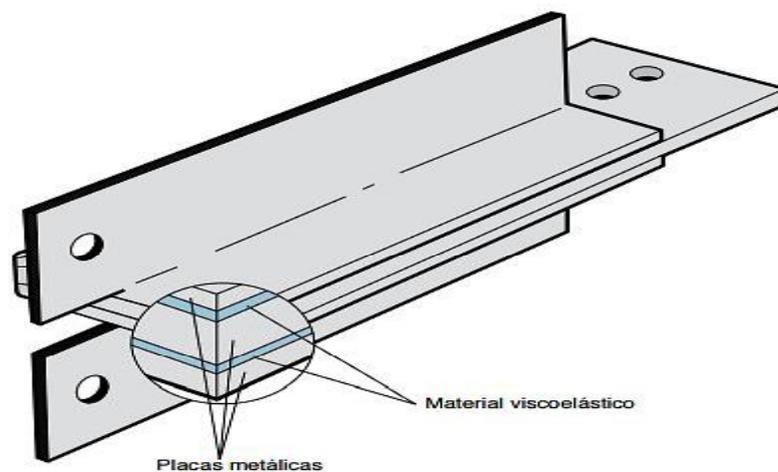


Figura 24. Disipador viscoelástico sólido

Fuente: Cámara Chilena de la Construcción, 2011

D. Disipadores activados por movimiento

A esta categoría pertenecen los Amortiguadores de Masa Sintonizada (AMS), las cuales son masas de concreto, conteniendo algunas veces bolones de acero, que se colocan en los techos de los edificios sobre apoyos elásticos y se activan con el movimiento del mismo (Cámara Chilena de la Construcción, 2011).

Estos sistemas actúan como un contrapeso que siempre se opone al movimiento del edificio disminuyendo sus deformaciones y preservando de esta manera a la estructura y sus contenidos (Kaffman, 2013).

Las *Figuras 25 y 26* muestran un amortiguador de masa sintonizada y su ubicación respectivamente.



Figura 25. Amortiguador de masa sintonizada

Fuente: Cámara Chilena de la Construcción, 2011

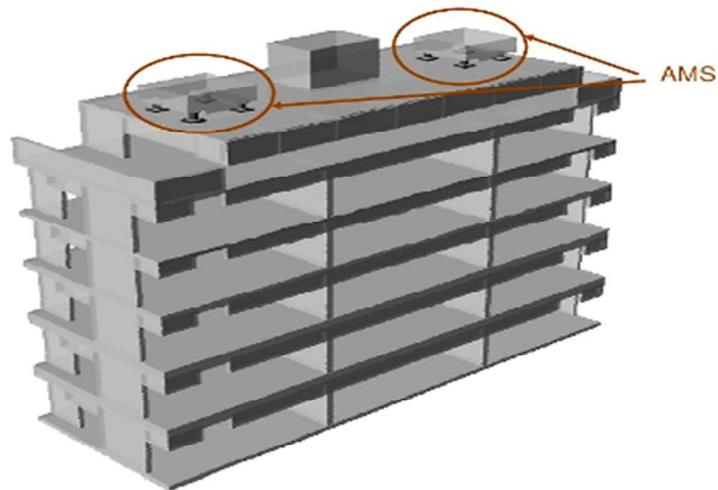


Figura 26. Ubicación de Amortiguador de masa sintonizada

Fuente: Cámara Chilena de la Construcción, 2011

3.1.2.3. Aspectos arquitectónicos

Los disipadores se asignan en toda la altura de las estructuras, para tomar ventaja de las deformaciones y velocidades de entrepiso a la que se ven sujetas las estructuras durante los sismos. Su instalación es en las fachadas de las estructuras, a fin de disminuir los efectos de torsión (Cámara Chilena de la Construcción, 2011).

Los disipadores friccionales, viscosos o viscoelásticos, pueden estar camuflados dentro de muros o tabiques. Los amortiguadores de masa sintonizada se ubican en los techos de las estructuras, requieren de recintos de mayor tamaño (Cámara Chilena de la Construcción, 2011).

3.1.2.4. Beneficios de uso

Beneficios:

- ✓ Incrementan el nivel de amortiguamiento de las estructuras, disminuyendo los esfuerzos y deformaciones en ellas y sus contenidos.
- ✓ Disminución de daños durante sismos severos.
- ✓ Reducción de los costos de restauración de los daños, después de los sismos
- ✓ Mayor seguridad a las personas (Cámara Chilena de la Construcción, 2011).

3.1.2.5. Ejemplos y aplicaciones

De las *Figuras 27* a la *29* se muestran una serie de ejemplos y aplicaciones de disipadores de energía en estructuras.

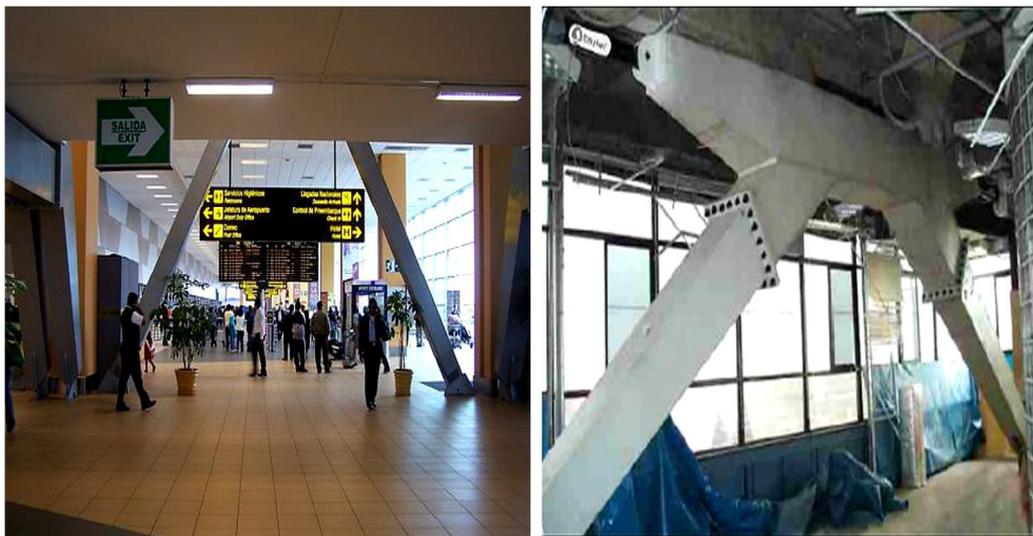


Figura 27. Rehabilitación de la Torre del Aeropuerto Internacional Jorge Chávez (disipadores de energía viscosos)

Fuente: Carranza, S. F.

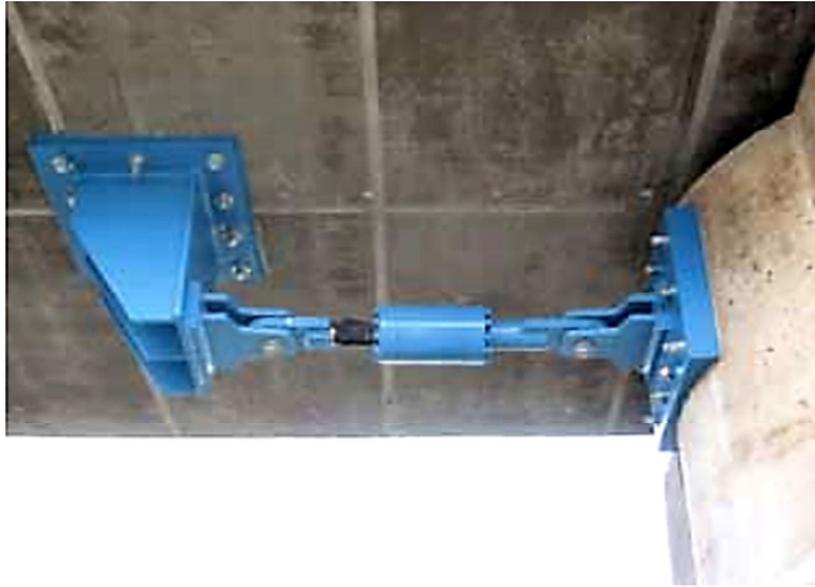


Figura 28. Aplicación amortiguador viscoso en apoyo de puente
Fuente: Cámara Chilena de la Construcción, 2011



Figura 29. Aplicación amortiguador viscoso. Puente Amolanas (Chile)
Fuente: Cámara Chilena de la Construcción, 2011

3.2. Caso práctico

3.2.1. Descripción y estructuración del proyecto

En esta sección se presentarán las características del proyecto elegido para el desarrollo de la investigación.

3.2.1.1. Generalidades de la edificación

El edificio corresponde al proyecto de una Clínica Obstétrica, la cual se ubicara en el Distrito de Samegua.

Ubicación política:

Distrito : Samegua

Provincia : Mariscal Nieto

Región : Moquegua

3.2.1.2. Descripción del edificio

La presente edificación está destinada a mejorar los servicios de salud de la población del Distrito de Samegua.

La presente investigación se centrara en su totalidad en el análisis sísmico de una Clínica Obstétrica, considerando la comparación de resultados de un sistema convencional y otro con la incorporación de disipadores viscoelásticos sólidos.

La nueva Clínica Obstétrica se proyecta con sistemas de concreto armado para el funcionamiento de:

- ✓ **Primer nivel:** Unidad de Centro Obstétrico cuenta con una sala de espera, atención, farmacia, laboratorio, ginecología, tópico, ecografía, consultorio y ss.hh. en un área de 368,33 m² (ver Apéndices para obtener información detallada).
- ✓ **Segundo nivel:** Consta de una sala de espera, sala de neonatología, sala de partos, estación de enfermeras, sala de recuperación, etc. en un área de 368,33 m² (ver Apéndices para obtener información detallada).
- ✓ **Tercer nivel:** Consta de una sala de espera, sala de neonatología, sala de partos, vestidores, sala de recuperación, etc. en un área de 368,33 m² (ver Apéndice para obtener información detallada).
- ✓ **Cuarto nivel:** Unidad de Administración y Unidades Complementarias en un área de 368,33 m (ver Apéndice para obtener información detallada).

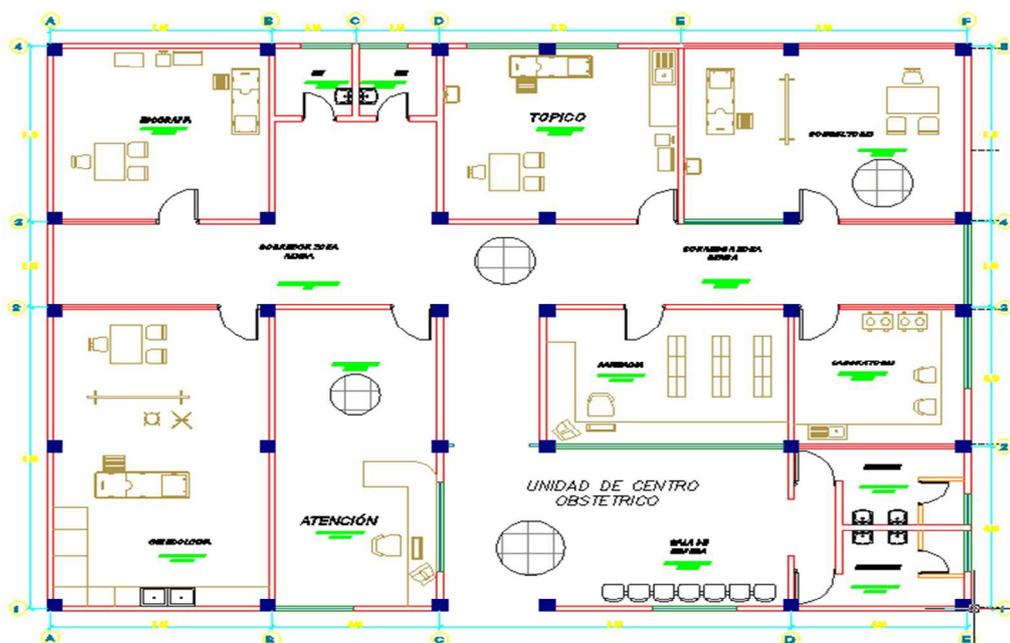


Figura 30. Arquitectura del 1er nivel – bloque proyectado

Fuente: Proyecto de clínica obstétrica

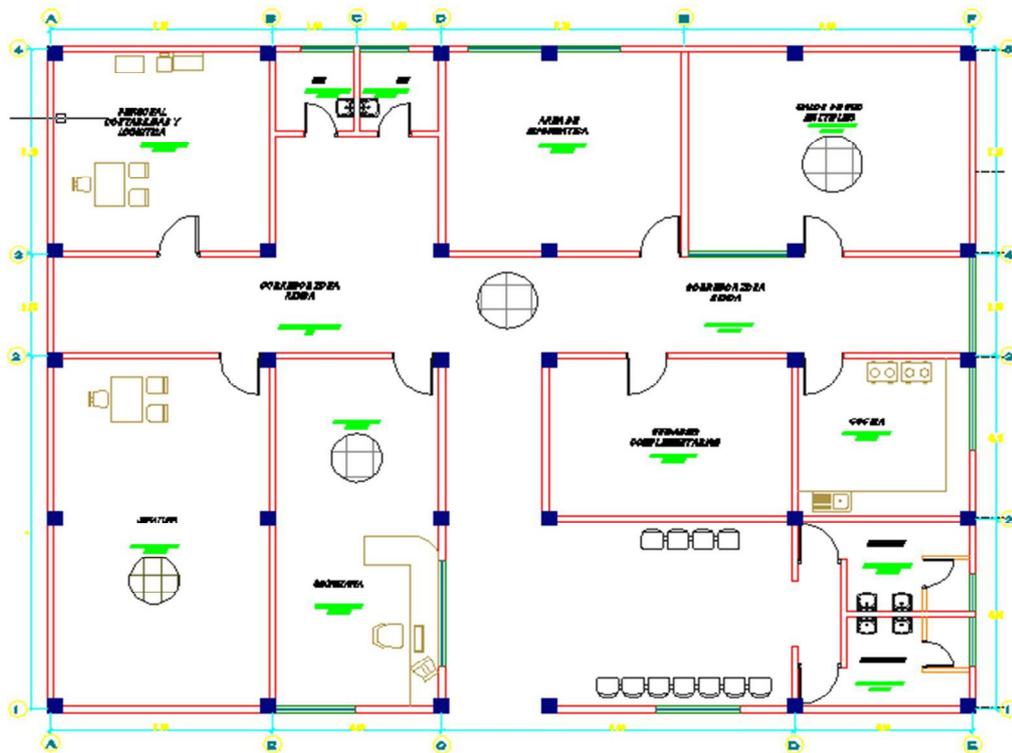


Figura 33. Arquitectura del 4to nivel – bloque proyectado

Fuente: Proyecto de clínica obstétrica

3.2.2. Dimensionamiento de elementos estructurales

Las dimensiones de los elementos considerados en dicho proyecto son:

- ❖ Losa aligerada : 0,20 m
- ❖ Vigas : 0,25 x 0,45 m
- ❖ Columnas : 0,35 x 0,35 m

3.2.3. Cargas de diseño

Para el diseño se debe de considerar principalmente tres tipos de cargas:

- ✓ **Carga muerta (CM):** Es el peso de los materiales, dispositivos de servicio, equipos, tabiques y otros elementos soportados por la estructura, incluyendo el peso propio, que sean permanentes o con una variación en su magnitud pequeña en el tiempo.

- ✓ **Carga viva (CV):** Es el peso de todos los ocupantes, materiales, equipos, muebles y otros elementos movibles soportados por la edificación.
- ✓ **Carga de sismo (CS):** Son aquellas que se generan por la acción sísmica sobre la estructura siguiendo los parámetros establecidos en la Norma E.030 de Diseño Sismorresistente

3.2.3.1. Carga muerta

La carga muerta a la que estará expuesta durante su vida útil está dada por los siguientes valores:

- ✓ Peso específico del C° A° = 2 400 kg/m³
- ✓ Peso del aligerado (e = 0,20m) = 300 kg/m²
- ✓ Peso del piso terminado = 100 kg/m²

Las cargas muertas han sido directamente aplicadas sobre la losa aligerada. La losa aligerada fue definida como tipo “Membrane” y sobre ésta han sido distribuidas las cargas muertas y vivas respectivamente.

