



## **FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**

COMPORTAMIENTO SÍSMICO DEL EDIFICIO “LOS ROSALES” CON LA  
IMPLEMENTACIÓN DE AISLADORES ELASTOMÉRICOS CON NÚCLEO DE  
PLOMO

**Línea de investigación:**

**Construcción sostenible y sostenibilidad ambiental del territorio**

Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil

**Autora:**

Guevara Gamboa, Cynthia Jamila

**Asesor:**

Tello Malpartida, Omart Demetrio  
(ORCID: 0000-0002-5043-6510)

**Jurado:**

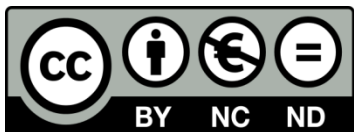
Arevalo Vidal, Samir Augusto  
Ayquipa Quispe, Evelyn Stefany  
Yucra Ayala Maddeley Elizabeth

**Lima - Perú**

**2022**

**Referencia:**

Guevara, C. (2022). *Comportamiento sísmico del edificio “los rosales” con la implementación de aisladores elastoméricos con núcleo de plomo*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Federico Villarreal]. Repositorio Institucional UNFV. <https://hdl.handle.net/20.500.13084/6127>



**Reconocimiento - No comercial - Sin obra derivada (CC BY-NC-ND)**

El autor sólo permite que se pueda descargar esta obra y compartirla con otras personas, siempre que se reconozca su autoría, pero no se puede generar obras derivadas ni se puede utilizar comercialmente.

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>



FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

**COMPORTAMIENTO SÍSMICO DEL EDIFICIO “LOS ROSALES” CON LA  
IMPLEMENTACIÓN DE AISLADORES ELASTOMÉRICOS CON NÚCLEO DE  
PLOMO**

**Línea de investigación:**

Construcción sostenible y sostenibilidad ambiental del territorio

**Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Civil**

**Autora:**

Guevara Gamboa, Cynthia Jamila

**Asesor:**

Tello Malpartida, Omart Demetrio

(ORCID: 0000-0002-5043-6510)

**Jurado:**

Arevalo Vidal, Samir Augusto

Ayquipa Quispe, Evelyn Stefany

Yucra Ayala Maddeley Elizabeth

**Lima – Perú**

**2022**

## **Dedicatoria**

Dedico con todo mi corazón mi tesis a mi madre, por haberme forjado como la persona que soy en la actualidad. Por ser un gran ejemplo de superación y por el apoyo constante.

## **Agradecimientos**

A Dios, quien con sus bendiciones ha hecho posible este logro.

Al Ing. Omart Tello Malpartida, mi asesor de tesis y principal colaborador durante este proceso, quien con su dirección, conocimiento y enseñanza permitió el desarrollo de este trabajo.

A mis docentes de la Universidad Nacional Federico Villarreal, por haber compartido sus conocimientos a lo largo de la preparación de mi profesión.

A Dora, Yume y Adolfo, porque su presencia y orientación en mi vida me motiva y ayuda a alcanzar mis objetivos.

A mi hermosa hija Dara, por ser mi más grande motivación día a día.

A mis familiares y amigos, porque con sus consejos y palabras de aliento aportaron en el desarrollo de este trabajo.

## INDICE GENERAL

I.	INTRODUCCIÓN.....	1
1.1.	Descripción y formulación del problema .....	2
1.1.1.	Problema General .....	3
1.1.2.	Problemas Específicos.....	3
1.2.	Antecedentes.....	4
1.3.	Objetivos.....	8
1.3.1.	Objetivo General.....	8
1.3.2.	Objetivos Específicos .....	8
1.4.	Justificación .....	9
1.5.	Hipótesis .....	9
II.	MARCO TEÓRICO.....	10
2.1.	Bases Teóricas sobre el tema de investigación.....	10
2.1.1.	Tipos de sistemas de protección sísmica .....	10
2.1.2.	Procedimiento de diseño de aisladores elastoméricos con núcleo de plomo. ....	16
2.1.3.	Diseño de edificaciones con sistemas de aislación.....	27
2.1.4.	Mejora del Comportamiento Sísmico.....	29
2.1.5.	Comportamiento de la estructura con aisladores sísmicos .....	32
2.1.6.	Normas Vigentes de Diseño .....	35
III.	MÉTODO .....	43
3.1.	Tipo de investigación.....	43
3.2.	Ámbito temporal y espacial.....	43
3.3.	Variables.....	43
3.3.1.	Variable independiente: .....	43
3.3.2.	Variable Dependiente: .....	44

3.4.	Población y muestra.....	44
3.4.1.	Población .....	44
3.4.2.	Muestra .....	45
3.5.	Instrumentos .....	45
3.6.	Procedimientos .....	46
3.7.	Análisis de datos.....	48
IV.	RESULTADOS .....	49
4.1.	Descripción de la arquitectura .....	49
4.2.	Análisis sísmico.....	50
4.2.1.	De la edificación empotrada.....	50
4.2.2.	Del modelo aislado .....	59
4.2.3.	Del modelo Dual Aislado .....	76
4.3.	Comparación de resultados.....	82
4.3.1.	Esfuerzos en los elementos estructurales.....	82
4.3.2.	Parámetros sísmicos .....	91
V.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	103
VI.	CONCLUSIONES .....	107
VII.	RECOMENDACIONES .....	111
VIII.	REFERENCIAS.....	113
IX.	ANEXOS .....	116

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Factor de amortiguamiento $B_M$ (Tabla N° 5 norma E.031) .....	19
<b>Tabla 2</b> Propiedades de los aisladores.....	23
<b>Tabla 3</b> Deriva objetivo para cada nivel de desempeño.....	31
<b>Tabla 4</b> Factor $BM$ .....	36
<b>Tabla 5</b> Nivel de desempeño objetivo para un sismo de diseño y un tipo de estructura.....	38
<b>Tabla 6</b> Sismos de diseño.....	38
<b>Tabla 7</b> Derivas objetivo para cada nivel de desempeño en edificaciones aporricadas de concreto armado.....	39
<b>Tabla 8</b> Factores de zona (Norma E.030) .....	52
<b>Tabla 9</b> Factor de uso para vivienda multifamiliar .....	53
<b>Tabla 10</b> Tabla de coeficientes básicos de reducción .....	54
<b>Tabla 11</b> Cálculo del espectro de respuesta. ....	58
<b>Tabla 12</b> Cálculo del espectro de respuesta. ....	65
<b>Tabla 13</b> Cálculo de DTM .....	67
<b>Tabla 14</b> Resumen de propiedades del aislador. ....	72
<b>Tabla 15</b> Propiedades del aislador eje X, Y (ETABS).....	74
<b>Tabla 16</b> Propiedades del aislador eje Z (ETABS).....	74
<b>Tabla 17</b> Resumen de propiedades del aislador (modelo dual aislado).....	80
<b>Tabla 18</b> Propiedades del aislador eje X, Y – modelo dual aislado (ETABS). ....	81
<b>Tabla 19</b> Propiedades del aislador eje Z - modelo dual aislado (ETABS) .....	81
<b>Tabla 20</b> DFC y DMF en viga 5 E-F (piso 7) .....	83
<b>Tabla 21</b> DFC y DMF en viga F 4-5 (piso8).....	84



<b>Tabla 22</b> Cuadro resumen de vigas con mayor fuerza cortante. ....	85
<b>Tabla 23</b> DFC y DMF en viga 5 E-F (piso 7) .....	86
<b>Tabla 24</b> DFC y DMF en viga A 7-8 (piso 8).....	87
<b>Tabla 25</b> Cuadro resumen de vigas con mayor momento flector. ....	88
<b>Tabla 26</b> DFA en columna H-3 (piso 1) .....	89
<b>Tabla 27</b> DFA en columna A-6 (piso 1) .....	90
<b>Tabla 28</b> Cuadro resumen de columnas con mayor fuerza axial. ....	90
<b>Tabla 29</b> Periodos y frecuencias. ....	91
<b>Tabla 30</b> Cortantes de entrepiso.....	92
<b>Tabla 31</b> Cortante Basal.....	93
<b>Tabla 32</b> Derivas máximas de entrepiso – eje x.....	94
<b>Tabla 33</b> Derivas máximas de entrepiso – eje y.....	96
<b>Tabla 34</b> Desplazamientos máximos – eje x.....	99
<b>Tabla 35</b> Desplazamientos máximos – eje y.....	101

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Partes del sistema de aislamiento .....	10
<b>Figura 2</b> Aislador elastomérico de bajo amortiguamiento .....	12
<b>Figura 3</b> Aislador elastomérico con núcleo de plomo .....	13
<b>Figura 4</b> Sistema de aislación basal .....	14
<b>Figura 5</b> Aislador de caucho de alto amortiguamiento .....	15
<b>Figura 6</b> Diagrama de flujo del procedimiento de diseño de los aisladores elastoméricos .....	17
<b>Figura 7</b> Diferencia entre edificación sin aisladores y con aisladores .....	28
<b>Figura 8</b> Representación del modelo con aislación en la base .....	33
<b>Figura 9</b> Variaciones del espectro de aceleraciones .....	34
<b>Figura 10</b> Espectro elástico de pseudo aceleraciones .....	41
<b>Figura 11</b> Deriva máxima de entrepiso .....	42
<b>Figura 12</b> Planta típica del edificio “Los Rosales” .....	50
<b>Figura 13</b> Elementos estructurales de la edificación empotrada .....	51
<b>Figura 14</b> Modelo empotrado – vista en 3D .....	56
<b>Figura 15</b> Modelo empotrado - vista en planta .....	57
<b>Figura 16</b> Elementos estructurales de la edificación aislada. ....	60
<b>Figura 17</b> Modelo aislado – vista 3D .....	61
<b>Figura 18</b> Modelo aislado – vista planta (interfaz de aislamiento) .....	62
<b>Figura 19</b> Modelo aislado – corte eje 5 .....	63
<b>Figura 20</b> Diseño del sistema de aislamiento .....	75
<b>Figura 21</b> Dimensiones finales del aislador LRB .....	75
<b>Figura 22</b> Elementos estructurales de la edificación dual aislada. ....	76

<b>Figura 23</b> Modelo Dual aislado – vista 3D.....	77
<b>Figura 24</b> Modelo dual aislado – vista planta (interfaz de aislamiento).....	78
<b>Figura 25</b> Modelo Dual aislado – corte eje 5.....	79
<b>Figura 26</b> Dimensiones finales del aislador LRB .....	82
<b>Figura 27</b> Diagrama de cortante basal. ....	93
<b>Figura 28</b> Diagrama de derivas de entrepiso – eje x.....	95
<b>Figura 29</b> Diagrama de derivas de entrepiso – eje y.....	97
<b>Figura 30</b> Diagrama de desplazamientos máximos – eje x.....	100
<b>Figura 31</b> Diagrama de desplazamientos máximos – eje y.....	102

## Resumen

La presente investigación tuvo como objetivo mejorar el comportamiento sísmico del edificio multifamiliar “Los Rosales” con la implementación de aisladores sísmicos elastoméricos con núcleo de plomo. El tipo de investigación es aplicada, el diseño de investigación es pseudo-experimental. Para el análisis del comportamiento sísmico se eligió como población edificaciones de mediana altura, destinadas a vivienda multifamiliar en la ciudad de Lima y se seleccionó como muestra no aleatoria un edificio de 18 niveles ubicado en el distrito de Pueblo Libre. Al término del análisis se registraron respuestas en cuanto a los esfuerzos en los elementos estructurales tales como vigas, columnas y placas, las cuales disminuyeron al utilizar aisladores sísmicos en el modelamiento del edificio. Así mismo, se logró cumplir con la deriva de entrepiso que es el parámetro más importante establecido en las normas peruanas E.030 y E.031. Por lo tanto, como conclusión general, se comprobó que al implementar adecuadamente aisladores elastoméricos con núcleo de plomo al edificio multifamiliar “Los Rosales” se mejoró el comportamiento de la estructura, lo cual se vio reflejado en la reducción de esfuerzos de los elementos estructurales del modelo aislado comparado con el modelo empotrado, así como en el cumplimiento de la deriva de entrepiso establecido en las normas.

*Palabras clave.* aisladores elastoméricos, deriva de entrepiso, periodo de vibración.

### **Abstract**

The objective of this research was to improve the seismic behavior of the multifamily building "Los Rosales" with the implementation of elastomeric seismic isolators with a lead core. The type of research is applied, the research design is pseudo-experimental. For the analysis of the seismic behavior, medium-rise buildings were chosen as the population, intended for multifamily housing in the city of Lima, and an 18-story building located in the Pueblo Libre district was selected as a non-random sample. At the end of the analysis, responses were recorded regarding the efforts in structural elements such as beams, columns and plates, which decreased when using seismic isolators in the modeling of the building. Likewise, it was possible to comply with the mezzanine drift, which is the most important parameter established in the Peruvian standards E.030 and E.031. Therefore, as a general conclusion, it was found that by properly implementing lead-core elastomeric isolators in the Los Rosales multi-family building, the behavior of the structure was improved, which was reflected in the reduction of efforts of the structural elements of the building. isolated model compared to the built-in model, as well as in compliance with the mezzanine drift established in the standards.

