



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

“Diseño sísmico con disipadores de energía de fluido viscoso para mejorar comportamiento estructural en edificación de 10 pisos, Chiclayo 2020”

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniero Civil

AUTOR:

Cornejo Llontop, Carlos Junior (ORCID: 0000-0003-4469-7842)

ASESOR:

Mg. Benites Chero Julio César (ORCID: 0000-0002-6482-0505)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Diseño sísmico y estructural

CHICLAYO – PERÚ

2020

DEDICATORIA

En primer lugar, a Dios por darme la fuerza y la sabiduría necesaria para lograr mis objetivos, le pido que me siga bendiciendo y dando las fuerzas que necesito para lograr todas las metas que me he propuesto en la vida. A mi madre Felicita Llontop Chanamé y padre Carlos Cornejo Agapito por ser unos ejemplos para mí, por su apoyo incondicional y educación tanto académico como humano. A mis hermanas Jessica, Sucety, Victoria y demás familiares por estar siempre presentes a mi lado y haberme apoyado en todo momento y dándome las fuerzas necesarias para cumplir mis objetivos. Por último, a mi hija Emma por ser también una fuerza necesaria para salir adelante y así ser un ejemplo para ella.

AGRADECIMIENTO

A los Mscs. Carlos Córdova Rojas, Jean Chávez Aguirre y Ricardo Oviedo Sarmiento por brindar sus conocimientos y experiencias, brindados en sus conferencias y cursos, sobre el correcto procedimiento de análisis y diseño de edificaciones empleando disipadores de fluido viscoso.

A los Mscs. Julio Benites Chero y Noe Marín Bardales por sus apreciaciones, recomendaciones y validación en el proceso de desarrollo para ser posible la culminación de esta presente tesis.

Índice de contenidos

CARÁTULA	i
DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO.....	iii
ÍNDICE DE CONTENIDOS	iv
ÍNDICE DE TABLAS	v
ÍNDICE DE FIGURAS	vi
RESUMEN	vii
ABSTRACT	viii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. MARCO TEÓRICO	5
III. METODOLOGÍA.....	22
3.1. Tipo y diseño de investigación.....	25
3.2. Variables y Operacionalización.....	25
3.3. Poblacion, muestra, muestreo, unidad de análisis.....	25
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	25
3.5. Procedimientos.....	25
3.6. Método de análisis de datos	25
3.7. Aspectos éticos.....	25
IV. RESULTADOS	25
V. DISCUSIÓN.....	36
VI. CONCLUSIONES	40
VII. RECOMENDACIONES.....	41
REFERENCIAS.....	42
ANEXOS	46

Índice de tablas

Tabla 1. Parámetros lambda en función al exponente de velocidad	20
Tabla 2. Control de derivas-Análisis Dinámico en "X"	31
Tabla 3. Resumen de derivas inelásticas en la dirección "X"	32
Tabla 4. Derivas Inelásticas con Disipadores en "Y"	34

Índice de figuras

Figura 1. Placas tectónicas	8
Figura 2. Edificio con y sin aislación de base.....	10
Figura 3. Edificio con y sin Disipadores de energía.....	11
Figura 4. Puente Neimeng Wuxi - China	12
Figura 5. Corte Disipador De Fluido Viscoso.....	12
Figura 6. Elementos externos en un Disipador Sísmico de fluido viscoso	13
Figura 7. Disipador de fluido viscoso.....	14
Figura 8. Disposición en Diagonal.....	15
Figura 9. Disposición Chevron Diagonal	16
Figura 10. Disposición Chevron Horizontal	16
Figura 11. Efecto en el espectro de aceleración al incrementar la rigidez y el amortiguamiento.....	17
Figura 12. Proyectos más representativos en el mundo con disipadores de fluido viscoso	18
Figura 13. Proyectos más representativos en el Perú con disipadores de fluido viscoso.	19
Figura 14. Velocidad vs Fuerza del disipador.....	21
Figura 15. Área del proyecto en estudio.....	25
Figura 16. Arquitectura del proyecto en estudio	26
Figura 17. Modelo estructural en 3D	27
Figura 18. Espectro de respuesta para "X"	30
Figura 19. Desplazamiento en el centro de masas - Dirección "X".....	36
Figura 20. Desplazamiento en el centro de masas - Dirección "Y".....	36
Figura 21. Derivas de entrepiso - Direccion "X".....	37
Figura 22. Derivas de entrepiso - Direccion "Y".....	37
Figura 23. Momento flector de viga sin disipadores - Dirección "Y"	38
Figura 24. Momento flector de viga con disipadores - Dirección "Y"	38
Figura 25. Momento flector en columna con y sin disipadores - Eje "Y".....	39
Figura 25. Momento flector en muro de corte con y sin disipadores - Eje "X"	39

RESUMEN

El presente trabajo de investigación titulado “Diseño sísmico con disipadores de energía de fluido viscoso para mejorar comportamiento estructural en edificación de 10 pisos, Chiclayo 2020”, la cual pertenece a la línea de investigación diseño sísmico y estructural, está desarrollado en una edificación de 10 niveles para usos de departamentos.

Como objetivo general se tuvo Diseñar para un sismo severo implementando Disipadores de Energía de Fluido Viscoso para mejorar el comportamiento estructural de una edificación de 10 niveles en la Ciudad de Chiclayo – 2020.

En el desarrollo se tuvo dos modelos de análisis, un modelo convencional con un análisis dinámico espectral cumpliendo las derivas que rige la E030 y un modelo incursionando los disipadores de fluido viscoso con un análisis tiempo historia no lineal cumpliendo las derivas que rige la metodología de Hazus.

Finalmente se presentan comparaciones de análisis en tanto los desplazamientos, distorsiones y esfuerzos en los elementos estructurales; para dar a entender la influencia de tienen estos dispositivos para un buen comportamiento de la estructura ante un sismo severo.

Palabras claves: Disipadores viscosos, análisis sísmico, dinámico modal, tiempo historia espectral, deriva objetivo.

ABSTRACT

The present research work entitled "Seismic design with viscous fluid energy dissipators to improve structural behavior in a 10-story building, Chiclayo 2020", which belongs to the seismic and structural design research line, is developed in a 10-story building levels for department uses.

The general objective was to Design for a severe earthquake by implementing Viscous Fluid Energy Dissipators to improve the structural behavior of a 10-story building in the City of Chiclayo - 2020.

In the development there were two analysis models, a conventional model with a dynamic spectral analysis complying with the drifts that governs the E030 and a model involving the viscous fluid dissipators with a non-linear time-history analysis complying with the drifts governed by the Hazus methodology.

Finally, analysis comparisons are presented in both the displacements, distortions and efforts in the structural elements; to understand the influence of these devices for a good behavior of the structure in a severe earthquake.

Keywords: Viscous dissipators, seismic analysis, modal dynamic, spectral time history, target drift.

I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad Problemática

a) Nivel internacional

Muchos países del continente americano se ubican en el cinturón del fuego del Pacífico, donde además se encuentran en la zona de subducción más grande en todo el mundo, donde se explica que la placa de Nazca se inserta por debajo de la placa Sudamericana a una fricción constante aproximadamente 2.54 centímetros al año. Llegará un determinado momento donde la fuerza actuante de la placa de Nazca supere el esfuerzo resistente de la placa Sudamericana y con ello va a ocurrir un gran roce o una gran fricción que a su vez va a liberar gran energía sísmica provocando perturbaciones en la corteza terrestre, la cual el humano lo reconoce como sismo o terremoto. Un sismo en magnitud escala de momento de grado 8 libera aproximadamente la energía igual 67000 bombas de Hiroshima (Agudelo, 2017).

“La convergencia de placas continentales y oceánicas activas en Sudamérica, como la placa Sudamericana, de Nazca y la del Caribe producen actividad sísmica, volcánica y posibles tsunamis” (Agudelo, 2017, p. 19).

Para Genatios y Lafuente (2016), indican que el “acontecimiento de desastres relacionados a sismos, han originado pérdidas humanas en la historia, como en lo económico” (p.57). Según cifras de una empresa reaseguradora, de 10 eventos que causaron la mayor cantidad de víctimas en los últimos 25 años, 6 fueron eventos sísmicos (Munich, 2016). De otra forma, de un total de 1'022'200 víctimas causadas por esos diez eventos catastróficos, 617'200 son eventos de origen sísmico. Además, se analizó que de los 10 eventos también hubo pérdida económica de 497'000 millones de dólares, donde un 62% del total fue a causa de los 6 sismos antes mencionados.

Esto incitó avances de la ciencia y la investigación referidos a la ingeniería estructural que pueda incurrir al termino de Disipación Sísmica de Energía, que por objetivo se tuvo de absorber una parte de la energía sísmica para

que así reduzca la demanda de disipación de energía en los principales elementos estructurales, y así le lograr un mejor desempeño de las edificaciones. Los primeros sistemas utilizados incluían dispositivos de aislación y disipación sísmico, con la idea de aislar las estructuras de los movimientos sísmicos (Genatios y Lafuente, 2016, p.21).

b) Nivel nacional

Nuestro país es uno de los que se encuentran ubicados en el cinturón de fuego del Pacífico, en zona de subducción entre las placas tectónicas Nazca y Sudamérica, que son las más peligrosas del mundo y por lo tanto es una de las zonas con más actividad sísmica del mundo (Chávez, 2017). “En las experiencias ocurridas en nuestro país, cualquier tipo de estructuras han sido alteradas por los eventos sísmicos y las pérdidas humanitarias y pertenencias de valor altísimo las consecuencias se han dado a notar” (Chávez, 2017, p. 24).

En alrededor del mundo estos dispositivos tienen ya más de 30 años en investigaciones y desarrollo, pero fue en el 2004 que se dio por primera vez el uso de éstos en nuestro país con el proyecto del Casino Mubarak - Lima, entonces desde ahí fue importante para iniciar invertir en aquellos sistemas en edificios recientes y en el reforzamiento de edificios ya existentes, siendo ser un método competente.

Bueno a continuación se pueden mencionar algunos proyectos construidos con este sistema de disipación sísmica en nuestro país: el edificio Javier Prado (San Isidro-Lima), la torre Olgún (Santiago de Surco-Lima), la Torre República de Panamá (Surquillo-Lima), el Edificio Javier Prado (San Isidro-Lima), el Aeropuerto Jorge Chávez (Callao-Lima), el T Tower (San Isidro-Lima), y el Banco de la Nación (San Borja-Lima); este último actualmente es el edificio más alto del país con 32 niveles.

c) Nivel Local

En nuestra región Lambayeque y en especial Chiclayo que es un lugar que ha tenido un gran desarrollo en varios aspectos, tanto en lo turístico, económico comercial, etc; está ubicado en la zona 4 (E030-2018). Esta

situación nos conlleva que nuestras estructuras de analicen, diseñen y refuercen con estos sistemas de protección sísmicas para que así tengan una correcta respuesta ante acciones proveniente de un sismo, con la finalidad de salvaguardar las vidas humanas, además de los equipamientos que se encuentran dentro de las edificaciones.

1.2. Formulación del problema

Frente a todo lo mencionado se formula la siguiente pregunta ¿Cuál será el diseño implementando disipadores de tipo fluido viscoso para mejorar del comportamiento estructural de una edificación de 10 niveles en la ciudad de Chiclayo?

1.3. Justificación del Problema

Esta investigación intenta demostrar cual es el comportamiento estructural incorporando disipadores de energía de fluido viscoso de una edificación de 10 niveles en la ciudad de Chiclayo.

Así mismo, de esta manera justifico mi proyecto de investigación en lo teórico, practico y social.

En lo teórico, este proyecto de investigación va a permitir desarrollar las teorías científicas respecto al análisis y diseño de la edificación y los disipadores de energía fluido viscoso utilizando normas peruanas y extranjeras respectivamente. Tales teorías de dichas normas tendrán que ser consultadas y se desarrollarán para analizar y discutir en cuanto a su eficacia para ser tomados en cuenta en edificaciones en la ciudad de Chiclayo.

En lo Práctico nos va a permitir hallar cuáles son las exigencias del desempeño sísmico de los edificios y así poder incursionar dichos disipadores en las edificaciones con el fin de reducir los daños estructurales.

Y en lo Social, si mejoramos el comportamiento sísmico de una edificación vamos también a mejorar sus situaciones de seguridad de los residentes, logrando ayudar a una ciudad más estable referidos a sus obligaciones.

1.4. Hipótesis

La siguiente hipótesis que se ha planteado es: si se diseña para un sismo severo implementando o incorporando disipadores de fluido viscoso, se podrá mejorar el comportamiento estructural de la Edificación; entonces se contrarrestaran los efectos del sismo y sobre todo la pérdida de vidas humanas.

1.5. Objetivos

Objetivo General

Diseñar para un sismo severo implementando disipadores de energía de fluido viscoso para mejorar el comportamiento estructural de una edificación de 10 niveles en la ciudad de Chiclayo – 2020.

Objetivos Específicos

- Identificar el análisis sísmico de una edificación convencional de 10 niveles.
- Elaborar un modelo incursionando los disipadores de energía de fluido viscoso de la empresa Taylor Device.
- Evaluar las comparaciones del análisis y diseño sísmico entre la estructura convencional y la estructura con disipadores de fluido Viscoso, y ver como reduce el nivel de daño que sufre el edificio con el uso de estos Disipadores.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Trabajos Previos

2.1.1. Antecedentes de la investigación

Nivel Internacional

Méndez (2013), en su texto “Beneficios y ventajas de los sistemas de protección sísmica”, aporta que “una forma de dar garantía la protección a un edificio es acoplar aislación y disipación sísmica. Esta combinación de los dos sistemas permitirá proporcionar un amortiguamiento complementario al edificio” (p.2), En tanto el autor concluye que los sistemas de aislación y disipación sísmica han sido probados a lo largo de los años, dando seguridad a la vida humana, y limitar el deterioro de los elementos estructurales, y eso nos va a permitir diseñar y construir estructuras más altas económicas (p.10).

Estos sistemas se pueden utilizar igualmente en puentes, tanques de almacenamiento, edificios históricos, plantas nucleares, u otra estructura de gran envergadura.

Vargas, Pujades, Barbat y Hurtado (2013), en su libro “Evaluación de la capacidad, fragilidad y daño sísmico en edificios de concreto armado”, argumentaron que “en zonas sísmicas se encuentran estructuras vulnerables, lo cuales fueron construidas sin cumplir las especificaciones técnicas de normatividad. Entonces para analizar la vulnerabilidad, no toman en consideración que su desempeño sísmico es dinámico y no lineal” (p.63). Entonces concluyen que esta investigación, es que hay la necesidad de enfrentar los problemas de las evaluaciones de las vulnerabilidades de las estructuras a partir de un punto de vista probabilista (p.78)

Para eso se adicionó procedimientos modernos de análisis de desempeño estructural no lineal dinámico y estático, lo cual proporcionó una herramienta eficiente que permitió hallar información difícil de conseguir.

Aguiar, Mora y Rodríguez (2016), en su revista “Análisis de una edificación con disipadores analizados a espectros de diseño y de control”, argumentaron que “con cierto análisis se establece la técnica del pushover multimodal, además del método del espectro de capacidad con que se hallará el punto de capacidad de una estructura ya que inicialmente se calculó para un espectro de diseño” (p.171). Entonces los autores concluyen que el requerimiento de verificar el diseño de las estructuras de la capital de Ecuador, Quito, es porque los espectros de diseño para una zona que tenga períodos reducidos y llegar a una etapa de seguridad del 85%, son superiores al utilizar el espectro de diseño de la normativa ecuatoriana (NEC) (p.178).

El software estructural CEINCI LAB, permite examinar o corregir procesos de cálculo según se requiera. Por eso se recomienda emplearlo y así entender la manera como se está elaborando o procesando los datos.

Nivel nacional

Bozzo (2018), en su investigación “Disipadores SLB para diseño sismorresistente”, explicó que “el diseño sísmico tradicional se basa en la ductilidad. Tal respuesta no lineal establece que el análisis modal no se aplique, pero incluso proporciona soluciones aproximadas a muchas situaciones prácticas” (p. 4). Por lo cual el autor concluyó que las fuerzas de plastificación de disipadores SLB varían entre 13.5 Kn a 435.5 Kn y el desplazamiento de fluencia de inicio de 1mm aproximadamente (p.5).

Este tipo de disipador “SLB” es un avance tecnológico en el diseño basado en pórticos flexibles dúctiles y en muros estructurales, por lo cual se logra un sistema con rigidez además de tener ductilidad.

Chávez (2017), en su libro “Diseño sismorresistente de edificios con disipadores de fluido viscoso”, nos dice que “Los grandes sismos ocurridos en el Perú han dado a demostrar que el método convencional de proporcionar la rigidez lateral suficiente a una

edificación ante solicitaciones sísmicas severas, tiene un valor económico grande” (p. 8). Por lo tanto, el autor concluye que las reparaciones después del sismo son considerables, llegando al punto de no siempre poder mantener en pie a una edificación (p.9).

El cálculo de edificios con disipadores de fluido viscoso, mediante la aplicación conjunta de la norma peruana e internacional, se puede lograr una estructura mucho más económica y lo suficientemente rígida para soportar sin ninguna complicación un sismo severo.

Villarreal Castro (2008), en su libro “Edificaciones con disipadores de energía”, nos aporta que “los diseños de edificaciones con diversos modelos de disipadores de energía conforme al análisis tiempo-historia con la actuación de un acelerograma referido a nuestro país, es donde se realiza la comparación de resultados y recomendaciones para el cálculo sísmico” (p.7), Asimismo concluyen los autores que la implementación de este sistema ha logrado la disminuir los períodos (T) del primer modo de vibración con dichos disipadores hasta aproximadamente un 58% (p.11).

Los disipadores de energía de tipo fluido viscoso absorben aproximadamente un 8% de la energía sísmica. Las experiencias avalan que los disipadores de tipo viscoso se desarrollan mejor en las edificaciones que son flexibles. Tal comportamiento hace que el disipador desarrolle una reducción de la fuerza axial y además va a depender de la frecuencia sísmica.

Nivel Local

Serrano (2018), en su texto “Diseño de Estructuras Sismorresistentes”, nos dice que “El Diseño sísmico es muy importante ya que se relaciona con preservar la vida de las personas” (p.3). Asimismo, concluye el autor que de acuerdo a la Norma E.030 2018, las edificaciones esenciales son de vital importancia y donde la norma exige daños reparables en la estructura (p.5).

Este tipo de sistema de disipación de energía va a beneficiar a toda la población, esto debido a que se podría recomendar innovaciones que conlleve a la eficiencia de la inversión en la construcción de edificaciones esenciales implementando disipadores de energía.

2.2. Teorías relacionadas al tema

Los sismos son oscilaciones de la corteza terrestre ocurridos por una actividad volcánica, por explosiones, entre otros. Pero la teoría fundamental que explica por qué el origen de los sismos o terremotos es por la tectónica de placas (Aguiar, 2008).

“La corteza terrestre es conformada por diversas placas, donde se encuentran entrelazadas entre sí. Estas placas se deslizan unas con otras sobre las capas de rocas que son más viscosas ya que se hallan debajo de ellas” (Aguiar, 2008, p. 10).

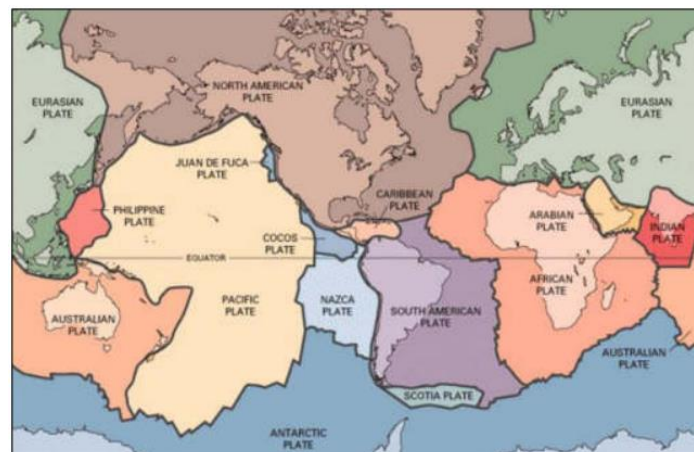


Figura 1. Placas tectónicas

Fuente: Wegener, 2018

Según (Velásquez, 2006), los tipos de movimiento de placas más peligrosos son la divergente, friccionante y convergente (subducción), siendo esta última que se origina de las placas de Nazca y la Sudamericana llamado fenómeno de subducción.

“En la costa del Perú existe el fenómeno de subducción ya que la placa de Nazca se inserta por debajo de la sudamericana, entonces ocurren

movimientos sobre dichas placas generando ondas sísmicas, que originaran movimientos a la superficie” (Velásquez, 2006, p. 5).

2.2.1. Dispositivos de Protección Sísmica

Según Pariona (2014) “los dispositivos de protección sísmica son mecanismos que se ocupan de tomar la energía que resulta de actividad sísmica, lo cual resulta con un mejor desempeño sísmico de las edificaciones” (p. 20).

Además, Pariona (2014), reitera que “en el mundo se ha venido investigando diferentes dispositivos antisísmicos; donde algunos son más dificultosos que otros referidos a su construcción, funcionamiento, precio, entre otros” (p. 20).

Según Nitsche (2011) “tales dispositivos no desempeñan principalmente el trabajo de soportar la acción proveniente de un sismo sobre la edificación, sino que más bien ayudan a mejorar la respuesta sísmica ante eventos severos” (p. 8).

2.2.2. Dispositivos de aisladores sísmicos.

“Se colocan en la base de la edificación y función es impedir que la actividad del suelo se transmita hacia la parte superior de la estructura, esto conlleva a que reduzca los esfuerzos en los elementos estructurales” (Cámara Chilena de la Construcción, 2011).

Por mencionar algunos proyectos construidos en el Perú con este sistema de aisladores sísmicos son las siguientes: la biblioteca de la FIC-UNI - Lima, la biblioteca de la UPC - Lima, el edificio de oficinas de GyM – Lima y la Biblioteca central de la UNI - Lima, entre otras. Este último fue la primera estructura construida en el Perú con Aisladores sísmicos.

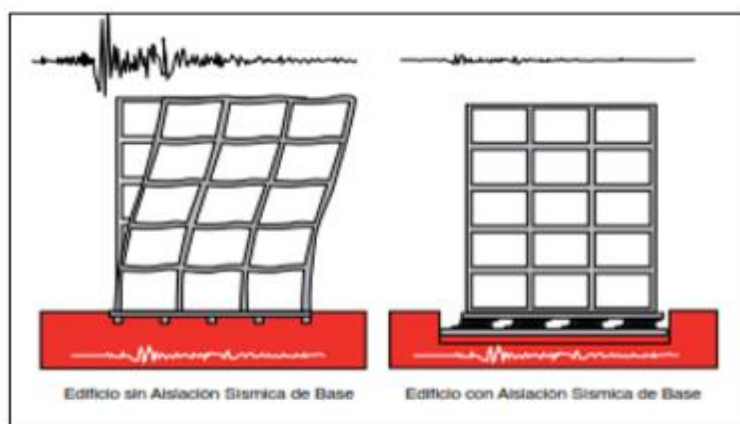


Figura 2: Edificio con y sin aislación de base.

Fuente: Cámara Chilena de la Construcción, 2011

2.2.3. Dispositivos de disipación sísmica

“Los disipadores sísmicos están fabricados para tomar la mayor parte de la acción sísmica, para así evitar que los elementos estructurales sean disipados mediante las deformaciones inelásticas” (Pardo, 2007, p.21).

Según Nitsche (2011), “El disipador sísmico tiene el oficio de tomar la energía sísmica que entra a la estructura a través del suelo para luego ser disipada por los fluidos de viscosidad elavdos, además del calor y la energía” (p. 31).

Tambien Nitsche (2011), “Si comparamos con los aisladores sísmicos, estos imposibilitan que el movimiento de la fundación se transfiera a la superestructura, pero sin embargo además toman un porcentaje alto de la energía sísmica originados por la actividad sísmica” (p. 32).

También en nuestro país se utilizaron este tipo de sistema de disipación, los cuales son: la Torre Javier Prado - Lima, la Torre Barlovento - Lima, el Centro Empresarial Panorama – Lima y la Torre Orquídeas - Lima

“Los disipadores sísmicos están fabricados para tomar la mayor parte de la acción sísmica, para así evitar que los elementos estructurales sean disipados mediante las deformaciones inelásticas” (Pardo, 2007, p.21).

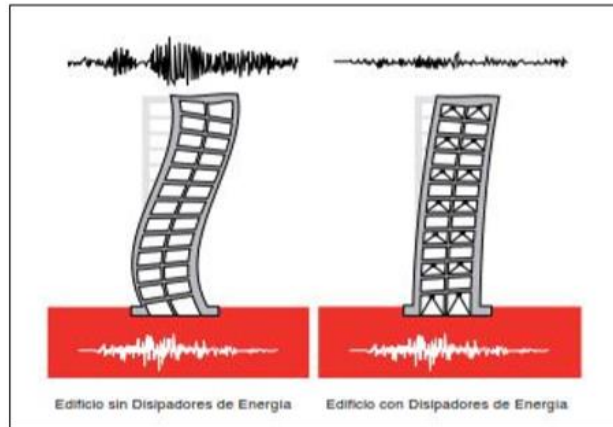


Figura 3: Edificio con y sin disipadores de energía.

Fuente: Cámara Chilena de la Construcción, 2011

2.2.4. Disipadores sísmicos de Fluido Viscoso

Este modelo de disipador, que tiene por función principal de este proyecto de investigación, que además se explicará varios temas relacionados como en sus características, hasta llegar como se desempeña en las edificaciones.

Rivera (2012) indica que “este modelo absorbe energía obligando dicho fluido viscoso al transcurrir en los orificios con diámetros e inclinación para examinar el fluido. Además, son parecidos a los amortiguadores de un auto, pero con una capacidad para oponerse a acciones sísmicas” (p.32).

Además, Rivera (2012) menciona que “el disipador es más eficaz en edificios que son flexibles, lo cual son los edificios mayores a de los 10 niveles de altura, de manera tal que controlan sus desplazamientos” (p.33).

Una de las empresas que proveen este tipo de disipadores en todo el mundo es TAYLOR DEVICES, donde su origen se basa en la industria militar y desde los años 60 hasta hoy actualmente se encuentran trabajando en la NASA con el Centro Nacional de Investigación de Ingeniería Sísmica (NCEER) - New York - Buffalo.



Figura 4: Puente Neimeng Wuxi - China

Fuente: Taylor Devices.

Componente de los Disipadores Sísmicos de Fluido Viscoso

Es un dispositivo de forma cilíndrica que se encuentra conformado por diversos componentes como: las dos cámaras, el fluido viscoso dentro de dichas cámaras, el pistón (cuyo extremo hay una "cabeza" con orificios) y los sellos ubicados en los extremos del disipador que traslada el fluido al interior de las dos cámaras.

"Se dice que las aberturas que se hallan en la cabeza de pistón, transporta el fluido viscoso entre dichas cámaras y estos conceden las propiedades dinámicas que se requiere y así disipe la energía sísmica" (Aguilar, 2012, p. 53).

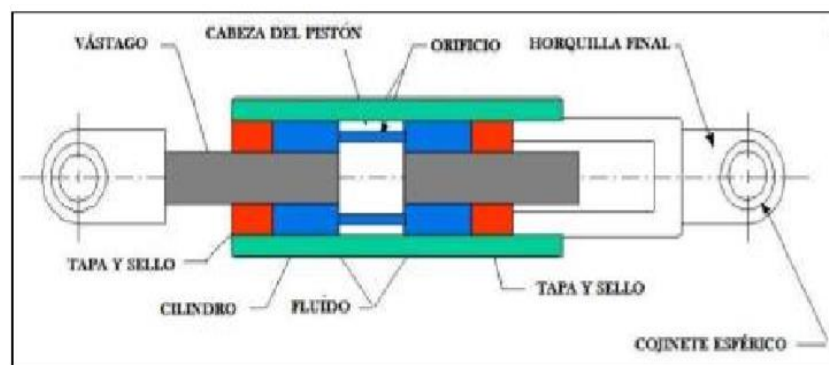


Figura 5: Componentes de disipador de fluido viscoso.

Fuente: CDV – Ingeniería antisísmica.

Para la instalación completa del Disipador, es necesario equipar a los disipadores con algunos elementos externos, para así lograr una instalación completa, correcta y eficaz en la estructura.

Estos elementos externos son los siguientes: el Tornillo de montaje, el Brazo metálico, Gussete plate y la Placa base.

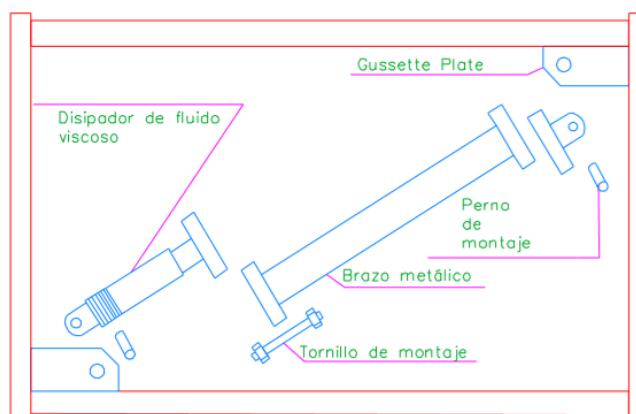


Figura 6: Elementos externos en un Disipador Sísmico de fluido viscoso

Fuente: CDV – Ingeniería antisísmica.

Función de los disipadores sísmicos de Fluido Viscoso

Según Gatica (2011), “el disipador se activa por acción sísmica, lo cual produce presión del pistón dentro del cilindro donde se encuentra el líquido viscoso, donde el pistón obliga que el fluido atraviese de un cilindro a otro produciendo fricción del fluido” (p. 38).

Además, Gatica (2011), reitera que “dicha fricción es producido por la acción sísmica que impulsa el pistón donde elabora la disipación de energía mecánica (movimiento) convirtiéndose en energía calorífica, quiere decir que se encontraran a gran temperatura posteriormente de una actividad sísmica” (p. 38).

Según Rivera (2012), “En cada movimiento que penetra y sale del interior del disipador, donde la cabeza del pistón atravesará en ambas cámaras lo cual la parte seca se introducirá al interior de la húmeda, entonces el pistón friccionará veces los sellos” (p. 41).

Finalmente, estos dispositivos tienen una vida útil, lo cual es una ventaja desde lo técnico ya que estos dispositivos no van a requerir de cambios de sus elementos después de una actividad sísmica como si lo son otros tipos de disipadores como son los de fricción.

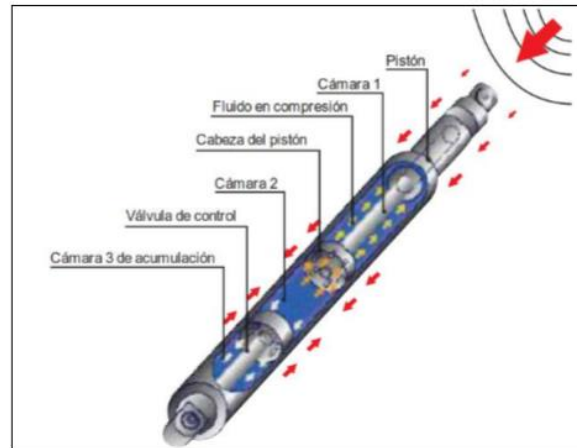


Figura 7: Disipador de fluido viscoso.

Fuente: CDV – Ingeniería antisísmica.

Disposición de los Disipadores Sísmicos de Fluido Viscoso

Di Paola y Navarra (2008) sugiere que, se debe ubicar a los disipadores viscoso en las zonas donde exista velocidades altas y además en los pisos que poseen desplazamientos altos. Además, cabe mencionar si una edificación va hacer analizada y diseñada como si fuera un nuevo proyecto con estos disipadores, la consecuencia es favorable y eficiente en su respuesta sísmica que de una edificación que busca ser reforzada.

Di Paola y Navarra (2008) avala: “que un reforzamiento de una edificación con estos dispositivos presenta varias dificultades que tienen de ser considerados, por ejemplo, modificaciones arquitectónicas, detención del tránsito en algunos ambientes, demolición elementos no estructurales y tabiquería, entre varios aspectos más” (p.52).

Bueno estos disipadores se pueden utilizar en estructuras aporticadas y Duales (pórticos con muros estructurales). Entre las disposiciones

de los disipadores se encuentra fundamentalmente tres que mencionaré:

✓ Disposición en Diagonal

Di Paola y Navarra (2008) indica que “es el arreglo más sencillo por su instalación en el pórtico del edificio, y está constituido de un brazo metálico que enlaza el disipador con el nudo del pórtico” (p.53).

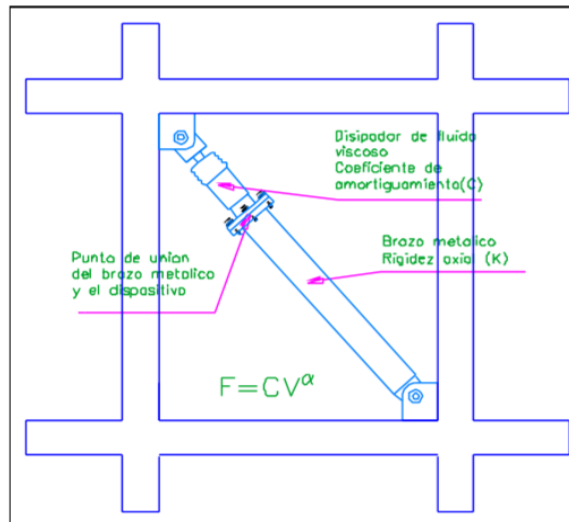


Figura 8: Disposición en Diagonal.

Fuente: Di Paola y Navarra, 2008

✓ Disposición Chevron Diagonal

Según Villarreal y Oviedo (2008) “es la conexión de dos disipadores en posición diagonal, lo cual va a necesitar de dos brazos metálicos donde enlacen cada uno de estos disipadores con los respectivos nudos del pórtico donde están instalados” (p.54).

Además, Villarreal y Oviedo (2008) agregan que una desventaja que tiene tal disposición es que la fuerza cortante de la viga aumenta, es por eso que se debe analizar minuciosamente si requiere o no reforzamiento en la viga basándose a los cálculos del análisis estructural.

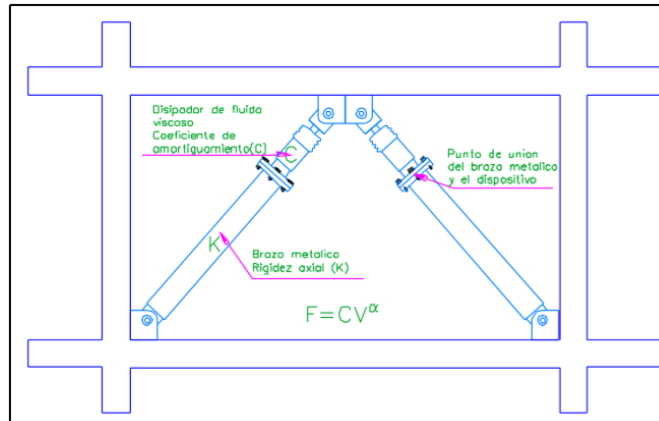


Figura 9: Disposición Chevron Diagonal.

Fuente: Di paola y Navarra, 2008

✓ **Disposición Chevron Horizontal**

Villarreal y Oviedo (2008) indican que “se colocan en posición horizontal, paralela a la viga, alcanzando eficiencia porque los disipadores absorberán las fuerzas sísmicas horizontales directo, ósea para contrarrestar los movimientos laterales originados por el sismo se aplica toda la capacidad que tengan estos dispositivos” (p.42).

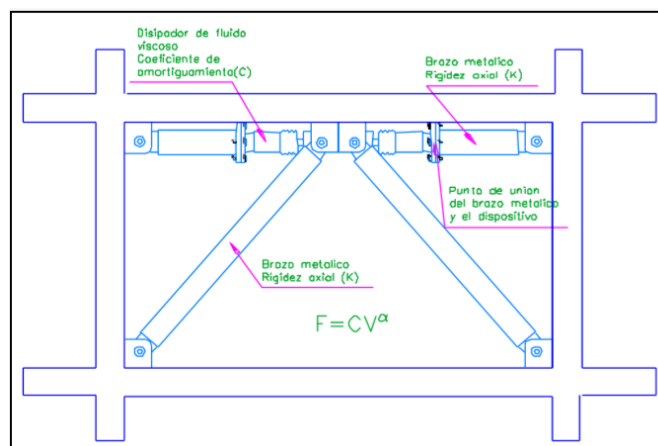


Figura 10: Disposición Chevron Horizontal.

Fuente: Di paola y Navarra, 2008

El aumento de amortiguación en las edificaciones

El disipador de fluido viscoso, como se sabe, disipa energía a causa de los movimientos sísmicos, lo cual no sobre esfuerza a los elementos estructurales del edificio, pues estos dispositivos dan un

aumento de amortiguación y no altera el periodo, ya que no genera rigidez este disipador, entonces reduciríamos los desplazamientos solamente, que es el objetivo para reducir el daño a la estructura.

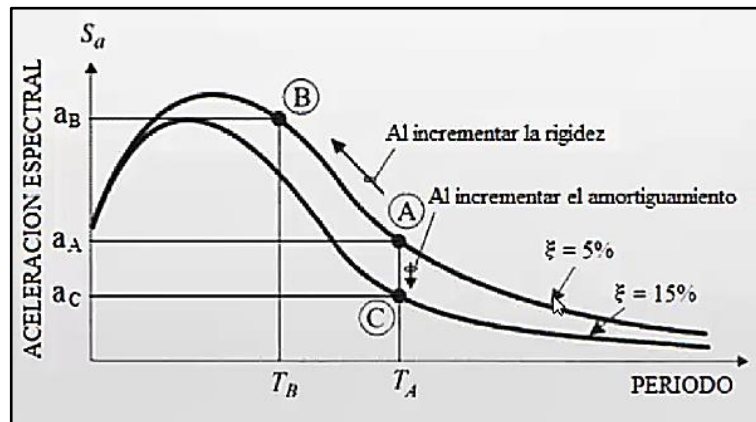


Figura 11: Efecto en el espectro de aceleración al incrementar la rigidez y el amortiguamiento

Fuente: Carlos Córdova Rojas, 2017

Edificaciones empleando disipadores de fluido viscoso

Actualmente existen aproximadamente 500 estructuras en el mundo que emplean estos tipos de dispositivos tanto en edificaciones, puentes u otras estructuras que requirieron de estos sistemas. Siendo la empresa Taylor Devices la fabricante de este tipo de sistema de protección sísmica que incursionaron en países donde sufren movimientos telúricos altos, sobre todos los países que se encuentran justo en el cinturón del fuego.