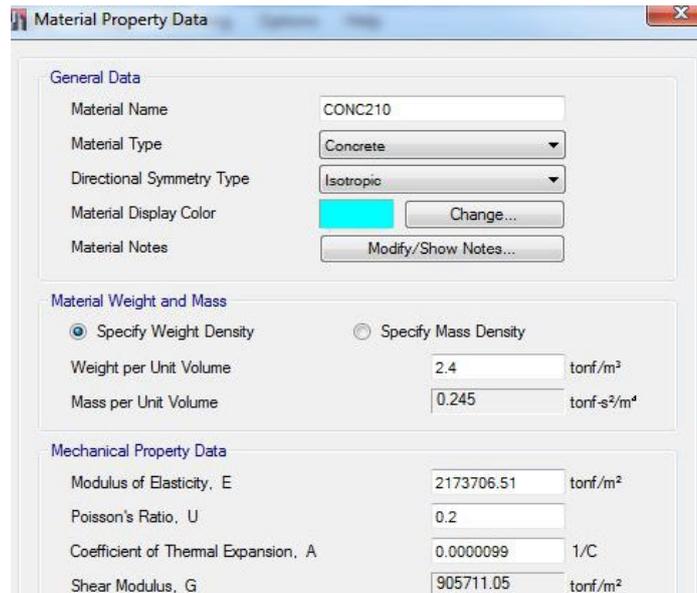


Figura 34. Definición del C°A° en Etabs V.13

Fuente: Figura extraída del programa Etabs V.13

3.2.3.2. Carga viva

Tomando como referencia la norma E.020 de cargas, se ha considerado conservadoramente los siguientes valores:

- ✓ Carga viva en hospitales = 0,30 t/m² (300 kg/m²)
- ✓ Carga viva en corredores = 0,40 t/m² (400 kg/m²)
- ✓ Carga viva en escaleras = 0,40 t/m² (400 kg/m²)
- ✓ Carga viva mínima en azoteas = 0,10 t/m² (100 kg/m²)

Las cargas vivas han sido directamente aplicadas sobre la losa aligerada.

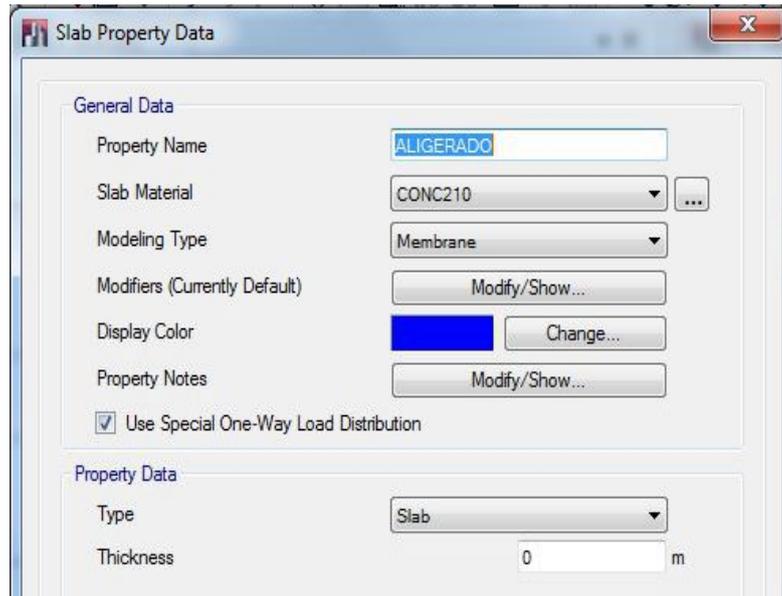


Figura 35. Definición de losa en Etabs V.13

Fuente: Figura extraída del programa Etabs V.13

3.2.3.3. Carga sísmica

Para la generación del espectro sísmico de aceleraciones según la Norma E.030, se usaran los siguientes coeficientes:

- ✓ $Z = 0,45$ (Factor de zona - zona 4 para la región Moquegua)
- ✓ $U = 1,50$ (Factor de uso o importancia - tipo A2)
- ✓ $S = 1,05$ (Factor de amplificación del suelo - tipo S2)
- ✓ $TP = 0,60$ (periodo que define plataforma del espectro)
- ✓ $TL = 2,00$ (periodo que define el inicio cte del espectro)
- ✓ $Ia = 1,00$ (coeficiente de irregularidad en altura)
- ✓ $Ip = 1,00$ (coeficiente de irregularidad en planta)
- ✓ $g = 9,81 \text{ m/seg}^2$ (aceleración de la gravedad)

➤ **Coefficiente de reducción sísmica**

$$R = R_o * I_a * I_p \quad \text{Ecuación (1)}$$

$$R = (8,00) (1,00) (1,00) = 8,00 \text{ (Aporticado)}$$

➤ **Factor de amplificación sísmica (C)**

Estos valores “**C (t)**”, expuestos anteriormente, son dependientes del periodo asociado a la estructura y en todos los casos deben ser $C(t) < 2,5$ antiguamente llamado coeficiente sísmico (E.030, 2016).

➤ **Aceleración espectral de diseño sísmico**

La aceleración espectral para el análisis sísmico modal “**Sa (t)**” es un porcentaje de aceleración de la gravedad, cuyos valores se obtienen factorando la gravedad por el producto de los factores anteriores (E.030,2016):

$$S_a(t) = \frac{Z * U * C(t) * S}{R} * g \quad \text{Ecuación (2)}$$

A continuación en la *Figura 36* se muestra un ejemplo de definición del espectro de diseño para sistema Aporticado.

ESPECTRO DE RESPUESTA

1. PARÁMETROS SÍSMICOS

1.1 Definiendo Factor de Zona (Z)

Región	Moquegua
Provincia	Mariscal Nieto
Distrito	Samegua
Tipo de Zona	4
Factor de Zona	0,45

1.2 Definiendo Factor de Suelo (S)

Tipo de Suelo	Suelo Intermedio
Perfil del Suelo	S2
Factor de Suelo	1,05
Factor TP (seg)	0,60
Factor TL (seg)	2,00

1.3 Definiendo Factor de Uso (U)

Uso de la Edificación	Centro de Salud y/o similar
Clasificación	Esencial
Factor de Uso	1,50

1.4 Definiendo Factor de Reducción Sísmica (R)

Sistema Estructural	Pórtico C*A*
Irregularidad en Altura	Ninguna
Irregularidad en Planta	Ninguna

Coef. Básico Reducción	Ro = 8,00
Coef. Irreg. En Altura	la = 1,00
Coef. Irreg. En Planta	lp = 1,00

2. DEFINICIÓN DEL ESPECTRO DE DISEÑO

2.1 Período Fundamental de Vibración (T)

Altura total Edificación	13,80 m
--------------------------	---------

Coeficiente "Ct"	Ct = 35,00
------------------	------------

2.2 Factor de Amplificación Sísmica "C"

T < Tp ← C = 2,50 C = 2,50
 TP < T < TL
 T > TL

2.3 Aceleración Espectral Inelástica "Sa"

$$Sa = [(Z^*U*C(t)*S)/R]*g \text{ Donde: } C = 2.5*(T_p^*T_u/T^2)$$



(T)	C	Ceval	Sa
0,00	2,50	2,50	2,173
0,10	2,50	2,50	2,173
0,20	2,50	2,50	2,173
0,30	2,50	2,50	2,173
0,40	2,50	2,50	2,173
0,50	2,50	2,50	2,173
0,60	8,33	2,50	2,173
0,70	2,14	2,14	1,862
0,80	1,88	1,88	1,630
0,90	1,67	1,67	1,449
1,00	1,50	1,50	1,304
1,10	1,36	1,36	1,185
1,20	1,25	1,25	1,086
1,30	1,15	1,15	1,003
1,40	1,07	1,07	0,931
1,50	1,00	1,00	0,869
1,60	0,94	0,94	0,815
1,70	0,88	0,88	0,767
1,80	0,83	0,83	0,724
1,90	0,79	0,79	0,686
2,00	0,75	0,75	0,652
2,10	0,68	0,68	0,591
2,20	0,62	0,62	0,539
2,30	0,57	0,57	0,493
2,40	0,52	0,52	0,453
2,50	0,48	0,48	0,417
2,60	0,44	0,44	0,386
2,70	0,41	0,41	0,358
2,80	0,38	0,38	0,333
2,90	0,36	0,36	0,310
3,00	0,33	0,33	0,290

Para el análisis estático: $(Z^*U*C^*S)/R = 0,221484$

Figura 36. Ejemplo de definición de espectro

Fuente: Elaboración propia

Así mismo, dentro de la misma línea de conceptos, se muestra la definición de los estados de carga estática. Donde “SX” y “SY” son los estados de cargas sísmica estática en la dirección XX e YY respectivamente.

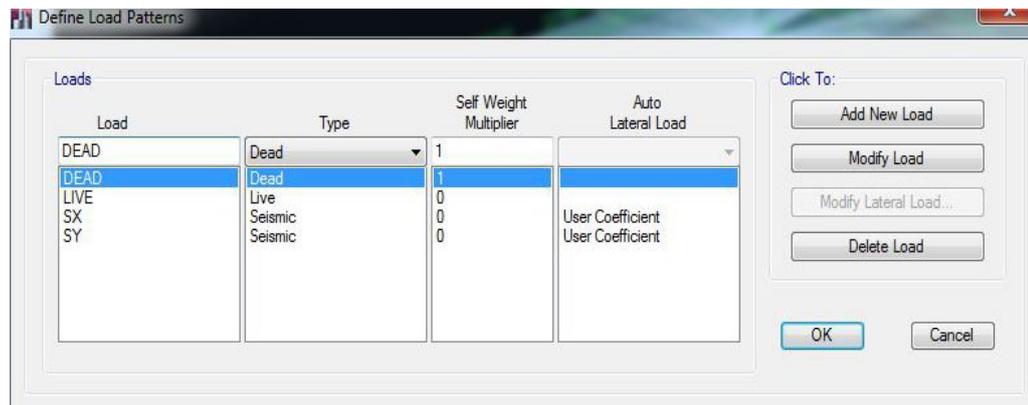


Figura 37. Definición de CM, CV, SX y SY en Etabs V.13

Fuente: Figura extraída del programa Etabs V.13

En el análisis con el programa Etabs V13, el peso propio de todos los elementos estructurales están incluidos automáticamente a través de la opción “Self Weight Multiplier”, el cual está escalado por 1,00 para tomar el 100 % del peso propio, ya que según la definición de materiales, se cuenta con la geometría y el peso unitario de los mismos.

Del mismo modo se definió los estados de carga sísmica dinámica denominados “DINXX” y “DINYY” para la dirección XX e YY respectivamente. Como se muestra en la *Figura 38*.

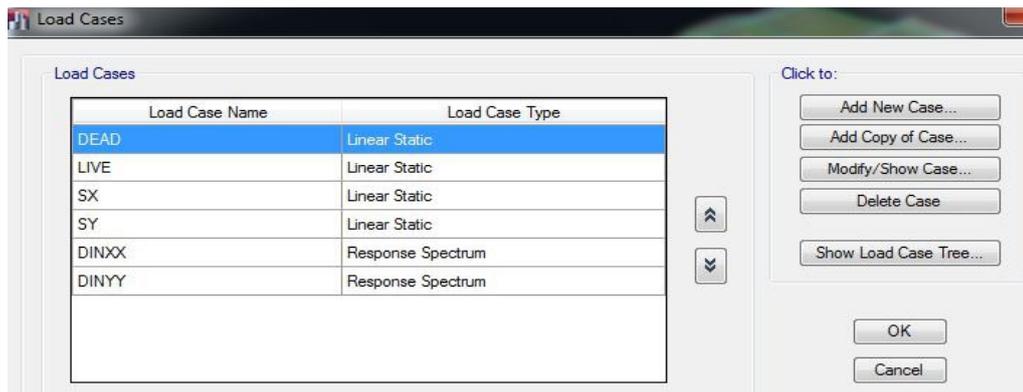


Figura 38. Definición de DINXX y DINYY en Etabs V.13
 Fuente: Figura extraída del programa Etabs V.13

3.2.3.4. Participación de la masa

Para el bloque estructural del proyecto en mención, se define la participación de masas a partir únicamente de la masa procedente de los estados de carga, con una 100 % de la masa obtenida por la carga muerta (que ya está incluido el peso propio de la estructura, piso terminado y tabiquería) y con el 50 % de participación de la carga viva aplicada sobre la losa aligerada según sea el caso. Como se muestra en la *Figura 39*.

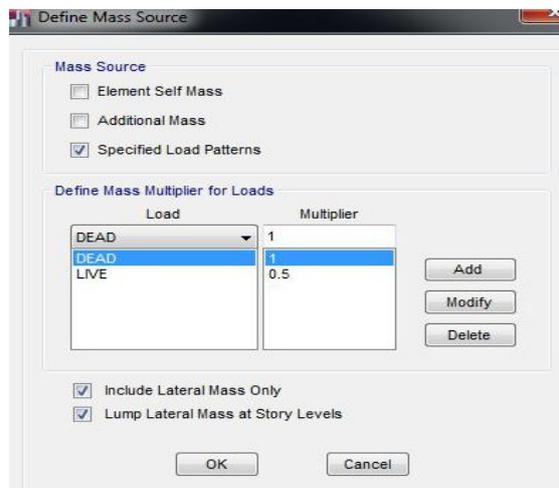


Figura 39. Participación de masas en Etabs V.13
 Fuente: Figura extraída del programa Etabs V.13

3.2.4. Verificaciones reglamentarias

3.2.4.1. Fuerza basal mínima para el análisis sísmico

La fuerza basal mínima para el análisis dinámico de una estructura regular debe ser como mínimo un 80 % de la fuerza basal obtenida por el análisis sísmico estático. El cortante basal estático es un porcentaje (%) del peso de la estructura, además debemos verificar siempre que $C/R \geq 0,125$. En caso de verificar lo anterior, deberemos amplificar la carga sísmica dinámica para cumplir la exigencia de la norma respectiva (E.030, 2016).

3.2.4.2. Revisión de los desplazamientos máximos

La distorsión angular (deriva) escalada con el factor de reducción “R”, debe ser inferior que 0,007 para muros de concreto y pórticos (E.030, 2016).

Para ambos casos se generará una combinación **DESPXX** y **DESPYY**, que contempla el 100 % de carga muerta, 50 % carga viva y el 100 % de la carga de sismo actuando en cada una de las direcciones. Como se muestra en las *Figuras 40 y 41*.

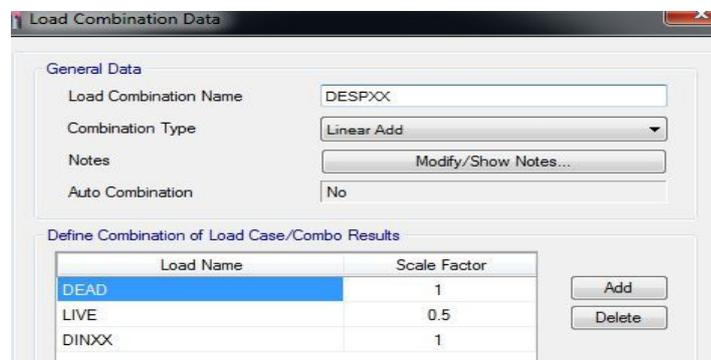


Figura 40. Definición de DESPXX en Etabs V.13

Fuente: Figura extraída del programa Etabs V.13

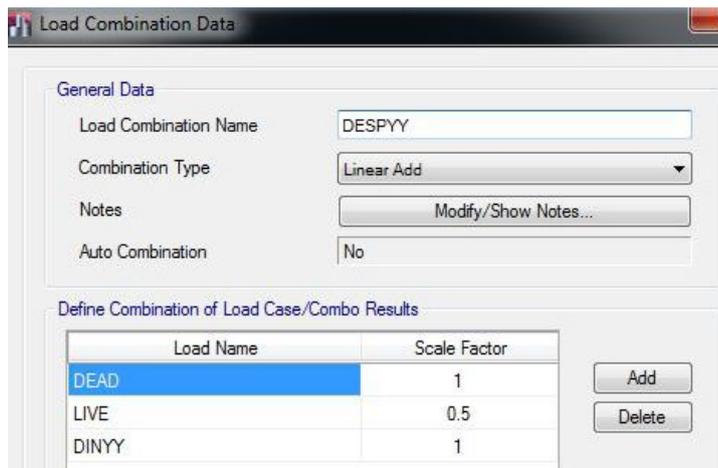


Figura 41. Definición de DESPYY en Etabs V.13

Fuente: Figura extraída del programa Etabs V.13

3.2.4.3. Participación modal

Deberá chequearse que la participación modal estática y dinámica supere el valor de 90 %. Los tres primeros modos son fundamentales y se reflejan en su participación. El primer modo corresponde a la traslación XX, el segundo modo a la traslación YY y el tercer modo a la rotación en planta ZZ (E.030, 2016).

3.2.4.4. Estados de cargas

Para el análisis estructural del proyecto se han establecido los siguientes estados de carga:

- D (dead) = carga muerta
- L (live) = carga viva
- E (earthquake) = carga de sismo

3.2.4.5. Combinaciones de diseño

Se definió una combinación para determinar el peso sísmico de la estructura denominado “PESO”, donde se consideró el 100 % de la carga muerta y 50 % de la carga viva. Como se muestra en la *Figura 42*.