*Keywords.* elastomeric isolators, mezzanine drift, vibration period.

## I. INTRODUCCIÓN

Por su ubicación geográfica, el Perú es un país propenso a los terremotos. Estamos ubicados en un lugar donde se subducen la placa de Nazca y la placa Sudamericana en el borde occidental de América del Sur. Es decir, estamos en una de las zonas con mayor actividad sísmica en la tierra, por lo que estamos expuestos a la pérdida de vidas humanas y materiales con este peligro.

La ingeniería sísmica apuesta por el análisis y desarrollo de nuevas tecnologías que permitan a los edificios brindar una mayor seguridad para proteger la vida y el patrimonio de los ocupantes; uno de ellos es el material aislante en la parte inferior, cuya primera aplicación se remonta a varios siglos atrás.

En el Perú, por ejemplo, la civilización de Caral, cuyo apogeo se dio entre los años 3000 y 1800 a.c., empleó una técnica de construcción que lograba aislar parcialmente a sus templos de los movimientos telúricos. Los ingenieros de Caral armaban paquetes de piedra amarrados con fibras vegetales, denominados shicras, que se colocaban en la cimentación de las estructuras. Ante movimientos laterales, las rocas dentro de los paquetes se acomodaban evitando transmitir toda la fuerza impuesta por el suelo a la estructura, logrando protegerlas así del sismo.

Esta investigación surge a partir del hecho de que la ciudad de Lima ha venido mostrando un importante desarrollo económico en los últimos años, por lo que se ha continuado con la construcción de importantes edificios como centros comerciales, hoteles y edificios multifamiliares, esto junto a la condición sísmica geográfica de nuestra ciudad que es la primera zona más sísmica (zona 4), que de presentarse un terremoto de considerable intensidad, estos edificios pueden verse notablemente afectados e incluso llegar al colapso de los mismos, trayendo consigo muerte y destrucción en nuestra ciudad.

Por tal razón en esta investigación se ha realizado el análisis del edificio multifamiliar “Los Rosales” para determinar su comportamiento sísmico con la implementación de aisladores elastoméricos con núcleo de plomo.

Esta investigación tiene como propósito verificar que los aisladores sísmicos son una opción adecuada y una tecnología factible. Así mismo la presente tesis se va a centrar en el diseño de aisladores elastoméricos con núcleo de plomo, los cuales permiten utilizar la flexibilidad del caucho y de esta manera se obtiene una rigidez lateral mínima; así como la elevada rigidez lateral de las láminas de acero y la gran capacidad que tiene el plomo para disipar la energía sísmica.

Los aisladores elastoméricos con núcleo de plomo, fueron diseñados con la norma técnica E.031, siguiendo los parámetros sísmicos de la norma técnica E.030. El edificio “Los Rosales” es de uso multifamiliar ubicado en la ciudad de Lima. Para el diseño del sistema de aislamiento se utilizó un análisis modal espectral, utilizando el software de diseño estructural ETABS.

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

Con la finalidad que los edificios sean diseñados acorde con los requerimientos mínimos de fuerza lateral de los códigos de diseño, en los últimos años los investigadores en el campo de la ingeniería estructural, han ido incrementando diversos cuidados.

Los terremotos recientemente han demostrado que las edificaciones diseñadas y construidas con los parámetros establecidos en las normas actuales brindan una óptima respuesta, pero el costo necesario para restaurar los daños ocasionados y el tiempo que tardaría para implementar estas restauraciones son mayores de lo esperado.

Varios estudios se han centrado en el desarrollo de estándares y procedimientos de diseño sísmico para asegurar metas de desempeño específicas.

En comparación con otros países como China, Japón, Estados Unidos, Chile y otros países que utilizan sistemas de aislamiento sísmico en sus diferentes tipos de edificaciones, el número de construcción de edificaciones calificadas en Perú es muy bajo.

El aislamiento sísmico es una tecnología de protección de edificaciones que se usa en el Perú desde la década del 2010. Mientras se desarrollaba la norma peruana de aislamiento E.031, los edificios aislados se diseñaron usando normas extranjeras con algunas modificaciones de acuerdo a la sismicidad peruana. Según la norma E.030, desde el 2014 los hospitales ubicados en las zonas sísmicas 3 y 4 deben ser construidos obligatoriamente con aislamiento sísmico.

Hoy, los nuevos hospitales aislados que se construyan deberán seguir los lineamientos de la norma peruana de aislamiento E.031.

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

¿En qué medida mejorará el comportamiento sísmico con la implementación de aisladores elastoméricos con núcleo de plomo en el edificio multifamiliar “Los Rosales”?

### ***1.1.2. Problemas Específicos***

- ¿En qué medida variaran los esfuerzos en los elementos estructurales del edificio multifamiliar “Los Rosales” con la implementación de aisladores elastoméricos con núcleo de plomo?
- ¿Se cumplirá con la deriva objetivo establecido en las normas peruanas al adicionar aisladores elastoméricos con núcleo de plomo al edificio multifamiliar “Los Rosales”?



## 1.2. Antecedentes

A nivel nacional tenemos los siguientes estudios:

Chuman y Valladares (2017), realizan la investigación *Análisis y diseño estructural comparativo de una edificación de quince niveles, con y sin aisladores sísmicos elastoméricos con núcleo de plomo, ubicada en el distrito de Pimentel*, en el presente estudio se ha realizado un análisis comparativo de la respuesta estructural de un edificio con aisladores sísmicos y un edificio convencional, así como se incluye una comparación a nivel económico; se comprobó que las distorsiones, fuerza cortante basal, se reducen considerablemente. A nivel de costos se concluyó que no se logra un ahorro considerable, por el contrario, se nota un incremento debido al uso de aisladores; no obstante, se debe cuantificar el costo de reparaciones o de una posible inoperatividad de la estructura, asimismo, la fuerte reducción en el daño a las estructuras protege la vida de sus ocupantes, con la consiguiente reducción en el riesgo de heridas o muerte.

Romero (2014), realizó el trabajo *Análisis dinámico de aisladores de base elastoméricos como alternativa de solución para edificaciones con fallas por piso blando*, en el cual se plantea una solución ante la irregularidad por piso blando, utilizando como muestra una edificación con aisladores sísmicos elastoméricos, finalmente se concluye que aumentan los periodos, se reducen los desplazamientos relativos, y por ende las derivas en un porcentaje significativo, en consecuencia se reduce la posibilidad de falla por piso blando.

Trujillo (2017), realizó el trabajo *Diseño Integral de Estructuras con sistema de aislación sísmica aplicado a un edificio de concreto armado*, el objetivo es lograr procedimientos

modernos y exponer técnicas para el óptimo diseño de edificaciones de concreto armado que emplean aisladores sísmicos, se estableció el procedimiento de desarrollo de cada tipo de análisis sísmico, en donde se calculó valores de reducción por amortiguamiento de las señales peruanas para su uso en posteriores investigaciones, se desarrolló una aplicación práctica de una edificación con la incorporación de aislación sísmica, donde se resaltó las diferencias tanto del comportamiento dinámico como del diseño de los elementos estructurales de concreto armado.

Mestanza (2015), realizó la investigación *Análisis de una edificación mediante un sistema propuesto de aislamiento sísmico del tipo péndulo friccional*, en la Universidad Ricardo Palma, se plantea ensayar una propuesta de un sistema de aislamiento FPS para conocer su comportamiento y obtener sus principales parámetros dinámicos para demostrar cuanto mejora la respuesta sísmica de la estructura, se puede concluir que los aisladores sísmicos tipo péndulo friccional no puede ser utilizado en ninguna edificación o estructura importante, esto se debe a su alta fricción entre material acero-acero lo cual produce un alto desgaste entre las superficies del sistema.

Leyton (2017) realizó el trabajo *Implementación de Aisladores Sísmicos de un edificio de viviendas en Lima, Perú*, en la Pontificia Universidad Católica del Perú, se plantea reconocer la factibilidad técnica-económica del aislamiento sísmico del edificio multifamiliar “Basadre”, se concluye que la metodología propuesta reduce de manera directa el costo del sistema aislado y de manera indirecta el costo de la superestructura por ahorro de materiales debido a la reducción de sollicitaciones sísmicas.

A nivel internacional tenemos:

Retamales et al. (2015), realizan la investigación *Aplicación de Sistemas de aislación sísmica en un edificio residencial de 19 pisos*, se presentan los aspectos críticos de diseño e implementación, la investigación concluye que el sistema de aislación permite reducir las aceleraciones y deformaciones máximas en la estructura en un 75 y 85% respectivamente, con la consecuente reducción de probabilidades de daños y pérdidas económicas durante sismos excepcionalmente severos.

Descouvieres (2016), realizó el trabajo *Registro del estudio pionero en Chile de aisladores sísmicos elastoméricos para aplicación de edificios de baja altura*, en la Universidad de Chile, Chile; cuyo objetivo principal es desarrollar aisladores sísmicos hechos a base de goma natural, intercaladas con láminas de acero, las cuales formarían parte del conjunto de aislación sísmica de un edificio de vivienda multifamiliar de 4 pisos, en las conclusiones se permitió corroborar que la goma orgánica es un elemento que otorga una gran flexibilidad, y que confinándola con placas metálicas horizontales se obtiene una alta resistencia y una gran rigidez vertical, asimismo se confirmó que es posible generar un aislador sísmico económicamente rentable y de simple elaboración en Chile.

Oviedo y Duque (2006), realizan la investigación *Sistemas de control de respuesta sísmica en Edificaciones*, en la Escuela de Ingeniería de Antioquia, Colombia; el objetivo es identificar los diferentes tipos de energía y relacionar los sistemas para el control de respuesta sísmica con el tipo de energía que disipan, se concluye que algunos de los dispositivos utilizados

para el control de respuesta sísmica son fáciles de construir y se podría implementar su tecnología en el país, sin embargo, se debe tener cuidado a la hora de caracterizar sus propiedades dinámicas y mecánicas, indispensables para llevar a cabo un diseño estructural seguro, esta caracterización implica la realización de ensayos en los dispositivos y de las edificaciones con los dispositivos para tener criterios confiables para el diseño.

Auqui (2010), realizó el trabajo *Análisis de aisladores sísmicos elastoméricos construidos en el Ecuador*, en el Departamento de ciencias de la tierra y la construcción, Ecuador; el objetivo es diseñar y construir un aislador elastomérico para la atenuación de cargas sísmicas a las que se encuentran sometidas las construcciones civiles en Ecuador, esto se logró analizando tres prototipos de aisladores elastoméricos, construidos con neopreno y confinado a las placas de acero dúctil utilizando una goma especial que se comporta de manera eficaz al momento de sufrir fatiga; finalmente se observó un comportamiento eficiente del aislador al implementarlo en una casa de un piso .

Gioacchini et al. (2016), realizaron el trabajo *Comportamiento de aisladores elastoméricos de baja carga axial bajo acciones verticales y horizontales cíclicas*, en la Asociación Argentina de Mecánica Computacional, Argentina; el objetivo principal de esta investigación es diseñar y lograr la elaboración de dispositivos sísmicos elastoméricos que al ser ensayados bajo cargas verticales y horizontales logren un óptimo funcionamiento, se analizan los resultados obtenidos de diferentes prototipos al evaluar las relaciones fuerza – desplazamientos, estos demuestran un eficaz comportamiento de los distintos dispositivos sometidos a ensayos.

Jianchun Li et al. (2013), realizan la investigación *Development of adaptive seismic isolators for ultimate seismic protection of civil structures*, en la Universidad of Wollongog, Australia; el objetivo es investigar el desarrollo de dos tipos de aisladores sísmicos adaptativos, incluido el diseño fabricación y prueba, se concluye que el éxito en el desarrollo y evaluación experimental de los prototipos de aisladores sísmicos analizados han ofrecido una solución para superar las deficiencias inherentes de la base de sistema tradicional de aislamiento y brindó la oportunidad de crear un sistema de aislamiento sísmico inteligente y adaptativo que es capaz de combatir terremotos de alta intensidad.

### **1.3. Objetivos**

#### ***1.3.1. Objetivo General***

Mejorar el comportamiento sísmico con la implementación de aisladores sísmicos elastoméricos con núcleo de plomo del edificio “Los Rosales”.

#### ***1.3.2. Objetivos Específicos***

- Evaluar la variación de esfuerzos en los elementos estructurales del edificio “Los Rosales” al implementar aisladores sísmicos elastoméricos con núcleo de plomo.
- Cumplir con la deriva objetivo establecido en las normas peruanas al adicionar aisladores sísmicos elastoméricos con núcleo de plomo al edificio “Los Rosales”.

#### **1.4. Justificación**

El Perú es un país con gran actividad sísmica, donde la implementación de nuevos sistemas de protección sísmica es fundamental para mejorar el comportamiento sísmico de las edificaciones de mediana altura tanto a nivel local como nacional.

