

**UNIVERSIDAD RICARDO PALMA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**PROGRAMA DE TITULACIÓN POR TESIS**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**REFORZAMIENTO DE UNA VIVIENDA MULTIFAMILIAR DE 5  
PISOS Y AZOTEA CON DISIPADORES DE ENERGÍA  
METÁLICOS EN ARREGLO CHEVRON, LOS OLIVOS.**

**TESIS**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO CIVIL**

**PRESENTADA POR**

**Bach. CHANGA COTRINA, BRYAN JEREMY**

**Bach. CARBONELL IBARGUENGOITIA, JOSE DUBAIL**

**ASESOR: MG. ING. GÁRATE CÁCERES, FRANCISCO HÉCTOR**

**LIMA - PERÚ**

**2021**

## **DEDICATORIA**

A mis padres Richard y Maribel, por su apoyo incondicional a lo largo de toda mi vida, a mi hermana Sayuri por su apoyo y las deliciosas tazas de café de todas las mañanas. A mis abuelos pues su perseverancia fue mi inspiración. A Nathalie, por siempre darme ánimos y motivos para no rendirme. A mis amigos, quienes me apoyaron más de lo que esperé.

Bryan Jeremy Changa Cotrina

Esta investigación se la dedico a mis padres, gracias a ellos estoy logrando mis metas personales y profesionales

Dubail Carbonell Ibarguengoitia

## **AGRADECIMIENTO**

A nuestro asesor, Ingeniero Magister Francisco Gárate y a nuestra tutora de plan de tesis, Ingeniera Magister Dayma Carmenates, por su paciencia y dedicación en la ejecución de esta investigación.

Dubail Carbonell Ibarquengoitia  
Bryan Jeremy Changa

# ÍNDICE GENERAL

RESUMEN .....	i
ABSTRACT.....	ii
INTRODUCCIÓN .....	iii
<b>CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....</b>	<b>1</b>
1.1. Descripción del problema y formulación del problema general y específicos.....	1
1.1.1. Problema General .....	1
1.1.2. Problemas específicos.....	2
1.2. Objetivos de la investigación .....	2
1.2.1. Objetivo general .....	2
1.2.2. Objetivos específicos .....	2
1.3. Delimitación de la investigación .....	2
1.3.1. Delimitación temporal .....	2
1.3.2. Delimitación espacial .....	2
1.3.3. Delimitación del contenido.....	3
1.4. Justificación e importancia .....	3
1.4.1. Justificación del estudio .....	3
1.4.2. Importancia del estudio .....	4
1.5. Limitaciones .....	4
<b>CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>6</b>
2.1. Marco Histórico.....	6
2.2. Investigaciones relacionadas .....	7
2.2.1. Investigaciones Internacionales .....	7
2.2.2. Investigaciones Nacionales.....	9
2.3. Estructura teórica y científica que sustenta el estudio.....	11
2.3.1. Normas .....	11
2.3.2. Metodologías para el análisis sísmico .....	13
2.3.3. Balance de energía sísmica.....	14
2.3.4. Actuales sistemas de disipación de energía .....	15
2.3.5. Sistemas de disipación pasiva.....	16
2.3.6. Diseño de disipadores ADAS .....	25
2.3.7. Diseño de disipadores histeréticos metálicos ADAS.....	29
2.3.8. Definición de términos básicos.....	32
<b>CAPÍTULO III: SISTEMA DE HIPÓTESIS .....</b>	<b>33</b>

3.1. Hipótesis .....	33
3.1.1. Hipótesis General .....	33
3.1.2. Hipótesis Específicas .....	33
3.2. Variables de investigación .....	33
3.2.1. Variable independiente .....	33
3.2.2. Variable dependiente.....	33
<b>CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>34</b>
4.1. Tipo y nivel de la investigación.....	34
4.1.1. Tipo de investigación.....	34
4.1.2. Nivel de investigación .....	34
4.2. Diseño de la investigación.....	34
4.3. Población y muestra .....	35
4.3.1. Población .....	35
4.3.2. Muestra .....	35
4.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	35
4.4.1. Tipos y técnicas de instrumentos.....	35
4.4.2. Criterios de validez y confiabilidad de los instrumentos.....	36
4.4.3. Procedimiento para la recolección de datos .....	36
<b>CAPÍTULO V: APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA.....</b>	<b>38</b>
5.1. Consideraciones iniciales .....	38
5.2. Modelamiento y análisis sísmico inicial sin refuerzo de disipadores .....	38
5.3. Propiedades de los materiales.....	39
5.4. Consideraciones para el análisis sismorresistente .....	40
5.4.1. Cargas .....	40
5.4.2. Parámetros de diseño sismorresistente .....	40
5.4.3. Registros de aceleración sísmica usados .....	41
5.4.4. Análisis lineal de la estructura sin protección sísmica .....	43
5.5. Objetivos de desempeño y niveles de peligro .....	46
5.6. Diseño preliminar del sistema de amortiguamiento .....	47
5.6.1. Propiedades mecánicas del material ADAS .....	47
5.6.2. Pre dimensionamiento de las placas del disipador ADAS.....	48
5.6.3. Demanda sísmica inicial.....	48
5.6.4. Parámetros del modelo .....	52
5.6.5. Procedimiento de cálculo.....	53

5.7. Diseño del brazo metálico .....	55
5.8. Actualización del modelo estructural con disipadores ADAS .....	56
<b>CAPÍTULO VI: PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....</b>	<b>58</b>
6.1. Resultados del análisis tiempo historia no lineal con los disipadores de energía.	58
6.2. Balance de Energía del sistema .....	59
6.3. Curvas de histéresis .....	62
6.4. Comprobación de los objetivos .....	64
6.4.1. Comparación de los desplazamientos del diafragma de la estructura .....	64
6.4.2. Comparación de las máximas derivas de entrepiso de la estructura.....	65
6.4.3. Energía absorbida por los disipadores .....	68
6.4.4. Periodo de la estructura .....	68
6.5. Contrastación de Hipótesis .....	69
6.5.1. Verificación y contrastación de Hipótesis general.....	69
6.5.2. Verificación y contrastación de Hipótesis específica 1 .....	69
6.5.3. Verificación y contrastación de Hipótesis específica 2 .....	70
6.5.4. Verificación y contrastación de Hipótesis específica 3 .....	70
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>71</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>72</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....</b>	<b>73</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>76</b>
Anexo 1: Matriz de consistencia .....	77
Anexo 2: Plano de arquitectura del edificio de 5 niveles (dos primeros niveles) .....	78
Anexo 3: Plano de arquitectura del edificio de 5 niveles (tres siguientes niveles) .....	79
Anexo 4: Plano de arquitectura del edificio de 5 niveles (primer nivel).....	80
Anexo 5: Plano de arquitectura del edificio de 5 niveles (segundo nivel) .....	81
Anexo 6: Plano de arquitectura del edificio de 5 niveles (tercer, cuarto y quinto nivel) .....	82

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N°1: Valores de distorsión de entrepiso por nivel de daño para estructuras C1M.13	
Tabla N°2 Diferentes técnicas de disipación de energía. ....	16
Tabla N°3 Parámetros Elásticos para los disipadores ADAS. ....	29
Tabla N°4: Resumen de las propiedades mecánicas de los materiales .....	39
Tabla N°5: Cargas de diseño consideradas para el análisis sismorresistente.....	40
Tabla N°6: Resumen de Parámetros sísmicos empleados en el análisis.....	41
Tabla N°7: Cálculo del peso de la edificación .....	43
Tabla N°8: Derivas de entrepiso obtenidas del análisis dinámico modal espectral sin disipadores de energía en el eje X.....	44
Tabla N°9: Derivas de entrepiso obtenidas del análisis dinámico modal espectral sin disipadores de energía en el eje Y. ....	44
Tabla N°10 Cortante dinámico vs cortante estático.....	45
Tabla N°11: Derivas máximas en la dirección X para cada sismo del análisis inicial sin disipadores. ....	45
Tabla N°12: Derivas máximas en la dirección Y para cada sismo del análisis inicial sin disipadores. ....	46
Tabla N°13: Propiedades mecánicas del Acero A36.....	48
Tabla N°14: Cortante máximo para cada disipador. ....	52
Tabla N°15: Parámetros iniciales para el cálculo de Rigideces de los disipadores. ....	52
Tabla N°16: Cantidad de placas por cortante y fuerza de fluencia.....	54
Tabla N°17: Parámetros de los disipadores .....	54
Tabla N°18: Parámetros mecánicos de los disipadores ADAS con 5 y 4 planchas metálicas. ....	55
Tabla N°19: Derivas maximas de cada sismo en la direccion X .....	58
Tabla N°20: Derivas máximas de cada sismo en la dirección Y .....	58
Tabla N°21: Desplazamientos en X de los diafragmas de la estructura sometida a los registros sísmicos con y sin disipadores. ....	64
Tabla N°22: Desplazamientos en Y de los diafragmas de la estructura sometida a los registros sísmicos con y sin disipadores. ....	64
Tabla N°23: Porcentaje de reducción de los desplazamientos gracias al sistema de disipación. ....	65
Tabla N°24: Derivas de la estructura con disipadores y sin disipadores en el eje X.....	65

Tabla N°25: Derivas de la estructura con disipadores y sin disipadores en el eje Y .....	66
Tabla N°26: Porcentaje de reducción de derivas en el eje X e Y .....	66
Tabla N°27: Porcentaje de disipación de energía obtenido para cada registro de aceleraciones sísmicas utilizado en el análisis.....	68
Tabla N°28: Periodo de vibración de los primeros 3 modos de vibración .....	69

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1 Ubicación geográfica del edificio VIVIENDA MULTIFAMILIAR.....	3
Figura N° 2: Comparación entre dispositivos pasivos de disipación de energía.....	18
Figura N°3: Disipador de fluido viscoso Taylor. ....	19
Figura N°4: Componentes e instalación típica de un disipador sólido visco elástico. ...	20
Figura N° 5: Disipadores de energía ADAS y TADAS sobre contraviento Chevrón... ..	22
Figura N° 6 Estructura ensayada por Whittaker et al. (1989).....	23
Figura N° 7 Curva deformación- carga de un disipador ensayado por Whittaker et al. (1989).....	23
Figura N° 8 Montaje del ensayo de caracterización mecánica del disipador con placas ranuradas.....	24
Figura N° 9 Esquema de dispositivo PALL. ....	25
Figura N° 10: Diagrama de deformación, momento, geometría de placa y distribución de curvatura, para un disipador ADAS.....	26
Figura N° 11: Diagrama de deformación en una sección transversal bx.....	27
Figura N° 12 Modelo de histéresis bilineal de un disipador ADAS o TADAS. ....	29
Figura N° 13: Modelo en 3D de la estructura en el software ETABS 2019. ....	38
Figura N° 14 Vista de una planta típica de la estructura en el software ETABS 2019. ...	39
Figura N° 15: Espectro de respuesta E.0.30. ....	41
Figura N° 16: Registro de aceleraciones Este-Oeste(izq.), registro de aceleraciones Norte-Sur(der.), para el sismo de 1966. ....	42
Figura N° 17: Registro de aceleraciones Este-Oeste(izq.), registro de aceleraciones Norte-Sur(der.), para el sismo de 1970. ....	43
Figura N° 18: Registro de aceleraciones Este-Oeste(izq.), registro de aceleraciones Norte-Sur(der.), para el sismo de 1974. ....	43
Figura N° 19 Fuerza cortante por piso para un análisis dinámico sin disipadores, en la dirección X-X(izq.) y en la dirección Y-Y(der.) .....	49
Figura N° 20: Modelamiento de los disipadores con elementos FRAME. Eje 1. ....	50
Figura N° 21: Modelamiento de los disipadores con elementos FRAME. Eje A.....	51
Figura N° 22: Modelamiento de los disipadores con elementos FRAME. Eje E.....	51
Figura N° 23: Modelo en 3D de la estructura con el sistema de disipación de energía en el software ETABS 2019. ....	56

Figura N° 24: Elevación del corte A-A(izq.) y E-E (der.) de la estructura con el sistema de disipación de energía.....	57
Figura N° 25: Elevación del corte 1-1 de la estructura con el sistema de disipación de energía.....	57
Figura N° 26: Balance de energía para el sismo de 1966 dirección Este-Oeste en el eje X. .....	59
Figura N° 27: Balance de energía para el sismo de 1966 dirección Norte-Sur en el eje Y. .....	60
Figura N° 28: Balance de energía para el sismo de 1970 dirección Este-Oeste en el eje X. .....	60
Figura N° 29: Balance de energía para el sismo de 1970 dirección Norte-Sur en el eje Y. .....	61
Figura N° 30: Balance de energía para el sismo de 1974 dirección Este-Oeste en el eje X. .....	61
Figura N° 31: Balance de energía para el sismo de 1974 dirección Norte-Sur en el eje Y. .....	62
Figura N° 32: Diagrama de histéresis para el elemento tipo Link K8.....	63
Figura N° 33 Diagrama de histéresis para el elemento tipo Link K1. ....	63
Figura N° 34 Comparación de las derivas máximas obtenidas para el sismo del año 1966. .....	67
Figura N° 35 Comparación de las derivas máximas obtenidas para el sismo del año 1970. .....	67
Figura N° 36 Comparación de las derivas máximas obtenidas para el sismo del año 1974. .....	67

## RESUMEN

La presente investigación se centró en reforzar una estructura construida en base a un sistema de pórticos de concreto armado, este fue modelado y analizado frente a 3 sismos de daño severo los cuales presentaron derivas que no cumplieron con los máximos establecidos por la Norma Técnica Peruana E.030 (2018). El objetivo principal de la presente tesis fue evaluar la respuesta sísmica del edificio de 5 pisos vivienda multifamiliar con un refuerzo de disipadores de energía metálicos en arreglo Chevron y compararla con su respuesta sísmica sin el refuerzo.

El edificio cuenta con un área construida de 355.8 metros cuadrados (m<sup>2</sup>), 5 niveles y una azotea con una altura total de 32.50 metros (m). Los desplazamientos laterales y derivas iniciales se verificaron mediante un análisis dinámico siguiendo los parámetros establecidos por la normativa peruana, además de analizar la respuesta sísmica de la estructura mediante un análisis tiempo-historia con la ayuda del software ETABS 2019. De este análisis inicial se obtuvo la respuesta sísmica de la estructura sin refuerzo y en base a estos resultados se diseñaron los disipadores ADAS, los cuales se modelaron y se añadieron al modelamiento inicial.

La incorporación de los disipadores metálicos mejoró significativamente el comportamiento del edificio, reduciendo los periodos fundamentales de la estructura, 30%, 20% y 36% para los tres primeros modos respectivamente. También se logró que los disipadores de energía absorban 40 y 53% de la energía ingresada por sismo en los ejes X e Y respectivamente, reduciendo el daño estructural y disminuyendo las derivas por debajo de 0.0058.

**Palabras claves:** Disipadores Adas, Análisis tiempo-historia, Norma Técnica Peruana E.030 (2018), Modelo bilineal.

## ABSTRACT

This research focused on reinforcing a contributed system structure, this was modeled and analyzed against 3 earthquakes of severe damage which presented drifts that did not comply with the maximums established by the Peruvian Technical Standard E.030 (2018). The main objective of this thesis was to evaluate the seismic response of the 5-story multi-family dwelling building with a reinforcement of metallic energy dissipators in Chevron arrangement and to compare it with its seismic response without the reinforcement.

The building has a constructed area of 355.8 square meters (m<sup>2</sup>), 5 levels and a roof terrace with a total height of 32.50 meters (m). The initial lateral displacements and drifts were verified by means of a dynamic analysis following the parameters established by the Peruvian regulations, in addition to analyzing the seismic response of the structure by means of a time-history analysis with the help of the ETABS 2019 software. This initial analysis was obtained the seismic response of the unreinforced structure and based on these results, the ADAS dissipators were designed, which were modeled and added to the initial modeling.

The incorporation of metal dissipators significantly improved the performance of the building, reducing the fundamental periods of the structure, 30%, 20% and 36% for the first three modes respectively. It was also achieved that the energy dissipators absorb 40 and 53% of the energy entered by earthquake in the X and Y axes respectively, reducing the structural damage and reducing the drifts below 0.0058.

Keywords: Adas Heatsinks, Time-history analysis, Peruvian Technical Standard E.030 (2018), Bilinear model.

## INTRODUCCIÓN

El Perú es un país con un alto nivel de actividad sísmica debido a su ubicación en el denominado “Cinturón de fuego del Pacífico”, por lo que las estructuras están constantemente recibiendo daño por las incursiones en los rangos inelásticos generadas por los sismos de gran magnitud. Los sistemas de disipación de energía se han vuelto más populares con el pasar de los años ya que son una alternativa para reducir el daño estructural en las edificaciones frente un sismo, tomando gran parte de la energía inducida por este de modo que se evitan los daños estructurales y se reducen los desplazamientos laterales y derivas de entrepiso. La implementación de estos dispositivos no es nueva en el Perú, estructuras como el edificio Reducto GERPAL o la nueva sede SUNAT han implementado ya un sistema de amortiguadores de fluido viscoso, el cual es el sistema de disipación de energía más popular del mercado.

La presente investigación plantea como objetivo principal evaluar el comportamiento estructural de una vivienda multifamiliar de 5 pisos ubicada en el distrito de Los Olivos, Lima, Perú, con la adición de dispositivos metálicos ADAS, los cuales son un tipo de disipadores de energía metálicos que, además de aportar amortiguamiento al sistema, puede aumentar la rigidez de este, reduciendo los periodos de la estructura.

El capítulo I se comienza a describir con el planteamiento del problema, problema general y específicos, objetivo general y específicos, delimitación, justificación e importancia y limitaciones del estudio; en el capítulo II se encuentra el marco teórico el cual esta detallado los distintos tipos de controles de amortiguamiento además de los tipos de disipadores, las características de los disipadores históricos, asimismo su rendimiento; en el capítulo III se precisan las hipótesis y las variables; en el capítulo IV se define la metodología de la investigación la cual detalla la forma en que se ejecuta la tesis, se definirán el tipo, nivel, método y diseño de la investigación, técnicas e instrumentos de recolección de datos; en el capítulo V se realiza el modelamiento de la estructura, así mismo se diseñan los disipadores y se hace una comparación de la respuesta sísmica de la estructura con y sin disipadores; en el capítulo VI se realiza una presentación de resultados obtenidos y contrastando cada uno de ellos con las hipótesis planteadas en el capítulo III; en el capítulo VII se realiza las conclusiones y recomendaciones se redactó una para cada hipótesis.

## **CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **1.1. Descripción del problema y formulación del problema general y específicos**

El Perú es un país con un alto nivel de actividad sísmica debido al proceso de subducción de placas originado por la convergencia de estas en el subsuelo del continente. Las placas de Nazca y Sudamericana se encuentran en el llamado “Cinturón de fuego del Pacífico” en un proceso de subducción, lo que solamente en el último año 2020 ha generado 811 sismos a nivel según el Instituto Geofísico del Perú (IGP). Al estar ubicado en una zona altamente sísmica, la vulnerabilidad estructural de las edificaciones, sobre todo en la costa, es elevada. El ejemplo más reciente de los daños causados por un sismo se puede observar en el terremoto en Pisco del 2007. Según Maximiliano Astroza (2007) en su estudio de la zona afectada por el terremoto de pisco, los edificios aporticados produjeron daños en las columnas de concreto armado, lo que ocasionó el colapso de muchas edificaciones debido a la disminución de rigidez al incursionar en el rango inelástico. Otro problema observado fue el choque de las edificaciones con edificios vecinos debido a los altos desplazamientos en este sistema estructural y a la poca separación entre edificaciones. Por lo anterior mencionado es claro que se necesitan opciones de refuerzo para edificios construidos con normativas anteriores y bajo sistemas estructurales más flexibles en cuanto a desplazamientos, para adecuarlas a los requerimientos de las normas vigentes.

La presente tesis propone un refuerzo con disipadores de energía metálicos en arreglo Chevron, ya que en el Perú se ha explorado muy poco acerca de este tipo de reforzamiento, con el cual se espera una mejora en la respuesta sísmica de la edificación y de esta forma mejorar su comportamiento teniendo como guía la NTP E030 y las normativas internacionales ASCE y FEMA.

#### **1.1.1. Problema General**

¿Cómo reforzar el edificio de 5 pisos vivienda multifamiliar empleando disipadores de energía metálicos en arreglo Chevron, Los Olivos?

### 1.1.2. Problemas específicos

- a. ¿Cuál es el porcentaje de reducción de periodos de vibración de la estructura sin reforzar con respecto a la reforzada con disipadores de energía metálicos en arreglo Chevron?
- b. ¿Cuál es el porcentaje de energía sísmica que pueden absorber los disipadores de energía metálicos en arreglo chevron?
- c. ¿En cuánto varían los desplazamientos laterales de la estructura antes y después de ser reforzado con disipadores de energía metálicos en arreglo Chevron?

## 1.2. Objetivos de la investigación

### 1.2.1. Objetivo general

Evaluar la respuesta sísmica del edificio de 5 pisos vivienda multifamiliar con un refuerzo de disipadores de energía metálicos en arreglo Chevron y compararla con su respuesta sísmica sin el refuerzo.

### 1.2.2. Objetivos específicos

- a. Evaluar el porcentaje de reducción del periodo de vibración en la estructura sin refuerzo versus la estructura reforzada con disipadores de energía en arreglo Chevron
- b. Determinar el porcentaje de energía sísmica que son capaces de absorber los disipadores de energía metálicos en arreglo chevron.
- c. Comparar en cuanto varían los desplazamientos laterales de la estructura antes y después del refuerzo con disipadores de energía metálicos en arreglo Chevron.

## 1.3. Delimitación de la investigación

### 1.3.1. Delimitación temporal

El análisis se efectuará como base de estudio tomando el periodo comprendido entre los meses de Mayo hasta Noviembre del año 2021.

### 1.3.2. Delimitación espacial

El problema está ubicado en Asociación Rio Santa Calle 11, Mza J, letra G, se encuentra en el distrito de Los Olivos, Provincia de Lima, Departamento de Lima.



Figura N° 1 Ubicación geográfica del edificio VIVIENDA MULTIFAMILIAR.

Fuente: Google Maps.

### 1.3.3. Delimitación del contenido

La delimitación del contenido corresponde a la escasa información respecto a la implementación de disipadores metálicos en edificaciones aporricadas en el Perú, por lo que aún no existe una norma nacional respecto a los disipadores, por este motivo este trabajo estará apoyado en normas internacionales como las ASCE y FEMA.

## 1.4. Justificación e importancia

### 1.4.1. Justificación del estudio

#### i) Justificación práctica

Los edificios reforzados con disipadores de energía tuvieron un gran desempeño por lo que esta investigación se realiza debido a la necesidad de mejorar la respuesta sísmica en el edificio multifamiliar y brindar una estrategia de refuerzo estructural para aplicarse a edificaciones con características similares.

ii) Justificación teórica

Esta investigación se realizó con el fin de aportar nuevos resultados experimentales del análisis sísmico a una edificación reforzada con los disipadores de energía metálicos para evaluar las competencias de este sistema de disipación de energía, ya que en el Perú el sistema más utilizado son los disipadores de fluido viscoso, y de esta forma promover nuevas propuestas para la mejora del desempeño sísmico de las edificaciones con sistemas aporticados.

iii) Justificación social

La presente investigación se justifica socialmente en edificios que son flexibles y no cumplen con la deriva de diseño esperada, es por eso que con estos disipadores se espera una mejora en el modelo estructural y así los habitantes y el diseñador del edificio estarán seguros de que el edificio responderá bien ante un sismo

1.4.2. Importancia del estudio

El Perú es un país altamente sísmico por lo que es importante reforzar algunos edificios con disipadores de energía que son dispositivos de amortiguamiento utilizados para reducir la demanda sísmica en edificaciones de gran altura, disminuyendo las deformaciones y esfuerzos producidos en los elementos estructurales durante el sismo mediante el amortiguamiento de estos, tiene como beneficios económicos y constructivo ya que se puede reemplazar placas de concreto armado por diagonales de arreglo tipo chevron con disipadores al momento de reforzar una estructura.