La mayor parte lo utilizaron en edificaciones de mediana a gran altura, la cual garantizaron su funcionamiento tanto para diseños recientes y reforzamientos de edificios ya existentes

Aquí algunos ejemplos de proyectos que emplearon disipadores de fluido viscoso tanto en países internacionales como en el Perú:

A nivel internacional:

Tauranga Harbour Link Bridge – Nueva Zelanda

San Francisco Civic Center – San Francisco, EEUU

Torres Petronas – Malasia
Edificio Yokohama – Tokio, Japón
Japón Rinkai Hospital – Tokio, Japón
Edificación Patio Mayor – Santiago, Chile
Edificio Torre Mayor – México



Figura 12: Estructuras más importantes en el mundo con disipadores de fluido viscoso.

Fuente: Ing. Carlos Córdova Rojas, 2017

A nivel nacional:

Banco de la Nación – Lima

Aeropuerto Jorge Chávez – Lima

Torre Orquídeas – Lima

Edificio Gerpal – Lima

Torre Empresarial Javier Prado – Lima

C.C. El Quinde – Ica

Reforzamiento estructural de la sede del Ministerio de Economía y Finanzas (MEF) – Lima

Reforzamiento estructural del Instituto nacional de enfermedades Neoplásicas (INEN) – Lima



Figura 13: Estructuras peruana con disipadores de fluido viscoso.

Fuente: Ing. Carlos Córdova Rojas, 2017

Parámetros de los disipadores sísmicos de Fluido Viscoso

La fórmula matemática para hallar el desempeño del disipador viscoso ante actividad sísmica de la estructura proveniente es:

$$F = C(V^\alpha)$$

F = Fuerza de amortiguamiento del dispositivo

C = Coeficiente de amortiguamiento del dispositivo

V = Velocidad relativa entre los extremos del dispositivo

α = Exponente de velocidad

Coeficiente de amortiguamiento “C” y rigidez del disipador “K”

El coeficiente de amortiguamiento del dispositivo es una constante que va a depender de las propiedades del fluido y además del comportamiento del disipador. Por lo siguiente se presentan dos situaciones, primero el comportamiento lineal por lo que el exponente de la velocidad es 1, y para la no linealidad el exponente de la velocidad en una constante será diferente a 1.

La fórmula matemática para los disipadores no lineales es:

$$\sum C_j = \frac{B_H \cdot 2\pi A^{1-\alpha} \cdot \omega^{1-\alpha} \cdot (\sum_i m_i \phi_i^2)}{\lambda (\sum \phi_{rj}^{1+\alpha} \cdot \cos^{1+\alpha} \theta_j)}$$

B_H = Amortiguamiento viscoso de la estructura

C_j = Coeficiente de amortiguamiento del disipador

m_i = Masa del nivel

θ_j = Ángulo de inclinación del disipador

ϕ_i = Desplazamiento modal en el nivel i

ϕ_{rj} = Desplazamiento modal relativo entre ambos extremos del disipador j en la dirección horizontal

A = Amplitud del desplazamiento del modo fundamental

ω = Frecuencia angular

λ = Parámetro lambda

Además, la rigidez del disipador se calcula con la siguiente fórmula:

$$K_d = \frac{EA}{L}$$

K_d = Rigidez del disipador.

E = Modulo de Elasticidad del brazo metálico.

L = Longitud del brazo metálico.

La norma FEMA 274 indica una tabla para el parámetro lambda (λ):

Tabla 1: Parámetros lambda en función al exponente de velocidad.

TABLE C9-4 Exponent α	Values of parameter λ Parameter λ
0.25	3.7
0.50	3.5
0.75	3.3
1.00	3.1
1.25	3.0
1.50	2.9
1.75	2.8
2.00	2.7

Fuente: FEMA 274

Exponente de velocidad “ α ”

“Es la respuesta del disipador frente a los impactos de velocidad, además define el comportamiento histerético de los disipadores utilizados” (Diaz la Rosa, 2014, p.36).

Los disipadores con un valor de “ α ” igual a la unidad serían disipadores lineales, lo cual la fuerza del disipador es directamente proporcional a la velocidad relativa, mientras los disipadores con valor de “ α ” mayor o menor a la unidad serán disipadores no lineales.

Los valores menores a la unidad son eficientes para contrarrestar los pulsos de altas velocidades, pero en valores mayores a 1 mayormente no son utilizados en edificios, ya que se requerirían de velocidades grandes para así incrementar la fuerza en el disipador.

“Mayormente el “ α ” está comprendido entre 0.3 y 1.0, siendo los valores más usados para el diseño sísmico de edificaciones, y para puentes se emplean valores entre 0.4 y 0.5”

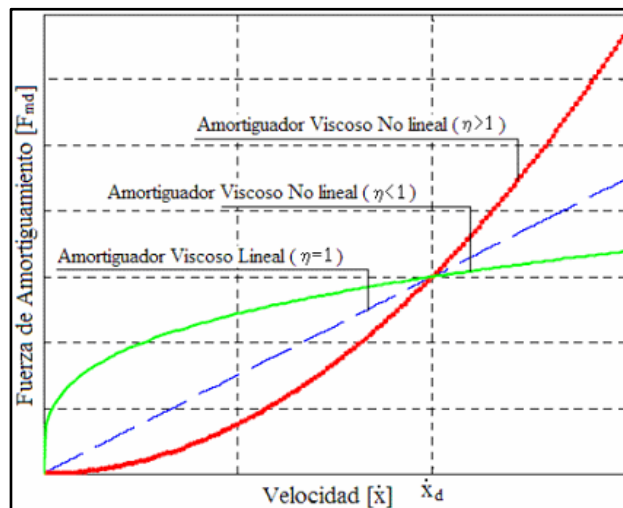


Figura 14: Velocidad vs Fuerza del disipador.

Fuente: Ing. Carlos Córdova Rojas, 2017

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y Diseño de investigación

✓ **De acuerdo al fin que persigue:**

Según Sampieri (2017), con respecto a la finalidad de la investigación y de la naturalidad de los problemas, el tipo “aplicado” es caracterizado por su provecho en aplicar conocimientos a un determinado problema y los resultados prácticos que se derivan a ellas, por ello esta investigación es del tipo APLICADO.

✓ **De acuerdo a la técnica de contrastación:**

El enfoque es no experimental, esto es, a que se ejecuta un análisis sin desnaturalizar las variables, ya que se utiliza fórmulas, normas, leyes, etc establecidos para un análisis y diseño correspondiente

Según Carlessi (2014), los diseños transversales descriptivos investigan la repercusión de los niveles o categorías de una o más variables en una población, además de ser estudios verdaderamente descriptivos.

Por ende, esta presente tesis es de tipo Descriptiva-Transversal.

✓ **De acuerdo al régimen de investigación:**

Mi tema de investigación fue seleccionado por mi persona como investigador, por tanto, sería de tipo Libre.

3.2. Variables y operacionalización

✓ **Variable Independiente:** Diseño sísmico con disipadores de fluido viscoso.

✓ **Variable dependiente:** Mejoramiento del comportamiento estructural de una edificación de 10 niveles.

3.3. Población, muestra, muestreo, unidad de análisis.

Se debe tener en cuenta que el objeto de estudio esta generado sin considerar la población y por lo cual no se necesita realizar ningún tipo de muestreo, teniendo así:

Población

Según Borja (2012), se nombra población al conjunto de componentes que serán un motivo de estudio.

Entonces se tiene como población a los edificios de la ciudad de Chiclayo.

Muestra y muestreo

Para Sampieri (2014), muestra es un subgrupo de la población de interés donde se tomarán datos, además tiene que delimitarse y definirse previamente con exactitud, y también debe ser representativo de la población.

Por lo cual, la muestra en esta presente investigación es el Edificio dual de 10 pisos en la ciudad de Chiclayo.

Unidad de Análisis

Edificio dual de categoría tipo “C” – comunes de 10 pisos localizado en la ciudad de Chiclayo.

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Técnica

Para la explicación de esta investigación se utilizará la técnica de la observación.

Instrumento

Para ejecutar la técnica se posee como instrumento el software ETABS, lo cual se ingresarán datos y así obtener resultados del Análisis Estructural.

3.5. Procedimientos

En esta investigación se realiza a través de ingreso de datos al software ETABS versión 18, por lo que facilito una ejecución correcta al modelo computacional, para así poder realizar el análisis sísmico al edificio de 10 pisos.

Es preciso recalcar que los ingresos de datos al programa ETABS fueron absolutamente desarrollados por el autor para aprovechamiento de esta tesis.

3.6. Método de análisis de datos

Esta investigación es de análisis correlacional, para lo cual la obtención de los datos se efectuará con hojas de cálculo de Excel. Para la presentación de los resultados se efectuó con tablas y gráficos, lo cual posteriormente se establecieron comparaciones de ambos sistemas propuestos, según las variables de estudios.

3.7. Aspectos éticos

Esta investigación se fundamenta en diversos aspectos éticos, lo cual se origina una buena relación entre el investigador, la sociedad y la zona donde se empleó la investigación, originando resultados agradables como son:

✓ Honestidad

Los cálculos son completamente verdaderas realizadas por el autor, lo cual demuestra honestidad y credibilidad.

✓ Respeto por la propiedad intelectual

Esta tesis tiene teorías respecto al tema, por ende, se respeta la propiedad intelectual ajena, así citando cada información obtenida.

✓ Responsabilidad Social

Se tiene como propósito concientizar a los estudiantes interesados en la rama de la ingeniería estructural y sísmica, además de ofrecer a la población una edificación con capacidad de soportar un sismo severo.

IV. RESULTADOS

4.1. GENERALIDADES DEL PROYECTO

4.1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

Se contó con una estructura clasificado como tipo “C-Común”, según E030, la cual se implementó dispositivos sísmicos llamados disipadores de energía de tipo fluido viscoso ante eventos sísmicos severos en la ciudad de Chiclayo.

La estructura es una edificación de uso Vivienda Multifamiliar (C), que cuenta con 10 niveles y teniendo como área 546.96 m² y con sistema dual mediante elementos de borde (Placas), donde al no cumplir con las solicitudes sísmicas se adicionó los disipadores de tipo fluido viscoso, donde se establecieron comparaciones de análisis y diseño de ambos sistemas (con y sin disipadores).

La edificación tiene como altura en cada nivel de 3.00 m, con un total de 30m desde el nivel de terreno natural, siendo la estructura de concreto.

- Ubicación del proyecto:
 - Departamento: Lambayeque
 - Provincia: Chiclayo
 - Distrito: Pimentel
 - Ubicación del proyecto: Sector las Pampas de Pimentel.



Figura 15: Área del proyecto.

Fuente: Google Maps.

La estructura está conformada:

Como área en planta de $25.8\text{m} \times 21.2\text{m} = 546.96\text{ m}^2$, con las siguientes distribuciones:

- ✓ Primer nivel: Cochera y departamentos
- ✓ Segundo hasta décimo nivel: Departamentos

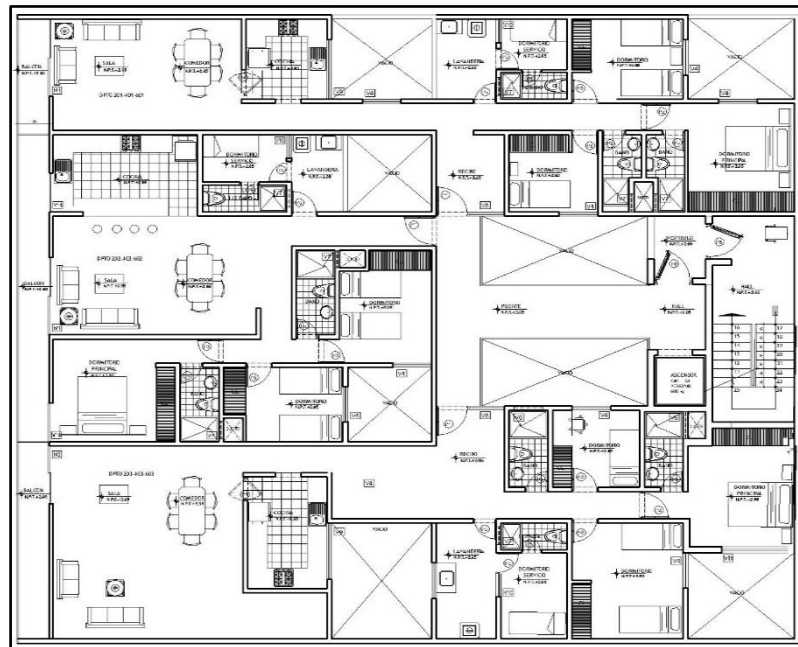
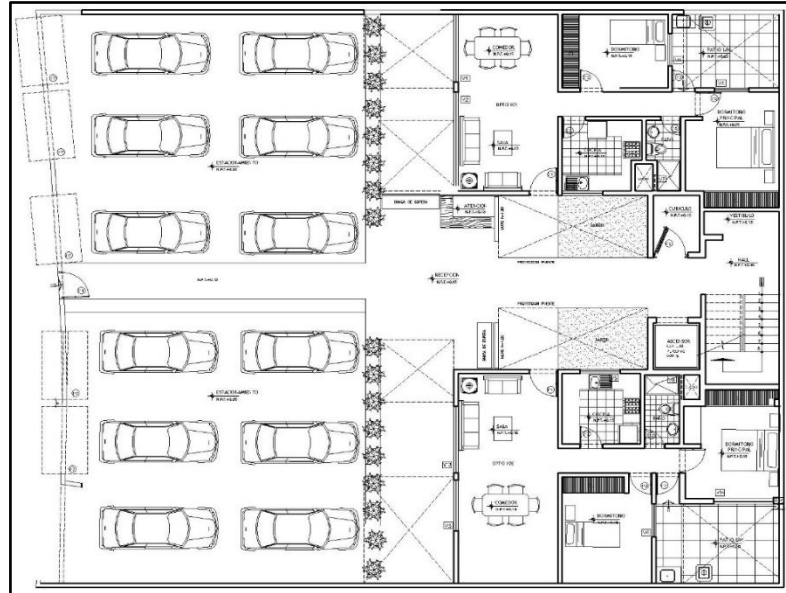


Figura 16: Arquitectura del proyecto en estudio.

Fuente: Propia

4.2. ESTRUCTURACIÓN Y PREDIMENSIONAMIENTO

Respecto a la estructuración del edificio se planteó un sistema en concreto armado, como antes mencionado, primero con un sistema dual y luego un sistema implementando los disipadores de fluido viscoso.

Al referirse a las losas, se optó por losas de tipo aligeradas en una dirección, las cuales algunas descansan sobre las vigas y otras sobre placas o muros de corte.

Ahora referidos a columnas y vigas, se buscará que tengan la mayor rigidez, con el fin de que el sismo severo cuando intervenga, dichos elementos estructurales soporten sin dañar la edificación.

Y finalmente referente al predimensionamiento, se tuvo las siguientes secciones de los elementos estructurales:

Losa aligerada: $e=25\text{cm}$

Losa maciza: $e= 20\text{cm}$

Vigas Principales: $35 \times 50\text{cm}$

Vigas Secundarias: $30 \times 40\text{cm}$

Columnas: $65 \times 35 \text{ cm}$

Muros de Corte: 25cm

4.3. MODELO MATEMÁTICO

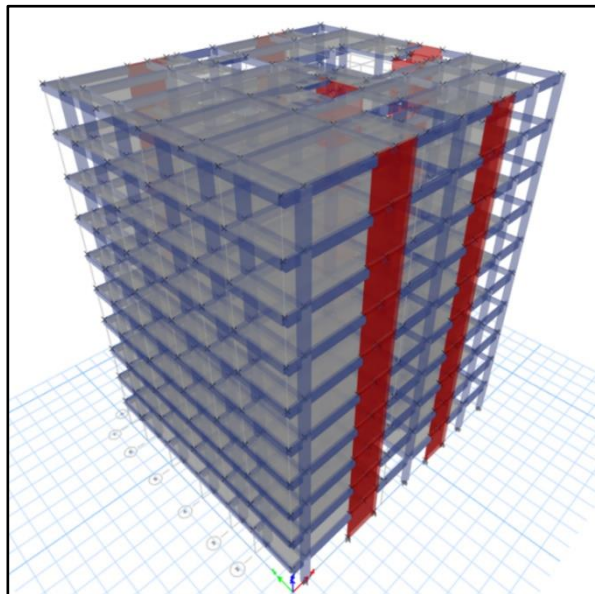


Figura 17: Modelo estructural en 3D.

Fuente: Software ETABS.

4.4. ANÁLISIS SÍSMICO

4.4.1. ANÁLISIS ESTÁTICO

Para este tipo de análisis se realizó el método de fuerzas equivalentes, lo cual consiste en aplicar un conjunto de fuerzas que actúan en el centro de masas en cada entrepiso. Según la norma E030, este método solo es aplicable en edificios regulares. Finalmente, los resultados de este análisis son para fines de comparación con el análisis modal-espectral.

Para calcular la cortante basal se tuvo los siguientes factores y valores:

- $T_{xy} = 0.50$ seg
- $C = 2.5$
- $T_p = 0.6$ $T_I = 2.0$
- $Z = 0.45$
- $S = 1.05$
- $U = 1.00$
- $R_o = 7.00$

Para el coeficiente de reducción sísmica se tiene que verificar con los factores de irregularidad, lo cual se determinó que la edificación no presenta ningún tipo de irregularidad ni en planta y altura; por lo tanto, no afectó el R final ($R=7$).

- $R_{xy} = 7.00 \times 1 \times 1 = 7.00$
- P sísmico = 4312.06 Tn

Resultando la cortante basal:

$$V_{xy} = 727.75 \text{ Tn}$$

Ahora, obteniendo los períodos reales de la estructura del software ETABS, la cortante basal quedaría con los siguientes valores:

$$V_x = 426.89 \text{ Tn}$$

$$V_y = 560.86 \text{ Tn}$$

4.4.2. SISTEMA ESTRUCTURAL

Obtenido los valores de la cortante basal en ambas direcciones se determinó el sistema estructural del edificio.

Como se sabe, la edificación fue asumida inicialmente con un sistema dual en las dos direcciones, entonces ya calculado la cortante estática, se podrá comprobar si el sistema asumido fue correcto, en lo cual se sabrá en cuanto la absorción de cortante de dichos muros de corte.

Cabe resaltar que la E030 nos indica acerca de los sistemas estructurales, que en el sistema dual y de muros estructurales las fuerzas de sismo son resistidas por los pórticos (columnas y viga) y muros o placas de concreto. Entonces, para que sea un sistema dual la cortante basal que absorben los muros debe ser mayor que el 20% y menor que el 70% de la cortante basal total, pero si es mayor al 70% correspondería a un sistema de muros estructurales.

Finalmente, el sistema estructural para la dirección "X" será dual y para "Y" será un sistema de muros estructurales

4.4.3. ANÁLISIS DINÁMICO MODAL – ESPECTRAL

Este análisis consiste en una combinación modal – espectral, en la cual se aplican fuerzas externas por parte de un espectro de respuesta, la cual se construye por medio de aceleraciones y períodos.

Se utilizo un espectro de pseudoaceleraciones para las dos direcciones, con los mismos factores que se utilizó para el análisis estático (ZUCS/R), pero multiplicando por la gravedad (9.81 m/s^2), para luego con la ayuda de la herramienta Excel obtener el espectro de respuesta.

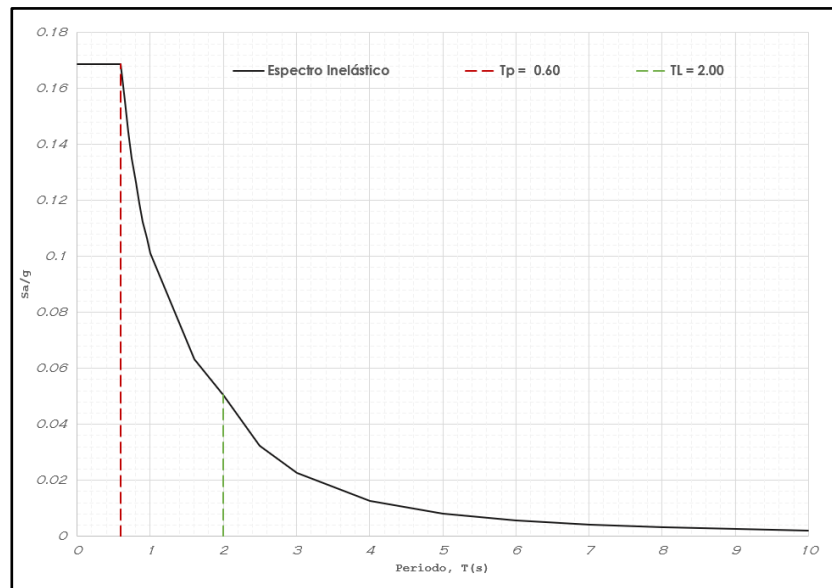


Figura 18: Espectro de respuesta para "X".

Fuente: Propia.

4.4.4. CONTROL DE DERIVAS

Realizados ambos análisis, determinar el sistema estructural, las cortantes en la base, masa participativa, modos de vibración, etc; finalmente se tiene que verificar las derivas de entrepiso si se cumple con lo establecido en la norma peruana Sismorresistente E030, que para concreto armado no debe superar la deriva de 0.007.

A continuación se determinó que en ambas direcciones "X" y "Y", no cumplen con la distorsión o deriva establecida, lo cual se tuvo que dar como solución aumentar las secciones de los elementos estructurales (vigas y columnas); además de aumentar muros de corte o también llamados placas, para así lograr aumentar rigidez a la estructura y finalmente cumplir o estar por debajo de 0.007.

Finalmente se obtuvo cumplir estar por debajo de la deriva objetivo en ambas direcciones.

Tabla 2: Control de derivas-Análisis Dinámico en “X”.

Piso	Diafragma	Sismo	UY	D.	A.	Derivas	Derivas	Control E-030 ≤ 0.007
			m	Relativo (m)	entrepiso (m)	Elásticas	Inelásticas	
10	D10	S_DINX	0.0264	0.0016	3	0.000533	0.002400	PASA
9	D9	S_DINX	0.0248	0.002	3	0.000660	0.002972	PASA
8	D8	S_DINX	0.0228	0.0024	3	0.000805	0.003624	PASA
7	D7	S_DINX	0.0204	0.0028	3	0.000949	0.004269	PASA
6	D6	S_DINX	0.0175	0.0032	3	0.001069	0.004809	PASA
5	D5	S_DINX	0.0143	0.0035	3	0.001150	0.005177	PASA
4	D4	S_DINX	0.0109	0.0035	3	0.001172	0.005274	PASA
3	D3	S_DINX	0.0074	0.0033	3	0.001105	0.004973	PASA
2	D2	S_DINX	0.0040	0.0027	3	0.000900	0.004049	PASA
1	D1	S_DINX	0.0013	0.0013	3	0.000449	0.002021	PASA

Fuente: Elaboración Propia.

4.5. ANÁLISIS SÍSMICO CON DISIPADORES DE FLUIDO VISCOSO.

En esta ocasión la edificación se evaluó mediante la relación daño-deriva de la metodología Hazus, lo cual se implementó el uso de algún sistema de protección sísmica, por lo que en esta ocasión se optó por los disipadores de energía de fluido viscoso, empleando los reglamentos de ASCE 7-16, FEMA 273 y Hazus-Vision 2000, correspondiente para un análisis por desempeño.

Posterior se tuvo que realizar un análisis tiempo historia o también llamado tiempo de respuesta, donde fue necesario realizar primero un análisis dinámico con un espectro de diseño con $R=1$, donde sus resultados fueron comparados con los resultados del análisis tiempo-historia lineal, y así definir el sismo de diseño.

El análisis con $R=1$, es para que la estructura entre en un comportamiento del rango no lineal ante un sismo severo, por lo cual se determinó que en este análisis las distorsiones de entrepiso o derivas superan el límite de 0.007 en ambas direcciones.

4.5.1. ACELEROGRAMAS PARA ESPECTRO DE DISEÑO

Se consideró 3 registros sísmicos, que fueron los más severos que han ocurridos en nuestro país, lo cuales son el sino de Lima en 1966 y 1974; y el sismo de Ica del 2007. Estos registros sísmicos se tuvieron que escalar y dar correcciones con ayudas de programas para finalmente ingresar los datos al Software ETABS, ya que esta herramienta se puede igualmente trabajar para incursión de equipos de protección sísmico.

4.5.2. ANÁLISIS SÍSMICO DINÁMICO MODAL TIEMPO-HISTORIA LINEAL Y DETERMINACIÓN DE SISMO DE DISEÑO.

Se realizo el también llamado análisis tiempo historia con los tres registros sísmicos considerados, para la finalidad de obtener nuevamente las distorsiones o también llamados derivas por cada registro sísmicos, resultando en todas superar el límite de 0.007.

Tabla 3: Resumen de derivas inelásticas en la dirección “X”

ANÁLISIS DINÁMICO TIEMPO - HISTORIA EN X-X						
NIVEL	ICA 2007		LIMA 1966		LIMA 1974	
	CASO1	CASO 2	CASO 1	CASO 2	CASO 1	CASO 2
10	0.00768	0.01030	0.00526	0.00481	0.00557	0.00496
9	0.00950	0.01282	0.00653	0.00603	0.00699	0.00605
8	0.01165	0.01579	0.00792	0.00751	0.00868	0.00740
7	0.01375	0.01871	0.00910	0.00902	0.01039	0.00876
6	0.01547	0.02122	0.01076	0.01029	0.01201	0.00987
5	0.01653	0.02294	0.01199	0.01109	0.01315	0.01055
4	0.01667	0.02346	0.01240	0.01121	0.01353	0.01066
3	0.01553	0.02219	0.01183	0.01040	0.01277	0.00997
2	0.01259	0.01813	0.00970	0.00829	0.01036	0.00805
1	0.00625	0.00911	0.00482	0.00411	0.00514	0.00399

Fuente: Elaboración Propia

Finalmente se determinó como sismos de diseño los registros sísmicos de Lima 1974 y Lima 1966, por estar en el intervalo de 0.8 a 1.3, que es el intervalo más recomendable para el diseño de los disipadores.

4.5.3. DISEÑO POR DESEMPEÑO Y DERIVA OBJETIVO.

Para el diseño por desempeño se recurrió al comité VISION 2000 para determinar el nivel de amenaza sísmica, desempeño y nivel de comportamiento sísmico esperado; para luego hallar la deriva objetiva según la metodología Hazus, teniendo en cuenta el sistema estructural y altura del edificio, la cual resultó ser la deriva 0.0042 a cumplir.

4.5.4. AMORTIGUAMIENTO EFECTIVO Y AMORTIGUAMIENTO VISCOSO

Para calcular el amortiguamiento efectivo y viscoso se tuvo en cuenta la normativa FEMA, lo cual mediante una formula brindada por esta norma, se obtiene 57.30% de amortiguamiento efectivo para la dirección "X" y la dirección "Y" un amortiguamiento de 41.77%.

Mientras el amortiguamiento viscoso se obtuvo restando amortiguamiento del edificio, que correspondería 5% ya que la estructura es de concreto.

4.5.5. COEFICIENTE DE AMORTIGUAMIENTO NO LINEAL

Se calculó el amortiguamiento no lineal en ambas direcciones, resultando de la siguiente manera:

Dirección "X":

$$\sum C_j = 4112.27 \text{ Tn. s/m}$$

Implementando 5 disipadores por piso:

$$C_j = 823 \text{ Tn. s/m}$$

Dirección "Y":

$$\sum C_j = 3533.45 \text{ Tn. s/m}$$

Implementando 5 disipadores por piso:

$$C_j = 707 \text{ Tn. s/m}$$

A continuación, estos resultados se ingresan al programa ETABS, junto a la rigidez del brazo metálico, para así lograr continuar con el análisis respectivo.

4.5.6. CONTROL DE DERIVAS - ANÁLISIS SÍSMICO NO LINEAL TIEMPO-HISTORIA

Ingresados los resultados al programa ETABS, se realizó finalmente el análisis para verificación de derivas o distorsiones de entrepiso, lo cual resulto óptimo ya que si se cumplió estar por debajo de la deriva de 0.0042 en ambas direcciones, por lo tanto la edificación garantizará el resguardo de vida humanas después de un sismo severo ocasionados en la provincia de Chiclayo, teniendo un daño leve-moderado en toda la estructura.

Tabla 4: Derivas Inelásticas con Disipadores en “Y”.

Piso	Diafragma	Sismo	UY	D.	A.	Derivas Inelásticas	Control HAZUS ≤ 0.0042
			m	Relativo (m)	entrepiso (m)		
10	D10	CASO 2 - LIMA 1996 Max	0.104403	0.00800	3	0.0027	PASA
9	D9	CASO 2 - LIMA 1996 Max	0.096399	0.00877	3	0.0029	PASA
8	D8	CASO 2 - LIMA 1996 Max	0.087625	0.01024	3	0.0034	PASA
7	D7	CASO 2 - LIMA 1996 Max	0.077388	0.01130	3	0.0038	PASA
6	D6	CASO 2 - LIMA 1996 Max	0.066087	0.01189	3	0.0040	PASA
5	D5	CASO 2 - LIMA 1996 Max	0.0542	0.01275	3	0.0042	PASA
4	D4	CASO 2 - LIMA 1996 Max	0.041455	0.01273	3	0.0042	PASA
3	D3	CASO 2 - LIMA 1996 Max	0.028721	0.01222	3	0.0041	PASA
2	D2	CASO 2 - LIMA 1996 Max	0.0165	0.01105	3	0.0037	PASA
1	D1	CASO 2 - LIMA 1996 Max	0.005453	0.00545	3	0.0018	PASA

Fuente: Elaboración Propia.

4.5.7. COMPORTAMIENTO HISTERÉTICO Y BALANCE ENERGÉTICO

Luego de haber cumplido el objetivo de estar por debajo de la deriva según la metodología Hazus se verificó el correcto comportamiento fuerza-desplazamiento de los disipadores mediante histéresis en las dos direcciones, lo cual se cumplió tomando la forma correcta de curva helicoidal; además hay un correcto comportamiento genera un buen funcionamiento del disipador.

Respecto al balance energético, se dio como resultado que la energía de disipación es mayor al 40% y cerca al 80%, esto fue correcto ya que este tipo de disipador resisten hasta un 80% del sismo de diseño.

V. DISCUSIÓN

Terminada la etapa de análisis de los diferentes modelos matemáticos, se presentan gráficos de comparaciones de ambos sistemas, tanto el edificio con y sin disipadores.

Desplazamientos en el centro de masas

Dirección X:

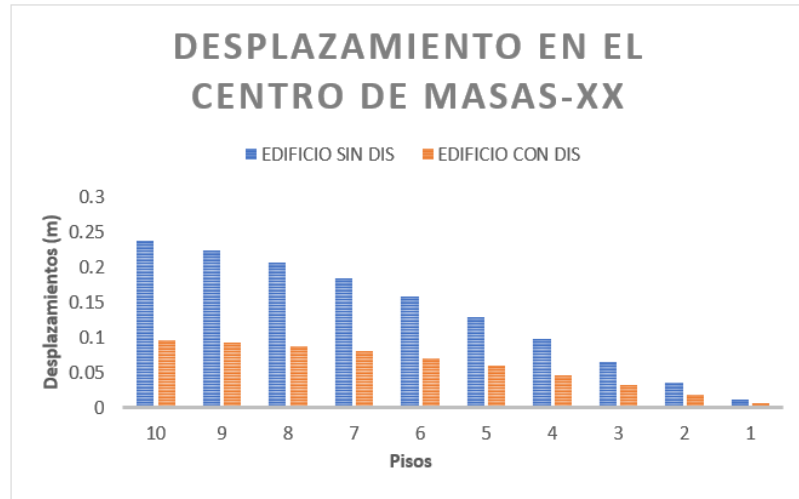


Figura 19: Desplazamiento en el centro de masas - Dirección "X".

Fuente: Propia.

Dirección Y:

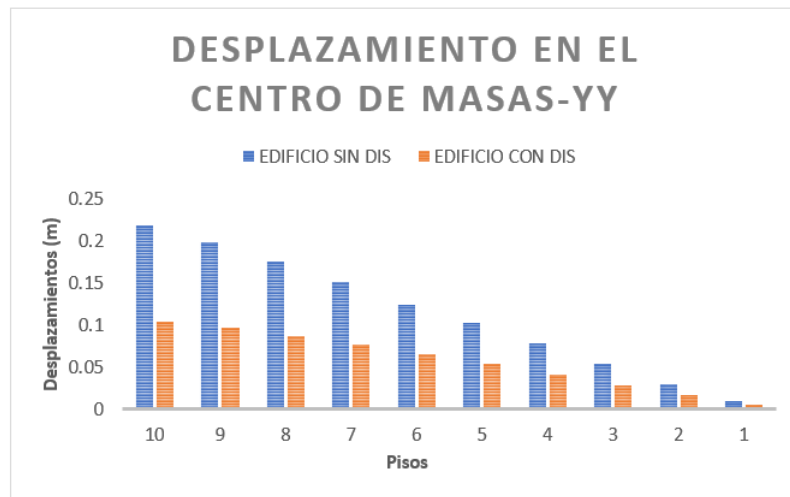


Figura 20: Desplazamiento en el centro de masas - Dirección "Y".

Fuente: Propia

Distorsiones o derivas de entrepiso

Dirección X:



Figura 21: Derivas de entrepiso - Dirección "X".

Fuente: Propia.

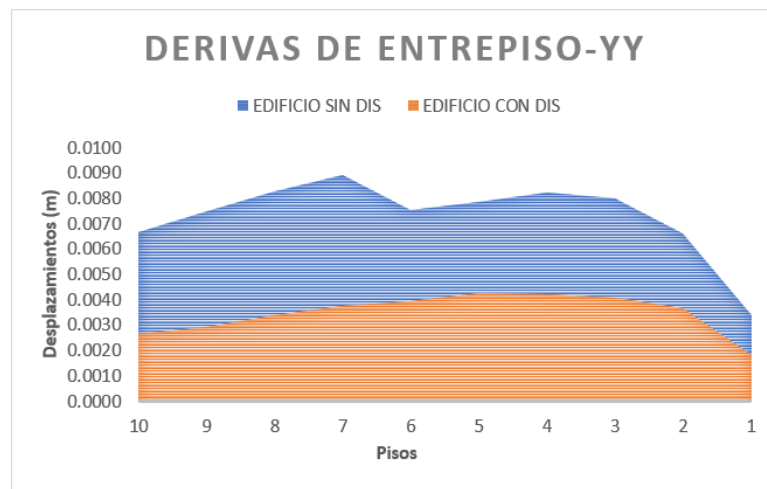


Figura 22: Derivas de entrepiso - Dirección "Y".

Fuente: Propia.

Esfuerzos en los elementos estructurales

Se da a mostrar cómo influye los disipadores de fluido viscoso en la reducción de esfuerzos de elementos estructurales.

Momento Flector y Fuerza Cortante en Viga - Eje Y

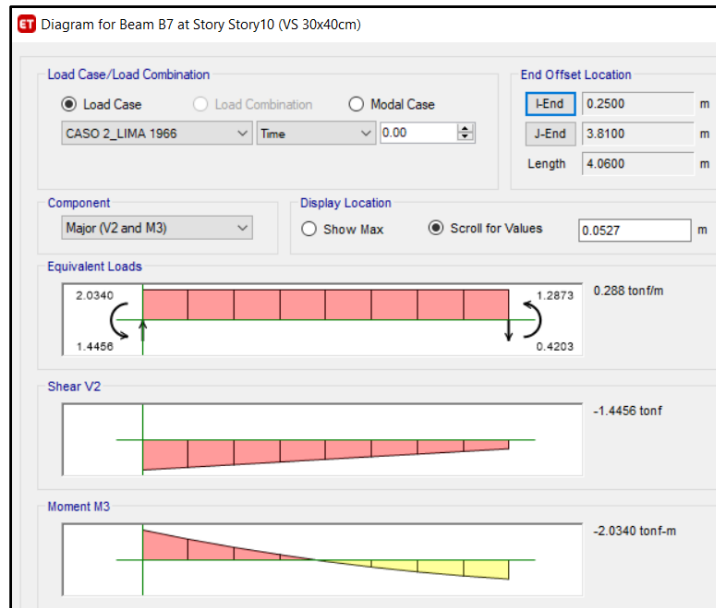


Figura 23: Momento flector de viga sin disipadores – Dirección “Y”.

Fuente: Software ETABS.



Figura 24: Momento flector de viga con disipadores - Dirección “Y”.

Fuente: Software ETABS.

Momento Flector en columna - Eje Y

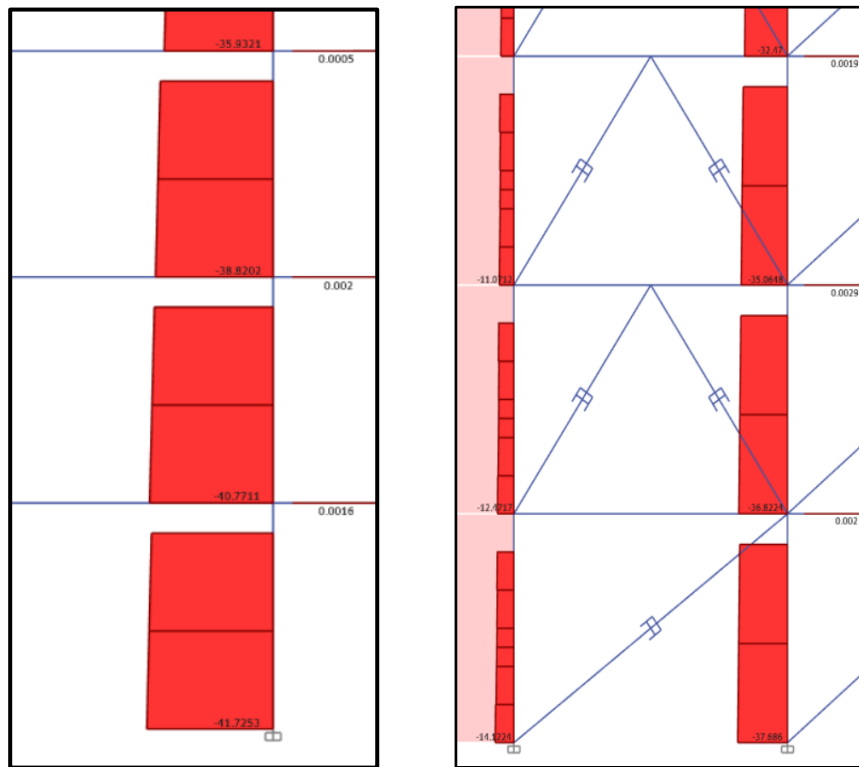


Figura 25: Momento flector en columna con y sin disipadores - Eje "Y".