La presente tesis muestra un procedimiento para el óptimo diseño de aisladores elastoméricos con núcleo de plomo, así como el modelamiento estructural de un edificio de 18 niveles en el programa ETABS.

La presente investigación ayudará a futuras investigaciones a diseñar aisladores sísmicos, así como a modelar cualquier estructura en el programa ETABS. De igual manera se detalla los beneficios de los dispositivos de protección sísmica, así como las amplias ventajas de su uso.

#### **1.5. Hipótesis**

Implementando adecuadamente aisladores sísmicos elastoméricos con núcleo de plomo se logrará disminuir los esfuerzos en los elementos estructurales del edificio “Los Rosales”, y se cumplirá con la deriva objetivo establecido en las normas peruanas.

## II. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Bases Teóricas sobre el tema de investigación

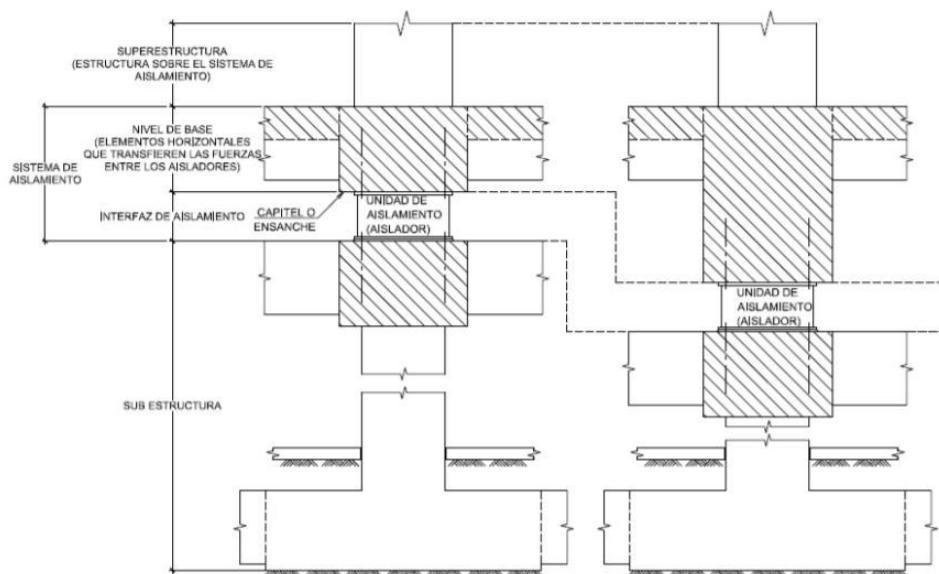
#### 2.1.1. Tipos de sistemas de protección sísmica

Entre los sistemas de protección sísmica tenemos a los aisladores sísmicos y los disipadores de energía.

Se sabe que para obtener un sistema de aislación basal con óptima capacidad estructural ante eventos sísmicos es necesario adicionar ciertos elementos conocidos como aisladores sísmicos, con los cuales se logrará proporcionar mayor flexibilización, así como incrementar el periodo de la estructura. Asimismo, estos elementos serán lo sumamente rígidos para tolerar todo el peso de la superestructura. Por otro lado, se puede dividir el sistema de aislación en 3 niveles, la sub estructura, la superestructura y una interfaz de aislación (límite imaginario) tal como se muestra en la Figura 1.

**Figura 1**

*Partes del sistema de aislamiento*



**2.1.1.1. Conjunto de aislación sísmica.** El sistema de aislación tiene como propósito aislar horizontalmente la superestructura del suelo. Esto se conseguirá con el uso de dispositivos altamente flexibles horizontalmente y sumamente rígidos en la dirección vertical. De esta manera ante eventos sísmicos se lograrán desplazamientos horizontales en la base de la edificación.

El sistema utilizado para cada proyecto dependerá de las necesidades específicas de cada edificación y del tipo de terreno.

A nivel mundial los tipos de aisladores más populares son los siguientes: Aisladores elastoméricos de caucho de bajo amortiguamiento (LRD), Aisladores con núcleo de plomo (LRB), Aisladores de alto amortiguamiento (HDR).

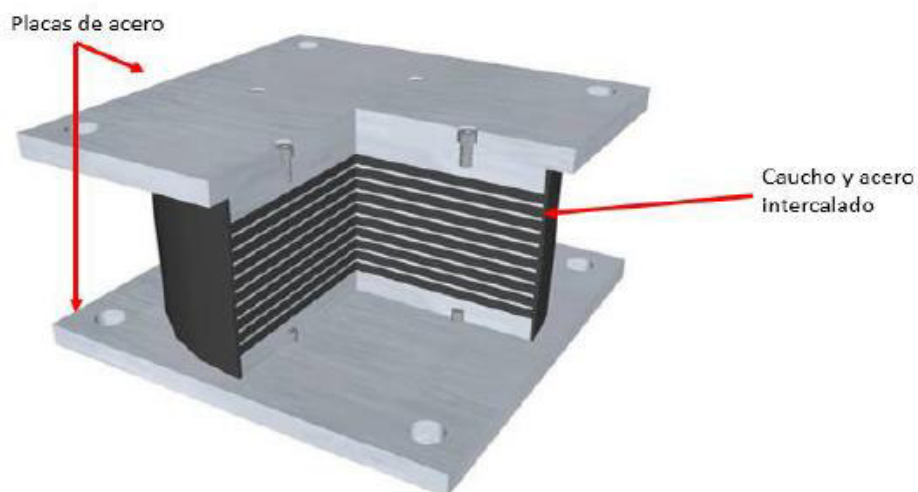
**2.1.1.1.1. Aisladores elastoméricos de bajo amortiguamiento (LRD).** Los aisladores elastoméricos de bajo amortiguamiento están compuestos por láminas de acero y caucho intercalados, estas laminas son fabricadas a presión de 140°C durante un intervalo de seis horas. Por otro lado, en la parte superior e inferior del dispositivo se colocan unas placas gruesas de acero con la finalidad de confinar el caucho y lograr una gran resistencia a la compresión, tal como se muestra en la Figura 2

La rigidez en la dirección vertical de un aislador elastomérico de bajo amortiguamiento es sumamente elevada, esta es bastante parecida a la rigidez de una columna de concreto armado. Por otro lado, el aislador presenta una rigidez horizontal mínima, la cual posibilita un desplazamiento lateral entre la estructura de la edificación y el suelo.



**Figura 2**

*Aislador elastomérico de bajo amortiguamiento*



Debido a que la rigidez en la dirección horizontal del aislador es muy baja, es necesario añadir al diseño un amortiguamiento para controlar que los desplazamientos laterales sean desmedidos.

El amortiguamiento en este tipo de aisladores sísmicos oscila entre el 5% y el 10% del amortiguamiento crítico; el cual es necesario aumentar a valores de 15% a 20% del amortiguamiento crítico. Una opción para lograr este incremento es con el uso de amortiguadores en la superestructura.

**2.1.1.1.2. Aisladores de bajo amortiguamiento con núcleo de plomo (LRB).** Los aisladores de bajo amortiguamiento con núcleo de plomo se caracterizan por ser una versión favorecida de los LRD. El plomo tiene la propiedad de aumentar el amortiguamiento y de esta manera reducir los desplazamientos excesivos en la dirección horizontal.

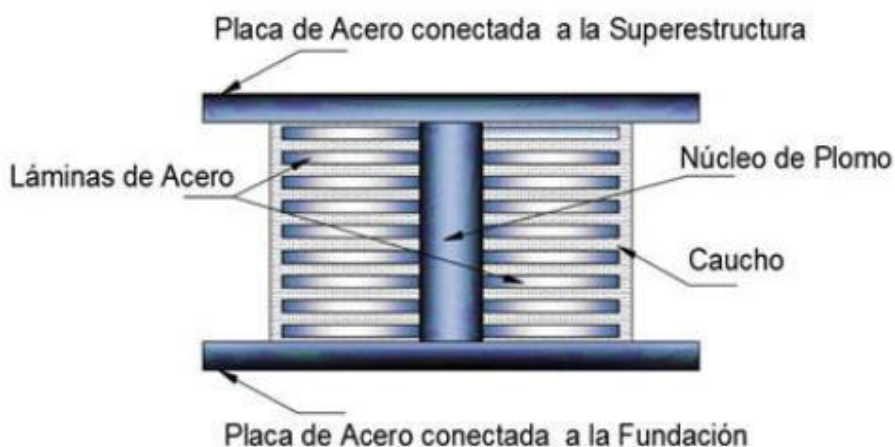
Estos dispositivos se fabrican en un molde de acero intercalando láminas de caucho con láminas de acero. Posteriormente se ejerce presión a las láminas a una temperatura que supera los

140°C, durante un tiempo de 4 a 8 horas. Estas propiedades posibilitan al dispositivo lograr ser sumamente flexible en la dirección horizontal por la presencia de las láminas de caucho, y altamente rígido en la dirección vertical gracias al uso de las láminas de acero, que a la vez evitan la alteración vertical de las láminas de caucho.

Una de los amplios provechos que presenta este tipo de aislador es que, a diferencia de los LRD, estos incrementan notablemente el amortiguamiento, llegando a oscilar entre 15% y 35% del amortiguamiento crítico. A continuación, se presentan en la Figura 3 las partes de este tipo de dispositivo.

### Figura 3

*Aislador elastomérico con núcleo de plomo*



El núcleo de plomo tiene como propósito proporcionar absorción de energía adicional con medios adicionales de disipación de energía. Este tipo de dispositivos presentan unas barras de anclaje, las cuales sirven para unirlos a la base y a las columnas, tal como se observa en la Figura 3.

Asimismo, es importante mencionar que las columnas que se apoyan sobre los aisladores deben estar interconectadas por vigas y losas, para que se forme un diafragma rígido en la subestructura ya que es necesario lograr un desplazamiento homogéneo en todos los aisladores sísmicos.

El sistema de aislación basal está formado por el conjunto de vigas, losas y aisladores, lo cual se puede apreciar en la Figura 4.

#### **Figura 4**

*Sistema de aislación basal*



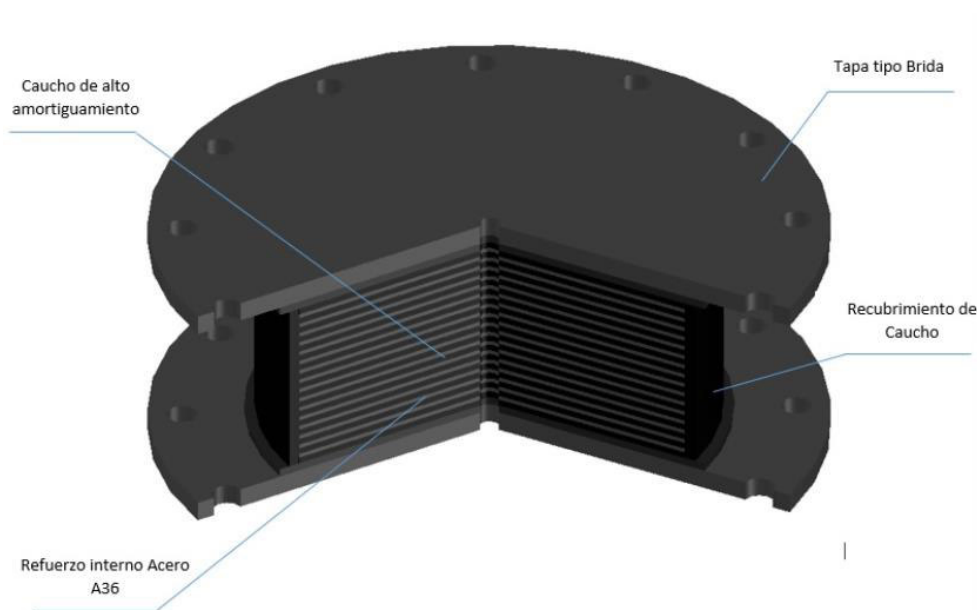
**2.1.1.1.3. Aisladores de caucho de alto amortiguamiento (HDR).** Este tipo de aisladores sísmicos están fabricados con caucho con la incorporación de ciertos aditivos que mejoran y optimizan sus propiedades naturales. Al igual que los aisladores de tipo LRB, se combinan láminas de caucho y acero, los cuales son confinados colocándose placas de acero en la parte superior e inferior. En los aisladores de tipo HDR el amortiguamiento se encuentra entre el 10% y el 20% del amortiguamiento crítico.

Hacer una inspección exagerada en la fabricación de este tipo de aisladores es muy importante, en vista de que las propiedades de estos pueden cambiar significativamente de acuerdo al tipo de aditivos.

En la figura 5 se presentan las partes del aislador HDR.