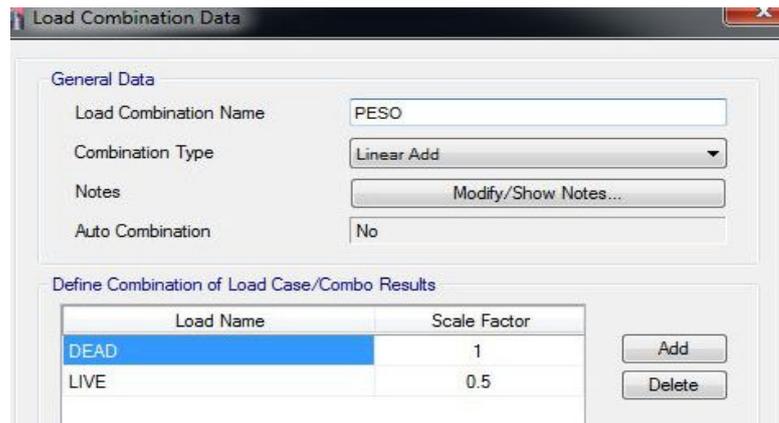


Figura 42. Definición de PESO en Etabs V.13

Fuente: Figura extraída del programa Etabs V.13

Así mismo, los estados de carga han sido amplificadas (E.060, 2006), para poder ejecutar los diseños en concreto armado, las combinaciones usadas son:

$$\text{Comb1: } U = 1,40 D + 1,70 L$$

$$\text{Comb2X: } U = 1,25 D + 1,25 L + 1,00 E_x$$

$$\text{Comb2Y: } U = 1,25 D + 1,25 L + 1,00 E_y$$

$$\text{Comb3X: } U = 1,25 D + 1,25 L - 1,00 E_x$$

$$\text{Comb3Y: } U = 1,25 D + 1,25 L - 1,00 E_y$$

$$\text{Comb4X: } U = 0,90 D + 1,00 E_x$$

$$\text{Comb4Y: } U = 0,90 D + 1,00 E_y$$

$$\text{Comb5X: } U = 0,90 D - 1,00 E_x$$

$$\text{Comb5Y: } U = 0,90 D - 1,00 E_y$$

Debido a que la carga de sismo actúa en dos direcciones XX e YY, estas combinaciones se establecen para cada dirección. Además se han conformado las combinaciones denominadas envolventes “ENVOLXX” y “ENVOLYY” de esfuerzos (fuerza axial, fuerza cortante y momento flector) que consideran los máximos valores para el diseño en concreto armado de los elementos estructurales en XX e YY. Como se muestra en la *Figura 43*.

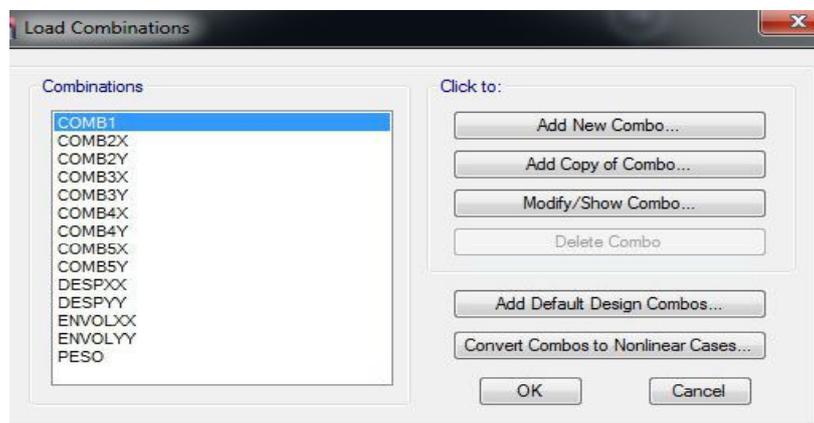


Figura 43. Combinaciones de diseño en Etabs V.13

Fuente: Figura extraída del programa Etabs V.13

3.2.5. Procedimiento del análisis sísmico y estructural

El análisis sísmico se ha elaborado mediante el programa de computadora “ETABS V.13” (Extended 3D analysis of buildings systems).

Se verificará que la carga mínima de análisis sísmico dinámico real para la estructura sea el 90 % del cortante basal estático si es irregular y 80 % si es una estructura regular (E.030, 2016).

Para cumplir esta exigencia se han encontrado factores de corrección o escalamiento de la carga sísmica dinámica ya que siempre el

cortante basal estático será mayor que el dinámico, ya que es un método más conservador.

3.2.6. Análisis dinámico con sistema aporticado

Los sistemas aporticados, son aquellos donde por lo menos el 80 % del cortante en la base actúa sobre las columnas (E.030, 2016).

3.2.6.1. Modelamiento estructural

Considerando la Arquitectura del proyecto, se ha ejecutado una estructuración siguiendo los lineamientos de la estructuración por carga sísmica generándose el modelo que se visualiza.

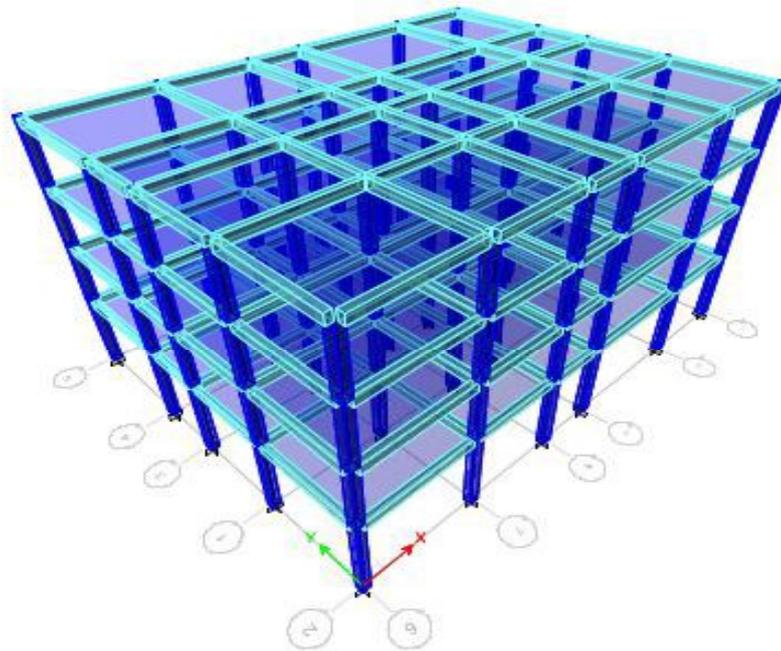


Figura 44. Modelamiento del sistema aporticado en Etabs V.13

Fuente: Figura extraída del programa Etabs V.13

3.2.6.2. Factor de escala sísmica estática

Es el valor que insertaremos al software estructural para que por medio de la herramienta “User Coefficient” se calcule el cortante estático en el centro de masa con una excentricidad accidental del 5 % de la dirección perpendicular al sentido de análisis.

Este valor resulta de la multiplicación del factor de zona (Z), factor de uso (U), coeficiente de amplificación sísmica (C) y factor del suelo (S), dividiendo todo ello entre el Factor de Reducción sísmica (R).

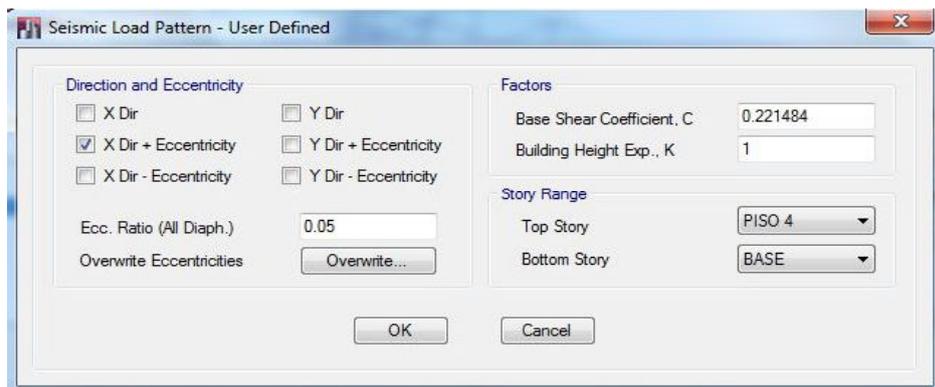


Figura 45. Factor de escala estático de XX en Etabs V.13

Fuente: Figura extraída del programa Etabs V.13

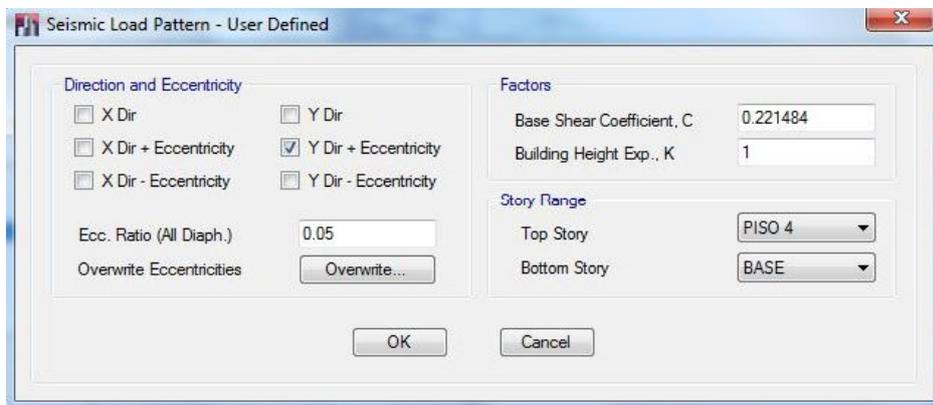


Figura 46. Factor de escala estático de YY en Etabs V.13

Fuente: Figura extraída del programa Etabs V.13

3.2.6.3. Aceleración espectral de diseño

En la *Figura 47* muestra los valores obtenidos del espectro de respuesta elaborado en Excel.

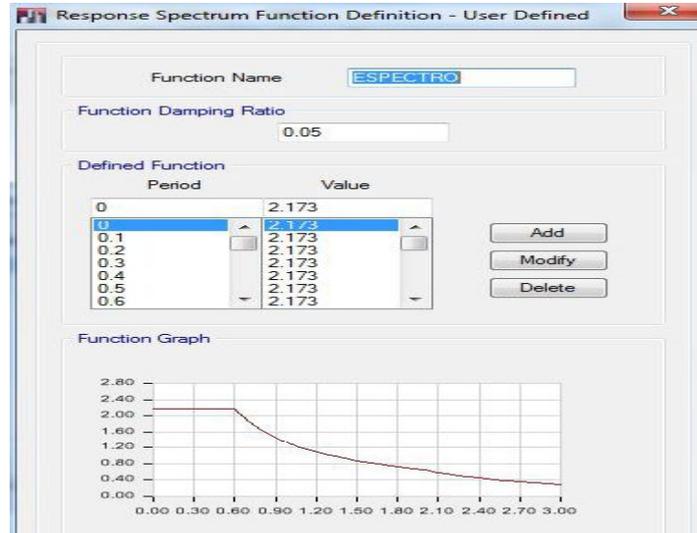


Figura 47. Espectro de diseño insertado en Etabs V.13

Fuente: Figura extraída del programa Etabs V.13

3.2.6.4. Centros de masa y rigidez

Los centros de resistencia tienen validez no solo para un análisis lineal sino también para un análisis no lineal. A continuación se muestra una tabla comparativa entre los centros de masa y los centros de rigidez de cada entrepiso, con su respectiva figura.

Tabla 1

Centros de masa (XCCM, YCCM) y rigidez (XCR, YCR) en cada nivel

Story	Diaphragm	Mass X tf-s ² /m	Mass Y tf-s ² /m	XCCM m	YCCM m	XCR m	YCR m
PISO 1	D1	14,7786	14,7786	10,799	8,229	10,828	8,258
PISO 2	D2	14,2808	14,2808	10,799	8,228	10,828	8,258
PISO 3	D3	15,3167	15,3167	10,799	8,228	10,828	8,258
PISO 4	D4	13,1596	13,1596	10,798	8,227	10,828	8,258

Nota: Se observa una variación mínima entre las coordenadas del centro de masa y centro rigidez.

Fuente: Datos exportados del análisis estructural en el programa Etabs V.13

La Figura 48 ilustra con claridad de que la edificación no presenta irregularidades.

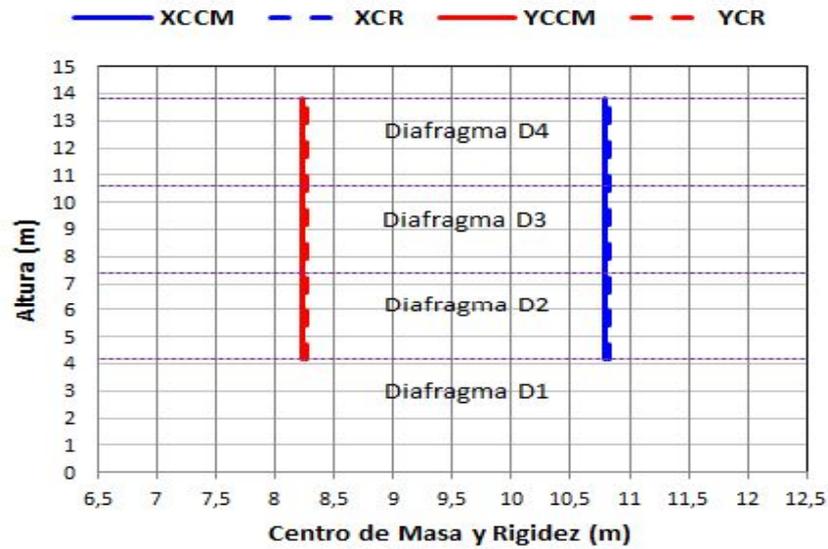


Figura 48. Centros de masa y rigidez vs altura

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 49 se observa las excentricidades de masa y rigidez de cada entrepiso. Se concluye que estas excentricidades están por debajo de lo expuesto por la norma (5 % de la longitud perpendicular a la dirección de análisis).

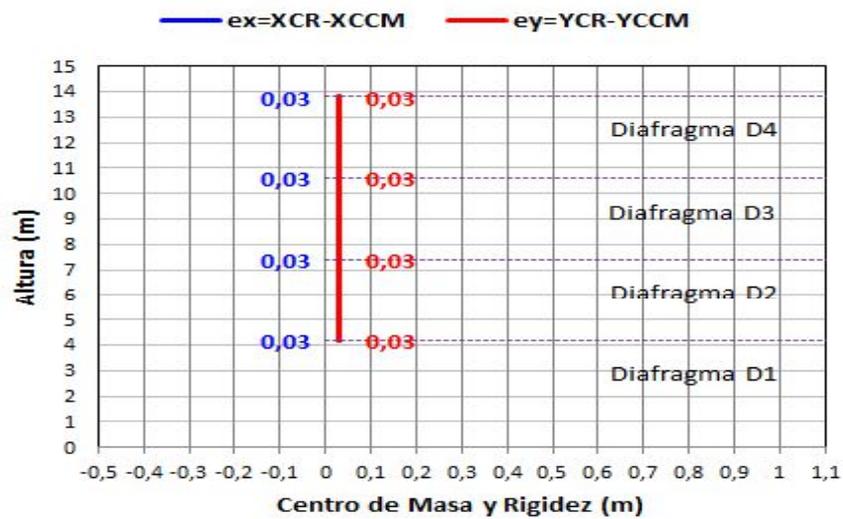


Figura 49. Excentricidades vs altura

Fuente: Elaboración propia

3.2.6.5. Peso total de la estructura

Se calculó el Peso Sísmico considerando la participación del 100 % de la carga muerta y 50 % de la carga viva de toda la estructura.

Tabla 2

Peso sísmico de la edificación considerando 100 % CM + 50 % CV

Story	Load Case Combo	Location	P tf	T t-m	MX t-m	MY t-m
PISO 4	PESO	Top	215,479	0,00	1 772,532	-2 326,506
PISO 4	PESO	Bottom	243,703	0,00	2 005,616	-2 632,124
PISO 3	PESO	Top	494,672	0,00	4 069,907	-5 341,651
PISO 3	PESO	Bottom	522,896	0,00	4 302,991	-5 647,269
PISO 2	PESO	Top	773,865	0,00	6 367,282	-8 356,796
PISO 2	PESO	Bottom	802,089	0,00	6 600,366	-8 662,414
PISO 1	PESO	Top	1 053,058	0,00	8 664,657	-11 371,941
PISO 1	PESO	Bottom	1 090,102	0,00	8 970,580	-11 773,065

Nota: En la Tabla 3.2 se muestra el peso sísmico acumulado de cada entrepiso. Donde 1 090,102 tf es el valor de diseño para el cálculo del cortante basal.

Fuente: Datos exportados del análisis estructural en el programa Etabs V.13

La *Figura 50* ilustra con mayor claridad la proporción de peso sísmico de cada entrepiso. Con ello se verifica que no existe irregularidad de masa en altura.



Figura 50. Pesos sísmicos vs altura

Fuente: Elaboración propia

3.2.6.6. Fuerzas cortantes sísmicas estáticas y dinámicas

En las Tablas 3 y 4 se muestra los cortantes sísmicos estáticos y cortantes sísmicos dinámicos respectivamente.

De la Tabla 3 se obtiene el máximo cortante sísmico estático en la dirección X e Y igual a 233,235 tf ($V_x = 233,235$ tf y $V_y = 233,235$ tf).

