

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ**

**FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA**



**DESEMPEÑO DE UN EDIFICIO TEÓRICO APORTICADO DE 5  
PISOS CON DISIPADORES DE FLUIDO VISCOSO**

**Trabajo de suficiencia profesional para obtener el título profesional de**

**Ingeniero Civil**

**AUTORES**

Tony Bryan Chupica Espinoza

Yitzhak Ramírez Mejía

**ASESOR:**

Mg. Juan Alejandro Muñoz Peláez

Lima, Abril, 2022

## Resumen

Los sistemas modernos de protección sísmica por disipación de energía empiezan a ser más difundidos en el medio peruano. Por ello, resulta necesario estudiar los procedimientos de análisis y diseño de los edificios con disipadores de energía.

Este trabajo tiene por objetivo evaluar la posibilidad de que edificios con disipadores de fluido viscoso permanezcan sin daño en terremotos importantes.

Se eligió un edificio aporricado de concreto armado de 5 pisos y se estructuró para lograr una deriva máxima de 7 por mil según lo establecido en la NTE E030.

Se incorporó un sistema de protección sísmica empleando disipadores de fluido viscoso no lineales y se desarrollaron dos tipos de análisis para el edificio protegido: análisis espectral y análisis tiempo historia con dispositivos no lineales.

La capacidad de cada uno de los elementos se tomó del análisis espectral amplificando estos valores por una sobrerresistencia de  $\Omega = 2$ , el cual es un valor usualmente considerado para estas estructuras. Esta capacidad luego se comparó con la demanda del análisis tiempo historia, tomándose como criterio de comportamiento elástico el caso en que la capacidad superaba o igualaba la demanda.

Los resultados de este trabajo indican que el sistema de protección de fluido viscoso no logra evitar que los elementos estructurales entren en el rango inelástico durante sismos raros; sin embargo, el sistema de protección si permite reducir la deriva en el edificio y por tanto el daño en el sistema estructural.

## Tabla de Contenidos

<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>EDIFICIO CONVENCIONAL SIN SISTEMA DE PROTECCIÓN</b> .....	<b>2</b>
<b>2.1</b>	<b>DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO</b> .....	<b>2</b>
<b>2.2</b>	<b>CARACTERÍSTICAS DEL EDIFICIO</b> .....	<b>4</b>
2.2.1	<b>CONCRETO</b> .....	4
2.2.2	<b>ACERO DE REFUERZO</b> .....	4
2.2.3	<b>TIPO DE SUELO</b> .....	5
<b>2.3</b>	<b>METRADO DE CARGAS</b> .....	<b>5</b>
2.3.1	<b>METRADO DE CARGAS POR GRAVEDAD</b> .....	5
2.3.2	<b>PESO SÍSMICO</b> .....	6
<b>2.4</b>	<b>ANÁLISIS SÍSMICO</b> .....	<b>8</b>
2.4.1	<b>DESCRIPCIÓN DEL ANÁLISIS</b> .....	8
2.4.2	<b>MODELO ESTRUCTURAL</b> .....	8
2.4.3	<b>PARÁMETROS SÍSMICOS</b> .....	9
2.4.4	<b>ANÁLISIS ESTÁTICO</b> .....	15
2.4.5	<b>ANÁLISIS DINÁMICO</b> .....	17
<b>3</b>	<b>EDIFICIO CON DISIPADORES DE FLUIDO VISCOSO</b> .....	<b>26</b>
<b>3.1</b>	<b>PROPIEDADES INICIALES DEL DISIPADOR</b> .....	<b>26</b>
<b>3.2</b>	<b>CÁLCULO DE PROPIEDADES LINEALES DEL DISPOSITIVO</b> .....	<b>29</b>
<b>3.3</b>	<b>VERIFICACIÓN DE DERIVA OBJETIVO EN LA ESTRUCTURA DEBIDO A SISMO RARO</b> .....	<b>32</b>
<b>3.4</b>	<b>SEÑALES SÍSMICAS UTILIZADAS</b> .....	<b>33</b>
<b>3.5</b>	<b>CÁLCULO DE PROPIEDADES NO LINEALES DEL DISPOSITIVO</b> .....	<b>34</b>
<b>3.6</b>	<b>ANÁLISIS DEL EFECTO DE LOS DISIPADORES</b> .....	<b>37</b>
<b>3.7</b>	<b>EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO SÍSMICO DEL EDIFICIO CON DISIPADORES</b> .....	<b>39</b>
3.7.1	<b>METODOLOGÍA DE LA EVALUACIÓN</b> .....	39
3.7.2	<b>DESEMPEÑO EN COLUMNA</b> .....	40
3.7.3	<b>DESEMPEÑO EN VIGA</b> .....	41
<b>4</b>	<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>42</b>
	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>43</b>

## Índice de Tablas

Tabla 1. Cálculo del ratio de peso por nivel .....	6
Tabla 2. Resumen de masas por nivel del edificio .....	9
Tabla 3. Resumen de centros de masa y rigidez por nivel .....	10
Tabla 4. Resumen de centros de masa y rigidez con excentricidad por nivel .....	11
Tabla 5. Cargas laterales por nivel según método estático de NTE E030 .....	17
Tabla 6. Resumen de análisis modal del edificio .....	18
Tabla 7. Tres primeros modos de vibración en la dirección X-X (larga) .....	19
Tabla 8. Tres primeros modos de vibración en la dirección Y-Y (larga) .....	19
Tabla 9. Valores de T vs Sa para construcción de espectro sísmico.....	20
Tabla 10. Derivas de entrepiso del análisis espectral sin disipadores.....	22
Tabla 11. Resumen de las fuerzas cortantes en el edificio sin disipadores .....	23
Tabla 12. Verificación de la irregularidad de rigidez en dirección X-X .....	24
Tabla 13. Verificación de la irregularidad de rigidez en la dirección Y-Y.....	24
Tabla 14. Verificación de la irregularidad por torsión en la dirección X-X.....	25
Tabla 15. Verificación de la irregularidad por torsión en la dirección Y-Y.....	25
Tabla 16. Deriva objetivo y amortiguamiento efectivo en cada dirección .....	27
Tabla 17. Propiedades no lineales del disipador .....	27
Tabla 18. Cálculo de propiedades lineales del disipador en dirección X-X.....	29
Tabla 19. Cálculo de propiedades lineales del disipador en dirección Y-Y.....	30
Tabla 20. Resumen de propiedades lineales del disipador en dirección Y-Y.....	30
Tabla 21. Derivas de entrepiso del análisis espectral con disipadores .....	32
Tabla 22. Cálculo de propiedades no lineales del disipador en dirección X-X .....	34
Tabla 23. Cálculo de propiedades no lineales del disipador en dirección Y-Y .....	35
Tabla 24. Resumen de propiedades no lineales del disipador en ambas direcciones.....	35
Tabla 25. Comparación de resultados espectrales para el uso de disipadores .....	37
Tabla 26. Comparación del tiempo-historia no lineal con valores espectrales .....	38
Tabla 27. Solicitaciones máximas del análisis espectral para la columna .....	38
Tabla 28. Resumen de solicitaciones del THNL y resistencia probable instalada en columna .....	40
Tabla 29. Resumen de solicitaciones del THNL y resistencia probable instalada en viga .....	41

## Índice de Figuras

Figura 1. Vista referencial en planta del edificio .....	2
Figura 2. Vista tridimensional del edificio .....	3
Figura 3. Vista en planta de las excentricidades .....	11
Figura 4. Selección de parámetro Z de la NTE. E030.....	12
Figura 5. Selección de parámetro S de la NTE. E030.....	12
Figura 6. Selección de parámetro C según NTE.E030.....	13
Figura 7. Espectro Z4S2.....	21
Figura 8. Derivas máximas por sismo en X (izquierda) y por sismo en Y (derecha) .....	22
Figura 9. Arreglo en planta del edificio con disipadores.....	28
Figura 10. Arreglo en elevación del edificio con disipadores .....	28
Figura 11. Datos lineales del disipador en X-X.....	31
Figura 12. Datos lineales del disipador en Y-Y.....	31
Figura 14. Derivas espectrales por sismo en Y en edificios con disipadores .....	32
Figura 13. Derivas espectrales por sismo en X en edificios con disipadores .....	32
Figura 15. Espectro compatible y señales utilizadas en el software .....	33
Figura 16. Comparación de espectro compatible con el de la norma E030 .....	33
Figura 17. Datos no lineales del disipador en X-X .....	36
Figura 18. Datos no lineales del disipador en Y-Y .....	36

## 1 INTRODUCCIÓN

Este trabajo tiene por objetivo evaluar la posibilidad de que edificios con disipadores de fluido viscoso permanezcan sin daño en terremotos importantes. Para ello se elaboran dos análisis sobre el edificio con disipadores: espectral y tiempo historia con dispositivos no lineales.

Se elige un edificio aperticado de concreto armado de 5 pisos y se estructura para lograr una deriva máxima de 7 por mil según lo establecido en la NTE E030. Luego, se implementan disipadores de fluido viscoso no lineales sobre este edificio para lograr una deriva objetivo de 5 por mil.

Después de realizar los análisis sobre el edificio protegido, se obtienen las fuerzas internas de ambos análisis sobre una columna y viga. Luego se evalúa el desempeño (incurción en rango inelástico) mediante la comparación de capacidad estructural de cada elemento.

La capacidad de cada uno de los elementos estructurales se tomó del análisis espectral amplificando estos valores por una sobrerresistencia de  $\Omega = 2$ , el cual es un valor usualmente considerado para estas estructuras. Esta capacidad luego se comparó con la demanda del análisis tiempo historia, tomándose como criterio de comportamiento elástico el caso en que la capacidad superaba o igualaba la demanda.

## 2 EDIFICIO CONVENCIONAL SIN SISTEMA DE PROTECCIÓN

### 2.1 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

El proyecto consiste en un edificio de oficinas ubicado en la ciudad de Piura (Perfil del suelo tipo S2). Consta de cinco (05) niveles con dimensiones de 42 m en la dirección X-X y 28 m en la dirección Y-Y dando un área techada de 1176.0 m<sup>2</sup> por piso. Este edificio tiene una altura de entrepiso de 4.50 m en todos los pisos dando una altura total de 22.50 m.

Para este trabajo en particular, se mantendrá la condición de edificio aporticado con la misma separación entre columnas en todas sus crujías de tal forma que resulte ser simétrico. Además, se tendrá la condición de usar una resistencia del concreto de  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ . Se presenta una vista referencial en planta del edificio a continuación:

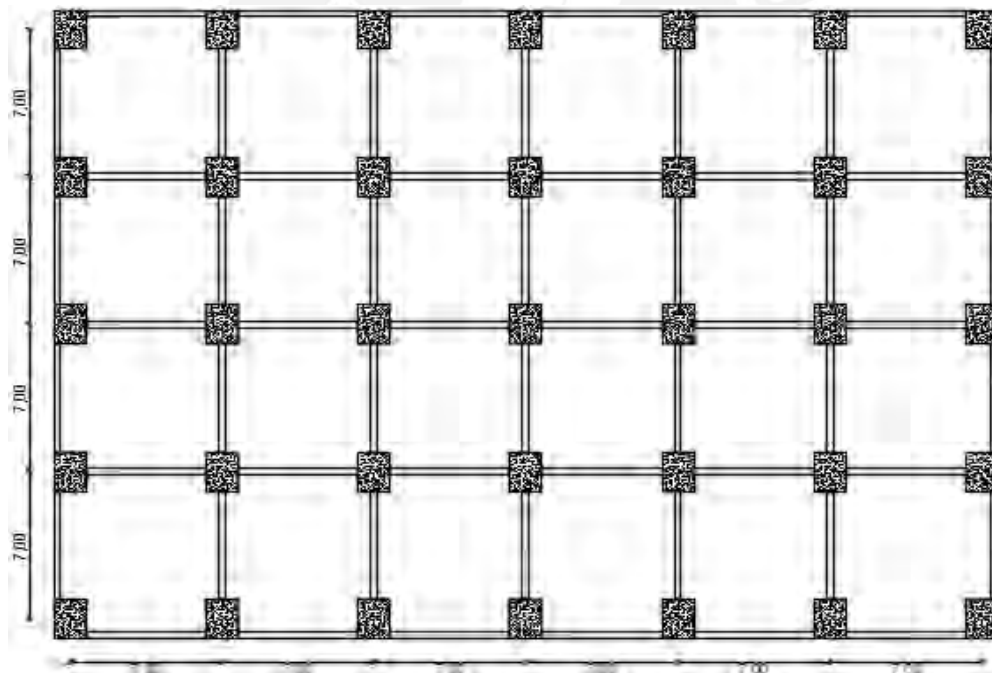


Figura 1. Vista referencial en planta del edificio

Para el dimensionamiento de los elementos estructurales se tomaron las siguientes consideraciones:

### •Columnas

Se buscó la dimensión de columnas tal que la deriva de entrepiso en el caso de análisis espectral cumpliera con la deriva del 0.007 establecida en la NTE. E030. Se propusieron columnas de 1.45m x 1.85m donde la longitud de 1.85 m está en la dirección Y-Y (dirección corta) la cual necesitaría mayor longitud debido al menor número de crujías que soportarán la carga sísmica. Se obtuvieron estas dimensiones de columna debido a las grandes luces entre ejes de 7 m y alturas de entrepiso de 4.50 m. Además, tal como se mencionó antes, se tomó como restricción mantener el sistema estructural aporticado y con un  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ .

### •Vigas

Las vigas tendrán un ancho de 30 centímetros y un peralte de 70 centímetros, dimensionados en función de los requerimientos de deriva del edificio. Se utilizó el criterio de predimensionamiento de  $L/12$  y  $L/14$  donde  $L$  es la luz libre de las vigas. No obstante, por requisitos de rigidez se terminó eligiendo una relación que daba como resultado una viga de 0.30x0.70 m en todos los pórticos.