### Figura 5

#### *Aislador de caucho de alto amortiguamiento*



### ***2.1.2. Procedimiento de diseño de aisladores elastoméricos con núcleo de plomo.***

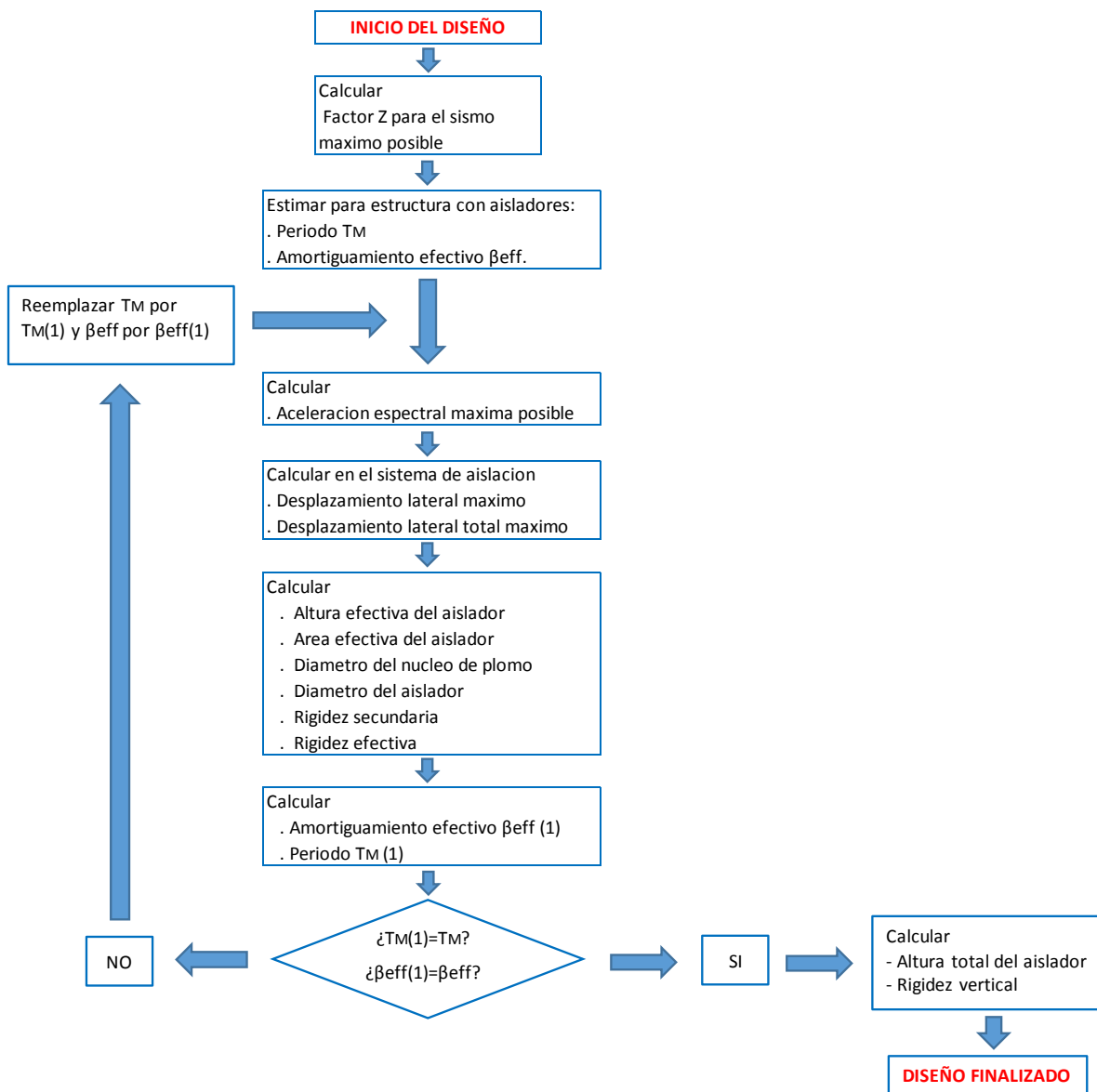
Los aisladores elastoméricos con núcleo de plomo (LRB) pueden ser diseñados de forma óptima tomándose en cuenta las sugerencias y formulaciones establecidas en las diferentes normas internacionales y en las normas peruanas E.030 y E.031.

El procedimiento para el diseño de este tipo de aisladores se basa en un proceso repetitivo, y para poder aplicarlo es necesario primero asumir los valores de los parámetros estructurales de la edificación con aisladores sísmicos. Estos valores a suponer son el periodo  $T_M$  y el amortiguamiento efectivo  $\beta_{eff}$ .

Este procedimiento terminará cuando los valores finales de los parámetros sísmicos resultantes en el proceso sean semejantes a los valores inicialmente asumidos. Se presenta un organigrama en la Figura 6, donde se muestra el desarrollo del proceso del diseño.

**Figura 6**

*Diagrama de flujo del procedimiento de diseño de los aisladores elastoméricos*



Se detalla a continuación el procedimiento de diseño de aisladores elastoméricos con núcleo de plomo, según lo indicado en el organigrama de la Figura 6.

Paso 1: Suposición de los parámetros sísmicos de la edificación con aisladores

El parámetro más importante de una estructura, es el periodo  $T_M$  el cual puede ser considerado como el doble del periodo obtenido de la estructura empotrada. Este valor será asumido inicialmente, luego deberá ser corroborado.

El amortiguamiento efectivo de la estructura  $\beta_{eff}$  es el segundo parámetro más importante, por lo cual se deberá asumir como el 15% del amortiguamiento crítico. Así mismo, más adelante este deberá ser corroborado.

Paso 2: Cálculo de la aceleración espectral máxima posible

La aceleración espectral, según la norma E.031 correspondiente al sismo máximo considerado (SMC) se determina como:

$$S_{aM} = 1.5 ZCS g \quad (1)$$

Dónde: factor de zona sísmica (Z), factor de amplificación sísmica (C) y tipo de suelo (S); parámetros definidos en la norma técnica E.030.

Según la norma técnica E.030 “Diseño Sismorresistente”, para estructuras aisladas, el factor U será en todos los casos igual a 1. Para el sistema de aislación basal se usará un valor de R igual a 1 y se usará un valor de R no mayor a 2 para la superestructura.

Paso 3. Cálculo del desplazamiento máximo (DM) y desplazamiento total máximo (DTM)

El desplazamiento máximo y el desplazamiento total máximo se pueden conseguir utilizando la ecuación 6 de la norma E.031. Para el cálculo de las dimensiones de los aisladores se utilizará el sismo máximo posible, por ello se emplearán los subíndices “M” en vez de “D”.

De esta manera, con la siguiente expresión se calculará el desplazamiento máximo en el sistema de aislación:

$$D_M = \frac{S_{aM} T_M^2}{4\pi^2 B_M} \quad (2)$$

Dónde:  $g$ , es la aceleración de la gravedad;  $T_M$ , el periodo de la estructura aislada, que como se ha mencionado en el paso 1, puede ser asumido en primera instancia como el doble del periodo fundamental de la edificación empotrada, y el factor  $B_M$  se adquiere de la tabla N°5 de la norma E.031 y se considera para un amortiguamiento inicial de 15%. Se procederá a realizar una interpolación lineal, debido a que en la tabla adjunta no se encuentra de primera mano el valor para un amortiguamiento del 15%. De esta manera se obtiene un valor de  $B_M = 1.35$ .

Se presenta la tabla 1 de factores de amortiguamiento:

**Tabla 1**

*Factor de amortiguamiento  $B_M$  (Tabla N° 5 norma E.031)*

<b>Amortiguamiento efectivo, <math>B_m</math> (En porcentaje del amortiguamiento crítico)</b>	<b>Factor <math>B_M</math></b>
$\leq 2$	0,8
5	1,0
10	1,2
20	1,5
30	1,7
$\geq 40$	1,9



De acuerdo a lo anteriormente descrito, el desplazamiento del sistema de aisladores será mayor que el de un solo aislador, esto debido a que se estima una excentricidad accidental. Se utilizará la siguiente ecuación para obtener el valor de  $D_{TM}$ :

$$D_{TM} = D_M \left[ 1 + \left( \frac{y}{P_T^2} \right) \left( \frac{12e}{b^2 + d^2} \right) \right] \quad (3)$$

Donde  $D_M$  es el desplazamiento máximo;  $b$  y  $d$  son las medidas en planta de la estructura;  $y$  es la medida del espacio desde el centro de masa proyectado en planta hacia el aislador más apartado; y  $e$  es la excentricidad accidental que equivale al 5% de la dimensión más larga de la planta.

*Paso 4: Cálculo de la altura efectiva del aislador ( $H_i$ )*

Para el cálculo de la altura efectiva del aislador, la cual es semejante a la altura del caucho, se utilizará la siguiente ecuación:

$$H_i = \frac{D_{TM}}{\gamma_s} \quad (4)$$

Siendo  $\gamma_s$  la deformación lateral por corte, igual a 1.5.

El valor obtenido se dividirá entre el espesor de las láminas de caucho que se utilizarán. Este valor será brindado por los fabricantes.

Sin embargo, para efectos de diseño se utilizará el espesor  $t_{caucho} = 6$  mm. Con esta información se podrá calcular el número de láminas de caucho que se emplearán.

$$N^\circ = \frac{H_i}{t_{caucho}} \quad (5)$$

Una vez se tenga el número de láminas de caucho se podrá obtener la altura efectiva del aislador.

Paso 5. Cálculo del área efectiva del aislador

El presente parámetro se refiere al área del caucho. Para el cálculo de este valor se utilizará la siguiente ecuación, el cual va depender de la carga vertical que soportará el aislador:

$$Area\ neta = \frac{P_{u.max}}{\sigma_{max.perm}} \quad (6)$$

Siendo  $P_{u.max}$  (ton) la carga total que recibe cada aislador, la cual se obtendrá utilizando la siguiente combinación de cargas, establecida en la norma peruana: “1.25CM+1.25CV+CS”.  $CM$  es la carga muerta,  $CV$  es carga viva y  $CS$  es carga de sismo. Se puede suponer la carga de sismo  $CS$  como el 30% de la carga muerta  $CM$ .  $\sigma_{max.perm}$  es el esfuerzo axial permisible del caucho, el cual se podrá encontrar en las características del aislador o se podrá asumir el valor referencial de 815 t/m<sup>2</sup>.

Paso 6: Cálculo de la capacidad de carga del aislador ( $Q_d$ )

La capacidad de carga del aislador se emplea para mitigar la amortiguación y la rigidez efectiva del conjunto de aislamiento. Para calcular este parámetro se debe hallar la carga vertical  $W$  que soporta cada dispositivo de aislación según las cargas que participan ( $CM+0.25CV$ ); y después con la expresión  $\frac{Q_d}{W}$  cuyo valor esta entre 3 a 10% (intervalo dispuesto por los fabricantes) se adquiere la carga  $Q_d$ .

Para la siguiente investigación se supondrá inicialmente una relación  $\frac{Q_d}{W}$  del 6%. Este valor se encuentra dentro del intervalo mencionado anteriormente.

Paso 7: Cálculo del diámetro del núcleo de plomo ( $D_p$ )

Para el cálculo de este parámetro ( $D_p$ ), se utilizará la capacidad del aislador  $Q_d$  y el esfuerzo de fluencia del núcleo de plomo  $\sigma_\gamma$  (1020 t/m<sup>2</sup>).

Dicho cálculo se realiza con la siguiente ecuación:

$$D_p = \sqrt{\frac{4 * Q_d}{\pi * \sigma_\gamma}} \quad (7)$$

Con el valor obtenido de la ecuación anterior, se volverá a hallar el valor de la capacidad del aislador  $Q_d$  empleando la misma expresión.

Paso 8. Definición del diámetro del aislador ( $D_p$ )

Este parámetro se calculará con el resultado conseguido en el paso 5. Este valor se tendrá que adecuar a los valores comerciales. Los fabricantes facilitan estos valores, de acuerdo a la Tabla 2.

A continuación, se muestran en la Tabla 2 los aisladores elastoméricos más comerciales, así como los respectivos valores de diámetro  $D_i$ , su rigidez lateral  $K_d$ , capacidad de carga del aislador  $Q_d$ , rigidez vertical  $K_v$ , y la máxima carga que resiste el aislador  $P_{u,max}$ .