Tabla 3

Cortante sísmico estático acumulado de cada entrepiso

Story	Case Combo	Location	VX tf	VY tf	T tf-m	MX tf-m	MY tf-m
PISO 4	SX	Top	-78,547	0	710,803	0,000	0,000
PISO 4	SX	Bottom	-78,547	0	710,803	0,000	-251,351
PISO 4	SY	Top	0	-78,547	-932,937	0,000	0,000
PISO 4	SY	Bottom	0	-78,547	-932,937	251,351	0,000
PISO 3	SX	Top	-152,184	0	1 377,223	0,000	-251,351
PISO 3	SX	Bottom	-152,184	0	1 377,223	0,000	-738,339
PISO 3	SY	Top	0	-152,184	-1 807,604	251,351	0,000
PISO 3	SY	Bottom	0	-152,184	-1 807,604	738,339	0,000
PISO 2	SX	Top	-203,590	0	1 842,459	0,000	-738,339
PISO 2	SX	Bottom	-203,590	0	1 842,459	0,000	-1 389,827
PISO 2	SY	Top	0	-203,590	-2 418,221	738,339	0,000
PISO 2	SY	Bottom	0	-203,590	-2 418,221	1 389,827	0,000
PISO 1	SX	Top	-233,235	0	2 110,768	0,000	-1 389,827
PISO 1	SX	Bottom	-233,235	0	2 110,768	0,000	-2 369,416
PISO 1	SY	Top	0	-233,235	-2 770,368	1 389,827	0,000
PISO 1	SY	Bottom	0	-233,235	-2 770,368	2 369,416	0,000

Fuente: Datos exportados del análisis estructural en el programa Etabs V.13

La *Figura 51* ilustra con mayor claridad la proporción del cortante sísmico estático de cada entrepiso.

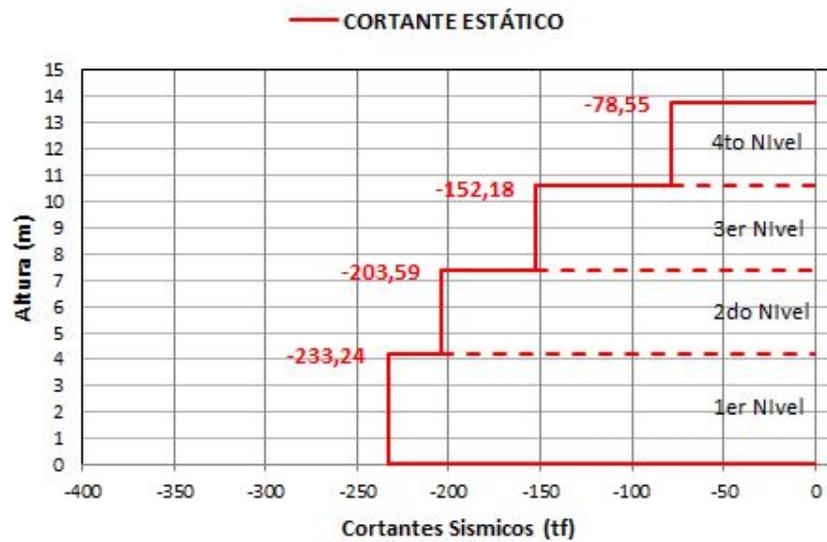


Figura 51. Cortante estático (SX, SY) vs altura

Fuente: Elaboración propia

De la Tabla 4 se obtiene el máximo cortante sísmico dinámico en la dirección X e Y ($V_x = 178,148$ tf y $V_y = 177,373$ tf).

Tabla 4

Cortante sísmico dinámico acumulado de cada entrepiso

Story	Load Case Combo	Location	VX tf	VY tf	T tf-m	MX tf-m	MY tf-m
PISO 4	DINXX Max	Top	52,509	0,022	471,887	0,000	0,000
PISO 4	DINXX Max	Bottom	52,509	0,022	471,887	0,072	168,029
PISO 4	DINYY Max	Top	0,022	52,190	616,704	0,000	0,000
PISO 4	DINYY Max	Bottom	0,022	52,190	616,704	167,007	0,072
PISO 3	DINXX Max	Top	106,838	0,046	961,261	0,072	168,029
PISO 3	DINXX Max	Bottom	106,838	0,046	961,261	0,217	508,505
PISO 3	DINYY Max	Top	0,046	106,285	1 257,413	167,007	0,072
PISO 3	DINYY Max	Bottom	0,046	106,285	1 257,413	505,696	0,217
PISO 2	DINXX Max	Top	149,309	0,064	1 346,232	0,217	508,505
PISO 2	DINXX Max	Bottom	149,309	0,064	1 346,232	0,419	981,789
PISO 2	DINYY Max	Top	0,064	148,654	1 762,346	505,696	0,217
PISO 2	DINYY Max	Bottom	0,064	148,654	1 762,346	976,883	0,420
PISO 1	DINXX Max	Top	178,148	0,076	1 610,428	0,419	981,789
PISO 1	DINXX Max	Bottom	178,148	0,076	1 610,428	0,735	1 721,029
PISO 1	DINYY Max	Top	0,076	177,373	2 108,262	976,883	0,420
PISO 1	DINYY Max	Bottom	0,076	177,373	2 108,262	1 712,929	0,736

Fuente: Datos exportados del análisis estructural en el programa Etabs V.13

La *Figura 52* ilustra con mayor claridad la proporción del cortante sísmico dinámico de cada entrepiso.

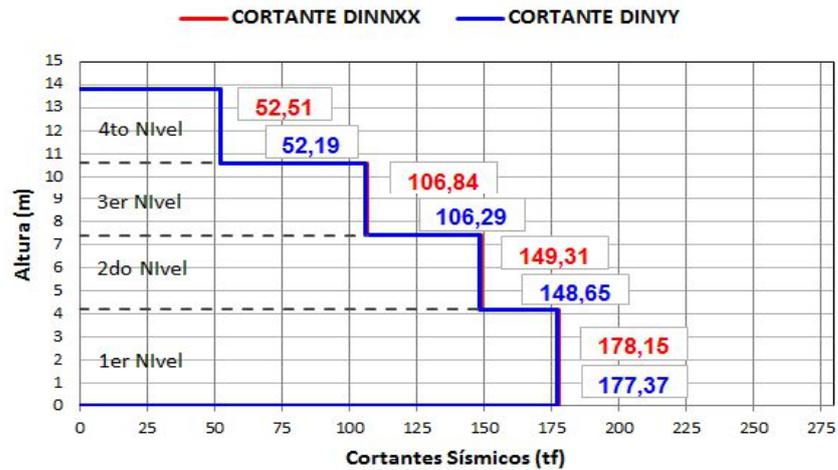


Figura 52. Cortante dinámico (DINXX, DINYY) vs altura

Fuente: Elaboración propia

3.2.6.7. Factores de escalonamiento

La fuerza cortante dinámica en el primer entrepiso del edificio no podrá ser menor que el 80 % de la fuerza sísmica estática para estructuras regulares (E.030, 2016).

En la *Figura 53* se muestra el cálculo del factor de escalonamiento sísmico dinámico para ambas direcciones de diseño.

CORTANTE SÍSMICO ESTÁTICO VS CORTANTE DINÁMICO					
1. Parámetros Sísmicos					
Factor de Zona	Z=	0,45	Coef. Irregul. en Altura	la=	1,00
Factor de Uso	U=	1,50	Coef. Irregul. en Planta	lp=	1,00
Factor de Amplif. Sísmica	C=	2,50	Factor Reduccion Basica XX	Rox=	8,00
Factor de Suelo	S=	1,05	Factor Reduccion Basica YY	Roy=	8,00
2. Resultado del Análisis Estructural					
Peso de la estructura	P=	1090,102	t		
Fuerza dinámica en XX	Fx=	178,148	t		
Fuerza dinámica en YY	Fy=	177,373	t		
3. Verificaciones Reglamentarias					
Verificacion de C/Rx		0,313	Si C/Rx > 0.125 → Ok!!		Ok!
Verificacion de C/Ry		0,313	Si C/Ry > 0.125 → Ok!!		Ok!
V. Estatico XX - Manual		241,440	t	V. Estatico YY - Manual	241,440 t
V. Estatico XX - Max. (80 u 90%)		193,152	t	V. Estatico YY - Max. (80 u 90%)	193,152 t
Factor Esc. XX		1,08		Factor Esc. YY	1,09

Figura 53. Factores de amplificación dinámica.

Fuente: Elaboración propia

Se verifica que es necesario amplificar un valor de 1,08 para la dirección XX y un valor de 1,09 para la dirección YY. Con ello se cumple la exigencia normativa de trabajar con cortante dinámico mínimo e igual al 80 % del cortante estático.

En las *Figuras 54 y 55* se muestra la amplificación dinámica definida en el software de análisis Etabs V.13 (usado para la verificación del desempeño sísmico).

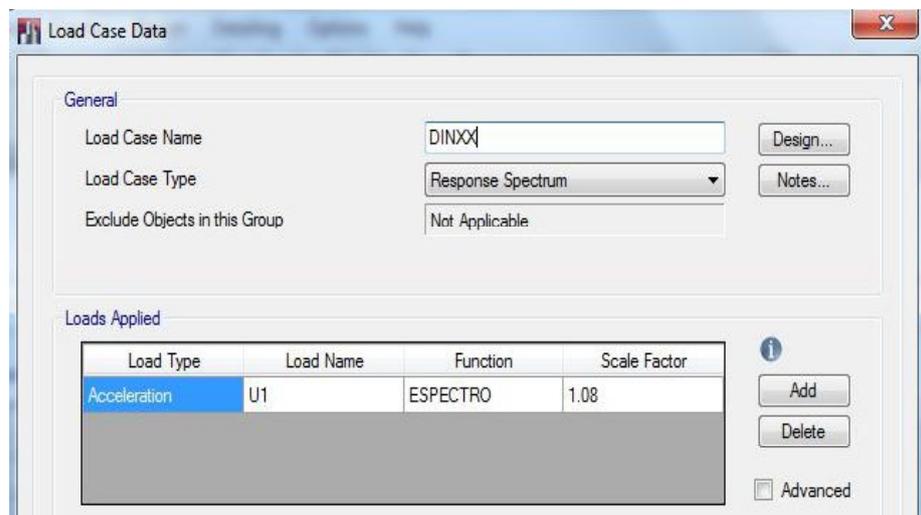


Figura 54. Amplificación dinámica XX en Etabs V.13

Fuente: Figura extraída del programa Etabs V.13

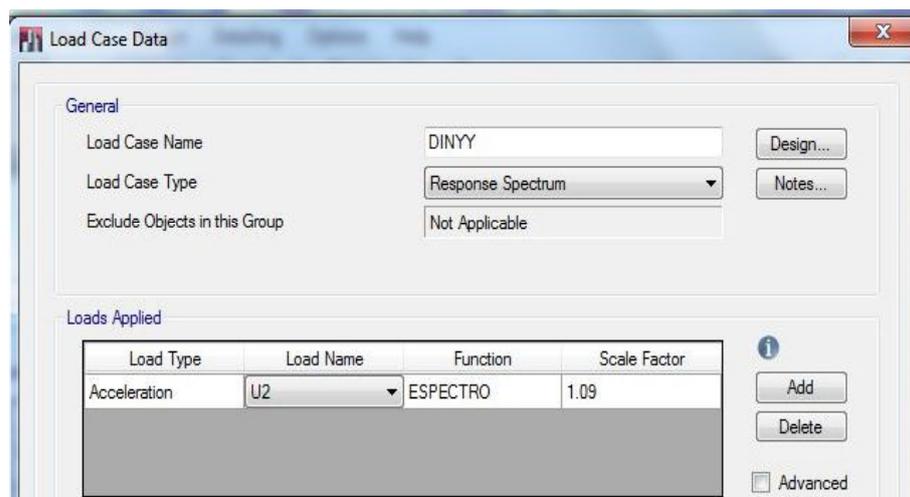


Figura 55. Amplificación dinámica YY en Etabs V.13

Fuente: Figura extraída del programa Etabs V.13

3.2.6.8. Fuerzas inerciales de entrepiso

Las fuerzas inerciales de entrepiso se calculan en proporción de los cortantes sísmicos dinámicos de cada entrepiso. Representa la fuerza de cada entrepiso que será distribuida, en proporción a la rigidez de cada pórtico.

En la Tabla 5 se presenta las fuerzas inerciales, debido al análisis dinámico en la dirección XX.

Tabla 5

Fuerzas inerciales de cada entrepiso para la dirección DINXX amplificado

Story	Elevation m	Location	X-Dir tf	Y-Dir tf
PISO 4	13,8	Top	56,710	0
PISO 3	10,6	Top	58,675	0
PISO 2	7,4	Top	45,869	0
PISO 1	4,2	Top	31,146	0
BASE	0	Top	0,000	0

Fuente: Datos exportados del análisis estructural en el programa Etabs V.13

En la *Figura 56* se muestra la proporción de fuerza inercial por cada entrepiso y se observa que la máxima fuerza inercial se encuentra en el tercer nivel con un valor de 58,67 tf.



Figura 56. Fuerzas inerciales dirección XX amplificado

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 6 se presenta las fuerzas inerciales, debido al análisis dinámico en la dirección YY.

Tabla 6

Fuerzas inerciales de cada entrepiso para la dirección DINYY amplificado

Story	Elevation m	Location	X-Dir tf	Y-Dir tf
PISO 4	13,8	Top	0,000	56,887
PISO 3	10,6	Top	0,000	58,964
PISO 2	7,4	Top	0,000	46,182
PISO 1	4,2	Top	0,000	31,304
BASE	0	Top	0,000	0,000

Fuente: Datos exportados del análisis estructural en el programa Etabs V.13

En la *Figura 57* se muestra la proporción de fuerza inercial por cada entrepiso y se observa que la máxima fuerza inercial se encuentra en el tercer nivel con un valor de 58,96 tf.

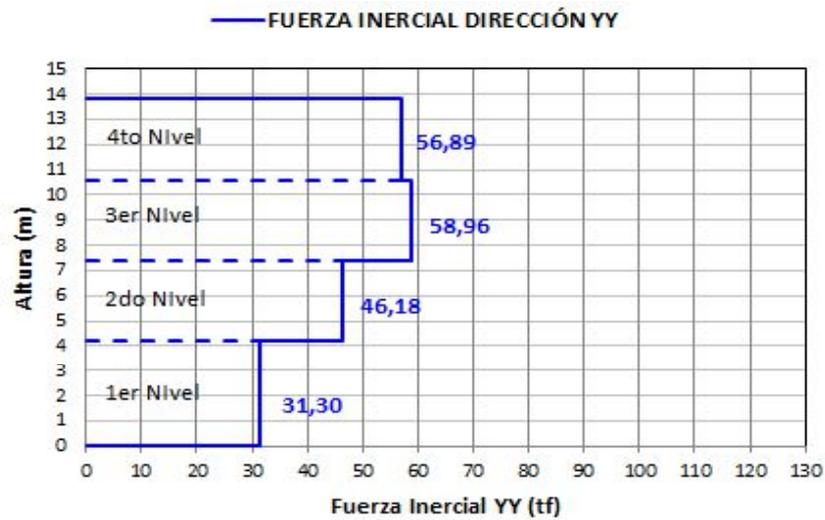


Figura 57. Fuerzas inerciales dirección YY amplificado

Fuente: Elaboración propia

3.2.6.9. Rigidez elástica de entrepiso

Es aquella calculada sin considerar amortiguamiento. Es el cociente entre la fuerza inercial y el desplazamiento.

En las Tablas 7 y 8 se muestran las rigideces elásticas de cada entrepiso para la dirección X e Y respectivamente.

Tabla 7

Rigidez elástica de cada entrepiso para la dirección X

Story	Load Case	Shear X tf	Drift X m	Stiffness X tf/m
PISO 4	SX	78,5473	0,00446	17 598,143
PISO 3	SX	152,1836	0,00792	19 215,835
PISO 2	SX	203,5901	0,01074	18 957,880
PISO 1	SX	233,2354	0,0181	12 888,767

Fuente: Datos exportados del análisis estructural en el programa Etabs V.13

Tabla 8

Rigidez elástica de cada entrepiso para la dirección Y

Story	Load Case	Shear Y tf	Drift Y m	Stiffness Y tf/m
PISO 4	SY	78,5473	0,00442	17 770,651
PISO 3	SY	152,1836	0,00795	19 140,206
PISO 2	SY	203,5901	0,01089	18 694,346
PISO 1	SY	233,2354	0,01828	12 757,236

Fuente: Datos exportados del análisis estructural en el programa Etabs V.13

En las Figuras 58 y 59 se muestran las rigideces elásticas de cada entrepiso y se observa que en ambas direcciones el segundo y tercer nivel son los de mayor rigidez elástica.