1.5. Limitaciones

La presente investigación se realizó recopilando información de diferentes normativas e investigaciones internacionales, debido a que una de las principales limitantes es que en nuestro país no existe una normativa para el diseño de disipadores de energía.

Así mismo, el análisis realizado solo pretende realizar comparar las respuestas estructurales de la edificación previamente diseñada sin refuerzo sísmico y esta misma edificación pero con un refuerzo sísmico (disipadores de energía) modelado en el software ETABS 2019, comparando las distorsiones de entrepiso, los

desplazamientos laterales y los periodos de vibración, por lo que no se realizará el estudio de las conexiones metálicas entre el pórtico y el sistema de disipación de energía ni se ha verificado el estado actual de la edificación, por lo que no se pretende realizar el diseño estructural final de los disipadores de energía.

## CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.1. Marco Histórico

Desde el siglo pasado se empezó a estudiar los conceptos de aislación y disipación sísmica de energía, y en las últimas décadas se han desarrollado investigaciones sobre su aplicación en edificaciones con el propósito de protegerlas ante eventos sísmicos de gran magnitud.

Korswagen, Arias y Huaranga, (2012) mencionaron en su tesis que, dentro de los primeros estudios realizados sobre los elementos de protección sísmica en edificaciones, aparece el trabajo realizado por el profesor de ingeniería John Milne de la Universidad de Tokio en 1885. En su experimento simuló la aislación basal en una edificación, logrando disminuir la rigidez horizontal de la base utilizando esferas de deslizamiento de 10 pulgadas de diámetro. Sin embargo, el edificio no se desempeñó correctamente ante cargas de viento, así que realizó varias iteraciones hasta definir un tamaño de esferas de  $\frac{1}{4}$  de pulgada, con el cual la estructura tuvo un buen desempeño.

Asimismo, Korswagen et al. (2012) mencionaron que en las cuatro últimas décadas se han buscado diversos mecanismos para desacoplar la estructura del suelo con el objetivo de reducir la rigidez en la base, y por tanto disminuir las fuerzas que ingresan a la estructura. En 1980 ya se habían planificado edificaciones con sistema de aislamiento basal en Japón, y durante los siguientes años aumentó considerablemente el número de edificios construidos con aislamiento en la base. En la última década de los años ochenta y noventa, fueron desarrollados dos disipadores de energía por fluencia del material, que tienen un comportamiento histerético bastante similar y son los denominados ADAS (*Added damping and stiffness*) y TADAS (*Triangular plate added damping and stiffness*). (Aguiar et al. 2016)

Skinner et al. (1995) estudiaron el comportamiento de dos placas en forma de “U” que disipa energía por flexión pura al enrollarse por efecto del desplazamiento relativo dado en sus conexiones extremas, de ello se obtuvo un comportamiento histerético muy estable (J.P Chavez 2020). Las primeras implementaciones fueron dadas en Nueva Zelanda (1980), en Japón (1991), México (1993) y Estado Unidos (1993).

En el documento elaborado por la Corporación de Desarrollo Tecnológico de la Cámara Chilena de la Construcción (2012), se menciona que, en el año 1995, ocurrido el terremoto de Kobe en Japón, aumentó la tasa de construcción de edificaciones con aisladores. Esto se dio gracias al buen comportamiento que tuvieron las estructuras construidas con estos dispositivos frente al sismo mencionado. En 1998 ya se tenían más de 500 edificios construidos con aisladores, y con el avance de la tecnología actualmente es muy común construir edificios con aisladores en Japón como una alternativa constructiva para protegerse sísmicamente.

En el caso de Sudamérica, Chile ha sido uno de los pocos países en incorporar aisladores y disipadores sísmicos a sus estructuras. Además, su norma NCh2745 incluye pautas y formulaciones para el diseño de estos dispositivos. Actualmente en Chile se han construido un número considerable de edificios con aisladores, entre los que resaltan son: el centro Médico San Carlos de Apoquindo de la Universidad Católica de Chile construido en el año 2000, y el Hospital Militar inaugurado en el año 2008 (Herrera M., 2018).

En el Perú, a pesar que en la norma E-030 no se brinden recomendaciones de diseño para los aisladores o los amortiguadores, existen algunos edificios diseñados con sistemas de protección sísmica. Entre ellos se tienen el Aeropuerto Internacional Jorge Chávez reforzado con dispositivos de amortiguamiento sísmico (2012); el Centro de Información e Investigación de la Facultad de Ingeniería Civil de la UNI diseñado con aisladores en la base (2013); y por último el edificio del banco de la nación en Lima (2015), que presenta amortiguadores en los últimos pisos de la estructura. (Herrera M., 2018).

## 2.2. Investigaciones relacionadas

Para profundizar en el marco teórico se realizó una investigación para encontrar tesis y artículos afines al tema del presente trabajo de investigación, de esta manera se recopilaron los aportes de estas que podrían ayudar al desarrollo de esta investigación. Se dividieron estas investigaciones de acuerdo a su nacionalidad.

### 2.2.1. Investigaciones Internacionales

K. Aguilar (2015), en su tesis “Estudio comparativo de edificios de acero de gran altura con diagonales excéntricas, concéntricas y diagonales con amortiguadores en la ciudad de Quito” para adquirir el grado académico de

Ingeniero Civil en la Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Tuvo como objetivo principal realizar un estudio comparativo de edificios de acero de gran altura con diagonales excéntricas, concéntricas y diagonales con amortiguadores ubicados en la ciudad de Quito, que permita verificar la eficiencia de un diseño estructural sísmo resistente adecuado conforme a las exigencias de las normas nacionales e internacionales. Los principales resultados de la investigación fueron el refuerzo de la edificación de acero de gran altura con diagonales excéntricas y concéntricas que proporcionan gran estabilidad y rigidez debido a que disminuyen los efectos provocados por las fuerzas sísmicas. Se pudo observar en los resultados una reducción del periodo y reducción de las derivas.

J. Ceja Marín (2012) llevo a cabo en su tesis “Diseño de disipadores tipo ADAS para un edificio clase A en la ciudad de Uruapan” el diseño de disipadores tipo ADAS para un edificio de 10 pisos. Utilizó el programa ADARC para el análisis pushover correspondiente para obtener los resultados del análisis sísmico de la estructura con el refuerzo de estos disipadores. Entre los principales resultados se observó que la reducción en los desplazamientos laterales de la edificación es proporcional al aumento de rigidez en el sistema a causa de la adición de los disipadores, mientras que la reducción de cortante que es absorbido por el sistema estructural es proporcional a la cantidad de planchas metálicas ADAS presentes en el disipador. Además, se observó una gran reducción en los desplazamientos laterales lo que se traduce en un menor daño estructural luego de un sismo. Ceja aporta a nuestra investigación un método de diseño diferente al estudiado por Aguiar (2015) utilizando un programa de modelamiento matemático y diversas iteraciones para encontrar el disipador que mejor se adecue el sistema.

P. Torres (2011), en su tesis “Estudio de los disipadores de energía en el diseño sismorresistente” para obtener el grado académico de Magíster en Ingeniería Civil en la Universidad de Cuenca. La presente monografía tiene como objetivos describir los diferentes tipos de sistemas empleados en la protección sísmica y determinar los parámetros necesarios para el análisis de estructuras con disipadores de energía. Tiene como conclusión que los

disipadores reducen de manera significativa la respuesta estructural y permite alcanzar el nivel deseado por el proyectista de acuerdo a la especificación que se requiera cumplir. Esta investigación nos ayuda a tener una idea de cómo va a influenciar los disipadores cuando ya están reforzando a la estructura.

Pimiento J., Salas A., Ruiz D.(2014). “Desempeño sísmico de un pórtico con disipadores de energía pasivos de placas ranuradas de acero”. En esta investigación se evaluó el desempeño sísmico de dos tipos de disipadores de energía pasivos histeréticos metálicos (placas ranuradas de acero). Se realizaron ensayos en mesa vibratoria en tres modelos estructurales: un pórtico sin disipadores de energía y dos pórticos con dos tipos de placas ranuradas de acero. Los tres modelos fueron sometidos a dos tipos de señales sísmicas basadas en un análisis tiempo-historia. La investigación obtuvo como resultado una disminución en la distorsión de entrepiso en los pórticos con las placas ranuradas de acero de hasta 90% en comparación al pórtico sin rehabilitación. De esta forma se concluyó que las placas ranuradas de acero disipan una gran parte de la energía suministrada por los sismos lo cual disminuye también los daños en las estructuras. Esta investigación proporciona a nuestra tesis resultados experimentales de los disipadores metálicos mostrando el comportamiento real de estos bajo fuerzas laterales y la variación de los desplazamientos de entrepiso en un pórtico con y sin este disipador; sin embargo, no nos muestra el comportamiento en un análisis no lineal, procedimiento que nos acercaría al comportamiento real de una estructura durante un sismo moderado o severo.

#### 2.2.2. Investigaciones Nacionales

Z. Boza y D. Galán (2013), en su tesis “Diseño de un edificio aporticado con disipadores en arreglo tipo Chevron” para optar el grado académico de Ingeniero Civil en la Pontificia Universidad Católica del Perú, realizó el diseño de un sistema de disipación de energía para un edificio aporticado de 7 pisos, el cual inicialmente tenía una deriva de 0.55%. El objetivo principal de esta investigación fue lograr que el edificio no incurriera en el rango inelástico para un sismo de 475 años de periodo de retorno. Los resultados obtenidos después de realizar el análisis del refuerzo con disipadores en

arreglo Chevron muestran que hubo una mejora en la respuesta sísmica del edificio, además de probar distintos valores en las fuerzas axiales de los disipadores obteniendo una reducción de deriva del 0.92% a 0.59% en todos los casos para el sismo de diseño de 475 años de periodo de retorno. Esta investigación nos habla de los distintos tipos de disipadores, así mismo nos hace una comparación de las derivas del edificio sin y con disipadores de energía con arreglo Chevron, el arreglo que se planea usar en nuestra investigación; sin embargo, nuestra tesis mostrará una comparación similar a la presentada en la tesis de Boza con disipadores de energía que dependen del desplazamiento, los disipadores histeréticos.

V. Castañeda y L. Manrique (2019), en su tesis “Evaluación de los niveles de desempeño sísmico de un edificio aporticado empleando disipadores de fluidos viscoso” para obtener el grado académico de Ingeniería Civil en la Universidad Ricardo Palma. La presente investigación tiene como objetivo verificar el mejor comportamiento estructural de la edificación al añadir disipadores de fluido viscoso por medio de la obtención de los niveles de desempeño sísmico propuestos en el ATC-40 y el Comité VISION 2000 (SEAOC). Las conclusiones alcanzadas en esta tesis señala que en consecuencia de reforzar la estructura aporticada con disipadores de fluido viscoso se logró mejorar el nivel de desempeño (Cerca al colapso) llegando a un nivel de desempeño Resguardo a la vida en ambos ejes, bajo el nivel de movimiento sísmico de la normativa sismorresistente vigente E030, que corresponde a un sismo raro de 475 años de periodo de retorno con 10% de probabilidades de ser excedida en 50 años, con lo cual se cumple con los objetivos de desempeño propuestos por el Comité Visión 2000. La presente tesis nos sirve para poder guiarnos en cómo tener el amortiguamiento efectivo de la estructura con disipadores y nos ayuda para poder hacer una buena evaluación de desempeño sísmico de una estructura aporticada.

C. Fuentes (2015), en su tesis “Análisis sísmico de una edificación con disipadores de fluido viscoso” para optar el grado académico de Ingeniería Civil en la Pontificia Universidad Católica del Perú. Esta investigación tuvo como objetivo analizar una edificación como se comporta ante un sismo usando disipadores de fluido viscoso. Las conclusiones alcanzadas por esta

tesis señalaron que el el modelo viscoelástico de Maxwell el cual consiste en un amortiguador no lineal en serie con un resorte, puede ser representado empleando el comportamiento de los disipadores de fluido viscoso a nivel macroscópico. Esta investigación nos ayuda a entender el comportamiento de los disipadores de energía, específicamente de los disipadores de fluido viscoso, así como los conceptos de amortiguamiento, además de hacer un análisis de tiempo - historia para poder conocer la respuesta a cada tipo de sismo; sin embargo, no hace una comparación de comportamiento sísmico con disipadores y sin disipadores.

## 2.3. Estructura teórica y científica que sustenta el estudio

### 2.3.1. Normas

#### i) Normas Nacionales

##### a) Norma técnica E. 020 Cargas

En el Perú, el ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2018) en la Norma Técnica Peruana E.020 Cargas establece los valores mínimos de cargas para el diseño y análisis de las estructuras. Tiene como alcance que los elementos estructurales deberán ser capaces de resistir las cargas de servicio y no exceder, con estas, los esfuerzos y deformaciones diseñadas y normadas. Esta norma se complementa con la norma E 0.30, diseño sismorresistente, para realizar el análisis sísmico reglamentario.

##### b) Norma Técnica E.030 Diseño Sismorresistente

El ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2018) establece en la Norma Técnica Peruana E.030 Diseño Sismorresistente las condiciones mínimas para el diseño sismorresistente de las edificaciones, así como los parámetros para la verificación del daño. Es de aplicación obligatoria a nivel nacional. Tiene como filosofía del diseño sismorresistente en:

- Evitar pérdidas de vidas humanas
- Asegurar la continuidad de los servicios básicos
- Minimizar los daños a la propiedad

Los parámetros planteados para el análisis sismorresistente son: la zonificación(Z), perfil de suelo(S), el factor de uso(U), la

configuración estructural y la presencia de irregularidades estructurales tanto en planta como en altura(R). Estos parámetros se utilizan para el desarrollo del espectro de diseño para el análisis sísmico, tanto el estático como el dinámico.

ii) Normas Internacionales

a) ASCE 7-16 Chapter 18: Seismic Design Requirements For Structures With Damping Systems

La Sociedad Americana de Ingenieros Civiles (ASCE) establece como finalidad en el capítulo 18 del código ASCE 7-16 (2017) presentar los requisitos de diseño para cada sistema de amortiguación. Define que la fuerza de respuesta de un dispositivo metálico está en función del desplazamiento relativo entre cada extremo del dispositivo.

b) HAZUS

El manual técnico HAZUS es elaborado por la Agencia Federal para el Manejo de Emergencias (2003) y establece en el capítulo 5 una metodología para evaluar la vulnerabilidad relacionando el daño producido por cada desplazamiento en un sistema estructural. Así mismo, este manual establece 4 niveles de diseño según las exigencias sísmicas presentes en la zona de estudio: pre-código, código de nivel bajo, código de nivel moderado y código de alto nivel. En el Perú, el código utilizado por la norma es el código de nivel moderado.

En el sub-capítulo 5.2 el manual enlista y describe los modelos de sistemas estructurales que admite y califica como C1M al modelo a utilizar en la presente tesis, un sistema de concreto armado de 5 niveles con elementos resistentes a momentos.

En la siguiente tabla, adaptada directamente del manual, se establecen los valores de las distorsiones de entrepiso máximas recomendadas para cada nivel de daño sísmico establecido en el mismo:

Tabla N°1: Valores de distorsión de entrepiso por nivel de daño para estructuras C1M.

Nivel de daño sísmico	Pre-norma	Nivel de diseño		
		Bajo	Moderado	Alto
Leve	0.0027	0.0033	0.0033	0.0033
Moderado	0.0043	0.0053	0.0058	0.0067
Extensivo	0.0107	0.0133	0.0156	0.0200
Completo	0.0267	0.0333	0.0400	0.0533

Fuente: Multihazard Loss Estimation Methodology HAZUS99 (2003)

### 2.3.2. Metodologías para el análisis sísmico

#### i) Análisis estático lineal

Este método consiste en determinar las cargas laterales en cada nivel de la estructura, simulando el efecto de un sismo en esta. Este método es lineal y solo toma en consideración el primer modo de vibración de la estructura, y la norma E030 muestra la ecuación para el cortante en la base, el cual es distribuido posteriormente a cada piso:

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

Donde los valores de ZUCSR son los establecidos previamente por la norma para cada edificación, y P es el peso total de la estructura. Este análisis está limitado a estructuras regulares con alturas menores a 30m.

#### ii) Análisis dinámico modal espectral

Este método, a diferencia del estático, toma en cuenta todos los modos de vibración de la estructura, y establece un espectro de pseudo aceleraciones para el análisis sísmico en cada dirección. Los parámetros utilizados son los mismos que en análisis estático, pero el valor C, dependiente del periodo, toma un rango de valores lo que genera que el espectro de pseudo aceleraciones.

$$V = \frac{Z * U * C_{(T)} * S}{R} * P$$

Donde C tomará valores de acuerdo al periodo de la estructura:

$$T < T_p \rightarrow C = 2.5$$

$$T_P < T < T_L \rightarrow C = 2.5 * \frac{T_P}{T}$$

$$T > T_L \rightarrow C = 2.5 * \frac{T_P * T_L}{T^2}$$

Donde los valores de TP y TL están definidos por el factor de Zona (Z) y el factor de suelo (S) en la Norma E030. Con ayuda de programas de modelamiento estructural se pueden obtener las derivas y las cortantes en cada piso gracias a este. La norma E030 también menciona que el cortante determinado con el análisis dinámico no debe ser menor al 80% del cortante determinado mediante el análisis estático.

### iii) Análisis tiempo historia

Este análisis consiste en obtener la respuesta dinámica de la edificación de estudio replicando las aceleraciones de un sismo ocurrido en un tipo de suelo similar al de estudio. La normativa ASCE7-16 indica que este análisis debe hacerse con el promedio de 7 señales sísmicas, las cuales deben ser escaladas y corregidas para un espectro de diseño en todas las direcciones. La norma E030 permite la realización de este análisis con un mínimo de 3 registros sísmicos, pero tomando el mayor de estos para el análisis.

### 2.3.3. Balance de energía sísmica

Durante un evento sísmico, la mayor parte de energía producida es disipada en el suelo en forma de calor, pero una fracción menor de esta es liberada en forma de ondas sísmicas, y esta energía es inducida en el sistema estructural en las estructuras afectadas por el sismo. Al momento de ingresar, la energía se convierte en cinética y potencial. La primera es liberada en el movimiento de la estructura a simple vista de cualquier espectador, pero la energía potencial se acumula en los elementos estructurales y es liberada en forma de deformaciones y se puede entender de dos formas: energía de deformación elástica y energía de deformación histerética.

Debido a esta liberación de energía sísmica en la estructura Symans et al. (2008) muestra una ecuación de conservación de energía, la cual relaciona la energía de entrada con la energía elástica y la energía disipada:

$$E_1 = E_s + E_K + E_D + E_H$$

Donde:

$E_1$ : Energía de entrada acumulada.

$E_S$ : Energía de deformación instantánea almacenada por la estructura.

$E_K$ : Energía cinética instantánea de la masa en movimiento.

$E_D$ : Energía de amortiguación acumulada añadida.

$E_H$ : Energía histerética acumulada.

Al finalizar un sismo, la energía cinética  $E_K$  es cero, al igual que la energía de deformación para sistemas elásticos y cercana a cero para sistemas inelásticos. Suponiendo que no es factible aumentar la ductilidad o la capacidad de energía histerética de la estructura, sobre todo para reforzamiento de estructuras ya construidas o para reparación de estructuras dañadas, la respuesta sísmica solo puede mejorarse aumentando la energía de amortiguación acumulada  $E_D$  (Symans et al., 2008). En un sistema convencional, ya sea aporticado o de muros de concreto, la energía sísmica es absorbida por los elementos estructurales y disipada en forma de deformaciones que se presentan en estos, pero conforme se aumenta la energía sísmica de entrada estas deformaciones crecen y pueden inducir a la estructura al rango inelástico, pudiendo provocar un colapso en el peor de los casos. Para evitar estas grandes deformaciones se pueden emplear distintos tipos de amortiguadores con la capacidad de absorber gran parte de la energía sísmica y disminuyendo la participación de los elementos estructurales en la disipación de esta.

#### 2.3.4. Actuales sistemas de disipación de energía

Gutiérrez Rodríguez (2016) explica en su estudio que “(...) los disipadores de energía no alteran la energía de entrada, sino que aumentan el nivel de amortiguamiento de la estructura para absorber y disipar la energía proveniente de un sismo.” De acuerdo a este funcionamiento, gran parte de los daños en las edificaciones que presenten este tipo de dispositivos pueden reducirse, a nivel estructural y no estructural. Estos dispositivos son incorporados en los pórticos de la estructura, y actualmente en el mercado existe una gran variedad de sistemas de disipación sísmica, clasificados de acuerdo a la forma en que trabajan, y son de tipo activo, pasivo e híbridos o

semi-activos. Pimiento et al. (2014) resumen esta clasificación como se muestra en la siguiente tabla N° 2:

Tabla N°2 Diferentes técnicas de disipación de energía.

Sistemas de disipación de energía	
Disipadores pasivos	Dispositivos dependientes de los desplazamientos Dispositivos dependientes de la velocidad Dispositivos de vibraciones sincronizadas
Disipadores activos	Sistemas de arriostramiento activo Sistemas de masa activa
Disipadores semi-activos	Sistemas de rigidez variable Amortiguador de masa híbrida

Fuente: Adaptado de Pimiento et al. (2014)

### 2.3.5. Sistemas de disipación pasiva

Son los dispositivos de protección sísmica más comunes en la actualidad. De acuerdo a Symans et al. (2008) “Los disipadores de energía modifican las propiedades dinámicas de amortiguamiento del sistema estructural de modo que las vibraciones inducidas por la excitación son absorbidas y disipadas por estos dispositivos”. Estos sistemas se caracterizan por añadir amortiguamiento (en algunos casos rigidez) a la estructura y reducir la respuesta dinámica mediante dispositivos mecánicos diseñados para disipar gran parte de la energía sísmica, de esta forma evita que se generen deformaciones en los elementos estructurales. Los sistemas pasivos son los de mayor uso en la actualidad debido a su bajo costo y su fácil trabajabilidad. Los disipadores de energía presentan ventajas tales como:

- Los disipadores absorben gran parte de la energía actuante del sismo, evitando mayores daños en el sistema estructural del edificio. Normalmente la mayoría de estos daños se presentan en los disipadores lo que puede traducirse en un menor costo de reparación ya que estos son reemplazables.
- Aumentar la seguridad estructural de un edificio convencional y del contenido de este. El nivel de daño de las estructuras es reducido gracias

a que los disipadores de energía concentran la energía liberada sísmica y son capaces de absorber esta, además de que son relativamente fáciles de reemplazar.

- Permite, para altas aceleraciones, que las estructuras se mantengan en el rango elástico, lo que reduce las fuerzas cortantes y derivas en cada nivel de la estructura.
- Pueden utilizarse tanto en edificios multifamiliares con gran cantidad de niveles como en edificios industriales para el control de vibraciones generadas por maquinaria pesada.