Asimismo, los expertos sugieren la siguiente relación que se debe cumplir entre el diámetro del núcleo de plomo y el diámetro del aislador a usar:

$$\frac{D_i}{6} < D_p < \frac{D_i}{3} \quad (8)$$

**Tabla 2***Propiedades de los aisladores*

<b>Diámetro del aislador Di (mm)</b>	<b>Rigidez lateral del aislador Kd (t/m)</b>	<b>Máxima capacidad de carga del aislador Qd (t)</b>	<b>Rigidez Vertical Kv (t/m)</b>	<b>Pu,max (t)</b>
305	20-40	6.5	5000	45
355	20-40	6.5	10000	70
405	30-50	11.0	10000	90
455	30-70	11.0	10000	115
520	40-70	18.0	20000	135
570	50-90	18.0	50000	180
650	50-110	22.0	70000	270
700	50-140	22.0	8000	310
750	70-160	26.5	90000	360
800	70-160	26.5	100000	400
850	70-180	35.5	120000	490
900	70-190	35.5	140000	580
950	70-200	49.0	180000	670
1000	80-200	49.0	190000	760
1050	90-210	58.0	210000	850
1160	110-210	66.5	280000	1380

1260	120-230	75.5	370000	2050
1360	140-250	89.0	510000	2760
1450	160-250	102.5	530000	3340
1550	180-250	102.5	650000	4000

Paso 9: Cálculo de la rigidez secundaria ( $K_d$ )

Para el cálculo de la rigidez secundaria  $K_d$  se deberá tener en cuenta el área de la corona circular del caucho. En el presente trabajo se empleará un valor de rigidez  $G=54$  t/m<sup>2</sup>.

$$K_d = \frac{Area_{caucho} * G}{H_i} = \frac{\pi * (D_i^2 - D_p^2) * G}{4H_i} \quad (9)$$

Paso 10: Calculo de la rigidez efectiva ( $K_{eff}$ )

El siguiente parámetro ( $K_{eff}$ ) se obtendrá con la siguiente expresión:

$$K_{eff} = \frac{Q_d}{D_{TM}} + K_d \quad (10)$$

En donde a la rigidez secundaria  $K_d$ , se le adiciona la rigidez adquirida al dividir la capacidad de carga de cada aislador entre el desplazamiento máximo total.

Paso 11: Calculo del amortiguamiento efectivo ( $\beta_{eff}$ )

El amortiguamiento efectivo se conseguirá con la siguiente fórmula adquirida de la NORMA E.031 (ecuación 18). En donde intervienen la rigidez efectiva, el desplazamiento total y la energía disipada.

$$\beta_{eff} = \frac{2 * Energia}{\pi * K_{eff} * (D_{TM}^2 + D_{TM}^2)} = \frac{4Q_d(D_{TM} - F_y/K_i)}{2\pi * K_{eff} * D_{TM}^2} = \frac{4Q_d(D_{TM} - 1.1Q_d/10K_d)}{2\pi * K_{eff} * D_{TM}^2}$$

La energía es semejante al área inferior de la curva del ciclo histerético del aislador, así mismo la fuerza de fluencia  $F_y$  se asumirá como  $1.1 * Q_d$ , y la rigidez inicial  $K_i$  será como 10 veces  $K_d$ .

### Paso 12: Cálculo del periodo ( $T_M$ )

Este parámetro de la estructura aislada que fue inicialmente asumido se obtendrá utilizando la siguiente ecuación:

$$T_M = 2\pi \sqrt{\frac{M}{K_M * g}} \quad (12)$$

Donde M es la masa de la estructura; y  $K_M$ , la rigidez de todo el sistema de aislamiento, la cual se obtiene multiplicando la rigidez  $K_d$  por el número total de aisladores.

Según la norma técnica E.031, en lugar de emplear la rigidez  $K_{eff}$ , se emplea la rigidez  $K_d$  para conseguir un valor de periodo más elevado, de esta manera resulta una situación más crítica, al tener un desplazamiento lateral mucho mayor.

### Paso 13: Verificación de los valores asumidos

El amortiguamiento efectivo ( $\beta_{eff}$ ) conseguido en el paso 11 y el periodo  $T_M$  conseguido en el paso 12 deben ser bastante parecidos a los valores asumidos en el paso 1. Se debe repetir el proceso desde el paso 2 asumiendo los nuevos valores de  $T_M$  y  $\beta_{eff}$ , si los valores estimados no coinciden con los obtenidos. Este procedimiento se repetirá repetitivamente hasta que los valores de  $T_M$  y  $\beta_{eff}$  sean muy parecidos a los supuestos inicialmente. Finalmente, con los resultados

obtenidos en la aplicación de las fórmulas, de los pasos anteriormente mencionados, se eligen los aisladores que presenten propiedades parecidas a las obtenidas en los cálculos.

Paso 14: Cálculo de la altura total del aislador ( $H_T$ )

Para el cálculo de este parámetro ( $H_T$ ), se debe sumar el espesor de las láminas de acero colocadas entre las láminas de caucho:

$$H_T = H_i + (N^\circ - 1) * t_{acero} \quad (13)$$

Donde  $N^\circ$  es el número de láminas de caucho;  $H_i$  es la altura efectiva del caucho; y  $t_{acero}$  es el espesor de la placa de las láminas de acero, cuyo dato deberá ser proporcionado por el fabricante. Para fines de diseño se asumirá un valor comercial de 3mm.

Paso 15: Cálculo de la rigidez vertical ( $K_v$ )

Para obtener el valor de este parámetro ( $K_v$ ) se suman las rigideces facilitadas por el sistema acero-caucho y el plomo. Se muestra la expresión con la que se realizará dicho cálculo:

$$K_v = \frac{E_c A_{acero}}{H_i} + \frac{E_p A_{plomo}}{H_T} \quad (14)$$

Siendo  $A_{acero}$ , el área de acero correspondiente al área efectiva de caucho;  $E_p$ , el módulo de elasticidad del plomo igual a  $14 * 10^5 \text{ t/m}^2$ ; y  $E_c$ , el módulo de compresión para el grupo acero-caucho.

Existen diversos procedimientos para estimar el módulo de compresión del sistema acero-caucho, y para el presente trabajo de investigación se utilizará la siguiente ecuación presentada en la norma técnica E.031:

$$\frac{1}{E_c} = \frac{1}{6 * G * S^2} + \frac{4}{3 * K} \quad (15)$$

Siendo  $G$ , la rigidez lateral del caucho;  $K$ , el módulo de compresibilidad del elastomérico estimado como  $2 * 10^5 \text{ t/m}^2$ ; y  $S$ , es un factor de forma del aislador calculado con la siguiente ecuación:

$$S = \frac{D_i^2 - D_p^2}{4 * D_i * t_{caucho}} \quad (16)$$

Donde  $D_i$ , es el diámetro del aislador;  $D_p$ , el diámetro del núcleo de plomo; y  $t_{caucho}$ , el espesor de las láminas de caucho.

### 2.1.3. *Diseño de edificaciones con sistemas de aislación*

Se empleará el sismo de diseño para poder diseñar la superestructura de una edificación, en el cual se utilizará un valor de  $z=0.45g$  (zona 4), así como las propiedades obtenidas del diseño del aislador elastomérico en el procedimiento denotado anteriormente. Se conseguirán nuevos resultados de diseño  $T_D$ , amortiguamiento efectivo  $\beta_{eff}$ , rigidez efectiva  $K_{eff}$  y el desplazamiento máximo del sistema de aislación  $D_{TD}$ .

La cortante basal en el conjunto de aislación se obtiene con la siguiente ecuación, en la cual intervienen el desplazamiento lateral obtenido, la rigidez efectiva y el factor de reducción de fuerzas sísmicas:

$$V = \frac{K_D * D_{TD}}{R} \quad (17)$$

El valor de  $R$  es el coeficiente de reducción de fuerzas sísmicas de la edificación con aisladores sísmicos, el cual se obtiene como  $\frac{3}{8}R_0$ , este no debe ser menor que 1 ni mayor que 2.

Por otro lado, la cortante basal se halla utilizando programas de modelación estructural como el



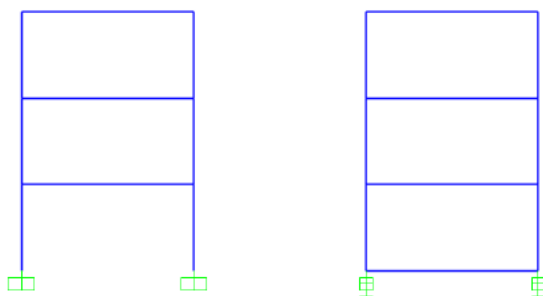
ETABS o el SAP2000, sobre todo cuando se emplea el método dinámico modal espectral o el análisis tiempo historia.

Para realizar este procedimiento se deberá identificar en el programa la propiedad link del aislador. Luego se deberá designar al aislador elastomérico la rigidez vertical calculada, rigidez horizontal y el amortiguamiento.

Será necesario la incorporación de un conjunto estructural de losas y vigas cuando utilizamos aisladores sísmicos en la base de una edificación, para crear un sistema uniforme en la base. Cuando efectuemos la modelación estructural del edificio en el programa ETABS, se debe incorporar la losa mencionada como un piso adicional con altura 0 m.

### **Figura 7**

*Diferencia entre edificación sin aisladores y con aisladores*



Según la Figura 7, de acuerdo a lo mencionado anteriormente se puede observar la diferencia entre una estructura fija y otra aislada. El pórtico que no presenta aisladores no tiene conexión entre las bases de las columnas; en cambio, en el pórtico que presenta 0aisladores las bases de las columnas se unen por medio de una losa. Se asegura un diafragma rígido por medio

de esta losa en el conjunto de aislación, asimismo esta losa absorbe los momentos provenientes de las columnas, ya que los aisladores no son capaces de recibir dichos momentos.

Al utilizar el programa de modelación es muy importante saber las diferencias entre un modelo que idealiza una estructura fija y otra aislada. Ya que la estructura fija se idealiza como empotrada en la base, en cambio la estructura aislada se idealiza simplemente apoyada sobre aisladores. Los cuales se pueden suponer como apoyos deslizables con una rigidez lateral calculada anteriormente.

#### ***2.1.4. Mejora del Comportamiento Sísmico***

Existen distintas normas de diseño sísmico a nivel internacional, así como nuestras normas peruanas, las cuales brindan metodologías e indicaciones para poder diseñar edificios lo suficientemente seguros para las personas que las residen. Así mismo, muchas de estas normas no consideran el estado de la estructura después de un fuerte sismo. En conclusión, se diseñan las edificaciones basándose en el desempeño sísmico de las mismas, lo cual consiste en escoger un nivel de desempeño óptimo para la estructura, a partir de esto se disponen los componentes y las dimensiones de los elementos estructurales. De esta manera la estructura debería ser capaz de soportar el daño para el que fue diseñado.

En 1995 la SEAOC estableció cuatro niveles de desempeño que pueden presentar las edificaciones luego de un evento sísmico, los cuales se detallan a continuación:

##### ***Totalmente operacional***

En el presente nivel de desempeño no se presentarán daños. La edificación puede ser utilizada terminada la sollicitación sísmica y esta no va requerir ningún tipo de reparación.

### Operacional

En este nivel de desempeño, la edificación puede ser utilizada una vez terminado el sismo, pero en este caso aparecen daños en los elementos no estructurales. Estos daños son leves y pueden ser restaurados fácilmente.

### Seguridad

En este nivel de desempeño en los elementos estructurales aparecen daños moderados y la edificación se ve afectada. En vista de los daños que sufrió el edificio se reduce considerablemente la rigidez lateral, pero este no se encuentra cerca al colapso. Lo más probable, es que se detengan las actividades durante un tiempo, hasta que se rehabilite la edificación.

### Pre – Colapso

En este nivel el daño que sufre la edificación es bastante grave, se reduce considerablemente la rigidez lateral y la edificación ya no podrá ser utilizada por los residentes. En estos casos es aconsejable la construcción de una nueva edificación, ya que los gastos de reparación serían sumamente altos.

Por otro lado, para poder seleccionar un nivel de desempeño es importante tener en cuenta la importancia y la función del edificio. A continuación, se detalla la clasificación de las estructuras:

Estructuras Críticas: Se almacenan materiales peligrosos y las actividades que se realizan en la edificación son de gran importancia.

Estructuras Esenciales: Estas estructuras son similares a las que se encuentran en la norma E.030 clasificadas como esenciales, tales como los hospitales, colegios, etc.

Estructuras Básicas: Estas estructuras son aquellas que sirven para la residencia de las personas (viviendas) o para el uso de oficinas.

Los conceptos brindados anteriormente deben reflejarse en ciertos parámetros para poder aplicarlos de manera práctica en el diseño estructural. El parámetro más importante es la deriva de entrepiso. De esta manera se proponen en diferentes normas, valores de deriva de entrepiso para cada nivel de desempeño indicado anteriormente. Estos se presentan en la tabla 3 que se muestra a continuación. Al realizar el diseño estructural de la edificación, esta será diseñada para que no exceda la deriva objetivo ante la ocurrencia de un sismo.

**Tabla 3**

*Deriva objetivo para cada nivel de desempeño*

<b>Nivel de Desempeño</b>	<b>Deriva Objetivo</b>
Totalmente Operacional	0.0020
Operacional	0.0033
Seguridad	0.0058
Pre - colapso	0.0156

En la Norma E-030 se establece como deriva objetivo 0.007 para las edificaciones de concreto armado, la cual excede en 0.0012 a la deriva de entrepiso del nivel de seguridad. Asimismo, la deriva establecida en la norma E-030, es inferior a 0.0156 deriva que corresponde al nivel de pre-colapso. En conclusión, la norma peruana se adapta más al nivel de seguridad.

Esto refleja que la norma peruana tiene como objetivo el diseño de edificaciones que estén operativas hasta que las personas que se encuentren en ella puedan evacuar y desalojar el edificio ante un evento sísmico. Y dependiendo de la magnitud del sismo es posible que la edificación deba ser rehabilitada posteriormente.