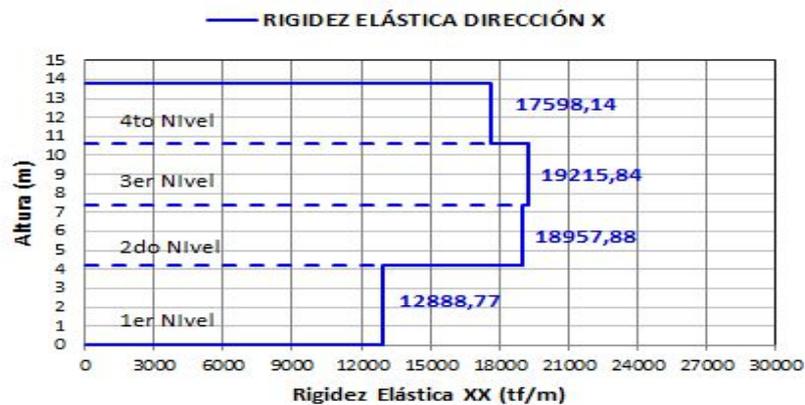


Figura 58. Grafica de rigidez elástica vs altura en la dirección XX

Fuente: Elaboración propia

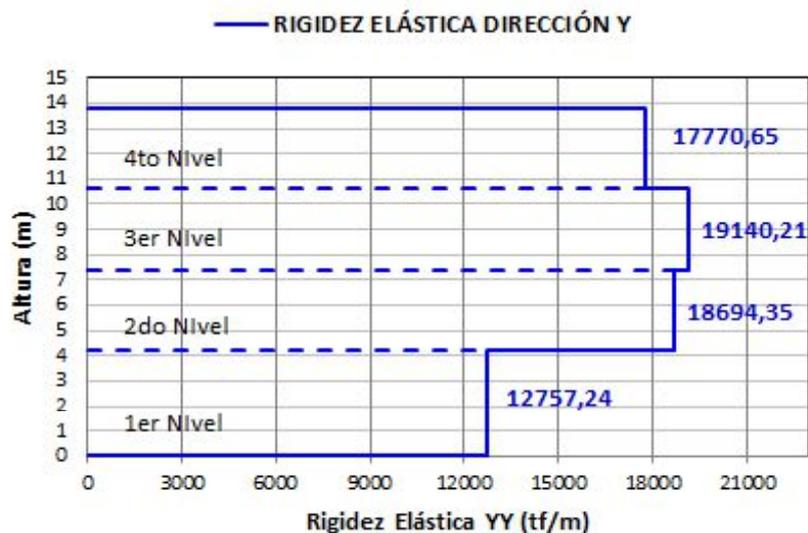


Figura 59. Grafica de rigidez elástica vs altura en la dirección YY.

Fuente: Elaboración propia

A mayor rigidez- mayor sismo de acuerdo al análisis sísmico que se ha realizado se observa que en el tercer piso es de mayor rigidez es por eso que la mayor fuerza inercial se da en el tercer nivel.

Puede tener influencia la forma o disposición de los disipadores, tal vez variando la disposición en altura pueda cambiar la rigidez de entrepiso.

3.2.6.10. Desplazamientos y distorsiones angulares permisibles de entrepiso

De la norma de diseño sismorresistente E030 se desprende que los desplazamientos laterales en estado de servicio se calcularan multiplicando por 0,75 R los resultados obtenidos del análisis lineal y elástico con las solicitaciones sísmicas reducidas.

Los máximos desplazamientos elásticos en la estructura de concreto armado deben ser menores que 0,007 (E.030, 2016).

En las Tablas 9 y 10 se muestra las distorsiones elásticas de entrepiso de la dirección X e Y respectivamente.

Tabla 9

Distorsión angular elástica para la dirección XX

Story	Load Case Combo	Label	Item	Drift	X m	Y m	Z m
PISO 4	DESPXX Max	12	Max Drift X	0,001116	21,58	0,00	13,80
PISO 4	DESPXX Min	12	Max Drift X	0,001106	21,58	0,00	13,80
PISO 3	DESPXX Max	12	Max Drift X	0,002054	21,58	0,00	10,60
PISO 3	DESPXX Min	12	Max Drift X	0,002048	21,58	0,00	10,60
PISO 2	DESPXX Max	12	Max Drift X	0,002909	21,58	0,00	7,40
PISO 2	DESPXX Min	12	Max Drift X	0,002897	21,58	0,00	7,40
PISO 1	DESPXX Max	12	Max Drift X	0,003873	21,58	0,00	4,20
PISO 1	DESPXX Min	12	Max Drift X	0,003861	21,58	0,00	4,20

Fuente: Datos exportados del análisis estructural en el programa Etabs V.13

De la Tabla 9 se concluye que la máxima distorsión elástica es de 0,003873 y se encuentra en el primer piso.

Tabla 10

Distorsión angular elástica para la dirección YY

Story	Load Case Combo	Label	Item	Drift	X m	Y m	Z m
PISO 4	DESPYY Max	25	Max Drift Y	0,001170	0,00	16,44	13,80
PISO 4	DESPYY Min	25	Max Drift Y	0,001157	0,00	16,44	13,80
PISO 3	DESPYY Max	25	Max Drift Y	0,002187	0,00	16,44	10,60
PISO 3	DESPYY Min	25	Max Drift Y	0,002175	0,00	16,44	10,60
PISO 2	DESPYY Max	25	Max Drift Y	0,003126	0,00	16,44	7,40
PISO 2	DESPYY Min	25	Max Drift Y	0,003118	0,00	16,44	7,40
PISO 1	DESPYY Max	25	Max Drift Y	0,004150	0,00	16,44	4,20
PISO 1	DESPYY Min	25	Max Drift Y	0,004147	0,00	16,44	4,20

Fuente: Datos exportados del análisis estructural en el programa Etabs V.13

De la Tabla 10 se concluye que la máxima distorsión elástica es de 0,004150 y se encuentra en el primer piso.

En las Tablas 11 y 12, así como en las Figuras 60 y 61 se presenta las distorsiones angulares reglamentarias en las direcciones X e Y respectivamente. Se verifica finalmente que ante solicitaciones sísmicas severas la presente edificación colapsara, por lo que queda evidenciada la necesidad de incorporar una solución que permita controlar las distorsiones angulares reglamentarias.

Tabla 11

Distorsión angular elástica reglamentaria para la dirección XX

Piso	Δ Angular	Rx	f	Reg.	Derivas	E.030	Exceso	Control
4	0,001116	8,00	1,08	0,75	0,00620	0,00700	0,00 %	OK
3	0,002054	8,00	1,08	0,75	0,01141	0,00700	63,02 %	REFORZAR
2	0,002909	8,00	1,08	0,75	0,01616	0,00700	130,87 %	REFORZAR
1	0,003873	8,00	1,08	0,75	0,02152	0,00700	207,38 %	REFORZAR

Fuente: Elaboración propia

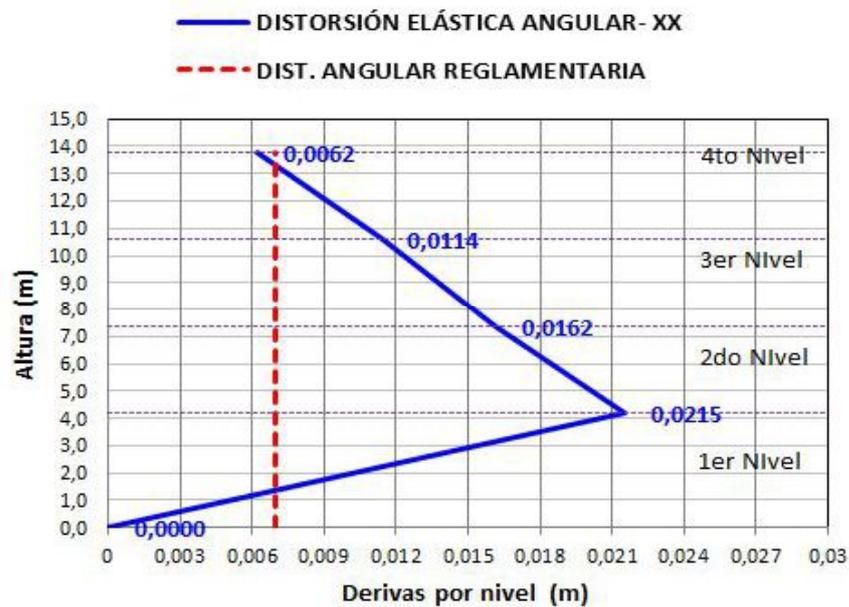


Figura 60. Distorsión angular elástica XX vs distorsión angular reglamentaria

Fuente: Elaboración propia

Tabla 12

Distorsión angular inelástica reglamentaria para la dirección YY

Piso	Δ Angular	Ry	f	Reg.	Derivas	E.030	Exceso	Control
4	0,001170	8,00	1,09	0,75	0,00644	0,00700	0,00 %	OK
3	0,002187	8,00	1,09	0,75	0,01204	0,00700	71,98 %	REFORZAR
2	0,003126	8,00	1,09	0,75	0,01721	0,00700	145,82 %	REFORZAR
1	0,004150	8,00	1,09	0,75	0,02284	0,00700	226,34 %	REFORZAR

Fuente: Elaboración propia

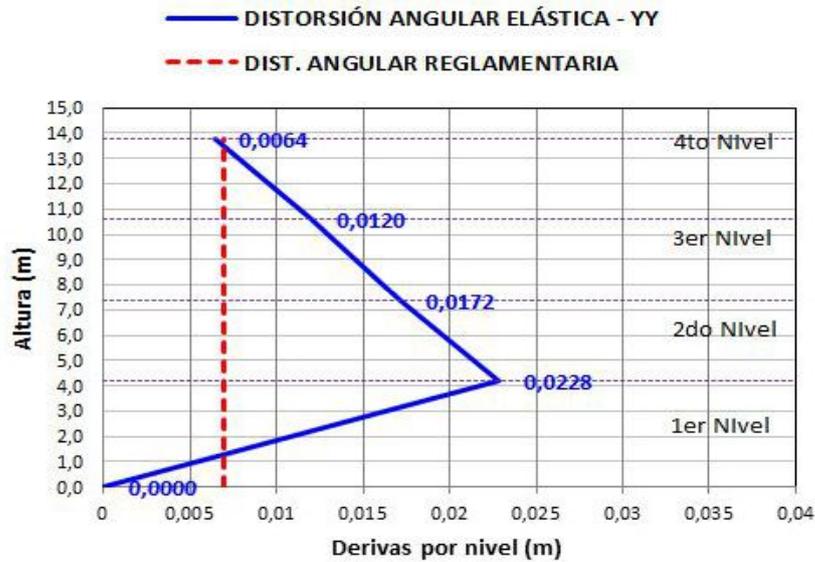


Figura 61. Distorsión angular elástica YY vs distorsión angular reglamentaria

Fuente: Elaboración propia

3.2.6.11. Modos de vibración

Los modos de vibración resultan de un análisis modal calculado a partir de la masa y rigidez del sistema. El análisis modal nos da los periodos y frecuencias de la edificación analizada.

En la Tabla 13 se presentan los periodos y participación de masa asociados para cada coordenada modal.

Se definieron en total doce modos de vibración, considerando tres modos por cada nivel de entrepiso.

Tabla 13*Resultados del análisis modal de la edificación*

Case	Mode	Period	UX	UY	Sum UX	Sum UY	Sum RX	Sum RY
		s						
Modal	1	0,741	0,000	0,931	3,46E-05	0,931	0,089	0,000
Modal	2	0,737	0,931	0,000	0,931	0,931	0,089	0,089
Modal	3	0,673	0,000	0,000	0,931	0,932	0,089	0,089
Modal	4	0,231	0,000	0,058	0,931	0,989	0,961	0,089
Modal	5	0,230	0,059	0,000	0,989	0,989	0,961	0,962
Modal	6	0,211	0,000	0,000	0,989	0,989	0,961	0,962
Modal	7	0,129	0,000	0,009	0,989	0,998	0,984	0,962
Modal	8	0,128	0,009	0,000	0,999	0,998	0,984	0,984
Modal	9	0,118	0,000	0,000	0,999	0,998	0,984	0,984
Modal	10	0,090	0,000	0,001	0,999	1,000	1,000	0,984
Modal	11	0,090	0,001	0,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Modal	12	0,083	0,000	0,000	1,000	1,000	1,000	1,000

Nota: Se observa que el modo 1 tiene una componente traslacional en la dirección Y. Se observa que el modo 2 tiene una componente traslacional en la dirección X.

Fuente: Datos exportados del análisis estructural en el programa Etabs V.13

3.2.7. Diseño de los dispositivos pasivos de disipación de energía

Partiremos del sistema aporticado planteado anteriormente y se incorporarán los dispositivos tipo viscoelásticos sólidos.

3.2.7.1. Cálculos para disipadores visco elásticos sólidos

Por un tema didáctico estamos utilizando como referencia algunos valores utilizados en el libro *Edificaciones con dispositivos pasivos de disipación de energía* (Villareal, G. & Oviedo, R., 2009).

1. Diseño para el primer piso:

a) Rigidez de la estructura sin disipadores (columnas)

$$K = \frac{12 \cdot E_c \cdot I}{H^3} \quad \text{Ecuación (3)}$$

$$I = \frac{b \cdot h^3}{12} \quad \text{Ecuación (4)}$$

Dónde:

K = Rigidez de la estructura sin disipadores (t/m)

E_c = Módulo de elasticidad del concreto (t/m²)

I = Momento de inercia de la sección con respecto al eje que pasa por el centroide (m⁴)

H = Altura total del elemento (m)

b = Ancho del elemento (m)

h = Espesor del elemento (m)

Datos:

✓ $E_c = 2\,173\,706,512 \text{ t/m}^2$

✓ Dimensión de columnas = 0,35 x 0,35 m

$$K = \frac{12 * 2\,173\,706,512 * \left(\frac{0,35 * 0,35^3}{12}\right)}{4,2^3}$$

$$K = 440,276 \text{ t/m}$$

$$K = 440,276 * 30 \text{ (cantidad de columnas)}$$

$$K = 13\,200 \text{ t/m}$$

b) Cálculo de la rigidez del disipador viscoelástico

Determinamos la rigidez del disipador viscoelástico, mediante la siguiente fórmula:

$$K_d = \frac{2 * \beta * K_e}{(\eta - 2\beta) * \alpha_d} \quad \text{Ecuación (5)}$$

Dónde:

K_d = Rigidez del disipador viscoelástico (t/m)

K_s = Rigidez de la estructura (t/m)

β = Radio de amortiguamiento adicionado

η = Factor de pérdida, $G''(\omega)/G'(\omega)$

α_d = Coeficiente de acoplamiento del disipador a la estructura

$$K_d = \frac{2 * 0,18 * 13\ 200}{(1,39 - 2 * (0,18)) * 0,566}$$

$$K_d = 8\ 150\ \text{t/m}$$

c) Posteriormente, calculamos el área del disipador viscoelástico:

$$A = \frac{K_d * h}{G'(\omega)} \quad \text{Ecuación (6)}$$

Siendo:

A = Área del disipador viscoelástico (m²)

h = Espesor del disipador (m)

$G'(\omega)$ = Módulo de almacenamiento de corte del material (t/m²)

$$A = \frac{8\ 150 * 0,0157}{126,54}$$

$$A = 1,01\ \text{m}^2$$

d) Luego, determinamos el coeficiente de amortiguamiento viscoso equivalente:

$$C_d = \frac{A * G''(\omega)}{(2\pi/T_1)h} \quad \text{Ecuación (7)}$$

Dónde:

C_d = Coeficiente de amortiguamiento viscoso equivalente (t.s/m)

$G''(\omega)$ = Módulo de pérdida de corte del material (t/m²)

T_1 = Período del primer modo de vibración de la estructura (s)

$$C_d = \frac{1,01 * 175,75}{(2\pi/0,741) * 0,0157}$$
$$C_d = 1\,330 \text{ t.s/m}^2$$

2. Diseño para el segundo, tercer y cuarto piso:

a) Rigidez de las columnas

$$K = \frac{12 * 2\,173\,706,512 * \left(\frac{0,35 * 0,35^3}{12}\right)}{3,2^3}$$

$$K = 995,458 \text{ t/m}$$

$$K = 995,458 * 30 \text{ (cantidad de columnas)}$$

$$K = 29\,900 \text{ t/m}$$

b) Cálculo de la rigidez del disipador viscoelástico

Determinamos la rigidez del disipador viscoelástico, mediante la siguiente fórmula:

$$K_d = \frac{2 * 0,18 * 29\,900}{(1,39 - 2 * (0,18)) * 0,566}$$

$$K_d = 18\,465 \text{ t/m}$$

c) Posteriormente, calculamos el área del disipador viscoelástico:

$$A = \frac{18\,465 * 0,0157}{126,54}$$

$$A = 2,29 \text{ m}^2$$

d) Luego, determinamos el coeficiente de amortiguamiento viscoso equivalente:

$$C_d = \frac{2,29 * 175,75}{\left(\frac{2\pi}{0,741}\right) * 0,0157}$$

$$C_d = 3\,025 \text{ t}\cdot\text{s}/\text{m}^2$$

3.2.7.2. Modelamiento estructural (Etabs V.13)

Se procede a definir las propiedades y a diseñar los brazos metálicos en el software estructural (Define - Section Properties – Link/Support Properties – add new properties). Como se muestran en las siguientes figuras.