De esta forma se terminó definiendo la estructura para el análisis que cumpliera con la norma sismorresistente peruana. Las losas son macizas y de 20 centímetros de espesor. Se presenta una vista en elevación del modelo tridimensional utilizado:

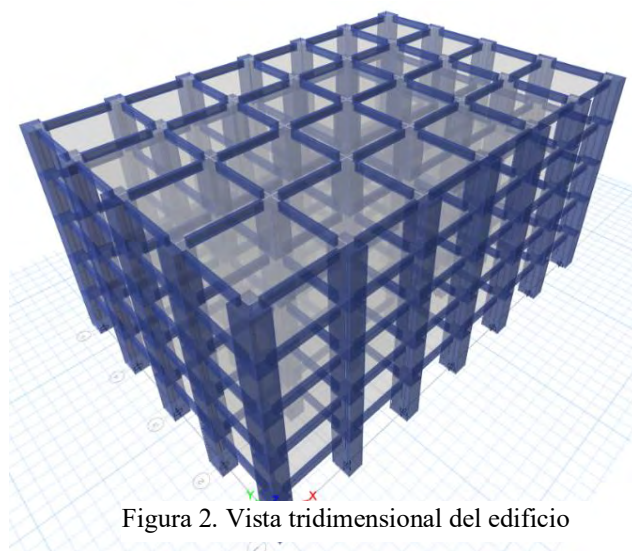


Figura 2. Vista tridimensional del edificio

## 2.2 CARACTERÍSTICAS DEL EDIFICIO

Los materiales usados para el edificio son concreto armado ( $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ ) y acero dúctil de refuerzo ( $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$ ).

Se asignará una carga total muerta de  $730 \text{ kg/m}^2$ , donde  $100 \text{ kg/m}^2$  es la carga muerta del piso terminado,  $150 \text{ kg/m}^2$  el peso de tabiquería distribuida en las losas y  $480 \text{ kg/m}^2$  el peso propio de las losas (espesor de 20 cm).

Asimismo, se considerará una sobrecarga de  $250 \text{ kg/m}^2$  en todos los pisos típicos excepto la azotea, donde será  $100 \text{ kg/m}^2$ . La razón de amortiguamiento crítico en el concreto será  $\varepsilon = 5\%$ , un valor comúnmente asociado a edificaciones.

### 2.2.1 CONCRETO

Mezcla de cemento, agua y agregados gruesos y finos según resistencia especificada y proceso constructivo (preparado en obra o premezclado).

- Resistencia a la compresión  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$
- Módulo de Poisson  $\nu = 0.20$
- Módulo de Elasticidad  $E = 15000 * \sqrt{f'c} = 2.2 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$
- Peso específico  $\gamma = 2.4 \text{ ton/m}^3$

### 2.2.2 ACERO DE REFUERZO

Se considerará el uso de varillas de acero corrugadas de grado 60 para el diseño.

- Límite de fluencia  $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$
- Módulo de elasticidad  $E = 2 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$



### 2.2.3 TIPO DE SUELO

Al edificio se le asignó el tipo de suelo S2 ubicado en la ciudad de Piura (Zona sísmica 4).

## 2.3 METRADO DE CARGAS

Se realizará el metrado de cargas en dos partes: por cargas de gravedad y por cargas sísmicas.

### 2.3.1 METRADO DE CARGAS POR GRAVEDAD

Las losas macizas son de 20 cm de espesor y con 5 cm de piso terminado. Por lo tanto, se presenta el cálculo de las cargas muertas:

- $W_{\text{peso propio}} = (2.4 \text{ ton/m}^3) \cdot (0.20 \text{ m}) = 0.48 \text{ ton/m}^2$
- $W_{\text{piso terminado}} = (2 \text{ ton/m}^3) \cdot (0.05 \text{ m}) = 0.1 \text{ ton/m}^2$
- $W_{\text{tabiquería}} = 0.15 \text{ ton/m}^2$

Para la carga viva se tomó un valor de 250 kg/m<sup>2</sup> para pisos típicos y 100 kg/m<sup>2</sup> para azotea.

Finalmente se tiene el siguiente metrado resumido:

<b>Losa Techo Típico</b>	<b>Peso Propio (tonf/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Piso Terminado + tabiquería (tonf/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Total Carga Muerta (tonf/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Total Carga Viva (tonf/m<sup>2</sup>)</b>
<b>h= 0.20 m</b>	0.48	0.25	0.73	0.25

<b>Losa Techo Azotea</b>	<b>Peso Propio (tonf/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Piso Terminado (tonf/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Total Carga Muerta (tonf/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Total Carga Viva (tonf/m<sup>2</sup>)</b>
<b>h= 0.20 m</b>	0.48	0.10	0.58	0.10

Se calculará el ratio de pesos por nivel del edificio después del dibujo del modelo y la asignación de cargas en ETABS. Dada la gran sección de columnas del edificio, resultado de las grandes luces entre ejes y alturas de entrepiso, se obtienen ratios por encima de 1 menores a 2. Las unidades están en toneladas y metros cuadrados.

Tabla 1. Cálculo del ratio de peso por nivel

<b>PISO</b>	<b>MASA</b>	<b>PESO (ton)</b>	<b>AREA (m<sup>2</sup>)</b>	<b>RATIO (ton/m<sup>2</sup>)</b>
<b>5</b>	140.20	1375.36	1176.00	1.17
<b>4</b>	214.40	2103.26	1176.00	1.79
<b>3</b>	214.40	2103.26	1176.00	1.79
<b>2</b>	214.40	2103.26	1176.00	1.79
<b>1</b>	214.40	2103.26	1176.00	1.79

*Fuente Propia*

### **2.3.2 PESO SÍSMICO**

Según la Norma NTE.E030 Diseño Sismorresistente el peso sísmico utilizado en el análisis se calcula como la suma de porcentajes de la carga muerta y viva. Para edificaciones de vivienda clasificadas como de categoría C se tomará el 100% de la carga muerta y se adicionará el 25% de la carga viva para pisos típicos y 25% para la azotea. Esta será el peso considerado para realizar un análisis sísmico de la estructura. En base a esto, el peso sísmico obtenido del software es igual a 9788.4 tonf. Con estos valores se procederá a realizar el cálculo del peso sísmico a mano para verificación y estimar la cortante basal según la norma NTE.E030:

### Carga Muerta

- $\Sigma(\text{Longitud de vigas por piso}) = 406 \text{ m}$
- $\text{Peso total de vigas} = (406 \text{ m}) \cdot (0.30 \text{ m} \cdot 0.70 \text{ m}) \cdot (5 \text{ pisos}) \cdot 2.4 \text{ ton/m}^3 = 1023.1 \text{ tonf}$
- $\Sigma(\text{Longitud de columnas por piso}) = 35 \cdot (4.5 - 0.8) = 130 \text{ m}$
- $\text{Peso total de columnas} = (130 \text{ m}) \cdot (1.45 \text{ m} \cdot 1.85 \text{ m}) \cdot (5 \text{ pisos}) \cdot 2.4 \text{ ton/m}^3 = 4181 \text{ tonf}$
- $\text{Peso en Losa Maciza} = 4 \text{ pisos} \cdot (0.73 \text{ ton/m}^2) \cdot (1176 \text{ m}^2) + 1 \text{ piso} \cdot (0.58 \text{ ton/m}^2) \cdot (1176 \text{ m}^2) = 4116 \text{ tonf en total}$

### Carga Viva

- $\text{Losa maciza Típica} = 4 \cdot (1176 \text{ m}^2) \cdot (0.25 \text{ tonf/m}^2) = 1176 \text{ tonf}$
- $\text{Losa maciza Azotea} = 1 \cdot (1176 \text{ m}^2) \cdot (0.1 \text{ tonf/m}^2) = 117.6 \text{ tonf}$

### Peso Sísmico

- $P = 100\% (1023.1 + 157.5 + 4181 + 4116) + 25\% (1176 + 117.6)$

**P = 9801 tonf**

### Cortante Sísmica

- $\text{Coeficiente de cortante basal} = 0.14766 \rightarrow \text{Su valor se sustentará en } 2.4.3 \text{ Parámetros Sísmicos}$
- $V_{\text{basal}} = \text{Coeficiente} \cdot P = 0.14766 \cdot 9801 = 1447.2 \text{ tonf}$

Ese valor de 1447.2 tonf es el que se esperaría como valor inicial referencial en la base de la estructura ante tal sismo.

## **2.4 ANÁLISIS SÍSMICO**

### **2.4.1 DESCRIPCIÓN DEL ANÁLISIS**

El análisis sísmico permite calcular las solicitaciones que existirán en la estructura tales como fuerzas cortantes y momentos flectores en los elementos sismorresistentes según el peligro sísmico representado por el emplazamiento y entorno del edificio; y la vulnerabilidad sísmica que depende de las características de la estructura.

Por tal motivo se usará la norma NTE. E030 de Diseño Sismorresistente para estimar la sollicitación sísmica a la que estará sometida la estructura. Este análisis consiste en dos tipos: el estático y el dinámico espectral; uno en cada dirección de análisis (considerando un 5% de excentricidad). Asimismo, se buscarán cumplir los requisitos mínimos de resistencia y rigidez planteadas en esta norma.

### **2.4.2 MODELO ESTRUCTURAL**

El análisis del edificio se realizó a través de un modelo tridimensional en el software ETABS al cual se le asignaron las propiedades de cada elemento y las cargas.

Las losas de techo fueron modelados como elementos bidimensionales tipo Membrana. Asimismo, a cada piso se le asignó un diafragma rígido que implicará que existirán únicamente 3 grados de libertad en cada uno de ellos.

Finalmente, se dibujaron las vigas y columnas (elementos unidimensionales tipo Frame) con un brazo rígido en sus intersecciones para garantizar la existencia y efectividad de los nudos

frente a cargas laterales (puesto que los nudos son, por exigencia, zonas con una resistencia mucho mayor que la de los elementos que une).

### 2.4.3 PARÁMETROS SÍSMICOS

Se presenta a continuación la determinación de los parámetros sísmicos según la NTE.E030.

Para ello se usarán valores obtenidos del modelo tridimensional en ETABS.

#### Masas sísmicas por piso

Primero se muestra la distribución de la masa y los pesos que estos representan por piso:

Tabla 2. Resumen de masas por nivel del edificio

	<b>Masa (tonf- s<sup>2</sup>/m)</b>	<b>Peso (tonf)</b>
<b>Piso 5</b>	140.2	1375.4
<b>Piso 4</b>	214.4	2103.3
<b>Piso 3</b>	214.4	2103.3
<b>Piso 2</b>	214.4	2103.3
<b>Piso 1</b>	214.4	2103.3
		<b>9788.4</b>

*Fuente Propia*

### Centros de masa y de rigidez

Del modelo tridimensional de ETABS se obtienen primero los valores del centro de masa y centro de rigidez sin tener en cuenta la excentricidad accidental con punto de origen en la esquina inferior izquierda. De tal forma que se le pueda incluir en la dirección más desfavorable.

Tabla 3. Resumen de centros de masa y rigidez por nivel

	CM X-X (m)	CM Y-Y (m)	CR X-X (m)	CR Y-Y (m)
<b>Piso 5</b>	21	14	21	14
<b>Piso 4</b>	21	14	21	14
<b>Piso 3</b>	21	14	21	14
<b>Piso 2</b>	21	14	21	14
<b>Piso 1</b>	21	14	21	14

*Fuente Propia*

Se observa que los centros de masa y rigidez coinciden para ambos ejes de análisis, esto debido a que se trata de una edificación totalmente simétrica. Por tal motivo se tomará excentricidad de +5% en X (en este caso es indistinto el signo ya que coinciden) y +5% en Y (también indistinto).

Por lo que gráficamente la distribución en la azotea sería:

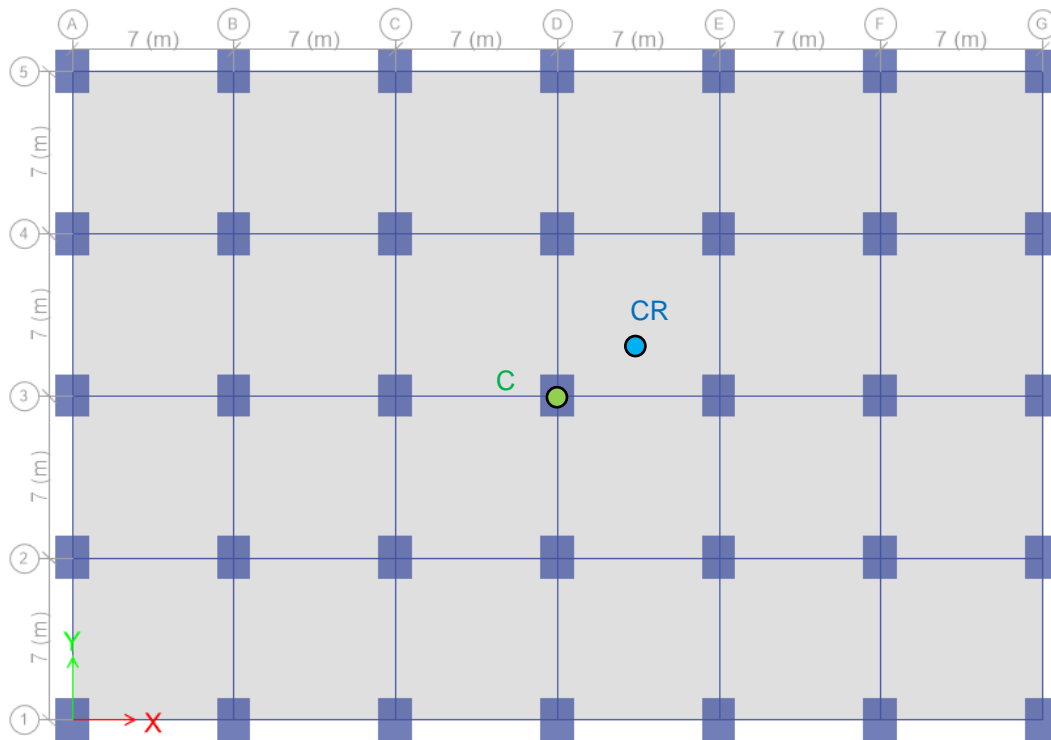


Figura 3. Vista en planta de las excentricidades

Y en forma tabulada:

Tabla 4. Resumen de centros de masa y rigidez con excentricidad por nivel

	CM X-X	CM Y-Y	CR X-X (m)	CR Y-Y (m)
	(m)	(m)	EX+	EY+
<b>Piso 5</b>	21	14	23.1	15.4
<b>Piso 4</b>	21	14	23.1	15.4
<b>Piso 3</b>	21	14	23.1	15.4
<b>Piso 2</b>	21	14	23.1	15.4
<b>Piso 1</b>	21	14	23.1	15.4

*Fuente Propia*

## Parámetros de la Norma

### Parámetro Z:

Para determinar el valor del parámetro Z o factor de zona se debe primero definir y ubicar la ubicación geográfica del terreno. Se obtuvo como dato que se ubica en la ciudad de Piura:

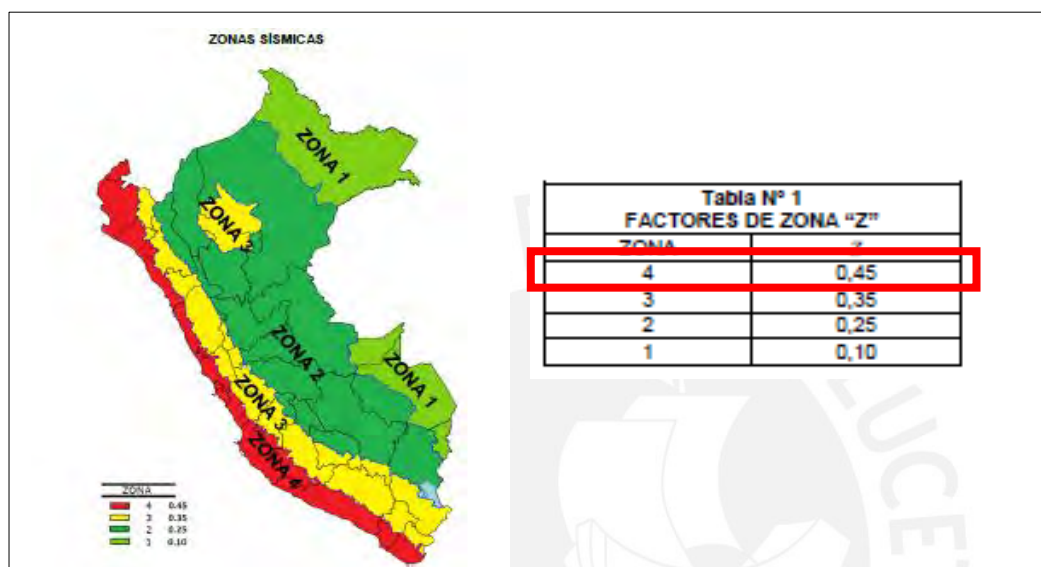


Figura 4. Selección de parámetro Z de la NTE. E030.