### **2.1.5. Comportamiento de la estructura con aisladores sísmicos**

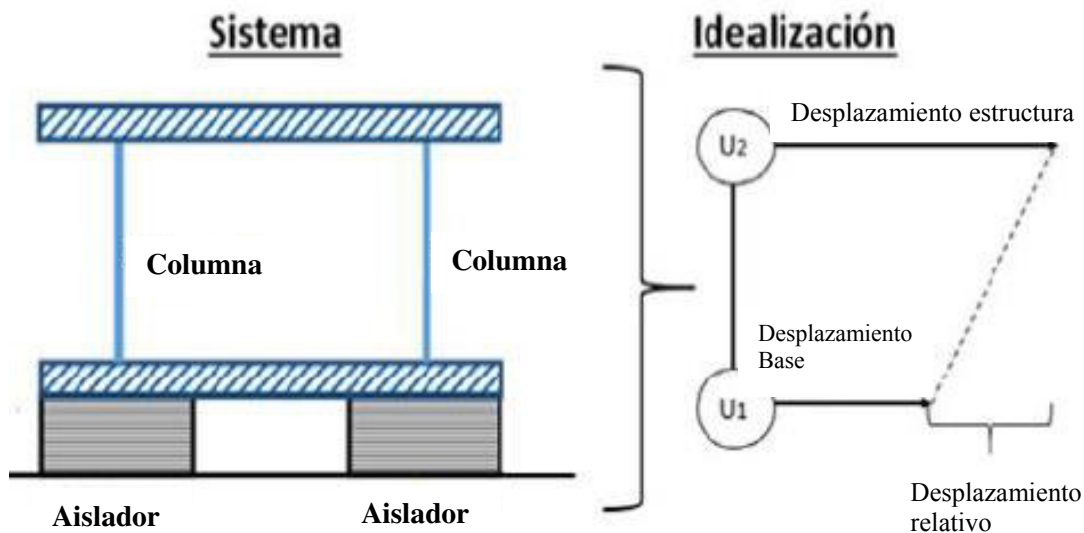
En el presente epígrafe se procede a detallar los cambios que presenta una estructura con la incorporación de aisladores sísmicos.

**2.1.5.1. Conjunto de aislación en la base.** Durante la ocurrencia de un sismo severo, la estructura recibe una parte de la energía proveniente de este, la cual se convierte en movimiento (energía cinética); otra parte de esta energía se acumula como energía de deformación recuperable (energía elástica); y el resto de la energía se disgrega por medio del amortiguamiento de la edificación, o se dispersa por medio de la energía histerética o inelástica, que es la más peligrosa ante un evento sísmico, pues es la que más daño ocasiona. Al emplear aisladores sísmicos se consigue disminuir considerablemente el deterioro de la edificación, y de esta manera se minimiza la energía total que recibe el edificio.

En la Figura 8 se expone el sistema de aislación y su idealización. Se observan dos grados de libertad los cuales representan el desplazamiento del sistema de aislación ( $U_1$ ) y el desplazamiento de la edificación ( $U_2$ ). Estos desplazamientos variarán dependiendo de la rigidez y del amortiguamiento de las columnas, y de los aisladores sísmicos.

**Figura 8**

*Representación del modelo con aislación en la base*



Por otro lado, al calcular la diferencia entre el desplazamiento de la edificación en el último piso y el desplazamiento en la base, conseguimos el desplazamiento relativo de la edificación. Cuanto menor sea el desplazamiento relativo, menor será el daño en la estructura.

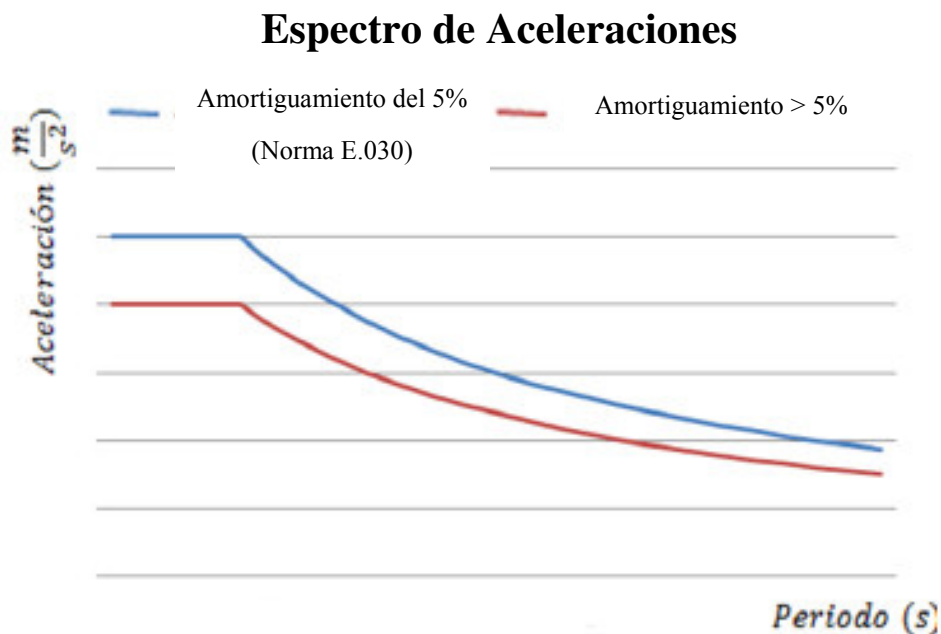
Los aisladores sísmicos elastoméricos tienen como propósito flexibilizar la base de la estructura, para de esta manera minimizar las fuerzas sísmicas e incrementar el periodo.

Se muestra una curva de color azul en la Figura 9, la cual simboliza el espectro de aceleraciones de la norma peruana E-030. Se elaboró la presente curva con los factores  $Z$  (zonificación sísmica),  $U$  (importancia),  $C$  (amplificación sísmica) y  $S$  (suelo).

Se puede observar en la presente imagen que, al incrementar el periodo de la edificación, la aceleración espectral se reduce, por lo tanto, también se consigue reducir las fuerzas que absorben los elementos estructurales ya que las fuerzas sísmicas se verán disminuidas.

**Figura 9**

*Variaciones del espectro de aceleraciones*



En la misma imagen se puede apreciar una curva roja, la cual simboliza el espectro de aceleraciones para un amortiguamiento efectivo mayor al 5% del crítico. Se logró desarrollar esta curva empleando parámetros similares a los que se utilizaron para la curva color azul, pero se usó un factor de reducción que tiene relación directa con el amortiguamiento efectivo de la estructura. Se puede apreciar en ambas curvas, que se consiguen aceleraciones mayores cuanto menor es el periodo.

En una edificación donde se utilicen aisladores sísmicos la base presentará una rigidez muy baja lo cual originará un desplazamiento lateral en ella. Por ello es importante tener en cuenta que ese desplazamiento no debe ser desmedido, porque provocaría grandes desplazamientos en todo el edificio. Para lograr evitar daños en la base de la edificación es necesario controlar los desplazamientos desmedidos en ella, esto se puede lograr utilizando el

amortiguamiento facilitado por los mismos aisladores sísmicos. Si no fuera suficiente este amortiguamiento, se tendría que añadir amortiguadores en la superestructura.

Por último, para tener un desplazamiento óptimo en la base de la edificación se debe lograr un equilibrio entre la flexibilidad que proporciona el sistema de aislación y el amortiguamiento que permite el aislador.

### ***2.1.6. Normas Vigentes de Diseño***

A continuación, se presentan las normas más importantes en cuanto al diseño de aislación sísmica, así como la evaluación del desempeño sísmico de los elementos estructurales. Entre las cuales tenemos:

**2.1.6.1. Federal Emergency Management Agency – FEMA274 (1997).** El FEMA274 presenta procedimientos para el diseño de elementos de protección sísmica tales como aisladores y disipadores de energía sísmica. En sus acápites expone recomendaciones y formulas detalladas para emplear de forma correcta los aisladores y amortiguadores sísmicos. Así mismo, en esta norma se presentan procedimientos que se deben seguir para realizar el diseño de estructuras con aisladores sísmicos.

Muy parecido a nuestra norma técnica peruana, el FEMA274 propone como el parámetro fundamental a verificar en un análisis estructural a la deriva de entrepiso. Por otro lado, se centra en el amortiguamiento efectivo de la estructura para poder reducir el desplazamiento lateral, dejando la rigidez lateral en un segundo plano. En la mayoría de casos para un buen desempeño sísmico es escaso contar con el amortiguamiento del 5% del crítico brindado por la propia estructura ante una sollicitación sísmica, por lo cual se hace imprescindible el empleo de



dispositivos sísmicos ya sean aisladores o amortiguadores para ofrecer un amortiguamiento complementario que supere el 5%.

Al integrar aisladores o amortiguadores sísmicos se obtendrá un amortiguamiento efectivo que ayudará a reducir las aceleraciones ocasionadas a la estructura.

El FEMA274 ofrece un factor BM para poder medir de manera practica la reducción de las aceleraciones en una estructura. Esta relación se expone a continuación en la tabla 4:

**Tabla 4**

*Factor BM*

<b>Amortiguamiento efectivo (%)</b>	<b>BM</b>
$\leq 2$	0.8
5	1.0
10	1.2
20	1.5
30	1.7
40	1.9
$\geq 50$	2.0

Se empleará el valor de BM para medir el espectro de aceleraciones de la edificación. De esta manera, cuanto más alto sea el valor del factor BM, las aceleraciones de la estructura serán menores. Por otro lado, el comportamiento de la edificación será mejor, mientras mayor sea el amortiguamiento efectivo que facilitan los dispositivos de disipación de energía sísmica.

Asimismo, es necesario aclarar que se debe tomar en cuenta la ocurrencia de un sismo máximo posible para el diseño de un sistema de aislación sísmica. Este valor es mayor al empleado en el diseño de la estructura sismorresistente.

En el diseño de estructuras con aisladores sísmicos, se tiene como objetivo conservar a la estructura en un rango elástico, por lo que la norma fija a un máximo de 2 el valor del factor de reducción de fuerzas sísmicas (R).

**2.1.6.2. SEAOC- COMMITTEE VISION 2000 (1995).** Según la presente normativa, el desempeño de una edificación se determina de acuerdo a la importancia de la edificación, al sismo de diseño y al estado que se desea para la estructura después de un evento sísmico.

SEAOC divide los niveles de desempeño en 4 grupos:

- Totalmente Operacional
- Operacional
- Seguridad
- Pre-colapso

Por otro lado, clasifica las edificaciones según su grado de importancia para seleccionar un nivel de desempeño ideal.

- Estructuras Críticas
- Estructuras Esenciales
- Estructuras Básicas

Esta norma plantea diferentes sismos de diseño los cuales deben ser analizados para cada tipo de estructura. Se presenta la Tabla 5, en la cual la SEAOC planteo un diagrama que permite asociar el nivel de desempeño objetivo con el tipo de estructura y el sismo esperado de diseño.

**Tabla 5**

*Nivel de desempeño objetivo para un sismo de diseño y un tipo de estructura*

<b>Nivel de desempeño recomendado para las estructuras</b>			
<b>Tipo de estructura/ Sismo de diseño</b>	<b>Estructuras Críticas</b>	<b>Estructuras Esenciales</b>	<b>Estructuras Básicas</b>
<b>Frecuente</b>	Totalmente operacional	Totalmente operacional	Totalmente operacional
<b>Ocasional</b>	Totalmente operacional	Totalmente operacional	Operacional
<b>Raro</b>	Totalmente operacional	Operacional	Seguridad
<b>Muy raro</b>	Operacional	Seguridad	Pre-colapso

Los diferentes sismos de diseño, así como la probabilidad de excedencia se visualiza en la tabla 6, la cual se muestra a continuación:

**Tabla 6**

*Sismos de diseño*

<b>Sismo de Diseño</b>	<b>Probabilidad de excedencia</b>
Frecuente	50% en 30 años
Ocasional	50% en 50 años
Raro	10% en 50 años
Muy raro	10% en 100 años

Al incorporarse una edificación al rango inelástico, sufrirá un daño mayor en vista del aumento del desplazamiento lateral de cada piso. Este daño puede controlarse si se determina al

momento de diseñar, una deriva objetivo que representará la deriva límite que mantendrá la edificación después de incorporarse los dispositivos de aislación sísmica. En la Tabla 7 se muestran los valores de deriva objetivo correspondiente para cada nivel de desempeño.

**Tabla 7**

*Derivas objetivo para cada nivel de desempeño en edificaciones aporticadas de concreto armado.*

<b>Niveles de desempeño y derivas objetivo para edificaciones</b>	
<b>Nivel de desempeño</b>	<b>Deriva objetivo</b>
Totalmente operacional	0.0020
Operacional	0.0033
Seguridad	0.0058
Pre-Colapso	0.0156

**2.1.6.3. ASCE (2010).** La presente norma pone mayor importancia en verificar la capacidad de la estructura de recibir fuerzas sísmicas sin recibir un daño cuantioso, dejando en segundo plano los desplazamientos o el desempeño de la edificación. El ASCE también presenta planteamientos acerca del uso correcto de los aisladores sísmicos, en las cuales se pueden encontrar recomendaciones y pautas del uso adecuado de los mismos.