Fuente: Software ETABS.

Momento Flector en muro de corte - Eje X

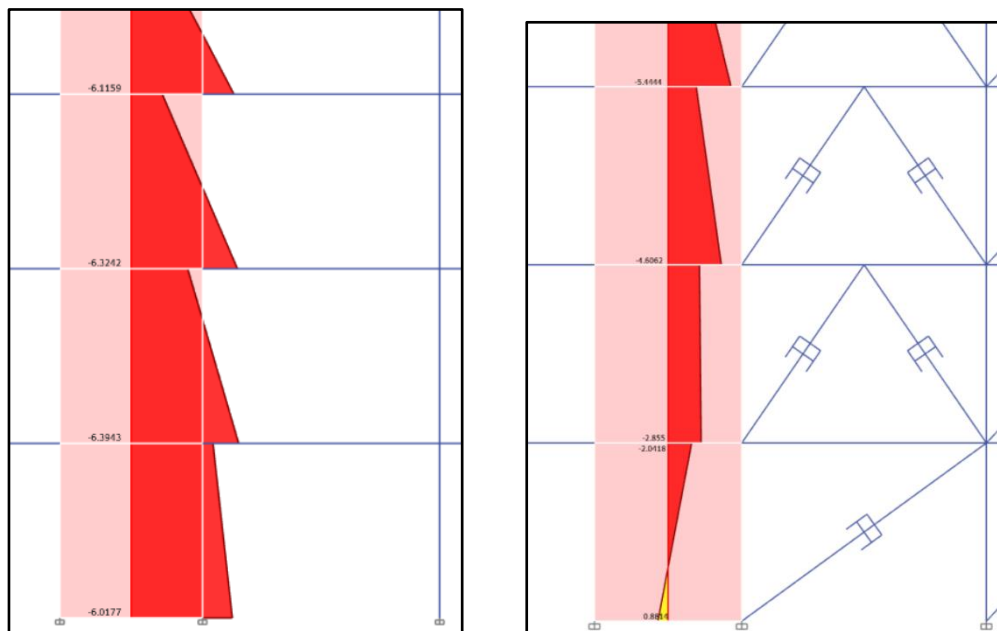


Figura 26: Momento flector en muro de corte con y sin disipadores - Eje "X".

Fuente: Software ETABS.

VI. CONCLUSIONES

- ✓ Ante un movimiento sísmico, en una edificación convencional sin disipadores, las fuerzas sísmicas serán absorbidas por los elementos estructurales (vigas, columnas y muros de corte), mientras que en un edificio empleando disipadores, son estos dispositivos que absorberán primero un gran porcentaje de la fuerza sísmica, para así evitar las rotulas plásticas que se originan en los elementos estructurales.
- ✓ Para un buen funcionamiento de los disipadores ante un sismo, va a depender de la ubicación que se le da dentro de la estructura, para que así la curva histerética tome una forma elíptica como se recomienda para estos tipos de disipadores.
- ✓ Se determinó que los disipadores de fluido viscoso influyen también en la reducción de esfuerzos de los elementos estructurales (momento flector, fuerza cortante y fuerza axial), dando una menor cuantía de acero para el diseño estructural.
- ✓ Se determinó que estos tipos de disipadores reducen significadamente los desplazamientos, y por lo tanto en las distorsiones, cumpliendo lo que rige la E030 y además cumpliendo también con la metodología de Hazus.

VII. RECOMENDACIONES

- ✓ Se recomienda emplear sistemas de protección, para estructuras importantes y de grandes niveles, ya que estas son las primeras en tomar las fuerzas sísmicas provenientes de un sismo severo.
- ✓ Se recomienda la verificación de la disposición de los disipadores, ubicándolos en los pórticos que tengan mayores desplazamientos para que tome la forma elíptica como se recomienda para estos tipos de disipadores.
- ✓ Se recomienda este tipo de disipador, ya que reduce la cuantía de refuerzo de acero, lo cual se ahorra económicamente en acero y se podría invertir del tal ahorro en emplear disipadores de fluido viscoso.
- ✓ Se recomienda optimizar los disipadores de tipo fluido viscoso, ya que estos adicionan amortiguamiento y no altera la rigidez a la edificación, manteniendo los períodos y no alterando la aceleración sísmica.

REFERENCIAS

CHAVEZ, Jean. Diseño sismorresistente de edificios con disipadores de fluido viscoso. 1.ra ed. Lima: Edición del autor, 2017. 380 pp. ISBN: 9786120027752

VILLARREAL, Genner y OVIEDO, Ricardo. Edificaciones con Disipadores de Energía. Primera edición. Lima, 2009. 110 pp. ISBN: 978-9972-33-910-3

PARDO, Juan. Control de la Respuesta Dinámica de Estructuras Mediante el uso de Disipadores de Energía de Fluido Viscoso del Tipo Lineal. Tesis (Magister en Estructuras). Valdivia: Universidad Austral De Chile Valdivia, 2007. 132 pp.

AGUIAR, Roberto (2008). Análisis Sísmico De Edificios. Centro de Investigaciones Científicas. Escuela Politécnica del Ejército. Quito-Ecuador.

CORPORACIÓN DE DESARROLLO TECNOLÓGICO - CÁMARA CHILENA DE LA CONSTRUCCIÓN (2011). Protección Sísmica de Estructuras Sistemas de Aislación Sísmica y Disipación de Energía, Santiago de Chile

GATICA LAGOS, Víctor (2003), Comportamiento Dinámico De Los Edificios Provistos Con Dispositivos Disipadores De Energía. Universidad Autónoma De Nuevo León. Tesis de grado. México.

CHANSON, Hubert. Energy Dissipation in Hydraulic Structures. 1.ra ed. CRC Press: Edición del autor, 2015. 178 pp. ISBN: 978-1138027558

BLANCO, Antonio. Estructuración y diseño de edificaciones de concreto armado. 2.a ed. Lima: Colegio de ingenieros del Perú, 1994. 303 pp.

TAYLOR, Douglas. Fluid Viscous Dampers in Applications of Seismic Energy Dissipation and Seismic Isolation. 1.ra ed. CRC Press: Edición del autor, 2015. 178 pp.

AMERICAN society of civil engineers (EE.UU). Minimum desing loads for buildings and other structures. Virginia: 2010. 658 pp.

DOWRICK, D. J. (1992). Diseño de estructuras resistentes a sismos. 2.a ed. México. Editorial Limusa. 208 pp.

STEEL Construction (EE.UU). American institute Steel construction. [s.l]. 2005. 2181 pp.
ISBN: 1-56424-055-X

ETABS. Computers and structures Inc [CD-ROM]. Versión 18.01 California: University of California Berkeley, 2018. Programa computacional.

EE.UU. Taylor device inc. buildings desing for damping proceedings of the Boston society of civil engineers. 1999, 66 p.

NATIONAL institute of building sciences (EE.UU). Fema 274: Nehrp commentary on the guidelines for the sismic rehabilitation of buildings. Washington, D.C. USA: 1997. 488 pp.

AMERICAN concrete institute (Perú). Requisitos de reglamento para concreto estructural. Lima: 2015. 592 pp.

LEE, David y TAYLOR, Douglas Viscous Damper development and future trends. Paper. EE. UU. 5 pp.

Uniform Building Code (1997). UBC– APPENDIX CHAPTER 16. Division IV – Earthquake Regulations for Seismic – Isolated Structures. Estados Unidos.
Seismosoft, earthquake engineering software solutions (2018). *SeismoSignal v.2018*. Pavía – Italia.

HARMSEN, Teodoro. Diseño de estructuras de concreto armado. 3.a ed. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, 2002. 682 pp.

Perú. Reglamento nacional de edificaciones. 22 de Enero del 2018, N° 004-2018-Vivienda. 823 pp.

DIAZ LA ROSA Sánchez, Marcos. Evaluación del proyecto estructural y optimización del diseño con disipadores de energía viscosos Taylor para una edificación esencial de 6 pisos. Tesis (Bachiller en ingeniería civil). Trujillo: Universidad Privada Antenor Orrego, 2014. 214 pp.

HOPRA, Anil. Dinámica de estructuras. 4.a ed. California: Pearson education, 2014. 904 pp.

MORALES, Roberto. Diseño en concreto armado. 3.a ed. Lima: Fondo editorial icg, 2006. 228 pp.

VILLARREAL, Genner. Análisis de estructuras con el programa Lira 9.0. 1.a ed. Lima: Asamblea nacional de rectores, 2009. 109 pp.

ROMO, Marcelo. Hormigón Armado. 1.a ed. Ecuador: Escuela politécnica del ejército, 2008. 584 pp.

VILLAREAL Gernner y DÍAZ Marco (2016). Edificaciones con disipadores viscosos. ed. Trujillo. 131 pp.

OVIEDO Ricardo (2016). Diseño sismoresistente de edificaciones de concreto armado. ed. Lima. 314 pp.

GOYTIA, Ivan y VILLANUEVA, Rolando (2001). Texto guía de ingeniería antisísmica. 254 pp.

HERRÁIZ, Miguel (1997). Conceptos básicos de Sismología para ingenieros. 1.a ed. Lima: Cismid. 140 pp.

ANEXOS

ANEXO 01: Matriz de Operacionalización de Variables.

Tabla 5: Matriz de operacionalización de variables.

Variab les	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala de medición
Diseño Sísmico de una Edificación de 10 pisos.	Diseño Sísmico	Es la respuesta sísmica que tiene la estructura, sometido a condiciones sísmicas según el tipo de sistema estructural. Además, concebiremos un edificio con un adecuado comportamiento estructural suficientemente rígida, pero a la vez dúctil, ósea que tenga la capacidad de incursionar dentro del rango inelástico.	Análisis Sísmico	Análisis Estático	Nominal
				Análisis Dinámico	
				Análisis Tiempo-Historia	
Mejoramamiento del comportamiento Estructural con Disipadores de Energía de Fluido Viscoso	Disipadores de Energía de Fluido Viscoso	Son elementos que se adosan a los pórticos estructurales y que, en un movimiento sísmico, disipan energía sísmica a través del paso de fluido viscoso en su interior ocasionando una resistencia al movimiento libre del edificio.	Modelo Viscoso Taylor	Amortiguamiento	Nominal
			Comparaciones de Análisis entre la estructura convencional y la estructura con Disipadores.	Desplazamiento lateral absoluta de entrepiso	
				Derivas a nivel de entrepiso	
				Diseño de brazo metálico del Disipador	

Fuente: Elaboración propia

ANEXO 02: DIMENSIONES Y PROPIEDADES DE PERFILES DE ACERO DE TIPO TUBULAR.




Table 1-13
Round HSS
Dimensions and Properties

HSS20.000-
HSS10.000

Shape	Design Wall Thickness, <i>t</i>	Nominal Wt.	Area, <i>A</i>	<i>D/t</i>	<i>I</i>	<i>S</i>	<i>r</i>	<i>Z</i>	Torsion		
									<i>J</i>	<i>C</i>	
	in.	lb/ft	in. ²	in. ⁴	in. ³	in.	in. ³	in. ⁴	in. ³		
HSS20.000×0.500	0.465	104.00	28.5	43.0	1360	136	6.91	177	2720	272	
	×0.375 ^f	0.349	78.67	21.5	57.3	1040	104	6.95	135	2080	208
HSS18.000×0.500	0.465	93.54	25.6	38.7	985	109	6.20	143	1970	219	
	×0.375 ^f	0.349	70.66	19.4	51.6	754	83.8	6.24	109	1510	168
HSS16.000×0.625	0.581	103.00	28.1	27.5	838	105	5.46	138	1680	209	
	×0.500	0.465	82.85	22.7	34.4	685	85.7	5.49	112	1370	171
	×0.438	0.407	72.87	19.9	39.3	606	75.8	5.51	99.0	1210	152
	×0.375	0.349	62.64	17.2	45.8	526	65.7	5.53	85.5	1050	131
	×0.312 ^f	0.291	52.32	14.4	55.0	443	55.4	5.55	71.8	886	111
	×0.250 ^f	0.233	42.09	11.5	68.7	359	44.8	5.58	57.9	717	89.7
HSS14.000×0.625	0.581	89.36	24.5	24.1	552	78.9	4.75	105	1100	158	
	×0.500	0.465	72.16	19.8	30.1	453	64.8	4.79	85.2	907	130
	×0.375	0.349	54.62	15.0	40.1	349	49.8	4.83	65.1	698	100
	×0.312	0.291	45.65	12.5	48.1	295	42.1	4.85	54.7	589	84.2
	×0.250 ^f	0.233	36.75	10.1	60.1	239	34.1	4.87	44.2	478	68.2
HSS12.750×0.500	0.465	65.48	17.9	27.4	339	53.2	4.35	70.2	678	106	
	×0.375	0.349	49.61	13.6	36.5	262	41.0	4.39	53.7	523	82.1
	×0.250 ^f	0.233	33.41	9.16	54.7	180	28.2	4.43	36.5	359	56.3
HSS10.750×0.500	0.465	54.79	15.0	23.1	199	37.0	3.64	49.2	398	74.1	
	×0.375	0.349	41.59	11.4	30.8	154	28.7	3.68	37.8	309	57.4
	×0.250	0.233	28.06	7.70	46.1	106	19.8	3.72	25.8	213	39.6
HSS10.000×0.625	0.581	62.64	17.2	17.2	191	38.3	3.34	51.6	383	76.6	
	×0.500	0.465	50.78	13.9	21.5	159	31.7	3.38	42.3	317	63.5
	×0.375	0.349	38.58	10.6	28.7	123	24.7	3.41	32.5	247	49.3
	×0.312	0.291	32.31	8.88	34.4	105	20.9	3.43	27.4	209	41.9
	×0.250	0.233	26.06	7.15	42.9	85.3	17.1	3.45	22.2	171	34.1
	×0.188 ^f	0.174	19.72	5.37	57.5	64.8	13.0	3.47	16.8	130	25.9

Figura 27: Dimensiones y propiedades de perfil de acero tubular.

Fuente: AISC Steel Construction Manual 13th ed - 2005

ANEXO 03: DIMENSIONES Y CONFIGURACION DE PLACA BASE PARA DISIPADORES DE FLUIDO VISCOSO.

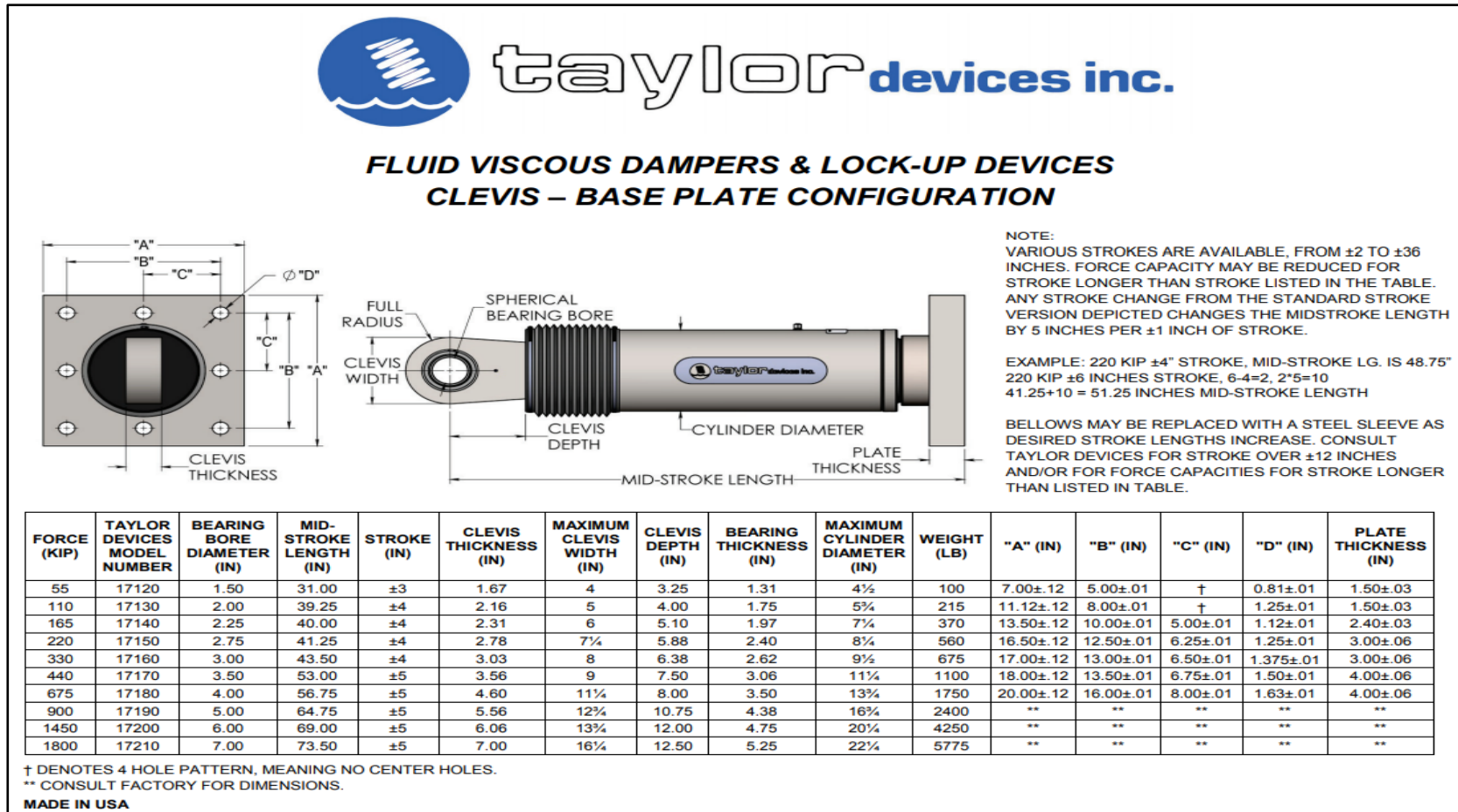


Figura 28: Dimensiones de disipadores y configuraciones de placa base.

Fuente: Taylor Devices inc.

ANEXO 04: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS Y PREDIMENSIONAMIENTO

A. MATERIALES Y ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

Concreto:

- Resistencia a la compresión ($F'c$): 280 kg/cm²
- Peso Específico (γ_c): 2400 kg/m³
- Módulo de Poisson (U): 0.20
- Módulo de Elasticidad (E): 2509980.08 Tn/m²

Acero Estructural

- Tipo corrugado ASTM A615 – Grado 60
- Resistencia a la fluencia (F_y) = 4200 kg/cm²
- Módulo de Elasticidad (E): 2×10^6 kg/cm²

B. CARGAS VIGAS Y MUERTAS SEGÚN E020

CARGAS MUERTAS:

Del 1 al 10 nivel

- Tabiquería: 0.15 Tn/m²
- Acabados: 0.10 Tn/m²

Azotea

- Acabados: 0.10 Tn/m²
- Parapeto: 0.24 Tn/m (Carga distribuida según metrado)

CARGAS VIVAS:

Del 1 al 10 nivel

- Sobrecarga (S/C)

Departamentos: 200 kg/m²

Corredores: 400 kg/m²

ANEXO 05: PREDIMENSIONAMIENTO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES

A. Losa Aligerada

Para el pre dimensionamiento de las losas aligeradas en una dirección se tomará como referencia la E030 del Reglamento Nacional de Edificaciones y la normativa americana ACI-2014, para lo cual se tomará el siguiente criterio:

$$h = \frac{L}{25}$$

Dónde:

h = Peralte de la losa aligerada

L = Longitud de la luz mayor entre paños

$$h = \frac{5.65}{25} = 0.23 \text{ m}$$

Por lo cual, se asumió como espesor de 25 cm para la losa aligerada.

B. Losa Maciza

Se tomará como referencia esta vez a la normativa americana ACI-2014, para lo cual se tomará el siguiente criterio:

Tabla 6: Relación losa maciza.

Losa maciza en dos direcciones	
Mayor luz (m)	Peralte
Entre 4 a 5.5 m	L/40
Entre 5.5 a 6.5 m	L/35
Entre 6.5 a 7.5 m	L/30

Fuente: Oviedo Sarmiento, 2018

$$h = \frac{L}{35}$$

Dónde:

h = Peralte de la losa aligerada

L = Longitud de la luz mayor entre paños

$$h = \frac{5.50}{35} = 0.16 \text{ m}$$

Por lo cual, se asumió como espesor de 20 cm para la losa maciza.

C. Vigas

Para el caso de la utilización de vigas principales se utilizará el siguiente criterio práctico.

Tabla 7: Factores para pre dimensionamiento de vigas.

Factores para pre dimensionamiento de vigas	
Ws/c	α
$S/C \leq 200 \text{ kg/m}^2$	12
$200 < S/C \leq 350 \text{ kg/m}^2$	11
$350 < S/C \leq 600 \text{ kg/m}^2$	10
$600 < S/C \leq 750 \text{ kg/m}^2$	9

Fuente: Oviedo Sarmiento, 2018

Para esta presente tesis, que será destinada para vivienda Multifamiliar con sobrecarga de 200 Kg/m², se elegirá como factor 11, y así se aplicará las relaciones siguientes.

$$h = \frac{Ln}{11}$$

$$b = \frac{h}{2}$$

Dónde:

h = Peralte de la viga

Ln = Luz máxima libre en metros

b = Ancho de la viga

$$h = \frac{5.50}{11} = 0.50m$$

$$b = \frac{h}{2} = \frac{0.50}{2} = 0.25 = 0.35m \text{ (igual a ancho de columna)}$$

Se tomará para las vigas principales una sección de 35 x 50 cm.

Para el caso de las vigas secundarias se aplicará la siguiente relación, basándose igualmente al ACI-2014:

$$h = \frac{Ln}{14}$$

$$h = \frac{4.15}{14} = 0.28m = 0.40m$$

Se tomará para las vigas secundarias una sección de 30 x 40 cm.

D. Columnas

Son elementos estructurales que trabajan a flexo-compresión (Flexión y compresión), además de trabajar también a cortante. En esta ocasión se consideran un solo tipo de columnas para todos, tanto para columnas centradas y excéntrica, con el fin de que las columnas excéntricas se desempeñen de la mejor manera, porque son ahí donde dañan aún más los efectos del sismo.

Se tiene las siguientes cargas aplicadas a la estructura:

Losa aligerada = 350 Kg/m²

Tabiquería = 150 Kg/m²

Acabados = 100 Kg/m²

y concreto = 2400 Kg/m²

Vigas = 100 Kg/m²

Columnas = 60 Kg/m²

Sobrecarga = 200 Kg/m²

Para el cálculo de dimensiones de las columnas se usará la siguiente formula:

$$Acol = \frac{P_{servicio}}{0.35 f'c}$$

Dónde:

Acol = Área de la columna

Pservicio = Peso de servicio tributario por columna

$$Acol = \frac{280.90 Tn}{0.35 (0.28)}$$

$$Acol = 2131.59 cm^2$$

Se asume por lo tanto 65 x 35 cm para todo tipo de columnas.

E. Muros de Corte

Es recomendable para zonas donde existe alta sismicidad, que los muros de corte o placas tengan como mínimo 20 cm. Para esta edificación que se encuentra en la ciudad de Chiclayo, lo cual se encuentra en la zona 4 según el mapa de zonificación sísmica - E030 (2018), se optó por usar como espesor de 25cm debido a su gran altura que está proyectada.

ANEXO 06: ANÁLISIS ESTÁTICO – SISTEMA DUAL

A. Periodo fundamental de vibración (T)

El periodo fundamental de vibración inicial del edificio se calculará de la siguiente manera:

$$T = \frac{Hn}{Ct}$$

Dónde:

T = Periodo fundamental

Hn = Altura de la edificación

Ct = Factor en función al sistema estructural X y Y (E030)

Tabla 8: Coeficientes de periodo por sistema estructural.

Ct = 35	Pórticos de concreto armado, pórticos de acero
Ct = 45	Pórticos más muros en la caja de ascensores o escaleras y pórticos arriostrados de acero
Ct = 60	Albañilería, concreto armado duales, muros estructurales y muros de ductilidad limitada

Fuente: RNE E-030, 2018, P. 390.

Hn = 30 m

Ct = Sistema Dual Asumido = 60

$$T_{xy} = \frac{30}{60}$$

$$T_{xy} = 0.50 \text{ seg}$$

B. Factor de amplificación sísmica (C)

Este factor va a depender según las características del suelo que tiene cada ciudad, por lo cual se define según estas expresiones:

$$T < T_p$$

$$C = 2.5$$

$$T_p < T < T_L$$

$$C = 2.5 \left(\frac{T_p}{T} \right)$$

$$T > T_L \qquad C = 2.5 \left(\frac{T_p \times T_L}{T^2} \right)$$

Dato: $T_{xy} = 0.50 \text{ seg}$

Períodos de acuerdo al tipo de suelo

Tabla 9: Perfiles del suelo.

	Perfiles de suelo			
	S0	S1	S2	S3
Tp (s)	0.3	0.4	0.6	1.0
Tl (s)	3.0	2.5	2.0	1.6

Fuente: RNE E-030, 2018, P. 385.

Se tiene un tipo de suelo de tipo S2, según datos reales y confiables en muchos proyectos realizados en la región dado por un estudio de mecánica de suelos.

Entonces los parámetros, serán:

$$T_p = 0.6$$

$$T_L = 2.0$$

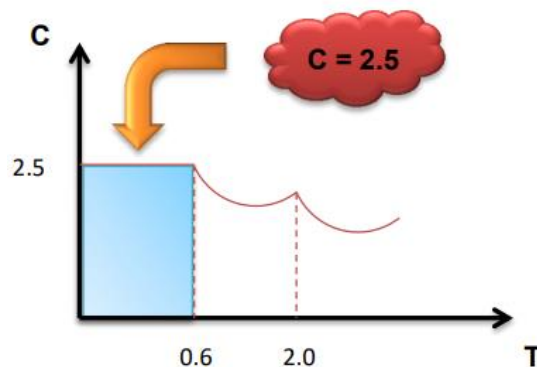


Figura 29: Factor de Amplificación Sísmica.

Fuente: Elaboración Propia.

C. Factor de zona (Z)

En esta presente tesis, como se había dicho anteriormente, está ubicado en el distrito de Pimentel, provincia de Chiclayo y región de Lambayeque; lo cual se tiene que verificar en el mapa de microzonificación sísmica y estudios del sitio según la E030 2018 y así otorgarle un factor Z.

Tabla 10: Coeficientes por zona sísmica.

ZONA	Z
4	0.45
3	0.35
2	0.25
1	0.10

Fuente: RNE E-030, 2018, P. 383.

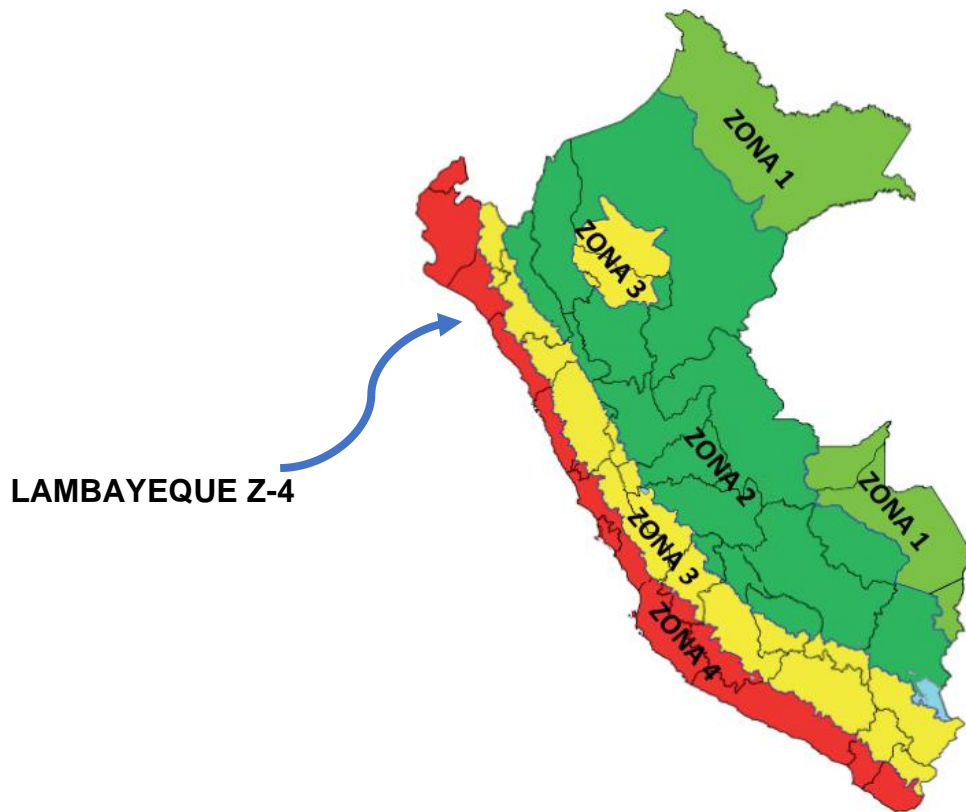


Figura 30: Mapa de Zonificación sísmica 2018.

Fuente: RNE E-030, 2018

Por ende, el valor de Z es: $Z = 0.45$

D. Perfil del suelo (S).

Se sabe que la estructura tiene un tipo de suelo S2 del cual se da a mostrar los valores de la siguiente tabla:

Tabla 11: Coeficientes S del suelo.

SUELO - ZONA	S0	S1	S2	S3
Z4	0.80	1.00	1.05	1.10
Z3	0.80	1.00	1.15	1.20
Z2	0.80	1.00	1.20	1.40
Z1	0.80	1.00	1.60	2.00

Fuente: RNE E-030, 2018, P. 385.

De la tabla se halla el valor para el tipo de suelo proyectada a la estructura, tiene como valor de **S = 1.05**.

E. Categoría de la edificación (U)

Para esta estructura, como ya se dijo anteriormente, está proyectada para Viviendas Multifamiliares establecida como Edificaciones Comunes según la norma E030, lo cual tendrá como factor de $U = 1.0$.

Tabla 12: Categoría de la edificación.

Categoría	Descripción	Factor
C Edificaciones comunes	<ul style="list-style-type: none">Edificaciones comunes tales como: Viviendas, oficinas, hoteles, restaurantes, depósitos e instalaciones industriales cuya falla no acarree peligros adicionales de incendios	1.0

Fuente: RNE E-030, 2018, P. 386.

F. Coeficiente de reducción sísmica (R)

La estructura será asumida para un inicio de análisis con un sistema dual, lo cual tendrá como $R=7$.

Tabla 13: Coeficiente de reducción sísmica.

Sistema estructural	Coeficiente básico de reducción R_o
Concreto armado	
Pórticos	8
Dual	7
De muros estructurales	6
Muros de ductilidad limitada	4

Fuente: RNE E-030, 2018, P. 387.

G. Regularidad Estructural

Será evaluada en distintos análisis para así saber si existe algún tipo de irregularidad basándonos con la última norma actualizada E030-2018.

Irregularidades en altura

Irregularidad de rigidez – Piso blando

“Existe irregularidad cuando, en cualquiera de las direcciones de análisis, en un entrepiso la rigidez lateral es menor que 70% de la rigidez lateral del entrepiso inmediato superior, o es menor que 80% de la rigidez lateral promedio de los tres niveles superiores adyacentes. Las rigideces laterales pueden calcularse como la razón entre la fuerza cortante del entrepiso y el correspondiente desplazamiento relativo en el centro de masas, ambos evaluados para la misma condición de carga” (RNE, 2018, p.388)

Del Software ETABS se obtiene los datos de las fuerzas cortantes de entrepiso y desplazamientos relativos en el centro de masas para los casos de carga de sismo estático en X y Y.

Tabla 14: Rigideces Laterales con Sismo Estático en X.

STORY	Fy	Fy	D	Drelativo	K
Story10	-88.4601	88.4601	0.068337	0.005728	15443.45
Story9	-188.7003	188.7003	0.062609	0.006461	29206.05
Story8	-276.3149	276.3149	0.056148	0.007096	38939.53
Story7	-351.5577	351.5577	0.049052	0.007665	45865.32
Story6	-414.6747	414.6747	0.041387	0.008055	51480.41
Story5	-465.9466	465.9466	0.033332	0.008176	56989.55
Story4	-505.7025	505.7025	0.025156	0.007935	63730.62
Story3	-534.3424	534.3424	0.017221	0.007224	73967.66
Story2	-552.3821	552.3821	0.009997	0.005895	93703.49
Story1	-560.5677	560.5677	0.004102	0.004102	136657.17

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 15: Rigideces Laterales con Sismo Estático en Y.

STORY	Fx	Fx	D	D relativo	K
Story10	-71.5846	71.5846	0.02715	0.00184	38904.67
Story9	-151.683	151.683	0.02531	0.002209	68665.91
Story8	-220.71	220.71	0.023101	0.002627	84015.99
Story7	-279.0477	279.0477	0.020474	0.003022	92338.75
Story6	-327.087	327.087	0.017452	0.003333	98135.91
Story5	-365.2663	365.2663	0.014119	0.003512	104005.21
Story4	-394.0882	394.0882	0.010607	0.003506	112403.94
Story3	-414.1467	414.1467	0.007101	0.003238	127902.01
Story2	-426.181	426.181	0.003863	0.002583	164994.58
Story1	-431.2059	431.2059	0.00128	0.00128	336879.61

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 16: Elaboración Control de Piso blando en Dirección X.

STORY	70%	promedio	80%promedio
Story10		63862.19	145%
Story9	176%		
Story8	122%		
Story7	110%		
Story6	106%		
Story5	106%		
Story4	108%		
Story3	114%		
Story2	129%		
Story1	204%		

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 17: Control de Piso blando en Dirección Y.

Fuente: Elaboración Propia

En las tablas se puede observar en los porcentajes calculados, que las rigideces laterales son mayores que el 70% de las rigideces laterales del entrepiso superior,

y mayores al 80% de las rigideces laterales

STORY	70%	promedio	80%promedio
Story10		27863.01	165%
Story9	189%		
Story8	133%		
Story7	118%		
Story6	112%		
Story5	111%		
Story4	112%		
Story3	116%		
Story2	127%		
Story1	146%		

promedios de los tres niveles superiores. Por lo tanto, se concluye que la

estructura no existe irregularidad de Rigidez por piso blando, además tampoco va a poseer Irregularidad Extrema de Rigidez.

Irregularidad de resistencia – Piso débil

Existe irregularidad de piso débil cuando la resistencia de un entrepiso frente a las fuerzas cortantes es inferior a 80% de la resistencia del entrepiso superior.

Tabla 18: Control de piso débil en X.

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 19: Control de piso débil en Y.

		VX	VX	80% VX
Story10	S_ESTX	-71.5846	71.58	57.27
Story9	S_ESTX	-151.683	151.68	121.35
Story8	S_ESTX	-220.71	220.71	176.57
Story7	S_ESTX	-279.0477	279.05	223.24
Story6	S_ESTX	-327.087	327.09	261.67
Story5	S_ESTX	-365.2663	365.27	292.21
Story4	S_ESTX	-394.0882	394.09	315.27
Story3	S_ESTX	-414.1467	414.15	331.32
Story2	S_ESTX	-426.181	426.18	340.94
Story1	S_ESTX	-431.2059	431.21	344.96

Fuente: Elaboración Propia.

$$Vc < 80\% \times V_{n+1}$$

		VY	VY	80% VY
Story10	S_ESTY	-88.4601	88.46	70.77
Story9	S_ESTY	-188.7003	188.70	150.96
Story8	S_ESTY	-276.3149	276.31	221.05
Story7	S_ESTY	-351.5577	351.56	281.25
Story6	S_ESTY	-414.6747	414.67	331.74
Story5	S_ESTY	-465.9466	465.95	372.76
Story4	S_ESTY	-505.7025	505.70	404.56
Story3	S_ESTY	-534.3424	534.34	427.47
Story2	S_ESTY	-552.3821	552.38	441.91
Story1	S_ESTY	-560.5677	560.57	448.45

$$560.57 < 0.8 \times 552.38$$

$$560.57 Tnf > 441.91 Tnf$$

Como se observa ninguna fuerza cortante en los dos ejes de análisis es inferior al 80% de las mismas en el entrespacio inmediato superior, por ende, no existe irregularidad por piso débil. Además, si se sabe que no existe en la estructura Irregularidad de Resistencia, entonces tampoco va a existir Irregularidad de Resistencia Extrema.

Irregularidad de Masa o Peso

Es cuando la masa del primer nivel es mayor a 1.5 veces la masa de un nivel siguiente.

Tabla 20: Control de irregularidad de masas.

	Masas	Peso sísmico	1.50Peso sísmico
	Tnf.s ² /m	Tn	Tn
Story10	26.5647	260.5108	390.7662
Story9	34.9545	342.7863	514.1794
Story8	34.9499	342.7414	514.1122
Story7	34.9499	342.7414	514.1122
Story6	34.9499	342.7414	514.1122
Story5	34.9499	342.7414	514.1122
Story4	34.9499	342.7414	514.1122
Story3	34.9499	342.7414	514.1122
Story2	34.9499	342.7414	514.1122
Story1	34.9499	342.7414	514.1122

Fuente: Elaboración Propia.

$$M_{pn} > 1.5 \times M_{n+1}$$

$$34.95 > 1.5 \times 34.95$$

$$34.95 Tnf \cdot \frac{s^2}{m} < 52.43 Tnf \cdot \frac{s^2}{m}$$

En conclusión, se deduce que no existe irregularidad de masas y por lo tanto no se le otorga ningún factor de irregularidad.

Irregularidad geométrica vertical

Es cuando dimensión en planta de la estructura resistente a cargas laterales es mayor que 1,3 veces la correspondiente dimensión en un piso adyacente.