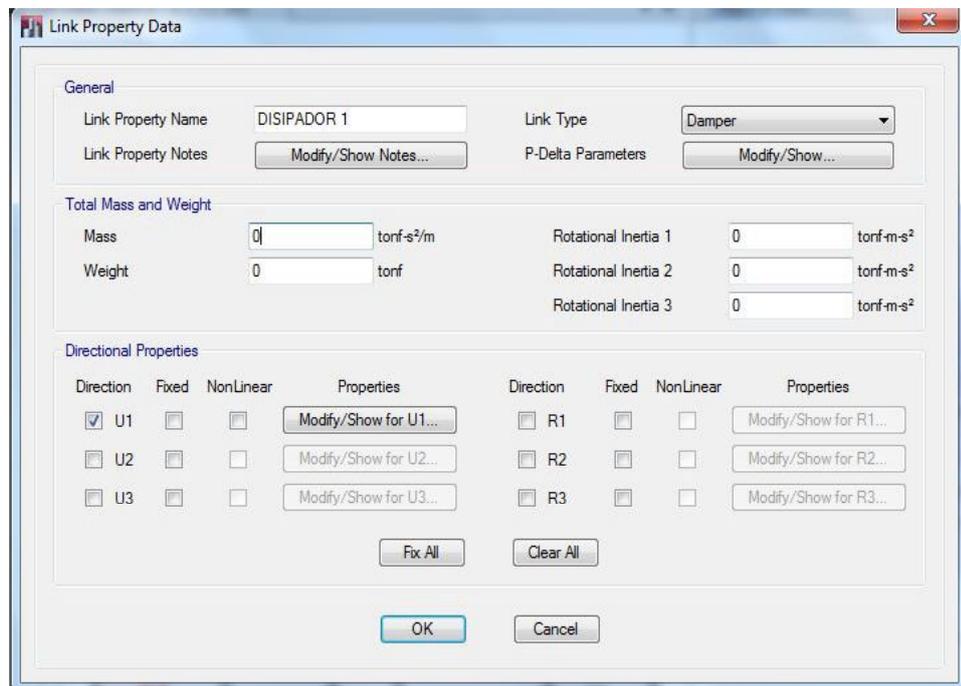


Figura 62. Definición de DISIPADOR 1 del 1er nivel en Etabs V13

Fuente: Figura extraída del programa Etabs V.13

Asimismo se procede

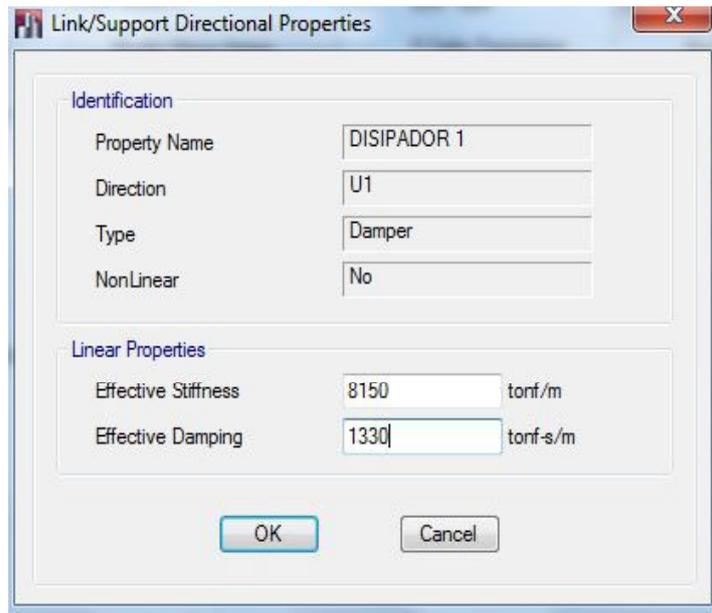


Figura 63. Propiedades de DISIPADOR 1 del 1er nivel en Etabs V13
Fuente: Figura extraída del programa Etabs V.13

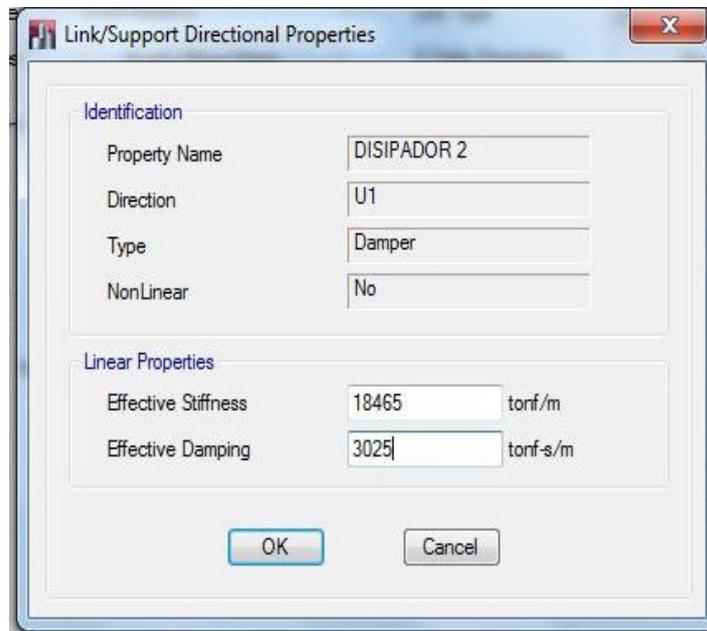


Figura 64. Propiedades de DISIPADOR 2 del 2do, 3er y 4to nivel en Etabs V13
Fuente: Figura extraída del programa Etabs V.13

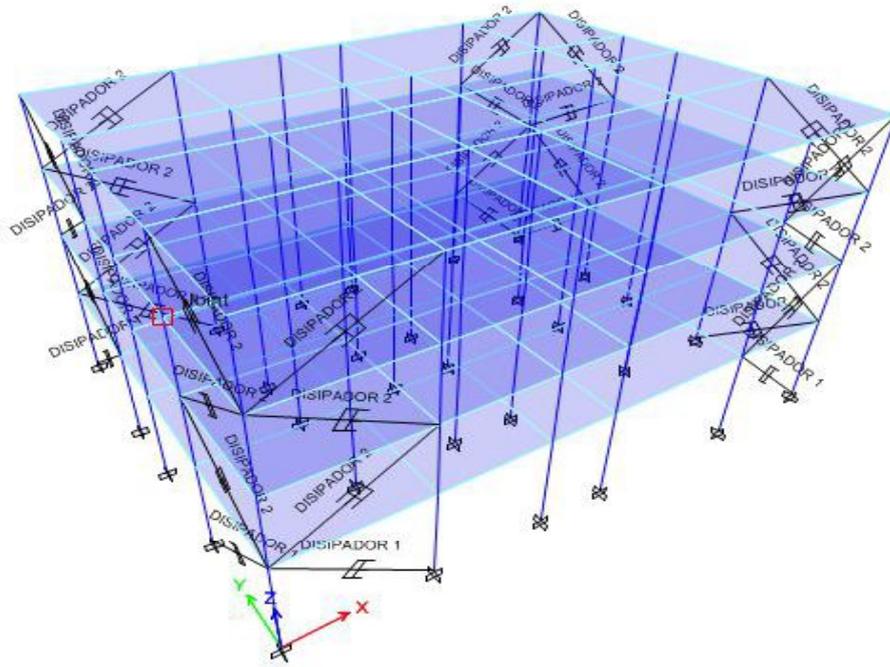


Figura 65. Ubicación de las diagonales en todos los niveles

Fuente: Figura extraída del programa Etabs V.13

A continuación se muestra la estructura modelada con el disipador en todos los niveles.

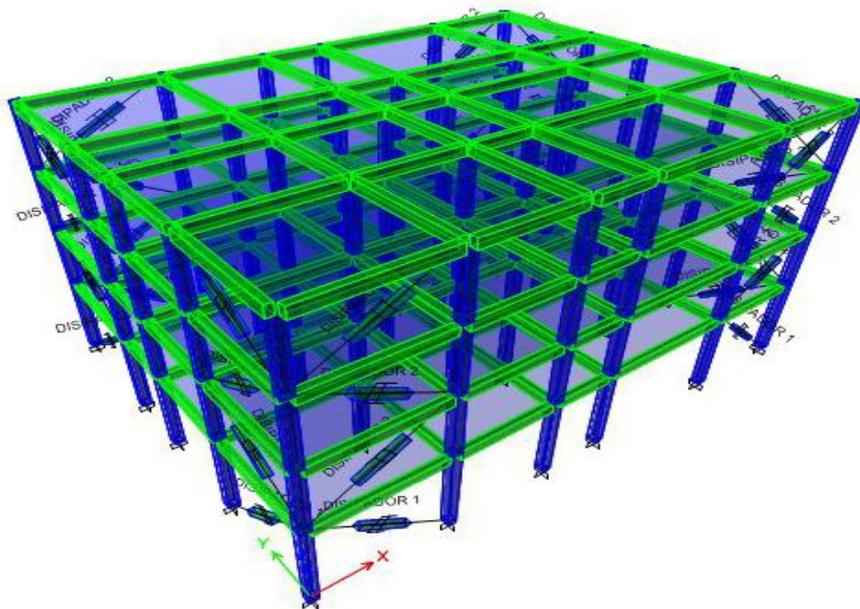


Figura 66. Ubicación de los disipadores en todos los niveles.

Fuente: Figura extraída del programa Etabs V.13

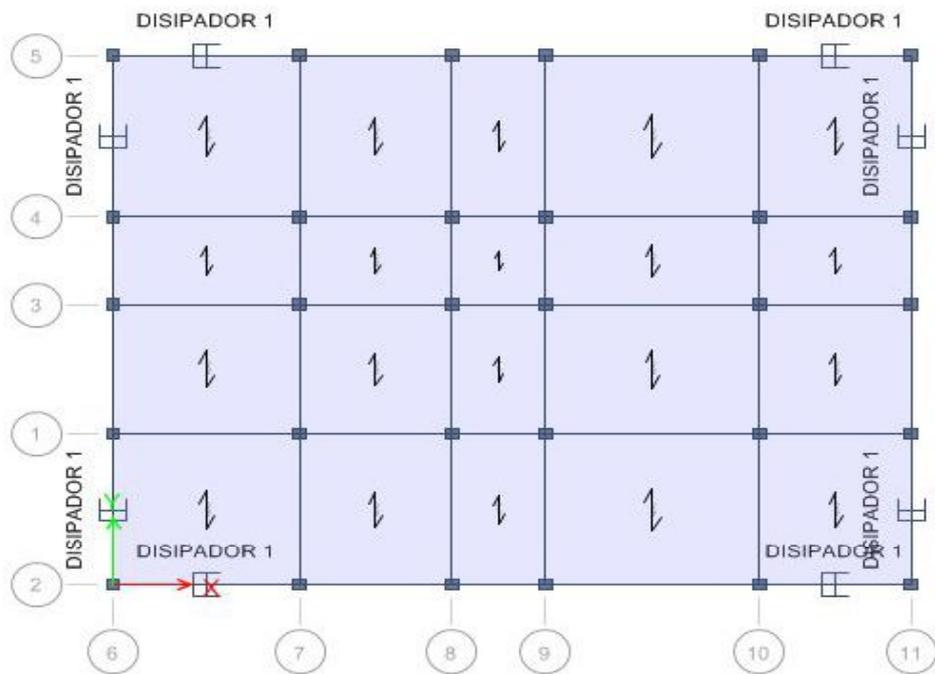


Figura 67. Vista en planta de los disipadores del 1er nivel en Etabs V13

Fuente: Figura extraída del programa Etabs V.13



Figura 68. Vista en planta de los disipadores del 2do, 3er y 4to nivel en Etabs V13

Fuente: Figura extraída del programa Etabs V.13

3.2.7.3. Análisis dinámico con dispositivos visco elásticos sólidos

a) Factor de escala sísmica estática

Los factores de escala sísmica estática son los mismos que se usaron para el sistema aporticado sin disipadores.

b) Aceleración espectral de diseño

El espectro de diseño es el mismo que se usó para el análisis sísmico del sistema aporticado sin disipadores de energía

c) Centros de masa y rigidez

Los centros de masa y rigidez son los mismos que se obtuvieron en el modelamiento del sistema aporticado sin disipadores.

d) Peso total de la estructura

El peso total de la estructura es el mismo que se obtuvo en el modelamiento del sistema aporticado sin disipadores.

e) Fuerzas cortantes sísmicas estáticas y dinámicas

Las fuerzas cortantes estáticas son las mismas que se obtuvieron en el modelamiento del sistema aporticado sin disipadores.

De la Tabla 14 se obtiene el máximo cortante sísmico dinámico en la dirección X e Y ($V_x = 113,365$ tf y $V_y = 113,618$ tf).

Tabla 14

Cortante sísmico dinámico acumulado de cada entrepiso

Story	Load Case Combo	Location	VX tf	VY tf	T tf-m	MX tf-m	MY tf-m
PISO 4	DINXX Max	Top	27,643	0,156	250,268	0,000	0,000
PISO 4	DINXX Max	Bottom	27,643	0,156	250,268	0,499	88,456
PISO 4	DINYY Max	Top	0,160	27,453	326,194	0,000	0,000
PISO 4	DINYY Max	Bottom	0,160	27,453	326,194	87,851	0,512
PISO 3	DINXX Max	Top	59,523	0,336	538,890	0,499	88,456
PISO 3	DINXX Max	Bottom	59,523	0,336	538,890	1,571	278,824
PISO 3	DINYY Max	Top	0,342	59,326	704,941	87,851	0,512
PISO 3	DINYY Max	Bottom	0,342	59,326	704,941	277,605	1,603
PISO 2	DINXX Max	Top	88,724	0,486	803,711	1,571	278,824
PISO 2	DINXX Max	Bottom	88,724	0,486	803,711	3,118	562,040
PISO 2	DINYY Max	Top	0,493	88,711	1 054,593	277,605	1,603
PISO 2	DINYY Max	Bottom	0,493	88,711	1 054,593	560,860	3,174
PISO 1	DINXX Max	Top	113,365	0,589	1 028,910	3,118	562,040
PISO 1	DINXX Max	Bottom	113,365	0,589	1 028,910	5,580	1 035,190
PISO 1	DINYY Max	Top	0,589	113,618	1 352,973	560,860	3,174
PISO 1	DINYY Max	Bottom	0,589	113,618	1 352,973	1 035,299	5,640

Fuente: Datos exportados del análisis estructural en el programa Etabs V.13

La *Figura 69* ilustra con mayor claridad la proporción del cortante sísmico dinámico de cada entrepiso.

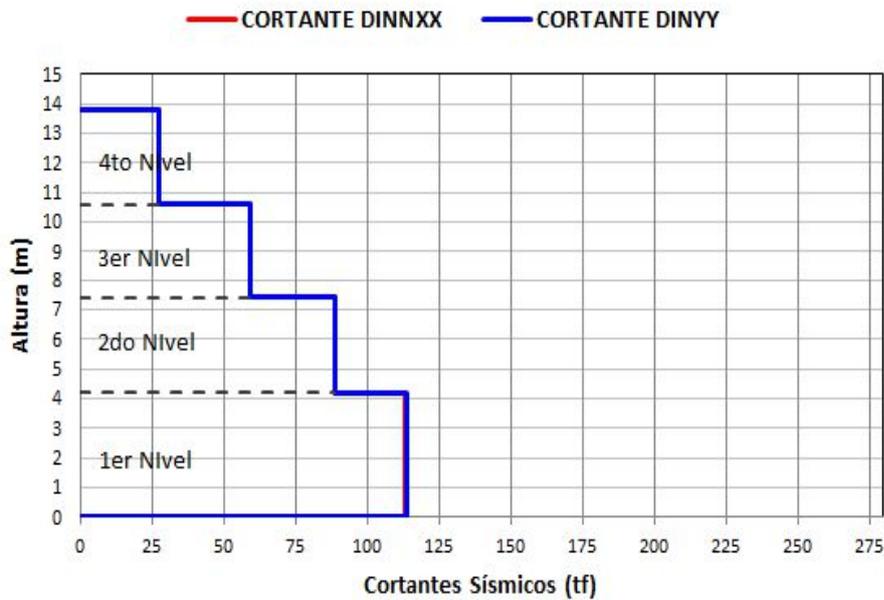


Figura 69. Cortante dinámico (DINXX, DINYY) vs altura

Fuente: Elaboración propia

f) Fuerzas inerciales de entrepiso

Las fuerzas inerciales de entrepiso se calculan en proporción de los cortantes sísmicos dinámicos de cada entrepiso. Representa la fuerza de cada entrepiso que será distribuida, en proporción a la rigidez de cada pórtico.

En la Tabla 15 se presenta las fuerzas inerciales, debido al análisis dinámico en la dirección XX.

Tabla 15

Fuerzas inerciales de cada entrepiso para la dirección DINXX

Story	Elevation m	Location	X-Dir tf	Y-Dir tf
PISO 4	13,8	Top	27,643	0
PISO 3	10,6	Top	31,880	0
PISO 2	7,4	Top	29,201	0
PISO 1	4,2	Top	24,642	0
BASE	0	Top	0,000	0

Fuente: Datos exportados del análisis estructural en el programa Etabs V.13

En la *Figura 70* se muestra la proporción de fuerza inercial por cada entrepiso y se observa que la máxima fuerza inercial se encuentra en el tercer nivel con un valor de 31,88 tf.

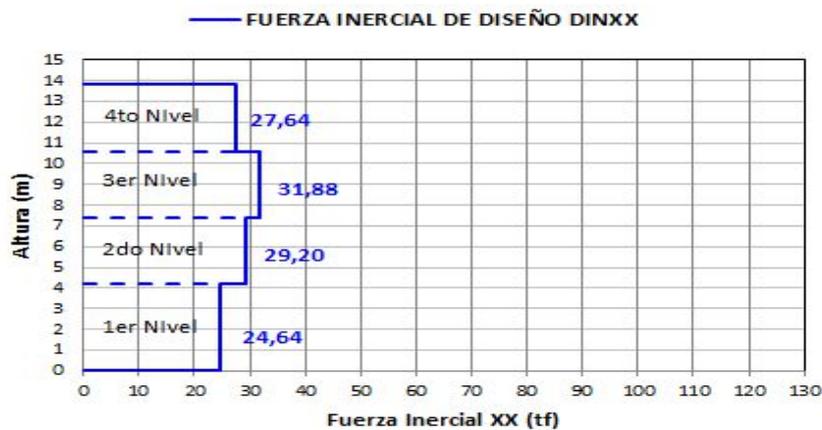


Figura 70. Fuerzas inerciales DINXX

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 16 se presenta las fuerzas inerciales, debido al análisis dinámico en la dirección YY.