Asimismo, presenta procedimientos para el correcto diseño de amortiguadores sísmicos y recomienda su uso al igual que el FEMA274, ya que como se mencionó anteriormente estos proporcionan un amortiguamiento importante que consigue reducir las fuerzas sísmicas que reciben los elementos estructurales.

El código ASCE estima que el amortiguamiento es un indicador importante para controlar las fuerzas sísmicas, ya que, al aumentar el amortiguamiento proporcionado por los aisladores sísmicos, entonces disminuyen las fuerzas que actúan en los elementos estructurales y el daño ocasionado a la edificación será menor.

**2.1.6.4. Norma peruana E.031 (Aislamiento sísmico).** La presente norma dispone las condiciones mínimas para poder diseñar y construir edificaciones con aisladores sísmicos, y los ensayos necesarios para aprobar el comportamiento de los dispositivos del sistema de aislamiento, la cual fue aprobada el 6 de noviembre del 2019.

La Norma Técnica E.031 es en gran parte, una traducción del “Seismic Design Requirements for seismically isolated Structures” del estandar “Minimum Design Loads for Building and Other Structures, ASCE/SEI 7” (ASCE, 2017); modificando algunos aspectos básicos como la peligrosidad sísmica para el Perú, ya que como se indica, la presente propuesta de Norma es una traducción del Estandar estadounidense.

#### - Espectro de diseño

El espectro de diseño se determina con la siguiente ecuación:

$$S_{aM} = 1.5ZCS \quad (18)$$

En la ecuación (18) Z y S son los factores de sitio definidos en la norma E.030 y C se determina según las ecuaciones siguientes:

$$T < 0.2Tp \quad C = 1 + 7.5 \cdot \frac{T}{Tp} \quad (19)$$

$$0.2Tp < T < Tp \quad C = 2.5 \quad (20)$$

$$(21)$$

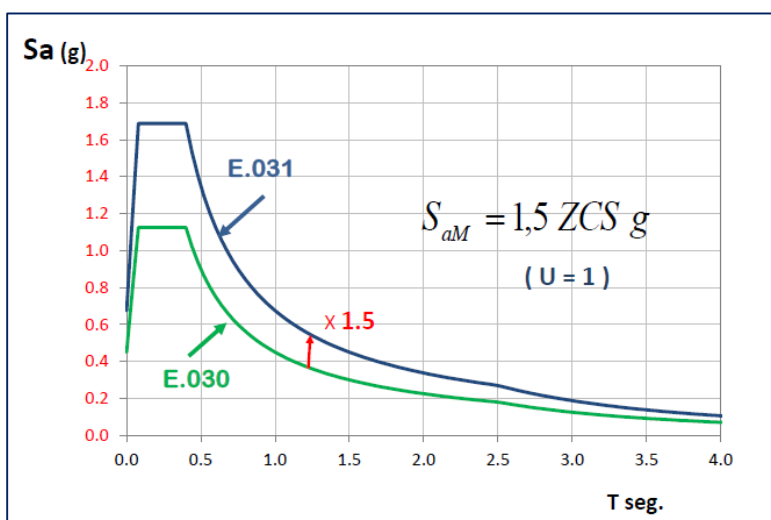
$$T_p < T < T_l \quad C = 2.5 \cdot \frac{T_p}{T}$$

$$T > T_l \quad C = 2.5 \cdot \frac{T_p \cdot T_l}{T^2} \quad (22)$$

Para estructuras aisladas, el factor U al que se refiere la norma técnica E.030 “Diseño Sísmorresistente” será en todos los casos igual a 1. Se muestra en la Figura 10 el espectro elástico de pseudo aceleraciones según la norma E.030 y E.031.

### Figura 10

*Espectro elástico de pseudo aceleraciones*



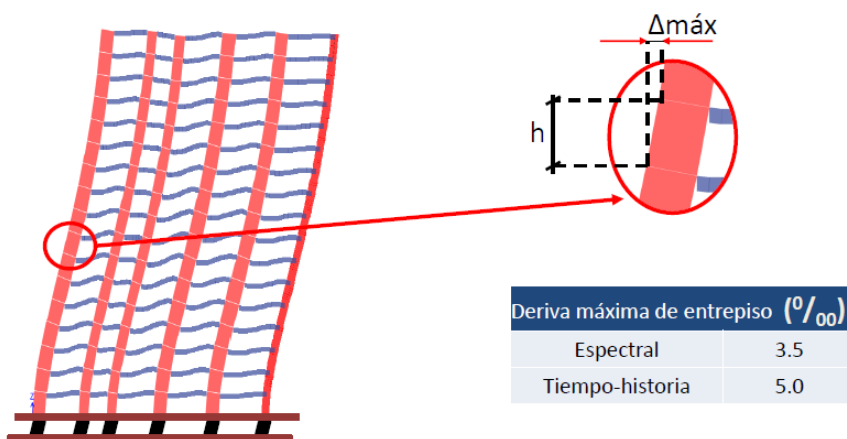
#### - Límites de deriva

La máxima deriva obtenida según el procedimiento modal espectral no debe ser mayor a 0.0035, mientras que la obtenida según el procedimiento tiempo historia, considerando las características no lineales del sistema de aislamiento, no será mayor a 0.005.

Se muestra en la Figura 11 la representación de la deriva de entrepiso, así como sus máximos valores de acuerdo al tipo de procedimiento según la norma E.031.

### Figura 11

*Deriva máxima de entrepiso*



### III. MÉTODO

#### 3.1. Tipo de investigación

El tipo de investigación es aplicada, ya que se basa en resolver un problema práctico, determinar el comportamiento sísmico con aisladores elastoméricos con núcleo de plomo del edificio “Los Rosales”. El análisis de la información recolectada para la presente tesis implica un proceso cuantitativo ya que los resultados y aportes están direccionados a la formulación y planteamiento de soluciones durante el proceso de investigación del planteamiento inicial escribiendo los fenómenos cuantificables como fuerza, desplazamiento, periodo, etc.

El diseño de investigación experimental, se manipula la variable independiente, aisladores sísmicos y se analiza la variable dependiente, comportamiento sísmico del edificio “Los Rosales”.

#### 3.2. Ámbito temporal y espacial

El proyecto del edificio “Los Rosales”, en el cual se realizará la mejora de su comportamiento sísmico, se ubica en el distrito de Pueblo libre, perteneciente a la provincia de Lima, departamento de Lima.

El diseño virtual de la edificación “Los Rosales”, así como su análisis sísmico en el programa ETABS, y la recolección de información se realizaron en el año 2019.

#### 3.3. Variables

##### 3.3.1. Variable independiente:

Aisladores sísmicos elastoméricos con núcleo de plomo



### Indicadores

- Diámetro el aislador
- Capacidad de desplazamiento horizontal
- Altura del aislador
- Desplazamiento máximo
- Numero de aisladores
- Numero de capas de caucho
- Diámetro del plomo

#### **3.3.2. Variable Dependiente:**

Mejora del comportamiento sísmico del edificio “Los Rosales”.

### Indicadores

- Momento Flector
- Fuerzas cortantes y axiales
- Deriva de entrepiso
- Máximos desplazamientos
- Periodo de la estructura
- Cortante Basal

## **3.4. Población y muestra**

### **3.4.1. Población**

Para el análisis del comportamiento sísmico se eligió edificaciones de mediana altura, destinados a vivienda multifamiliar en la ciudad de Lima.

### **3.4.2. Muestra**

La muestra está ubicada en el jirón Paracas N° 252 Urbanización El Carmen en el distrito de Pueblo Libre. Es el edificio multifamiliar “Los Rosales” el cual cuenta con 18 pisos.

#### CRITERIOS DE SELECCIÓN

El edificio “Los Rosales” está ubicado en la ciudad de Lima en el distrito de Pueblo Libre, es por ello que se escogió la muestra, ya que se encuentra en la ZONA 4, que es la zona más vulnerable ante un evento sísmico.

Asimismo, el edificio no tiene colindancia con otros edificios o casas, lo cual permitiría que éste se desplace libremente con la incorporación de aisladores sísmicos.

La muestra tiene 18 pisos, lo cual hace suponer que por el número de pisos no cumple con los estándares de la NORMA E-030.

Por lo expuesto anteriormente, el edificio multifamiliar “Los Rosales” es un modelo adecuado para realizar la mejora de su comportamiento sísmico mediante la incorporación de aisladores elastoméricos con núcleo de plomo.

Tipo de muestreo: NO PROBABILISTICO

### **3.5. Instrumentos**

La medición y recolección de datos se realizará utilizando los siguientes instrumentos:

- Fichas hemerográficas, se utilizarán para la compilación de datos de los artículos de investigaciones afines.

- Fichas audiovisuales, para reunir información digital, de videos de modelamiento de estructuras con y sin aisladores disipadores de energía sísmica, usando softwares de ingeniería sismo resistente como el ETABS.
- Fichas de resumen, para reunir datos de otras investigaciones teórico-prácticas, los mismos que serán usados en el desarrollo de esta tesis.
- Las fichas de recolección de datos de internet, cuya utilidad es la de organizar y recolectar información que servirá como fundamento teórico de la investigación emprendida.

### **3.6. Procedimientos**

- En primer lugar, se procederá a investigar sobre los dispositivos de protección sísmica. Se averiguará sobre los tipos de aisladores que actualmente se utilizan. Así mismo, se evaluarán minuciosamente los procedimientos y pautas de diseño presentadas en la norma técnica peruana E.031 (2018) para los aisladores sísmicos. El trabajo de la presente tesis se centrará en el estudio y diseño de los aisladores elastoméricos con núcleo de plomo por ser los más utilizados actualmente. Para la modelación estructural de la edificación “Los Rosales” se realizará un análisis modal espectral utilizando el software ETABS.
- En la primera variante se evaluará la edificación “Los Rosales” sin ningún dispositivo de protección sísmica; a través de un análisis dinámico espectral con el fin de verificar si se satisfacen todos los estándares señalados por la norma peruana de diseño sismo resistente E.030 (enfocado al control de derivas), utilizando el programa ETABS.

- Se procederá a realizar un análisis de los resultados obtenidos, y se evaluará si es necesario corregir el modelo o mejorarlo.
- A continuación, se procederá a realizar una distribución adecuada de los aisladores elastoméricos.
- En la segunda variante, con el fin de mejorar y optimizar el comportamiento sísmico en la estructura; se incorporará al edificio “Los Rosales”, aisladores sísmicos elastoméricos con núcleo de plomo siguiendo los parámetros sísmicos de la norma técnica peruana E.031. Se realizará el diseño de los aisladores elastoméricos con núcleo de plomo, así como el sistema de aislamiento (elementos horizontales y verticales), siguiendo los procedimientos establecidos en el CAPITULO II de la presente tesis. Posteriormente se procederá a introducir los resultados del diseño en el programa de modelamiento estructural ETABS.
- Como tercera variante se realizará una reducción de las placas de la estructura, debido a que es de suponer se reducirán ampliamente las derivas de entrepiso con la incorporación de aisladores sísmicos. El objetivo de esta variante es optimizar el diseño estructural de la edificación, ya que al adicionar aisladores sísmicos se tendrían menores fuerzas internas en los elementos estructurales.
- Se realizará un análisis dinámico espectral, siguiendo los estándares señalados en la norma E.031, utilizando el programa ETABS.

- Con los resultados adquiridos de cada uno de los modelos se evaluarán las fuerzas internas máximas de los elementos estructurales, así como los periodos, los desplazamientos, las derivas máximas de entrepiso y las cortantes basales. Esto con el fin de estimar el nivel de desempeño sísmico de la edificación con los aisladores elastoméricos con núcleo de plomo.
  
- Los resultados de las variantes con dispositivos de aislación sísmica se utilizarán como referencia para examinar el resultado que se obtiene con la incorporación de aisladores elastoméricos con núcleo de plomo en la edificación “Los Rosales”.

### **3.7. Análisis de datos**

Se realizará el análisis de datos cuantitativos obtenidos en las diferentes variantes planteadas anteriormente, mediante la elaboración de cuadros y tablas por medio de estadística descriptiva del análisis del comportamiento sísmico del edificio “Los Rosales” en el programa ETABS, con la finalidad de obtener conclusiones precisas e interpretar sus resultados.

## IV. RESULTADOS

En este capítulo, se presenta un análisis sísmico del desempeño sísmico en donde se comparan los resultados obtenidos del análisis espectral de los modelos planteados. Los parámetros que se analizarán en esta comparación son: el periodo de la estructura, la frecuencia fundamental, los desplazamientos laterales máximos, las derivas máximas de entrepiso y la cortante basal máxima. Asimismo, se evaluarán las fuerzas cortantes, fuerzas axiales y momentos flectores en los elementos estructurales críticos.