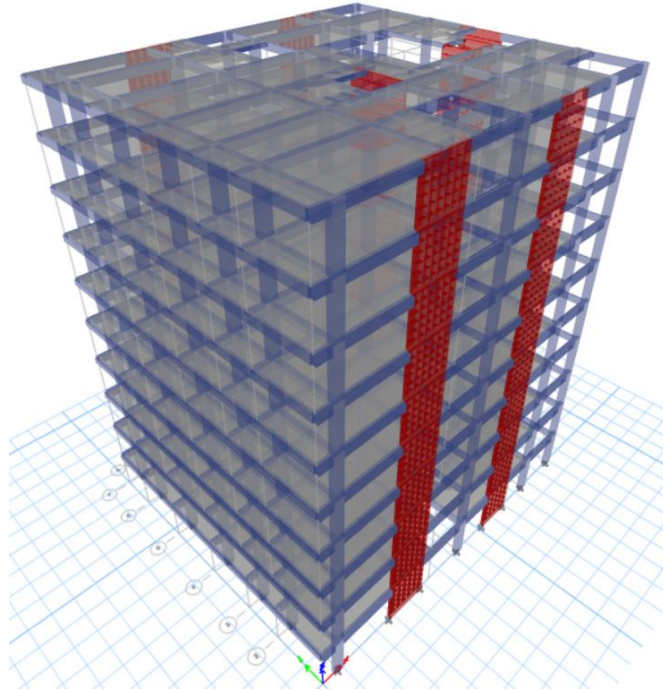


Figura 31: Edificio con Sistema Dual.

Fuente: Propia

De la figura se puede apreciar que, en todos los pisos para ambos ejes de análisis, no sobrepasa el 130% de la dimensión en planta del piso inmediato superior, entonces no existe irregularidad geométrica vertical.

Discontinuidad de los sistemas resistentes

En este tipo de irregularidad se va a considerar cuando en altura va a existir desalineamiento de los elementos estructurales que tienen a soportar fuerzas cortantes. Como se logra ver en la figura, no hay ningún tipo de desalineamiento, por lo tanto, no existe discontinuidad de los sistemas resistentes.

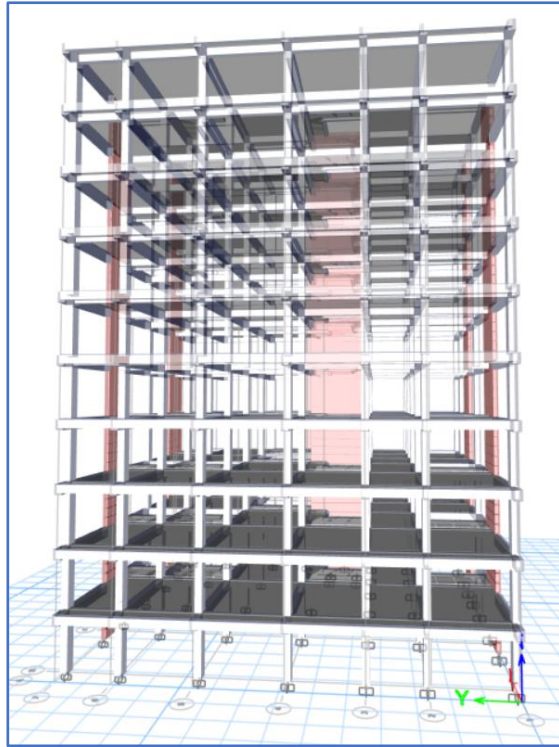


Figura 32: Edificio con Sistema Dual en vista lateral.

Fuente: Propia

Irregularidades en planta

Irregularidad Torsional

Cuando en cualquiera de las direcciones de análisis, el máximo desplazamiento relativo de entrepiso en un extremo del edificio es mayor que 1,3 veces el desplazamiento relativo promedio de los extremos del mismo entrepiso para la misma condición de carga.

$$\frac{\Delta_{m\acute{a}x}}{h_i} > 1.3 \frac{\Delta_{PROM}}{h_i} \text{ y } \frac{\Delta_{m\acute{a}x}}{h_i} > 0.5 \left(\frac{\Delta}{h} \right) \text{ permisible}$$

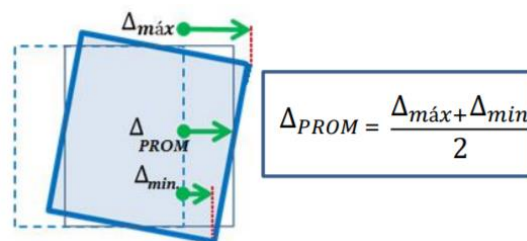


Figura 33: Irregularidad Torsional.

Fuente: Propia

Análisis torsional con SISMO ESTÁTICO EN X

Tabla 21: Control de irregularidad torsional en dirección X.

Niveles	Diafragma	Sismo	Desplazamiento	D. relativo	H entrepiso	Derivas	50% del maximo en C°A°
Story10	D10	S_ESTX	0.06662	0.00656	3	0.00219	0.0035
Story9	D9	S_ESTX	0.06005	0.00706	3	0.00235	0.0035
Story8	D8	S_ESTX	0.05300	0.00745	3	0.00248	0.0035
Story7	D7	S_ESTX	0.04555	0.00775	3	0.00258	0.0035
Story6	D6	S_ESTX	0.03781	0.00787	3	0.00262	0.0035
Story5	D5	S_ESTX	0.02994	0.00774	3	0.00258	0.0035
Story4	D4	S_ESTX	0.02220	0.00728	3	0.00243	0.0035
Story3	D3	S_ESTX	0.01493	0.00641	3	0.00214	0.0035
Story2	D2	S_ESTX	0.00851	0.00506	3	0.00169	0.0035
Story1	D1	S_ESTX	0.00345	0.00345	3	0.00115	0.0035

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 22: Control de irregularidad torsional en dirección Y.

Niveles	Diafragma	Sismo	Desplazamiento	D. relativo	H entrepiso	Derivas	50% del maximo en C°A°
Story10	D10	S_ESTY	0.06834	0.00573	3	0.00191	0.0035
Story9	D9	S_ESTY	0.06261	0.00646	3	0.00215	0.0035
Story8	D8	S_ESTY	0.05615	0.00710	3	0.00237	0.0035
Story7	D7	S_ESTY	0.04905	0.00767	3	0.00256	0.0035
Story6	D6	S_ESTY	0.04139	0.00806	3	0.00269	0.0035
Story5	D5	S_ESTY	0.03333	0.00818	3	0.00273	0.0035
Story4	D4	S_ESTY	0.02516	0.00794	3	0.00265	0.0035
Story3	D3	S_ESTY	0.01722	0.00722	3	0.00241	0.0035
Story2	D2	S_ESTY	0.01000	0.00590	3	0.00197	0.0035
Story1	D1	S_ESTY	0.00410	0.00410	3	0.00137	0.0035

Fuente: Elaboración Propia.

En las tablas se observa que las derivas máximas de entrepiso no son mayores del 50% de la deriva limite permisible para un sistema de concreto armado (0.007), por lo cual se concluye que no hay irregularidad torsional, entonces no se le da factor de irregularidad, ni mucho menos en irregularidad extrema.

Irregularidad por esquinas entrantes

En esta edificación no existe irregularidad por esquinas entrantes, ya que en ninguna dimensión de análisis no supera el 20% de la misma dimensión total en planta.

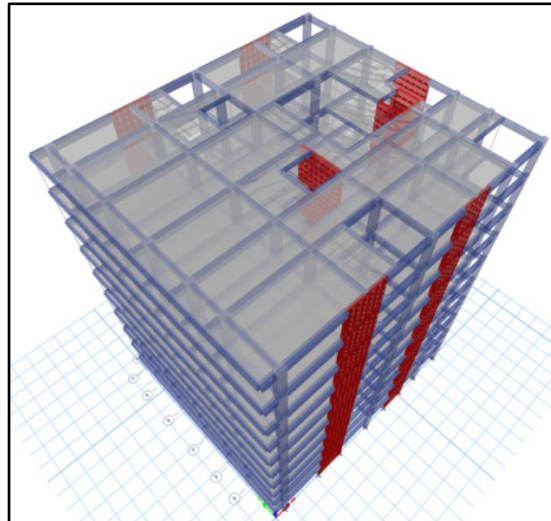


Figura 34: Control de irregularidad de Esquinas Entrantes.

Fuente: Software ETABS.

Irregularidad por discontinuidad en el diafragma

Esta presente edificación no presenta discontinuidades abruptas o variaciones en rigidez, como indica la norma E030, además no existe aberturas mayores al 50% del área bruta del diafragma. Entonces no presenta este tipo de irregularidad y tampoco se le otorga el factor que le corresponde según la norma E030.

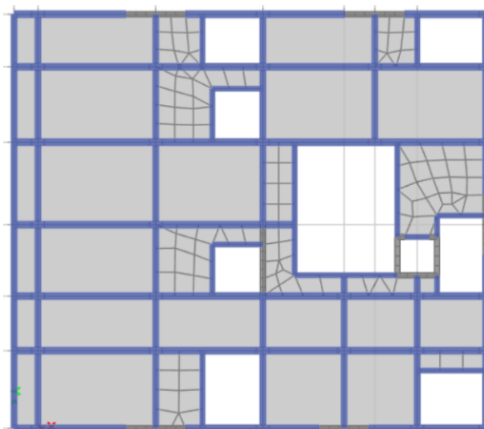


Figura 35: Control de irregularidad por discontinuidad en el diafragma.

Fuente: Software ETABS.

Se concluye entonces, que la edificación no presenta ningún tipo de irregularidad según la tabla 8 y 9 de la norma E030 (Diseño Sismorresistente) y por lo tanto es totalmente regular, entonces quedando como coeficiente de irregularidad con el valor de 1, tanto en planta como en altura, que van afectar al coeficiente básico de reducción sísmica.

$$I_a = 1.0$$

$$I_p = 1.0$$

H. Fuerza cortante en la base

La Fuerza Cortante basal se calcula por la siguiente expresión:

$$V = \frac{Z \cdot U \cdot C \cdot S}{R} \cdot P$$

Dónde:

V = Cortante basal

Z = Zona

U = Categoría de la edificación

C = Coeficiente de amplificación sísmica

S = Factor del suelo

R = Coeficiente de reducción sísmica

P = Peso sísmico.

$$P = 4312.06 \text{ Tn}$$

Considerarse para C/R un valor mínimo de:

$$\frac{C}{R} \geq 0.125$$

Por lo tanto, los datos son los siguientes:

$$Z = 0.45$$

$$U = 1$$

$$C = 2.5$$

$$S = 1.05$$

$$R_{xy} = 7 \times 1 \times 1 = 7$$

$$P = 4312.06 \text{ Tn}$$

$$V_{xy} = \frac{0.45 \times 1 \times 2.5 \times 1.05}{7} \times 4312.06 = 727.75 \text{ Tn}$$

$$\frac{2.5}{7} \geq 0.125$$

$$0.357 \geq 0.125 \text{ OK}$$

Periodos

$$T_x = 1.02 \text{ Seg}$$

$$T_y = 0.77 \text{ Seg}$$

Tabla 23: Periodos en la estructura-Sistema Dual.

Case	Mode	Period sec	UX	UY
Modal	1	1.022	0.007	0.859
Modal	2	0.767	0.913	0.032
Modal	3	0.662	0.08	0.112

Fuente: Software ETABS.

Corrección por periodo real sísmico

Para "X"

$$T_x = 1.02 \text{ Seg} > T_p = 0.6 \text{ Seg}$$

$$T_p < T_x < T_L$$

$$C = 2.5 \times \left(\frac{0.6}{1.02} \right) = 1.47$$

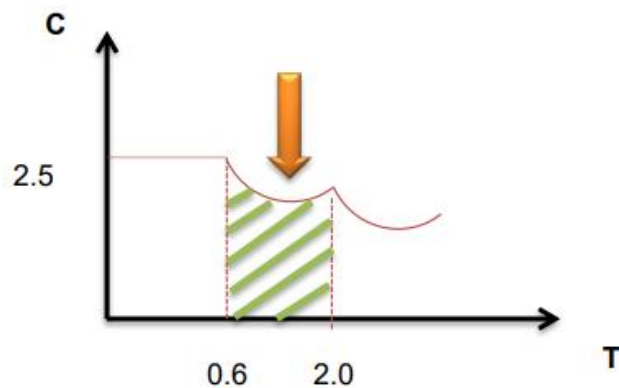


Figura 36: Grafico-Coeficiente de reducción sísmica.

Fuente: Propia.

$$C_x = \frac{0.45 \times 1.0 \times 1.47 \times 1.05}{7} = 0.099$$

Calculado el coeficiente de cortante basal en “X”, se ingresa al software “ETABS” para así generar el análisis estático con el facto de “C” real ya calculado.

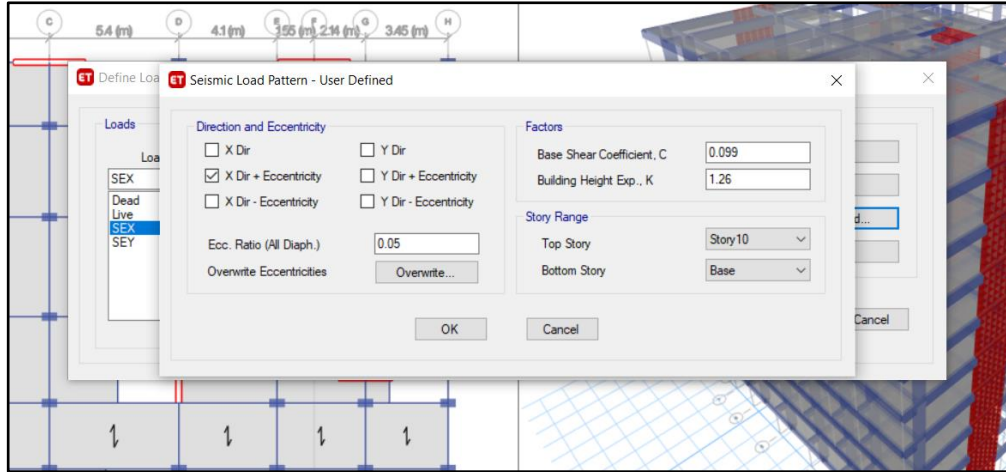


Figura 37: Asignación del Coeficiente Cx.

Fuente: Software ETABS.

Para “Y”

$$T_y = 0.77 \text{ Seg} > T_p = 0.6 \text{ Seg}$$

$$T_p < T_x < T_L$$

$$C = 2.5 \times \left(\frac{0.6}{0.77} \right) = 1.95$$

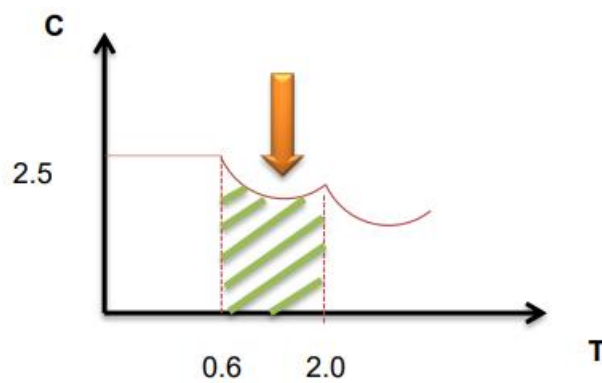


Figura 38: Grafico-Coeficiente de reducción sísmica.

Fuente: Propia.

$$C_y = \frac{0.45 \times 1.0 \times 1.95 \times 1.05}{7} = 0.13$$

Calculado el coeficiente de cortante basal en “Y”, se ingresa al software “ETABS” para así generar el análisis estático con el facto de “C” real ya calculado.

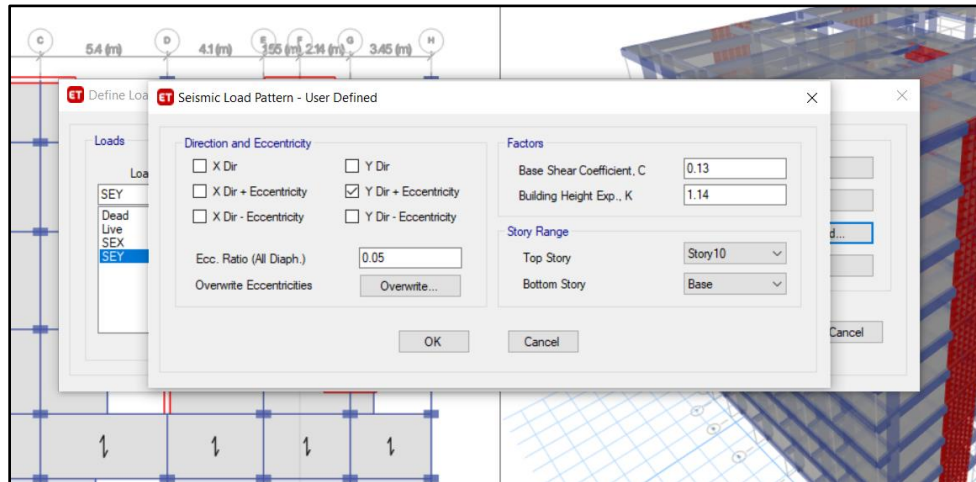


Figura 29: Asignación del Coeficiente C_y .

Fuente: Propia.

Nueva cortante en la base

Para “X”

$$C_x = \frac{0.45 \times 1.0 \times 1.47 \times 1.05}{7} \times 4312.06 = 426.89 Tn$$

Para “Y”

$$C_x = \frac{0.45 \times 1.0 \times 1.95 \times 1.05}{7} \times 4312.06 = 560.86 Tn$$

Corroboramos los cálculos manuales, con los cálculos brindados por el software ETABS.

Name	Is Autc. load	X Dir?	X Dir Plus Ecc?	X Dir Minus Ecc?	Y Dir?	Y Dir Plus Ecc?	Y Dir Minus Ecc?	Ecc Ratio	Top Story	Bottom Story	C	K	Weight Used tonf	Base Shear tonf
SEX	No	No	Yes	No	No	No	No	0.05	Story10	Base	0.099	1.26	4312.05932	426.8939
SEY	No	No	No	No	No	Yes	No	0.05	Story10	Base	0.13	1.14	4312.05932	560.5677

Tabla 24: Nuevas Cortantes Estáticas.

Fuente: Software ETABS.

ANEXO 07: SISTEMA ESTRUCTURAL

A. Determinación de sistema estructural.

Ingresamos a la tabla de “Base Reactions en el modelo asistido por el software ETABS para extraer las cortantes estáticas.

Tabla 25: Cortantes Estáticas “X” y “Y”.

Output Case	Case Type	Step Type	Step Number	FX tonf	FY tonf
SEX	LinStatic			-426.8939	0
SEY	LinStatic			0	-560.5677

Fuente: Software ETABS.

Ahora extraeremos la cortante que toman los “Piers Forces” en la edificación tanto en “X” como en “Y”.

Tabla 26: Cortantes de Piers Forces en “X”.

Story	Pier	Output Case	Case Type	Step Type	Step Number	Location	P tonf	V2 tonf	V3 tonf
Story1	P1X	SEX	LinStatic			Bottom	23.4101	69.76	0.0619
Story1	P2X	SEX	LinStatic			Bottom	6.32	69.7916	-0.1897
Story1	P3X	SEX	LinStatic			Bottom	-11.0982	53.828	-0.175
Story1	P4X	SEX	LinStatic			Bottom	28.96	55.9505	0.3031
Story1	P5X	SEX	LinStatic			Bottom	12.6088	41.0398	0.0101

Fuente: Software ETABS.

Tabla 27: Cortantes de Piers Forces en “Y”.

Story	Pier	Output Case	Case Type	Step Type	Step Number	Location	P tonf	V2 tonf	V3 tonf
Story1	P1Y	SEY	LinStatic			Bottom	-80.7842	182.9254	1.0402
Story1	P2Y	SEY	LinStatic			Bottom	-183.1442	69.1272	0.2184
Story1	P3Y	SEY	LinStatic			Bottom	-127.5911	58.638	0.9531
Story1	P4Y	SEY	LinStatic			Bottom	-21.8347	88.6673	-0.0966

Fuente: Software ETABS.

Finalmente se calcula el porcentaje que toman los muros de corte o placas, y por lo tanto deberá cumplir lo indicado según la norma E030 para que nuestra estructura sea como se asumió inicialmente un sistema estructural Dual. De no ser así, se tendrá que corregir y analizar nuevamente como un nuevo sistema estructural.

Tabla 28: Sumatorio de Cortantes en “X”.

Vx	426.8939
----	----------

Story	Pier	Load Case/Combo	Location	P	V2
				tonf	tonf
Story1	P1X	SEX	Bottom	23.4101	69.76
Story1	P2X	SEX	Bottom	6.32	69.7916
Story1	P3X	SEX	Bottom	-11.0982	53.828
Story1	P4X	SEX	Bottom	28.96	55.9505
Story1	P5X	SEX	Bottom	12.6088	41.0398
				SUMA	290.3699

Fuente: Elaboración Propia.

$$\% V \text{ placas} = \frac{290.3699}{426.8939} \times 100$$

$$\% V \text{ placas} = 68\%$$

$$20\% < 68\% < 70\%$$

Para la dirección X, el sistema estructural Dual es correcto.

Tabla 29: Sumatorio de Cortantes en “Y”.

Vy	560.5677
----	----------

Story	Pier	Load Case/Combo	Location	P	V2
				tonf	tonf
Story1	P1Y	SEY	Bottom	-80.7842	182.9254
Story1	P2Y	SEY	Bottom	-183.1442	69.1272
Story1	P3Y	SEY	Bottom	-127.5911	58.638
Story1	P4Y	SEY	Bottom	-21.8347	88.6673
				SUMA	399.3579

Fuente: Elaboración Propia.

$$\% V \text{ placas} = \frac{399.3579}{560.5677} \times 100$$

$$\% V \text{ placas} = 71\%$$

71% > 70%

Para la dirección Y, el sistema estructural asumido es incorrecto, por lo que supera el 70% de la cortante basal, por ende, será un sistema de Muros Estructurales, y por lo tanto se tiene que realizar modificación en esta dirección.

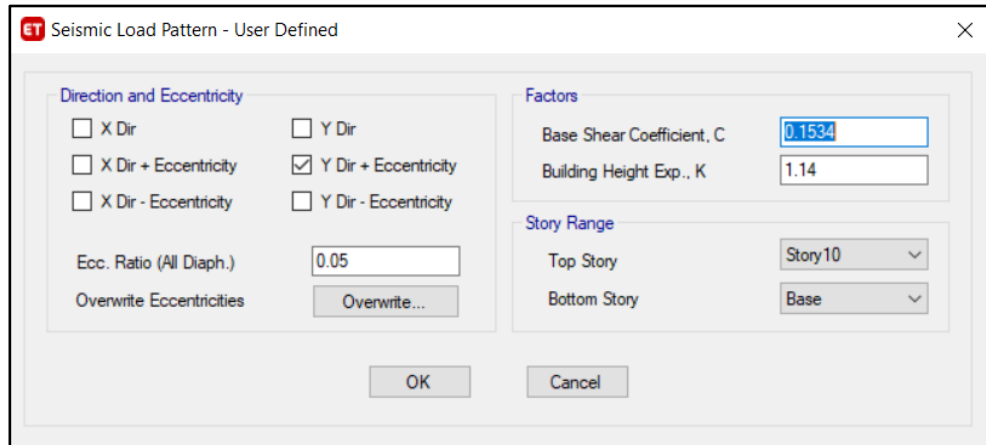


Figura 30: Asignación del Coeficiente C_y corregida.

Fuente: Software ETABS.

Cortante en la base Corregida

Para "Y"

$$C_y = \frac{0.45 \times 1.0 \times 1.47 \times 1.05}{6} \times 4312.06 = 661.47Tn$$

ANEXO 07: ANÁLISIS SÍSMICO DINÁMICO MODAL – ESPECTRAL

A. Aceleración espectral

Se usará un espectro inelástico de pseudoaceleraciones en las dos direcciones analizadas.

$$S_a = \frac{Z.U.C.S}{R} \cdot g$$

Donde:

G = Aceleración de la gravedad (9.81 m/s²).

Espectro de respuesta

Se utilizó la herramienta Excel para obtener el espectro de respuesta.

Tabla 30: Calculo de aceleración sísmica en Y y Y.

T	C	C/R	ZUCS/Rx	ZUCS/Ry
0	2.5	0.35714	0.16875	0.19688
0.02	2.5	0.35714	0.16875	0.19688
0.04	2.5	0.35714	0.16875	0.19688
0.06	2.5	0.35714	0.16875	0.19688
0.08	2.5	0.35714	0.16875	0.19688
0.1	2.5	0.35714	0.16875	0.19688
0.12	2.5	0.35714	0.16875	0.19688
0.14	2.5	0.35714	0.16875	0.19688
0.16	2.5	0.35714	0.16875	0.19688
0.18	2.5	0.35714	0.16875	0.19688
0.2	2.5	0.35714	0.16875	0.19688
0.25	2.5	0.35714	0.16875	0.19688
0.3	2.5	0.35714	0.16875	0.19688
0.35	2.5	0.35714	0.16875	0.19688
0.4	2.5	0.35714	0.16875	0.19688
0.45	2.5	0.35714	0.16875	0.19688
0.5	2.5	0.35714	0.16875	0.19688
0.55	2.5	0.35714	0.16875	0.19688
0.6	2.5	0.35714	0.16875	0.19688
0.65	2.30769	0.32967	0.15577	0.18173
0.7	2.14286	0.30612	0.14464	0.16875
0.75	2	0.28571	0.13500	0.15750
0.8	1.875	0.26786	0.12656	0.14766
0.85	1.76471	0.25210	0.11912	0.13897
0.9	1.66667	0.23810	0.11250	0.13125
0.95	1.57895	0.22556	0.10658	0.12434
1	1.5	0.21429	0.10125	0.11813
1.6	0.9375	0.13393	0.06328	0.07383
2	0.75	0.10714	0.05063	0.05906
2.5	0.48	0.06857	0.03240	0.03780
3	0.3333	0.04762	0.02250	0.02625
4	0.1875	0.02679	0.01266	0.01477
5	0.12	0.01714	0.00810	0.00945
6	0.08333	0.01190	0.00563	0.00656
7	0.06122	0.00875	0.00413	0.00482
8	0.04688	0.00670	0.00316	0.00369
9	0.03704	0.00529	0.00250	0.00292
10	0.03	0.00429	0.00203	0.00236

Fuente: Elaboración Propia.

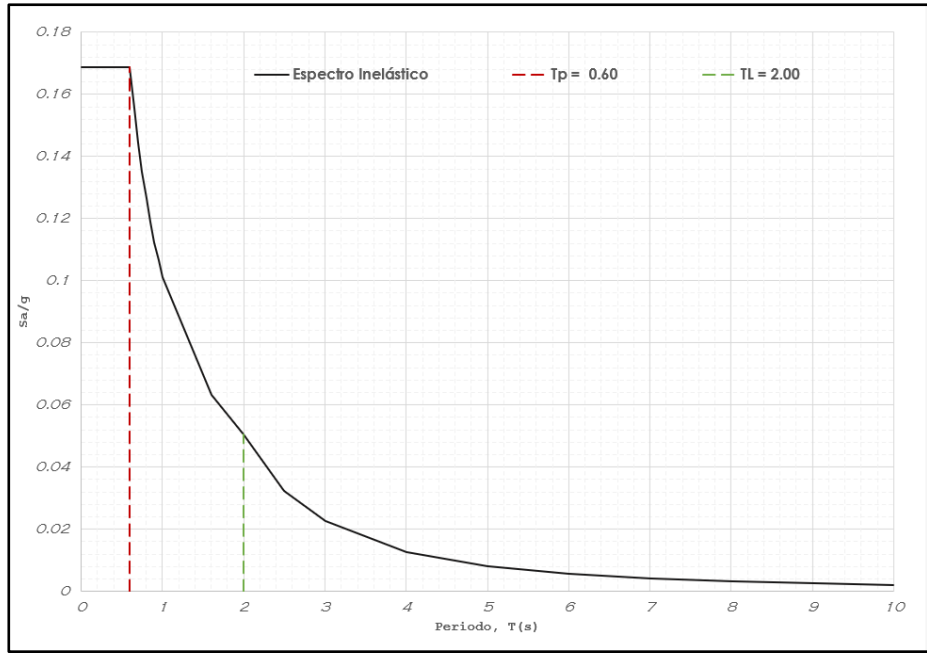


Figura 31: Espectro de Respuesta para X.

Fuente: Propia.

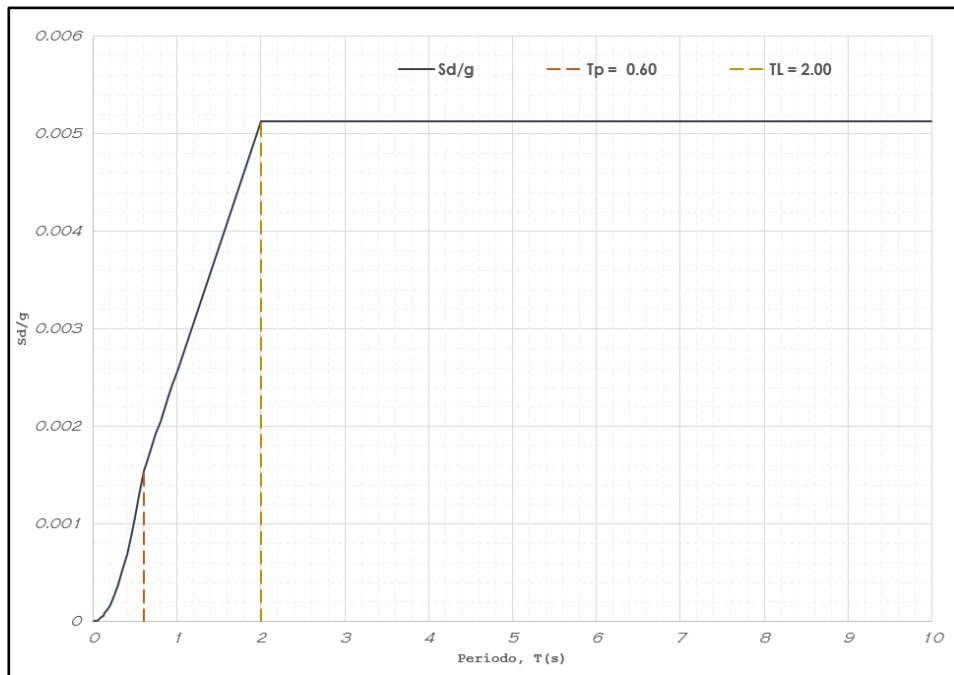


Figura 32: Espectro de Desplazamientos para X.

Fuente: Propia.

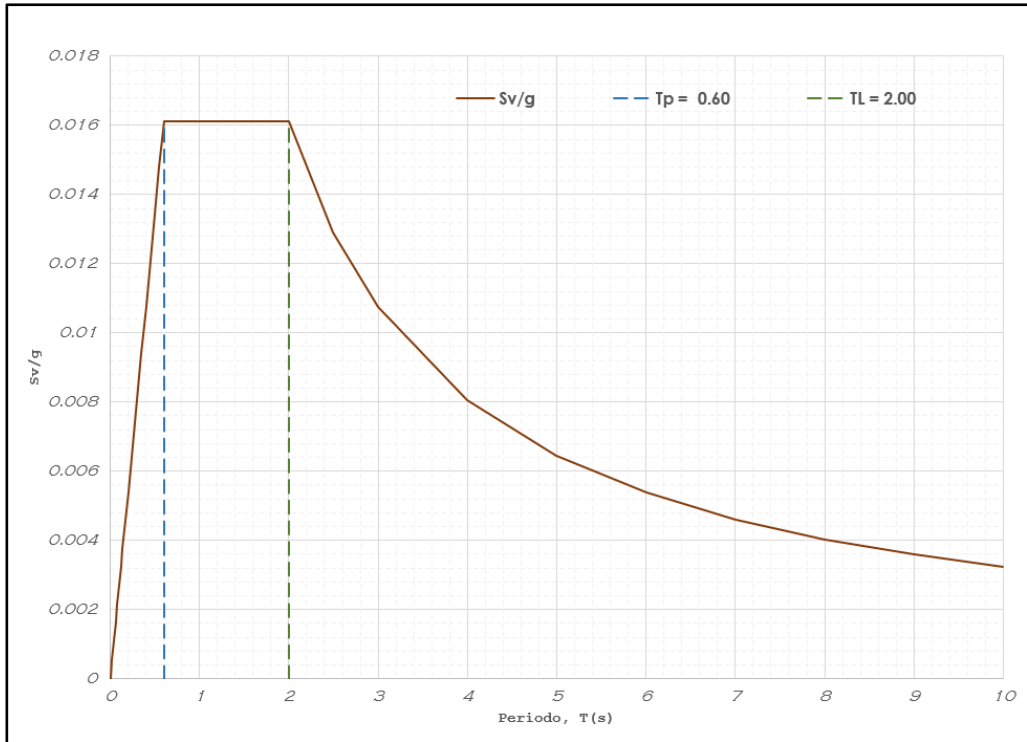


Figura 33: Espectro de Velocidades para X.

Fuente: Propia.

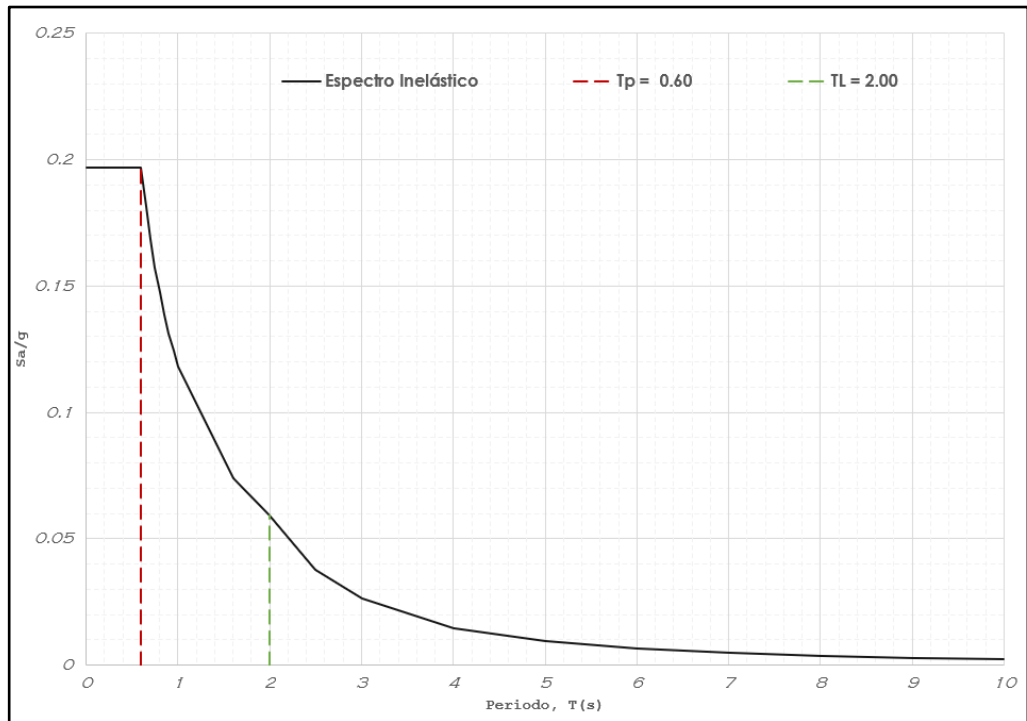


Figura 34: Espectro de Respuesta para Y.

Fuente: Propia.

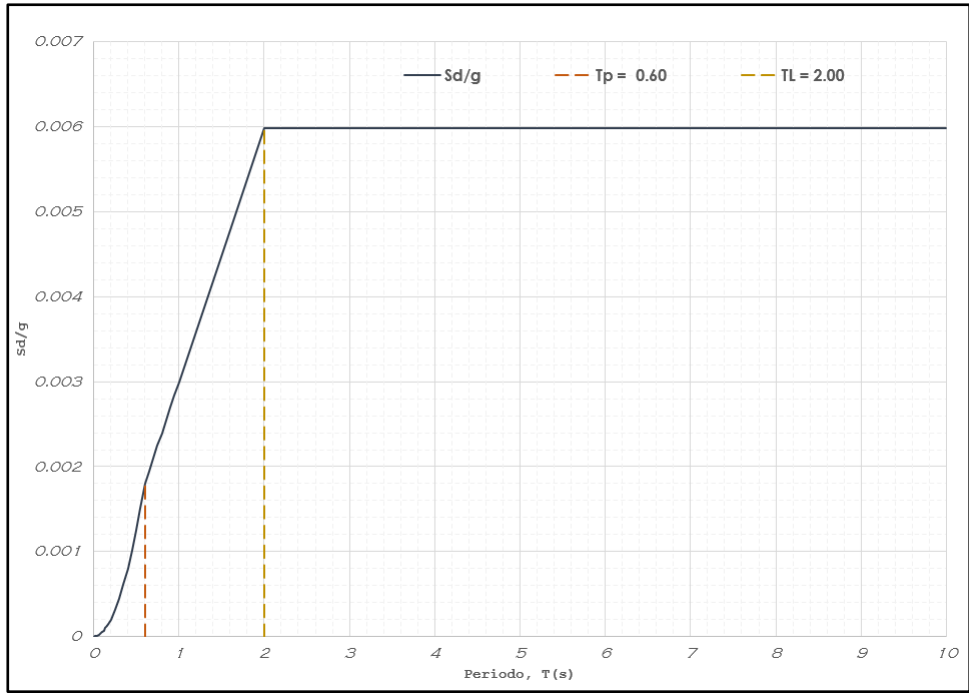


Figura 35: Espectro de Desplazamientos para Y.

Fuente: Propia.