Por lo tanto, al estar ubicado en la Zona 4, le corresponde el valor **Z4 = 0.45**

### Parámetro S:

Asimismo, se obtuvo como dato que el edificio será construido en un emplazamiento con un tipo de suelo S2. De la norma se obtiene que para S2:

SUELO ZONA	S <sub>0</sub>	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>
Z <sub>1</sub>	0,80	1,00	1,05	1,10
Z <sub>2</sub>	0,60	1,00	1,15	1,20
Z <sub>3</sub>	0,80	1,00	1,20	1,40
Z <sub>4</sub>	0,80	1,00	1,60	2,00

	Perfil de suelo			
	S <sub>0</sub>	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>
T <sub>p</sub> (s)	0,3	0,4	0,6	1,0
T <sub>L</sub> (s)	3,0	2,5	2,0	1,6

Figura 5. Selección de parámetro S de la NTE. E030.

Al estar en la Zona4 corresponde **S2 = 1.05; T<sub>p</sub> = 0.6 segundos y T<sub>L</sub> = 2.0 segundos.**



### Factor de Amplificación Sísmica (C):

El factor C representa la amplificación a la aceleración entrante al edificio y depende de las características estructurales del mismo. Este factor según la NTE.E030 se puede hallar como:

$T < T_P$	$C = 2,5$
$T_P < T < T_L$	$C = 2,5 \cdot \left(\frac{T_P}{T}\right)$
$T > T_L$	$C = 2,5 \cdot \left(\frac{T_P \cdot T_L}{T^2}\right)$

Figura 6. Selección de parámetro C según NTE.E030.

De donde T es el periodo fundamental de vibración de la estructura. Del cálculo mostrado en

**2.4.4.1 Período Fundamental** se obtiene como primer valor estimado del periodo de la estructura:

$$T = \frac{hn}{Ct} = \frac{22.5}{35} = 0.64 \text{ s}$$

Luego en **2.4.5.1 Análisis de modos de vibración**, tras el análisis modal de la estructura resulta que:

$$T_{X-X} = 0.63 \text{ s}$$

$$T_{Y-Y} = 0.54 \text{ s}$$

En la dirección Y-Y se obtuvo  $T < T_p$  por lo que  $C_{Y-Y} = 2.5$ . Mientras que en la dirección X-X  $T > T_p$ , por lo que  $C_{X-X} = 2.5 \cdot 0.6 / 0.625 = 2.4$

Factor de Uso (U):

Este factor corresponde al riesgo potencial (posible cantidad de heridos y daños) que podría existir según el uso de la edificación a construir. Según la NTE.030 para edificaciones de oficinas que son clasificadas como de categoría C o edificaciones comunes se tiene **U = 1.00**.

Factor de Reducción Sísmica (R):

El factor R responde a los requisitos de resistencia de la norma NTE 030 y depende del tipo de sistema estructural que tenga la edificación. Según el sistema estructural predominante en cada dirección se usa un factor llamado  $R_o$ . Luego se define R:

$$R = R_o * I_a * I_p$$

Donde  $I_a$  e  $I_p$  son factores de reducción por irregularidades en altura y en planta respectivamente. Dada la simetría del edificio se asumirá que  $I_a = 1$  e  $I_p = 1$ . Mientras  $R_o = 8$  para edificios aporticados.

$$\underline{R = 8 * 1 * 1 = 8.00 = R_{x-x} = R_{y-y}}$$

Este valor de R permitirá la reducción de la fuerza máxima elástica proveniente del factor  $Z * C * S$  para definir el escalón de entrada al rango inelástico de la estructura.

## 2.4.4 ANÁLISIS ESTÁTICO

Según la NTE.E030 este método representa las solicitaciones sísmicas mediante un conjunto de fuerzas actuando en el centro de masas de cada nivel de la edificación.

### 2.4.4.1 Período Fundamental

El artículo 28.4.1 permite estimar el periodo fundamental de la edificación con la siguiente expresión:

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

Donde:

Hn: Altura de la edificación en metros = 22.5 m

Ct = 35 para edificios con pórticos de concreto armado

Luego:

$T = 22.5/35 = 0.643$  segundos, el cual es un primer valor estimado.

### 2.4.4.2 Fuerza Cortante en la Base

El modelo computacional, desde el análisis modal, brinda los períodos en X y Y, los cuales son  $T_x = 0.625$  segundos y  $T_y = 0.540$  segundos. Los parámetros sísmicos son  $Z = 0.45$ ,  $U = 1$ ,  $S = 1.05$  y  $R = 8$ . En adición,  $T_p = 0.6$  segundos y  $T_l = 2.0$  segundos. En función de estos valores, el cortante sísmico  $V_x$  es igual a 1387.5 toneladas y  $V_y$  es igual a 1445.4 toneladas.

El artículo 28.2.1 de la NTE.E030 propone el cálculo de la cortante basal mediante la siguiente expresión.

$$V = \frac{ZUCS}{R} \times P$$

De donde los valores de Z, U, C, S y R fueron determinados en 3.3 *Parámetros Sísmicos* obteniéndose para Y-Y:

$$V_{YY} = \frac{0.45 * 1.00 * 2.5 * 1.05}{8} \times P$$

$$V = 0.148 \times P$$

De donde se debe cumplir que  $C/R > 0.11$ ,  $2.5/8 = 0.313 \rightarrow$  Cumple.

De la expresión se interpreta que la edificación estará sometida a una fuerza cortante equivalente al 14.8 % de su peso en su base.

Luego para la dirección X-X:

$$V_{XX} = \frac{0.45 * 1.00 * 2.4 * 1.05}{8} \times P$$

$$V = 0.142 \times P$$

De donde se debe cumplir que  $C/R > 0.11$ ,  $2.5/8 = 0.3125 \rightarrow$  Cumple.

De la expresión se interpreta que la edificación estará sometida a una fuerza cortante equivalente al 14.2 % de su peso en su base.

Como complemento, según el método estático, las cargas laterales quedarían distribuidas por niveles para el análisis como se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 5. Cargas laterales por nivel según método estático de NTE E030

Nivel	Peso	hi	P * hi X	P * hi Y	Fxi	Fyi
5	1376	22.5	37 656	30 949	351.4	356.2
4	2103	18.0	45 421	37 859	423.9	435.7
3	2103	13.5	33 454	28 395	312.2	326.8
2	2103	9.0	21 740	18 930	202.9	217.8
1	2103	4.5	10 406	9 465	97.1	108.9
			148 676	125 597	1 387.5	1 445.4

*Fuente Propia*

La fuerza cortante basal en X y Y es igual a la sumatoria de las fuerzas por nivel en su dirección correspondiente, verificando la distribución.

#### 2.4.5 ANÁLISIS DINÁMICO

Hay dos métodos propuestos en la norma NTE.E030 para hacer un análisis dinámico: espectral y análisis Tiempo-Historia. Se realizó únicamente un análisis dinámico usando el espectro definido en la norma para sismos peruanos. Este análisis sísmico consiste en evaluar la respuesta de una estructura frente a un espectro de aceleraciones basadas en un sismo raro de período de retorno igual a 475 años. Este espectro está en función del período.

##### 2.4.5.1 Análisis de modos de vibración

El software ETABS permite elaborar un análisis en vibración libre de la estructura y así obtener los distintos modos de vibración. Estos modos están definidos por un periodo de vibración y por una forma  $\phi$  que es un vector con los desplazamientos modales de cada piso para un modo específico de vibración.

La cantidad de los modos de vibración dependerá de los grados de libertad de cada diafragma. Por lo que al ser diafragmas rígidos se tienen 3 por cada nivel, es decir, 15 modos de vibración que definirán la vibración de la edificación.

A continuación, se muestra de forma tabulada los periodos y las masas participantes para cada dirección de análisis.

Tabla 6. Resumen de análisis modal del edificio

<b>Modo</b>	<b>Periodo</b> <b>(segundos)</b>	<b>UX</b>	<b>UY</b>	<b>RZ</b>
<b>1</b>	0.625	0.7307	0	0
<b>2</b>	0.540	0	0.721	0
<b>3</b>	0.501	0	0	0.7294
<b>4</b>	0.148	0.1678	0	0
<b>5</b>	0.122	0	0.1773	0
<b>6</b>	0.119	0	0	0.1698
<b>7</b>	0.06	0.0641	0	0
<b>8</b>	0.049	0	0.0653	0
<b>9</b>	0.049	0	0	0.0643
<b>10</b>	0.033	0.0286	0	0
<b>11</b>	0.027	0	0.0282	0
<b>12</b>	0.027	0	0	0.0282
<b>13</b>	0.023	0.0087	0	0
<b>14</b>	0.019	0	0.0082	0
<b>15</b>	0.019	0	0	0.0083

*Fuente Propia*

Según la NTE E030 se considerarán por lo menos los tres primeros modos predominantes (mayor masa participativa) de vibración de cada dirección de análisis y aquellos que garanticen una suma de masas efectivas de por lo menos 90%.

Tabla 7. Tres primeros modos de vibración en la dirección X-X (larga)

<b>Modo</b>	<b>Periodo (s)</b>	<b>Masa Participativa (%)</b>
<b>1</b>	0.625	73.07
<b>4</b>	0.148	16.78
<b>7</b>	0.006	6.41
		96.26

*Fuente Propia*

Tabla 8. Tres primeros modos de vibración en la dirección Y-Y (larga)

<b>Modo</b>	<b>Periodo (s)</b>	<b>Masa Participativa (%)</b>
<b>2</b>	0.540	72.10
<b>5</b>	0.122	17.73
<b>8</b>	0.049	6.53
		96.36

*Fuente Propia*

#### 2.4.5.2 Análisis de aceleración espectral

Para hacer el análisis espectral en el software ETABS, se construye un espectro de aceleraciones de Periodo T vs Sa (dentro de un bloc de notas) con los valores calculados según la NTE E030. *Define-> Functions -> Response Spectrum -> From File -> Convert to User Defined*. Luego se define el caso de carga: *Define -> Load Cases -> "Espectral XX"-> Response Spectrum*. Se optó por colocar el bloc de notas como la multiplicación de factores ZUCS en función de g.

El espectro consiste en una función del Periodo vs aceleración espectral. En donde el factor ZUCS/R representa el porcentaje del peso a la que se somete la edificación y el ZCSU es usado para ver la respuesta elástica de la estructura. Se muestra una tabla con los valores obtenidos desde cero hasta dos segundos de ZCS:

Tabla 9. Valores de T vs Sa para construcción de espectro sísmico

<b>T (s)</b>	<b>Sa (m/s<sup>2</sup>)</b>	<b>T (s)</b>	<b>Sa (m/s<sup>2</sup>)</b>
<b>0</b>	1.1813	<b>1.05</b>	0.6815
<b>0.05</b>	1.1813	<b>1.10</b>	0.6502
<b>0.10</b>	1.1813	<b>1.15</b>	0.6217
<b>0.15</b>	1.1813	<b>1.20</b>	0.5956
<b>0.20</b>	1.1813	<b>1.25</b>	0.5716
<b>0.25</b>	1.1813	<b>1.30</b>	0.5494
<b>0.30</b>	1.1813	<b>1.35</b>	0.5289
<b>0.35</b>	1.1813	<b>1.40</b>	0.5099
<b>0.40</b>	1.1813	<b>1.45</b>	0.4922
<b>0.45</b>	1.1813	<b>1.50</b>	0.4757
<b>0.50</b>	1.1813	<b>1.55</b>	0.4602
<b>0.55</b>	1.1813	<b>1.60</b>	0.4458
<b>0.60</b>	1.1813	<b>1.65</b>	0.4322
<b>0.65</b>	1.1074	<b>1.70</b>	0.4194
<b>0.70</b>	1.0272	<b>1.75</b>	0.4073
<b>0.75</b>	0.9578	<b>1.80</b>	0.3959
<b>0.80</b>	0.8972	<b>1.85</b>	0.3852
<b>0.85</b>	0.8438	<b>1.90</b>	0.3750
<b>0.90</b>	0.7963	<b>1.95</b>	0.3653
<b>0.95</b>	0.7540	<b>2.00</b>	0.3562
<b>1.00</b>	0.7159		

*Fuente Propia*



Y se muestra el espectro utilizado, aquel que se usa para diseño es el ZCS/R:

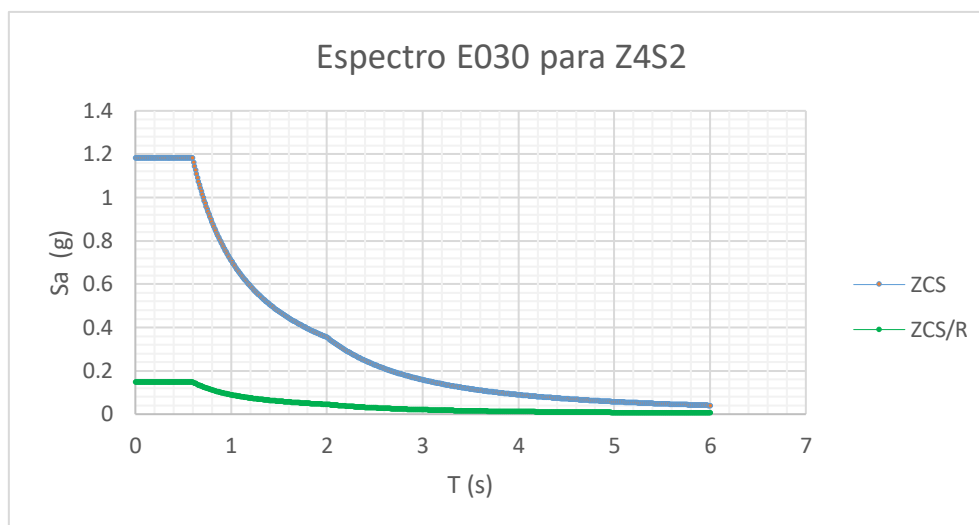


Figura 7. Espectro Z4S2

El Criterio de superposición espectral usado es la combinación cuadrática completa (CQC) para obtener las respuestas sísmicas.