Hay gran variedad de dispositivos de disipación de energía pasiva en el mercado actual, los cuales se han ido estudiando e implementando en todo el mundo por su gran aporte para la protección sísmica de las estructuras. El manual de FEMA-273 (1997) clasifica a los sistemas disipadores de energía pasivos en sistemas dependientes del desplazamiento o los dispositivos histeréticos que trabajan con dispositivos metálicos; sistemas dependientes de la velocidad o viscoelásticos, los cuales trabajan con fuerzas de fricción y disipan la energía sísmica de entrada en forma de calor; y otros, dentro de los cuales se encuentran los dispositivos de vibraciones sintonizadas o amortiguadores de masa sintonizada. Symans et al. (2008) nos presenta en su investigación un resumen de las características, ventajas y desventajas de los 2 tipos de disipadores de energía pasivos más estudiados a lo largo de los años, los dependientes de desplazamiento y los dependientes de la velocidad:

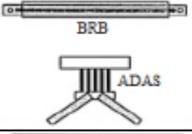
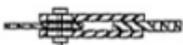
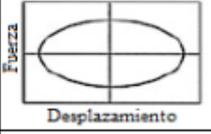
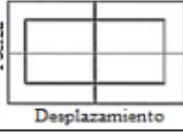
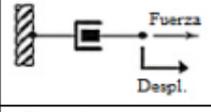
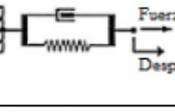
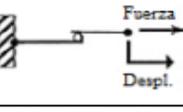
	Dependientes de la velocidad		Dependientes del desplazamiento	
	Fluido viscoso	Sólido Viscoelásticos	Fluencia de metales	Fricción
Esquema Básico				
Comportamiento o histerético idealizado				
Modelo físico idealizado			Modelo idealizado no disponible.	
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Se activa con desplazamientos pequeños.</li> <li>-Fuerza restauradora mínima.</li> <li>-Para un amortiguamiento lineal, se simplifica el modelo del amortiguador.</li> <li>- No depende de la temperatura del ambiente ni de las frecuencias altas aplicadas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Se activa con desplazamientos pequeños.</li> <li>-Suministra una fuerza restauradora.</li> <li>- Comportamiento lineal, por lo tanto se puede simplificar su modelación.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Comportamiento histerético estable.</li> <li>- No depende de la temperatura del ambiente.</li> <li>- Materiales y comportamiento son conocidos para los ingenieros.</li> <li>- Comportamiento confiable durante largo plazo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Alta disipación de energía por ciclo.</li> <li>- No depende de la temperatura del ambiente.</li> </ul>
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Posible fuga del fluido (relacionado con la confiabilidad).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Capacidad de deformación limitada.</li> <li>-Sus propiedades dependen de la temperatura del ambiente y de las frecuencias aplicadas.</li> <li>-Posible desprendimiento y flujo del material viscoelástico (relacionado con la confiabilidad).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Dispositivo dañado después del sismo; podría requerir reemplazo.</li> <li>-Comportamiento no lineal; podría requerir de un análisis no lineal.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Las condiciones de la interfaz de deslizamiento podrían cambiar con el tiempo (relacionado con la confiabilidad).</li> <li>-Comportamiento No lineal muy marcado; podría requerir de un análisis no lineal – modal.</li> <li>-Hay desplazamientos permanentes si no actúa una fuerza restauradora.</li> </ul>

Figura N° 2: Comparación entre dispositivos pasivos de disipación de energía.

Fuente: Symans et al., 2008, p. 7.

En esta figura N°2 se nos presenta un resumen de los dispositivos de disipación de energía pasivos, los cuales son los más utilizados actualmente,

empezando por la construcción básica de cada dispositivo, la respuesta histerética idealizada y los modelos físicos asociados para el análisis matemático, así como las principales ventajas y desventajas de cada uno. Los dispositivos de fluido viscoso son los más utilizados en el mercado actual debido a sus grandes ventajas y su fácil acoplamiento a cada sistema estructural, además de su larga vida.

i) Disipadores dependientes de la velocidad

a) Disipadores de fluido viscoso

Los disipadores de fluido viscoso son uno de los más comunes actualmente tanto en edificaciones industriales como en edificaciones esenciales (hospitales y clínicas). Oviedo (2008) en su tesis define a estos disipadores como “mecanismos llenos de fluido el cual es capaz de mantenerse en servicio durante grandes períodos de tiempo sin mantenimiento”. Este mecanismo de disipación funciona de manera similar a los amortiguadores utilizados en los automóviles, pues presentan un pistón dentro de una cámara cilíndrica llena de un fluido, como se muestra en la figura N°3:

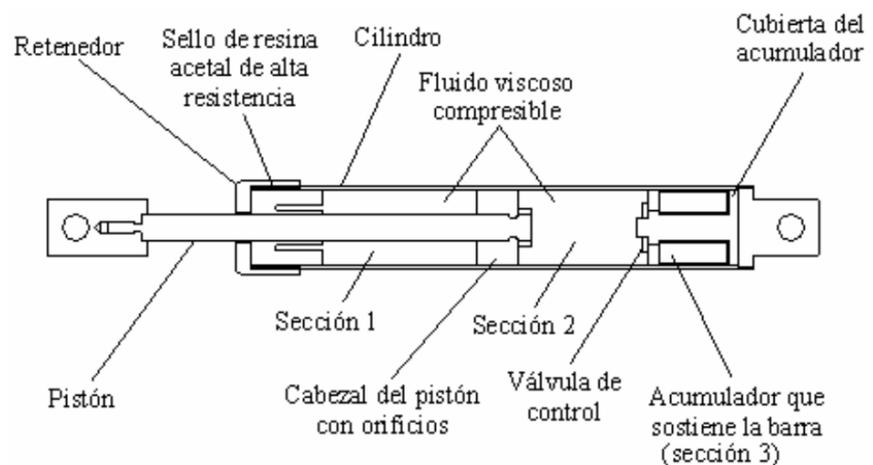


Figura N°3: Disipador de fluido viscoso Taylor.

Fuente: Gatica, 2012, p. 27

Estos disipadores varían el amortiguamiento aplicado según la velocidad inducida por el sismo, reduciendo tanto deflexiones como esfuerzos en todos los elementos estructurales. Debido al

amortiguamiento que aportan al sistema estructural no sobreesfuerzan a la estructura y se mantienen en el rango elástico e incluso no tienen necesidad de ser cambiados luego de un movimiento sísmico moderado o severo. (Jean Piers Chavez, 2017, p.45)

b) Disipadores sólidos visco-elásticos

Gutiérrez et al. (2016) definen en su tesis a los sistemas sólidos visco-elásticos como un sistema de disipación conformado por un material viscoso ubicado entre dos placas de acero, las cuales son montadas en la estructura de modo que la deformación por corte y la disipación de energía se produzca al momento de la vibración estructural inducida por el sismo, la cual generará el movimiento entre las láminas de acero y el fluido central. Estos amortiguadores sólidos viscoelásticos generalmente tienen las placas de acero unidas a la estructura dentro de un refuerzo en forma de chevron o diagonal, de modo que el material viscoelástico se corta a medida que un extremo del amortiguador se desplaza con respecto al otro, dando como resultado el desarrollo de calor que se disipa al medio ambiente, por lo que los sólidos viscoelásticos exhiben tanto elasticidad como viscosidad, es decir, dependen tanto del desplazamiento como de la velocidad (Symans et al., 2008). En la siguiente figura N°4 se presenta la configuración y las partes de los disipadores sólidos visco-elásticos:

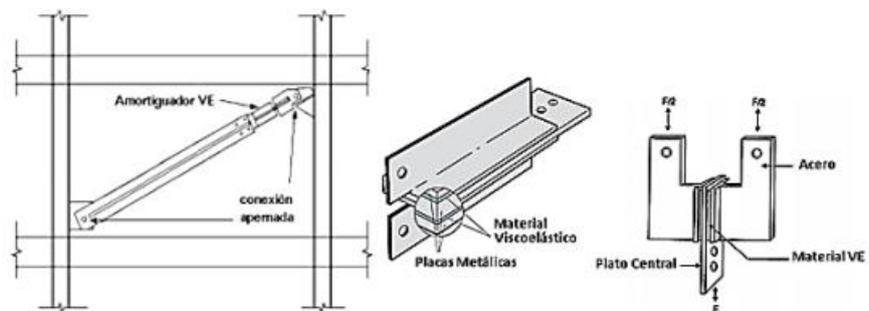


Figura N°4: Componentes e instalación típica de un disipador sólido visco elástico.

Fuente: Gutiérrez et al., 2016, pág. 45.

## ii) Disipadores dependientes del desplazamiento

### a) Disipadores por fluencia de metales

Los disipadores que trabajan por fluencia de metales son dispositivos que, mediante su comportamiento histerético, absorben la energía del sismo, evitando así mayores daños en el sistema estructural del edificio. Symans et al. (2008) menciona que, gracias a la ductilidad del material metálico, estos presentan un mejor comportamiento histerético frente a los desplazamientos laterales, y normalmente la mayoría de los daños que los disipadores puedan presentar luego de un evento sísmico tienen un menor costo de reparación ya que estos son reemplazables.

Este tipo de disipadores absorben la energía que se genera en los elementos estructurales a través de ciclos de histéresis, evitando daños estructurales. Esta energía genera deformaciones en el dispositivo, el cuál al ser de acero, un material mucho más dúctil que el concreto, es capaz de tolerar mayores deformaciones antes de fallar, e incluso al presentarse una falla esta se presenta en el dispositivo mucho antes de que los elementos estructurales presentes deformaciones importantes.

Entre los disipadores por fluencia más conocidos están los denominados ADAS (*Added Damping And Stiffness*) y TADAS (*Triangular-plate Added Damping And Stiffness*).

Aguilar, Rodríguez y Mora (2016) exponen en su investigación sobre el análisis sísmico con disipadores ADAS o TADAS que ambos disipadores tienen un comportamiento histerético bastante similar, y que la principal diferencia entre estos es la geometría de la placa metálica, ya que el disipador ADAS presenta una doble curvatura, existiendo punto de inflexión y en el TADAS la curvatura es simple, como se aprecia en la siguiente figura N°5:

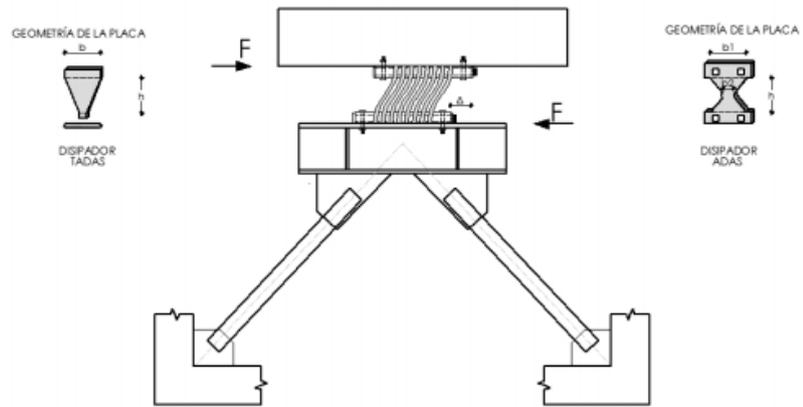


Figura N° 5: Disipadores de energía ADAS y TADAS sobre contraviento Chevrón.

Fuente: Aguiar et al., 2016, pág. 12.

El funcionamiento está basado en tres sistemas: el sistema flexible, conformado por el pórtico de concreto, el cual debe activar el punto de fluencia en los dispositivos; el sistema rígido conformado por las riostras metálicas que unen al pórtico y al dispositivo de disipación, el cual transferirá las cortantes; y el dispositivo que es mucho más rígido, pero con capacidad de flexión dependiente del desplazamiento. En la figura N° 5 se presentan los disipadores en un arreglo Chevrón en forma de “V” invertida, donde a la izquierda de la figura se puede apreciar la geometría de un disipador TADAS, mientras que a la derecha se muestra un disipador ADAS. Además de la geometría, las planchas metálicas ADAS tienen impedido el giro en los extremos superior e inferior, mientras que el dispositivo TADAS solo tiene restringido el giro en el nivel superior.

Ambos disipadores están formados por planchas metálicas colocadas en paralelo y la cantidad de estas depende de las fuerzas sísmicas presenten en la estructura. Típicamente, estos disipadores inician la plastificación de metales a décimas de milímetros. Como se muestra en la figura N° 5, las fuerzas laterales generadas por un sismo ocasionan un desplazamiento, por lo que la disipación de energía se produce a raíz del esfuerzo de cortante en el pórtico y por la flexión inducida en el dispositivo. Los lazos histeréticos en

este tipo de dispositivos son bastante estables y la resistencia tiene poca degradación luego de disipar la energía a través de la flexión. Whittaker et al. Realizó un estudio para en 1989 en este tipo de dispositivos para relacionar los desplazamientos con la fuerza cortante mediante los lazos histeréticos. En estos ensayos se colocaron disipadores con 7, 6 y 4 placas metálicas en un marco de 3 niveles, como se puede ver en la figura N° 6:

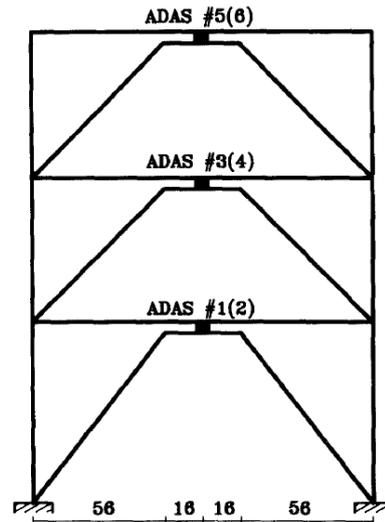


Figura N° 6 Estructura ensayada por Whittaker et al. (1989).

Fuente: Whittaker et al. (1989)

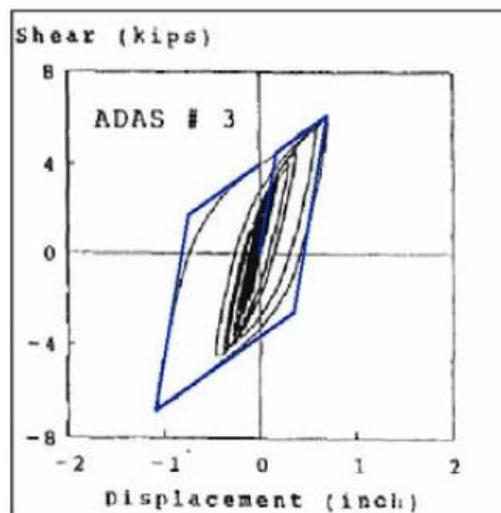


Figura N° 7 Curva deformación- carga de un disipador ensayado por Whittaker et al. (1989)

Fuente: Whittaker et al. (1989)

Como se ve en la figura N° 7, los lazos histeréticos obtenidos son bastante estables y se asemejan a un estado de bilinealidad. A partir de estos resultados reales obtenidos, se definió la representación del diagrama bilineal de los disipadores ADAS en los modelos matemáticos presentado en la figura N° 12 del siguiente apartado, en el cual se relacionan el diagrama de histéresis de los disipadores con las propiedades plásticas del mismo.

b) Disipadores por fricción

Los amortiguadores de fricción disipan energía mediante la fricción generada por el deslizamiento entre dos miembros sólidos generalmente metálicos. Un ejemplo de este tipo de amortiguadores es el de que placas ranuradas de acero en la investigación de Pimiento et al. (2014), en el que una serie de placas de acero se atornillan juntas como se muestra en la figura N°8, y se caracterizan porque la disipación de la energía ocurre por la fluencia del acero, la cual es provocada por los desplazamientos relativos inducidos en el dispositivo.



Figura N° 8 Montaje del ensayo de caracterización mecánica del disipador con placas ranuradas.

Fuente: Pimiento et al., 2014.

Una configuración alternativa, conocida como amortiguador de fricción de refuerzo transversal de Pall, la cual consiste en un refuerzo transversal que se conecta en el centro a un amortiguador rectangular (Pall y Marsh, 1982) y se muestra en la figura N°9.

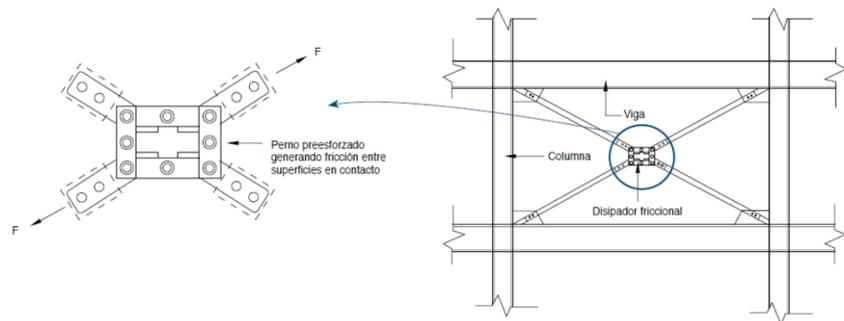


Figura N° 9 Esquema de dispositivo PALL.

Fuente: Herrera et al., 2016.

El amortiguador está atornillado a los brazos metálicos, y bajo las solicitaciones lateral inducidas por sismo el pórtico se deforma de tal manera que una diagonal está sujeta a tensión y la otra a compresión. Este sistema de fuerza hace que el amortiguador rectangular se deforme en un paralelogramo, disipando energía en las uniones atornilladas a través de la fricción deslizante (Symans et al., 2008).

#### 2.3.6. Diseño de disipadores ADAS

Para el cálculo de los parámetros que definirán el comportamiento de la placa metálica en el disipador ADAS se deducirán las ecuaciones de fuerza, desplazamiento, fluencia y rigidez elástica a continuación:

##### i) Cálculo de la curvatura del disipador

Para efectos del cálculo se considera la geometría de la placa como una sección en forma de reloj de arena, como se aprecia en la figura N°10, donde el ancho  $b_1$  varía linealmente, así como el momento  $M_x$ . Ya que la figura es simétrica en ambos ejes, el momento será 0 en  $h/2$ , por lo que la deducción se realiza para  $0 \leq x \leq h/2$ , donde  $x$  varía a partir del borde inferior de la placa. Para la parte superior se toma  $h/2 \leq x \leq h$ , pero  $x$  es medido desde el borde superior de la placa.

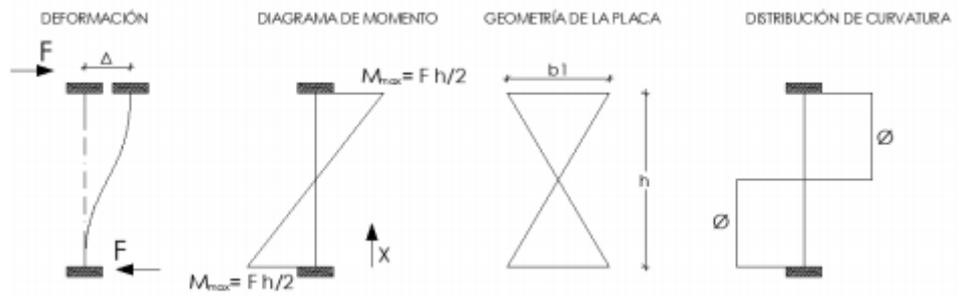


Figura N° 10: Diagrama de deformación, momento, geometría de placa y distribución de curvatura, para un dissipador ADAS.

Fuente: Heresi, 2012

De acuerdo a estos gráficos obtenemos las ecuaciones de momento y la ecuación de la base necesaria en la placa, donde  $b_1$  es el ancho total de la placa y  $b_x$  es la variación de acuerdo a la altura “x” tomada:

$$\text{Ecuación del Momento: } M_{(x)} = M_{max} \left(1 - \frac{2x}{h}\right)$$

$$\text{Ecuación de la base: } b_{(x)} = b_1 \left(1 - \frac{2x}{h}\right)$$

Con conocimientos previos sobre resistencia de materiales podemos conocer la curvatura “ $\phi(x)$ ” para cada altura “x”:

$$\text{Ecuación inicial de curvatura: } \phi_{(x)} = \frac{M_{(x)}}{EI_{(x)}}, \text{ en la cual reemplazamos}$$

los valores mostrados en las ecuaciones anteriores, obteniendo:

$$\phi_{(x)} = \frac{M_{max} \left(1 - \frac{2x}{h}\right)}{E \cdot b_1 \cdot \left(1 - \frac{2x}{h}\right) \cdot \frac{t^3}{12}}$$

Donde t es el espesor de la placa, simplificando obtenemos:

$$\phi_{(x)} = \frac{M_{max}}{E \cdot b_1 \cdot \frac{t^3}{12}} = cte$$

Obteniendo así un valor constante de la curvatura como se muestra en la figura anterior.

Cálculo de la fuerza y desplazamiento de fluencia del dissipador

Para el cálculo del Momento de fluencia  $M_y(x)$  y curvatura de fluencia  $\phi_y$  se utiliza una sección transversal de la placa a una distancia x y se analiza el diagrama de deformaciones. Este corte junto al diagrama se aprecia en la siguiente figura N°11:

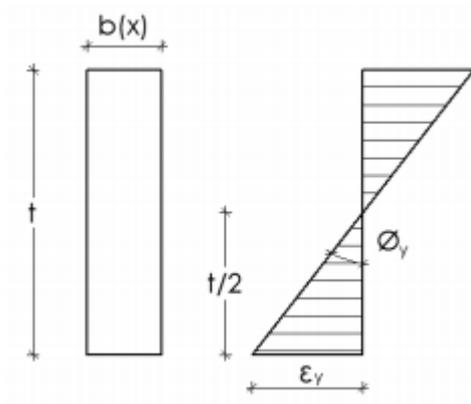


Figura N° 11: Diagrama de deformación en una sección transversal  $b_x$ .

Fuente: Aguiar et al., 2016, p. 20.

Se sabe que el punto de fluencia ocurre al momento de que el acero alcanza el esfuerzo de fluencia  $f_y$  asociado a una deformación de fluencia  $\epsilon_y$ , por lo que de la figura N°11 podemos deducir la siguiente ecuación:

$$\phi_y = \frac{\epsilon_y}{t/2}$$

Por conocimientos previos tenemos que el momento de fluencia  $M_y$  es igual al esfuerzo de fluencia por el momento donde empieza la plastificación  $S_x$ , donde  $S_x$  está definido por:

$$S_x = b_x \cdot \frac{t^2}{6}$$

Entonces tenemos:

$$M_y = f_y \cdot S_x$$

Luego, reemplazamos el valor de  $S_x$ :

$$M_y = f_y \cdot b_x \cdot \frac{t^2}{6}$$

Conociendo que el momento de fluencia es máximo cuando  $b_x = b_1$

$$M_y = f_y \cdot b_1 \cdot \frac{t^2}{6}$$

Del diagrama de momentos presentado en la figura N° 10 se tiene:

$$F_y = \frac{M_{y\max}}{h/2}$$

Se reemplaza el momento máximo de fluencia dentro de la fuerza máxima de fluencia para obtener la siguiente ecuación:

$$F_y = \frac{f_y \cdot b_1 \cdot t^2}{3h}$$

Para obtener el desplazamiento de fluencia integramos dos veces la ecuación de la curvatura:

$$\Delta_y = \int \int \phi_{y(x)} dx$$

$$\Delta_y = \int \phi_{y(x)} x dx$$

$$\Delta_y = \int_0^{h/2} \phi_{y(x)} x dx + \int_{h/2}^h \phi_{y(x)} x dx = 2 \int_0^{h/2} \phi_{y(x)} x dx$$

Al resolver la integral reemplazando el valor de  $\phi_{y(x)}$  obtenemos:

$$\Delta_y = \frac{\varepsilon_y \cdot h^2}{2t}$$

Para obtener el desplazamiento de fluencia en función del límite de fluencia  $f_y = E * \varepsilon_y$  reemplazamos en la ecuación y finalmente se tiene:

$$\Delta_y = \frac{f_y \cdot h^2}{2E \cdot t}$$

ii) Cálculo de la rigidez elástica del disipador

La rigidez elástica del disipador se puede obtener dividiendo la fuerza de fluencia y el desplazamiento de fluencia:

$$K_{dd} = \frac{F_y}{\Delta_y} = \frac{\frac{f_y \cdot b_1 \cdot t^2}{3h}}{\frac{f_y \cdot h^2}{2E \cdot t}}$$

Simplificando obtenemos

$$K_{dd} = \frac{2E \cdot b_1 \cdot t^3}{3h^3}$$

Los cálculos realizados se hicieron despreciando el ancho  $b_2$  ubicado en el centro de la placa, por lo que corresponden a una aproximación de los parámetros elásticos reales de los disipadores. Las ecuaciones exactas las presentan Whittaker et al. (1989) considerando este ancho  $b_2$  y reemplazando el ancho  $b_1$  por un ancho equivalente  $b_{1eq}$ , obtenido

en función de ambos anchos  $b_1$  y  $b_2$ , y son presentados en la siguiente tabla N°3 a manera de resumen:

Tabla N°3 Parámetros Elásticos para los disipadores ADAS.