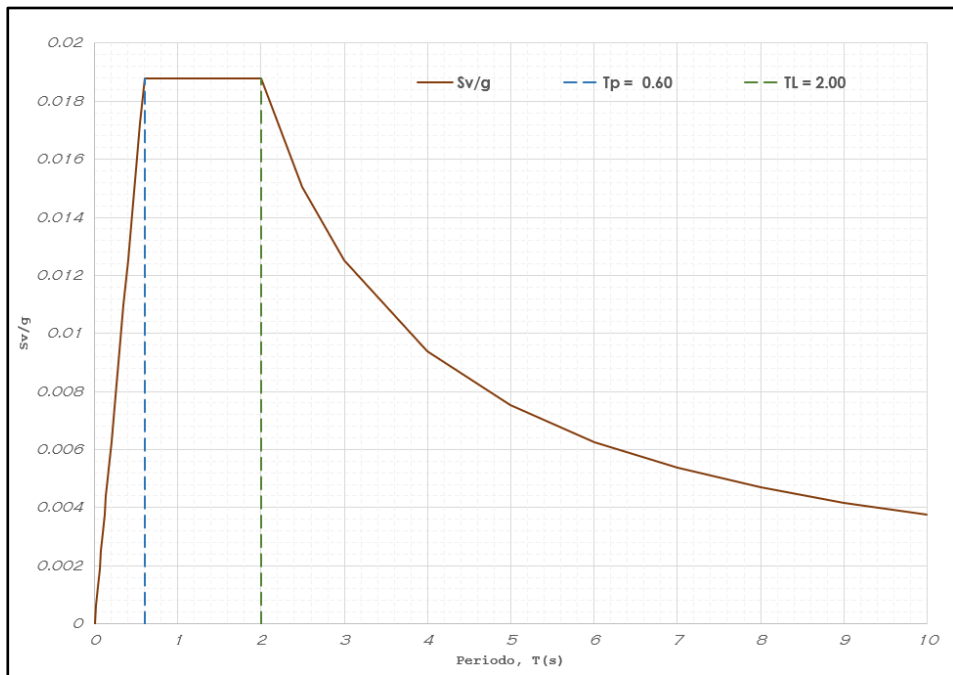


Figura 36: Espectro de Velocidades para Y.

Fuente: Propia.

B. Cortante dinámico en la base

La fuerza cortante basal dinámica para las dos direcciones fue calculada por el software ETABS v2018.

Tabla 31: Cortante Dinámico en X y Y.- ETABS

Story	Output Case	Location	P	VX	VY
			tonf	tonf	tonf
Story1	S_DINX	Bottom	0	416.7616	75.3585
Story1	S_DINY	Bottom	0	87.9101	352.5691

Fuente: Elaboración Propia.

Cortante estático vs cortante dinámico

En el artículo llamado “Fuerza Cortante Mínima” de la E030, indica que para estructuras regulares la cortante dinámico tiene que ser mínimo el 80% de la cortante dinámica.

Tabla 32: Cortante Estático VS Dinámico.

Load Case/Combo	FX	FY
	tonf	tonf
SEX	426.89	0
SEY	0	661.47
S_DINX	416.76	0
S_DINY	0	352.57
%	98%	53%
Fe	0.819	1.501

Fuente: Elaboración Propia.

Se puede apreciar que en la dirección X no necesita escalarse, mientras que en la dirección Y si se requiere escalar ya que supera el 80% de la cortante estática.

Tabla 33: Cortante Estático VS Dinámico.

Load Case/Combo	FX	FY
	tonf	tonf
SEX	426.8939	0
SEY	0	661.4699
S_DINX	416.76	
S_DINY		528.85
%	98%	80%
Fe	-	-

Fuente: Elaboración Propia.

C. Masa participativa

La edificación tiene que cumplir como rige la norma con un determinado número de modos de vibración en las dos direcciones, en la cual describe que tiene que tener 90% como mínimo de la masa del edificio.

Tabla 34: Control de Masa Participativa.

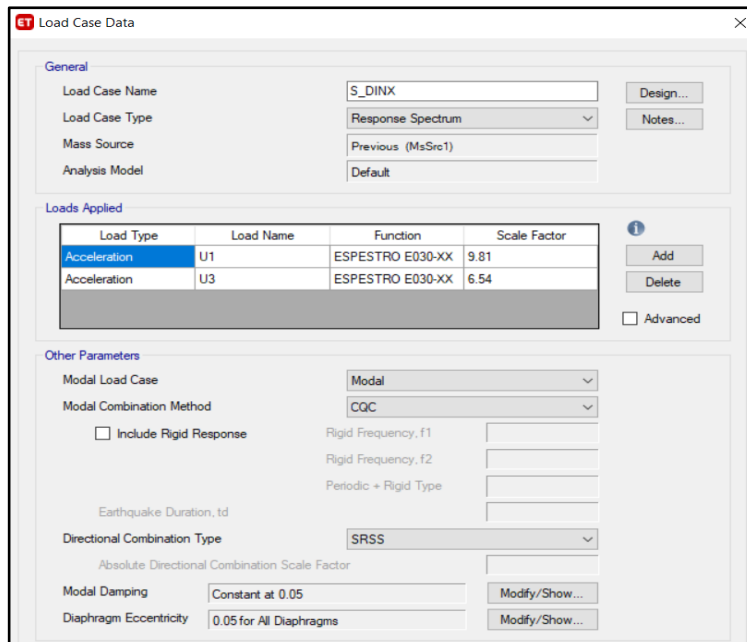
Case	Mode	Period	UX	UY	SumUX	SumUY
		sec				
Modal	1	1.022	0.005	0.6447	0.50%	64.47%
Modal	2	0.767	0.6828	0.0228	68.78%	66.75%
Modal	3	0.662	0.0606	0.0752	74.84%	74.27%
Modal	4	0.301	0.0009	0.1061	74.93%	84.88%
Modal	5	0.222	0.1204	0.0035	86.98%	85.23%
Modal	6	0.19	0.0052	0.0193	87.50%	87.16%
Modal	7	0.152	0.0004	0.0438	87.54%	91.54%
Modal	8	0.11	0.0518	0.0009	92.71%	91.63%
Modal	9	0.094	0.0001	0.0171	92.72%	93.34%
Modal	10	0.091	0.0009	0.0172	92.81%	95.06%
Modal	11	0.067	0.028	0.0007	95.61%	95.13%
Modal	12	0.066	0.0006	0.0125	95.68%	96.38%
Modal	13	0.055	0.0001	0.0074	95.69%	97.12%
Modal	14	0.05	1.65E-06	0.0078	95.69%	97.90%
Modal	15	0.047	0.0171	1.67E-05	97.40%	97.90%
Modal	16	0.041	0	0.0049	97.40%	98.40%
Modal	17	0.038	4.43E-05	0.004	97.41%	98.80%
Modal	18	0.035	1.98E-05	0.0025	97.41%	99.05%
Modal	19	0.035	0.0105	3.02E-05	98.46%	99.05%
Modal	20	0.032	6.51E-07	0.0012	98.46%	99.17%
Modal	21	0.03	0	0.0003	98.46%	99.21%
Modal	22	0.028	0.0047	0.0006	98.94%	99.27%
Modal	23	0.028	0.0017	0.0017	99.10%	99.44%
Modal	24	0.024	0.0036	0	99.46%	99.44%
Modal	25	0.023	0	0.0013	99.46%	99.56%
Modal	26	0.022	0.0008	0	99.54%	99.56%
Modal	27	0.021	0.0006	0	99.60%	99.56%
Modal	28	0.021	0.0006	0	99.66%	99.56%
Modal	29	0.02	0	4.91E-06	99.66%	99.57%
Modal	30	0.02	0	2.33E-06	99.66%	99.57%

Fuente: Elaboración Propia.

Como se observa en la tabla, basta solo para la dirección X analizar hasta el modo 8 y para la dirección Y hasta el modo 7, por lo que se logra superar el 90% de la masa participativa de la edificación analizada.

D. Modos de Casos y control de derivas

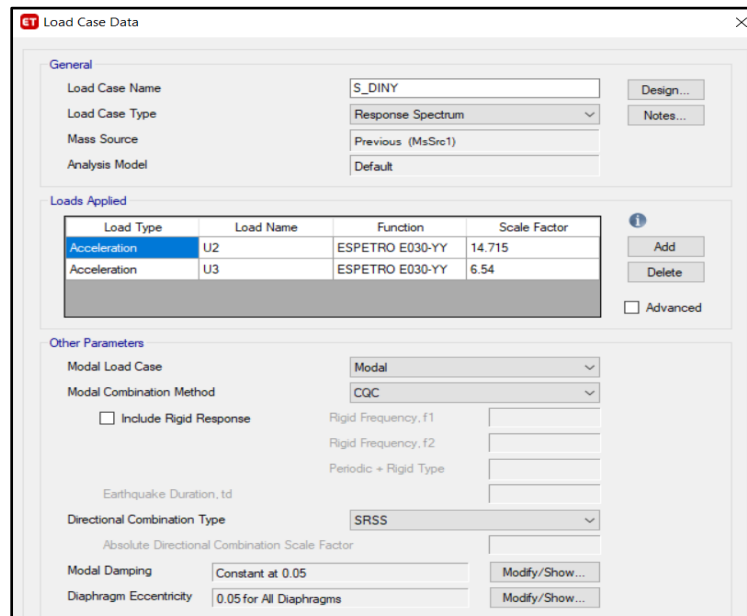
Habiendo ya asignado el espectro de respuesta, se asigna además los casos de carga en el software ETABS.



Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Acceleration	U1	ESPESTRO E030-XX	9.81
Acceleration	U3	ESPESTRO E030-XX	6.54

Figura 37: Casos de Carga en la dirección X.

Fuente: Software ETABS.



Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Acceleration	U2	ESPETRO E030-YY	14.715
Acceleration	U3	ESPETRO E030-YY	6.54

Figura 38: Casos de Carga y asignación de factor de escala en la dirección Y.

Fuente: Propia.

Como se puede apreciar en las figuras, se está tomando en cuenta también el sismo vertical para generar mayor esfuerzo en la estructura, donde el reglamento exige el 2/3 del espectro determinado en las dos direcciones. Además, en la dirección “Y” se asignó el factor de escala calculado anteriormente de 1.50.

Finalmente, se procede a calcular los desplazamientos inelásticos, lo cual se calculan con la siguiente formula:

$$Drift = \frac{\Delta_i - (\Delta_i - 1)}{H_i} \leq Drift E030$$

$$D_{inelastico} = R \times D_{elastico}$$

Además, deberán cumplir con las derivas máximas brindados por la norma E030, en este caso para un sistema de concreto armado.

Tabla 35: Distorsiones Máximas Permisibles.

Material predominante	(Δ_i/h_{ei})
Concreto armado	0.007
Acero	0.010
Albañilería	0.005
Madera	0.010
Edificios de concreto armado con muros de ductilidad limitada	0.005

Fuente: RNE-E030.

Tabla 36: Control de derivas-Análisis Dinámico en “X”.

Piso	Diafragma	Sismo	UX	D.	A.	Derivas	Derivas	Control E-030 ≤ 0.007
			m	Relativo (m)	entrepiso (m)	Elásticas	Inelásticas	
10	D10	S_DINX	0.025072	0.00166	3	0.000554	0.002910	PASA
9	D9	S_DINX	0.023409	0.00199	3	0.000663	0.003479	PASA
8	D8	S_DINX	0.021421	0.00237	3	0.000790	0.004149	PASA
7	D7	S_DINX	0.01905	0.00275	3	0.000915	0.004806	PASA
6	D6	S_DINX	0.016304	0.00306	3	0.001018	0.005346	PASA
5	D5	S_DINX	0.013249	0.00325	3	0.001083	0.005688	PASA
4	D4	S_DINX	0.009999	0.00328	3	0.001092	0.005731	PASA
3	D3	S_DINX	0.006724	0.00305	3	0.001017	0.005339	PASA
2	D2	S_DINX	0.003673	0.00245	3	0.000817	0.004289	PASA
1	D1	S_DINX	0.001222	0.00122	3	0.000407	0.002139	PASA

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 37: Control de derivas-Análisis Dinámico en “Y”.

Piso	Diafragma	Sismo	UY	D. Relativo (m)	A. entrepiso (m)	Derivas Elásticas	Derivas Inelásticas	Control E-030 ≤ 0.007
			m					
10	D10	S_DINY	0.05687	0.003703	3	0.001234	0.005555	PASA
9	D9	S_DINY	0.053167	0.004411	3	0.001470	0.006617	PASA
8	D8	S_DINY	0.048756	0.00528	3	0.001760	0.007920	NO PASA
7	D7	S_DINY	0.043476	0.006139	3	0.002046	0.009209	NO PASA
6	D6	S_DINY	0.037337	0.006861	3	0.002287	0.010292	NO PASA
5	D5	S_DINY	0.030476	0.007346	3	0.002449	0.011019	NO PASA
4	D4	S_DINY	0.02313	0.007465	3	0.002488	0.011198	NO PASA
3	D3	S_DINY	0.015665	0.007023	3	0.002341	0.010535	NO PASA
2	D2	S_DINY	0.008642	0.005708	3	0.001903	0.008562	NO PASA
1	D1	S_DINY	0.002934	0.002934	3	0.000978	0.004401	PASA

Fuente: Elaboración Propia.

Como se puede apreciar en la dirección X cumple con las derivas o distorsiones dadas por la norma ya que están por debajo de 0.007 para concreto armado, en cambio para la dirección Y no está cumpliendo en gran medida. Entonces para cumplir con esa dirección se necesita reforzar con muros de corte, aumentar secciones de columnas o vigas u otra forma de estructuración para así cumplir con las distorsiones máximas que rige la norma.

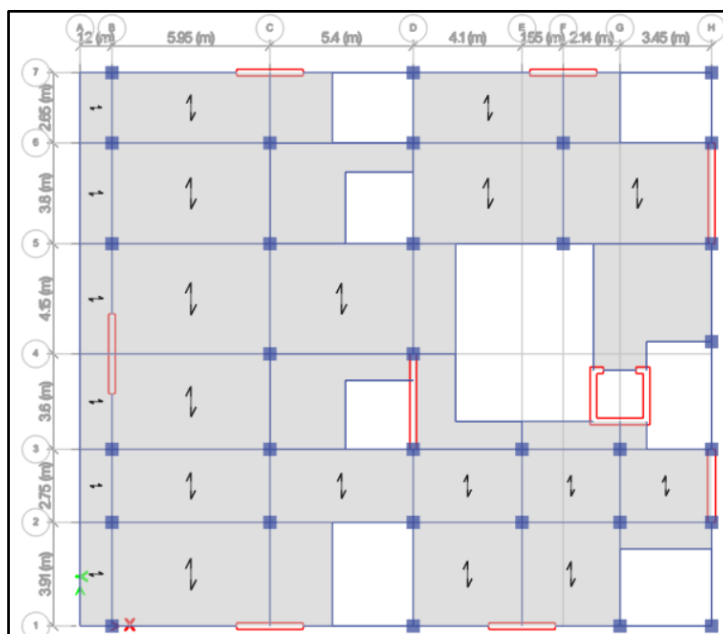


Figura 39: Restructuración y aumento de secciones

Fuente: Propia.

Como se logra ver en la ilustración hubo una reestructuración, sobre todo en la dirección Y, aumentando secciones y añadiendo muros de corte para así lograr cumplir con las distorsiones que rige la norma, quedando el modelo en 3D de la siguiente manera:

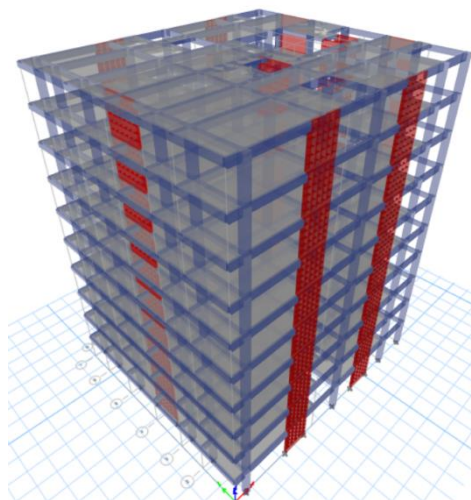


Figura 40: Nuevo Modelo 3D-ETABS

Fuente: Software ETABS.

Piso	Diafragma	Sismo	UY	D. Relativo (m)	A. entrepiso (m)	Derivas Elásticas	Derivas Inelásticas	Control E-030 ≤ 0.007
			m					
10	D10	S_DINX	0.026377	0.0016	3	0.000533	0.002400	PASA
9	D9	S_DINX	0.024777	0.001981	3	0.000660	0.002972	PASA
8	D8	S_DINX	0.022796	0.002416	3	0.000805	0.003624	PASA
7	D7	S_DINX	0.02038	0.002846	3	0.000949	0.004269	PASA
6	D6	S_DINX	0.017534	0.003206	3	0.001069	0.004809	PASA
5	D5	S_DINX	0.014328	0.003451	3	0.001150	0.005177	PASA
4	D4	S_DINX	0.010877	0.003516	3	0.001172	0.005274	PASA
3	D3	S_DINX	0.007361	0.003315	3	0.001105	0.004973	PASA
2	D2	S_DINX	0.004046	0.002699	3	0.000900	0.004049	PASA
1	D1	S_DINX	0.001347	0.001347	3	0.000449	0.002021	PASA

Tabla 38: Control de derivas-Análisis Dinámico en "X".

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 39: Control de derivas-Análisis Dinámico en “Y”.

Piso	Diafragma	Sismo	UY	D. Relativo (m)	A. entrepiso (m)	Derivas	Derivas	Control E-030 ≤ 0.007
			m			Elásticas	Inelásticas	
10	D10	S_DINY	0.036873	0.003206	3	0.001069	0.004809	PASA
9	D9	S_DINY	0.033667	0.003225	3	0.001075	0.004838	PASA
8	D8	S_DINY	0.030442	0.003681	3	0.001227	0.005522	PASA
7	D7	S_DINY	0.026761	0.004118	3	0.001373	0.006177	PASA
6	D6	S_DINY	0.022643	0.004454	3	0.001485	0.006681	PASA
5	D5	S_DINY	0.018189	0.004623	3	0.001541	0.006935	PASA
4	D4	S_DINY	0.013566	0.004553	3	0.001518	0.006830	PASA
3	D3	S_DINY	0.009013	0.004146	3	0.001382	0.006219	PASA
2	D2	S_DINY	0.004867	0.003257	3	0.001086	0.004886	PASA
1	D1	S_DINY	0.00161	0.001610	3	0.000537	0.002415	PASA

Fuente: Elaboración Propia.

Ahora se puede observar que en la dirección “Y” está cumpliendo con las distorsiones estipulados en la norma (menor a 0.007).

Podemos concluir que esta edificación ante un sismo moderado tendrá un buen comportamiento sin necesidad de añadir disipadores de fluido viscoso, pero para esta presente tesis entraremos al rango no lineal, lo cual las distorsiones o derivas tienden a incrementarse, ya que lo analizaremos ante un sismo severo y entonces tales distorsiones tendrán que de nuevo estar por debajo según lo que rige la norma peruana- E030 y la norma americana ASCE. Por esta razón es que adicionaremos a la estructura dichos disipadores para cumplir nuestro objetivo.

ANEXO 08: ANALISIS SISMICO CON DISIPADORES DE ENERGIA DE FLUIDO VISCOSO

A. Análisis sísmico dinámico modal – espectral con R=1

Los parámetros empleados anteriormente para el análisis modal espectral son los mismos, la diferencia es que el coeficiente de reducción sísmica será ahora el valor de 1 tanto para la dirección de X como para Y. Los parámetros serian los siguientes:

$$Z= 0.45$$

$$U= 1.0$$

$$C= \text{De } 0 \text{ a } 10 \text{ seg.}$$

$$S= 1.05$$

$$R_{xy}= 1$$

$$g= 9.81 \text{ m/s}^2$$

Entonces con estos parámetros se puede calcular el espectro de respuesta. Luego se tiene que ingresar al software ETABS para su análisis.

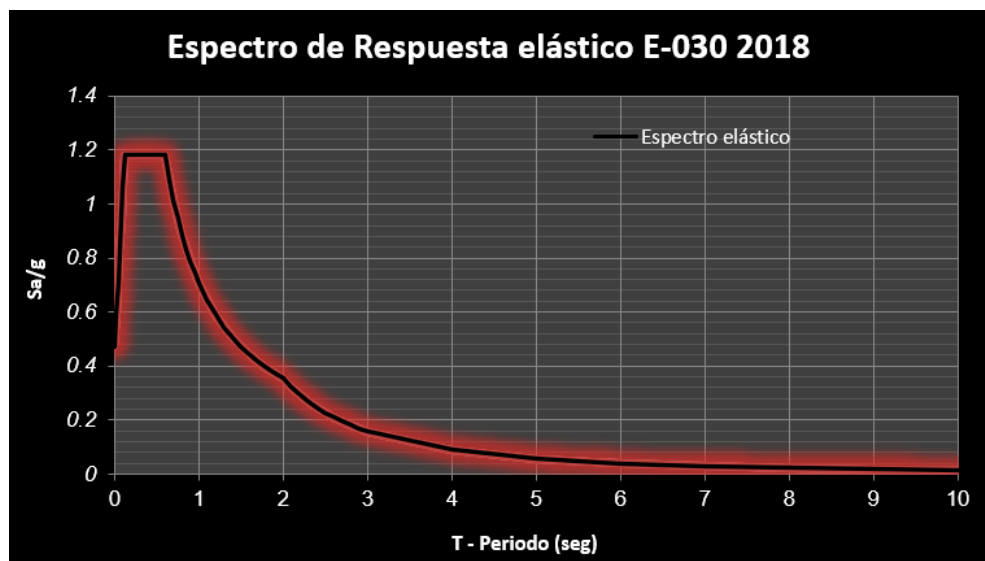


Figura 41: Espectro de Respuesta R=1

Fuente: Propia.

Ahora se determinarán las derivas obtenidas del análisis, para luego ser utilizadas para el cálculo del sismo del diseño.

Tabla 40: Control de derivas en “X” con R=1.

Piso	Diafragma	Sismo R=1	UY	D. Relativo (m)	A. entrepiso (m)	Derivas Inelásticas	Control E-030 ≤ 0.007
			m				
10	D10	S_DINY Max	0.221179	0.01924	3	0.006412	PASA
9	D9	S_DINY Max	0.201944	0.01934	3	0.006447	PASA
8	D8	S_DINY Max	0.182604	0.02208	3	0.007361	NO PASA
7	D7	S_DINY Max	0.16052	0.02470	3	0.008233	NO PASA
6	D6	S_DINY Max	0.13582	0.02672	3	0.008905	NO PASA
5	D5	S_DINY Max	0.109105	0.02773	3	0.009244	NO PASA
4	D4	S_DINY Max	0.081373	0.02731	3	0.009104	NO PASA
3	D3	S_DINY Max	0.05406	0.02487	3	0.008290	NO PASA
2	D2	S_DINY Max	0.029191	0.01954	3	0.006512	PASA
1	D1	S_DINY Max	0.009655	0.00966	3	0.003218	PASA

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 41: Control de derivas en “Y” con R=1.

Piso	Diafragma	Sismo R=1	UX	D. Relativo (m)	A. entrepiso (m)	Derivas Inelásticas	Control E-030 ≤ 0.007
			m				
10	D10	S_DINX Max	0.184636	0.01120	3	0.003734	PASA
9	D9	S_DINX Max	0.173433	0.01387	3	0.004622	PASA
8	D8	S_DINX Max	0.159568	0.01692	3	0.005638	PASA
7	D7	S_DINX Max	0.142653	0.01992	3	0.006639	PASA
6	D6	S_DINX Max	0.122737	0.02245	3	0.007482	NO PASA
5	D5	S_DINX Max	0.100291	0.02415	3	0.008051	NO PASA
4	D4	S_DINX Max	0.076139	0.02461	3	0.008204	NO PASA
3	D3	S_DINX Max	0.051526	0.02321	3	0.007736	NO PASA
2	D2	S_DINX Max	0.028317	0.01889	3	0.006296	PASA
1	D1	S_DINX Max	0.009429	0.00943	3	0.0031430	PASA

Fuente: Elaboración Propia.

Se puede logra ver que como consecuencia del análisis a sismo severo las distorsiones de entrepiso o derivas superan el límite de 0.007 tanto en las dos direcciones.

B. Acelerogramas para espectro de diseño

Se va a considerar 3 registros sísmicos, tomando en cuenta los que fueron lo más severos ocurridos a nivel nacional, y estos son:

Tabla 42: Ubicación de estaciones acelerométricas.

Estación acelerométrica	Fecha	Componentes	Aceleración máxima (cm/seg ²)	Duración (Seg)
ICA	15 de agosto 2007	N - S	334.1	218.06
		E - W	-272.2	
LIMA	3 de octubre 1974	N - S	179	97.96
		E - W	-192.5	
LIMA	3 de octubre 1974	N - S	-269.34	197.64
		E - W	-180.59	

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 43: Registros sísmicos más severos.

SISMO	UBICACIÓN DE LA ESTACION	NOMBRE DE ARCHIVO
15 de agosto del 2007	Universidad Nacional San Luis Gonzaga (ICA)	ICA2_0708151840
3 de octubre de 1974	Universidad Nacional San Luis Gonzaga (LIMA)	PRQ-7410030921
17 de octubre de 1966	Universidad Nacional San Luis Gonzaga (LIMA)	PRQ-6610171641F

Fuente: Elaboración Propia.

Los registros sísmicos se encuentran en unidades Gal (Cm/S²), lo cual se tendría que escalar empleando algún software como el SEISMOSIGNAL y el SEISMOMATCH para poder realizar la corrección por línea base y filtrado; y para el escalamiento al espectro de diseño, respectivamente

Correcciones

Se realizará el filtrado de la señal, que es un proceso computacional que convierte una secuencia de números, que son las señales de entrada en otra secuencia por la señal de salida.

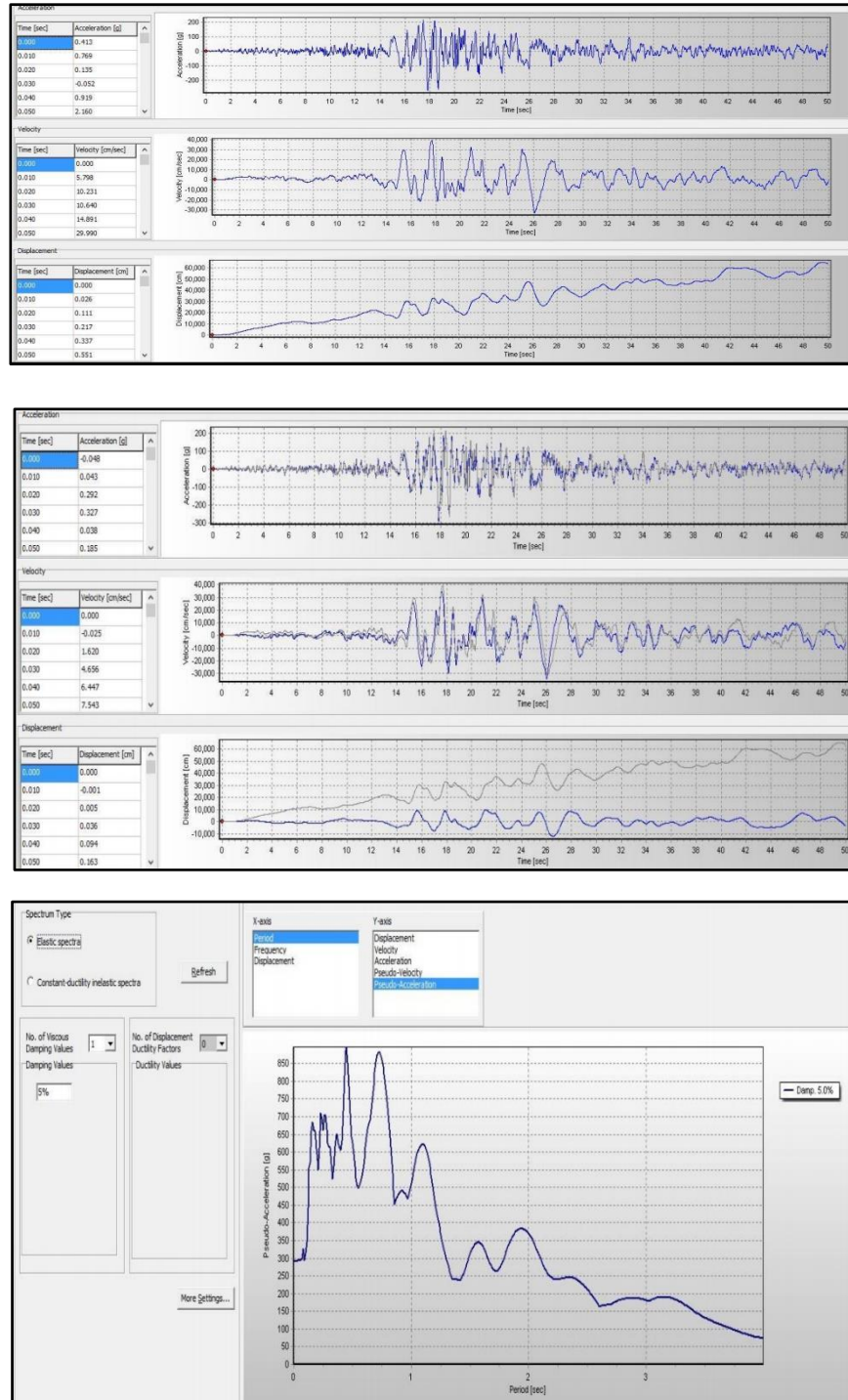


Figura 42: Acelerograma corregidos de línea y filtrado

Fuente: SeismoSignal.

Escalamiento de acelerogramas

Se escala dichos acelerogramas ya corregidos, además al espectro de diseño.

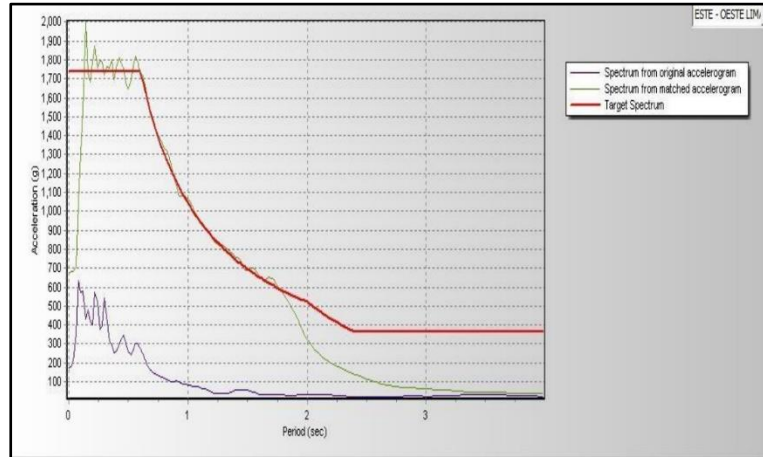


Figura 43: Registro sísmico con y sin escalar al espectro de diseño

Fuente: SeismoMatch.

Finalmente, se hallan las nuevas aceleraciones máximas de los registros sísmicos:

Tabla 44: Registro sísmico escalados al espectro de diseño.

Estación acelerométrica	Fecha	Componentes	Aceleración máxima (cm/seg ²)	Duración (Seg)
ICA	15 de agosto 2007	N - S	689.697	218.06
		E - W	-791.36	
LIMA	3 de octubre 1974	N - S	822.145	97.96
		E - W	-747.285	
LIMA	3 de octubre 1974	N - S	-820.889	197.64
		E - W	-671.003	

Fuente: Elaboración Propia.

C. Análisis sísmico dinámico modal – tiempo historia lineal

De los tres registros más severos considerados, se realiza el análisis tiempo historia lineal o también llamados tiempo de respuesta en el software ETABS-2018, para posterior obtener las derivas o distorsiones en función al análisis.

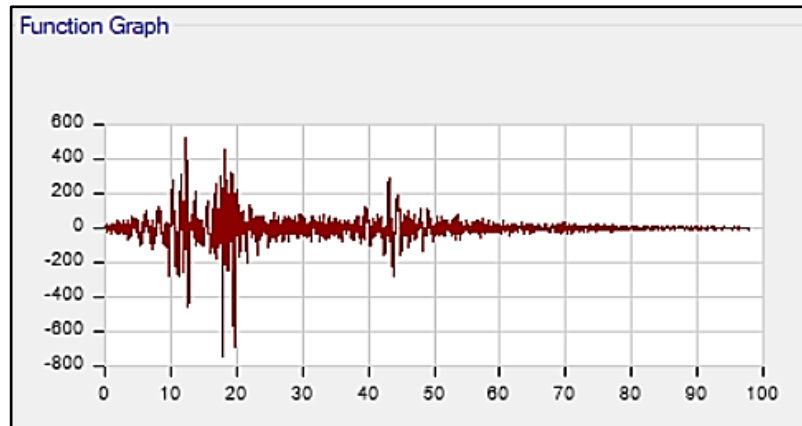


Figura 44: Registro Sísmico, Lima 1974.

Fuente: Software ETABS.

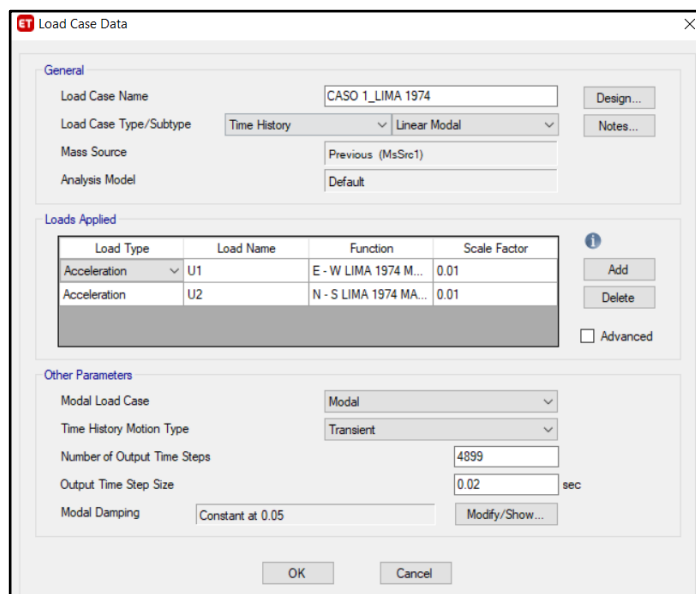


Figura 45: Casos Modales, ETABS V18.

Fuente: Software ETABS.

Ahora del software ETABS, se hallan las derivas inelásticas ante sismo severo para los tres sismos de diseño utilizados.

- **SISMO ICA 2007**

Tabla 45: Derivas Inelásticas en la dirección X, caso 1 - Ica 2007

Piso	Diafragma	Sismo	UX	D. Relativo (m)	A. entrepiso (m)	Derivas Inelásticas
			m			
10	D10	CASO 1 - ICA 2007 Max	0.376825	0.023026	3	0.007675
9	D9	CASO 1 - ICA 2007 Max	0.353799	0.028513	3	0.009504
8	D8	CASO 1 - ICA 2007 Max	0.325286	0.034956	3	0.011652
7	D7	CASO 1 - ICA 2007 Max	0.29033	0.041245	3	0.013748
6	D6	CASO 1 - ICA 2007 Max	0.249085	0.046396	3	0.015465
5	D5	CASO 1 - ICA 2007 Max	0.202689	0.049594	3	0.016531
4	D4	CASO 1 - ICA 2007 Max	0.153095	0.050009	3	0.016670
3	D3	CASO 1 - ICA 2007 Max	0.103086	0.046575	3	0.015525
2	D2	CASO 1 - ICA 2007 Max	0.056511	0.037765	3	0.012588
1	D1	CASO 1 - ICA 2007 Max	0.018746	0.018746	3	0.006249

Fuente: Propia

Tabla 46: Derivas Inelásticas en la dirección Y, caso 1 - Ica 2007

Piso	Diafragma	Sismo	UY	D. Relativo (m)	A. entrepiso (m)	Derivas Inelásticas
			m			
10	D10	CASO 1 - ICA 2007 Max	0.397386	0.033833	3	0.011278
9	D9	CASO 1 - ICA 2007 Max	0.363553	0.033022	3	0.011007
8	D8	CASO 1 - ICA 2007 Max	0.330531	0.038371	3	0.012790
7	D7	CASO 1 - ICA 2007 Max	0.29216	0.043623	3	0.014541
6	D6	CASO 1 - ICA 2007 Max	0.248537	0.047854	3	0.015951
5	D5	CASO 1 - ICA 2007 Max	0.200683	0.050252	3	0.016751
4	D4	CASO 1 - ICA 2007 Max	0.150431	0.049968	3	0.016656
3	D3	CASO 1 - ICA 2007 Max	0.100463	0.045922	3	0.015307
2	D2	CASO 1 - ICA 2007 Max	0.054541	0.036402	3	0.012134
1	D1	CASO 1 - ICA 2007 Max	0.018139	0.018139	3	0.006046

Fuente: Propia.

Tabla 47: Derivas Inelásticas en la dirección X, caso 2 - Ica 2007

Piso	Diafragma	Sismo	UX	D. Relativo (m)	A. entrepiso (m)	Derivas Inelásticas
			m			
10	D10	CASO 2 - ICA 2007 Max	0.523991	0.030889	3	0.010296
9	D9	CASO 2 - ICA 2007 Max	0.493102	0.03847	3	0.012823
8	D8	CASO 2 - ICA 2007 Max	0.454632	0.047356	3	0.015785
7	D7	CASO 2 - ICA 2007 Max	0.407276	0.056124	3	0.018708
6	D6	CASO 2 - ICA 2007 Max	0.351152	0.063646	3	0.021215
5	D5	CASO 2 - ICA 2007 Max	0.287506	0.068828	3	0.022943
4	D4	CASO 2 - ICA 2007 Max	0.218678	0.070379	3	0.023460
3	D3	CASO 2 - ICA 2007 Max	0.148299	0.066562	3	0.022187
2	D2	CASO 2 - ICA 2007 Max	0.081737	0.054394	3	0.018131
1	D1	CASO 2 - ICA 2007 Max	0.027343	0.027343	3	0.009114

Fuente: Propia.

Tabla 48: Derivas Inelásticas en la dirección Y, caso 2 - Ica 2007

Piso	Diafragma	Sismo	UY	D. Relativo (m)	A. entrepiso (m)	Derivas Inelásticas
			m			
10	D10	CASO 2 - ICA 2007 Max	0.268243	0.022809	3	0.007603
9	D9	CASO 2 - ICA 2007 Max	0.245434	0.023327	3	0.007776
8	D8	CASO 2 - ICA 2007 Max	0.222107	0.026712	3	0.008904
7	D7	CASO 2 - ICA 2007 Max	0.195395	0.030006	3	0.010002
6	D6	CASO 2 - ICA 2007 Max	0.165389	0.032578	3	0.010859
5	D5	CASO 2 - ICA 2007 Max	0.132811	0.033892	3	0.011297
4	D4	CASO 2 - ICA 2007 Max	0.098919	0.033373	3	0.011124
3	D3	CASO 2 - ICA 2007 Max	0.065546	0.0303	3	0.010100
2	D2	CASO 2 - ICA 2007 Max	0.035246	0.023666	3	0.007889
1	D1	CASO 2 - ICA 2007 Max	0.01158	0.01158	3	0.003860

Fuente: Propia.