Tabla 16

Fuerzas inerciales de cada entrepiso para la dirección DINYY

Story	Elevation m	Location	X-Dir tf	Y-Dir tf
PISO 4	13,8	Top	0,000	27,453
PISO 3	10,6	Top	0,000	31,873
PISO 2	7,4	Top	0,000	29,385
PISO 1	4,2	Top	0,000	24,907
BASE	0	Top	0,000	0,000

Fuente: Datos exportados del análisis estructural en el programa Etabs V.13

En la *Figura 71* se muestra la proporción de fuerza inercial por cada entrepiso y se observa que la máxima fuerza inercial se encuentra en el tercer nivel con un valor de 31,87 tf.

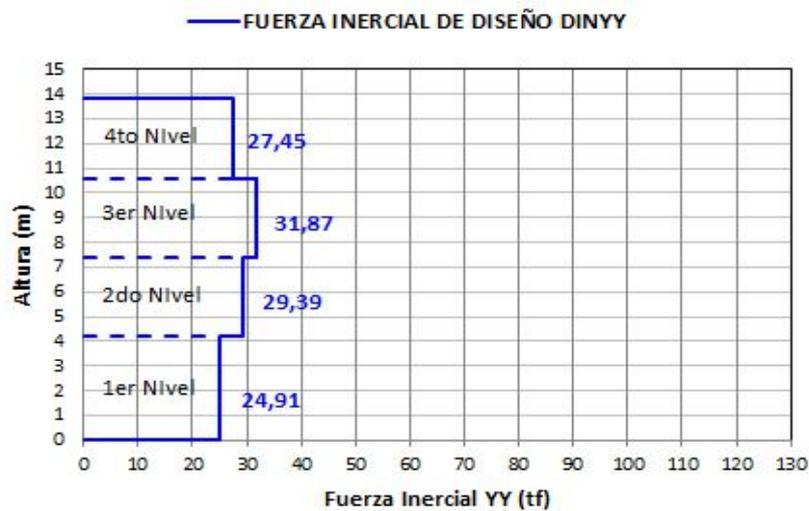


Figura 71. Fuerzas inerciales DINYY

Fuente: Elaboración propia

g) Rigidez elástica de entrepiso

Es aquella calculada sin considerar amortiguamiento. Es el cociente entre la fuerza inercial y el desplazamiento.

En las Tablas 17 y 18 se muestran las rigideces elásticas de cada entrepiso para la dirección X e Y respectivamente.

En las Figuras 72 y 73 se muestran las rigideces elásticas de cada entrepiso y se observa que en ambas direcciones el segundo y tercer nivel son los de mayor rigidez elástica.

Tabla 17

Rigidez elástica de cada entrepiso para la dirección X

Story	Load Case	Shear X tf	Drift X m	Stiffness X tf/m
PISO 4	DINXX	27,6426	0,00097	28 583,455
PISO 3	DINXX	59,5225	0,00143	41 561,154
PISO 2	DINXX	88,7235	0,00187	47 560,558
PISO 1	DINXX	113,3652	0,00405	27 975,206

Fuente: Datos exportados del análisis estructural en el programa Etabs V.13

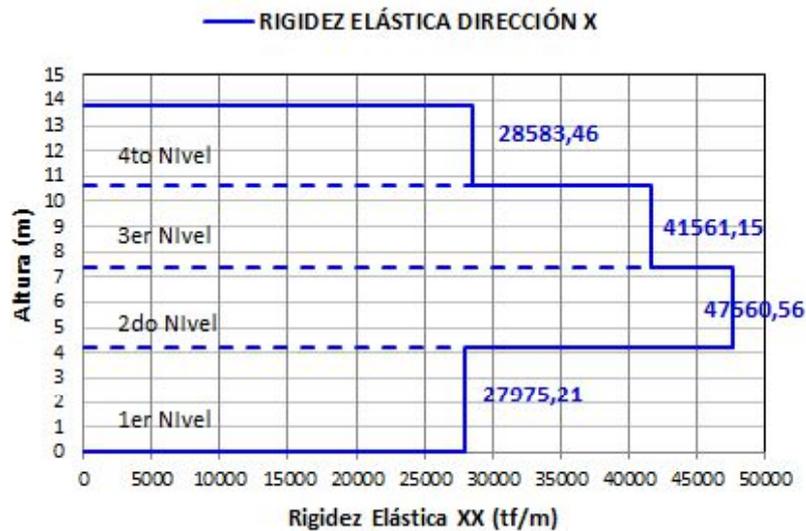


Figura 72. Gráfica de rigidez elástica vs altura en la dirección XX

Fuente: Elaboración propia

Tabla 18

Rigidez elástica de cada entrepiso para la dirección Y

Story	Load Case	Shear Y tf	Drift Y m	Stiffness Y tf/m
PISO 4	DINYY	27,4533	0,00086	31 795,036
PISO 3	DINYY	59,3263	0,00133	44 733,132
PISO 2	DINYY	88,7114	0,00178	49 800,205
PISO 1	DINYY	113,6183	0,00398	28 568,203

Fuente: Datos exportados del análisis estructural en el programa Etabs V.13

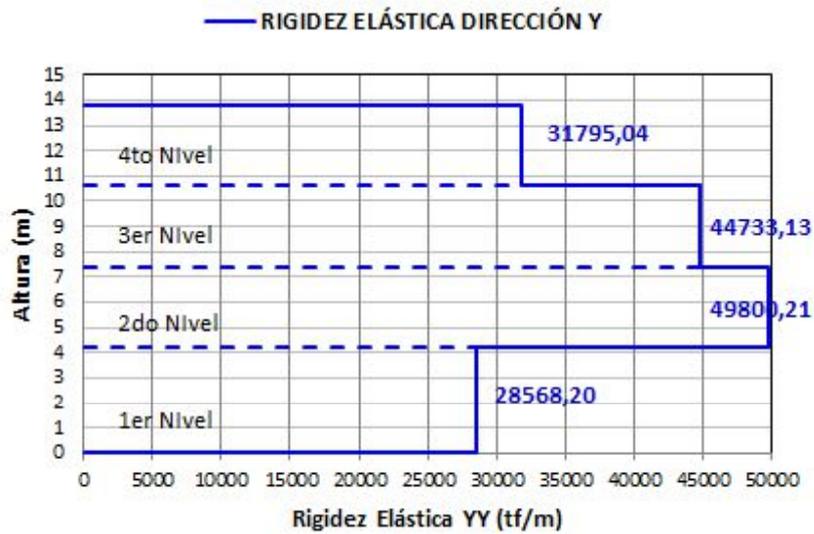


Figura 73. Grafica de rigidez elástica vs altura en la dirección YY

Fuente: Elaboración propia

h) Desplazamientos y distorsiones angulares permisibles de entrepiso

De la norma de diseño sismorresistente E030 se desprende que los desplazamientos laterales en estado de servicio se calcularán multiplicando por 0,75 R los resultados obtenidos del análisis lineal y elástico con las solicitaciones sísmicas reducidas.

Los máximos desplazamientos elásticos en la estructura de concreto armado deben ser menores que 0,007.

En las Tablas 19 y 20 se muestra las distorsiones elásticas de entrepiso de la dirección X e Y respectivamente.

Tabla 19

Distorsión angular elástica para la dirección XX

Story	Load Case Combo	Label	Item	Drift	X m	Y m	Z m
PISO 4	DESPXX Max	12	Max Drift X	0,000308	21,58	0,00	13,80
PISO 4	DESPXX Min	12	Max Drift X	0,000306	21,58	0,00	13,80
PISO 3	DESPXX Max	30	Max Drift X	0,000429	21,58	16,44	10,60
PISO 3	DESPXX Min	30	Max Drift X	0,000483	21,58	16,44	10,60
PISO 2	DESPXX Max	12	Max Drift X	0,000621	21,58	0,00	7,40
PISO 2	DESPXX Min	12	Max Drift X	0,000571	21,58	0,00	7,40
PISO 1	DESPXX Max	30	Max Drift X	0,000941	21,58	16,44	4,20
PISO 1	DESPXX Min	30	Max Drift X	0,001045	21,58	16,44	4,20

Fuente: Datos exportados del análisis estructural en el programa Etabs V.13

De la Tabla 19 se concluye que la máxima distorsión elástica es de 0,001045 y se encuentra en el primer piso.

Tabla 20

Distorsión angular elástica para la dirección YY

Story	Load Case Combo	Label	Item	Drift	X m	Y m	Z m
PISO 4	DESPYY Max	25	Max Drift Y	0,000294	0,00	16,44	13,80
PISO 4	DESPYY Min	30	Max Drift Y	0,000262	21,58	16,44	13,80
PISO 3	DESPYY Max	30	Max Drift Y	0,000421	21,58	16,44	10,60
PISO 3	DESPYY Min	30	Max Drift Y	0,000436	21,58	16,44	10,60
PISO 2	DESPYY Max	25	Max Drift Y	0,000611	0,00	16,44	7,40
PISO 2	DESPYY Min	25	Max Drift Y	0,000543	0,00	16,44	7,40
PISO 1	DESPYY Max	30	Max Drift Y	0,000950	21,58	16,44	4,20
PISO 1	DESPYY Min	30	Max Drift Y	0,001028	21,58	16,44	4,20

Fuente: Datos exportados del análisis estructural en el programa Etabs V.13

De la Tabla 20 se concluye que la máxima distorsión elástica es de 0,001028 y se encuentra en el primer piso.

En las Tablas 21 y 22, así como en las Figuras 74 y 75 se presenta las distorsiones angulares reglamentarias en las direcciones X e Y respectivamente. Se verifica finalmente que ante solicitaciones sísmicas severas, al incorporar una solución que permita controlar las distorsiones angulares reglamentarias, se evitara que la presente edificación colapse.

Tabla 21

Control de distorsiones angulares de entrepiso en XX

Piso	Δ Angular	Rx	f	Reg.	Derivas	E.030	Exceso	Control
4	0,000308	8,00	1,00	0,75	0,00185	0,00700	0,00 %	OK
3	0,000483	8,00	1,00	0,75	0,00290	0,00700	0,00 %	OK
2	0,000621	8,00	1,00	0,75	0,00373	0,00700	0,00 %	OK
1	0,001045	8,00	1,00	0,75	0,00627	0,00700	0,00 %	OK

Fuente: Elaboración propia

Tabla 22

Control de distorsiones angulares de entrepiso en YY

Piso	Δ Angular	Ry	f	Reg.	Derivas	E.030	Exceso	Control
4	0,000294	8,00	1,00	0,75	0,00176	0,00700	0,00 %	OK
3	0,000436	8,00	1,00	0,75	0,00262	0,00700	0,00 %	OK
2	0,000611	8,00	1,00	0,75	0,00367	0,00700	0,00 %	OK
1	0,001028	8,00	1,00	0,75	0,00617	0,00700	0,00 %	OK

Fuente: Elaboración propia

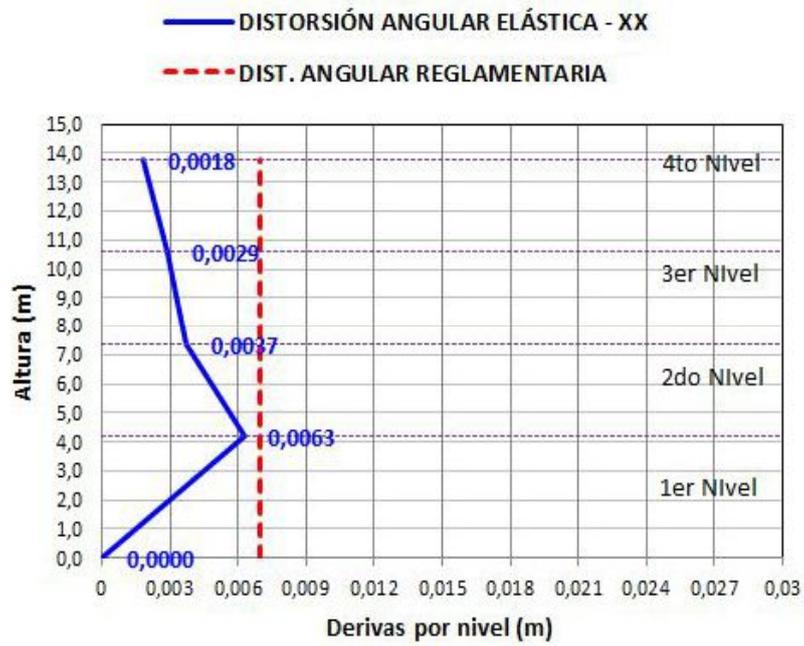


Figura 74. Distorsión angular elástica XX vs distorsión angular reglamentaria
Fuente: Elaboración propia

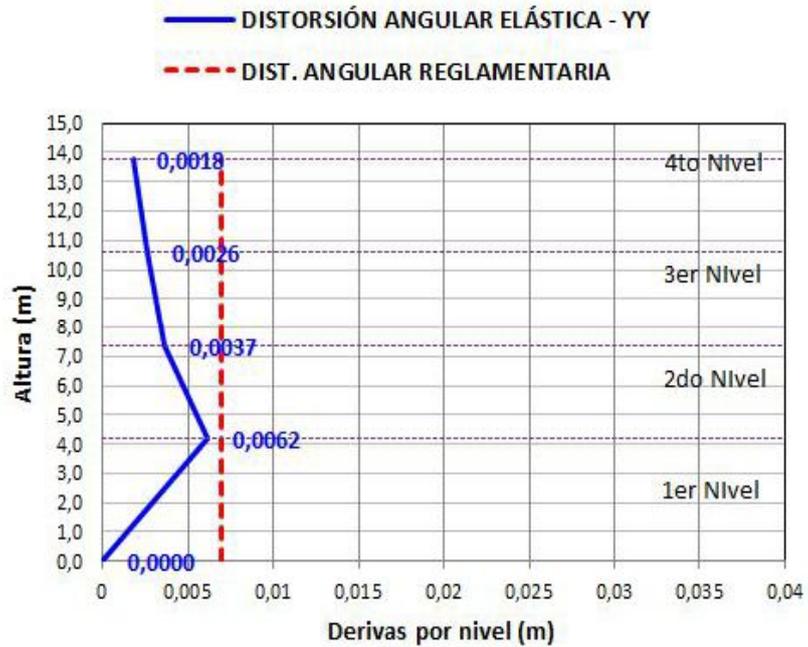


Figura 75. Distorsión angular elástica YY vs distorsión angular reglamentaria
Fuente: Elaboración propia

i) Modos de vibración

Los modos de vibración resultan de un análisis modal calculado a partir de la masa y rigidez del sistema. El análisis modal nos da los periodos y frecuencias de la edificación analizada.

En la Tabla 23 se presentan los periodos y participación de masa asociados para cada coordenada modal. Se definieron en total doce modos de vibración, considerando tres modos por cada nivel de entrepiso.

Tabla 23

Resultados del análisis modal de la edificación

Case	Mode	Period	UX	UY	Sum UX	Sum UY	Sum RX	Sum RY
Modal	1	0,487	0,922	0,010	0,922	0,010	0,001	0,088
Modal	2	0,473	0,010	0,926	0,932	0,937	0,085	0,089
Modal	3	0,325	0,000	0,000	0,933	0,937	0,085	0,089
Modal	4	0,154	0,061	0,001	0,994	0,937	0,095	0,961
Modal	5	0,150	0,001	0,057	0,994	0,994	0,973	0,971
Modal	6	0,102	0,000	0,000	0,994	0,994	0,973	0,971
Modal	7	0,082	0,005	0,000	0,999	0,995	0,974	0,989
Modal	8	0,081	0,000	0,005	0,999	0,999	0,990	0,990
Modal	9	0,061	0,001	0,000	0,999	0,999	0,991	0,999
Modal	10	0,060	0,000	0,001	1,000	1,000	1,000	1,000
Modal	11	0,056	0,000	0,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Modal	12	0,043	0,000	0,000	1,000	1,000	1,000	1,000

Nota: Se observa que el modo 1 tiene una componente traslacional en la dirección X. Se observa que el modo 2 tiene una componente traslacional en la dirección Y.

Fuente: Elaboración propia

3.3. Resultados y discusión

3.2.8. Análisis de aceptabilidad de resultados

De la norma de diseño sismorresistente E.030, se verifica que los máximos desplazamientos elásticos obtenidos en la estructura de concreto armado son menores que 0,007.

Se da por aceptable el diseño con disipadores visco elásticos sólidos.

3.2.9. Estructura con disipador vs estructura sin disipador

3.2.9.1. Fuerzas cortantes sísmicas dinámicas

Se observa en la Tabla 24 y *Figura 76* que en la edificación implementada con disipadores, existe una reducción promedio del 42 % de las fuerzas cortantes dinámicas de entrepiso en la dirección X.