Parámetro	Valor aproximado	Valor exacto
Fuerza de fluencia	$F_y = \frac{f_y \cdot b_1 \cdot t^2}{3h}$	$F_y = \frac{f_y \cdot b_{eq} \cdot t^2}{3h}$
Desplazamiento de fluencia	$\Delta_y = \frac{f_y \cdot h^2}{2E \cdot t}$	$\Delta_y = \frac{f_y \cdot h^2}{2E \cdot t}$
Rigidez elástica	$K_{dd} = \frac{2E \cdot b_1 \cdot t^3}{3h^3}$	$K_{dd} = \frac{2E \cdot b_{eq} \cdot t^3}{3h^3}$

Fuente: Elaboración Propia (2021)

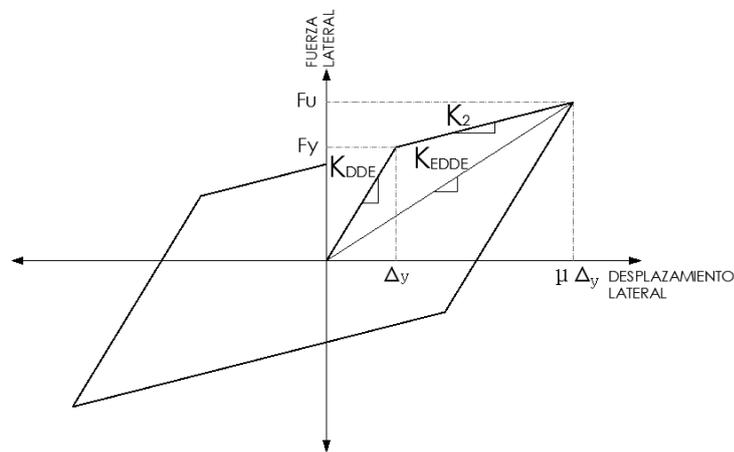


Figura N° 12 Modelo de histéresis bilineal de un disipador ADAS o TADAS.

Fuente: Aguiar et al., 2016, pág. 26.

Como se mencionó en el apartado anterior, se puede considerar de forma simplificada el comportamiento de estos disipadores como bilineal, y de acuerdo a los ensayos realizados por Whittaker *et al.* (1989) se relacionaron las propiedades plásticas de los dispositivos con el diagrama bilineal del mismo, como se puede ver en la figura N° 12.

### 2.3.7. Diseño de disipadores histeréticos metálicos ADAS

Para el predimensionamiento y verificación de los disipadores metálicos tipo ADAS se seguirán los pasos propuestos por Aguiar, Rodríguez y Mora (2016) en su investigación sobre el comportamiento sísmico de estructuras

con disipadores de energía ADAS y TADAS. En esta proponen las siguientes ecuaciones para el pre-diseño:

Determinación de la rigidez total del piso  $K_{total}$

$$K_{total} = \frac{K_{marco}}{\alpha}$$

Rigidez de los arriostres y disipadores KC-D

$$K_{C-D} = K_{total} - K_{marco}$$

Rigidez equivalente de un arriostre y disipador  $K_{eq}$

$$K_{eq} = \frac{K_{C-D}}{N_d},$$

Donde  $N_d$  es el número de disipadores

Rigidez de la diagonal del arriostre  $K_{diagonal}$

$$K_{diagonal} = \frac{K_{eq}[\beta + 2\mu \cos(\theta)^2 + \alpha \cdot \beta(\mu - 1)]}{\beta[1 + \alpha \cdot (\mu - 1)]}$$

Rigidez elástica del disipador  $K_{DDE}$

$$K_{DDE} = \beta \cdot K_{diagonal}$$

Rigidez post-fluencia del disipador  $K_2$

$$K_2 = \alpha \cdot K_{DDE}$$

Rigidez efectiva  $K_{EDDE}$

$$K_{EDDE} = \frac{K_{DDE} + K_2 \cdot (\mu - 1)}{\mu}$$

Desplazamiento de fluencia  $\Delta_y$

$$\Delta_y = \frac{V_u}{\mu \cdot K_{EDDE}}$$

José Carlos Ceja (2012) resume en su tesis este procedimiento acoplado un análisis no lineal mediante el uso de programas de modelamiento:

1. Realizar un análisis pushover del marco a diseñar para determinar su respuesta sísmica (relación fuerza-desplazamiento).
2. Definir un sistema equivalente de un grado de libertad (SE1GL) del marco a diseñar mediante el método N2.
3. Someter el SE1GL a un análisis pushover con un acelerograma, esto permitirá obtener las respuestas tiempo-desplazamientos, tiempo-cortante y cortante-desplazamientos del modelo bajo una excitación sísmica, preferentemente de gran intensidad.

4. Definir las propiedades de los disipadores, para ello es permitido el uso de ecuaciones definidas a partir de pruebas realizadas a disipadores con secciones similares a las que se pretende instalar, así como el uso de las propiedades de disipadores previamente estudiados en laboratorios.
5. Una vez que se han establecido las propiedades de los disipadores estas son añadidas al SE1GL y se procede a realizar un nuevo análisis pushover sometido al mismo acelerograma empleado en el paso 3. De este análisis se comparan las respuestas tiempo-desplazamiento, tiempo-cortante y desplazamiento-cortante de los distintos tipos de disipadores probados en el SE1GL respecto al SE1GL sin disipadores.
6. Definir, según las respuestas sísmicas el disipador más adecuado para el edificio, este será aquel que muestre la mayor reducción de desplazamientos con el menor número de placas usadas para su construcción. Aunque no es función principal de los disipadores también debe considerarse la disminución del cortante absorbido por la estructura para elegir al disipador más adecuado (Ceja, 2012, p. 127).

Adicionalmente, menciona Rojas (2019) en su tesis, la elección de la ubicación y el arreglo necesario dependen de un procedimiento de iteración, teniendo en cuenta la arquitectura del lugar, en el cual los integrantes del proyecto deben analizar la respuesta de la estructura con cada uno de estos. Los arreglos más comunes en la actualidad son la disposición Diagonal y Chevron, pero en el caso de los disipadores metálicos, solo se usa el arreglo chevron. Este arreglo supone la ubicación de los dispositivos en forma paralela al plano o a la viga superior, soportados por 2 arriostres diagonales en la parte inferior los cuales van anclados a las columnas del pórtico, de esta forma los dispositivos absorben directamente las fuerzas laterales provocadas por el sismo, mientras que los brazos diagonales están sometidos a esfuerzos de tracción y compresión.

### 2.3.8. Definición de términos básicos

- a. **Análisis Lineal:** Análisis sísmico en el cual la rigidez y el amortiguamiento se mantienen constantes en el tiempo, por lo que todos los desplazamientos y esfuerzos obtenidos serán proporcionales a la magnitud de las fuerzas aplicadas.
- b. **Análisis no lineal:** Análisis sísmico donde la rigidez y el amortiguamiento y demás propiedades estructurales varían dependiendo del tiempo, deformación y la carga aplicada. Los resultados se vuelven impredecibles al dejar de ser proporcionales a las fuerzas aplicadas.
- c. **Periodo de Vibración:** Parámetro que define el tiempo transcurrido para un ciclo de oscilación.
- d. **Espectro de respuesta:** Gráfico que relaciona aceleración, velocidad o desplazamiento con el periodo de vibración natural del sistema de estudio.
- e. **Amortiguamiento:** Es la capacidad de un cuerpo o sistema de disipar energía cinética en otro tipo de energía, esto va de la mano con la teoría de que todo sistema vibratorio tiene la capacidad de disipar energía.
- f. **Sistema aporticado:** Aquel sistema estructura cuyo elemento principal consiste en columnas y vigas conectados por nodos, formando pórticos resistentes en ambas direcciones.
- g. **Límite de elasticidad:** Es la máxima tensión que un material se puede resistir sin sufrir deformaciones y conserve sus propiedades.
- h. **Ductilidad:** Propiedad del material que tiene la capacidad de deformarse plástica y sosteniblemente, sin reducir su resistencia y sin romperse

## CAPÍTULO III: SISTEMA DE HIPÓTESIS

### 3.1. Hipótesis

#### 3.1.1. Hipótesis General

El refuerzo del edificio multifamiliar de 5 niveles con disipadores de energía metálicos mejorará significativamente su respuesta sísmica reduciendo las deformaciones laterales y derivas de entrepiso durante un sismo.

#### 3.1.2. Hipótesis Específicas

- a. Mediante la implementación de disipadores de energía metálicos en arreglo Chevron se podrá disminuir el periodo de vibración de la estructura entre un 20 y 40%.
- b. Los disipadores de energía metálicos en arreglo Chevron, podrán recibir entre 10% - 40% de energía del sismo.
- c. Mediante la implementación de disipadores de energía tipo Chevron se podrá disminuir los desplazamientos laterales y las derivas de entrepiso entre un 20% - 40%.

### 3.2. Variables de investigación

#### 3.2.1. Variable independiente

Es la variable que produce el efecto o es la causa de la Variable Dependiente. Se la representa por la letra “X”. (Borjas, 2012, pág. 23)  
La variable independiente de esta investigación son los disipadores de energía metálicos en arreglo chevron.

#### 3.2.2. Variable dependiente

Es el resultado o efecto producido por la acción de la variable independiente. Se la representa por la letra “Y”. Así se puede definir la relación  $Y = f(X)$ . (Borjas, 2012, pág. 23)  
La variable dependiente de esta investigación es la respuesta sísmica del edificio multifamiliar, pues esta cambiará al momento de reforzarlo con los disipadores de energía.

## CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

### 4.1. Tipo y nivel de la investigación

#### 4.1.1. Tipo de investigación

Según Borjas (2012), una investigación aplicada busca responder a una problemática real, conociendo y modificando esta para la aplicación inmediata de la solución. La presente investigación fue de tipo aplicada debido a que se utilizarán los conocimientos adquiridos de la investigación del marco teórico para evaluar el comportamiento sísmico del edificio multifamiliar mediante disipadores de energía mediante un análisis no lineal tiempo-historia en el software ETABS v18.0 simulando las condiciones reales.

#### 4.1.2. Nivel de investigación

“El enfoque cuantitativo es secuencial y probatorio. [...]Se analizan las mediciones obtenidas utilizando métodos estadísticos, y se extrae una serie de conclusiones respecto de la o las hipótesis” (Hernández et al., 2010, p. 4).

Según Hernández (2014), las investigaciones de nivel descriptivo se caracterizan por considerar al fenómeno de estudio y sus componentes y detallar cómo son y cómo se manifiestan. De acuerdo a esto, la presente investigación fue de enfoque cuantitativo con nivel descriptivo ya que se desarrollarán los cálculos para el análisis del desempeño estructural de los disipadores de energía mediante un análisis no lineal Tiempo - Historia en el software ETABS v19.0 en una edificación existente, para obtener la respuesta sísmica de la edificación reforzada y compararlos con la respuesta de la edificación actual y contrastar las hipótesis planteadas.

### 4.2. Diseño de la investigación

De acuerdo a Borjas (2012), las investigaciones no experimentales no establecen relaciones causales directas entre dos variables o entre dos elementos. Borjas también menciona que una investigación no experimental puede clasificarse como transversal cuando la problemática es estudiada en un momento determinado del tiempo, sin tomar en cuenta su posible evolución. La presente investigación fue no experimental con diseño transversal. Es no experimental ya que no se manipularán

las variables, y es transversal puesto que la recolección de los datos de la muestra de estudio se realizó en un momento y tiempo determinado.

#### 4.3. Población y muestra

##### 4.3.1. Población

Según Borjas (2012), la población está referida a todos los elementos que serán motivo de estudio para la investigación. La presente investigación tiene como población a todos los edificios regulares que cuentan con un sistema estructural basado en pórticos de concreto armado de 5 niveles, similares al edificio multifamiliar, ubicados en Los Olivos.

##### 4.3.2. Muestra

Según Borjas (2012), la muestra de la investigación debe ser una parte representativa del grupo a estudiar sobre la cual se recolectarán los datos y se presentarán los resultados a extrapolar en la población. En esta investigación la muestra fue seleccionada por un muestreo no probabilístico, por conveniencia, la cual es un edificio de 5 pisos ubicado en el distrito de Los Olivos - Lima, destinado a uso de vivienda y diseñado en un estructural basado en pórticos de concreto armado, el cual se modelará y se le añadirá un refuerzo con disipadores de energía metálicos para observar el desempeño en edificaciones similares en la zona de estudio.

#### 4.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

##### 4.4.1. Tipos y técnicas de instrumentos

###### i) Técnicas

Según Borjas (2012), las técnicas a usarse para recolectar la totalidad de evidencia de campo, se deben anunciar todos los formatos utilizados en esta tarea.

Las técnicas utilizadas para la investigación fue la recopilación de los datos del edificio multifamiliar de 5 niveles ubicado en los Olivos, obteniendo los planos de estructuras del mismo. También se recopiló información de fuentes bibliográficas confiables sobre el análisis y diseño de sistemas de disipación de energía metálicos. Esta información fue obtenida de diversas tesis e investigaciones realizadas sobre este tema.

## ii) Instrumentos

Los instrumentos de medición para las variables del presente trabajo de investigación son los siguientes:

- Norma técnica peruana E0.30 “Diseño sismorresistente”
- Norma técnica peruana E0.20 “Cargas”
- ASCE 7-16 “Evaluación sísmica y reacondicionamiento de edificios”
- Manual HAZUS
- ETABS V19.0
- SEISMOMATCH v1.3.0
- SEISMOSIGNAL v4.3.0

### 4.4.2. Criterios de validez y confiabilidad de los instrumentos

Los instrumentos que se utilizarán para el modelamiento y el análisis sísmico serán el software ETABS 19.0, desarrollado por *Computers and Structures*, empresa líder en el desarrollo de softwares para el modelamiento estructural de edificaciones tanto en concreto armado como en acero. Además, los softwares utilizados para el filtrado y escalado de los acelerogramas para el análisis tiempo-historia fueron SEISMOMATCH v.1.3.0 y SEISMOSIGNAL v.4.3.0, ambos programas elaborados por SEISMOSOFT, empresa líder internacional que provee acceso a diferentes herramientas para el análisis sísmico.

Adicionalmente, se seguirá lo establecido en las Normas Técnicas Peruanas, tanto la E0.20 para la definición de las cargas como la E0.30 para el análisis estático y modal, así como también los lineamientos de los manuales ASCE 7-16 y FEMA 356 para el análisis de la estructura con y sin el sistema de control pasivo.

### 4.4.3. Procedimiento para la recolección de datos

Para el modelamiento inicial se utilizarán los datos obtenidos de los planos de la edificación, y gracias al software ETABS v19.0 se identificarán las zonas más vulnerables para el posterior refuerzo. Para la realización de un análisis tiempo-historia se obtendrán los registros sísmicos del Centro Peruano Japonés de Investigaciones y Mitigaciones de Desastres (CISMID), así como los parámetros establecidos en el Reglamento Nacional de

Edificaciones en la Norma Técnica E030 Diseño Sismorresistente. Finalmente, para el diseño de los parámetros de los disipadores de energía metálicos se tomarán como referencia las investigaciones presentadas en los antecedentes, así como las normas internacionales ASCE y HAZUS. Finalmente se realizará el modelamiento de la edificación presentada implementando los disipadores como refuerzo estructural para obtener los datos finales y compararlos con los resultados obtenidos con el primer modelamiento.

El proyecto se puede resumir en los siguientes pasos:

- Análisis sísmico de la edificación sin protección sísmica
- Definición de los elementos estructurales con mayor sollicitación
- Ubicación de los dispositivos de disipación de energía en los pórticos
- Definición de los parámetros y propiedades de los dispositivos
- Análisis sísmico tiempo-historia de la edificación con los disipadores de energía
- Análisis no Lineal de los disipadores
- Diseño de los elementos de acero
- Discusión de los resultados

Los resultados obtenidos se presentarán en tablas técnicas para poder realizar una comparación entre la respuesta de la estructura con y sin refuerzo sísmico (desplazamientos, derivas, periodos y fuerzas cortantes).

## CAPÍTULO V: APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA

### 5.1. Consideraciones iniciales

La estructura comprende 5 niveles y una azotea, y cada nivel ocupa un área de 355.8 m<sup>2</sup>, siendo la altura total del proyecto de 32.50 metros, con una altura típica de entrepiso de 3.50 metros y 4.20 metros en la planta base. El edificio tiene una configuración estructural de pórticos de concreto armado en ambas direcciones con muros de concreto armado en la caja de ascensor. Todos los pisos presentan una configuración típica con losas aligeradas de 0.20 m, en cuanto a las vigas, cuenta con vigas con 20 cm de peralte, las cuales rodean la estructura, y una configuración de vigas chatas que se encargan de conectar los elementos estructurales.

### 5.2. Modelamiento y análisis sísmico inicial sin refuerzo de disipadores

En la figura N°13 se muestra el modelo analítico de la edificación modelado en 3D en el software ETABS v19.

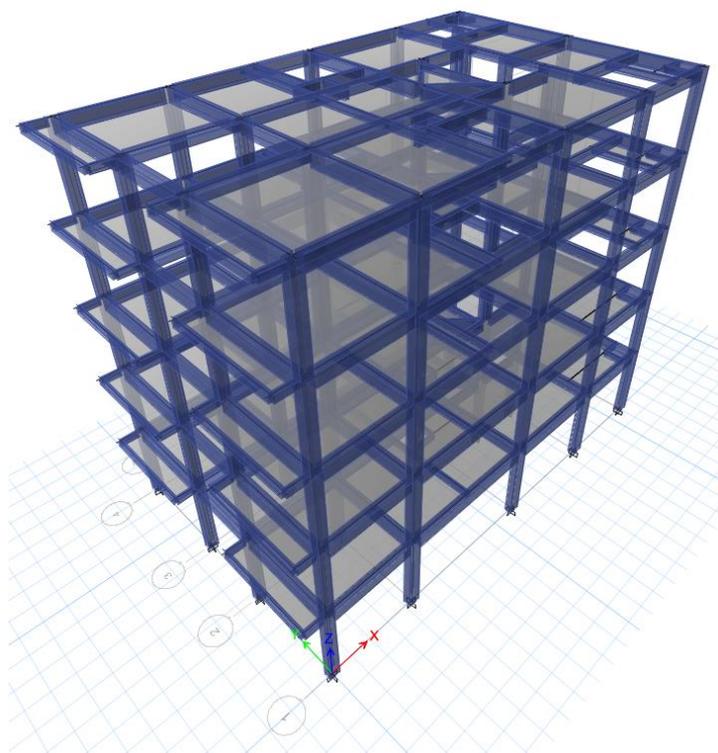


Figura N° 13: Modelo en 3D de la estructura en el software ETABS 2019.

Fuente: Elaboración propia utilizando el software ETABS v19

El modelo inicial mostrado en la figura N° 13 corresponde a los planos mostrados en los Anexos, sin la adición de los disipadores de energía, donde se puede apreciar que el sistema estructural está enteramente conformado por pórticos.

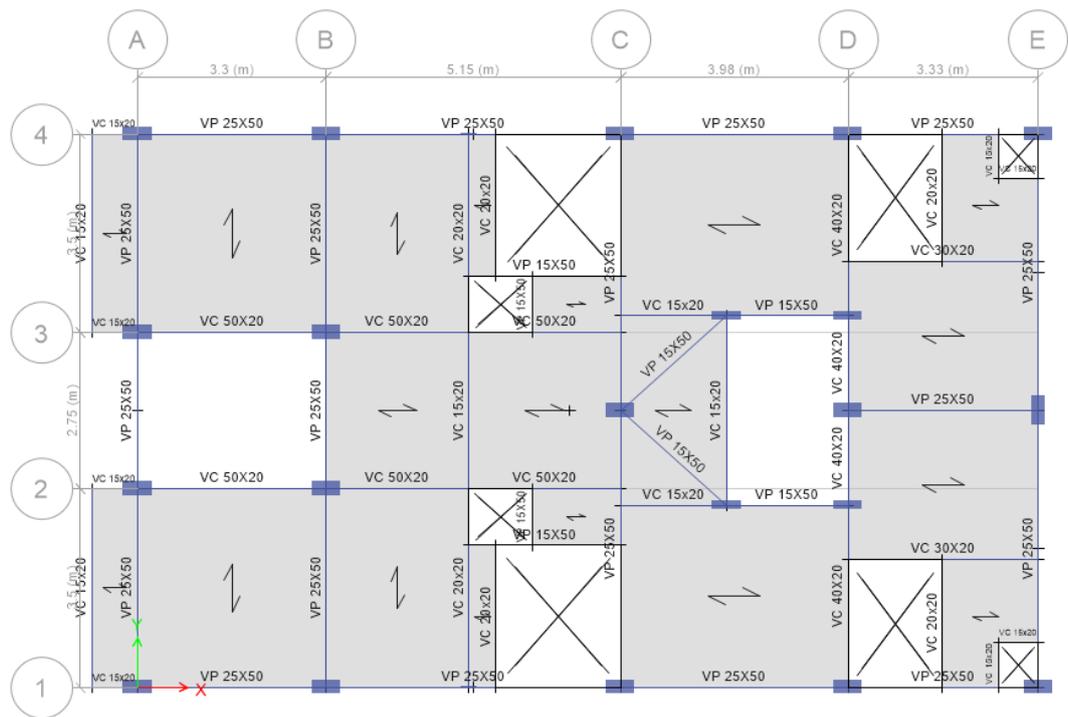


Figura N° 14 Vista de una planta típica de la estructura en el software ETABS 2019.

Fuente: Elaboración propia utilizando el software ETABS v19

En la figura N°14 se muestra la planta típica de la edificación, donde se muestra la distribución de los elementos estructurales y las medidas asignadas. Se observa que el sistema está conformado en su mayoría por vigas chatas de 20 cm de alto y solo presenta vigas con 30 cm de peralte alrededor del perímetro.

### 5.3. Propiedades de los materiales

En la tabla N°4 se presenta un resumen de las propiedades de los materiales asumidos para el análisis de la estructura.

Tabla N°4: Resumen de las propiedades mecánicas de los materiales

Material	Propiedad	Valor	Unidades
Concreto Armado	Resistencia a la compresión $f'c$	210	kg/cm <sup>2</sup>
	Módulo de elasticidad $E_c$	218819.8	kg/cm <sup>2</sup>
	Peso Específico $\gamma$	2400	kg/m <sup>3</sup>
	Coefficiente de Poisson $\nu$	0.15	
Acero	Esfuerzo de fluencia $F_y$	4200	kg/cm <sup>2</sup>
	Módulo de elasticidad $E_s$	$2 \times 10^6$	kg/cm <sup>2</sup>

Fuente: Elaboración propia (2021)

#### 5.4. Consideraciones para el análisis sismorresistente

##### 5.4.1. Cargas

En la siguiente tabla N°5 se resumen las cargas empleadas para el análisis:

Tabla N°5: Cargas de diseño consideradas para el análisis sismorresistente

Carga	Valor	Unidades
Peso propio de la losa	300	kg/m <sup>2</sup>
Peso de piso terminado	100	kg/m <sup>2</sup>
Peso propio de la tabiquería	100	kg/m <sup>2</sup>
Sobrecarga piso típico	500	kg/m <sup>2</sup>
Sobre carga de azotea	100	kg/m <sup>2</sup>

Fuente: Elaboración propia (2021)

Las cargas consideradas para el diseño fueron obtenidas de la vigente Norma Técnica Peruana E.020 “Cargas”.