- **SISMO LIMA 1996**

Tabla 49: Derivas Inelásticas en la dirección X, caso 1 - Lima 1996.

Piso	Diafragma	Sismo	UX	D. Relativo (m)	A. entrepiso (m)	Derivas Inelásticas
			m			
10	D10	CASO 1 - LIMA 1966 Max	0.270942	0.01578	3	0.005260
9	D9	CASO 1 - LIMA 1966 Max	0.255162	0.019581	3	0.006527
8	D8	CASO 1 - LIMA 1966 Max	0.235581	0.023747	3	0.007916
7	D7	CASO 1 - LIMA 1966 Max	0.211834	0.027299	3	0.009100
6	D6	CASO 1 - LIMA 1966 Max	0.184535	0.032278	3	0.010759
5	D5	CASO 1 - LIMA 1966 Max	0.152257	0.035983	3	0.011994
4	D4	CASO 1 - LIMA 1966 Max	0.116274	0.037212	3	0.012404
3	D3	CASO 1 - LIMA 1966 Max	0.079062	0.035504	3	0.011835
2	D2	CASO 1 - LIMA 1966 Max	0.043558	0.029087	3	0.009696
1	D1	CASO 1 - LIMA 1966 Max	0.014471	0.014471	3	0.004824

Fuente: Propia

Tabla 50: Derivas Inelásticas en la dirección Y, caso 1 - Lima 1996.

Piso	Diafragma	Sismo	UY	D. Relativo (m)	A. entrepiso (m)	Derivas Inelásticas
			m			
10	D10	CASO 1 - LIMA 1966 Max	0.158381	0.015066	3	0.005022
9	D9	CASO 1 - LIMA 1966 Max	0.143315	0.015641	3	0.005214
8	D8	CASO 1 - LIMA 1966 Max	0.127674	0.01753	3	0.005843
7	D7	CASO 1 - LIMA 1966 Max	0.110144	0.018965	3	0.006322
6	D6	CASO 1 - LIMA 1966 Max	0.091179	0.017964	3	0.005988
5	D5	CASO 1 - LIMA 1966 Max	0.073215	0.018531	3	0.006177
4	D4	CASO 1 - LIMA 1966 Max	0.054684	0.01841	3	0.006137
3	D3	CASO 1 - LIMA 1966 Max	0.036274	0.016765	3	0.005588
2	D2	CASO 1 - LIMA 1966 Max	0.019509	0.013055	3	0.004352
1	D1	CASO 1 - LIMA 1966 Max	0.006454	0.006454	3	0.002151

Fuente: Propia.

Tabla 51: Derivas Inelásticas en la dirección X, caso 2 - Lima 1996.

Piso	Diafragma	Sismo	UX	D. Relativo (m)	A. entrepiso (m)	Derivas Inelásticas
			m			
10	D10	CASO 2 - LIMA 1966 Max	0.248305	0.014428	3	0.004809
9	D9	CASO 2 - LIMA 1966 Max	0.233877	0.018086	3	0.006029
8	D8	CASO 2 - LIMA 1966 Max	0.215791	0.022533	3	0.007511
7	D7	CASO 2 - LIMA 1966 Max	0.193258	0.027062	3	0.009021
6	D6	CASO 2 - LIMA 1966 Max	0.166196	0.030877	3	0.010292
5	D5	CASO 2 - LIMA 1966 Max	0.135319	0.033281	3	0.011094
4	D4	CASO 2 - LIMA 1966 Max	0.102038	0.033624	3	0.011208
3	D3	CASO 2 - LIMA 1966 Max	0.068414	0.031212	3	0.010404
2	D2	CASO 2 - LIMA 1966 Max	0.037202	0.024865	3	0.008288
1	D1	CASO 2 - LIMA 1966 Max	0.012337	0.012337	3	0.004112

Fuente: Propia.

Tabla 52: Derivas Inelásticas en la dirección Y, caso 2 - Lima 1996.

Piso	Diafragma	Sismo	UY	D. Relativo (m)	A. entrepiso (m)	Derivas Inelásticas
			m			
10	D10	CASO 2 - LIMA 1966 Max	0.218228	0.020167	3	0.006722
9	D9	CASO 2 - LIMA 1966 Max	0.198061	0.022407	3	0.007469
8	D8	CASO 2 - LIMA 1966 Max	0.175654	0.024786	3	0.008262
7	D7	CASO 2 - LIMA 1966 Max	0.150868	0.026667	3	0.008889
6	D6	CASO 2 - LIMA 1966 Max	0.124201	0.025421	3	0.008474
5	D5	CASO 2 - LIMA 1966 Max	0.09878	0.023054	3	0.007685
4	D4	CASO 2 - LIMA 1966 Max	0.075726	0.023754	3	0.007918
3	D3	CASO 2 - LIMA 1966 Max	0.051972	0.023121	3	0.007707
2	D2	CASO 2 - LIMA 1966 Max	0.028851	0.019087	3	0.006362
1	D1	CASO 2 - LIMA 1966 Max	0.009764	0.009764	3	0.003255

Fuente: Propia.

- **SISMO LIMA 1974**

Tabla 53: Derivas Inelásticas en la dirección X, caso 1 - Lima 1974.

Piso	Diafragma	Sismo	UX	D. Relativo (m)	A. entrepiso (m)	Derivas Inelásticas
			m			
10	D10	CASO 1 - LIMA 1974 Max	0.295745	0.016707	3	0.005569
9	D9	CASO 1 - LIMA 1974 Max	0.279038	0.020978	3	0.006993
8	D8	CASO 1 - LIMA 1974 Max	0.25806	0.026029	3	0.008676
7	D7	CASO 1 - LIMA 1974 Max	0.232031	0.03116	3	0.010387
6	D6	CASO 1 - LIMA 1974 Max	0.200871	0.036037	3	0.012012
5	D5	CASO 1 - LIMA 1974 Max	0.164834	0.039461	3	0.013154
4	D4	CASO 1 - LIMA 1974 Max	0.125373	0.040578	3	0.013526
3	D3	CASO 1 - LIMA 1974 Max	0.084795	0.038318	3	0.012773
2	D2	CASO 1 - LIMA 1974 Max	0.046477	0.031069	3	0.010356
1	D1	CASO 1 - LIMA 1974 Max	0.015408	0.015408	3	0.005136

Fuente: Propia.

Tabla 54: Derivas Inelásticas en la dirección Y, caso 1 - Lima 1974.

Piso	Diafragma	Sismo	UY	D. Relativo (m)	A. entrepiso (m)	Derivas Inelásticas
			m			
10	D10	CASO 1 - LIMA 1974 Max	0.15656	0.013757	3	0.004586
9	D9	CASO 1 - LIMA 1974 Max	0.142803	0.013264	3	0.004421
8	D8	CASO 1 - LIMA 1974 Max	0.129539	0.015452	3	0.005151
7	D7	CASO 1 - LIMA 1974 Max	0.114087	0.01753	3	0.005843
6	D6	CASO 1 - LIMA 1974 Max	0.096557	0.019103	3	0.006368
5	D5	CASO 1 - LIMA 1974 Max	0.077454	0.019863	3	0.006621
4	D4	CASO 1 - LIMA 1974 Max	0.057591	0.019112	3	0.006371
3	D3	CASO 1 - LIMA 1974 Max	0.038479	0.017628	3	0.005876
2	D2	CASO 1 - LIMA 1974 Max	0.020851	0.01397	3	0.004657
1	D1	CASO 1 - LIMA 1974 Max	0.006881	0.006881	3	0.002294

Fuente: Propia.

Tabla 55: Derivas Inelásticas en la dirección X, caso 2 - Lima 1974.

Piso	Diafragma	Sismo	UX	D. Relativo (m)	A. entrepiso (m)	Derivas Inelásticas
			m			
10	D10	CASO 2 - LIMA 1974 Max	0.240791	0.014884	3	0.004961
9	D9	CASO 2 - LIMA 1974 Max	0.225907	0.018141	3	0.006047
8	D8	CASO 2 - LIMA 1974 Max	0.207766	0.022208	3	0.007403
7	D7	CASO 2 - LIMA 1974 Max	0.185558	0.026288	3	0.008763
6	D6	CASO 2 - LIMA 1974 Max	0.15927	0.029602	3	0.009867
5	D5	CASO 2 - LIMA 1974 Max	0.129668	0.031658	3	0.010553
4	D4	CASO 2 - LIMA 1974 Max	0.09801	0.03198	3	0.010660
3	D3	CASO 2 - LIMA 1974 Max	0.06603	0.029895	3	0.009965
2	D2	CASO 2 - LIMA 1974 Max	0.036135	0.024158	3	0.008053
1	D1	CASO 2 - LIMA 1974 Max	0.011977	0.011977	3	0.003992

Fuente: Propia.

Tabla 56: Derivas Inelásticas en la dirección Y, caso 2 - Lima 1974.

Piso	Diafragma	Sismo	UY	D. Relativo (m)	A. entrepiso (m)	Derivas Inelásticas
			m			
10	D10	CASO 2 - LIMA 1974 Max	0.205988	0.01769	3	0.005897
9	D9	CASO 2 - LIMA 1974 Max	0.188298	0.016611	3	0.005537
8	D8	CASO 2 - LIMA 1974 Max	0.171687	0.019531	3	0.006510
7	D7	CASO 2 - LIMA 1974 Max	0.152156	0.022511	3	0.007504
6	D6	CASO 2 - LIMA 1974 Max	0.129645	0.024959	3	0.008320
5	D5	CASO 2 - LIMA 1974 Max	0.104686	0.026348	3	0.008783
4	D4	CASO 2 - LIMA 1974 Max	0.078338	0.026093	3	0.008698
3	D3	CASO 2 - LIMA 1974 Max	0.052245	0.023961	3	0.007987
2	D2	CASO 2 - LIMA 1974 Max	0.028284	0.01893	3	0.006310
1	D1	CASO 2 - LIMA 1974 Max	0.009354	0.009354	3	0.003118

Fuente: Propia.

Realizado el análisis Tiempo-Historia mediante los tres registros sísmicos más severos en las dos direcciones ortogonales, se procede a mostrar los cuadros resumen de las derivas calculadas.

Tabla 57: Resumen de derivas Inelásticas en la dirección X.

ANÁLISIS DINÁMICO TIEMPO - HISTORIA EN X-X						
NIVEL	ICA 2007		LIMA 1966		LIMA 1974	
	CASO 1	CASO 2	CASO 1	CASO 2	CASO 1	CASO 2
10	0.00768	0.01030	0.00526	0.00481	0.00557	0.00496
9	0.00950	0.01282	0.00653	0.00603	0.00699	0.00605
8	0.01165	0.01579	0.00792	0.00751	0.00868	0.00740
7	0.01375	0.01871	0.00910	0.00902	0.01039	0.00876
6	0.01547	0.02122	0.01076	0.01029	0.01201	0.00987
5	0.01653	0.02294	0.01199	0.01109	0.01315	0.01055
4	0.01667	0.02346	0.01240	0.01121	0.01353	0.01066
3	0.01553	0.02219	0.01183	0.01040	0.01277	0.00997
2	0.01259	0.01813	0.00970	0.00829	0.01036	0.00805
1	0.00625	0.00911	0.00482	0.00411	0.00514	0.00399

Fuente: Propia.

Tabla 58: Resumen de derivas Inelásticas en la dirección Y.

ANÁLISIS DINÁMICO TIEMPO - HISTORIA EN Y-Y						
NIVEL	ICA 2007		LIMA 1966		LIMA 1974	
	CASO 1	CASO 2	CASO 1	CASO 2	CASO 1	CASO 2
10	0.01128	0.00760	0.00502	0.00672	0.00459	0.00590
9	0.01101	0.00778	0.00521	0.00747	0.00442	0.00554
8	0.01279	0.00890	0.00584	0.00826	0.00515	0.00651
7	0.01454	0.01000	0.00632	0.00889	0.00584	0.00750
6	0.01595	0.01086	0.00599	0.00847	0.00637	0.00832
5	0.01675	0.01130	0.00618	0.00768	0.00662	0.00878
4	0.01666	0.01112	0.00614	0.00792	0.00637	0.00870
3	0.01531	0.01010	0.00559	0.00771	0.00588	0.00799
2	0.01213	0.00789	0.00435	0.00636	0.00466	0.00631
1	0.00605	0.00386	0.00215	0.00325	0.00229	0.00312

Fuente: Propia

D. Determinación del sismo de diseño

Halladas las derivas máximas o distorsiones de entrepiso en función a un espectro inelástico de diseño a un sismo severo, se procede a elegir que sismo se diseñarían los disipadores de fluido viscoso, de los tres registros sísmicos utilizados anteriormente.

A continuación, se calcula las variaciones que resultan de la diferencia entre las derivas de los tres registros sísmicos con las derivas calculadas del análisis modal espectral con un $R=1$, para así elegir que variaciones tomar en cuenta, lo cual deben estar lo más cercano a la unidad o se recomienda un intervalo por arriba de 0.8 y por debajo de 1.3, y así finalmente elegir nuestro sismo de diseño para seguir con el proceso del diseño de los disipadores de fluido viscoso.

Tabla 59: Variaciones entre Dinámico Espectral vs Tiempo Historia-X.

NIVEL	ANÁLISIS DINÁMICO TIEMPO - HISTORIA EN X-X					
	ICA 2007		LIMA 1966		LIMA 1974	
	CASO1	CASO 2	CASO 1	CASO 2	CASO 1	CASO 2
10	2.055	2.757	1.409	1.288	1.491	1.329
9	2.056	2.775	1.412	1.304	1.513	1.308
8	2.067	2.800	1.404	1.332	1.539	1.313
7	2.071	2.818	1.371	1.359	1.565	1.320
6	2.067	2.836	1.438	1.376	1.605	1.319
5	2.053	2.850	1.490	1.378	1.634	1.311
4	2.032	2.859	1.512	1.366	1.649	1.299
3	2.007	2.868	1.530	1.345	1.651	1.288
2	1.999	2.880	1.540	1.316	1.645	1.279
1	1.988	2.900	1.535	1.308	1.634	1.270

Fuente: Propia

Tabla 60: Variaciones entre Dinámico Espectral vs Tiempo Historia-X.

NIVEL	ANÁLISIS DINÁMICO TIEMPO - HISTORIA EN Y-Y					
	ICA 2007		LIMA 1966		LIMA 1974	
	CASO1	CASO 2	CASO 1	CASO 2	CASO 1	CASO 2
10	1.75893	1.18581	0.78326	1.04845	0.71521	0.91968
9	1.70745	1.20615	0.80874	1.15858	0.68583	0.85889
8	1.73750	1.20956	0.79379	1.12235	0.69969	0.88440
7	1.76611	1.21482	0.76781	1.07964	0.70972	0.91138
6	1.79128	1.21946	0.67243	0.95156	0.71507	0.93427
5	1.81206	1.22213	0.66822	0.83131	0.71625	0.95009
4	1.82946	1.22187	0.67404	0.86970	0.69974	0.95533
3	1.84656	1.21838	0.67413	0.92971	0.70883	0.96349
2	1.86333	1.21140	0.66825	0.97702	0.71509	0.96898
1	1.87872	1.19938	0.66846	1.01129	0.71269	0.96882

Fuente: Propia

Se concluye que los registros sísmicos de Ica 2007 y de Lima 1996 se descartan para la dirección “X” por estar por encima del 30% de variación o porque son lo que más se alejan de la unidad, igualmente para la dirección “Y” que por las mismas razones de descartaron los registros sísmicos de Ica 2007 y Lima 1974. Por lo cual se determinó como sismo de diseño el registro de Lima 1974 para X y el de Lima 1966 para Y.

Ahora se procede a calcular las propiedades de los disipadores de fluido viscoso.

E. DISEÑO POR DESEMPEÑO DE LOS DISIPADORES DE ENERGÍA VISCOSOS

Como se había explicado anteriormente, para que la edificación logre un buen comportamiento ante un sismo severo, se optará para esta presente tesis la colocación de disipadores de energía de fluido viscoso de la empresa Taylor Devices.

Factor de reducción de respuesta (B)

Nivel de amenaza sísmica

Según VISION 2000, los movimientos sísmicos de diseño son expresados en intervalos de ocurrencia y en función a la probabilidad de excedencia, los cuales son:

Tabla 61: Niveles de Movimiento Sísmico de diseño.

<i>Nivel del movimiento sísmico</i>	<i>Período medio de retorno T (años)</i>	<i>Probabilidad de excedencia (p,t)</i>
Frecuente	43 años	50% en 30 años
Ocasional	72 años	50% en 50 años
Raro	475 años	10% en 50 años
Muy Raro	970 años	10 % en 100 años

Fuente: VISION2000 SEAOC, p.71.

El sismo a diseñar, es de un sismo raro de 475 años de periodo de retorno.

Nivel de desempeño

Es el desempeño que muestra una estructura ante eventos sísmicos respecto a su estado límite de daño, ya que depende de sus posibles daños estructurales que puede sufrir dicha estructura, lo que demandaría el riesgo de sus ocupantes y su funcionalidad.

Según el comité VISION SEAOC, explica cinco niveles de desempeño.

Tabla 62: Niveles de Desempeño Sísmico.

<i>Estado de daño</i>	<i>Nivel de Desempeño</i>	<i>Características principales</i>
Despreciable	Totalmente Operacional	Daño estructural y no estructural despreciable o nulo. Las instalaciones continúan prestando sus servicios y funciones después del sismo.
Ligero	Operacional	Daños ligeros. Las instalaciones esenciales continúan en servicio y las no esenciales pueden sufrir interrupciones de inmediata recuperación.
Moderado	Seguridad	Daños moderados. La estructura sufre daños pero permanece estable. Seguridad de ocupantes. Algunos elementos no estructurales pueden dañarse
Severo	Pre-Colapso	Daño estructural severo, en la proximidad del colapso estructural. Falla de elementos no estructurales. Seguridad de ocupantes comprometida.
Completo	Colapso	Colapso estructural

Fuente: VISION2000 SEAOC, p.67.

Como bien se sabe, la edificación es de Uso de Viviendas Multifamiliares, donde según normativa lo considera como estructura común, pero además se sabe que la edificación es de gran altura, lo cual ante cualquier fallo o colapso podría generar pérdidas humanas dentro y fuera del edificio. Es por eso que, para el análisis no lineal de la edificación y el uso de los disipadores de fluido viscoso, se va a considerar para este caso un nivel de desempeño de vida para evitar el colapso total o parcial para daño moderado reparable.

Nivel de comportamiento sísmico esperado

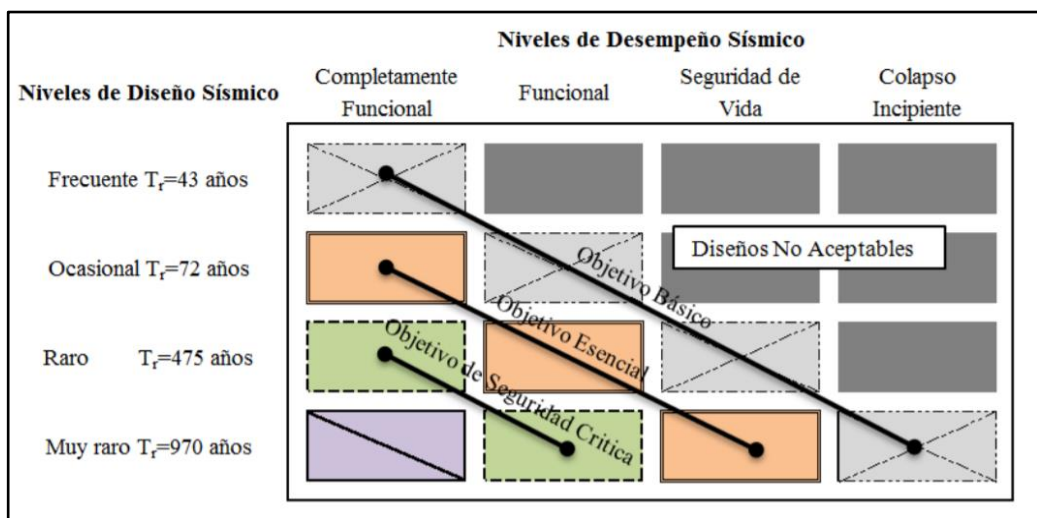


Figura 46: Niveles de comportamiento Sísmico esperado.

Fuente: VISION2000 SEAOC, p.71.

El nivel de desempeño de la estructura será de resguardo de vida, teniendo un daño moderado, para garantizar la estabilidad de las personas ocupantes y personal en general de la edificación.

F. Deriva Objetivo

Tabla 63: Clasificación Sistema Estructural VS Altura de Edificación.

No.	Label	Description	Height			
			Range		Typical	
			Name	Stories	Stories	Feet
1	W1	Wood, Light Frame ($\leq 5,000$ sq. ft.)		1 - 2	1	14
2	W2	Wood, Commercial and Industrial ($> 5,000$ sq. ft.)		All	2	24
3	S1L	Steel Moment Frame	Low-Rise	1 - 3	2	24
4	S1M		Mid-Rise	4 - 7	5	60
5	S1H		High-Rise	8+	13	156
6	S2L	Steel Braced Frame	Low-Rise	1 - 3	2	24
7	S2M		Mid-Rise	4 - 7	5	60
8	S2H		High-Rise	8+	13	156
9	S3	Steel Light Frame		All	1	15
10	S4L	Steel Frame with Cast-in-Place Concrete Shear Walls	Low-Rise	1 - 3	2	24
11	S4M		Mid-Rise	4 - 7	5	60
12	S4H		High-Rise	8+	13	156
13	S5L	Steel Frame with Unreinforced Masonry Infill Walls	Low-Rise	1 - 3	2	24
14	S5M		Mid-Rise	4 - 7	5	60
15	S5H		High-Rise	8+	13	156
16	C1L	Concrete Moment Frame	Low-Rise	1 - 3	2	20
17	C1M		Mid-Rise	4 - 7	5	50
18	C1H		High-Rise	8+	12	120
19	C2L	Concrete Shear Walls	Low-Rise	1 - 3	2	20
20	C2M		Mid-Rise	4 - 7	5	50
21	C2H		High-Rise	8+	12	120
22	C3L	Concrete Frame with Unreinforced Masonry Infill Walls	Low-Rise	1 - 3	2	20
23	C3M		Mid-Rise	4 - 7	5	50
24	C3H		High-Rise	8+	12	120
25	PC1	Precast Concrete Tilt-Up Walls		All	1	15
26	PC2L	Precast Concrete Frames with Concrete Shear Walls	Low-Rise	1 - 3	2	20
27	PC2M		Mid-Rise	4 - 7	5	50
28	PC2H		High-Rise	8+	12	120
29	RM1L	Reinforced Masonry Bearing Walls with Wood or Metal Deck Diaphragms	Low-Rise	1-3	2	20
30	RM1M		Mid-Rise	4+	5	50
31	RM2L	Reinforced Masonry Bearing Walls with Precast Concrete Diaphragms	Low-Rise	1 - 3	2	20
32	RM2M		Mid-Rise	4 - 7	5	50
33	RM2H		High-Rise	8+	12	120
34	URML	Unreinforced Masonry Bearing Walls	Low-Rise	1 - 2	1	15
35	URMM		Mid-Rise	3+	3	35
36	MH	Mobile Homes		All	1	10

Fuente: Metodología Hazus.

Se va a considerar una deriva objetivo según la metodología Hazus, lo cual está en función al sistema estructura que corresponde y altura del edificio.

Tabla 64: Relación Daño-Deriva.

Building Properties			Interstory Drift at Threshold of Damage State			
Type	Height (inches)		Slight	Moderate	Extensive	Complete
	Roof	Modal				
W1	168	126	0.0040	0.0099	0.0306	0.0750
W2	288	216	0.0040	0.0099	0.0306	0.0750
S1L	288	216	0.0060	0.0104	0.0235	0.0600
S1M	720	540	0.0040	0.0069	0.0157	0.0400
S1H	1872	1123	0.0030	0.0052	0.0118	0.0300
S2L	288	216	0.0050	0.0087	0.0233	0.0600
S2M	720	540	0.0033	0.0058	0.0156	0.0400
S2H	1872	1123	0.0025	0.0043	0.0117	0.0300
S3	180	135	0.0040	0.0070	0.0187	0.0525
S4L	288	216	0.0040	0.0069	0.0187	0.0525
S4M	720	540	0.0027	0.0046	0.0125	0.0350
S4H	1872	1123	0.0020	0.0035	0.0093	0.0262
S5L						
S5M						
S5H						
C1L	240	180	0.0050	0.0087	0.0233	0.0600
C1M	600	450	0.0033	0.0058	0.0156	0.0400
C1H	1440	864	0.0025	0.0043	0.0117	0.0300
C2L	240	180	0.0040	0.0084	0.0232	0.0600
C2M	600	450	0.0027	0.0056	0.0154	0.0400
C2H	1440	864	0.0020	0.0042	0.0116	0.0300
C3L						
C3M						
C3H						
PC1	180	135	0.0040	0.0070	0.0187	0.0525
PC2L	240	180	0.0040	0.0069	0.0187	0.0525
PC2M	600	450	0.0027	0.0046	0.0125	0.0350
PC2H	1440	864	0.0020	0.0035	0.0094	0.0263
RM1L	240	180	0.0040	0.0069	0.0187	0.0525
RM1M	600	450	0.0027	0.0046	0.0125	0.0350
RM2L	240	180	0.0040	0.0069	0.0187	0.0525
RM2M	600	450	0.0027	0.0046	0.0125	0.0350
RM2H	1440	864	0.0020	0.0035	0.0094	0.0263
URM1L						
URM1M						
MH	120	120	0.0040	0.0080	0.0240	0.0700

Fuente: Metodología Hazus.

Como se puede lograr ver, que para el código C2H, la metodología Hazus indica que para que presente daño moderado la edificación, se tiene que cumplir con una deriva máxima de 0.0042 ante el sismo de diseño severo.

Dirección X

Tabla 65: Derivas en X del caso 2 - Lima 1974.

NIVEL	DERIVAS EN X CASO 2 - LIMA 1974	E-030 ≤ 0.007	HAZUS ≤ 0.004
10	0.00496	PASA	NO PASA
9	0.00605	PASA	NO PASA
8	0.00740	NO PASA	NO PASA
7	0.00876	NO PASA	NO PASA
6	0.00987	NO PASA	NO PASA
5	0.01055	NO PASA	NO PASA
4	0.01066	NO PASA	NO PASA
3	0.00997	NO PASA	NO PASA
2	0.00805	NO PASA	NO PASA
1	0.00399	PASA	PASA

Fuente: Propia.

De la tabla se toma la deriva máxima dada por el sismo de diseño de Lima 1974-Caso 2, que sería 0.01066 en el nivel 4.

$$B_x = \frac{D_{max}X}{D_{objetivo}}$$

$$B_x = \frac{0.01066}{0.0042}$$

$$B_x = 2.538$$

Dirección Y

Tabla 66: Derivas en Y del caso 2 – Lima 1966.

NIVEL	DERIVAS EN Y CASO 2 - LIMA 1966	E-030 ≤ 0.007	HAZUS ≤ 0.004
10	0.00672	PASA	NO PASA
9	0.00747	NO PASA	NO PASA
8	0.00826	NO PASA	NO PASA
7	0.00889	NO PASA	NO PASA
6	0.00847	NO PASA	NO PASA
5	0.00768	NO PASA	NO PASA
4	0.00792	NO PASA	NO PASA
3	0.00771	NO PASA	NO PASA
2	0.00636	PASA	NO PASA
1	0.00325	PASA	PASA

Fuente: Propia.

De la tabla se toma la deriva máxima dada por el sismo de diseño de Lima 1996-Caso 2, que sería 0.00889 en el nivel 7.

$$B_Y = \frac{D_{max}Y}{D_{objetivo}}$$

$$B_Y = \frac{0.00889}{0.0042}$$

$$B_Y = 2.116$$

G. Amortiguamiento efectivo (β_{eff})

$$B_{xy} = \frac{2.31 - 0.41 \ln(B_0)}{2.31 - 0.41 \ln(\beta_{effxy})}$$

Formula brindada por el FEMA, donde B_0 , que es el amortiguamiento inherente a la edificación, será un factor del 5% de amortiguamiento para un sistema de concreto armado rigiéndose a la normativa peruana E030.

Finalmente se despeja la fórmula para obtener el amortiguamiento efectivo tanto del disipador.

Dirección X

$$2.538 = \frac{2.31 - 0.41 \ln(B_0)}{2.31 - 0.41 \ln(\beta_{effx})}$$

$$\beta_{effx} = 57.30\%$$

Dirección Y

$$2.116 = \frac{2.31 - 0.41 \ln(B_0)}{2.31 - 0.41 \ln(\beta_{effy})}$$

$$\beta_{effy} = 41.77\%$$

H. Amortiguamiento Viscoso (β_H)

Para obtener el amortiguamiento viscoso, se descuenta el amortiguamiento inherente a la estructura al amortiguamiento calculado.

Dirección X

$$\beta_{Hx} = 57.30\% - 5\%$$

$$\beta_{Hx} = 52.30\%$$

Dirección Y

$$\beta_{Hy} = 41.77\% - 5\%$$

$$\beta_{Hy} = 36.77\%$$

La empresa que fabrica estos tipos de disipadores, brinda algunas recomendaciones, donde nos dice que dichos disipadores tienen que ser diseñados con un amortiguamiento viscos que estén entre el 20% al 40%.

El amortiguamiento viscoso para la dirección "X" está afuera del intervalo recomendado, lo cual se tendrá que asumir entre esos porcentajes para comprobar si posiblemente cumpla, mientras para la dirección "Y" si cumple dentro de lo recomendado.

I. Rigidez del brazo metálico (K)

Se calcula la rigidez del brazo metálico, lo cual se anclan al cualquier pódico del edificio a analizar. Para este caso se va a optar por un perfil metálico Round HSS 20x0.375, teniendo como características:

Tabla 67: Propiedades del perfil metálico HSS.

Dimensiones ROUND HSS 20.00 x 0.375				
D ext.(in)	D int.(in)	Espesor (in)	Área (in ²)	Inercia (in ⁴)
20.00	19.651	0.349	21.5	1040

Fuente: AISC Steel construction.

La fórmula siguiente se calcula la rigidez del brazo metálico:

$$K = \frac{EA}{L}$$

El Módulo de elasticidad del acero (E) será de 29000 ksi que equivale a 20.4×10^6 Tn/m², además el área de la sección transversal del perfil (A) es de 21.5 in² que convirtiéndolo a m² será de 138.71×10^{-4} ; mientras la longitud del brazo metálico (L) se haya en total incluyendo el disipador.

Para esta presente tesis se elegirá la disposición llamado Diagonal, conformado por un brazo por pórtico.

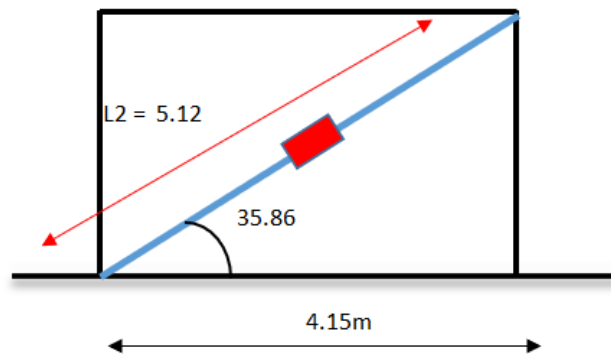


Figura 47: Longitud del Brazo Metálico en el Eje X.

Fuente: Propia

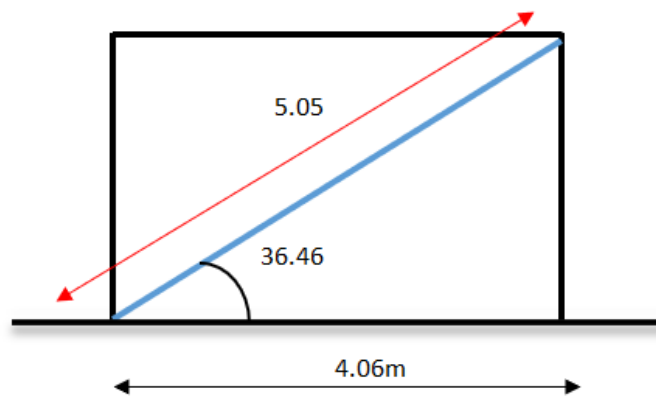


Figura 48: Longitud del Brazo Metálico en el Eje Y.

Fuente: Propia

Dirección X

$$K_x = \frac{(20.4 \times 10^6)(138.71 \times 10^{-4})}{5.12} = 55\,268 \text{ Tn/m}$$

Dirección Y

$$K_y = \frac{(20.4 \times 10^6)(138.71 \times 10^{-4})}{5.05} = 56\,034 \text{ Tn/m}$$

J. Exponente de velocidad (α)

La edificación tendrá disipadores viscosos no lineales, lo cual le correspondería un valor de “ α ” de 0.5, ya que se recomienda para edificios para así minimizar los pulsos de altas velocidades.

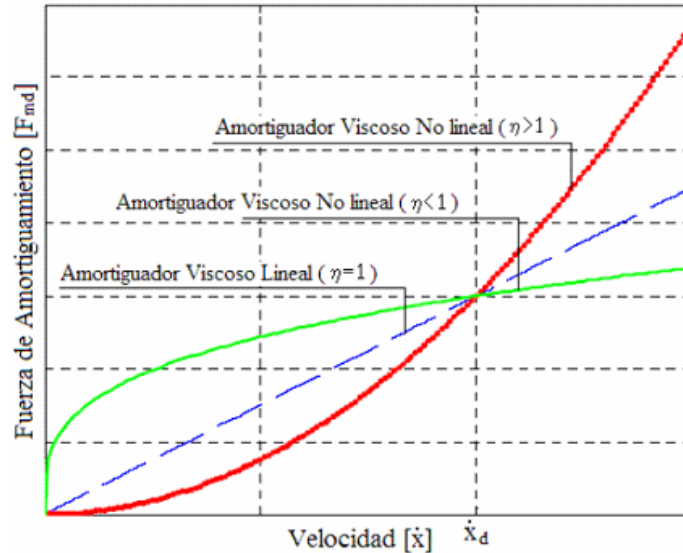


Figura 49: Exponente de Velocidad para Disipadores Viscosos.

Fuente: Carlos Córdova Rojas, 2017.

K. Coeficiente de amortiguamiento no lineal (C)

Se procede ahora al cálculo de coeficiente de amortiguamiento por la siguiente fórmula, antes ya explicada:

$$\sum C_j = \frac{B_H \cdot 2\pi A^{1-\alpha} \cdot \omega^{1-\alpha} \cdot (\sum_i m_i \phi_i^2)}{\lambda (\sum \phi_{rj}^{1+\alpha} \cdot \cos^{1+\alpha} \theta_j)}$$

Se extraen los valores que son parte de la ecuación:

L. Coeficiente de amortiguamiento no lineal en la dirección de análisis “X”

Amplitud de desplazamiento relativo del modo 1

Se determina a través de la siguiente fórmula:

$$A = \frac{10 \cdot g \cdot r \cdot S_a \cdot T_1}{4 \cdot \beta_1 \cdot \pi^2}$$

Donde:

A= Amplitud de desplazamiento

g= Aceleración de la gravedad

r= Factor de participación del modo fundamental de vibración.

Sa= Aceleración espectral del sismo de diseño

T1= Período de modo de análisis.

β_1 = Coeficiente de amortiguamiento.

$$A = \frac{10 \times 981 \times 1.86 \times 0.45 \times 0.87}{4 \times 1.2 \times \pi^2}$$

$$A = 151 \text{ mm}$$

Frecuencia angular

Para calcular la frecuencia angular, se tiene que tener el periodo natural de vibración, la cual para la dirección X es 0.87 seg:

$$\omega = \frac{2\pi}{T}$$

$$\omega = \frac{2\pi}{0.87}$$

$$\omega = 7.22 \text{ rad/s}$$

Peso sísmico por piso

Tabla 68: Masa de la estructura.

PISO	MASA (Tn. Seg ² /m)
10	26.18
9	35.60
8	35.59
7	35.59
6	35.59
5	35.59
4	35.59
3	35.59
2	35.59
1	35.59

Fuente: Propia.

Desplazamientos del modo 1 en el pórtico – disposición Chevron Brace

Son los desplazamientos máximos provenientes del modo predominante a colocar los disipadores de fluido viscoso.

Tabla 69: Desplazamientos máximos del modo.

PISO	Φ_i
10	1
9	0.9
8	0.8
7	0.7
6	0.6
5	0.5
4	0.4
3	0.3
2	0.2
1	0.1

Fuente: Propia.

Desplazamientos en ambos extremos del pórtico que albergara el disipador más esforzado en disposición Diagonal.

Tabla 70: Desplazamientos en ambos extremos.

PISO	MODO	Nudo 90	Nudo 23	Φ_{rj}
10	1		0.202455	0.0117
9	1	0.190765	0.190792	0.0149
8	1	0.175939	0.175955	0.0184
7	1	0.157542	0.157557	0.0219
6	1	0.135641	0.135652	0.0249
5	1	0.110773	0.11078	0.0268
4	1	0.083939	0.083938	0.0273
3	1	0.05666	0.056651	0.0256
2	1	0.031098	0.031081	0.0207
1	1	0.010408		0.0000

Fuente: Propia.

Parámetro λ

Como se sabe el $\alpha=0.5$ para disipadores viscosos no lineales, por lo cual la norma FEMA 274 brinda una tabla en donde tal factor le correspondería un lambda de 3.5.

Tabla 71: Parámetros Lambda para Disipadores Viscosos no Lineal.

Exponente α	Parámetro λ
0.25	3.7
0.50	3.5
0.75	3.3
1.00	3.1
1.25	3.0

Fuente: FEMA 274, 1997.

Coefficiente de amortiguamiento del disipador en X

Tabla 72: Coeficiente de amortiguamiento del disipador en "X".