#### 2.4.5.4 Desplazamientos de la edificación

Los desplazamientos inelásticos según la NTE E030 se obtienen al multiplicar los obtenidos en el ETABS por  $0.75R$  ( $0.75 \times 8 = 6$ ). A partir de estos se puede obtener las derivas máximas de entrepiso y verificar si se supera el límite de la norma. Se debe rigidizar el edificio de manera que la deriva máxima de entrepiso sea menor o igual a  $7/1000$ .

Se tiene entonces la siguiente tabla que muestra los valores máximos de deriva de 0.00696 y 0.00643 en el tercer piso en las direcciones X y Y, respectivamente. Se comprueba que el dimensionamiento de las columnas fue el correcto. Se muestra la tabla calculada únicamente a partir de los valores de desplazamiento de cada entrepiso:

Tabla 10. Derivas de entrepiso del análisis espectral sin disipadores

	ESPECTRAL X-X				ESPECTRAL Y-Y		
	Altura de entrepiso H (cm)	Desp. máx inelástico (cm)	Desp. relativo inelástico (cm)	Deriva	Desp. máx inelástico (cm)	Desp. relativo inelástico (cm)	Deriva
<b>Piso 5</b>	450	12.90	2.81	<b>0.00624</b>	12.03	2.72	<b>0.00604</b>
<b>Piso 4</b>	450	10.09	3.09	<b>0.00686</b>	9.31	2.92	<b>0.00650</b>
<b>Piso 3</b>	450	7.01	3.13	<b>0.00696</b>	6.39	2.89	<b>0.00643</b>
<b>Piso 2</b>	450	3.88	2.62	<b>0.00582</b>	3.50	2.37	<b>0.00528</b>
<b>Piso 1</b>	450	1.26	1.26	<b>0.00279</b>	1.13	1.13	<b>0.00250</b>

*Fuente Propia*

Se muestran las figuras del modelo computacional que por su lado también calcula las derivas de entrepiso y se observan que son los mismos valores obtenidos:

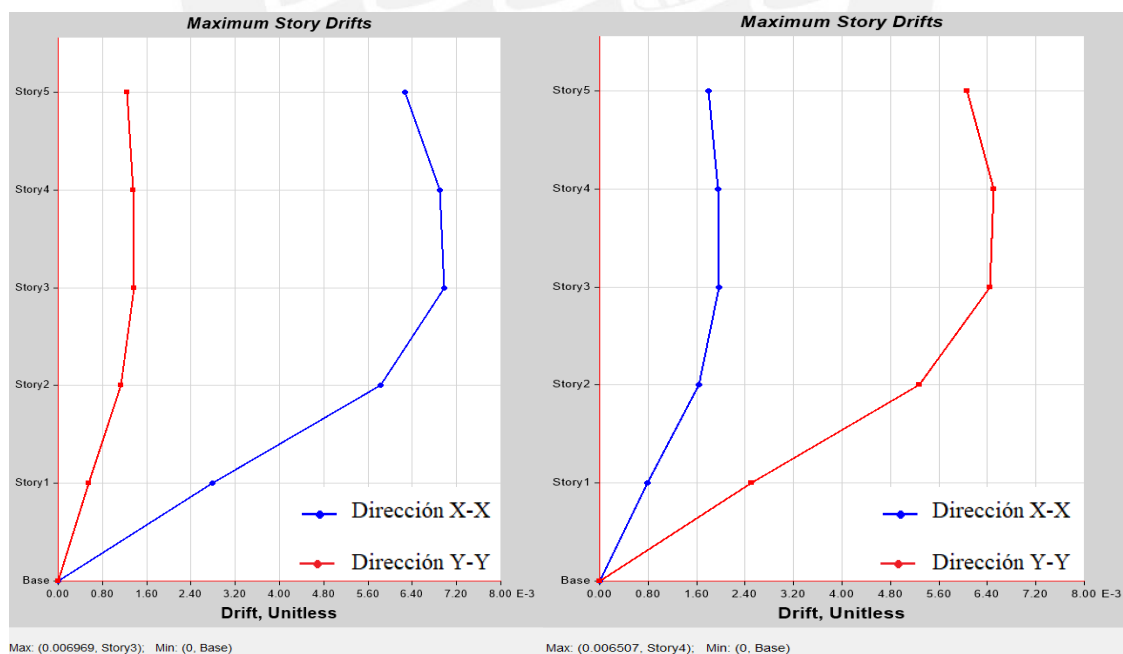


Figura 8. Derivas máximas por sismo en X (izquierda) y por sismo en Y (derecha)

#### 2.4.5.5 Cortante de diseño

La norma NTE E030 indica que para cada dirección de análisis la fuerza cortante basal dinámica no será menor que el 80% de la cortante basal por análisis estático para estructuras regulares. En caso de no cumplirse deberá tenerse un escalamiento proporcional de todos los resultados excepto de los desplazamientos. Se muestra un resumen en tabla de las cortantes basales para cada análisis.

Tabla 11. Resumen de las fuerzas cortantes en el edificio sin disipadores

	<b>V estático (tonf)</b>	<b>V dinámico (tonf)</b>	<b>V diseño = 80% Vest</b>	<b>Factor de escala</b>
<b>X-X</b>	1 387.1	1023.9	1109.7	1.084
<b>Y-Y</b>	1 444.9	943.5	1156.3	1.226

*Fuente Propia*

Estos valores de factores de escala serán introducidos al crear las combinaciones de diseño según la NTE.E060 Diseño en concreto armado.

#### 2.4.5.6 Verificación del factor R

Se asumió que la estructura era completamente regular por altura y en planta. Con los valores obtenidos se procederá a revisar si lo asumido es válido, es decir, que según la norma NTE.E030 no existe ninguna irregularidad.

#### Irregularidad de rigidez

Se hallarán las cortantes de entrepiso y se dividirán entre los desplazamientos relativos por piso del centro de masa, con esto se obtendrá la rigidez de cada piso. Estas rigideces de piso se compararán con las inmediatas superiores sin tener que ser menores que un 70%. Asimismo, se comparan con el promedio de las 3 inmediatas superiores sin ser menores que 80% del mismo. Esto se muestra en la siguiente tabla elaborada:

Tabla 12. Verificación de la irregularidad de rigidez en dirección X-X

Piso	Cortante (tonf)	Desp. elástico del C.M (cm)	Desp. relativo del C.M (cm)	K (tonf/m)	K relat. (tonf/m)	Factor de piso blando	Por promedio
5	305.82	1.92	0.42	73 337.29	73 337.29	-	-
4	612.81	1.50	0.46	133 451.83	60 114.54	0.82	-
3	827.80	1.04	0.47	177 753.51	44 301.68	0.74	-
2	964.31	0.58	0.39	247 323.65	69 570.14	1.57	<b>1.17</b>
1	1023.85	0.19	0.19	547 515.94	300 192.29	4.32	<b>5.18</b>

Fuente Propia

Se observa que no existe un valor menor que 0.7 en pisos inmediatos superiores ni menor que 0.80 que el promedio de los 3 pisos superiores. Por lo que no existe irregularidad de piso blando. Asimismo, al tener la misma geometría de elementos en todos los pisos tampoco habrá piso débil provocado por cambios en la resistencia. Por tanto,  $I_{ax-x} = 1.0$ .

Tabla 13. Verificación de la irregularidad de rigidez en la dirección Y-Y

Piso	Cortante (tonf)	Desplazamiento elástico del C.M (cm)	Desp. relativo del C.M (cm)	K (tonf/m)	K relat. (tonf/m)	Factor de piso blando	Por promedio
5	283.18	1.35	0.31	91 348.8	91 348.8	-	-
4	569.89	1.04	0.33	172 902.7	81 553.9	0.89	-
3	767.98	0.71	0.32	237 545.0	64 642.3	0.79	-
2	891.17	0.39	0.26	339 105.2	101 560.2	1.57	<b>1.28</b>
1	943.54	0.12	0.12	762 765.4	423 660.2	4.17	<b>5.13</b>

Fuente Propia

Se aprecia que en ningún caso se tienen valores menores al 70% ni 80%. Esto es lógico puesto que existe continuidad de las columnas y esto a su vez garantiza una mayor rigidez en el primer piso especialmente. Se concluye que no existe irregularidad de rigidez ni ninguna otra irregularidad en altura dada la simetría de este edificio. Por tanto,  $I_{y-y} = 1.0$ .

## Irregularidad por Torsión

Se comparará que los valores del máximo desplazamiento relativo sean menores que 1.3 veces el desplazamiento promedio para la misma carga. Se presenta la tabla para ambos casos de sismos:

Tabla 14. Verificación de la irregularidad por torsión en la dirección X-X

<b>ESPECTRAL X-X, EY+</b>					
	Desp. máx elástico (cm)	Desp. relativo elástico (cm)	Desp. promedio (cm)	Desp. promedio relativo (cm)	Factor
<b>Piso 5</b>	2.15	0.47	1.93	0.42	<b>1.117</b>
<b>Piso 4</b>	1.68	0.52	1.51	0.46	<b>1.116</b>
<b>Piso 3</b>	1.17	0.52	1.05	0.47	<b>1.116</b>
<b>Piso 2</b>	0.65	0.44	0.58	0.39	<b>1.115</b>
<b>Piso 1</b>	0.21	0.21	0.19	0.19	<b>1.116</b>

*Fuente Propia*

Tabla 15. Verificación de la irregularidad por torsión en la dirección Y-Y

<b>ESPECTRAL Y-Y, EX+</b>					
	Desp. máx elástico (cm)	Desp. relativo elástico (cm)	Desp. promedio (cm)	Desp. promedio relativo (cm)	Factor
<b>Piso 5</b>	2.00	0.45	1.57	0.36	<b>1.269</b>
<b>Piso 4</b>	1.55	0.49	1.21	0.38	<b>1.274</b>
<b>Piso 3</b>	1.07	0.48	0.83	0.38	<b>1.280</b>
<b>Piso 2</b>	0.58	0.40	0.45	0.31	<b>1.285</b>
<b>Piso 1</b>	0.19	0.19	0.15	0.15	<b>1.288</b>

*Fuente Propia*

Se observa que en todos los casos es menor que 1.3 veces el desplazamiento promedio. Se toma  $I_p = 1.0$  pero con cargo de que a criterio propio debería existir cierta resistencia adicional en el diseño. Se verifica lo asumido inicialmente de  $R = R_o * I_a * I_p = 8 * 1 * 1 = 8$ .

### 3 EDIFICIO CON DISIPADORES DE FLUIDO VISCOSO

#### 3.1 PROPIEDADES INICIALES DEL DISIPADOR

Se incluyen disipadores de fluido viscoso no lineales como sistema de protección sísmica de tal forma que la estructura cumpla una deriva objetivo de 0.005. Esta deriva está definida sólo como condición de estudio para el presente trabajo. Se establecerán propiedades lineales para el análisis espectral y propiedades no lineales para el análisis con señales sísmicas.

Se define el valor B como:

$$B = \frac{\Delta_{m\acute{a}x}}{\Delta_{obj}} = \frac{2.31 - 0.41 \ln \xi_I}{2.31 - 0.41 \ln \xi_{ef}}$$

En donde  $\xi_I$  es el amortiguamiento inherente de la estructura que usualmente se estima en un 5% y  $\xi_{eff}$  es el amortiguamiento efectivo requerido en la estructura de tal forma que:

$$\text{ASCE 7-16: } \xi_{ef} = \xi_I + \xi_V \sqrt{\mu} + \xi_H$$

En donde  $\xi_H$  es el amortiguamiento histerético de la estructura y con un valor de 0 en rango elástico asociado al análisis espectral. De manera similar, sucederá con el valor  $\mu$ , que es la ductilidad de la estructura y tendrá un valor de 1 puesto que seguirá en el rango elástico. Finalmente,  $\xi_V$  es el amortiguamiento viscoso que tendrá el dispositivo.

Por lo tanto, para cada dirección de análisis se muestra la tabla:

Tabla 16. Deriva objetivo y amortiguamiento efectivo en cada dirección

	<b>XX (Dir Larga)</b>	<b>YY (Dir Corta)</b>
<b>T (s)</b>	0.625	0.54
<b><math>\Delta_{\text{máx}}</math> (0/00)</b>	6.969	6.500
<b><math>\Delta_{\text{obj}}</math> (0/00)</b>	5	5
<b>B</b>	1.39	1.3
<b><math>\xi_{\text{I}}</math> (%)</b>	5	5
<b><math>\xi_{\text{eff}}</math> (%)</b>	15.6	12.7
<b><math>\xi_{\text{v}}</math> (%)</b>	10.6	7.7

*Fuente Propia*

Se definen los valores  $\theta$  para los disipadores diagonales que son el ángulo de inclinación que tendrá el disipador en cada crujía y, para este edificio en particular, serán los mismos en todos los niveles. Además, se considera el valor  $\alpha = 0.25$  (un valor común considerado en disipadores no lineales) para el dispositivo y se calculan sus demás propiedades no lineales. El valor A es el desplazamiento máximo de la azotea del edificio sin dispositivos:

Tabla 17. Propiedades no lineales del disipador

<b><math>\theta</math></b>	<b><math>\text{ARCTAN}(4.5/7) = 33.2^\circ</math></b>	
<b><math>\alpha</math></b>	0.25	
<b>A (cm)</b>	12.9 (X-X)	12.0 (Y-Y)
<b><math>\lambda</math> (función de <math>\alpha</math>)</b>	3.7	

*Fuente Propia*

Como propuesta original, se han considerado 6 dispositivos en arreglo diagonal en la dirección X-X y 10 en la dirección Y-Y. Estas cantidades quedan con cargo a revisar para una optimización del número de dispositivos en cada dirección si así se requiere.