##### 5.4.2. Parámetros de diseño sismorresistente

Para el análisis espectral la norma E.030 establece los parámetros que varían de acuerdo al sistema estructural y a la ubicación de la edificación. Para la presente investigación se utilizarán los siguientes parámetros:

- Factor de zona (Z): La edificación está ubicada en la costa peruana, en la ciudad de Lima, por lo que le corresponde un factor Z de 0.45g.
- Factor de amplificación de suelo (S): de acuerdo a las especificaciones de suelo del expediente técnico el suelo se construirá sobre grava típica de Lima, un suelo muy rígido, por lo que el valor de S será 1.
- Factor de uso(U): Ya que la edificación es utilizada como una vivienda multifamiliar se usa el factor de uso 1.
- Factor de reducción por ductilidad(R): El sistema estructural empleado es de pórticos de concreto armado, por lo que el valor de R0 es de 8, y ya que la vivienda no presenta irregularidades ni en planta o en elevación, el valor total de R será 8.

- Factor de amplificación sísmica(C): Ya que se realizará un análisis espectral y un análisis tiempo historia, el valor de C variará dependiendo del periodo de la estructura. La obtención de este espectro realizado con los valores de la norma E030 se muestra en la siguiente figura N°15:



Figura N° 15: Espectro de respuesta E.0.30.

Fuente: Elaboración propia utilizando el software ETABS v19

A continuación, se resumen los parámetros sísmicos empleados en el análisis:

Tabla N°6: Resumen de Parámetros sísmicos empleados en el análisis

Factor	Valor
Z	0.45
U	1
S	1
C	VARIABLE
R	8

Fuente: Elaboración Propia (2021)

#### 5.4.3. Registros de aceleración sísmica usados

De acuerdo a la norma peruana de Diseño Sismorresistente E.030, se utilizaron 3 registros sísmicos correspondientes a la zona de estudio para el análisis de la estructura. Se dividió cada registro sísmico en las direcciones este-oeste y norte-sur para una respuesta más precisa.

Se utilizó el programa SEISMOSIGNAL v4.3.0 para correcciones de línea base y filtrado. Este proceso es utilizado para evitar la desviación de los acelerogramas respecto al eje, aplicando al acelerograma una corrección punto a punto igual al promedio aritmético del registro y El proceso de filtrado es empleado para remover componentes frecuenciales no deseados para una señal dada, el ruido de baja y alta frecuencia que se presenta en los sitios de registro, debido a factores como el paso de automóviles, ruido ambiental, etc. Esto produce que a la señal original se superponga otra señal de cierto nivel que puede ocultar características significativas de la misma (Chavez, 2017).

El programa SEISMOMATCH v1.3.0 se utilizó para realizar ajustes y el escalamiento del registro sísmico al espectro objetivo previo usado en el análisis modal espectral con  $R = 1$ .

De acuerdo al código de cargas ASCE 7-16, se debe usar mínimo 7 registros sísmicos, de los cuales se toma el promedio. De igual manera, el código permite el uso de menos de 7 registros sísmicos, pero no menor a 3, en cuyo caso se tomarán los resultados máximos de dichos registros. Una vez obtenidos los 3 pares de acelerogramas escalados al espectro objetivo estos son ingresados al programa ETABS para realizar el análisis Tiempo-Historia. Estos registros sísmicos son utilizados tanto para el análisis inicial de la estructura como para el análisis final de la estructura con los disipadores metálicos adicionados, con la finalidad de verificar la efectividad de los dispositivos comparando los resultados de ambos ensayos. Los acelerogramas debidamente escalados y filtrados se muestran en las siguientes figuras N°16, 17 y 18.

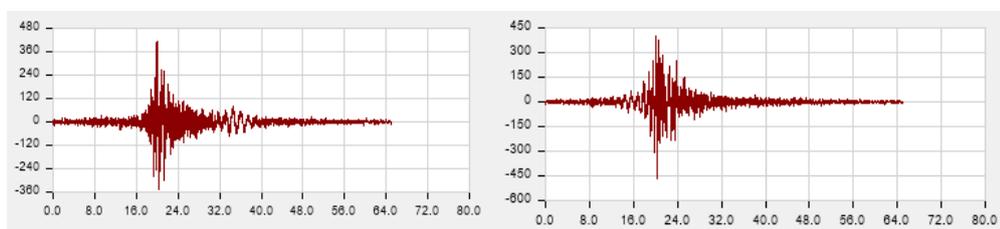


Figura N° 16: Registro de aceleraciones Este-Oeste(izq.), registro de aceleraciones Norte-Sur(der.), para el sismo de 1966.

Fuente: Elaboración propia.

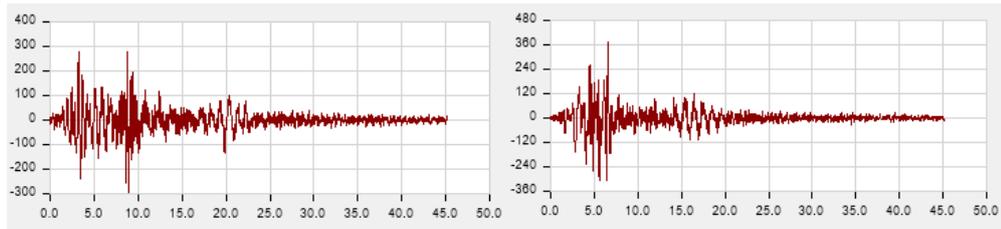


Figura N° 17: Registro de aceleraciones Este-Oeste(izq.), registro de aceleraciones Norte-Sur(der.), para el sismo de 1970.

Fuente: Elaboración propia.

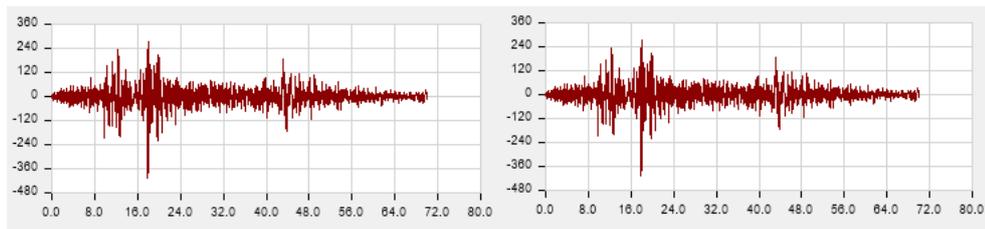


Figura N° 18: Registro de aceleraciones Este-Oeste(izq.), registro de aceleraciones Norte-Sur(der.), para el sismo de 1974.

Fuente: Elaboración propia.

#### 5.4.4. Análisis lineal de la estructura sin protección sísmica

##### i) Resultados del análisis estático

Con los parámetros resumidos a continuación en la tabla N°7, se realizó el análisis estático.

Tabla N°7: Cálculo del peso de la edificación

PISO	MASA	Área	Peso por m2	Peso por nivel
PISO 5	10.61	125.37	0.83	104.13
PISO 4	11.76	125.37	0.92	115.32
PISO 3	11.76	125.37	0.92	115.32
PISO 2	12.47	139.61	0.98	122.35
PISO 1	12.55	139.61	0.98	123.08
TOTAL	59.14	655.33	4.63	580.20

Fuente: Elaboración Propia (2021)

De acuerdo a la ecuación presentada por la norma peruana sismorresistente E030 el valor de la fuerza cortante basal está dado por

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

Para el modelo de estudio se obtuvo que  $V = 38.38$  Ton.

ii) Resultados del análisis dinámico modal espectral

Se realizó un análisis espectral considerando 3 grados de libertad por piso. Siguiendo los lineamientos de la norma E.030, se asignó una masa sísmica con el 100% de la carga muerta y el 50% de la carga viva. El espectro utilizado fue el presentado en la figura N° 15 para la variación del valor C de acuerdo al periodo, y los resultados de las derivas se presentan en las siguientes tablas N°8 y N°9:

Tabla N°8: Derivas de entrepiso obtenidas del análisis dinámico modal espectral sin disipadores de energía en el eje X.

PISO	DERIVA X	*0.75R	< 0.007
Story5	0.0004	0.0025	CUMPLE
Story4	0.0007	0.0040	CUMPLE
Story3	0.0009	0.0052	CUMPLE
Story2	0.0010	0.0059	CUMPLE
Story1	0.0007	0.0044	CUMPLE

Fuente: Elaboración Propia (2021)

Tabla N°9: Derivas de entrepiso obtenidas del análisis dinámico modal espectral sin disipadores de energía en el eje Y.

PISO	DERIVA Y	*0.75R	< 0.007
Story5	0.0005	0.0032	CUMPLE
Story4	0.0009	0.0055	CUMPLE
Story3	0.0012	0.0074	NO CUMPLE
Story2	0.0015	0.0088	NO CUMPLE
Story1	0.0013	0.0079	NO CUMPLE

Fuente: Elaboración Propia (2021)

De los resultados mostrados en las tablas N°8 y N°9 se observa que las derivas obtenidas exceden el límite máximo planteado por la norma peruana de Diseño Sismorresistente E.030, la cual para el caso de estudio es 0.007. La cortante basal obtenida como resultado del análisis

dinámico espectral fue  $V_{dinX} = 49.45$  Tonf y  $V_{dinY} = 35.92$  Tonf. La norma E.030 indica en el artículo 29.4 que, para cada una de las direcciones consideradas en el análisis, la fuerza cortante en el primer entrecosto del edificio no puede ser menor que el 80% del valor calculado.

Tabla N°10 Cortante dinámico vs cortante estático

	Cortante basal X(Tonf)	Cortante basal Y(Tonf)
SISMO ESTÁTICO	38.38	38.38
SISMO DINÁMICO X	49.45	10.78
SISMO DINÁMICO Y	14.84	35.92
$V_{din}/V_{est}$ *	1.288	0.935
100		
%	129%	94%

Fuente: Elaboración Propia (2021)

De la tabla N°10 se obtiene que las cortantes en la base obtenidas del sismo dinámico son mayores al 90% que establece como mínimo la norma, por lo que no es necesario realizar ningún tipo de escalamiento en las cortantes.

iii) Resultados del análisis tiempo historia

Luego del análisis tiempo-historia de la estructura sin disipadores, se obtuvieron las siguientes derivas:

Tabla N°11: Derivas máximas en la dirección X para cada sismo del análisis inicial sin disipadores.

Piso	66	70	74
Story5	0.0036	0.0037	0.0036
Story4	0.0057	0.0057	0.0055
Story3	0.0074	0.0074	0.0070
Story2	0.0077	0.0080	0.0076
Story1	0.0050	0.0056	0.0052

Fuente: Elaboración Propia (2021)

Tabla N°12: Derivas máximas en la dirección Y para cada sismo del análisis inicial sin disipadores.

Piso	66	70	74
Story5	0.0041	0.0048	0.0039
Story4	0.0074	0.0078	0.0070
Story3	0.0100	0.0092	0.0096
Story2	0.0112	0.0088	0.0112
Story1	0.0098	0.0081	0.0102

Fuente: Elaboración Propia (2021)

De los resultados obtenidos en las tablas N°11 y N°12 se observa que, para cada sismo de estudio, se exceden las derivas máximas planteadas por la normativa peruana, el cuál es 0.007 para viviendas de concreto armado, sobre todo en el eje Y el cual muestra derivas de hasta 0.0112.

#### 5.5. Objetivos de desempeño y niveles de peligro

Con el fin de reducir el nivel de daño en las estructuras durante un evento sísmico y dar protección a los habitantes de estas, la normativa de diseño sismo resistente E.030 establece:

- La estructura no debería colapsar ni causar daños graves a las personas, aunque podría presentar daños importantes, debido a movimientos sísmicos calificados como severos para el lugar del proyecto.
- La estructura debería soportar movimientos del suelo calificados como moderados para el lugar del proyecto, pudiendo experimentar daños reparables dentro de límites aceptables.
- Para las edificaciones esenciales, se debería tener consideraciones especiales orientadas a lograr que permanezcan en condiciones operativas luego de un sismo severo.

Para la elección de la deriva objetivo de esta investigación se ha tomado en cuenta las distorsiones máximas propuestas por la normativa HAZUS en el capítulo 5, mostradas en la tabla N°1 de la presente investigación, donde el manual propone el nivel de desempeño o distorsión de entrepiso que debe presentar una edificación aporticada de 5 pisos para no presentar daños significativos frente a diferentes

niveles de diseño sísmico. En base a estos valores propuestos, una deriva de 0.0058 corresponde a un daño moderado, mientras que una deriva de 0.0033 corresponde a un daño leve. Dado que los acelerogramas utilizados en esta investigación pertenecen a sismos de gran magnitud, se escogió la deriva de 0.0058.

En base a la relación entre la deriva objetivo planteada y a la máxima deriva obtenida del análisis tiempo historia inicial de la estructura sin disipadores, se obtiene un factor “Bmd” que nos permite calcular el amortiguamiento efectivo en cada dirección de estudio, presentado por la siguiente ecuación:

$$Bmd = \frac{Deriva_{max}}{Deriva_{objetivo}}$$

Donde se tiene, para cada dirección de estudio:

$$Bmd_x = 1.42, Bmd_y = 1.93$$

Luego de obtener el valor de Bmd, se encuentra el amortiguamiento efectivo por medio de la ecuación:

$$Bmd = \frac{2.31 - 0.41 * \ln(B_0)}{2.31 - 0.41 * \ln(B_{eff})}$$

Donde B0 es el valor del amortiguamiento inherente que por norma es 5%.

Reemplazando los valores de Bmd en la ecuación se obtiene:

$$B_{effx} = 16.44; B_{effy} = 34.8$$

Adicionalmente, la norma FEMA 356 en el capítulo II establece el valor máximo del amortiguamiento efectivo como 35% para los dispositivos de disipación pasiva, por lo que ambos valores están dentro del rango.

## 5.6. Diseño preliminar del sistema de amortiguamiento

### 5.6.1. Propiedades mecánicas del material ADAS

Se utilizará de referencia para los cálculos de los disipadores metálicos un acero ASTM A-36 con las siguientes propiedades mecánicas descritas en el AISC 360 y resumidas en la tabla N°13:

Tabla N°13: Propiedades mecánicas del Acero A36.

Material	Propiedad	Valor	Unidades
Acero A36	Esfuerzo de fluencia $f_y$	250000	kN/m <sup>2</sup>
	Módulo de elasticidad E	$2 \times 10^8$	kN/m <sup>2</sup>

Fuente: Elaboración Propia (2021)

#### 5.6.2. Pre dimensionamiento de las placas del disipador ADAS

A diferencia de los disipadores de fluido viscoso, los cuales tienen un catálogo predefinido con sus dimensiones y resistencias, los disipadores metálicos son modelados y diseñados como elementos metálicos por lo que no se tienen dimensiones fijas, sin embargo, para un dimensionamiento inicial de las placas del disipador se utilizarán las dimensiones mínimas propuestas por Aguiar, Rodríguez y Mora (2016), donde considera una altura de 30 cm para el disipador y una base de 15 cm, con un espesor de 25mm.

#### 5.6.3. Demanda sísmica inicial

Del análisis dinámico reglamentario de la estructura sin disipadores se determinaron las derivas de entrepiso mostradas en las tablas N° 9 y 10, y se determinaron las cortantes basales, las cuales son mostradas para ambas dimensiones en las siguientes figuras:

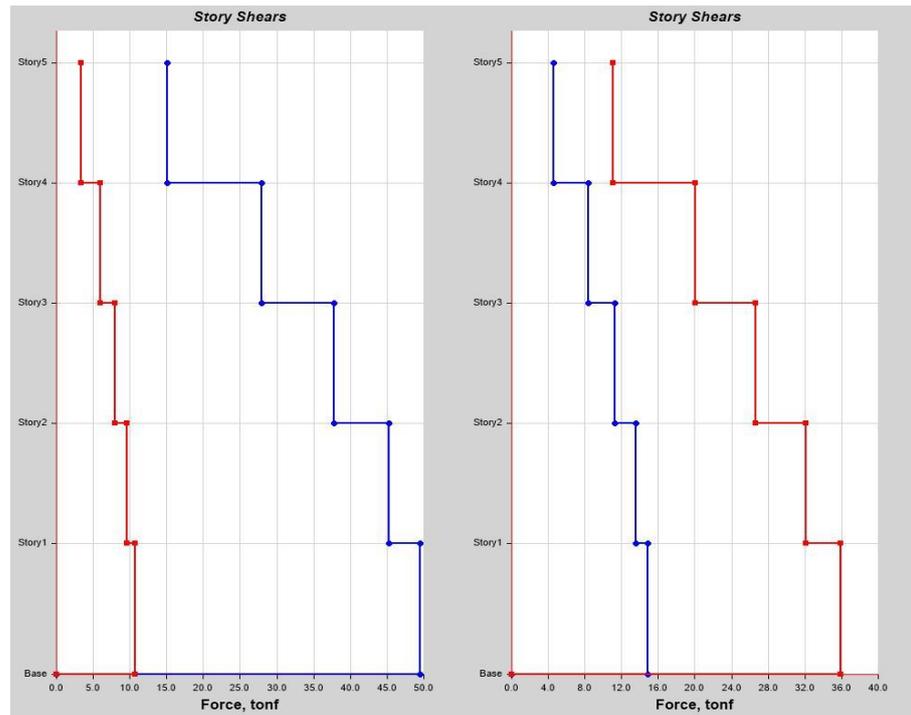


Figura N° 19 Fuerza cortante por piso para un análisis dinámico sin disipadores, en la dirección X-X(izq.) y en la dirección Y-Y(der.)

Fuente: Elaboración propia utilizando el software ETABS v19

Adicionalmente, se modeló la edificación con los disipadores ubicados como elementos tipo *frame* para obtener el cortante que tomarán estos y poder realizar los cálculos necesarios para el diseño. Se tomaron en cuenta las combinaciones de carga presentadas en la norma E060 con un sismo dinámico tanto para el eje X como para el eje Y. En las figuras N° 20, 21 y 22 se muestra este segundo modelamiento y los resultados del cortante que tomaría cada disipador.

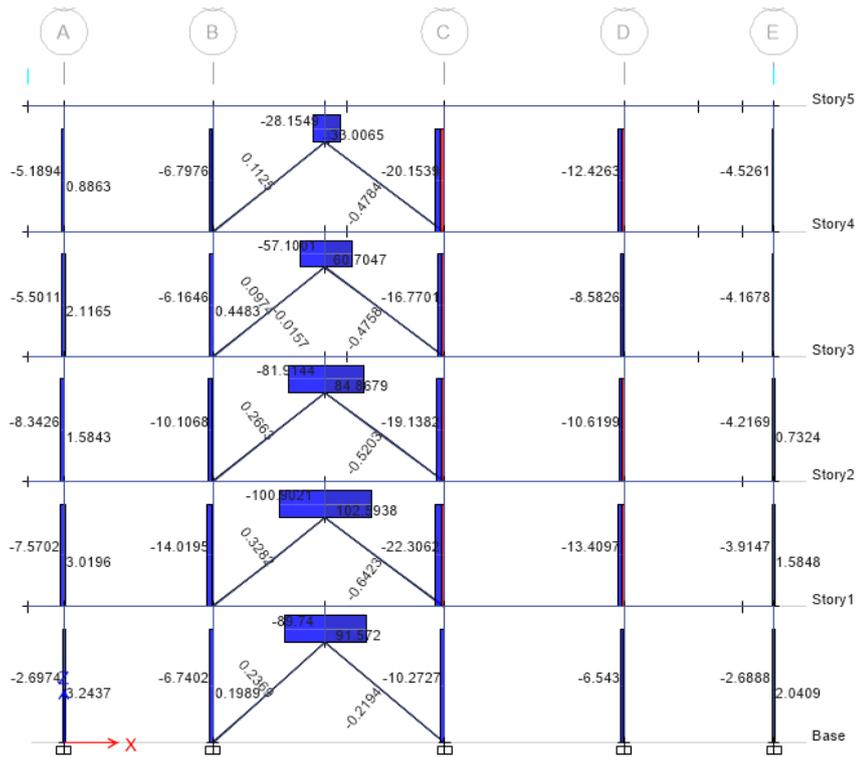


Figura N° 20: Modelamiento de los disipadores con elementos FRAME.  
Eje 1.

Fuente: Elaboración propia utilizando el software ETABS v19

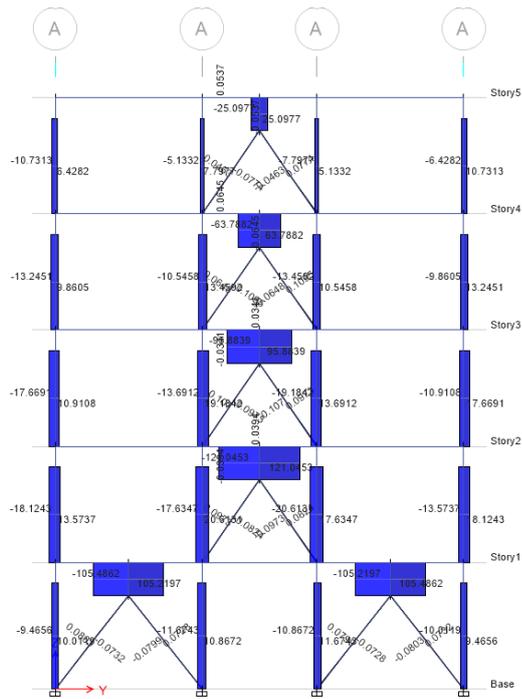


Figura N° 21: Modelamiento de los disipadores con elementos FRAME.  
Eje A.

Fuente: Elaboración propia utilizando el software ETABS v19

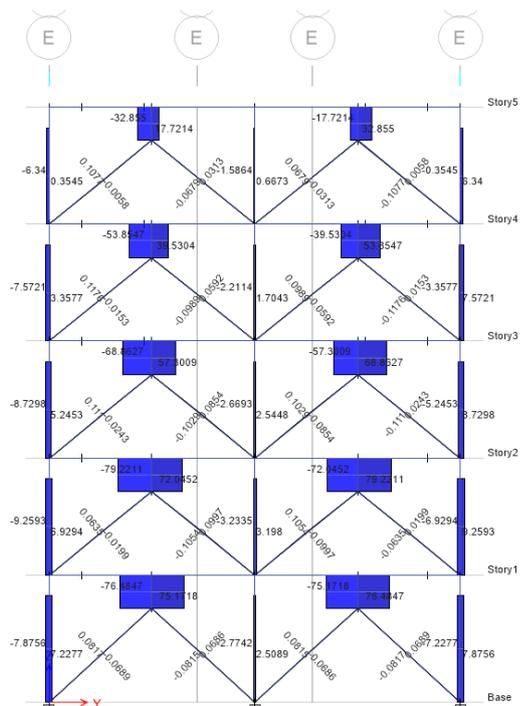


Figura N° 22: Modelamiento de los disipadores con elementos FRAME.  
Eje E.

Fuente: Elaboración propia utilizando el software ETABS v19

Debido a la geometría, se tienen ángulos diferentes en Y pues las dimensiones de los sistemas aporticados son diferentes en el eje A y en el eje E. Así mismo, debido a que la altura de entrepiso es mayor en el primer piso, se tiene un ángulo diferente en este, por lo que se toma en cuenta al observar el cortante máximo para cada disipador en la tabla N°14 mostrada a continuación, donde se muestran los resultados para cada disipador, donde para el diseño se utilizarán los valores máximos.

Tabla N°14: Cortante máximo para cada disipador.