PISO	MASA (Tn.Seg ² /m)	COS θ	$\cos\theta^{(1+\alpha)} * \Phi_{rj}^{(1+\alpha)}$	$m * \Phi_i^2$	$m * \Phi_i$
10	26.18	0.810	0.0009	26.184	26.18359
9	35.60	0.810	0.0013	28.833	32.037039
8	35.59	0.810	0.0018	22.780	28.475496
7	35.59	0.810	0.0024	17.441	24.916059
6	35.59	0.810	0.0029	12.814	21.356622
5	35.59	0.810	0.0032	8.899	17.797185
4	35.59	0.810	0.0033	5.695	14.237748
3	35.59	0.810	0.0030	3.203	10.678311
2	35.59	0.810	0.0022	1.424	7.118874
1	35.59	0.810	0.0000	0.356	3.559437
			0.020940549	127.62944	186.360361

Fuente: Propia.

$$\sum C_j = \frac{B_H \cdot 2\pi A^{1-\alpha} \cdot \omega^{1-\alpha} \cdot (\sum_i m_i \phi_i^2)}{\lambda (\sum \phi_{rj}^{1+\alpha} \cdot \cos^{1+\alpha} \theta_j)}$$

$$\sum C_j = \frac{0.05 \times 2\pi \times 0.15^{1-0.5} \cdot 7 \cdot 22^{1-0.5} \cdot (127.63)}{3.5(0.0209)}$$

$$\sum C_j = 4112.27 \text{ Tn. s/m}$$

Implementando 5 disipadores por piso:

$$C_j = \frac{\sum C_j}{N_{\text{Disipadores}}}$$

$$C_j = \frac{4112.27}{5}$$

$$C_j = 823 \text{ Tn. s/m}$$

Coefficiente de amortiguamiento del disipador en Y

Amplitud de desplazamiento relativo del modo 1

$$A = \frac{10 \cdot g \cdot r \cdot S_a \cdot T_1}{4 \cdot \beta_1 \cdot \pi^2}$$

$$A = \frac{10 \times 981 \times 1.86 \times 0.45 \times 0.80}{4 \times 1.2 \times \pi^2}$$

$$A = 139 \text{ mm}$$

Frecuencia angular

Para calcular la frecuencia angular, se tiene que tener el periodo natural de vibración, la cual para la dirección X es 0.87 seg:

$$\omega = \frac{2\pi}{T}$$

$$\omega = \frac{2\pi}{0.80}$$

$$\omega = 7.85 \text{ rad/s}$$

Peso sísmico por piso

Tabla 73: Masa de la estructura.

PISO	MASA (Tn. Seg²/m)
10	26.18
9	35.60
8	35.59
7	35.59
6	35.59
5	35.59
4	35.59
3	35.59
2	35.59
1	35.59

Fuente: Propia.

Desplazamientos del modo 1 en el pórtico – disposición Diagonal

Son los desplazamientos máximos provenientes del modo predominante a colocar los disipadores de fluido viscoso.

Tabla 74: Desplazamientos máximos del modo.

PISO	Φ_i
10	1
9	0.9
8	0.8
7	0.7
6	0.6
5	0.5
4	0.4
3	0.3
2	0.2
1	0.1

Fuente: Propia.

Desplazamientos en ambos extremos del pórtico que albergara el disipador más esforzado en disposición Chevron Brace.

Tabla 75: Desplazamientos en ambos extremos.

PISO	MODO	Nudo 31	Nudo 74	Φ_j
10	1		0.237571	0.0234
9	1	0.214147	0.214147	0.0253
8	1	0.188826	0.188826	0.0271
7	1	0.161772	0.161772	0.0284
6	1	0.133365	0.133365	0.0293
5	1	0.104071	0.104071	0.0290
4	1	0.075088	0.075088	0.0271
3	1	0.047995	0.047995	0.0232
2	1	0.024757	0.024757	0.0170
1	1	0.007752		0.0000

Fuente: Propia.

Parámetro λ

Como se sabe se tiene un factor de $\alpha=0.5$ para disipadores viscosos no lineales, por lo cual la norma FEMA 274 brinda una tabla en donde tal factor le correspondería un lambda de 3.5.

Tabla 76: Parámetros Lambda para Disipadores Viscosos no Lineal.

Exponente α	Parámetro λ
0.25	3.7
0.50	3.5
0.75	3.3
1.00	3.1
1.25	3.0

Fuente: FEMA 274, 1997.

Coefficiente de amortiguamiento del disipador en Y

Tabla 77: Coeficiente de amortiguamiento del disipador en "Y".

PISO	MASA (Tn.Seg ² /m)	COS θ	$\cos\theta^{(1+\alpha)} * \Phi_{rj}^{(1+\alpha)}$	$m * \Phi_i^2$	$m * \Phi_i$
10	26.18	0.804	0.0026	26.184	26.18359
9	35.60	0.804	0.0029	28.833	32.037039
8	35.59	0.804	0.0032	22.780	28.475496
7	35.59	0.804	0.0035	17.441	24.916059
6	35.59	0.804	0.0036	12.814	21.356622
5	35.59	0.804	0.0036	8.899	17.797185
4	35.59	0.804	0.0032	5.695	14.237748
3	35.59	0.804	0.0026	3.203	10.678311
2	35.59	0.804	0.0016	1.424	7.118874
1	35.59	0.804	0.0000	0.356	3.559437
			0.026701333	127.62944	186.360361

Fuente: Propia.

$$\sum C_j = \frac{B_H \cdot 2\pi A^{1-\alpha} \cdot \omega^{1-\alpha} \cdot (\sum_i m_i \phi_i^2)}{\lambda (\sum \phi_{rj}^{1+\alpha} \cdot \cos^{1+\alpha} \theta_j)}$$

$$\sum C_j = \frac{0.05 \times 2\pi \times 0.14^{1-0.5} \cdot 7.85^{1-0.5} \cdot (127.63)}{3.5(0.02670)}$$

$$\sum C_j = 3533.45 \text{ Tn. s/m}$$

Implementando 5 disipadores por piso:

$$C_j = \frac{\sum C_j}{N_{Disipadores}}$$

$$C_j = \frac{3533.45}{5}$$

$$C_j = 707 \text{ Tn. s/m}$$

Por lo tanto, los resultados de los coeficientes de amortiguamiento en las dos direcciones se ingresan al software:

En Dirección "X"

$$K_x = 55\,268 \text{ Tn/m}$$

$$C_j = 823 \text{ Tn. s/m}$$

$$\alpha = 0.5$$

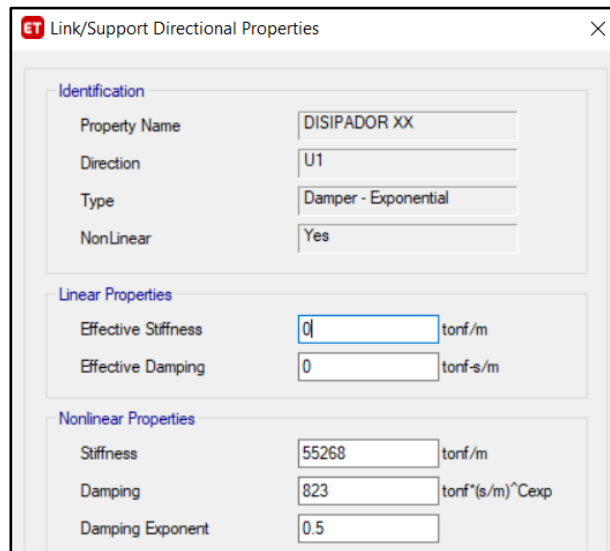


Figura 50: Propiedades del disipador en "X".

Fuente: Software ETABS V18.

En Dirección "Y"

$$K_y = 56\,034 \text{ Tn/m}$$

$$C_j = 707 \text{ Tn. s/m}$$

$$\alpha = 0.5$$

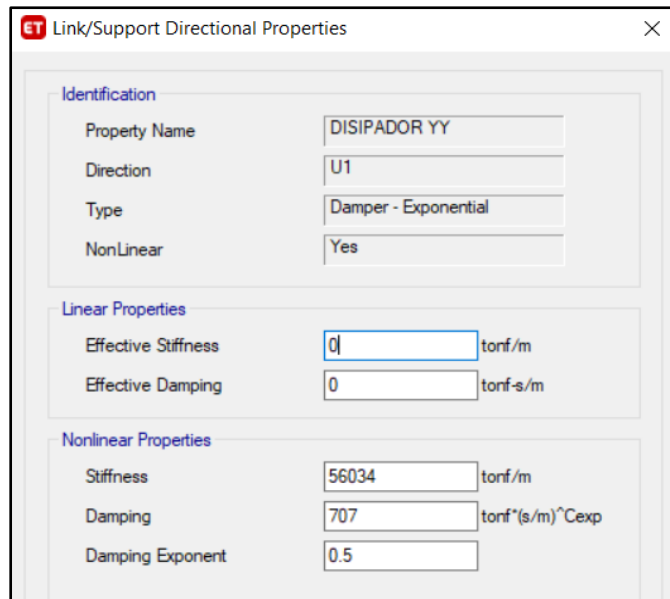


Figura 51: Propiedades del disipador en “Y”.

Fuente: Software ETABS V18.

M. ANÁLISIS SÍSMICO DINÁMICO NO LINEAL TIEMPO – HISTORIA CON OPTIMIZACIÓN DE DISIPADORES VISCOSOS

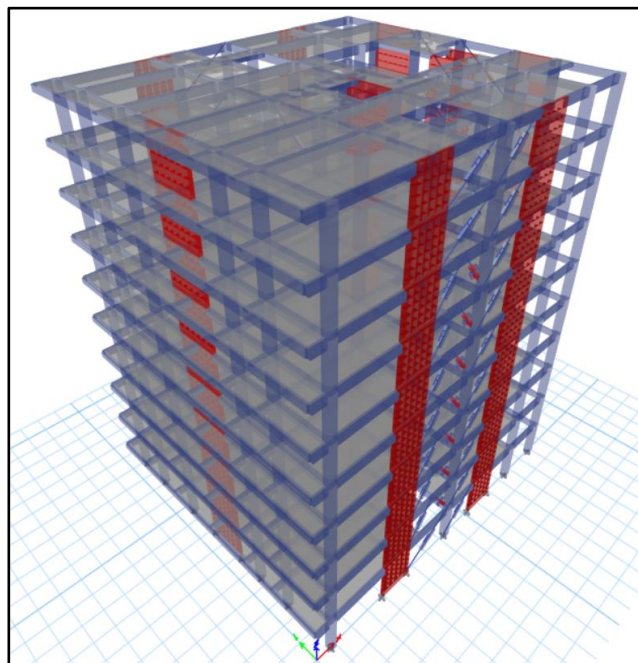


Figura 52: Modelo estructural con Disipadores

Fuente: Propia-Software.

Control de derivas en modelo optimizado

Tabla 78: Derivas Inelásticas con Disipadores en “X”.

Piso	Diafragma	Sismo	UX	D. Relativo (m)	Altura (m)	Derivas Inelásticas	Control HAZUS ≤ 0.0042
			m				
10	D10	CASO 2 - LIMA 1974 Max	0.0957	0.0038	3	0.0013	PASA
9	D9	CASO 2 - LIMA 1974 Max	0.0920	0.0051	3	0.0017	PASA
8	D8	CASO 2 - LIMA 1974 Max	0.0869	0.0071	3	0.0024	PASA
7	D7	CASO 2 - LIMA 1974 Max	0.0798	0.0093	3	0.0031	PASA
6	D6	CASO 2 - LIMA 1974 Max	0.0705	0.0114	3	0.0038	PASA
5	D5	CASO 2 - LIMA 1974 Max	0.0591	0.0130	3	0.0390	PASA
4	D4	CASO 2 - LIMA 1974 Max	0.0461	0.0140	3	0.0042	PASA
3	D3	CASO 2 - LIMA 1974 Max	0.0321	0.0140	3	0.0042	PASA
2	D2	CASO 2 - LIMA 1974 Max	0.0181	0.0119	3	0.0040	PASA
1	D1	CASO 2 - LIMA 1974 Max	0.0062	0.0062	3	0.0021	PASA

Fuente: Propia.

Tabla 79: Derivas Inelásticas con Disipadores en “Y”.

Piso	Diafragma	Sismo	UY	D. Relativo (m)	Altura (m)	Derivas Inelásticas	Control HAZUS ≤ 0.0042
			m				
10	D10	CASO 2 - LIMA 1996 Max	0.1044	0.0080	3	0.0027	PASA
9	D9	CASO 2 - LIMA 1996 Max	0.0964	0.0088	3	0.0029	PASA
8	D8	CASO 2 - LIMA 1996 Max	0.0876	0.0102	3	0.0034	PASA
7	D7	CASO 2 - LIMA 1996 Max	0.0774	0.0113	3	0.0038	PASA
6	D6	CASO 2 - LIMA 1996 Max	0.0661	0.0119	3	0.0040	PASA
5	D5	CASO 2 - LIMA 1996 Max	0.0542	0.0127	3	0.0042	PASA
4	D4	CASO 2 - LIMA 1996 Max	0.0415	0.0127	3	0.0042	PASA
3	D3	CASO 2 - LIMA 1996 Max	0.0287	0.0122	3	0.0041	PASA
2	D2	CASO 2 - LIMA 1996 Max	0.0165	0.0110	3	0.0037	PASA
1	D1	CASO 2 - LIMA 1996 Max	0.0055	0.0055	3	0.0018	PASA

Fuente: Propia.

Como se puede observar las derivas se disminuyeron hasta cumplir con la deriva máxima de 0.042 de la metodología de HAZUS para un análisis por desempeño ante sismo severo, con el uso de disipadores viscosos no lineales.

Comportamiento histerético

Deben mostrar una relación fuerza-desplazamiento mediante curvas elípticas posicionadas en las abscisas.

A continuación, se mostrarán algunas histéresis por cada dirección de análisis.

Dirección "X"

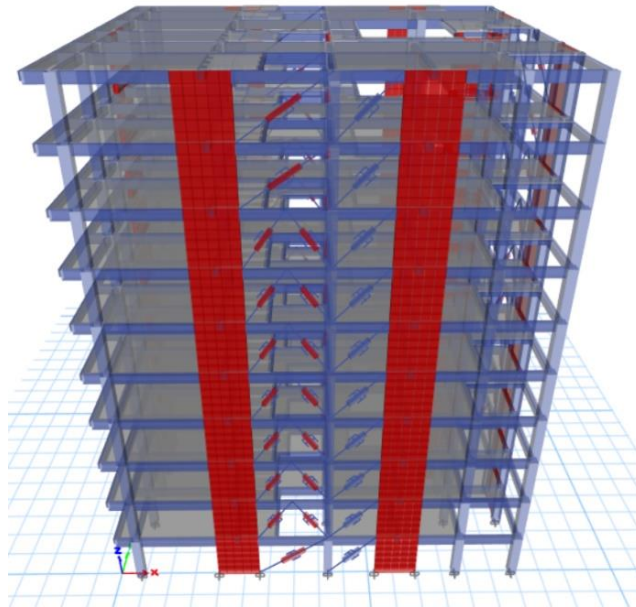


Figura 53: Ubicación de disipadores en el eje X-X.

Fuente: Propia-Software.

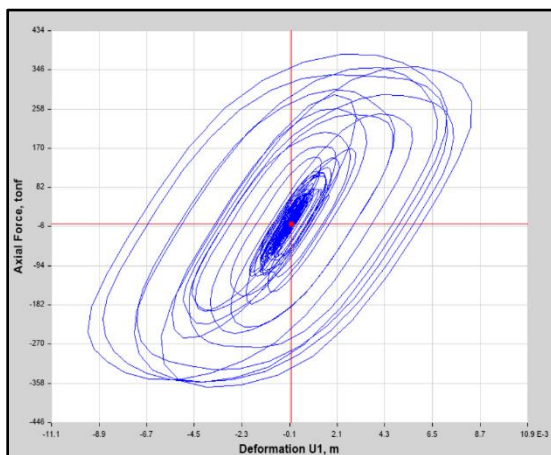


Figura 54: Histéresis K3.

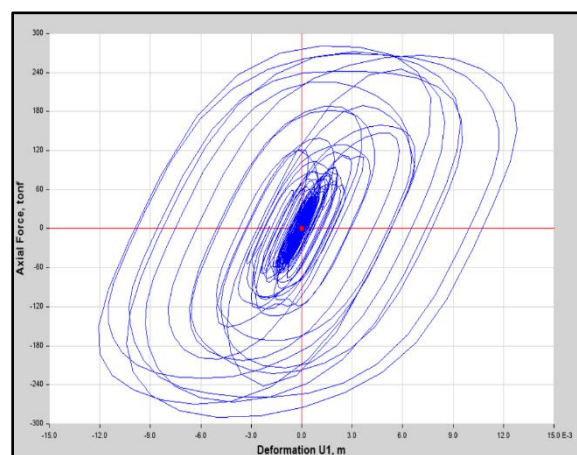


Figura 55: Histéresis K4.

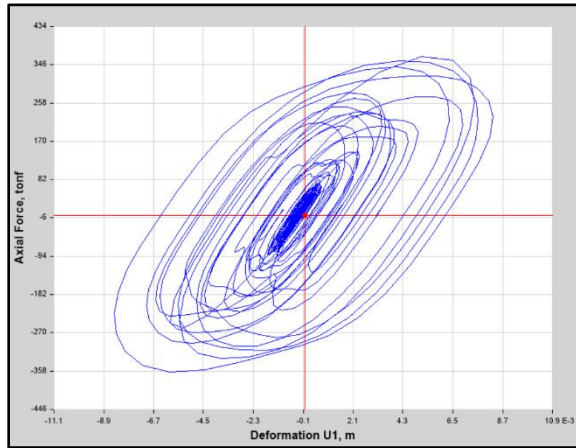


Figura 56: Histéresis K14.

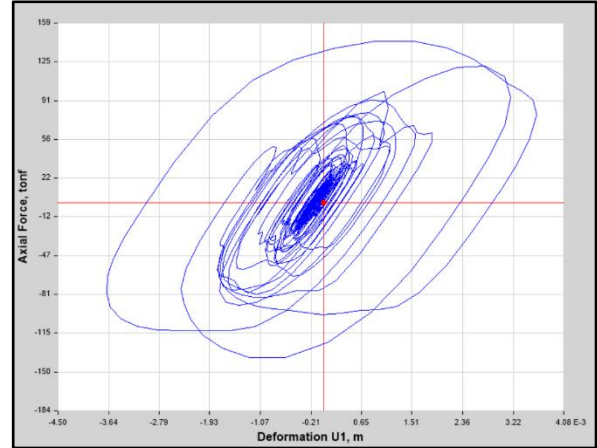


Figura 57: Histéresis K16.

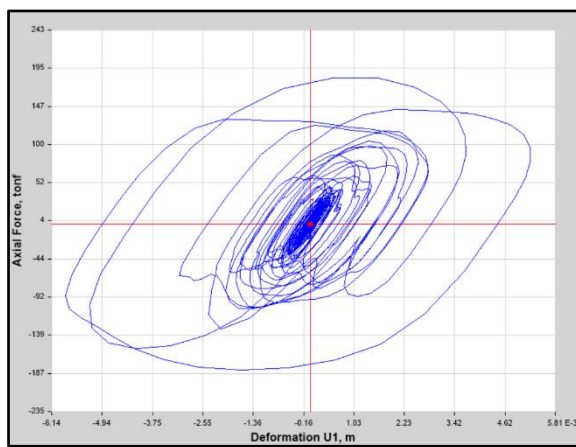


Figura 58: Histéresis K34.

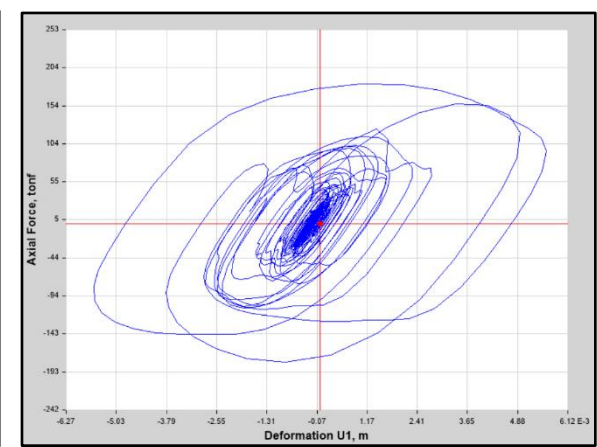


Figura 59: Histéresis K35.

Dirección "Y"

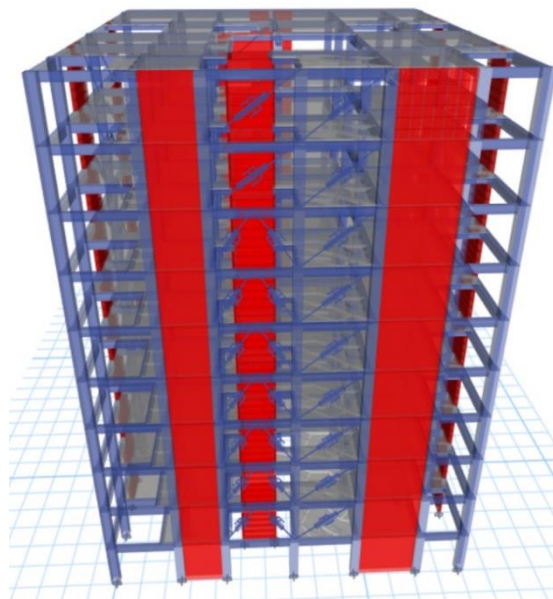


Figura 60: Ubicación de disipadores en el eje Y-Y.

Fuente: Propia-Software.

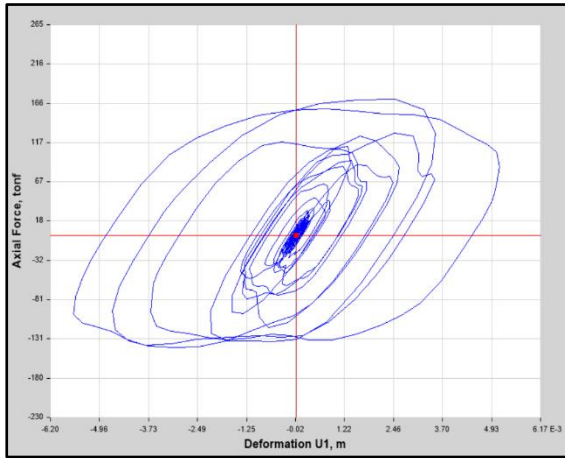


Figura 61: Histéresis K6.

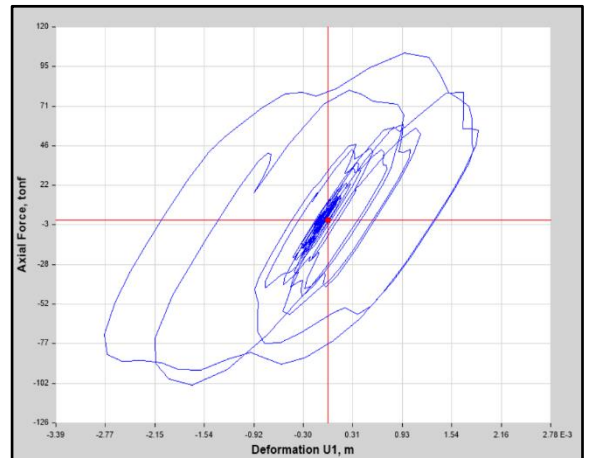


Figura 62: Histéresis K62.

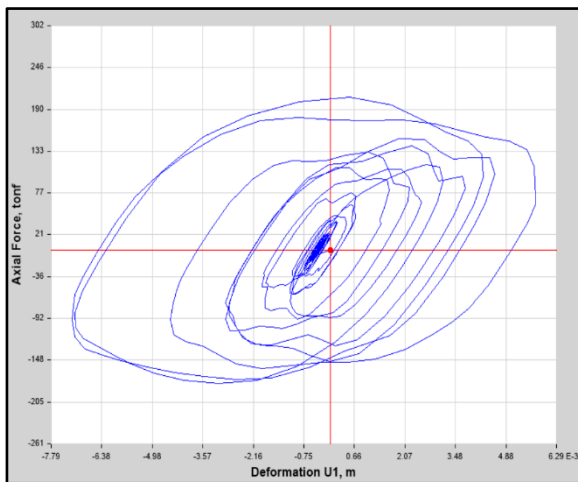


Figura 63: Histéresis K47.

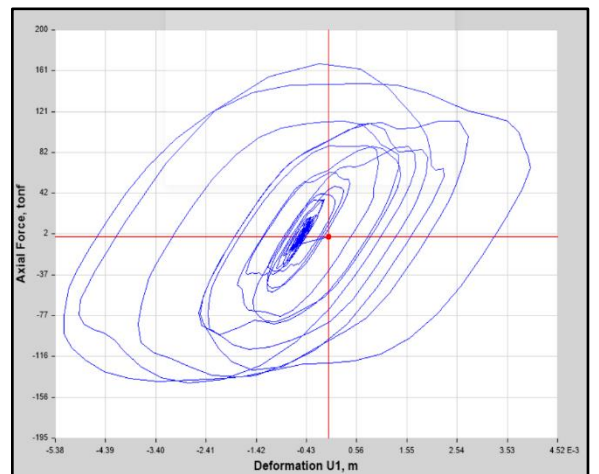


Figura 64: Histéresis K48.

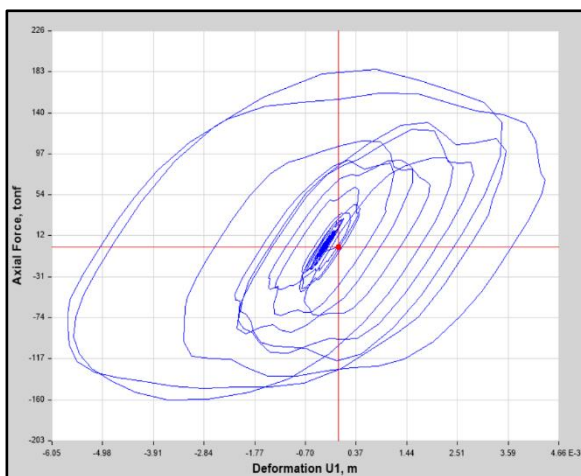


Figura 65: Histéresis K98.

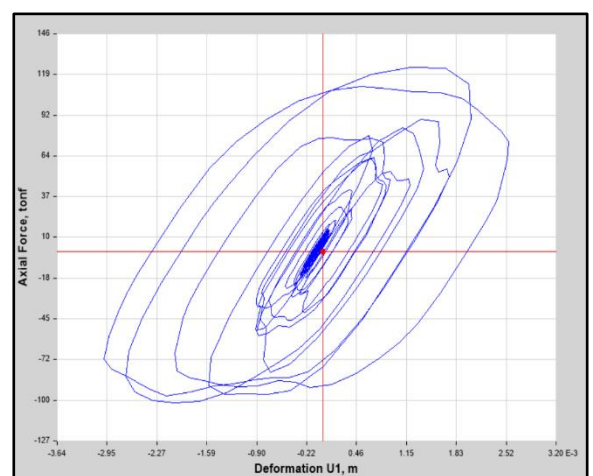


Figura 66: Histéresis K99.

Todos los disipadores cumplen con el comportamiento fuerza-desplazamiento en función a curvas helicoidales, tanto en la dirección X como en la dirección Y del edificio analizado.

Un correcto grafico de comportamiento histórico, genera un trabajo eficaz del disipador de fluido viscoso, ya que aporta amortiguamiento y reduce las distorsiones o derivas de la edificación.

N. Balance energético

El balance energético, es donde muestra la energía de ingreso proveniente de los sismos de diseño severo utilizados (LIMA 1974 y LIMA 1966), además muestra la energía cinética, energía potencial, amortiguamiento de la estructura y amortiguamiento de aporta los disipadores de fluido viscoso.

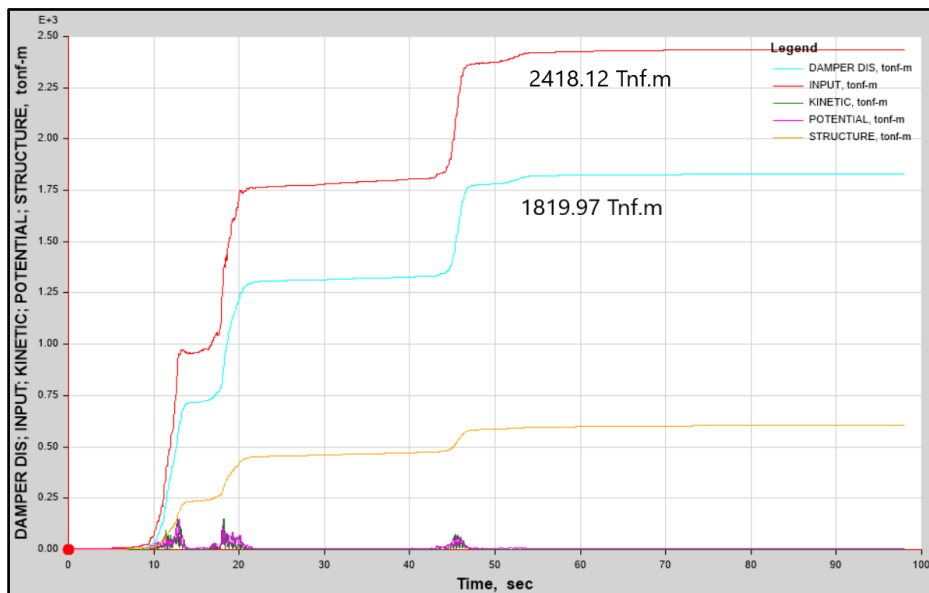


Figura 67: Balance Energético.

Fuente: Propia-Software.

$$\% \text{ de disipación de energía} = \frac{\text{energía disipada por los disipadores}}{\text{energía de entrada del sismo severo}}$$

$$\% = \frac{1819.97}{2418.12} \times 100$$

$$\% = 75.26$$

La energía de disipación es mayor al 40% y cerca al 80%, lo cual es correcto debido a que estos disipadores son capaces de disipar hasta un 80% del sismo de diseño, según la empresa fabricante de estos tipos de disipadores.

El gráfico nos da a conocer que cuando la estructura trabaje en el rango no lineal ante un sismo severo, la mayor parte de la energía sísmica será tomada primero por los disipadores y el resto será tomado por los elementos estructurales que conforman la estructura, para así lograr cumplir no sobrepasar con las distorsiones que rige tanto de la norma E030 como la de Hazus y por lo tanto la edificación genere un buen comportamiento y economizando en el diseño.

O. Fuerza de los disipadores

Del software ETABS, empleado para esta presente tesis, se extraen las fuerzas axiales de cada disipador.

La empresa Taylor Devices por medio de CDV en Perú otorga una tabla con las fuerzas máximas, con el fin de solicitar los dispositivos, lo cual las fuerzas obtenidas se redondean al máximo valor de las fuerzas que brinda la tabla de CDV Ingeniería Antisísmica.

Tabla 80: Fuerza de los disipadores de fluido viscoso.

FUERZA TAYLOR (Kip)	Peso (Lbs)
55	98
110	215
165	400
220	560
330	675
440	1000
675	1750
900	2400
1450	consultar
1800	consultar

Fuente: CDV Representaciones.

FUERZAS EN EL EJE X

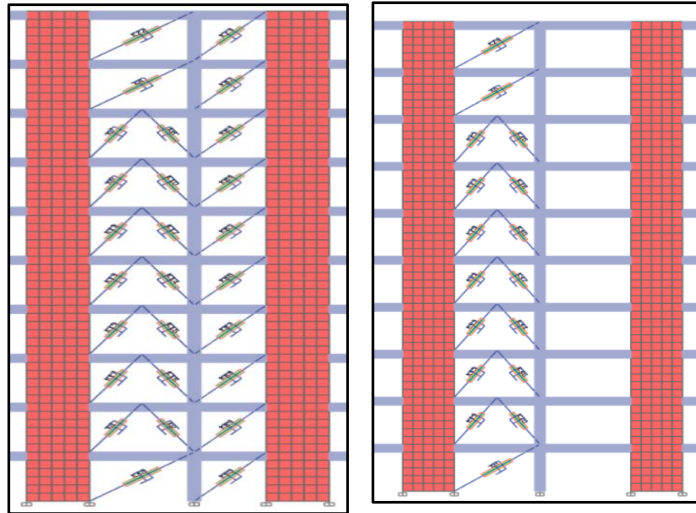


Figura 68: Dispositivos en el eje X-1 y X-2.

Fuente: Software ETABS.

DISIPADOR	STORY	FUERZA (TNF)	FUERZA (KIP)	FUERZA TAYLOR (KIP)
K22	Story10	134.760	297.10	330
K23	Story10	116.989	257.92	330
K4	Story9	157.025	346.18	330
K82	Story9	142.869	314.97	330
K7	Story8	161.150	355.28	330
K8	Story8	156.517	345.06	330
K83	Story8	180.811	398.62	440
K9	Story7	196.015	432.14	440
K10	Story7	189.861	418.57	440
K84	Story7	218.018	480.65	440
K11	Story6	224.401	494.72	675
K12	Story6	207.472	457.40	675
K85	Story6	250.584	552.45	675
K13	Story5	242.455	534.52	675
K14	Story5	229.676	506.35	675
K86	Story5	272.800	601.42	675
K15	Story4	249.556	550.18	675
K16	Story4	242.790	535.26	675
K87	Story4	283.613	625.26	675
K17	Story3	242.545	534.72	675
K18	Story3	243.339	536.47	675
K88	Story3	280.703	618.85	675
K1	Story2	215.835	475.84	675
K2	Story2	223.857	493.52	675
K89	Story2	256.738	566.01	675
K38	Story1	165.450	364.76	440
K90	Story1	192.930	425.34	440

FUERZAS EN EL EJE Y

DISIPADOR	STORY	FUERZA (TNF)	FUERZA (KIP)	FUERZA TAYLOR (KIP)
K24	Story10	135.2146	298.10	330
K5	Story9	165.5628	365.01	440
K25	Story8	171.6037	378.32	440
K26	Story8	155.8154	343.52	440
K27	Story7	209.4219	461.70	440
K28	Story7	182.113	401.49	440
K29	Story6	244.8791	539.87	675
K30	Story6	212.0019	467.39	675
K31	Story5	271.2766	598.07	675
K32	Story5	233.6386	515.09	675
K33	Story4	282.5495	622.92	675
K34	Story4	245.977	542.29	675
K35	Story3	274.1924	604.49	675
K36	Story3	246.4274	543.28	675
K19	Story2	236.5762	521.56	675
K20	Story2	228.6434	504.08	675
K3	Story1	173.9606	383.52	440

Tabla 81: Fuerzas en disipadores en el eje X-1 y X-2.

Fuente: Propia.

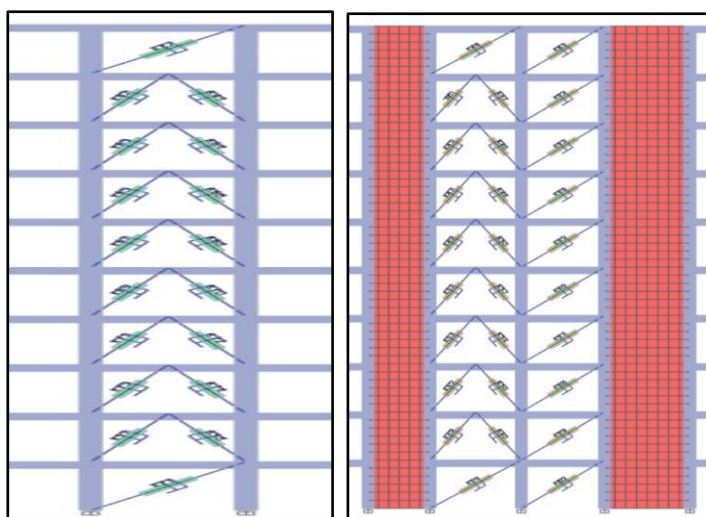


Figura 69: Dispositivos en el eje Y-1 y Y-2.

Fuente: Software ETABS.

DISIPADOR	STORY	FUERZA (TNF)	FUERZA (KIP)	FUERZA TAYLOR (KIP)
K37	Story10	106.2808	234.31	220
K42	Story9	74.4727	164.19	220
K43	Story9	70.0276	154.39	220
K63	Story8	92.74	204.46	220
K64	Story8	92.3034	203.50	220
K65	Story7	109.2544	240.87	220
K66	Story7	123.7922	272.92	330
K67	Story6	127.7557	281.65	330
K68	Story6	144.9802	319.63	330
K69	Story5	133.0928	293.42	330
K70	Story5	155.3381	342.46	330
K71	Story4	143.2294	315.77	330
K72	Story4	164.6225	362.93	330
K73	Story3	147.0909	324.28	330
K74	Story3	169.7813	374.31	440
K57	Story2	139.1254	306.72	330
K58	Story2	161.0716	355.10	330
K21	Story1	127.742	281.62	330

Tabla 82: Fuerzas en disipadores en el eje Y-1 y Y-2.

Fuente: Propia.

DISIPADOR	STORY	FUERZA (TNF)	FUERZA (KIP)	FUERZA TAYLOR (KIP)
K44	Story10	150.2016	331.14	330
K61	Story10	157.4191	347.05	330
K6	Story9	127.0063	280.00	330
K41	Story9	147.5874	325.38	330
K92	Story9	163.6341	360.75	330
K45	Story8	135.6356	299.03	330
K46	Story8	152.5684	336.36	330
K93	Story8	174.287	384.24	330
K47	Story7	146.7892	323.62	330
K48	Story7	153.7002	338.85	330
K94	Story7	187.9307	414.32	440
K49	Story6	156.31	344.61	440
K50	Story6	153.2279	337.81	440
K95	Story6	200.0254	440.98	440
K51	Story5	162.2939	357.80	330
K52	Story5	161.2867	355.58	330
K96	Story5	210.7052	464.53	440
K53	Story4	162.2098	357.61	330
K54	Story4	167.4678	369.21	330
K97	Story4	213.5892	470.89	440
K55	Story3	150.9573	332.81	330
K56	Story3	162.5754	358.42	330
K98	Story3	205.1271	452.23	440
K39	Story2	122.4966	270.06	330
K40	Story2	141.3512	311.63	330
K99	Story2	181.3018	399.70	440
K59	Story1	98.7644	217.74	330
K60	Story1	128.3038	282.86	330

Comprobados que los disipadores de fluido viscoso trabajaran bien y con esfuerzos de tracción y compresión. Entonces se indica la cantidad de dispositivos de acuerdo a los valores dados por la empresa fabricante, la cual la CDV Representaciones que es la que abastece en el Perú.