Se realizó la siguiente distribución en planta y elevación de los disipadores:

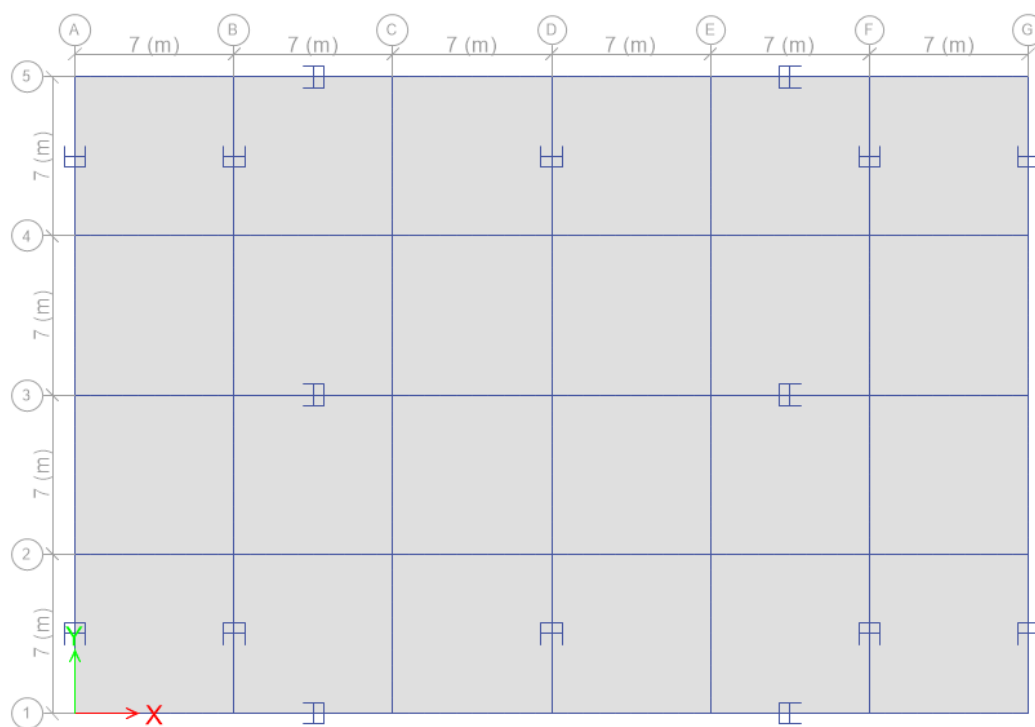


Figura 9. Arreglo en planta del edificio con disipadores

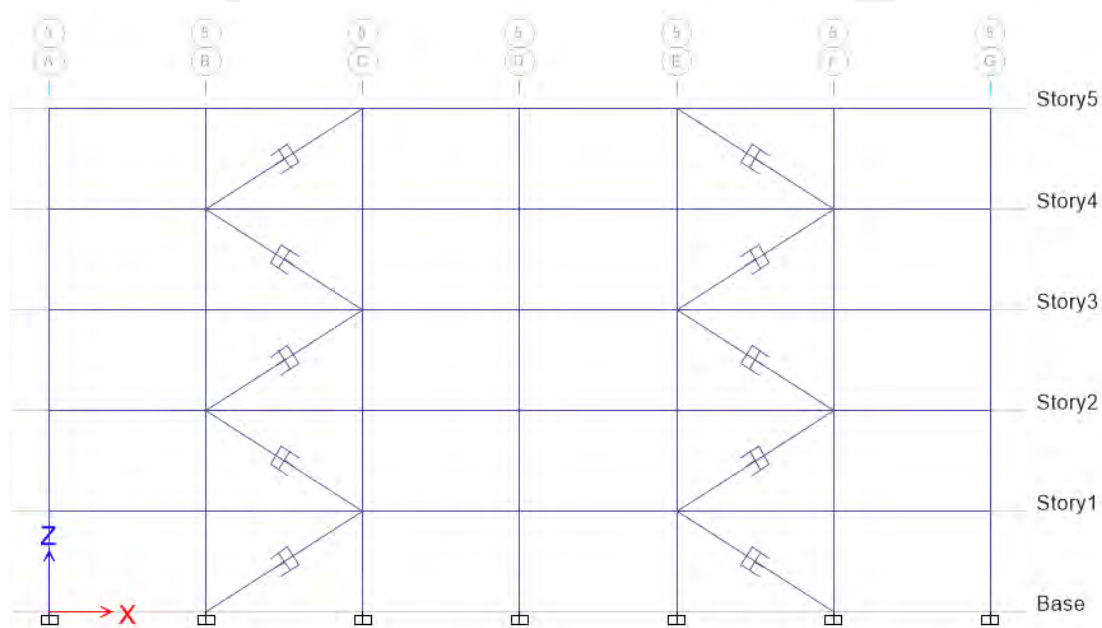


Figura 10. Arreglo en elevación del edificio con disipadores



### 3.2 CÁLCULO DE PROPIEDADES LINEALES DEL DISPOSITIVO

Para el cálculo de propiedades lineales (Ceff) del disipador no lineal se utiliza las siguientes expresiones:

$$\xi_{V1} = \frac{T_1 \sum_i \sum_j c_j \phi_{r,i,1}^2 \cos^2 \theta_j}{4\pi \sum_i m_i \phi_{i,1}^2} \quad C_{piso} = nC = (\xi_{ef} - \xi_l) \frac{4\pi \sum_i m_i \phi_{i,1}^2}{T_1 \sum_i \phi_{r,i,1}^2 \cos^2 \theta_i}$$

Donde:

- T1: Periodo fundamental de vibración en la dirección de análisis
- C: Factor de amortiguamiento total por nivel
- $\Phi_i$ : Desplazamiento modal de la estructura, para el cálculo se deberá normalizar
- $\Phi_{ri}$ : Desplazamiento modal normalizado relativo
- $m_i$ : masa del nivel i

Se muestra el cálculo tabulado en cada dirección de análisis:

Tabla 18. Cálculo de propiedades lineales del disipador en dirección X-X

PISO	Masa (ton.s2/m)	$\theta$	$\phi_i$	$\phi_i$ norm	$\phi_{ri}$	$\phi_{ri}^2 \cdot \cos^2(\theta)$	$m_i \cdot \phi_i^2$ (ton.s2/m)
1	214.4	33.20	0.00187	0.097	0.097	0.0067	2.036
2	214.4	33.20	0.00577	0.301	0.203	0.0289	19.381
3	214.4	33.20	0.01043	0.543	0.243	0.0412	63.300
4	214.4	33.20	0.01502	0.783	0.239	0.0401	131.338
5	140.2	33.20	0.01919	1.000	0.217	0.0331	140.218
						0.1500	356.2731

Fuente Propia

Tabla 19. Cálculo de propiedades lineales del disipador en dirección Y-Y

<b>PISO</b>	<b>Masa (ton.s<sup>2</sup>/m)</b>	<b><math>\theta</math></b>	<b><math>\phi_i</math></b>	<b><math>\phi_i</math> norm</b>	<b><math>\phi_{ri}</math></b>	<b><math>\phi_{ri}^2 \cdot \cos^2(\theta)</math></b>	<b><math>m_i \cdot \phi_i^2</math> (ton.s<sup>2</sup>/m)</b>
<b>1</b>	214.4	33.20	0.0020	0.083	0.083	0.0049	1.489
<b>2</b>	214.4	33.20	0.0070	0.292	0.208	0.0304	18.239
<b>3</b>	214.4	33.20	0.0130	0.542	0.250	0.0438	62.906
<b>4</b>	214.4	33.20	0.0190	0.792	0.250	0.0438	134.373
<b>5</b>	140.2	33.20	0.0240	1.000	0.208	0.0304	140.218
						0.1532	357.2244

*Fuente Propia*

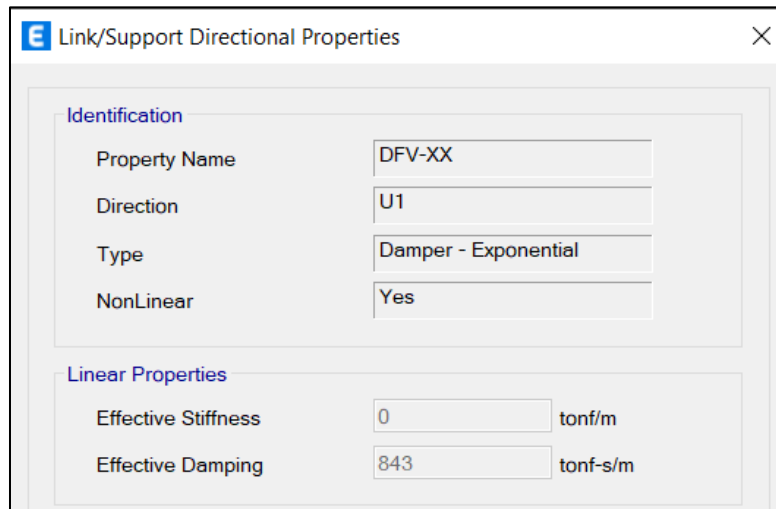
De los valores calculados en las tablas anteriores para cada caso se tiene:

Tabla 20. Resumen de propiedades lineales del disipador en dirección Y-Y

		<b>X-X</b>	<b>Y-Y</b>
<b>Periodo</b>	T (s)	0.625	0.540
<b>Amortiguamiento del sistema</b>	$\xi_o$ (%)	5	5
<b>Amortiguamiento efectivo total</b>	$\xi_{eff}$ (%)	15.6	12.7
<b>Amortiguamiento viscoso</b>	$\xi_v$ (%)	10.6	7.7
<b>Coficiente C por piso</b>	C piso (ton.s/m)	5 057	4 156
<b># Disipadores por piso</b>	n	6	10
<b>Coficiente C de disipadores</b>	C (ton.s/m)	843	416

*Fuente Propia*

Con estos resultados se llenaron los valores de las propiedades en el modelo computacional:



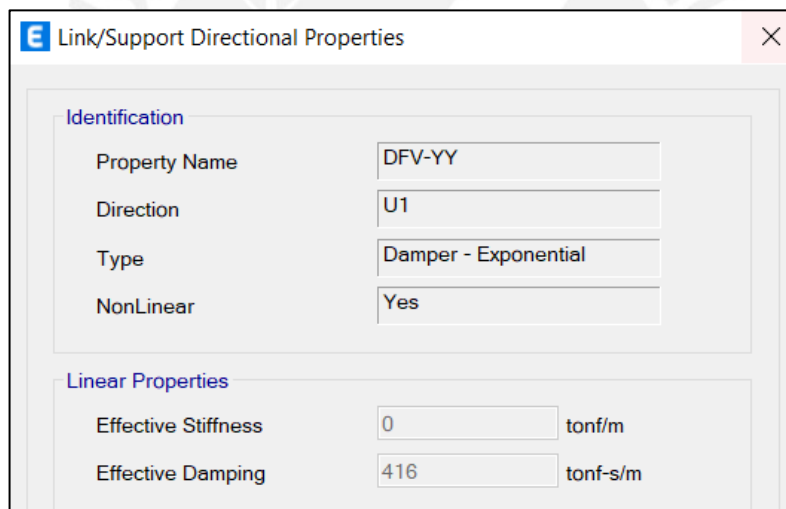
The screenshot shows a software dialog box titled "Link/Support Directional Properties". It is divided into two sections: "Identification" and "Linear Properties".

Identification	
Property Name	DFV-XX
Direction	U1
Type	Damper - Exponential
NonLinear	Yes

Linear Properties	
Effective Stiffness	0 tonf/m
Effective Damping	843 tonf-s/m

Figura 11. Datos lineales del disipador en X-X



The screenshot shows a software dialog box titled "Link/Support Directional Properties". It is divided into two sections: "Identification" and "Linear Properties".

Identification	
Property Name	DFV-YY
Direction	U1
Type	Damper - Exponential
NonLinear	Yes

Linear Properties	
Effective Stiffness	0 tonf/m
Effective Damping	416 tonf-s/m

Figura 12. Datos lineales del disipador en Y-Y

### 3.3 VERIFICACIÓN DE DERIVA OBJETIVO EN LA ESTRUCTURA DEBIDO A SISMO RARO

Para verificar el diseño de los disipadores se revisará la deriva máxima de la estructura a un nivel de sismo raro ( $T_r = 475$  años) mediante un análisis espectral:

Tabla 21. Derivas de entrepiso del análisis espectral con disipadores

Piso	Deriva X-X	Deriva Y-Y
1	0.00196	0.00175
2	0.00407	0.00369
3	0.00486	0.00452
4	0.00479	0.00458
5	0.00435	0.00428

Fuente Propia

La deriva máxima es de 4.86 por mil, habiéndose cumplido que sea menor que la deriva objetivo de 5 por mil, se concluye que es satisfactorio el análisis con disipadores. Se muestran unos gráficos que permiten visualizar la distribución de derivas en cada piso:

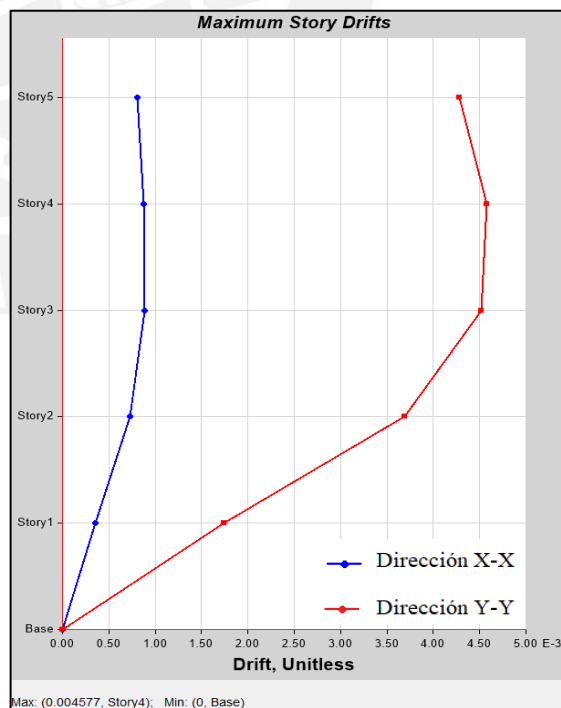
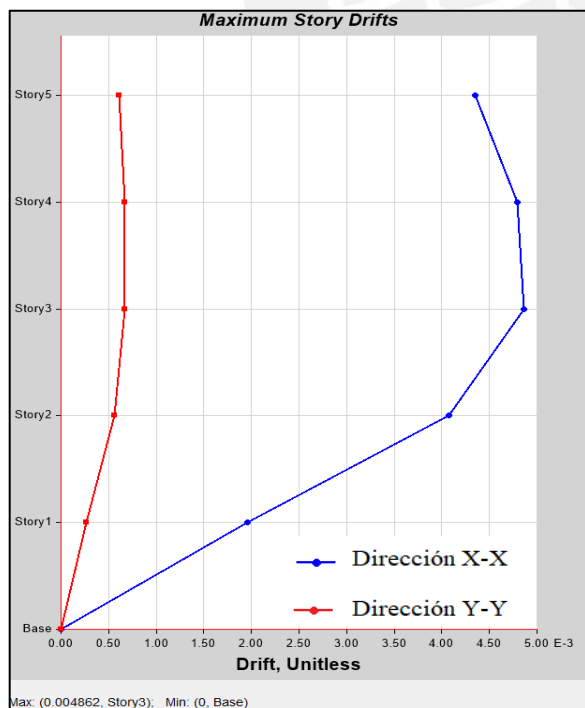


Figura 14. Derivas espectrales por sismo en X en edificios con disipadores

Figura 13. Derivas espectrales por sismo en Y en edificios con disipadores

### 3.4 SEÑALES SÍSMICAS UTILIZADAS

Se muestra a continuación los 7 pares de registros utilizados para el análisis con valores representativos del emplazamiento.