	Cortante máximo
Disipador X PRIMER PISO	91 kN
Disipador Y EJE A 1r piso	105 kN
Disipador Y EJE E PRIMER PISO	76 kN
Disipador X PISO TÍPICO	103 kN
Disipador Y EJE A piso típico	121 kN
Disipador Y EJE E Piso Típico	76 kN

Fuente: Elaboración Propia (2021)

#### 5.6.4. Parámetros del modelo

De acuerdo a la metodología presentada por Tena & Nagullasmú (2013), se utilizarán los valores frecuentes para los parámetros iniciales de los disipadores resumidos en la Tabla N°15:

Tabla N°15: Parámetros iniciales para el cálculo de Rigideces de los disipadores.

Parámetros	Valores
$\beta$	0.25
$\alpha_1$	0.05
$\mu$	11

Fuente: Elaboración Propia.

Estos valores relacionan cada uno los parámetros estructurales de los disipadores para que el marco de concreto se mantenga elástico y los disipadores de energía sean los que concentren las deformaciones inelásticas (Tena & Nagullasmú, 2013, pág 4).

Una de estas es la variable  $\beta$ , la cual representa la proporción de la rigidez lateral elástica del disipador de energía (KDDE) con la rigidez lateral de los contravientos de soporte ( $K_{diag}$ ). La segunda es la variable  $\alpha_1$ , la cual relaciona la rigidez del disipador de energía (KDDE) con la Rigidez post fluencia del disipador ( $K_2$ ). El último valor  $\mu$  es el de la ductilidad, la cual relaciona el desplazamiento de fluencia con el desplazamiento último.

#### 5.6.5. Procedimiento de cálculo

Con las dimensiones iniciales de los disipadores y las propiedades mecánicas del material se calculó la fuerza de fluencia de una plancha del disipador  $F_y$ , de acuerdo a las ecuaciones mostrada en la tabla N°3 del marco teórico:

$$F_y = \frac{f_y \cdot b_1 \cdot t^2}{3h} = 26.354 \text{ kN}$$

El desplazamiento de fluencia es constante para todos los disipadores, ya que depende solo de la geometría de las placas y las propiedades mecánicas del material, por lo que se este se calcula de acuerdo a la ecuación presentada previamente en la tabla N° 3:

$$\Delta_y = \frac{f_y \cdot h^2}{2E \cdot t} = 0.0022 \text{ m}$$

La fuerza cortante de fluencia para cada disipador se calcula con la ecuación mostrada en la tabla N°3. Para la cantidad mínima de planchas se divide la cortante de fluencia entre el esfuerzo de fluencia, y con el número final de planchas se obtiene la fuerza de fluencia en todo el disipador.

De los cálculos previos para la cantidad mínima de planchas se obtiene que se trabajarán 2 diseños diferentes: con 4 planchas metálicas y con 5 planchas metálicas. Estos resultados se resumen en la siguiente tabla N° 16:

Tabla N°16: Cantidad de placas por cortante y fuerza de fluencia

	Cortante máximo	Cantidad mínima de placas	Número total de placas	Fuerza de fluencia en todo el disipador
Disipador X PRIMER PISO	91 kN	3.30	4	104.17
Disipador Y EJE A 1r piso	105 kN	3.93	4	104.17
Disipador Y EJE E PRIMER PISO	76 kN	3.07	4	104.17
Disipador X PISO TÍPICO	103 kN	3.94	5	130.21
Disipador Y EJE A piso típico	121 kN	4.05	5	130.21
Disipador Y EJE E Piso Típico	76 kN	3.07	4	104.17

Fuente: Elaboración Propia (2021)

Siguiendo la metodología propuesta en el marco teórico por Aguiar, Rodríguez y Mora (2016) y José Carlos Ceja (2012) se presenta la siguiente tabla N°17 con los cálculos realizados para la rigidez efectiva de cada disipador, así como la rigidez elástica para los disipadores con 4 y 5 planchas, dato a ingresar al ETABS para el modelo del dispositivo como tipo link.

Tabla N°17: Parámetros de los disipadores

	Disipador X PRIMER PISO	Disipador Y EJE A piso típico
Ángulo del marco chevron	42°	55.3°
Rigidez elástica del ADAS	46296.30 KN/m	57870.37 KN/m
Fuerza última en el disipador	156.25 KN	195.31 KN
Rigidez post fluencia del disipador	2314.81 KN/m	2893.52 KN/m

Desplazamiento último	0.0248 m	0.0248 m
Ductilidad del ADAS	11.00	11.00
Rigidez efectiva del disipador	6313.13 KN/m	7891.41 KN/m

Fuente: Elaboración Propia

De esta forma, obtenemos los datos a ingresar al ETABS para modelar los elementos tipo link con 4 y 5 planchas:

Tabla N°18: Parámetros mecánicos de los disipadores ADAS con 5 y 4 planchas metálicas.

Parámetros para ADAS de 5 planchas		Parámetros para ADAS de 4 planchas	
K1	57870.37 KN/m	K1	48611.11 KN/m
ratio	0.05	ratio	0.05
Fy	130.21 KN	Fy	104.17 KN

Fuente: Elaboración Propia (2021)

### 5.7. Diseño del brazo metálico

Se obtiene la rigidez mínima del brazo metálico como:

$$K_{brmin} = \frac{K_1}{\beta}$$

Obteniendo como resultado  $K_{brmin1} = 185185.19kN/m$  para los disipadores con 4 planchas metálicas y  $K_{brmin2} = 231481.48kN/m$  para los disipadores con 5 planchas metálicas. Para el estudio se utilizará un perfil “Steel Pipe” de espesor 0.01m y diámetro exterior 0.2m. Las propiedades del acero serán las mismas que las planchas ADAS, acero A36. El área mínima del brazo metálico será:

$$A_{brmin} = \frac{L_{diagonal} * K_{brmin}}{E}$$

Donde se obtiene que el área mínima, para ambos casos de 4 y 5 planchas, es 25.11 cm<sup>2</sup>, por lo que el área supuesta, la cual consta de un área de 30.63 cm<sup>2</sup> es correcta.

### 5.8. Actualización del modelo estructural con disipadores ADAS

Con la geometría prediseñada y con los cálculos de rigidez ya obtenidos se procedió a actualizar el modelo estructural agregando elementos tipo Link para los disipadores. Para el análisis se empleó un análisis tiempo historia no lineal de los sismos mencionados en el capítulo anterior para la posterior verificación de resultados. El modelamiento con los disipadores de energía se muestra en las siguientes figuras N°23, 24 y 25.

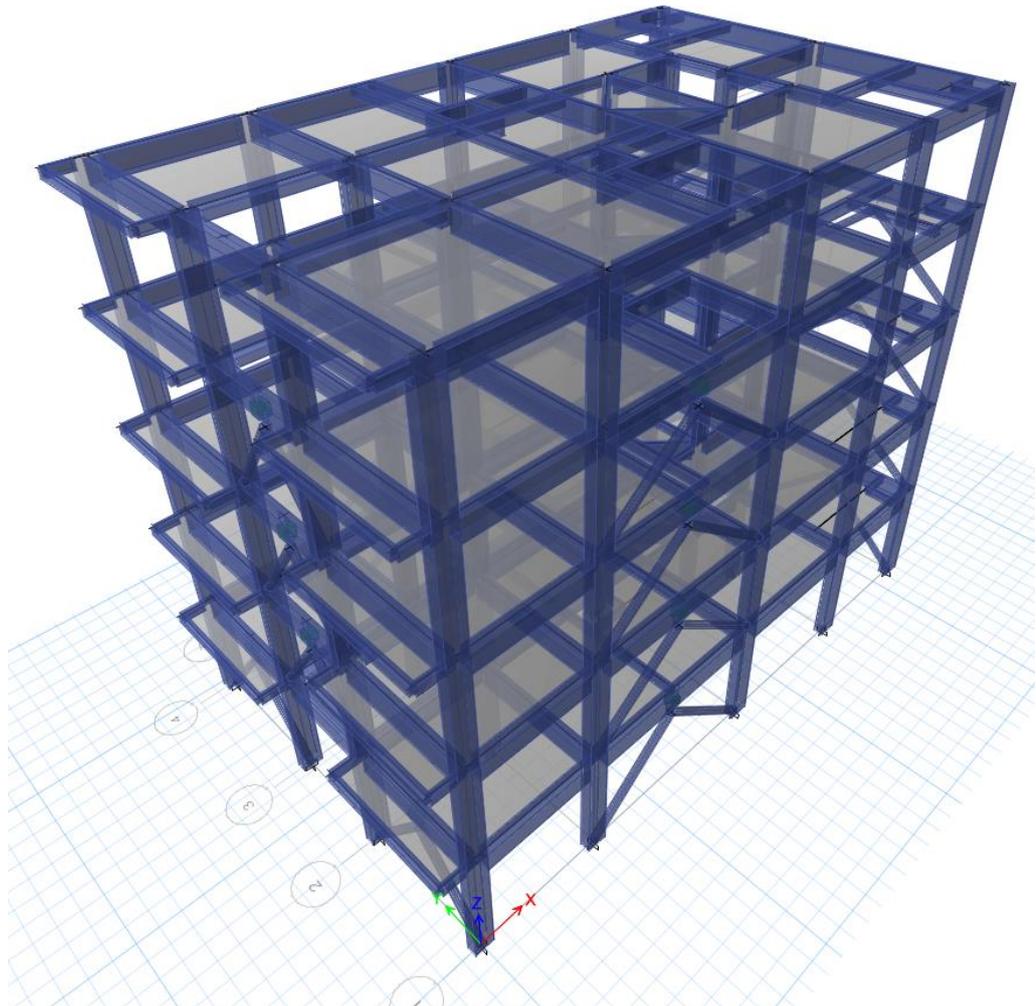


Figura N° 23: Modelo en 3D de la estructura con el sistema de disipación de energía en el software ETABS 2019.

Fuente: Elaboración propia utilizando el software ETABS v19.

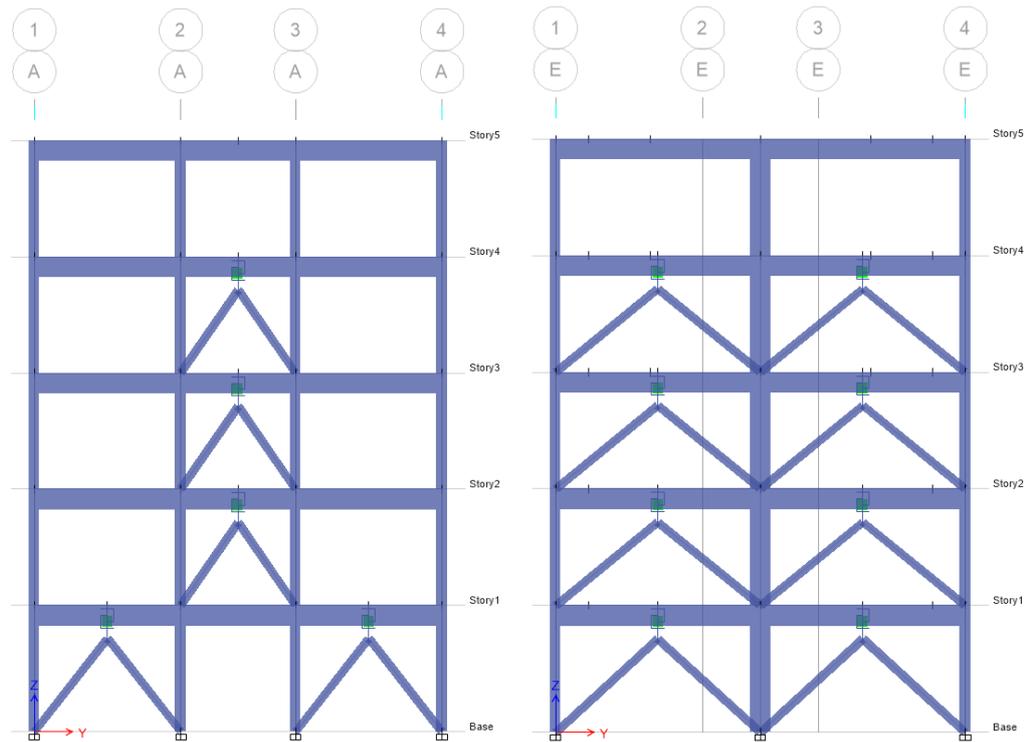


Figura N° 24: Elevación del corte A-A(izq.) y E-E (der.) de la estructura con el sistema de disipación de energía.

Fuente: Elaboración propia utilizando el software ETABS v19.

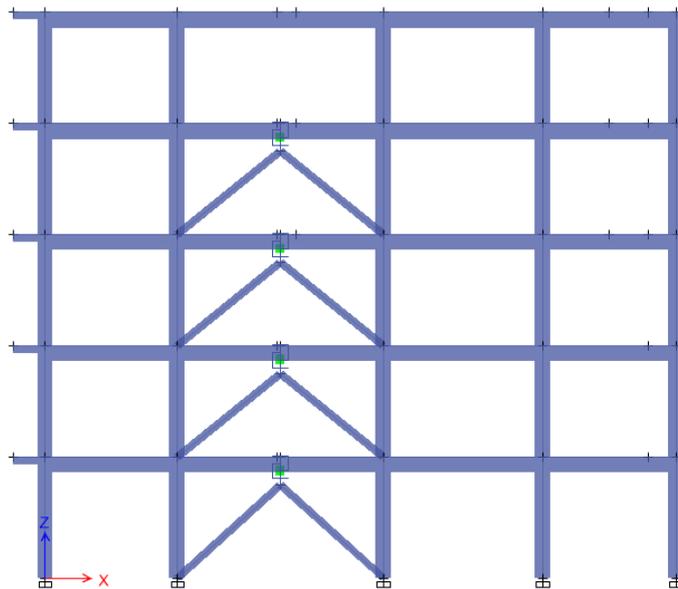


Figura N° 25: Elevación del corte 1-1 de la estructura con el sistema de disipación de energía.

Fuente: Elaboración propia utilizando el software ETABS v19.

## CAPÍTULO VI: PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 6.1. Resultados del análisis tiempo historia no lineal con los disipadores de energía.

Al igual que se realizó el análisis de la edificación sin amortiguadores, se realizó el análisis tiempo-historia no lineal en la estructura reforzada con los disipadores de energía ADAS y las derivas obtenidas para cada registro de aceleraciones se presentan en las tablas 19 y 20 para la dirección X y la dirección Y respectivamente:

Tabla N°19: Derivas maximas de cada sismo en la direccion X

Piso	Deriva máxima en X para cada sismo		
	66	70	74
Story5	0.0027	0.0025	0.0023
Story4	0.0042	0.0039	0.0034
Story3	0.0056	0.0051	0.0046
Story2	0.0059	0.0057	0.0055
Story1	0.0040	0.0041	0.0042

Fuente: Elaboración propia (2021)

Tabla N°20: Derivas máximas de cada sismo en la dirección Y

Piso	Deriva máxima en Y para cada sismo		
	66	70	74
Story5	0.0025	0.0024	0.0025
Story4	0.0033	0.0032	0.0034
Story3	0.0046	0.0044	0.0048
Story2	0.0055	0.0049	0.0058
Story1	0.0049	0.0041	0.0053

Fuente: Elaboración propia (2021)

A partir de los resultados presentados en las tablas N°19 y N°20, se puede observar que se ha logrado disminuir las grandes derivas mostradas previamente en las tablas 11 y 12, sobre todo en el eje Y, el cual era el eje más débil de la estructura. La deriva más alta luego de añadir los disipadores de energía es 0.0059 para el eje X y 0.0058 para el eje Y. Estos resultados concuerdan con la deriva objetivo de 0.0058 planteada anteriormente, aunque en el eje X la deriva máxima excede esta deriva por 0.0001 este valor no es alto y además la deriva máxima planteada por la normativa es 0.0007.

## 6.2. Balance de Energía del sistema

Se realizó el balance de energía con el fin de verificar el porcentaje de energía sísmica que son capaces de absorber los dispositivos ADAS. A continuación, se muestran los gráficos del balance de energía en el sistema estructural obtenidos del programa ETABS 2019 para los 3 sismos evaluados, tanto en la dirección X como en Y:

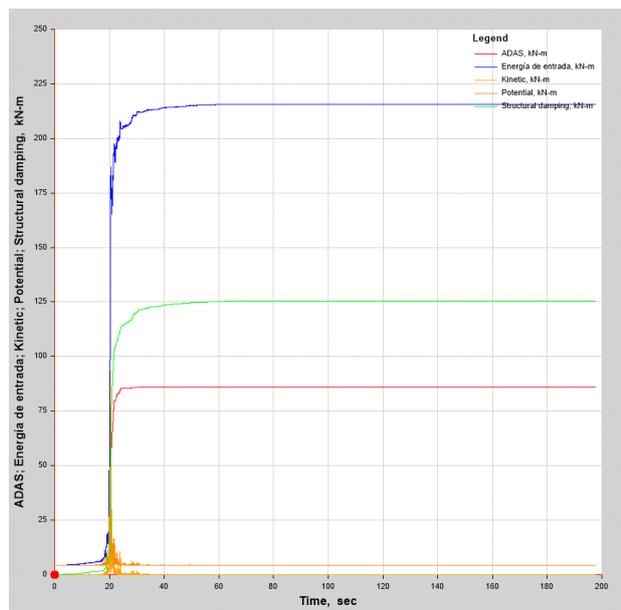
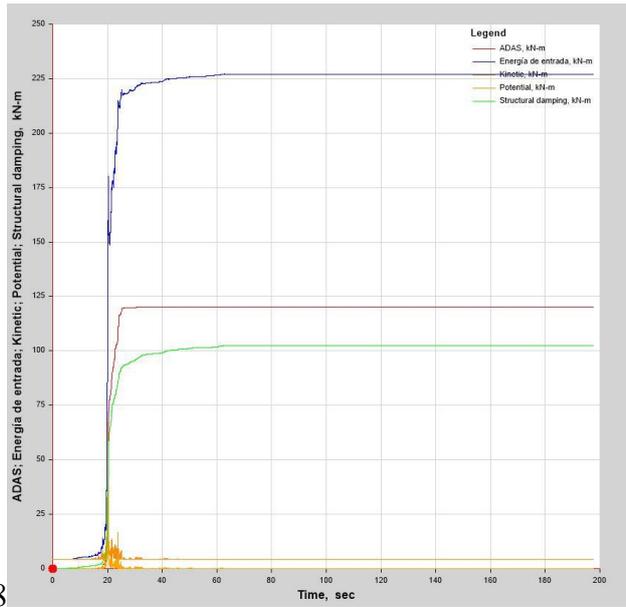


Figura N° 26: Balance de energía para el sismo de 1966 dirección Este-Oeste en el eje X.

Fuente: Elaboración propia utilizando el software ETABS v19.



8

Figura N° 27: Balance de energía para el sismo de 1966 dirección Norte-Sur en el eje Y.

Fuente: Elaboración propia utilizando el software ETABS v19.

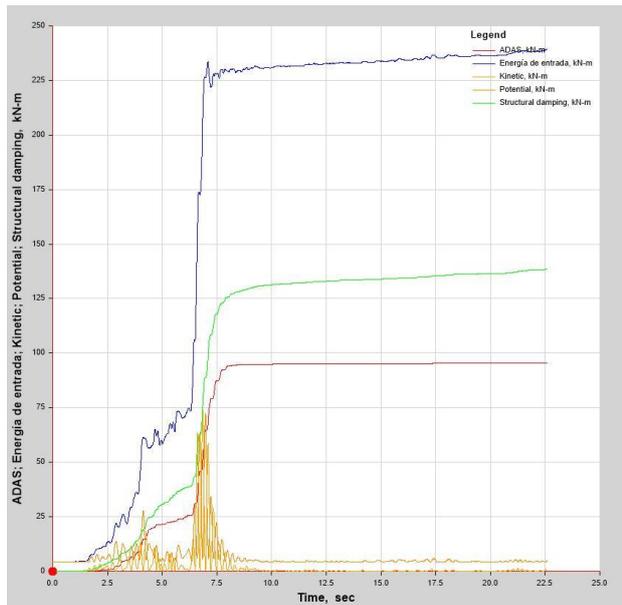


Figura N° 28: Balance de energía para el sismo de 1970 dirección Este-Oeste en el eje X.

Fuente: Elaboración propia utilizando el software ETABS v19.

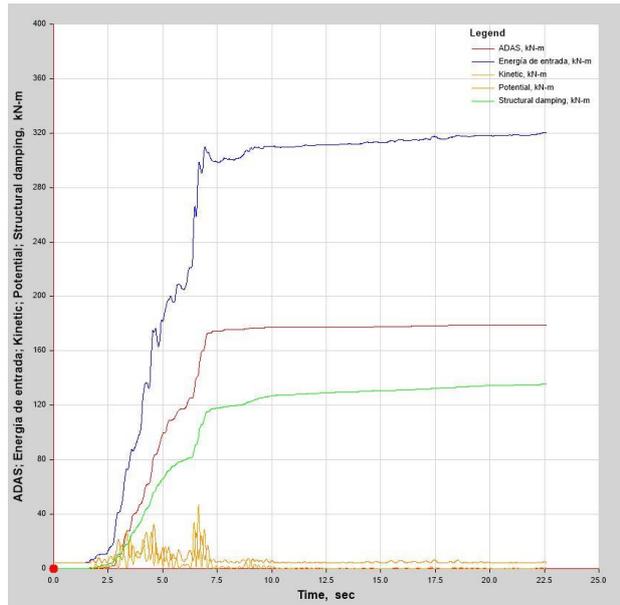


Figura N° 29: Balance de energía para el sismo de 1970 dirección Norte-Sur en el eje Y.

Fuente: Elaboración propia utilizando el software ETABS v19.

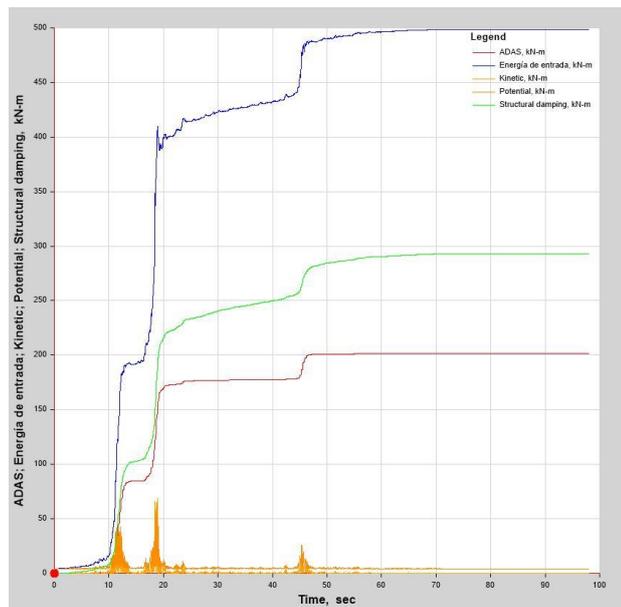


Figura N° 30: Balance de energía para el sismo de 1974 dirección Este-Oeste en el eje X.

Fuente: Elaboración propia utilizando el software ETABS v19.

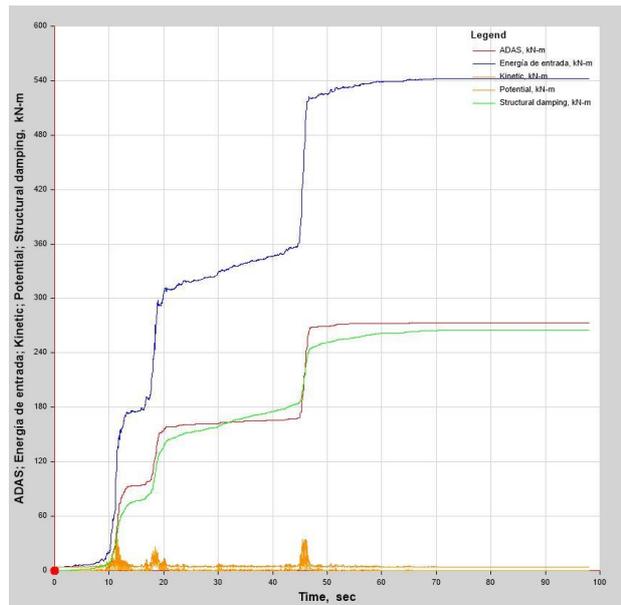


Figura N° 31: Balance de energía para el sismo de 1974 dirección Norte-Sur en el eje Y.