Tabla 83: Cantidad total de dispositivos.

Fuerza (KIP)	Número de dispositivos	
	X	Y
220	0	6
330	7	31
440	12	9
675	25	0
TOTAL	44	46
	90	

Fuente: Propia.

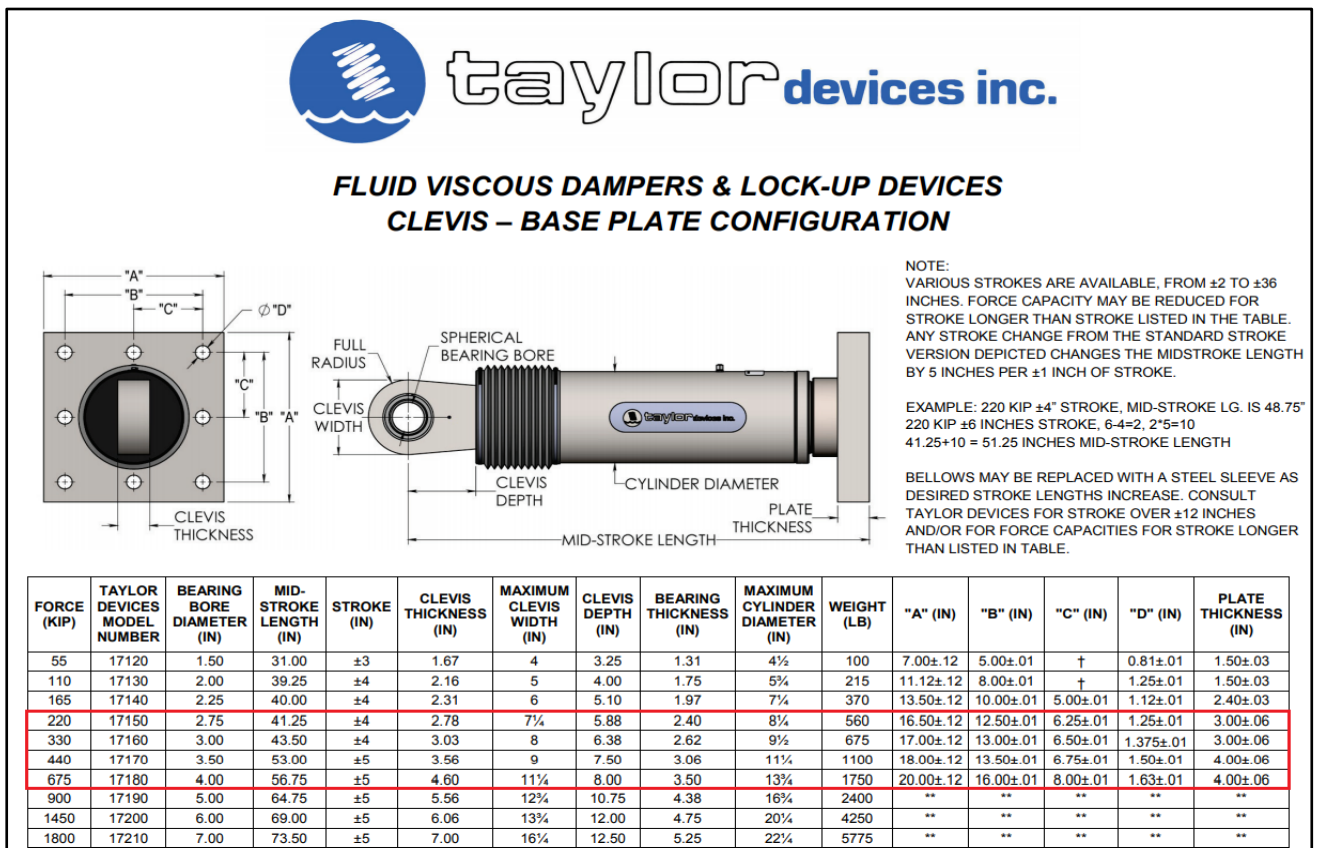


Figura 70: Propiedades de los disipadores y dimensiones de la placa base.

Fuente: TAYLOR DEVICES.

P. Modos, masa participativa y periodos de vibración.

A continuación, se da a mostrar 30 modos de vibración, además los periodos y masa participativa de la edificación analizada con los disipadores, ya que como se sabe debe cumplir con el 90% de la masa total de la estructura.

Tabla 84: Modos, periodos y masa participativa de la edificación con disipadores.

Case	Mode	Period	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY
		sec					
Modal	1	0.869	0.5209	0.1351	2.12E-05	52.09%	13.51%
Modal	2	0.798	0.2258	0.3945	1.09E-06	74.67%	52.96%
Modal	3	0.571	0.0058	0.1885	3.48E-05	75.25%	71.81%
Modal	4	0.255	0.0952	0.0158	0.0002	84.77%	73.39%
Modal	5	0.231	0.0263	0.0743	1.16E-05	87.40%	80.82%
Modal	6	0.149	0.0006	0.0584	0.0002	87.46%	86.66%
Modal	7	0.127	0.0438	0.0039	0.0004	91.83%	87.05%
Modal	8	0.114	0.0075	0.031	0.0002	92.58%	90.14%
Modal	9	0.106	0.0001	1.11E-05	0.3226	92.59%	90.14%
Modal	10	0.099	6.21E-06	0	0.0007	92.59%	90.14%
Modal	11	0.093	0.0003	8.38E-06	0.0592	92.62%	90.14%
Modal	12	0.09	3.86E-06	8.58E-07	0.1339	92.62%	90.14%
Modal	13	0.088	3.60E-06	4.02E-05	0.0173	92.62%	90.15%
Modal	14	0.084	3.40E-05	6.62E-06	0.0055	92.62%	90.15%
Modal	15	0.08	4.60E-05	2.44E-05	0.0029	92.63%	90.15%
Modal	16	0.079	0.0034	0.0004	0.0014	92.97%	90.19%
Modal	17	0.078	0.0181	0.0013	0.0002	94.77%	90.32%
Modal	18	0.077	0.0035	0.0002	0.0008	95.12%	90.34%
Modal	19	0.075	0.0002	4.87E-05	0.096	95.14%	90.34%
Modal	20	0.074	4.20E-06	4.59E-05	0.0314	95.14%	90.35%
Modal	21	0.073	4.51E-06	0.0001	0.0009	95.14%	90.36%
Modal	22	0.07	0.0029	0.016	0.0001	95.42%	91.96%
Modal	23	0.068	2.90E-05	0.0251	0.0008	95.43%	94.47%
Modal	24	0.066	1.11E-06	2.69E-06	0.0002	95.43%	94.47%
Modal	25	0.065	1.46E-06	0.0001	2.62E-05	95.43%	94.48%
Modal	26	0.063	1.35E-06	1.32E-05	0.0001	95.43%	94.48%
Modal	27	0.062	2.72E-06	6.44E-06	0.0127	95.43%	94.48%
Modal	28	0.06	7.97E-06	1.02E-05	0.034	95.43%	94.48%
Modal	29	0.059	5.96E-06	1.11E-05	0.0333	95.43%	94.48%
Modal	30	0.057	1.75E-06	5.47E-07	0.016	95.43%	94.48%

Fuente: Propia.

Se logra ver en la tabla, que para la dirección en X cumple la masa participativa en el modo 7 y para la dirección Y cumple en el modo 8. Además, se confirma que los disipadores de fluido viscoso solo adicionan amortiguamiento, y no rigidez, ya que se aprecia también en la tabla que los periodos no aumentaron.

Q. Máximo Stroke

Es el desplazamiento máximo que tienen los disipadores, lo cual es un dato importante ya que el proveedor lo requiere para el diseño de la cámara de acumulación de líquido silicónico.

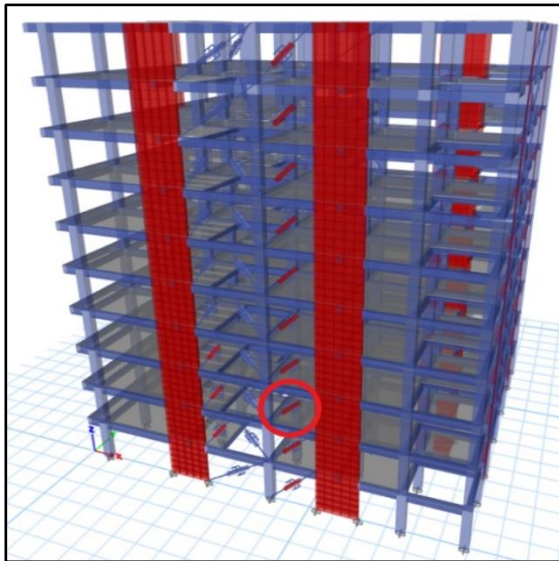


Figura 71: Ubicación del disipador K88.

Fuente: Software ETABS.

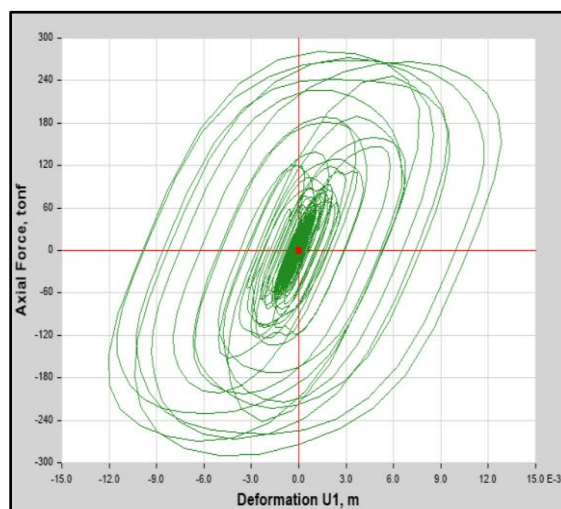


Figura 72: Máximo Stroke de dispositivo K88.

Fuente: Software ETABS.

El máximo desplazamiento o stroke se encuentra en el disipador K88 de la dirección "X" con un valor de 12.80 mm. El valor máximo de desplazamiento que recomienda la CDV Representaciones es de 50mm, lo cual la estructura analizada cumple ya que está por debajo del máximo desplazamiento recomendado; y por ende los disipadores trabajaran de forma eficiente y con correctas disposiciones.

R. Velocidad máxima

Para los tres tipos de disipadores de fluido viscoso de la empresa fabricante Taylor Devices se determinará las velocidades máximas; teniendo las fuerzas axiales, coeficientes de amortiguamientos no lineales y el exponente de velocidad; con la siguiente fórmula:

$$V = \sqrt[0.5]{\frac{F}{C}}$$

- ✓ Disipadores con fuerza de 220 KIP

$$V_y = \sqrt[0.5]{\frac{109.25 \text{ Tn}}{707 \text{ Tn. s/m}}}$$

$$V_y = 0.029 \text{ m/seg}$$

- ✓ Disipadores con fuerza de 330 KIP

$$V_x = \sqrt[0.5]{\frac{161.15 \text{ Tn}}{823 \text{ Tn. s/m}}}$$

$$V_x = 0.038 \text{ m/seg}$$

$$V_y = \sqrt[0.5]{\frac{167.47 \text{ Tn}}{707 \text{ Tn. s/m}}}$$

$$V_y = 0.056 \text{ m/seg}$$

- ✓ Disipadores con fuerza de 440 KIP

$$V_x = \sqrt[0.5]{\frac{218.14 \text{ Tn}}{823 \text{ Tn. s/m}}}$$

$$V_x = 0.07 \text{ m/seg}$$

$$V_y = \sqrt[0.5]{\frac{213.59 \text{ Tn}}{707 \text{ Tn.s/m}}}$$

$$V_y = 0.091 \text{ m/seg}$$

✓ Disipadores con fuerza de 675 KIP

$$V_x = \sqrt[0.5]{\frac{283.61 \text{ Tn}}{823 \text{ Tn.s/m}}}$$

$$V_x = 0.119 \text{ m/seg}$$

ANEXO 09: DISEÑO DE ELEMENTOS DE ACERO DEL DISPOSITIVO

A. Elección del disipador

Ya definidos los 4 tipos de disipadores, a continuación, se presenta la siguiente tabla con las características de cada tipo de disipador brindadas por la empresa fabricante Taylor Devices:

Tabla 85: Dimensiones de los 4 tipos de dispositivos.

Force	Spherical Bearing Bore Dia.(cm)	Mid-stroke Length (cm)	Stroke (inches)	Clevis Thickness (cm)	Clevis Width (cm)	Clevis Depth (cm)	Cylinder Dia (cm)	Weight (lbs)
220 KIP	6.99	104.78	± 4	6.99	19.05	14.94	20.96	560
330 KIP	7.62	110.49	± 4	7.62	20.32	16.21	24.13	675
440 KIP	8.89	134.62	± 4	8.89	22.86	19.05	28.58	1000
675 KIP	10.16	144.15	± 5	11.43	28.58	20.32	34.93	1750

Fuente: Taylor Devices.

Tabla 86: Dimensiones de la placa base de los 4 tipos de dispositivos.

Force	"A"(cm)	"B"(cm)	"C"(cm)	"D"(cm)	Plate Thickness (cm)
220 KIP	41.91	31.75	15.88	3.18	7.62
330 KIP	43.18	33.02	16.51	3.49	7.62
440 KIP	45.72	34.29	17.15	3.81	10.16
675 KIP	50.80	40.64	20.32	4.14	10.16

Fuente: Taylor Devices.

Precisar que en cada tipo de disipador ya cuenta con factor de seguridad, así que no se necesita amplificar las fuerzas calculadas del análisis.

Disipador de 220 Kip

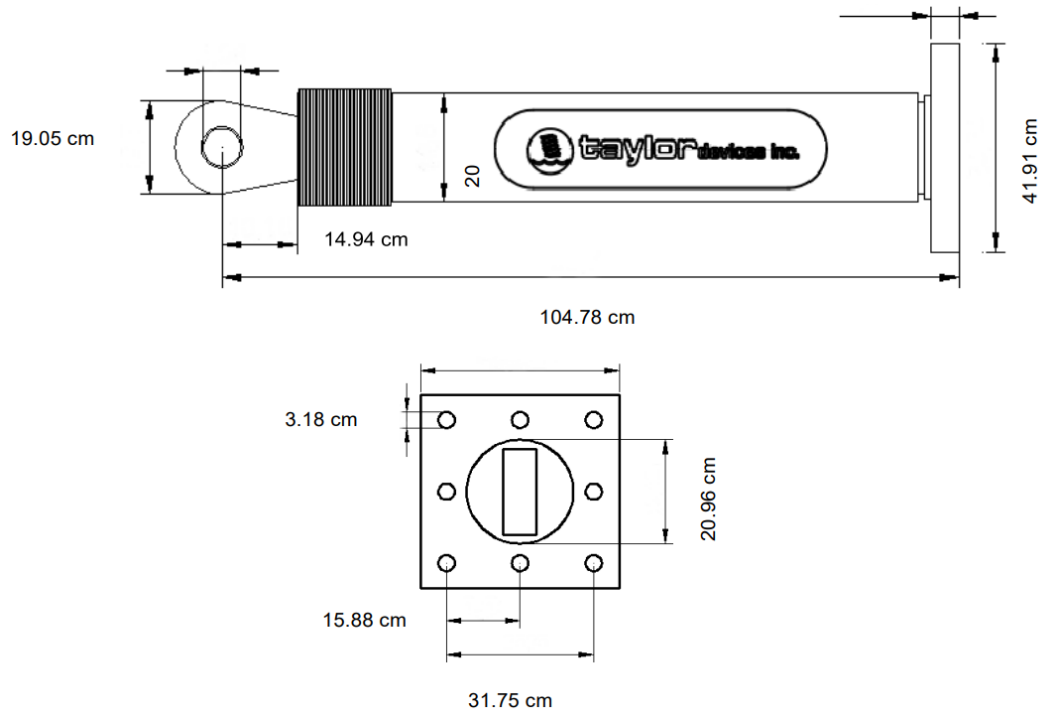


Figura 73: Dimensiones de disipador y placa base de 220 Kip.

Fuente: Taylor Devices.

Disipador de 330 Kip

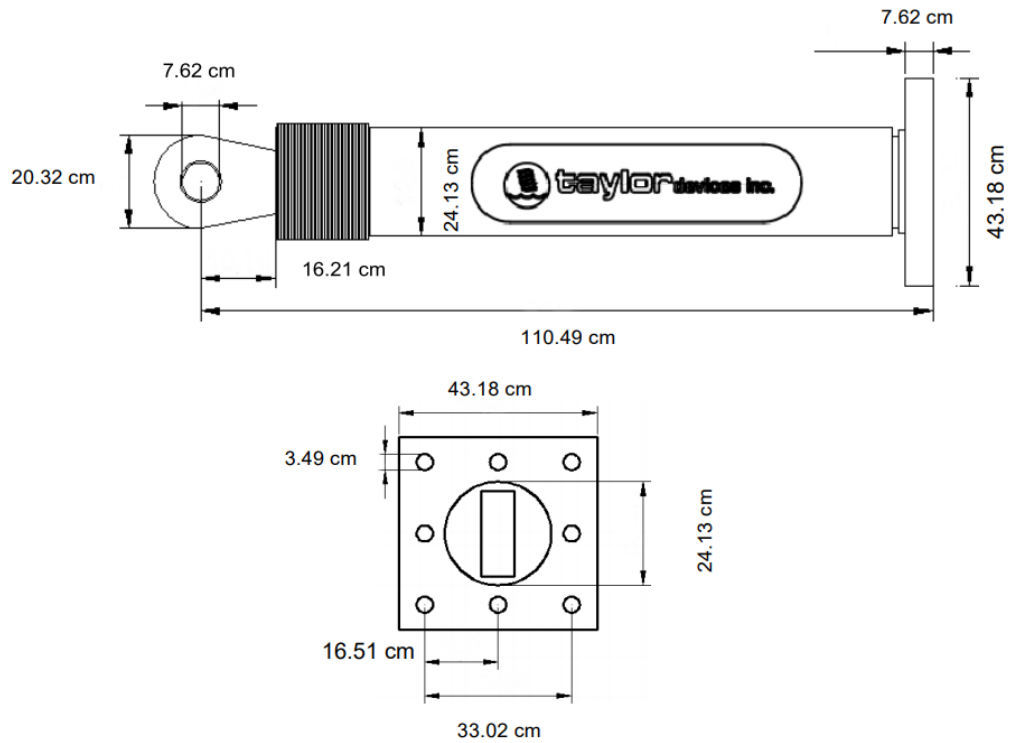


Figura 74: Dimensiones de disipador y placa base de 330 Kip.

Fuente: Taylor Devices.

Disipador de 440 Kip

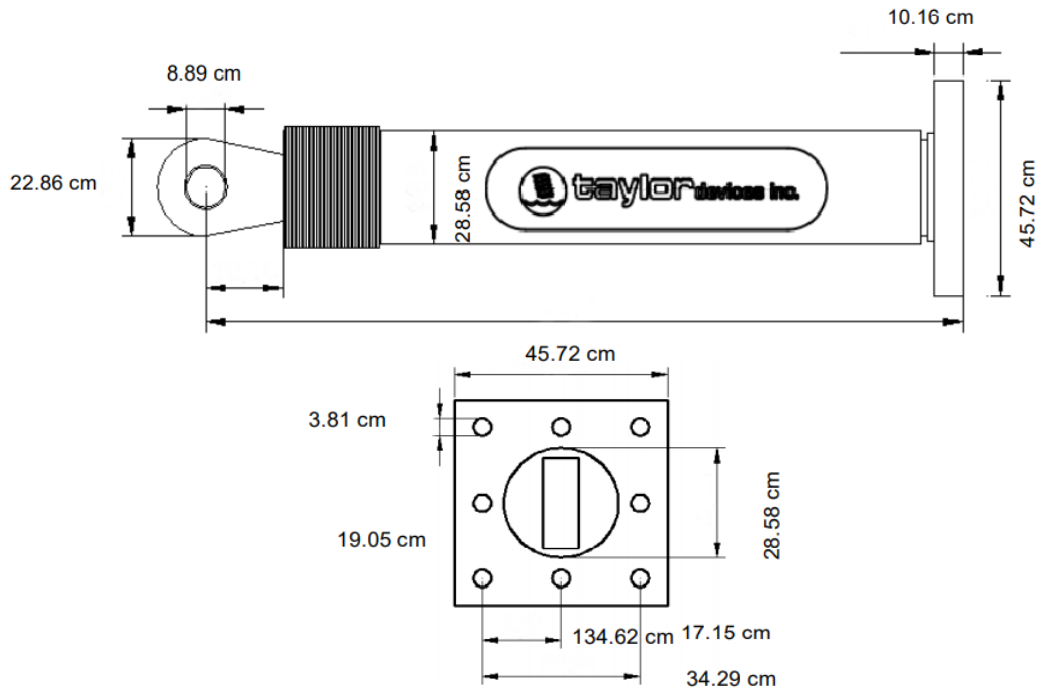


Figura 75: Dimensiones de disipador y placa base de 440 Kip.

Fuente: Taylor Devices.

Disipador de 675 Kip

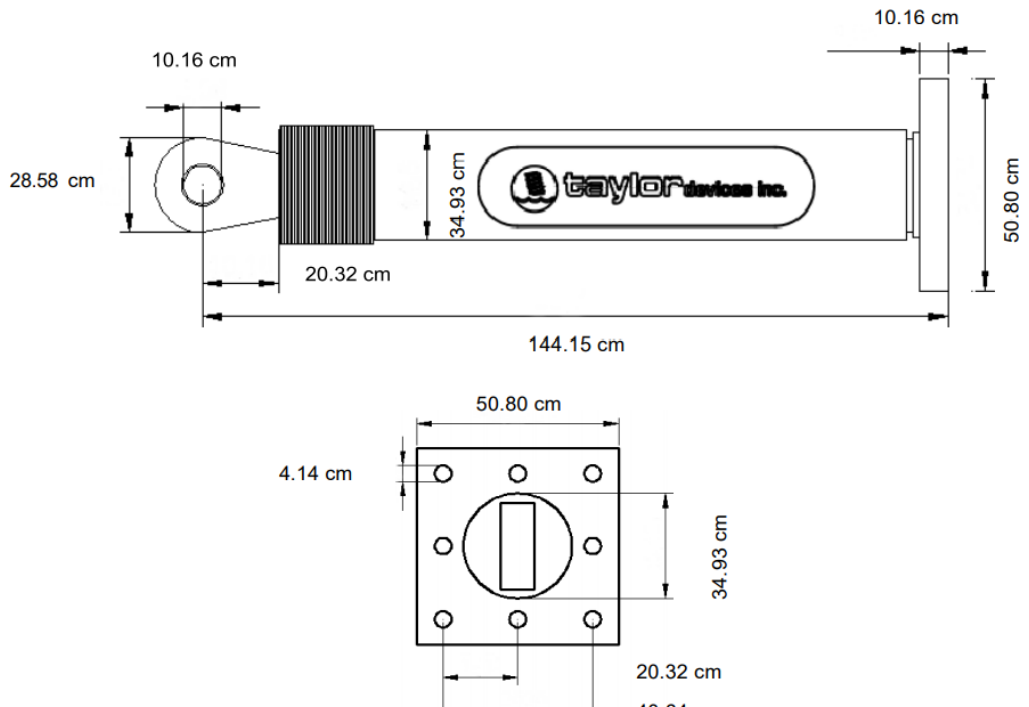


Figura 76: Dimensiones de disipador y placa base de 440 Kip.

Fuente: Taylor Devices

B. Diseño del brazo metálico

Como se sabe, hay dos tipos de disposición en la estructura que el dissipador en diagonal y chevron Brace o doble diagonal, que están conformados de brazos metálicos que son los que toman las cargas axiales producto de las fuerzas sísmicas; y los cuales tendrán que ser diseñadas para resistir dichas fuerzas sísmicas.

Como antes mencionado, el perfil metálico elegido fue Round HSS 20 x 0.375, teniendo como características:

- ✓ Área del perfil metálico (A)= 21.5 in²
- ✓ Radio del perfil metálico (r)= 6.95 in
- ✓ Modulo de elasticidad del acero (E) = 29000 Ksi
- ✓ Esfuerzo de fluencia (F_y) = 35 Ksi

Para diseñar los brazos metálicos, se tiene que ejecutar un nuevo análisis con 1.5 del sismo severo para extraer las fuerzas axiales amplificadas.

Dirección X:

Tabla 87: Fuerzas axiales con 1.5 del sismo severo - Eje X.

DISIPADOR	STORY	FUERZA (TNF)	FUERZA (KIP)
K22	Story10	198.1464	436.84
K23	Story10	153.6602	338.76
K4	Story9	225.4922	497.13
K82	Story9	181.6615	400.50
K7	Story8	224.9428	495.92
K8	Story8	205.1515	452.28
K83	Story8	219.2359	483.33
K9	Story7	256.6992	565.93
K10	Story7	243.1053	535.96
K84	Story7	265.6878	585.74
K11	Story6	287.3963	633.60
K12	Story6	263.7878	581.56
K85	Story6	305.882	674.36
K13	Story5	307.5872	678.12
K14	Story5	289.1081	637.38
K86	Story5	332.8819	733.88
K15	Story4	317.3279	699.59
K16	Story4	303.1592	668.36
K87	Story4	344.6709	759.87
K17	Story3	310.8779	685.37
K18	Story3	301.6174	664.96
K88	Story3	343.5843	757.48
K1	Story2	274.9073	606.07
K2	Story2	276.2208	608.97
K89	Story2	323.6282	713.48
K38	Story1	212.9793	469.54
K90	Story1	246.4581	543.35

Fuente: Propia.

El diseño se realizará para la disposición con mayor fuerza axial, la cual es la disposición en diagonal K87 que tiene la mayor fuerza, teniendo 344.67 Tn

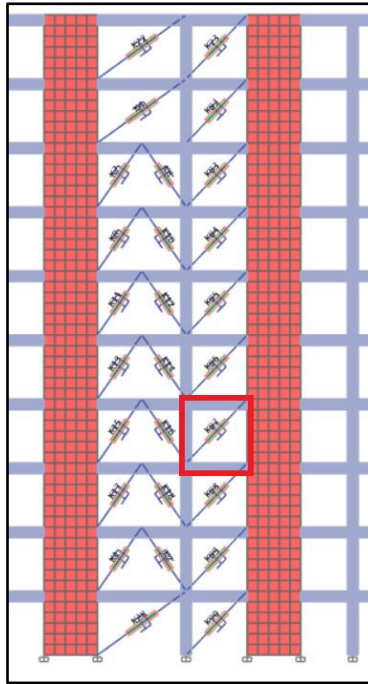


Figura 77: Ubicación de disipador con mayor fuerza axial - Eje X.

Fuente: ETABS.

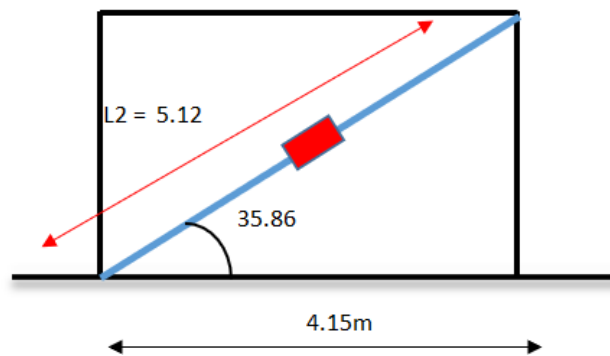
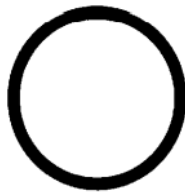


Figura 78: Longitud de disipador con mayor fuerza axial - Eje X.

Fuente: Propia.



HSS20.000–
HSS10.000

Table 1–13
Round HSS
Dimensions and Properties

Shape	Design Wall Thickness, <i>t</i>	Nominal Wt.	Area, <i>A</i>	<i>D/t</i>	<i>I</i>	<i>S</i>	<i>r</i>	<i>Z</i>	Torsion	
									<i>J</i>	<i>C</i>
	in.	lb/ft	in. ²	in. ⁴	in. ³	in.	in. ³	in. ⁴	in. ³	
HSS20.000×0.500	0.465	104.00	28.5	43.0	1360	136	6.91	177	2720	272
×0.375 ^f	0.349	78.67	21.5	57.3	1040	104	6.95	135	2080	208
HSS18.000×0.500	0.465	93.54	25.6	38.7	985	109	6.20	143	1970	219
×0.375 ^f	0.349	70.66	19.4	51.6	754	83.8	6.24	109	1510	168
HSS16.000×0.625	0.581	103.00	28.1	27.5	838	105	5.46	138	1680	209
×0.500	0.465	82.85	22.7	34.4	685	85.7	5.49	112	1370	171
×0.438	0.407	72.87	19.9	39.3	606	75.8	5.51	99.0	1210	152
×0.375	0.349	62.64	17.2	45.8	526	65.7	5.53	85.5	1050	131
×0.312 ^f	0.291	52.32	14.4	55.0	443	55.4	5.55	71.8	886	111
×0.250 ^f	0.233	42.09	11.5	68.7	359	44.8	5.58	57.9	717	89.7

Figura 79: Características del brazo metálico.

Fuente: AISC Steel construction manual 13th.

La longitud total del brazo metálico es 5.12m, donde además se tiene que descontar la longitud del dissipador que es 1.44m, perteneciente al dissipador de 675 kip:

$$L_{total} = 5.12 \text{ m}$$

$$L_{total} = 5.12 \text{ m} - 1.44 \text{ m}$$

$$L_{total} = 3.68 \text{ m} \approx 144.88 \text{ in}$$

Cálculo del esfuerzo de pandeo crítico:

$$F_e = \frac{\pi^2 x E}{\left(\frac{L}{r}\right)^2}$$

$$F_e = \frac{\pi^2 \times 29000}{\left(\frac{144.88}{6.95}\right)^2} = 658.64 \text{ Ksi}$$

$F_e > 35 \text{ Ksi}$. El perfil trabaja en el rango de pandeo inelástico.

Cálculo del esfuerzo de pandeo por flexión del perfil HSS:

$$F_{rc} = (0.658^{F_y/F_e})F_y$$

$$F_{rc} = (0.658^{35/658.64}) \times 35$$

$$F_{rc} = 34.23 \text{ Ksi}$$

Resistencia nominal mediante el método LRFD:

$$\phi P_n = \phi \times F_{rc} \times A$$

$$\phi P_n = 0.90 \times 34.23 \times 21.5$$

$$\phi P_n = 662.35 \text{ Kips} \approx 300.44 \text{ Tnf}$$

Resistencia del perfil con el total de trabajo en fluencia:

$$\phi P_n = \phi \times F_y \times A$$

$$\phi P_n = 0.90 \times 35 \times 21.5$$

$$\phi P_n = 677.25 \text{ Kips} \approx 307.2 \text{ Tnf}$$

Por lo tanto:

$$\phi P_n = 300.44 \text{ Tnf} < 344.67 \text{ Tnf} \text{ (NO CUMPLE)}$$

$$\phi P_n = 307.20 \text{ Tnf} < 344.67 \text{ Tnf} \text{ (NO CUMPLE)}$$

Como se ve no cumple con el perfil metálico elegido, entonces se cambiará al perfil Round HSS 20 x 0.50, teniendo como características:

- ✓ Área del perfil metálico (A) = 28.5 in²
- ✓ Radio del perfil metálico (r) = 6.91 in
- ✓ Módulo de elasticidad del acero (E) = 29000 Ksi
- ✓ Esfuerzo de fluencia (F_y) = 35 Ksi

Cálculo del esfuerzo de pandeo crítico:

$$F_e = \frac{\pi^2 x E}{\left(\frac{L}{r}\right)^2}$$

$$F_e = \frac{\pi^2 x 29000}{\left(\frac{144.88}{6.91}\right)^2} = 1034.10 \text{ Ksi}$$

$F_e > 35 \text{ Ksi}$. El perfil trabaja en el rango de pandeo inelástico.

Cálculo del esfuerzo de pandeo por flexión del perfil HSS:

$$F_{rc} = (0.658^{F_y/F_e}) F_y$$

$$F_{rc} = (0.658^{35/1034.10}) x 35$$

$$F_{rc} = 34.51 \text{ Ksi}$$

Resistencia nominal mediante el método LRFD:

$$\phi P_n = \phi x F_{rc} x A$$

$$\phi P_n = 0.90 x 34.51 x 28.5$$

$$\phi P_n = 885.18 \text{ Kips} \approx 401.51 \text{ Tnf}$$

Resistencia del perfil con el total de trabajo en fluencia:

$$\phi P_n = \phi x F_y x A$$

$$\phi P_n = 0.90 x 35 x 28.5$$

$$\phi P_n = 897.75 \text{ Kips} \approx 407.21 \text{ Tnf}$$

Por lo tanto:

$$\phi P_n = 401.51 \text{ Tnf} > 344.67 \text{ Tnf} (\mathbf{OK})$$

$$\phi P_n = 407.21 \text{ Tnf} > 344.67 \text{ Tnf} (\mathbf{OK})$$

Dirección Y:

Tabla 88: Fuerzas axiales con 1.5 del sismo severo - Eje Y.

DISIPADOR	STORY	FUERZA (TNF)	FUERZA (KIP)
K44	Story10	222.2712	490.03
K61	Story10	227.9076	502.45
K6	Story9	189.3614	417.47
K41	Story9	188.0731	414.63
K92	Story9	236.4192	521.22
K45	Story8	198.4923	437.60
K46	Story8	191.4517	422.08
K93	Story8	249.1705	549.33
K47	Story7	208.7599	460.24
K48	Story7	194.1123	427.95
K94	Story7	261.739	577.04
K49	Story6	215.2577	474.56
K50	Story6	207.0679	456.51
K95	Story6	271.6126	598.81
K51	Story5	219.4855	483.89
K52	Story5	219.1461	483.14
K96	Story5	280.1826	617.70
K53	Story4	217.3711	479.22
K54	Story4	225.5919	497.35
K97	Story4	282.2128	622.18
K55	Story3	201.7687	444.83
K56	Story3	217.3246	479.12
K98	Story3	270.8878	597.21
K39	Story2	165.4659	364.79
K40	Story2	190.2003	419.32
K99	Story2	238.9416	526.78
K59	Story1	134.8462	297.29
K60	Story1	172.1903	379.62

Fuente: Propia.

El diseño se realizará para la disposición con mayor fuerza axial, la cual es la disposición en diagonal K97 que tiene la mayor fuerza, teniendo 282.21 Tn

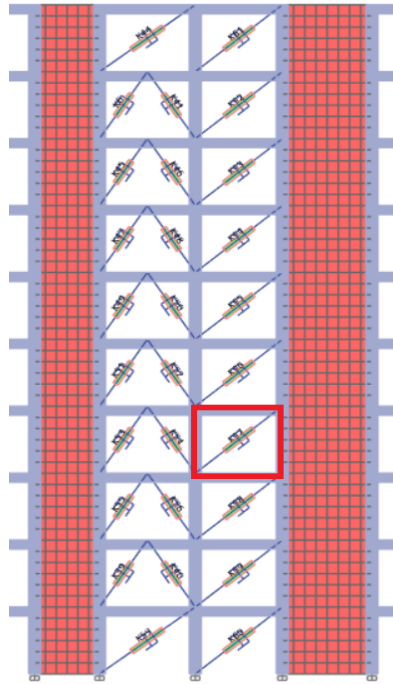


Figura 80: Ubicación de disipador con mayor fuerza axial - Eje Y.

Fuente: ETABS.

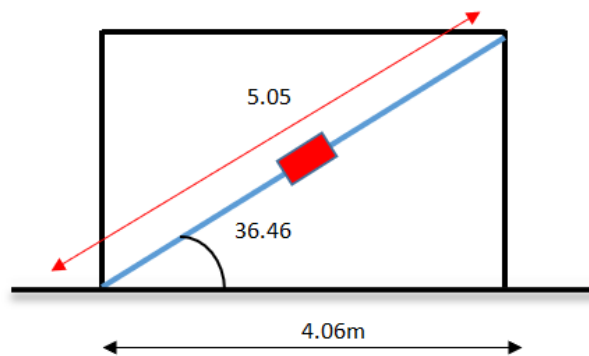


Figura 81: Longitud de disipador con mayor fuerza axial - Eje X.

Fuente: Propia.

La longitud total del brazo metálico es 5.05m, donde además se tiene que descontar la longitud del disipador que es 1.44m, perteneciente al disipador de 675 kip:

$$L_{total} = 5.12 \text{ m}$$

$$L_{total} = 5.05 \text{ m} - 1.44 \text{ m}$$

$$L_{total} = 3.61 \text{ m} \approx 142.13 \text{ in}$$

Cálculo del esfuerzo de pandeo crítico:

$$F_e = \frac{\pi^2 x E}{\left(\frac{L}{r}\right)^2}$$

$$F_e = \frac{\pi^2 x 29000}{\left(\frac{142.13}{6.95}\right)^2} = 684.38 \text{ Ksi}$$

$F_e > 35 \text{ Ksi}$. El perfil trabaja en el rango de pandeo inelástico.

Cálculo del esfuerzo de pandeo por flexión del perfil HSS:

$$F_{rc} = (0.658^{F_y/F_e}) F_y$$

$$F_{rc} = (0.658^{35/684.38}) x 35$$

$$F_{rc} = 34.26 \text{ Ksi}$$

Resistencia nominal mediante el método LRFD:

$$\phi P_n = \phi x F_{rc} x A$$

$$\phi P_n = 0.90 x 34.26 x 21.5$$

$$\phi P_n = 662.93 \text{ Kips} \approx 300.7 \text{ Tnf}$$

Resistencia del perfil con el total de trabajo en fluencia:

$$\phi P_n = \phi x F_y x A$$

$$\phi P_n = 0.90 x 35 x 21.5$$

$$\phi P_n = 677.25 \text{ Kips} \approx 307.2 \text{ Tnf}$$

Por lo tanto:

$$\phi P_n = 300.7 \text{ Tnf} > 282.21 \text{ Tnf} (\mathbf{OK})$$

$$\phi P_n = 307.20 \text{ Tnf} > 282.21 \text{ Tnf} (\mathbf{OK})$$