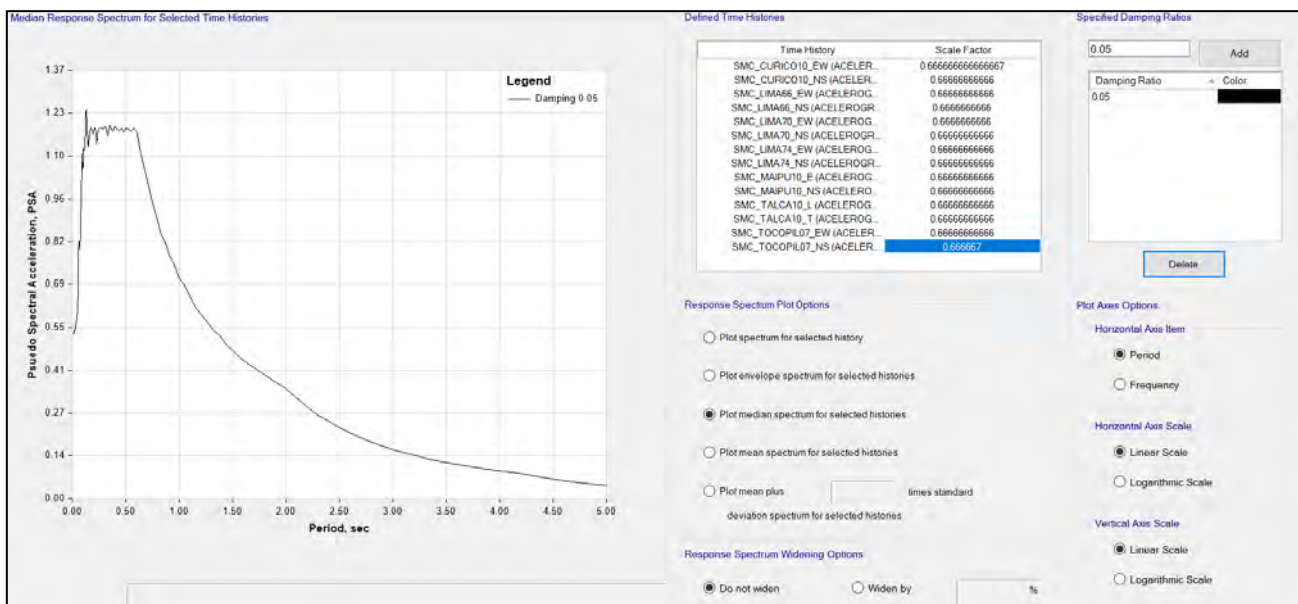


Figura 15. Espectro compatible y señales utilizadas en el software

Se verifica comparando el espectro compatible de los acelerogramas con el espectro de la norma NTE. E030:

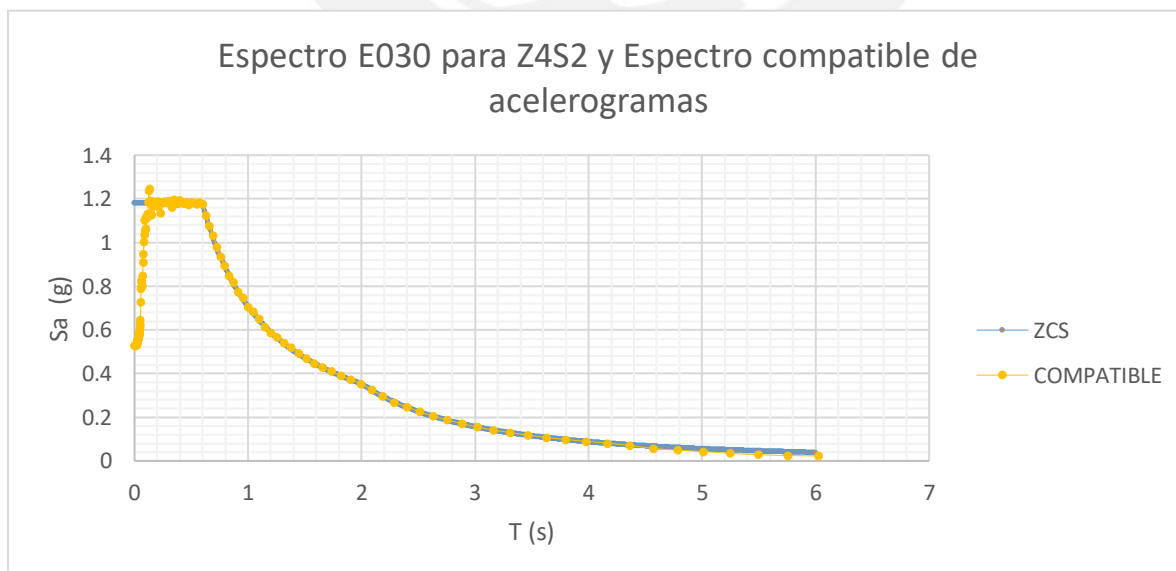


Figura 16. Comparación de espectro compatible con el de la norma E030

### 3.5 CÁLCULO DE PROPIEDADES NO LINEALES DEL DISPOSITIVO

Para el cálculo de propiedades no lineales (Ceff) del disipador no lineal se utiliza las siguientes expresiones:

$$\xi_{V1} = \frac{\sum_i \sum_j c_j (\phi_{ri,1} \cos \theta_j)^{1+\alpha} \lambda_j}{2\pi A^{1-\alpha} \omega_1^{2-\alpha} \sum_i m_i \phi_{i,1}^2} \quad C_{piso} = nC = (\xi_{ef} - \xi_l) \frac{2\pi A^{1-\alpha} \omega_1^{2-\alpha} \sum_i m_i \phi_{i,1}^2}{\lambda \sum_i \phi_{ri,1}^{1+\alpha} \cos^{1+\alpha} \theta_i}$$

Donde:

- $\alpha$ : Exponente no lineal, en este caso se tomó  $\alpha = 0.25$
- $\lambda$ : Factor asociado al valor de  $\alpha$
- $A$ : desplazamiento máximo de la azotea sin disipadores en la dirección de análisis
- $\omega$ : Frecuencia fundamental en la dirección de análisis
- $C$ : Factor de amortiguamiento total por nivel
- $\Phi_i$ : Desplazamiento modal de la estructura, para el cálculo se deberá normalizar
- $\Phi_{ir}$ : Desplazamiento modal normalizado relativo
- $m_i$ : masa del nivel  $i$

De las fórmulas presentadas se presenta de forma tabulada los cálculos:

Tabla 22. Cálculo de propiedades no lineales del disipador en dirección X-X

PISO	Masa (ton.s2/m)	$\theta$	$\phi_i$	$\phi_i$ norm	$\phi_{ri}$	$\phi_{ri}^{(1+\alpha)} \cdot \cos^{(1+\alpha)} \theta$	$m_i \cdot \phi_i^2$ (ton.s2/m)
1	214.4	33.20	0.00187	0.097	0.097	0.0436	2.036
2	214.4	33.20	0.00577	0.301	0.203	0.1092	19.381
3	214.4	33.20	0.01043	0.543	0.243	0.1363	63.300
4	214.4	33.20	0.01502	0.783	0.239	0.1340	131.338
5	140.2	33.20	0.01919	1.000	0.217	0.1188	140.218
						0.5418	356.273

Fuente Propia

Tabla 23. Cálculo de propiedades no lineales del disipador en dirección Y-Y

PISO	Masa (ton.s <sup>2</sup> /m)	$\theta$	$\phi_i$	$\phi_i$ norm	$\phi_{ri}$	$\phi_{ri}^{(1+\alpha)} \cos^{(1+\alpha)} \theta$	$m_i \phi_i^2$ (ton.s <sup>2</sup> /m)
1	214.4	33.20	0.0020	0.083	0.083	0.0358	1.489
2	214.4	33.20	0.0070	0.292	0.208	0.1126	18.239
3	214.4	33.20	0.0130	0.542	0.250	0.1415	62.906
4	214.4	33.20	0.0190	0.792	0.250	0.1415	134.373
5	140.2	33.20	0.0240	1.000	0.208	0.1126	140.218
						0.5441	357.224

Fuente Propia

De los valores calculados en las tablas anteriores para cada caso se tiene la tabla:

Tabla 24. Resumen de propiedades no lineales del disipador en ambas direcciones

		X-X	Y-Y
<b>Exponente</b>	$\alpha$	0.25	0.25
	$\lambda$	3.7	3.7
<b>Desplazamiento de azotea</b>	A s/d (cm)	12.9	12
	A (cm)	9.3	9.2
	$A^{(1-\alpha)}$	0.168	0.167
<b>Periodo</b>	T (s)	0.625	0.540
<b>Frecuencia natural</b>	$\omega$ (Hz)	10.053	11.636
	$\omega^{(2-\alpha)}$	56.76	73.30
<b>Amortiguamiento del sistema</b>	$\xi_0$	5	5
<b>Amortiguamiento efectivo total</b>	$\xi_{eff}$	15.6	12.7
<b>Coefficiente de amort. Por piso</b>	C piso (ton.s/m)	1126	1048
<b># Disipadores por piso</b>	n	6	10
<b>Coefficiente C de disipadores</b>	C (ton.s/m)	188	105

Fuente Propia

Con estos resultados se llenaron los valores de las propiedades en el modelo computacional:

Nonlinear Properties		
Stiffness	<input type="text" value="40000"/>	tonf/m
Damping	<input type="text" value="188"/>	tonf*(s/m)^Cexp
Damping Exponent	<input type="text" value="0.25"/>	

Figura 17. Datos no lineales del disipador en X-X

Nonlinear Properties		
Stiffness	<input type="text" value="40000"/>	tonf/m
Damping	<input type="text" value="105"/>	tonf*(s/m)^Cexp
Damping Exponent	<input type="text" value="0.25"/>	

Figura 18. Datos no lineales del disipador en Y-Y

Dado que el modelo computacional utiliza un modelo viscoelástico de Maxwell que tiene al disipador y la rigidez en serie, se colocó una rigidez ( $K \approx EA/L$ ) muy alta de tal forma que solo ingrese el amortiguamiento del dispositivo al sistema estructural.



### 3.6 ANÁLISIS DEL EFECTO DE LOS DISIPADORES

Se muestra una tabla con el resumen de resultados de los análisis espectrales en el edificio sin disipador y del edificio con disipador:

Tabla 25. Comparación de resultados espectrales para el uso de disipadores

	Sin disipadores		Con disipadores	
	XX (dirección larga)	YY (dirección corta)	XX (dirección larga)	YY (dirección corta)
<b>Periodo Fundamental (s)</b>	0.625	0.54	0.625	0.54
<b>%Masa Participante</b>	73.07%	72.10%	73.07%	72.10%
<b>Desplazamiento máx. azotea (cm)</b>	12.90	12.03	9.00	8.45
<b>Deriva máx (Piso 3)</b>	0.00696	0.0065	0.00486	0.00458
<b>Cortante basal espectral (ton)</b>	1 023.9	943.5	748	785.6
<b>Momento volcante espectral (ton.m)</b>	17 745	18 625	11 908	12 590

*Fuente Propia*

Los periodos y masas participantes no cambian de valor, esto debido a que los disipadores de fluido viscoso no ingresan rigidez al sistema, sino amortiguamiento.

Se observa cómo se logró reducir la deriva de manera aproximada a la deriva objetivo de 5 por mil. Además de que existe una reducción de las solicitaciones sísmicas al edificio, lo cual concuerda con el uso del valor B usado en normas internacionales para reducir los valores espectrales a un espectro de menores valores que los usados originalmente. Se pueden observar más resultados del análisis espectral en el Anexo 1.

Luego del análisis tiempo-historia no lineal se comparan los valores espectrales del caso con disipador con los promedios del tiempo historia en la siguiente tabla:

Tabla 26. Comparación del tiempo-historia no lineal con valores espectrales

THNL- PROMEDIOS	ESPECTRAL CON DISIPADORES		THNL- PROMEDIOS	
	XX (dirección larga)	YY (dirección corta)	XX (dirección larga)	YY (dirección corta)
<b>Desplazamiento máx. azotea (cm)</b>	9.00	8.45	7.86	7.47
<b>Deriva máx</b>	0.00486	0.00458	0.0043	0.0037
<b>Cortante basal (ton)</b>	748	785.6	5 033.7	5 190.5
<b>Momento volcante (ton.m)</b>	11 908	12 590	68 324.9	72 353.4

Fuente Propia

De la tabla se observa que en cuanto a desplazamientos y derivas los valores espectrales son mayores mientras que a nivel de solicitaciones son ampliamente superados debido a que los valores de solicitaciones espectrales se obtienen por norma tras una reducción por el factor R. Los resultados de cada sismo del tiempo historia pueden observarse en el Anexo2.