Fuente: Elaboración propia utilizando el software ETABS v19.

En cada uno de los gráficos presentados, la línea azul representa la energía que ingresa al sistema, la línea roja representa que toman los disipadores de energía ADAS, y la línea verde es la energía que ingresa al sistema estructural. Mediante este análisis se puede observar que en las figuras N°26, N°28 y N°30, correspondientes a energía ingresada en los disipadores ubicados en el eje X, la energía tomada por los disipadores es menor a la energía que ingresa en el sistema. Por otro lado, en las figuras N° 27, N°29 y N°31, correspondientes a energía ingresada en los disipadores ubicados en el eje Y, la energía tomada por los disipadores es un poco mayor a la energía que ingresa en el sistema, lo cual puede deberse a la considerable mayor cantidad de dispositivos presentes en este eje por las altas derivas que se presentaban.

### 6.3. Curvas de histéresis

Para entender el comportamiento no lineal de los disipadores se obtuvieron las curvas histeréticas, las cuales muestran la relación fuerza-desplazamiento de las planchas metálicas. Se muestran las curvas de histéresis de los elementos que recibieron el mayor valor de cortante en la dirección X y Y:

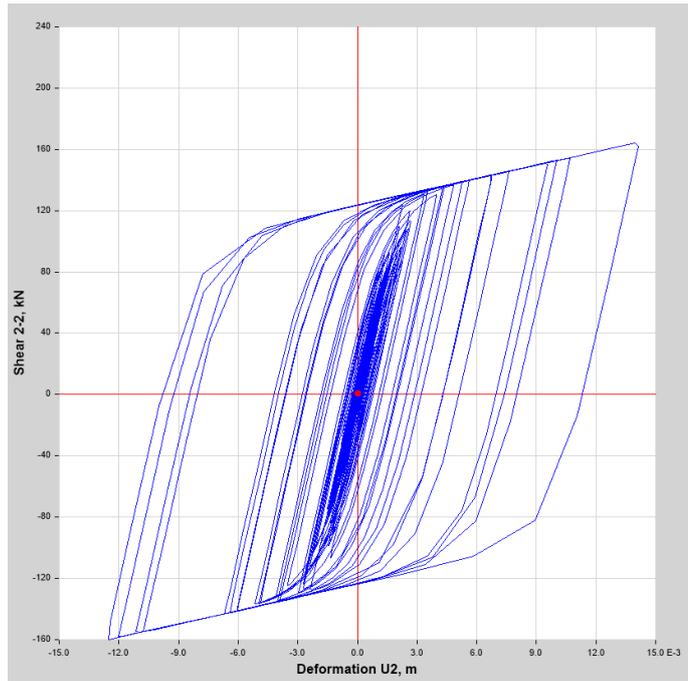


Figura N° 32: Diagrama de histéresis para el elemento tipo Link K8.

Fuente: Elaboración propia utilizando el software ETABS v19.

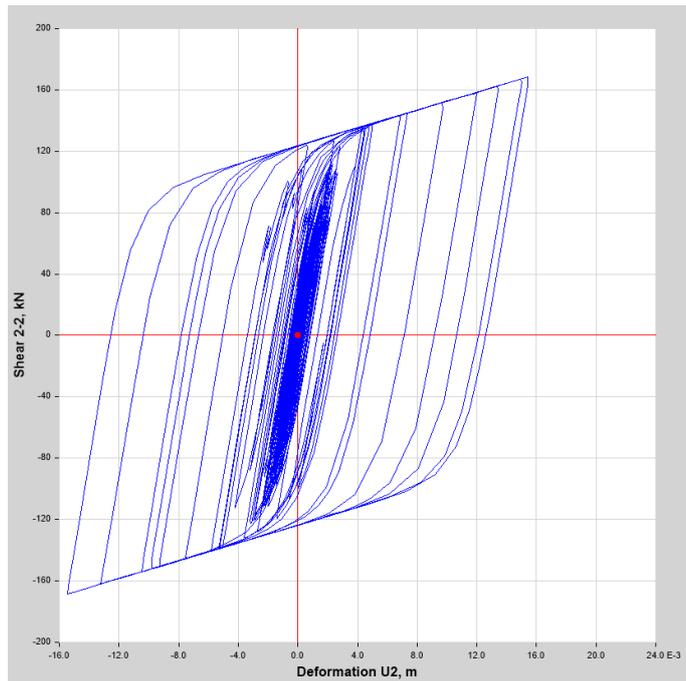


Figura N° 33 Diagrama de histéresis para el elemento tipo Link K1.

Fuente: Elaboración propia utilizando el software ETABS v19.

Como se observaron en los resultados de Whittaker et al. (1989), el dispositivo ADAS trabaja con un modelo que puede asumirse como bilineal, y de acuerdo a los resultados mostrados en las figuras N° 32 y 33 se puede observar que el comportamiento histerético de los disipadores implementados en el programa mostrado en las curvas de histéresis obtenidas es bastante estable para ambos ejes, de acuerdo al marco teórico estudiado. De acuerdo a los cálculos de los parámetros de los disipadores mostrados en la tabla N°17, el desplazamiento último en estos es de 0.028m y el desplazamiento de fluencia es 0.0022m, mientras que en los lazos histeréticos obtenemos un valor de desplazamiento de fluencia aproximado de 0.0028 y un desplazamiento último de 0.0158m aproximadamente.

#### 6.4. Comprobación de los objetivos

##### 6.4.1. Comparación de los desplazamientos del diafragma de la estructura

Las tablas N°21 y N°22 muestran los desplazamientos de los cinco diafragmas rígidos de la estructura obtenidos del análisis tiempo historia para los registros sísmicos presentados en el capítulo anterior.

Tabla N°21: Desplazamientos en X de los diafragmas de la estructura sometida a los registros sísmicos con y sin disipadores.

	Sismo	Piso 1	Piso 2	Piso 3	Piso 4	Piso 5
Desplazamiento de la estructura sin disipadores (m)	66	0.0163	0.0377	0.0578	0.0728	0.0815
	70	0.0181	0.0409	0.0611	0.0765	0.0859
	74	0.0170	0.0386	0.0579	0.0727	0.0818
Desplazamiento de la estructura con disipadores (m)	66	0.0116	0.0271	0.0417	0.0528	0.0599
	70	0.0126	0.0286	0.0429	0.0538	0.0609
	74	0.0125	0.0273	0.0396	0.0481	0.0535

Fuente: Elaboración propia (2021)

Tabla N°22: Desplazamientos en Y de los diafragmas de la estructura sometida a los registros sísmicos con y sin disipadores.

	Sismo	Piso1	Piso 2	Piso3	Piso4	Piso5
Desplazamiento de la estructura sin disipadores (m)	66	0.0305	0.0622	0.0903	0.1107	0.1215
	70	0.0231	0.0448	0.0638	0.0840	0.0961
	74	0.0291	0.0586	0.0835	0.1016	0.1113
	66	0.0143	0.0286	0.0401	0.0481	0.0542

Desplazamiento de la estructura con disipadores (m)	70	0.0113	0.0236	0.0336	0.0403	0.0451
	74	0.0143	0.0299	0.0403	0.0477	0.0535

Fuente: Elaboración propia (2021)

Tabla N°23: Porcentaje de reducción de los desplazamientos gracias al sistema de disipación.

		Sismo	Piso 1	Piso 2	Piso 3	Piso 4	Piso 5
Porcentaje de reducción en X	de	66	29%	28%	28%	27%	26%
		70	30%	30%	30%	30%	29%
		74	27%	29%	32%	34%	35%
Porcentaje de reducción en Y	de	66	53%	54%	56%	57%	55%
		70	51%	47%	47%	52%	53%
		74	47%	49%	52%	53%	52%

Fuente: Elaboración propia (2021)

Se observa en la tabla N°23 que se produce una mayor reducción de los desplazamientos en el eje Y, llegando hasta un máximo de 57% en el sismo de 1966, mientras que la máxima reducción en X es 35% en el sismo de 1974.

#### 6.4.2. Comparación de las máximas derivas de entrepiso de la estructura

En las tablas N° 24 y N° 25 se resumen y comparan las derivas obtenidas del análisis tiempo-historia realizado para la estructura con y sin la adición de los disipadores de energía ADAS. En la Tabla N°26 se muestra el porcentaje de reducción de la deriva máxima para cada registro sismo analizado.

Tabla N°24: Derivas de la estructura con disipadores y sin disipadores en el eje X

		Sismo	Piso1	Piso2	Piso3	Piso4	Piso5
Deriva de la entrepiso de	de	66	0.0050	0.0077	0.0074	0.0057	0.0036
	de	70	0.0056	0.0080	0.0074	0.0057	0.0037
	de	74	0.0052	0.0076	0.0070	0.0055	0.0036

estructura sin disipadores (m)						
Deriva de 66	0.0040	0.0059	0.0056	0.0042	0.0027	
entrepiso de la 70	0.0041	0.0057	0.0051	0.0039	0.0025	
estructura con 74 disipadores (m)	0.0042	0.0055	0.0046	0.0034	0.0023	

Fuente: Elaboración propia (2021)

Tabla N°25: Derivas de la estructura con disipadores y sin disipadores en el eje Y

	Sismo	Piso1	Piso2	Piso3	Piso4	Piso5
Deriva de entrepiso de la estructura sin disipadores (m)	66	0.0098	0.0112	0.0100	0.0074	0.0041
	70	0.0081	0.0088	0.0092	0.0078	0.0048
	74	0.0102	0.0112	0.0096	0.0070	0.0039
Deriva de entrepiso de la estructura con disipadores (m)	66	0.0049	0.0055	0.0046	0.0033	0.0025
	70	0.0041	0.0049	0.0044	0.0032	0.0024
	74	0.0053	0.0058	0.0048	0.0034	0.0025

Fuente: Elaboración propia (2021)

Tabla N°26: Porcentaje de reducción de derivas en el eje X e Y

	Sismo	Piso 1	Piso 2	Piso 3	Piso 4	Piso 5
Porcentaje de reducción de la deriva de entrepiso en X	66	20%	23%	24%	26%	25%
	70	25%	29%	30%	32%	31%
	74	20%	28%	35%	39%	36%
Porcentaje de reducción de la deriva de entrepiso en Y	66	50%	51%	55%	55%	39%
	70	50%	43%	53%	60%	49%
	74	48%	48%	50%	52%	36%

Fuente: Elaboración propia (2021)

De la misma manera, para un mejor entendimiento de estas tablas, se realizaron gráficos comparativos mostrados en las siguientes figuras N° 34, 35 y 36 donde se comparan las derivas sin los disipadores de energía con las derivas obtenidas del análisis con estos disipadores.

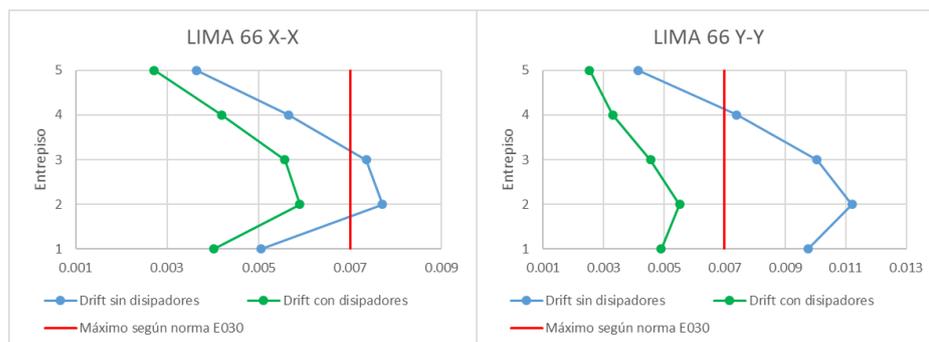


Figura N° 34 Comparación de las derivas máximas obtenidas para el sismo del año 1966.

Fuente: Elaboración Propia

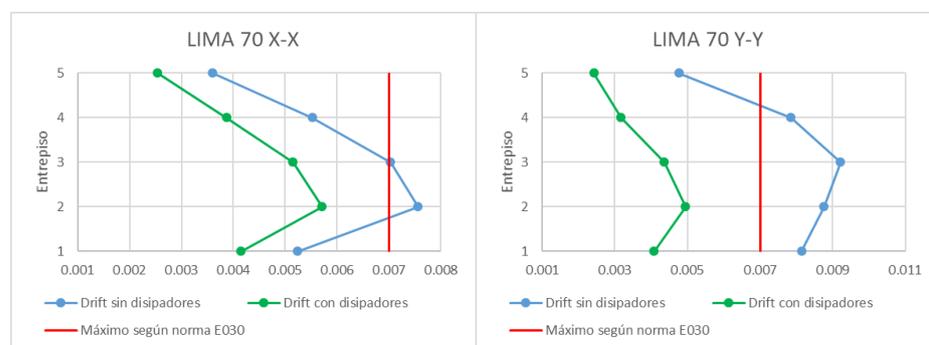


Figura N° 35 Comparación de las derivas máximas obtenidas para el sismo del año 1970.

Fuente: Elaboración propia

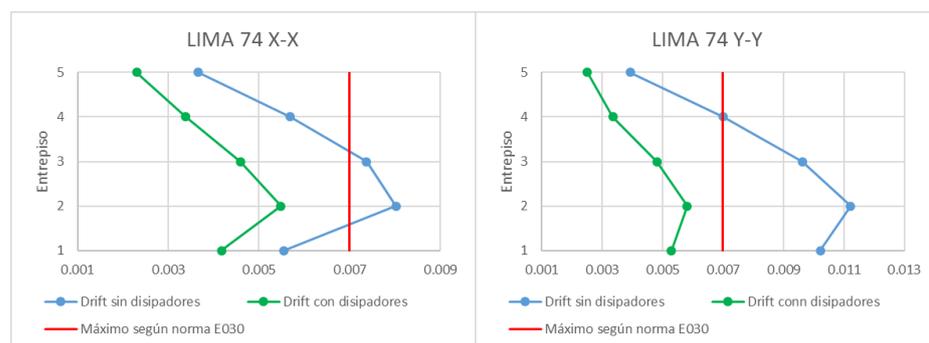


Figura N° 36 Comparación de las derivas máximas obtenidas para el sismo del año 1974.

Fuente: Elaboración propia

De estos gráficos se observa que los sistemas de disipación de energía cumplen con la función planteada de reducir por debajo de 0.0058 la deriva máxima lo cual prevendrá daños estructurales importantes en la edificación, con excepción del sismo de 1966, en el cual la deriva en X del piso 2 es 0.0059, aunque esta deriva está muy cerca de la planteada.

#### 6.4.3. Energía absorbida por los disipadores

Para evaluar la participación de los amortiguadores en la reducción de energía sísmica que ingresa al sistema se tomaron las figuras mostradas en el subcapítulo 5.5.3. para calcular el porcentaje de participación de estos, el cual se resume en la Tabla 27.

Tabla N°27: Porcentaje de disipación de energía obtenido para cada registro de aceleraciones sísmicas utilizado en el análisis.

	66		70		74	
	x	y	x	y	x	y
Energía ingresada en el sistema (KJ)	215.	227.	239.	320.	498.	542.
Energía disipada por los amortiguadores (KJ)	86.0	120.	95.5	179.	201.	272.
Porcentaje de energía disipada	40%	53%	40%	56%	40%	50%

Fuente: Elaboración Propia

Se puede observar que la cantidad de disipadores dispuesta absorben entre 40 y 56 por ciento de la energía de entrada al sistema, siendo los disipadores en el eje Y los que mayor energía sísmica absorben, lo que comprueba que la presencia de los disipadores en la estructura favorece al control de daños del sistema estructural frente a un evento sísmico.

#### 6.4.4. Periodo de la estructura

Para evaluar el aumento de rigidez de la estructura por el aporte de rigidez de los disipadores metálicos se revisaron los periodos de la estructura del análisis sísmico inicial sin disipadores y luego se obtuvieron los periodos de la estructura con la implementación de los disipadores. Los resultados se muestran en la siguiente tabla N°28:

Tabla N°28: Periodo de vibración de los primeros 3 modos de vibración

	Modo	Periodo	Frecuencia
Sin Disipadores	1	0.811	1.233
	2	0.577	1.732
	3	0.565	1.771
Con Disipadores	1	0.536	1.73
	2	0.464	1.863
	3	0.361	2.587

Fuente: Elaboración propia (2021)

Se observa que, efectivamente, hubo una reducción en los periodos de la estructura con respecto al análisis inicial, por lo que la rigidez del sistema aumentó gracias a la implementación de los disipadores.

#### 6.5. Contrastación de Hipótesis

##### 6.5.1. Verificación y contrastación de Hipótesis general

El refuerzo del edificio multifamiliar de 5 niveles con disipadores de energía metálicos mejorará significativamente su respuesta sísmica reduciendo las deformaciones laterales y derivas de entrepiso durante un sismo.

Se comprobó mediante la implementación de dispositivos de disipación de energía la mejora del edificio ante un sismo, aportando rigidez y amortiguamiento al sistema obteniendo como resultados la reducción del periodo de vibración y sus desplazamientos laterales.

##### 6.5.2. Verificación y contrastación de Hipótesis específica 1

Mediante la implementación de disipadores de energía metálicos en arreglo Chevron se podría disminuir el periodo de vibración de la estructura entre un 20 y 40%, ya que estos aportan rigidez al sistema.

Se verificó con el análisis dinámico inicial y del análisis tiempo historia final con ayuda del programa ETABS 2019 que los periodos y frecuencias obtenidos de los primeros 3 modos de vibración, resumidos en la tabla N°28, tuvieron una reducción del 30%, 20% y 36% respectivamente en los primeros 3 modos, lo cual implica un aumento de rigidez en el sistema, demostrando el cumplimiento de la hipótesis planteada.

#### 6.5.3. Verificación y contrastación de Hipótesis específica 2

Los disipadores de energía metálicos en arreglo Chevron podrán recibir entre un 10% y 40% de la energía del sismo.

Se verificó con el software ETABS la energía que ingresa al sistema y la cantidad de energía que absorben los disipadores, mostrados en la tabla N° 27, en la cual se observa que los disipadores de energía absorben, en promedio, 40% en la dirección X y 53% en la dirección Y. Al haber obtenido estos resultados, se cumple con la hipótesis planteada.

#### 6.5.4. Verificación y contrastación de Hipótesis específica 3

Mediante la implementación de disipadores de energía metálicos en arreglo Chevron se podría disminuir los desplazamientos laterales y las derivas de entrepiso entre un 20% - 40%.

De acuerdo con los resultados mostrados en las tablas N° 24 y 25, se verificó que gracias al reforzamiento con disipadores de energía los valores de las derivas de entrepiso y los desplazamientos del diafragma disminuyeron. En la tabla N° 26 se observa que los desplazamientos del diafragma en el eje X disminuyen entre un 26% y 35%, mientras que en el eje Y se lograron disminuir los desplazamientos del diafragma entre un 47% y 57%. De la misma forma, en la tabla N° 26 se verificó que las derivas de entrepiso disminuyeron entre 20% y 39% en el eje X y entre 36% y 60% en el eje Y. De esta forma, como se muestra en las figuras N° 34, 35 y 36, se logra que el sistema con disipación de energía cumpla con la normativa vigente de la Norma Técnica Peruana E030, la cual limita las derivas a 0.007 como máximo. Al determinar estos valores podemos ver que se reduce significativamente los desplazamientos, se cumple con la hipótesis planteada.

## CONCLUSIONES

1. Los periodos de vibración de la estructura sin disipadores son de 0.811 segundos, 0.577 segundos y 0.565 segundos para los 3 primeros modos 1, 2 y 3 respectivamente, mientras que la estructura con la implementación del sistema de disipación de energía pasivo por fluencia de metales ADAS se obtuvieron unos periodos de 0.536 segundos, 0.464 segundos y 0.361 segundos respectivamente. Lo que significa que se incrementó la rigidez del sistema estructural de la edificación, disminuyendo los periodos de todas las formas de vibración.
2. La cantidad de energía absorbida por el mecanismo ADAS es del 40% en la dirección X y 53% en la dirección Y. Esto implica que, mientras en un sistema sin disipación toda la energía genera daños en el sistema estructural directamente, en este caso de estudio con disipadores gran parte de la energía será absorbida por estos, y el daño estará compartido entre estos y el sistema estructural, logrando de esta forma prevenir cualquier riesgo de colapso o daño grave al sistema estructural.
3. Los disipadores de energía tipo ADAS tuvieron un buen desempeño en la reducción de desplazamientos y de las derivas de entrepiso en el sistema estudiado, lo que se traduce en una disminución significativa en los daños que sufriría el sistema estructural principal del edificio, en este caso el sistema de pórticos, luego de su exposición a un sismo. Se observó una mayor disminución en el eje Y pues este eje presentaba las mayores deficiencias en cuanto a rigidez y presentó mayores deformaciones iniciales, por lo que requirió de una mayor cantidad de placas. Por otro lado, el eje X no presentó deformaciones tan importantes como las del eje Y, por lo que se planteó el uso de menor cantidad de dispositivos ADAS, logrando aun así la deriva planteada por la normativa HAZUS de 0.0058, a excepción del piso 2 para el caso de estudio del sismo de 1966, donde excede por 0.0001 el valor de la deriva objetivo.

## RECOMENDACIONES

1. Al observar la variación en los primeros tres periodos fundamentales de la estructura confirma un aumento de rigidez en la estructura, para cuantificar este aumento de rigidez es recomendable realizar un modelo matemático matricial, como se mencionó en el marco teórico, para poder realizar un estudio más cercano a la realidad de la estructura reforzada.
2. Se recomienda incentivar los estudios y la aplicación de los disipadores metálicos ya que estos no solo proveen de rigidez al sistema estructural aporticado, también evitan que la energía del sismo pueda generar daños en los elementos estructurales fundamentales, además de su fácil instalación en estructuras ya existentes y su bajo costo económico en comparación con otros sistemas de disipación de energía.
3. Debido al proceso de diseño de los disipadores es iterativo, para obtener mejores resultados en la reducción de derivas y desplazamientos se recomienda variar de lugar los dispositivos ADAS teniendo en cuenta que estos trabajan mejor posicionados en pórticos con grandes deformaciones.
4. Como recomendación académica, futuras investigaciones podrían profundizar en el diseño de las conexiones entre el pórtico de concreto armado y el brazo metálico del dispositivo, además de realizar un estudio in situ para verificar el estado estructural de la vivienda a reforzar pues con el paso de los años y diferentes eventos sísmicos la rigidez de esta puede disminuir.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Aguiar, R., Rodríguez, M. y Mora, D. (2016). *Análisis sísmico de estructuras con disipadores de energía ADAS o TADAS*. Barcelona, España: Centro internacional de métodos numéricos en ingeniería.
- Aguilar Mantilla, K. T. (2015). *Estudio comparativo de edificios de acero de gran altura con diagonales excéntricas, concéntricas y diagonales con amortiguadores en la ciudad de Quito*. (Tesis de titulación). Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito, Ecuador.
- Astroza Inostroza, M. (2007). *Estudio de la zona afectada por el terremoto de Pisco: Intensidades y daños del terremoto*. Centro Regional de sismología para América del Sur, Lima, Perú.
- Borjas, M. (2012). *Metodología de la investigación científica para ingenieros*. Chiclayo, Perú.
- Boza Farfán, Z. y Galán Tirapo, D. (2013). *Diseño de un edificio aporticado con disipadores en arreglo CHEVRON*. (Tesis de titulación). Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú.
- Castañeda Via, V. y Manrique Chávez, L. F. (2019). *Evaluación de los niveles de desempeño sísmico de un edificio aporticado empleando disipadores de fluido viscoso*. (Tesis de titulación). Universidad Ricardo Palma, Lima, Perú.
- Ceja Marín, José Carlos (2012). *Diseño de disipadores tipo ADAS para un edificio clase "A" en la ciudad de Uruapan*. (Tesis de titulación). Universidad Nacional Autónoma de México, Uruapan, México.
- Chávez, J. P. (2017). *Diseño sismorresistente de edificios con disipadores de fluido viscoso*. Lima, Perú: Grupo Universitario.
- Corporación de desarrollo tecnológico (2012): "Protección sísmica de estructuras". Cámara Chilena de la Construcción.
- FEDERAL EMERGENCY MANAGEMENT AGENCY "FEMA" (1997). *NEHRP guidelines for the seismic rehabilitation of buildings*. Report No 273/274, Building Seismic Safety Council, Washington, D.C.
- FEDERAL EMERGENCY MANAGEMENT AGENCY "FEMA" (2003). *Multi-hazard Loss Estimation Methodology HAZUS-MH Technical Manual*. Building Seismic Safety Council, Washington, D.C.