Tabla 24

Cortante sísmico dinámico de cada entrepiso en la dirección X

Piso	Combinación	Loc.	Sin Disipador	Con Disipador	Variación	
			VX tf	VX tf	Δ VX tf	Δ VX %
PISO 4	DINXX Max	Top	52,509	27,643	-24,866	-47 %
PISO 4	DINXX Max	Bottom	52,509	27,643	-24,866	-47 %
PISO 3	DINXX Max	Top	106,838	59,523	-47,315	-44 %
PISO 3	DINXX Max	Bottom	106,838	59,523	-47,315	-44 %
PISO 2	DINXX Max	Top	149,309	88,724	-60,586	-41 %
PISO 2	DINXX Max	Bottom	149,309	88,724	-60,586	-41 %
PISO 1	DINXX Max	Top	178,148	113,365	-64,783	-36 %
PISO 1	DINXX Max	Bottom	178,148	113,365	-64,783	-36 %

Fuente: Elaboración propia



Figura 76. Cortante sin disipador vs cortante con disipador en X

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 25 y la Figura 77 se muestra que la edificación implementada con disipadores, existe una reducción promedio del 42 % de las fuerzas cortantes dinámicas de entrepiso en la dirección X.

Tabla 25

Cortante sísmico dinámico de cada entrepiso en la dirección Y

Piso	Combinación	Loc.	Sin Disipador	Con Disipador	Variación	
			VY tf	VY tf	Δ VY tf	Δ VY %
PISO 4	DINYY Max	Top	52,190	27,453	-24,736	-47 %
PISO 4	DINYY Max	Bottom	52,190	27,453	-24,736	-47 %
PISO 3	DINYY Max	Top	106,285	59,326	-46,959	-44 %
PISO 3	DINYY Max	Bottom	106,285	59,326	-46,959	-44 %
PISO 2	DINYY Max	Top	148,654	88,711	-59,942	-40 %
PISO 2	DINYY Max	Bottom	148,654	88,711	-59,942	-40 %
PISO 1	DINYY Max	Top	177,373	113,618	-63,755	-36 %
PISO 1	DINYY Max	Bottom	177,373	113,618	-63,755	-36 %

Fuente: Elaboración propia

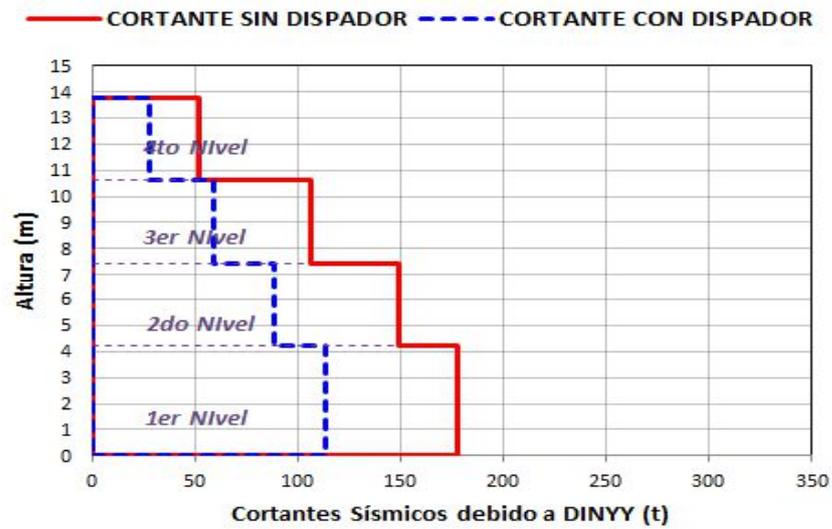


Figura 77. Cortante sin disipador vs cortante con disipador en Y

Fuente: Elaboración propia

Por lo tanto de los resultados obtenidos se concluye que el uso de disipadores reduce considerablemente las fuerzas cortantes dinámicas de entrepiso.

3.2.9.2. Distorsiones elásticas de entrepiso

Se observa en la Tabla 26 y la Figura 78 que en la edificación implementada con disipadores, existe una reducción promedio del 73 % de la distorsión angular en la dirección X.

Tabla 26

Distorsiones angulares elásticas de entrepiso en la dirección X

Piso	Sin disipador Derivas	Con disipador Derivas	Variación	
			Var. derivas	% Var. derivas
PISO 4	0,00620	0,00185	0,00435	-70 %
PISO 3	0,01141	0,00290	0,00851	-75 %
PISO 2	0,01616	0,00373	0,01244	-77 %
PISO 1	0,02152	0,00627	0,01525	-71 %

Fuente: Elaboración propia

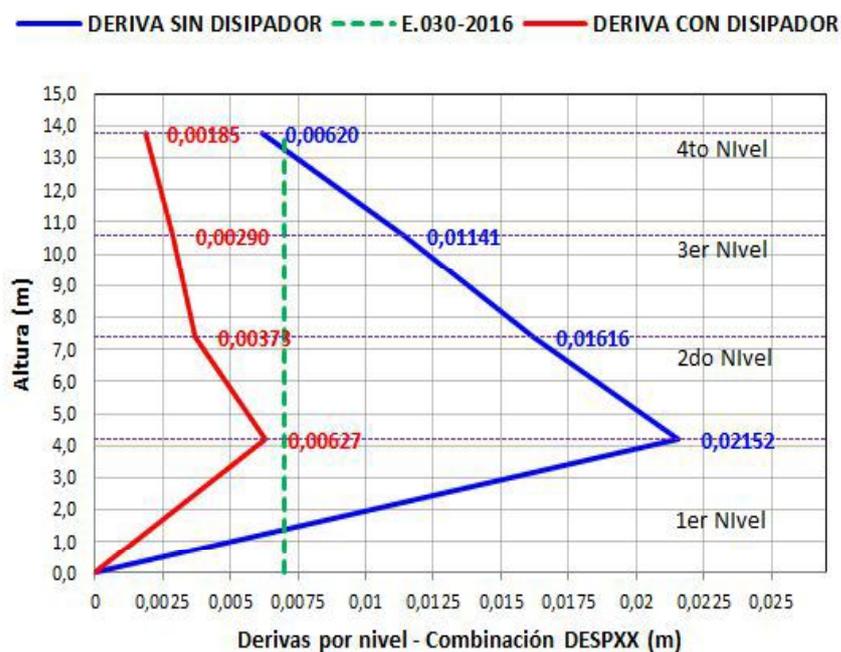


Figura 78. Distorsiones elásticas sin disipador vs distorsiones elásticas con disipador en X

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 27 y la Figura 79 se muestra que en la edificación implementada con disipadores, existe una reducción promedio del 76 % de la distorsión angular en la dirección Y.

Tabla 27

Distorsiones angulares elásticas de entrepiso en la dirección Y

Piso	Sin disipador Derivas	Con disipador Derivas	Variación	
			Var. derivas	% Var. derivas
PISO 4	0,00644	0,00176	0,00468	-73 %
PISO 3	0,01204	0,00262	0,00942	-78 %
PISO 2	0,01721	0,00367	0,01354	-79 %
PISO 1	0,02284	0,00617	0,01668	-73 %

Fuente: Elaboración propia

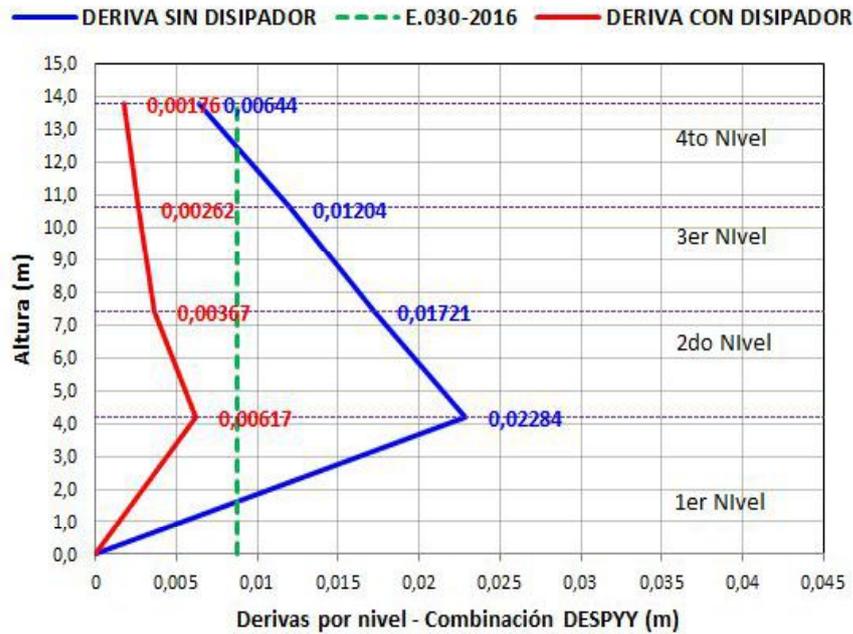


Figura 79. Distorsiones elásticas sin disipador vs distorsiones elásticas con disipador en Y

Fuente: Elaboración propia

Por lo tanto de los resultados obtenidos, se concluye que el uso de disipadores reduce considerablemente las distorsiones angulares elásticas de cada entrepiso.

3.2.9.3. Modos principales de vibración

Se observa en la Tabla 28 que en la edificación implementada con disipadores, existe una reducción del 34 % y 36 % para los modos traslacionales 1 y 2 respectivamente.

Tabla 28

Resultados del análisis modal de la edificación

Modo	Combo	Sin	Con	Variación	
		disipador Periodo	disipador Periodo	Var. periodos	% Var. periodos
1	Modal	0,741	0,487	0,254	-34%
2	Modal	0,737	0,473	0,264	-36%
3	Modal	0,673	0,325	0,348	-52%
4	Modal	0,231	0,154	0,077	-33%
5	Modal	0,230	0,150	0,080	-35%
6	Modal	0,211	0,102	0,109	-52%
7	Modal	0,129	0,082	0,047	-36%
8	Modal	0,128	0,081	0,047	-37%
9	Modal	0,118	0,061	0,057	-48%
10	Modal	0,090	0,060	0,030	-33%
11	Modal	0,090	0,056	0,034	-38%
12	Modal	0,083	0,043	0,040	-48%

Fuente: Elaboración propia

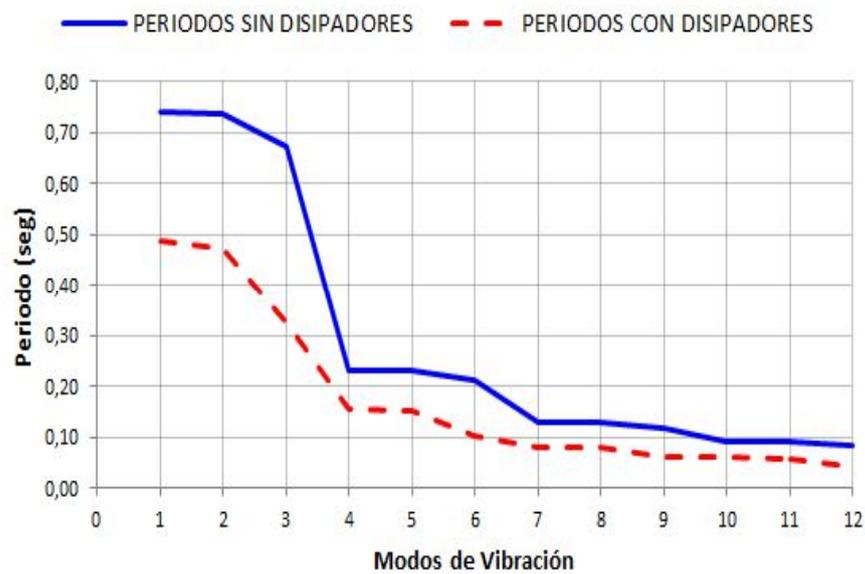


Figura 80. Reducción de modos de vibración

Fuente: Elaboración propia

Finalmente de los resultados obtenidos en la Tabla 28 y de la Figura 80, se concluye que la incorporación de disipadores reduce los periodos de vibración e incrementa la rigidez de la edificación.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

Primera. Se realizó un análisis sísmico a una edificación del tipo Esencial, implementada con disipadores visco elásticos sólidos.

Segunda. Se verifico que la fuerza cortante dinámica acumulada máxima del primer nivel de la edificación sin disipadores en la dirección X e Y, es del orden 178,148 tf y 177,373 tf respectivamente. Mientras que para la edificación implementada con disipadores, es del orden 113,365 tf y 113,618 tf para la dirección X e Y respectivamente.

Tercera. Como resultado del análisis sísmico realizado a la edificación sin disipadores, se calculó una distorsión angular elástica máxima de 0,0038 y 0,0041 para la dirección X e Y respectivamente.

Mientras que para la edificación implementada con disipadores se obtuvieron distorsiones del orden 0,0010 para la dirección X e Y.

Cuarta. Del análisis modal realizado a la edificación sin disipadores se determinó que el Modo uno tiene un periodo de 0,741 s asociado a un movimiento traslacional en la dirección Y, con una participación de masa del 93,12 %. Así mismo se determinó que el Modo dos tiene un periodo de 0,737 s asociado a un movimiento traslacional en la dirección X, con una participación de masa del 93,07 %.

Del análisis modal realizado a la edificación con disipadores se determinó que el Modo uno tiene un periodo de 0,487 s asociado a un movimiento traslacional en la dirección X, con una participación de masa del 92,22 %. Así mismo se determinó que el Modo dos tiene un periodo de 0,473 s asociado a un movimiento traslacional en la dirección Y, con una participación de masa del 93,65 %.

4.2. Recomendaciones

Primera. Se recomienda seguir el procedimiento planteado en la presente investigación, para el análisis sísmico de edificaciones del tipo Esencial que estén obligadas a estar implementadas con disipadores de energía sísmica.

Segunda. Se recomienda el uso de disipadores de energía, por su considerable aporte en la reducción de las fuerzas cortantes dinámicas de entrepiso.

Tercera. El uso de disipadores reduce notablemente las distorsiones angulares de entrepiso, por lo que es una alternativa más a considerar, cuando

se esté frente a edificaciones que no cumplan con las distorsiones angulares reglamentarias.

Cuarta. Los disipadores implementados en una edificación reducen los periodos fundamentales, por lo que es una solución práctica para reducir la flexibilidad en edificaciones existentes. Se recomienda su uso en edificaciones existentes flexibles que ameriten un reforzamiento.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Cámara Chilena de la Construcción (noviembre, 2011). Protección Sísmica de Estructuras (No 29). *Corporación de Desarrollo Tecnológico*.

Recuperado de

http://descargas.coreduc.cl/Proteccion_Sismica_de_Estructuras_-_Febrero_2012_CLR_v4.1.pdf

Carranza, A. (S. F.). Aisladores y disipadores de energía. *Global Ingenieros E.I.R.L.* Recuperado de <http://globalingenieros.com/aisladores-y-disipadores-de-energia/>

Corpus, J. & Morales, E. (2015). *Análisis sísmico comparativo entre un sistema dual y el sistema de reforzamiento con disipadores de fluido viscoso para un edificio en el distrito de Víctor Larco Herrera aplicando Etabs 2013*. (Tesis de pregrado). Universidad Privada Antenor Orrego, Trujillo, Perú. Recuperado de

http://repositorio.upao.edu.pe/bitstream/upaorep/686/1/CORPUS_JORGE_SISMICO%20COMPARATIVO_DUAL.pdf

Eriksen, K. (2007). Aislamiento sísmico para edificaciones y puentes. *Dynamic Isolation Systems*. Recuperado de <http://cdvperu.com/wp-content/uploads/2016/03/CATALOGO-DIS.pdf>

Etabs (versión 13) [Software de computación]. *España*: Computers & Structures, Inc.

Ibáñez, D. (S. F.). Aisladores y Disipadores Sísmicos. *Tecnologías Estructurales Avanzadas S.A.* Recuperado de <http://www.tecnoav.cl/4-aisladores-sismicos-y-disipadores-sismicos/>

Kaffman, J. (diciembre, 2013). Sistemas de Protección Sísmica. *EMB Construcción* Recuperado de <http://www.emb.cl/construccion/articulo.mvc?xid=2824&tip=2&xit=sistemas-de-proteccion-sismica>.

Mayorga, C. (2011). *Caracterización mecánica y modelamiento estructural de un disipador pasivo de energía de tipo arriostramiento de pandeo restringido. Parte 2.* (Tesis de Maestría). Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia. Recuperado de <https://es.scribd.com/document/270185141/Tesis-de-Colombia>

Oviedo, R. (2008). *Dispositivos pasivos de disipación de energía para diseño sismorresistente de estructuras.* (Tesis de Maestría). Universidad Nacional de Ingeniería. Lima, Perú. Recurado de <https://es.scribd.com/document/272729316/Dispositivos-Pasivos-de-Disipacion-de-Energua-Para-Diseno-Sismorresistente-de-Estructuras>

Reglamento nacional de edificaciones (2006). *Norma E020 Cargas*. Recuperado de <http://www.construccion.org/normas/rne2012/rne2006.htm>

Reglamento nacional de edificaciones (2016). *Norma técnica E030 Diseño sismorresistente*. Recuperado de <http://www.construccion.org/normas/rne2012/rne2006.htm>

Saavedra, M. (2005). *Análisis de edificios con aisladores sísmicos mediante procedimientos simplificados*. (Tesis de pregrado). Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile. Recuperado de <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2005/bmfcis1121a/doc/bmfcis1121a.pdf>

Villareal, G. & Oviedo, R. (2009). *Edificaciones con dispositivos pasivos de disipación de energía*. (1ra Edición). La Libertad, Perú: Editora & Imprenta Grafica Norte S.R.L.