Con los momentos de la columna 2-F se comparan los valores del análisis espectral con disipadores y del tiempo-historia no lineal. Se muestra en la siguiente tabla los resultados:

Tabla 27. Solicitaciones máximas del análisis espectral para la columna

	<b>Valor</b>
Momento del ESPECTRAL s/d (ton-m)	267.0
Momento del ESPECTRAL c/d (ton-m)	176.0
Momento del THNL c/d (tpn-m)	1320.7
$R = M.THNL / M \text{ espectral c/d}$	7.50
Resistencia probable = $\Omega * M. \text{ Espectral c/d (ton-m)}$	352
$R \text{ logrado} = M. \text{ Espectral c/d} * \Omega / M .THNL$	3.75

Fuente Propia

De igual manera que en toda la estructura, se cumple que a nivel de elemento (en este caso una columna) se redujeron las solicitaciones al incluir dispositivos de fluido viscoso y que en el análisis tiempo historia se obtuvo un valor muy alto por no incluir en su cálculo un factor de reducción  $R$ . Se comparan los momentos en la columna (cociente del espectral con el tiempo historia), obteniéndose un valor de 7.5 y tras considerar la sobrerresistencia de la estructura se obtiene  $R = 3.75$ .

### **3.7 EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO SÍSMICO DEL EDIFICIO CON DISIPADORES**

#### **3.7.1 METODOLOGÍA DE LA EVALUACIÓN**

Se realizaron análisis de Tiempo Historia No Lineal usando 7 pares de señales sísmicas que fueron modificadas a un espectro compatible Z4S2 de un sismo raro ( $T_r = 475$  años).

El procedimiento establecido para elaborar esta evaluación consiste primero en estimar la resistencia instalada de los elementos como las fuerzas de diseño obtenidas del análisis espectral multiplicados por la sobrerresistencia  $\Omega = 2$ . Los resultados por elemento se pueden observar en los Anexo 3 y Anexo 4.

Luego, para cada elemento se comparan los resultados de la resistencia instalada con las demandas obtenidas del análisis tiempo historia no lineal para evaluar el desempeño inelástico del elemento.

### 3.7.2 DESEMPEÑO EN COLUMNA

Se muestra entonces un resumen de las demandas de los THNL y se compara con la resistencia

Instalada para la columna A-5 en la siguiente tabla:

Tabla 28. Resumen de solicitudes del THNL y resistencia probable instalada en columna

	<b>P</b>	<b>V2</b>	<b>V3</b>	<b>T</b>	<b>M2</b>	<b>M3</b>
	<b>tonf</b>	<b>tonf</b>	<b>tonf</b>	<b>tonf-m</b>	<b>tonf-m</b>	<b>tonf-m</b>
<b>Máximo THNL</b>	161.62	178.33	160.08	24.03	1 351.65	1 414.32
<b>Mínimo THNL</b>	-155.96	-133.99	-114.04	-22.21	-974.39	-1 002.35
<b>Promedio</b>	128.50	96.29	79.52	12.37	661.74	736.95
<b>Máximos THNL</b>						
<b>Promedio</b>	-126.92	-87.15	-69.86	-12.28	-582.44	-665.23
<b>Mínimos THNL</b>						
<b>Resistencia instalada</b>	613.43	48.00	60.32	7.53	513.35	365.98

*Fuente Propia*

De lo cual se observa que la resistencia instalada, en la mayoría de los casos, es menor que los valores máximos y menor en algunos de los valores promedios de los 7 registros. Por tal motivo, se concluye que, si bien la estructura cumplirá con requisitos de deriva máxima de entrepiso, esta tendrá incursión en rango inelástico según el análisis tiempo historia no lineal.

### 3.7.3 DESEMPEÑO EN VIGA

De igual manera se procede para la viga del tercer piso del eje A entre ejes 1 y 2 tomando como valor de sobrerresistencia de  $\Omega = 2$ .

De igual manera que en el caso de la columna, del análisis THNL (FNA) se presenta directamente el resumen:

Tabla 29. Resumen de solicitaciones del THNL y resistencia probable instalada en viga

	<b>V2</b>	<b>M3</b>
	<b>tonf</b>	<b>tonf-m</b>
<b>Máximo THNL</b>	40.78	105.14
<b>Mínimo THNL</b>	-30.80	-79.41
<b>Promedio Máximos THNL</b>	20.29	52.30
<b>Promedio Mínimos THNL</b>	-17.99	-46.38
<b>Resistencia instalada</b>	34.17	60.22

*Fuente Propia*

De donde se observa que la resistencia instalada es mayor que los valores promedios pero menor a los valores picos, por lo que al igual que la columna se verifica el desempeño inelástico de la estructura para los casos más extremos de estos sismos.

#### 4 CONCLUSIONES

- El edificio empleado en este estudio tiene luces de 7 m entre ejes y alturas de 4.5 m de entrepiso. Los requisitos de rigidez de la norma peruana sismorresistente del edificio sin disipadores llevaron a columnas de secciones muy importantes (1.45m x 1.85m).
- Con el uso de dispositivos de fluido viscoso los modos y frecuencia de vibración de la edificación se mantienen ya que estos dispositivos no aportan rigidez al sistema.
- El sistema de protección sísmica en base a disipadores de fluido viscoso logró reducir tanto los desplazamientos como las solicitaciones en los elementos estructurales debido al incremento importante de amortiguamiento que se logró.
- Con el sistema de protección se logró reducir la deriva a 5/1000 para sismos raros de  $T_r=475$  años.
- A pesar de haberse reducido la deriva, los resultados muestran que hubo un comportamiento inelástico, en este caso en particular en las columnas.
- Al comparar las fuerzas internas obtenidas del análisis tiempo historia y del análisis espectral se obtuvo un valor de 7.5, similar al valor de R empleado para esos edificios según la norma sismorresistente E030 peruana. Si se considera una sobrerresistencia de 2 el factor de reducción de fuerza sísmica sería de  $R = 7.5/2 = 3.75$ .
- Para el edificio empleado en este trabajo se usaron 16 dispositivos por piso, 80 en total. El uso de estos dispositivos junto a las estructuras metálicas de unión, incrementa el costo del edificio y trae complicaciones arquitectónicas.
- Una opción para reducir los desplazamientos y el daño estructural consiste en incorporar muros concreto armado como parte del sistema estructural. Se sugiere desarrollar un estudio económico de la protección con disipadores en relación a la protección mediante uso de muros de concreto armado.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Fuentes, J. (2015), Análisis sísmico de una edificación con disipadores de fluido viscoso, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima – Perú
- [2] Fuentes, J. (2019), Procedimientos para el análisis y diseño de estructuras con sistemas de disipación de energía en el Perú, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima – Perú
- [3] Chacón R., Ramírez J. (2014) Análisis de una edificación de 4 pisos con disipadores de fluido viscoso, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima – Perú
- [4] SENCICO. (2006), Norma E020 Cargas, Lima – Perú
- [5] SENCICO. (2009), Norma E060 Concreto Armado, Lima – Perú
- [6] SENCICO. (2019), Norma E030 Diseño Sismorresistente, Lima – Perú

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ**

**FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA**



**ANEXOS**

**DESEMPEÑO DE UN EDIFICIO TEÓRICO APORTICADO DE 5  
PISOS CON DISIPADORES DE FLUIDO VISCOSO**

**Trabajo de suficiencia profesional para obtener el título profesional de**

**Ingeniero Civil**

**AUTORES**

Tony Bryan Chupica Espinoza

Yitzhak Ramírez Mejía

**ASESOR:**

Mg. Juan Alejandro Muñoz Peláez

Lima, Abril, 2022



## Tabla de Contenido

Anexo 1.- Resultados del análisis espectral .....	46
Anexo 2.- Resultados del análisis tiempo-historia no lineal .....	48
Anexo 3.- Resultados de la evaluación del desempeño para columna .....	50
Anexo 4.- Resultados de la evaluación del desempeño para viga .....	52



## Anexo 1.- Resultados del análisis espectral

Se muestran las tablas elaboradas en base a los resultados obtenidos en el análisis espectral de la edificación tanto para el caso sin disipadores como con ellos:

*Tabla A2.1. Resultados del análisis espectral en edificio sin disipador*

<b>ESPECTRAL CONVENCIONAL</b>	<b>XX (dirección larga)</b>	<b>YY (dirección corta)</b>
Periodo Fundamental (s)	0.625	0.54
%Masa Participante	73.07%	72.10%
Desplazamiento máx. azotea (cm)	12.90	12.03
Deriva máx (Piso 3)	0.00696	0.0065
Cortante basal estático (ton)	1 387.1	1 444.9
Cortante basal espectral (ton)	1 023.9	943.5
Factor de escala	1.084	1.226
Momento volcante espectral (ton.m)	17 745	18 625
Regularidad torsional	1.117	1.288

*Fuente Propia*

*Tabla A2.2. Resultados del análisis espectral en edificio con disipador*

<b>ESPECTRAL CON DISIPADORES</b>	<b>XX (dirección larga)</b>	<b>YY (dirección corta)</b>
Periodo Fundamental (s)	0.625	0.54
%Masa Participante	73.07%	72.10%
Desplazamiento máx. azotea (cm)	9.00	8.45
Deriva máx (Piso 3)	0.00486	0.00458
Cortante basal espectral (ton)	748	785.6
Momento volcante espectral (ton.m)	11 908	12 590

*Fuente Propia*

Para comparar de forma gráfica en las derivas se obtiene la siguiente figura:

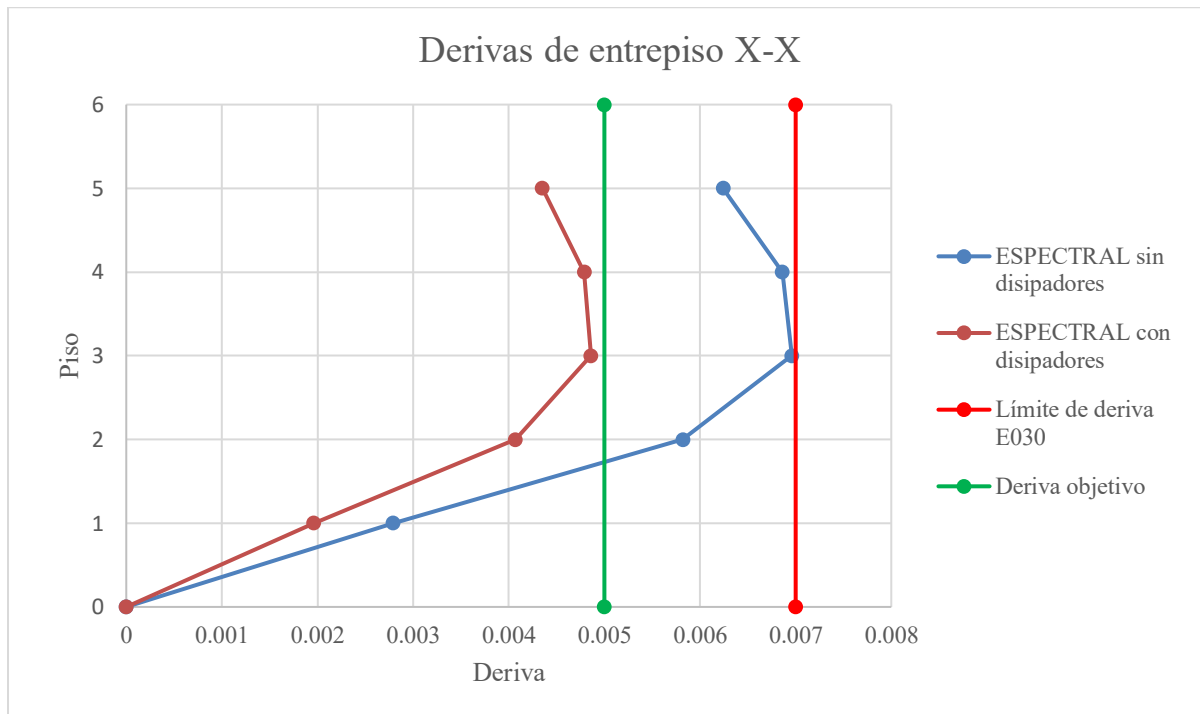


Figura A2.1. Derivas de entrepiso del análisis espectral en X-X

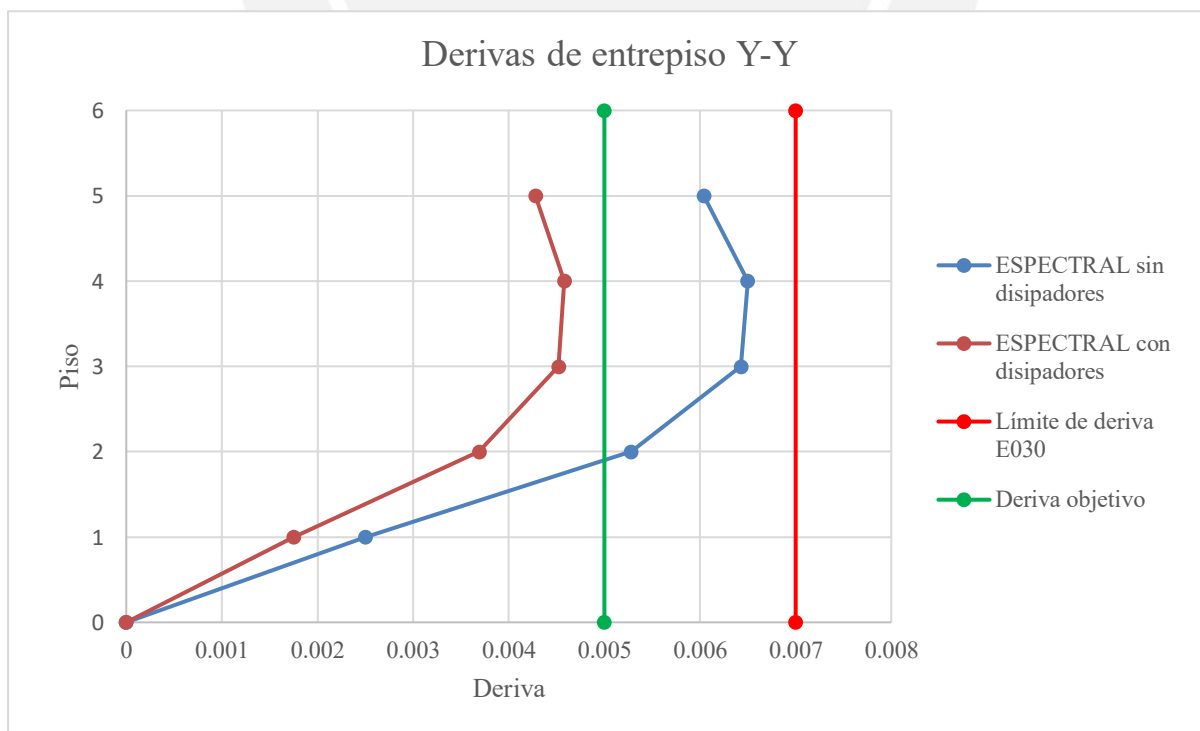


Figura A2.1. Derivas de entrepiso del análisis espectral en Y-Y

## Anexo 2.- Resultados del análisis tiempo-historia no lineal

Se muestran a continuación los resultados tabulados del análisis tiempo-historia no lineal de 7 pares de señales en el edificio con disipadores no lineales con  $\alpha = 0.25$ . Se muestran las tablas para cada señal:

Tabla A3.1. Resultados del análisis tiempo-historia no lineal- señal de Curico

<b>Señal Curico</b>	<b>XX (dirección larga)</b>	<b>YY (dirección corta)</b>
Desplazamiento máx. azotea (cm)	7.21	6.98
Deriva máx	0.0040	0.0038
Cortante basal (ton)	4 279.30	4 827.8
Momento volcante (ton.m)	63 177	67 820

Fuente Propia

Tabla A3.2. Resultados del análisis tiempo-historia no lineal- señal de Maipu

<b>Señal Maipu</b>	<b>XX (dirección larga)</b>	<b>YY (dirección corta)</b>
Desplazamiento máx. azotea (cm)	7.47	7.2
Deriva máx	0.0042	0.0041
Cortante basal (ton)	4 933.20	5 127.6
Momento volcante (ton.m)	64 282	71 842

Fuente Propia

Tabla A3.3. Resultados del análisis tiempo-historia no lineal- señal de T66

<b>Señal T66</b>	<b>XX (dirección larga)</b>	<b>YY (dirección corta)</b>
Desplazamiento máx. azotea (cm)	11.57	10.27
Deriva máx	0.0063	0.0056
Cortante basal (ton)	6 785.40	7 280.4
Momento volcante (ton.m)	95 627	100 820

Fuente Propia

Tabla A3.4. Resultados del análisis tiempo-historia no lineal- señal de T70

<b>Señal T70</b>	<b>XX (dirección larga)</b>	<b>YY (dirección corta)</b>
Desplazamiento máx. azotea (cm)	6.24	5.7
Deriva máx	0.0034	0.0031
Cortante basal (ton)	4 178.50	4 497.7
Momento volcante (ton.m)	56 937	58 503

Fuente Propia

Tabla A3.5. Resultados del análisis tiempo-historia no lineal- señal de T74

<b>Señal T74</b>	<b>XX (dirección larga)</b>	<b>YY (dirección corta)</b>
Desplazamiento máx. azotea (cm)	7.78	7.37
Deriva máx	0.0043	0.0039
Cortante basal (ton)	5 388.10	5 011.4
Momento volcante (ton.m)	70 696	73 144

*Fuente Propia*

*Tabla A3.6. Resultados del análisis tiempo-historia no lineal- señal de Talca10*

<b>Señal Talca10</b>	<b>XX (dirección larga)</b>	<b>YY (dirección corta)</b>
Desplazamiento máx. azotea (cm)	6.88	7.14
Deriva máx	0.0036	0.0038
Cortante basal (ton)	4 701.70	4 588.2
Momento volcante (ton.m)	60 873	67 133

*Fuente Propia*

*Tabla A3.7. Resultados del análisis tiempo-historia no lineal- señal de Tocopilla07*

<b>Señal Tocopilla07</b>	<b>XX (dirección larga)</b>	<b>YY (dirección corta)</b>
Desplazamiento máx. azotea (cm)	7.85	7.61
Deriva máx	0.0043	0.0015
Cortante basal (ton)	4 969.60	5 000.4
Momento volcante (ton.m)	66 682	67 212

*Fuente Propia*

Finalmente, se muestra una tabla con los valores promedios de los 7 pares de señales sísmicas:

*Tabla A3.8. Resultados del análisis tiempo-historia no lineal- señal de Talca10*

<b>THNL- PROMEDIOS</b>	<b>XX (dirección larga)</b>	<b>YY (dirección corta)</b>
Desplazamiento máx. azotea (cm)	7.86	7.47
Deriva máx	0.0043	0.0037
Cortante basal (ton)	5 033.7	5 190.5
Momento volcante (ton.m)	68 324.9	72 353.4

*Fuente Propia*

### Anexo 3.- Resultados de la evaluación del desempeño para columna

#### a) Análisis espectral y resistencia probable

Para la **columna A-5** se obtuvo del análisis espectral en las siguientes tablas:

*Tabla A4.1. Solicitaciones máximas del análisis espectral para la columna A-5*

Caso	Tipo	P	V2	V3	T	M2	M3
		tonf	tonf	tonf	tonf-m	tonf-m	tonf-m
<b>SXX</b>	Max	30.51	21.42	4.43	1.92	39.36	179.78
<b>SXX</b>	Min	-30.51	-21.42	-4.43	-1.92	-39.36	-179.78
<b>SY Y</b>	Max	31.84	3.85	27.56	3.77	253.76	32.37
<b>SY Y</b>	Min	-31.84	-3.85	-27.56	-3.77	-253.76	-32.37
<b>ENVOL</b>	Max	31.84	21.42	30.16	3.77	256.68	179.78
<b>ENVOL</b>	Min	-306.71	-24.00	-27.56	-3.77	-253.76	-182.99

*Fuente Propia*

Afectado por la sobrerresistencia, se estima la resistencia instalada como la mayor de estos casos en la siguiente tabla:

*Tabla A4.1. Resistencias probables para la columna A-5*

Caso	Tipo	P	V2	V3	T	M2	M3
		tonf	tonf	tonf	tonf-m	tonf-m	tonf-m
<b>SXX</b>	Max	61.01	42.84	8.87	3.85	78.73	359.56
<b>SXX</b>	Min	-61.01	-42.84	-8.87	-3.85	-78.73	-359.56
<b>SY Y</b>	Max	63.69	7.71	55.12	7.53	507.52	64.74
<b>SY Y</b>	Min	-63.69	-7.71	-55.12	-7.53	-507.52	-64.74
<b>ENVOL</b>	Max	63.69	42.84	60.32	7.53	513.35	359.56
<b>ENVOL</b>	Min	-613.43	-48.00	-55.12	-7.53	-507.52	-365.98

*Fuente Propia*

## b) Análisis tiempo historia-no lineal

Se muestran a continuación los valores de los análisis THNL para dicha columna:

Sismo	Caso	P	V2	V3	T	M2	M3
		tonf	tonf	tonf	tonf-m	tonf-m	tonf-m
<b>CURICO XX, Y+</b>	NonModHist	134.67	110.42	47.11	7.11	388.63	908.50
<b>CURICO XX, Y+</b>	NonModHist	-124.99	-107.37	-43.98	-5.59	-358.66	-853.10
<b>CURICO YY, X+</b>	NonModHist	120.69	45.64	90.70	16.62	788.86	328.19
<b>CURICO YY, X+</b>	NonModHist	-128.77	-50.22	-76.52	-18.61	-664.45	-355.25
<b>MAIPU XX, EY+</b>	NonModHist	93.02	128.63	73.55	10.09	578.16	969.56
<b>MAIPU XX, EY+</b>	NonModHist	-92.66	-111.29	-65.82	-10.27	-553.40	-884.00
<b>MAIPU YY, EX+</b>	NonModHist	87.35	46.84	109.51	24.03	876.50	320.66
<b>MAIPU YY, EX+</b>	NonModHist	-84.71	-45.94	-114.04	-19.86	-974.39	-328.08
<b>T66 XX, EY+</b>	NonModHist	156.74	178.33	67.48	11.23	604.24	1 414.32
<b>T66 XX, EY+</b>	NonModHist	-127.54	-133.99	-44.93	-13.01	-419.12	-1 002.35
<b>T66 YY, EX+</b>	NonModHist	115.23	53.22	160.08	20.49	1 351.65	386.63
<b>T66 YY, EX+</b>	NonModHist	-155.96	-44.14	-95.99	-22.21	-826.20	-286.11
<b>T70 XX, EY+</b>	NonModHist	106.72	107.58	48.66	6.41	410.65	844.77
<b>T70 XX, EY+</b>	NonModHist	-111.73	-109.48	-44.82	-6.73	-350.23	-840.45
<b>T70 YY, EX+</b>	NonModHist	102.32	60.19	89.94	14.34	748.49	457.52
<b>T70 YY, EX+</b>	NonModHist	-104.53	-55.10	-86.94	-14.68	-728.90	-428.31
<b>T74 XX, EY+</b>	NonModHist	147.73	142.64	69.62	7.61	580.61	1075.27
<b>T74 XX, EY+</b>	NonModHist	-149.98	-108.36	-65.93	-7.13	-480.58	-917.97
<b>T74 YY, EX+</b>	NonModHist	160.05	59.93	107.90	17.17	909.58	442.85
<b>T74 YY, EX+</b>	NonModHist	-150.01	-50.18	-104.95	-15.50	-931.15	-384.14
<b>TALCA10 XX, EY+</b>	NonModHist	126.93	109.65	69.06	7.73	513.24	886.65
<b>TALCA10 XX, EY+</b>	NonModHist	-125.95	-125.06	-58.56	-7.95	-475.64	-898.32
<b>TALCA10 YY, EX+</b>	NonModHist	128.78	51.47	82.24	16.76	747.01	336.46
<b>TALCA10 YY, EX+</b>	NonModHist	-125.17	-48.40	-89.69	-15.94	-740.39	-351.74
<b>TOCOPIL07 XX, EY+</b>	NonModHist	157.10	132.40	49.88	6.76	413.35	1004.84
<b>TOCOPIL07 XX, EY+</b>	NonModHist	-145.00	-118.04	-45.87	-7.16	-366.39	-901.12
<b>TOCOPIL07 YY, EX+</b>	NonModHist	161.62	121.17	47.60	6.79	353.42	941.17
<b>TOCOPIL07 YY, EX+</b>	NonModHist	-149.91	-112.52	-40.01	-7.28	-284.59	-882.22

#### Anexo 4.- Resultados de la evaluación del desempeño para viga

##### a) Análisis espectral y resistencia probable

Se tienen las siguientes fuerzas internas según el análisis modal espectral:

Caso	Tipo	V2	T	M3
		tonf	tonf-m	tonf-m
SXX	Max	1.23	0.02	3.17
SXX	Min	-1.23	-0.02	-3.17
SYX	Max	8.29	0.04	21.36
SYX	Min	-8.29	-0.04	-21.36
ENVOL	Max	8.29	0.05	21.36
ENVOL	Min	-17.08	-0.04	-30.11

Afectado por la sobrerresistencia  $\Omega= 2$ , se estima la resistencia probable instalada como la mayor de estos casos:

Caso	Tipo	V2	T	M3
		tonf	tonf-m	tonf-m
SXX	Max	2.46	0.05	6.34
SXX	Min	-2.46	-0.05	-6.34
SYX	Max	16.57	0.09	42.73
SYX	Min	-16.57	-0.09	-42.73
ENVOL	Max	16.57	0.09	42.73
ENVOL	Min	-34.17	-0.09	-60.22

##### b) Análisis tiempo historia-no lineal

Se muestran a continuación los valores de los análisis THNL para dicha viga:



<b>Sismo</b>	<b>Caso</b>	<b>V2</b>	<b>T</b>	<b>M3</b>
		<b>tonf</b>	<b>tonf-m</b>	<b>tonf-m</b>
<b>CURICO XX, Y+</b>	NonModHist	11.00	0.06	28.36
<b>CURICO XX, Y+</b>	NonModHist	-11.20	-0.08	-28.87
<b>CURICO YY, X+</b>	NonModHist	24.04	0.19	61.99
<b>CURICO YY, X+</b>	NonModHist	-23.14	-0.17	-59.66
<b>MAIPU XX, EY+</b>	NonModHist	16.76	0.11	43.22
<b>MAIPU XX, EY+</b>	NonModHist	-17.22	-0.12	-44.39
<b>MAIPU YY, EX+</b>	NonModHist	27.56	0.21	71.06
<b>MAIPU YY, EX+</b>	NonModHist	-30.59	-0.25	-78.85
<b>T66 XX, EY+</b>	NonModHist	18.92	0.15	48.78
<b>T66 XX, EY+</b>	NonModHist	-13.90	-0.14	-35.83
<b>T66 YY, EX+</b>	NonModHist	40.78	0.26	105.14
<b>T66 YY, EX+</b>	NonModHist	-25.34	-0.24	-65.33
<b>T70 XX, EY+</b>	NonModHist	12.28	0.07	31.67
<b>T70 XX, EY+</b>	NonModHist	-10.79	-0.07	-27.83
<b>T70 YY, EX+</b>	NonModHist	22.49	0.15	57.97
<b>T70 YY, EX+</b>	NonModHist	-22.29	-0.16	-57.45
<b>T74 XX, EY+</b>	NonModHist	17.21	0.08	44.38
<b>T74 XX, EY+</b>	NonModHist	-12.83	-0.08	-33.07
<b>T74 YY, EX+</b>	NonModHist	30.89	0.17	79.63
<b>T74 YY, EX+</b>	NonModHist	-30.80	-0.18	-79.41
<b>TALCA10 XX, EY+</b>	NonModHist	14.36	0.09	37.03
<b>TALCA10 XX, EY+</b>	NonModHist	-13.21	-0.07	-34.05
<b>TALCA10 YY, EX+</b>	NonModHist	24.08	0.17	62.08
<b>TALCA10 YY, EX+</b>	NonModHist	-21.79	-0.19	-56.17
<b>TOCOPIL07 XX, EY+</b>	NonModHist	12.47	0.08	32.14
<b>TOCOPIL07 XX, EY+</b>	NonModHist	-10.25	-0.08	-26.43
<b>TOCOPIL07 YY, EX+</b>	NonModHist	11.15	0.07	28.75
<b>TOCOPIL07 YY, EX+</b>	NonModHist	-8.51	-0.06	-21.95