- Fuentes Sadowski, J. C. (2015). *Análisis sísmico de una edificación con disipadores de fluido viscoso*. (Tesis de titulación). Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú.
- Gatica V. (2012). *Respuesta sísmica de un edificio de estructura metálica con aisladores. Alternativas de diseño*. (Tesis de Maestría). Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España.
- Gutiérrez Rodríguez, O. M. (2016). *Estudio comparativo para determinar la eficiencia y aplicabilidad de aisladores sísmicos de base y diagonales con amortiguadores, como sistemas de protección sísmica de edificios de acero en la ciudad de Quito*. (Tesis de titulación). Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito, Ecuador.
- Gutiérrez, M., Herrera, M. y Hodgson, A. (2016). *Análisis comparativo de un edificio diseñado por métodos convencionales y uso de amortiguadores friccionantes y viscoelásticos*. (Tesis de titulación). Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.
- Herrera, M. (2018). *Desempeño sísmico en edificaciones con aisladores elastoméricos y amortiguadores de fluido viscoso*. (Tesis de licenciatura en Ingeniería Civil). Universidad de Piura, Facultad de Ingeniería. Programa Académico de Ingeniería Civil. Piura, Perú.
- Korswagen, P.; Arias, J. y Huaranga, P. (2012). *Análisis y diseño de estructuras con aisladores sísmicos en el Perú*. (Tesis de titulación). Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú.
- Muñoz Pelaez, A. (2009). *Ingeniería Sismorresistente*. Lima, Perú: Fondo Editorial de la Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2018). Norma E.030 Diseño Sismorresistente. Lima, Peru.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2018). Norma E.020 Diseño Sismorresistente. Lima, Peru.
- Narváez Espinoza, Mario (2019). *Análisis comparativo técnico Económico de una edificación de 12 pisos, empleando amortiguadores de fluido viscoso y disipadores histeréticos*. (Tesis de maestría). Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú.

- Oviedo, R. (2008). *Dispositivos pasivos de disipación de energía para diseño sismorresistente de estructuras*. (Tesis de maestría). Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.
- Pimiento, J., Salas, A y Ruiz, D. (2014). *Desempeño sísmico de un pórtico con disipadores de energía pasivos de placas ranuradas de acero*. *Revista Ingeniería de Construcción RIC*, 29(3), 283-298.
- Rojas Rodríguez, Rober (2019). *Comportamiento estructural de un edificio de 5 pisos por cambio de uso con aplicación de disipadores viscosos, Los Olivos, 2019*. (Tesis de titulación). Universidad César Vallejo, Lima, Perú.
- Symans M. & Charney F. & Whittaker A. & Constantinou M. & Kircher C. & Johnson M. & McNamara R. (2008). *Energy Dissipation Systems for Seismic Applications: Current Practice and Recent Developments*, New York, USA.
- Torres Rodas, P. (2011). *Estudio de los disipadores de energía en el diseño sismorresistente*. (Tesis de titulación). Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador.
- Tena A., Nangullasmú H., (2013) “*Diseño sísmico de marcos no dúctiles de concreto reforzado con disipadores de energía histeréticos: Definición de parámetros de diseño*”. *Revista Internacional de Desastres Naturales, Accidentes e Infraestructura Civil*, 13 (2), 275-299.

## **ANEXOS**

Anexo 1: Matriz de consistencia

Anexo 2: Plano de estructuras del edificio de 5 niveles (dos primeros niveles)

Anexo 3: Plano de estructuras del edificio de 5 niveles (tres siguientes niveles)

Anexo 4: Plano de arquitectura del edificio de 5 niveles (primer nivel)

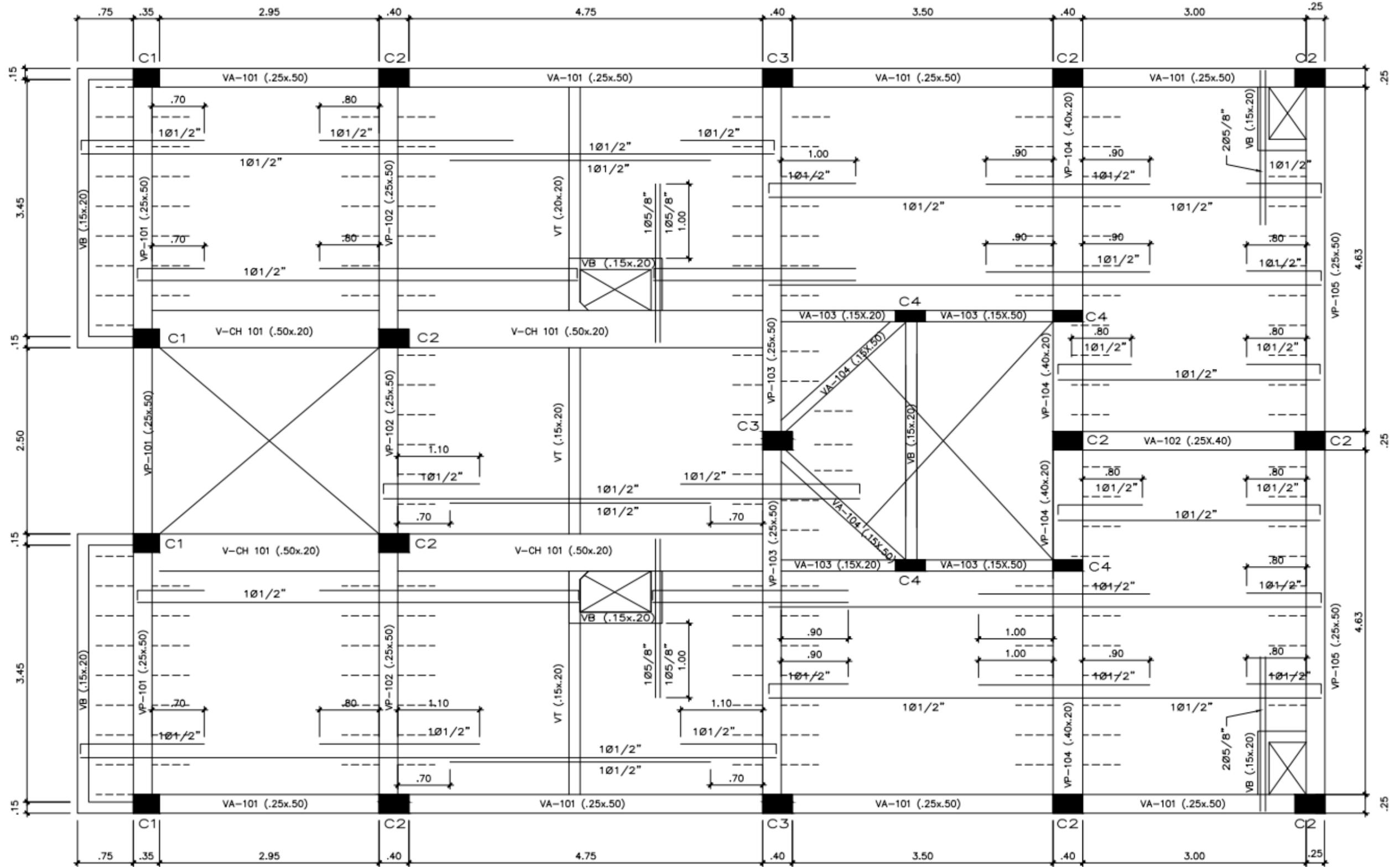
Anexo 5: Plano de arquitectura del edificio de 5 niveles (segundo nivel)

Anexo 6: Plano de arquitectura del edificio de 5 niveles (tercer, cuarto y quinto nivel)

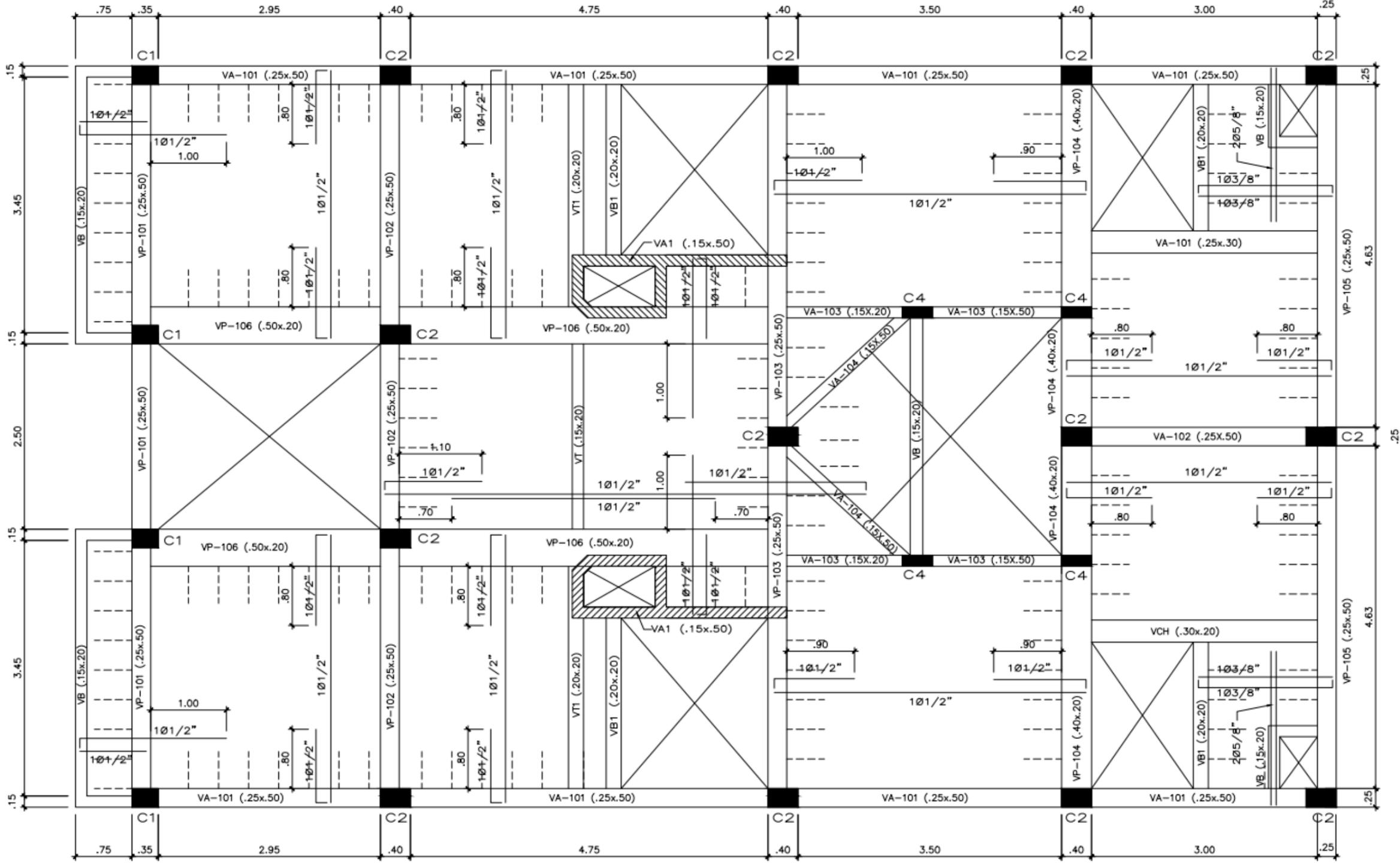
REFORZAMIENTO DE UNA VIVIENDA MULTIFAMILIAR DE 5 PISOS Y AZOTEA CON DISIPADORES DE ENERGÍA METÁLICOS EN ARREGLO CHEVRON, LOS OLIVOS.

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPOTESIS	VARIABLES	Indicadores	Índices	Metodología
<p><b>Problema General</b> ¿Cómo reforzar el edificio de 5 pisos vivienda multifamiliar empleando disipadores de energía metálicos en arreglo Chevron, Los Olivos?</p>	<p><b>Objetivo General</b> Evaluar la respuesta sísmica del edificio de 5 pisos vivienda multifamiliar con un refuerzo de disipadores de energía metálicos en arreglo Chevron y compararla con su respuesta sísmica sin el refuerzo.</p>	<p><b>Hipótesis General</b> El refuerzo de la vivienda multifamiliar de 5 pisos con disipadores de energía mejorará su respuesta sísmica reduciendo las deformaciones laterales durante un sismo.</p>	<p><b>Variable General</b> Disipadores de energía en arreglo Chevron</p>	<p>Parámetros para el diseño</p>	<p>Rigidez, amortiguamiento</p>	<p>Metodología Cuantitativa experimental, longitudinal de tendencia</p>
<p><b>Problemas Específicos</b> ¿Cuál es el porcentaje de reducción de periodos de vibración de la estructura sin reforzar con respecto a la reforzada con disipadores de energía metálicos en arreglo Chevron?</p>	<p><b>Objetivos Específicos</b> Evaluar el porcentaje de reducción del periodo de vibración en la estructura sin reforzar versus la estructura reforzada con disipadores de energía en arreglo Chevron</p>	<p><b>Hipótesis Específicos</b> Mediante la implementación de disipadores de energía metálicos en arreglo Chevron se podrá disminuir el periodo de vibración de la estructura entre un 20 y 40%.</p>	<p>Variable dependiente Análisis comparativo de periodos de la estructura con disipadores metálicos y sin disipadores metálicos</p>	<p>Porcentaje de reducción de los periodos de la estructura</p>	<p>Segundos, porcentaje</p>	<p>Cuantitativa experimental, transversal correlacional</p>
<p>¿Cuál es el porcentaje de energía sísmica que pueden absorber los disipadores de energía metálicos en arreglo Chevron?</p>	<p>Determinar el porcentaje de energía sísmica que son capaces de absorber los disipadores de energía metálicos en arreglo Chevron.</p>	<p>Los disipadores de energía tipo chevron, podrán recibir entre 10% - 40% de energía del sismo.</p>	<p>Respuesta energética del sistema</p>	<p>Energía disipada por cada elemento</p>	<p>Kn-mm, porcentaje</p>	<p>Cuantitativa experimental, transversal correlacional</p>
<p>¿En cuánto varían los desplazamientos laterales de la estructura antes y después de ser reforzado con disipadores de energía metálicos en arreglo Chevron?</p>	<p>Comparar en cuanto varían los desplazamientos laterales de la estructura antes y después del refuerzo con disipadores de energía metálicos en arreglo Chevron.</p>	<p>Mediante la implementación de disipadores de energía tipo Chevron se podrá disminuir los desplazamientos laterales y las derivas de entrepiso entre un 20% - 40%.</p>	<p>Variable dependiente Análisis modal espectral</p>	<p>Desplazamientos y derivas de entrepiso con disipadores metálicos y sin disipadores metálicos</p>	<p>Milímetros, porcentaje</p>	<p>Cuantitativa experimental, transversal correlacional</p>

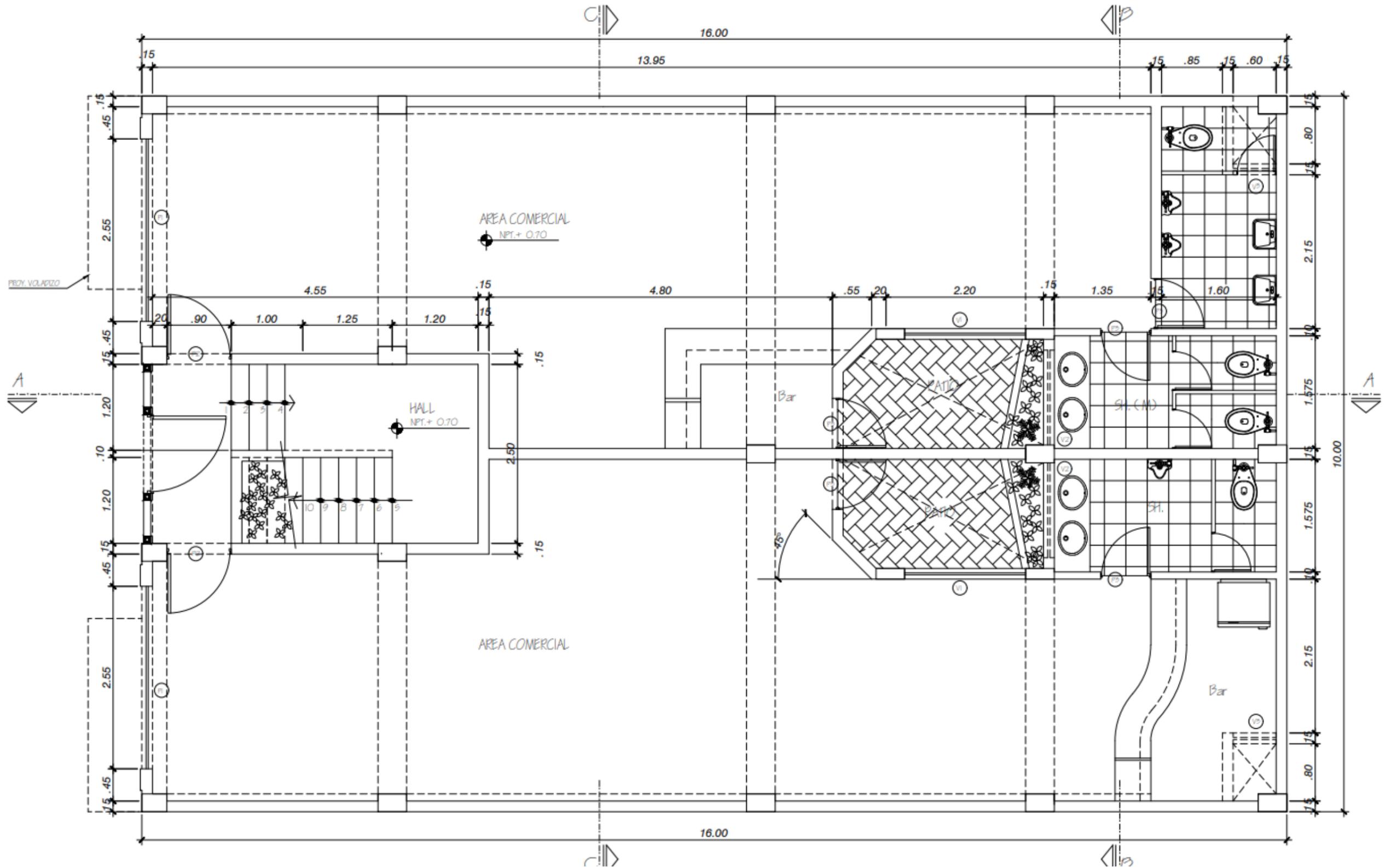
Anexo 2: Plano de arquitectura del edificio de 5 niveles (dos primeros niveles)



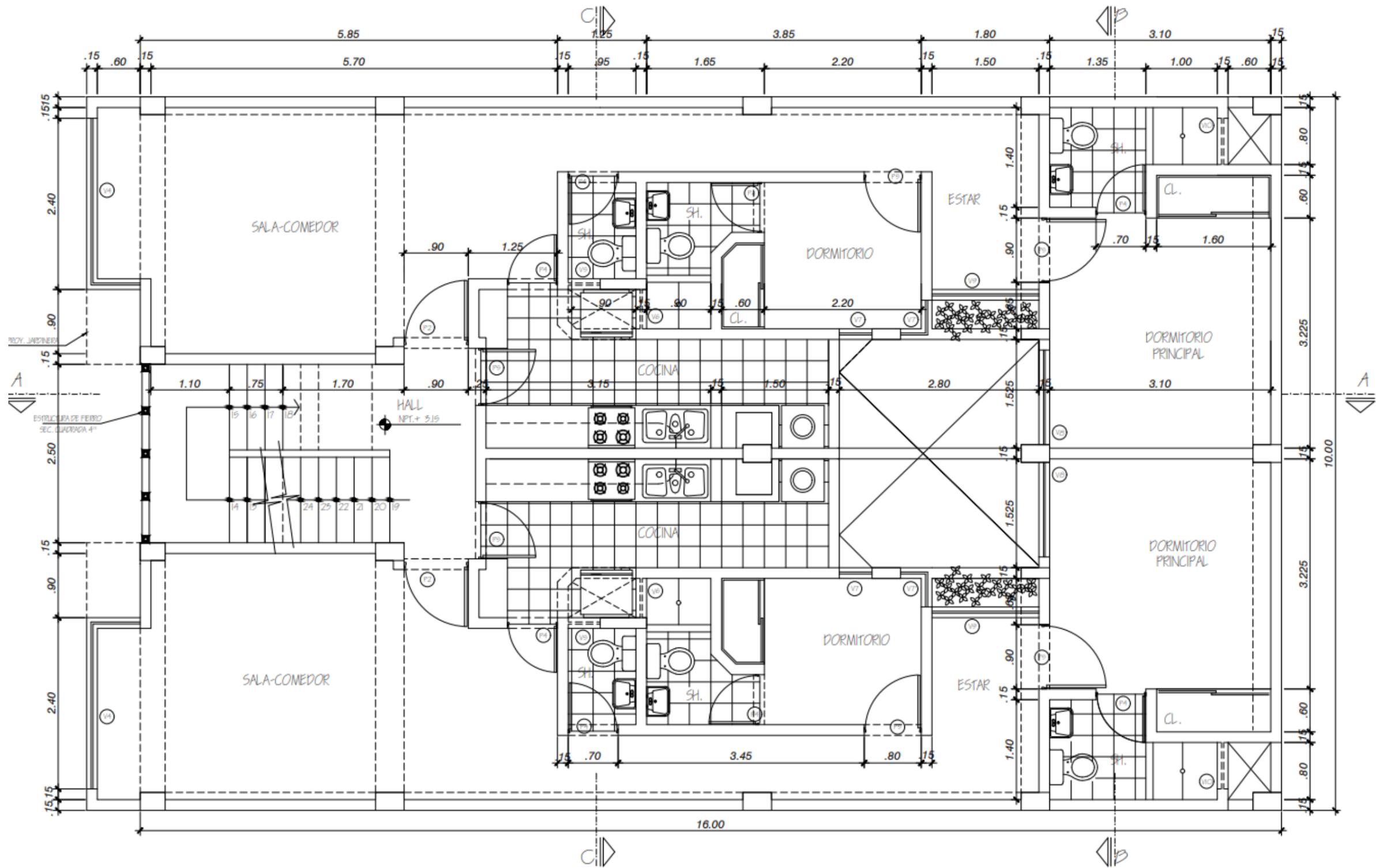
Anexo 3: Plano de arquitectura del edificio de 5 niveles (tres siguientes niveles)



Anexo 4: Plano de arquitectura del edificio de 5 niveles (primer nivel)



Anexo 5: Plano de arquitectura del edificio de 5 niveles (segundo nivel)



Anexo 6: Plano de arquitectura del edificio de 5 niveles (tercer, cuarto y quinto nivel)