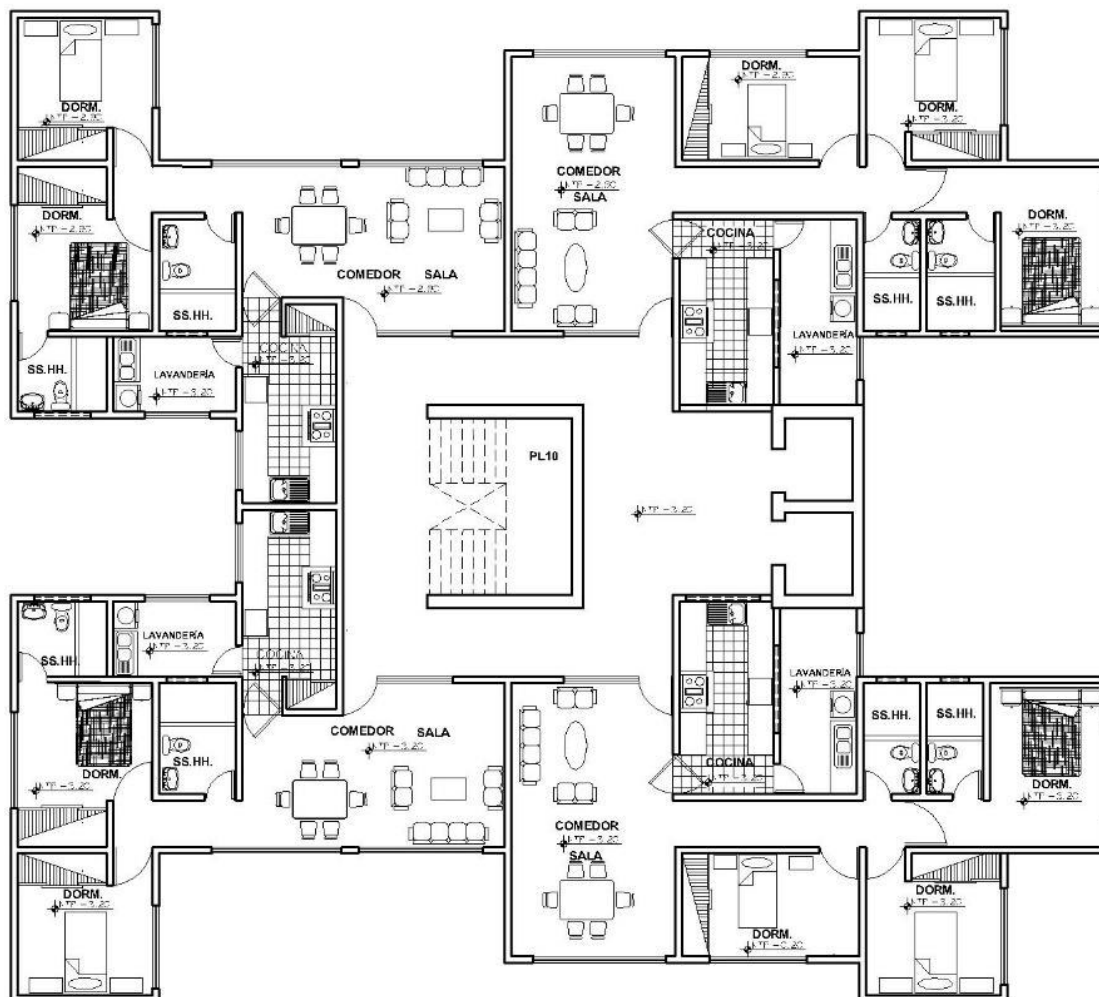
En el primer acápite de este capítulo se describe las características principales del edificio “Los Rosales”.

### 4.1. Descripción de la arquitectura

Esta edificación consta de 18 niveles con cuatro departamentos por nivel, dos de ellos cuentan con dos dormitorios y los otros dos con tres dormitorios, sala-comedor, cocina, una lavandería y dos baños. Fue proyectada con ascensor y cuenta con una escalera principal ubicada en la parte central que conecta los diferentes niveles, en la Figura 12 se puede apreciar la vista en planta típica, donde claramente se puede apreciar la distribución de los ambientes.

**Figura 12**

*Planta típica del edificio “Los Rosales”*



## 4.2. Análisis sísmico

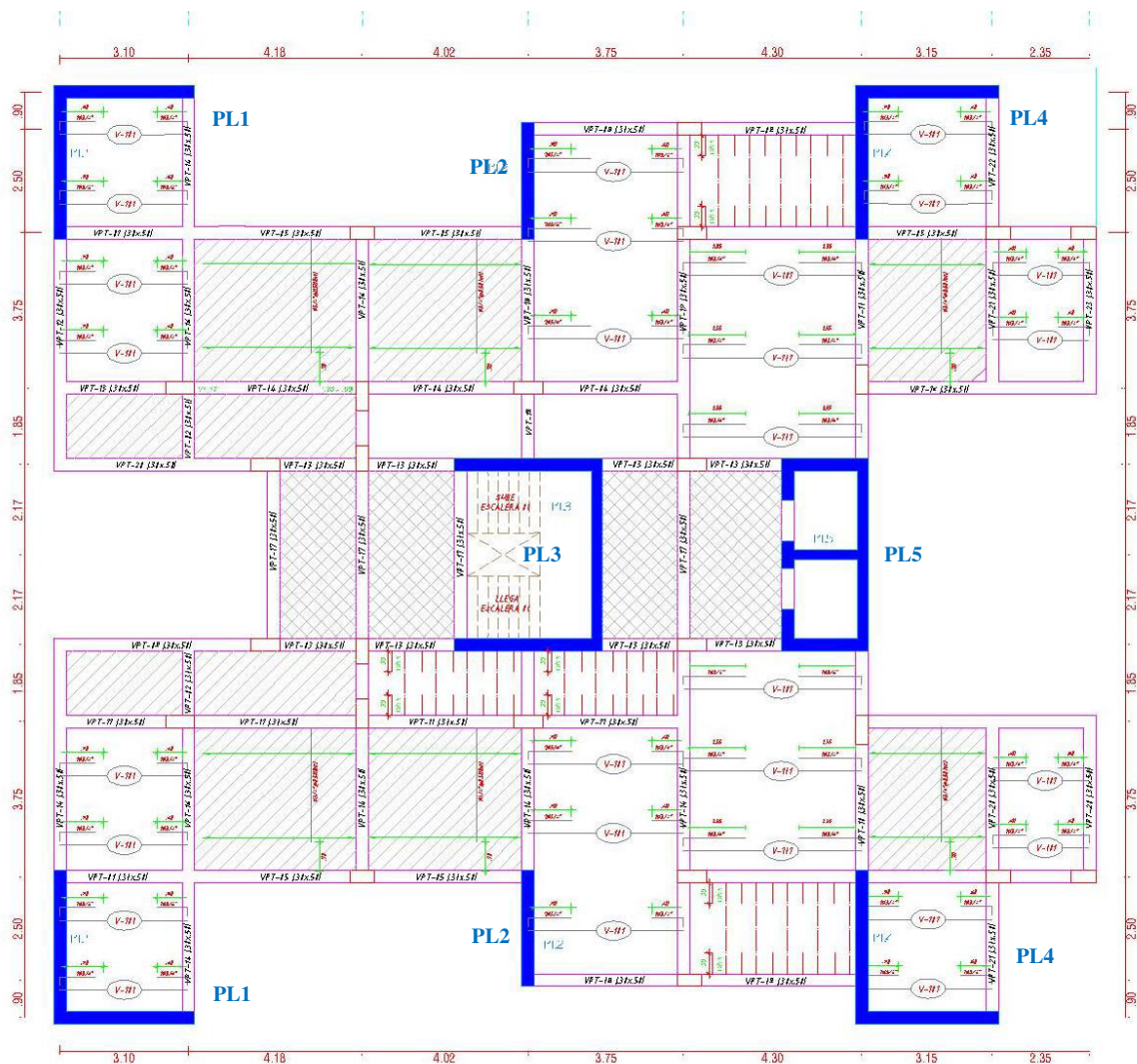
### 4.2.1. De la edificación empotrada

El modelo empotrado consta de vigas de 50 cm de peralte y 30 cm de ancho ( $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup>), las columnas son rectangulares de 50 cm de largo por 30 cm de ancho ( $f'c=280$  kg/cm<sup>2</sup> del 1er hasta el 6to nivel,  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup> del 6to al 18vo nivel). Los muros de corte tienen una

longitud de 3.50 en la dirección “X” y de 4.50 metros en la dirección “Y”, además de muros de corte en forma de “C” en el ascensor y la escalera, todos con un espesor de 30 cm. Se muestra en la figura 13 el plano de los elementos estructurales con sus respectivas dimensiones con vista en planta.

**Figura 13**

*Elementos estructurales de la edificación empotrada*





El análisis sísmico de la edificación empotrada se realizó según la norma técnica vigente E.030, mediante un análisis dinámico espectral, con el procedimiento de superposición modal espectral además se trabajó con la combinación cuadrática completa (CQC).

Considerando las condiciones de suelo, las características de la estructura y las condiciones de uso, se utilizaron los parámetros sísmicos siguientes:

- a) Factor de zona: En la tabla 8 se presenta la tabla N°1 de la Norma Peruana E.030, en donde se indican los factores de zona.

**Tabla 8**

*Factores de zona (Norma E.030)*

<b>FACTORES DE ZONA “Z”</b>	
ZONA	Z
4	0.45
3	0.35
2	0.25
1	0.1

En el presente trabajo, el edificio “Los Rosales” está ubicado en el departamento de Lima por lo que el factor de zona será 0,45

- b) Parámetros de Sitio (S,  $T_P$  y  $T_L$ )

El edificio “Los Rosales” está construido sobre un suelo intermedio, por lo que los periodos  $T_P$  y  $T_L$  serán igual a 0.6 y 2.0 respectivamente.

Y el factor y amplificación del suelo (S) será 1,05. (Según tabla N°3 y tabla N°4 de la norma E.030).

c) Factor de amplificación sísmica (C)

El factor de amplificación sísmica es la respuesta de la edificación ante la aceleración en su cimentación, dicha amplificación depende de cada estructura en función del periodo fundamental de vibración  $T$ .

Se tabularon valores T-C para conseguir el espectro de diseño, utilizando las siguientes expresiones:

$$T < T_P \quad C = 2.5 \quad (23)$$

$$T_P < T < T_L \quad C = 2.5 \cdot \left(\frac{T_P}{T}\right) \quad (24)$$

$$T > T_L \quad C = 2.5 \cdot \left(\frac{T_P \cdot T_L}{T^2}\right) \quad (25)$$

d) Factor de uso e importancia (U)

En el presente caso se trata de un edificio para vivienda multifamiliar, por lo tanto, corresponde a la categoría “C” – edificaciones comunes. Se presenta la Tabla 9 (tabla N° 5 de la norma E.030), en donde se aprecia que el factor de uso e importancia será igual a 1.0.

**Tabla 9**

*Factor de uso para vivienda multifamiliar*

C	Edificaciones comunes tales como: viviendas, oficinas, hoteles, restaurantes, depósitos e instalaciones industriales cuya falla no acarree peligros adicionales de incendios o fugas de contaminantes.	1,0
---	--	-----

e) Coeficiente básico de reducción ( $R_0$ )

El coeficiente de reducción se consigue utilizando la Tabla 10 (Tabla N°7 de la norma E.030), dicho valor dependerá del sistema estructural.

La estructura que estamos analizando, presenta el sistema de muros estructurales en ambas direcciones. Para determinar el sistema estructural, se realizó el cálculo de la rigidez que aportan las placas y las columnas.

En este caso el valor de  $R_{0X} = 6$   $R_{0Y} = 6$

**Tabla 10**

*Tabla de coeficientes básicos de reducción*

<b>Concreto Armado:</b>	
Pórticos	8
Dual	7
De muros estructurales	6
Muros de ductilidad limitada	4
<b>Albañilería Armada o Confinada</b>	<b>3</b>
<b>Madera (Por esfuerzos admisibles)</b>	<b>7</b>

f) Factores de Irregularidad

En el eje x la estructura no presente irregularidades

En el eje y la estructura presenta irregularidad estructural en planta – IRREGULARIDAD TORSIONAL, por lo que según tabla N° 9 de la norma E.030 el  $I_p$  es igual a 0.75.

g) Coeficiente de reducción de las fuerzas sísmicas:

$$R = R_0 \cdot I_a \cdot I_p \quad (26)$$

- $R_x = 4.5$
- $R_y = 4.5$

En la siguiente grafica se aprecian los principales elementos estructurales y su distribución en la planta típica:

h) Cargas aplicadas a la estructura:

Las cargas verticales se evaluaron conforme a la Norma Técnica Peruana de Cargas E-0.20 (NTP E-0.20) Los pesos de los elementos estructurales se estimaron a partir de sus dimensiones reales, considerando un peso específico de 2400 kg/m<sup>3</sup> para el concreto. Para la albañilería se supuso un peso específico igual a 1800 kg/m<sup>3</sup>.

Las sobrecargas de diseño utilizadas para las losas de entrepiso, fue de 200 kg/m<sup>2</sup> para los pisos típicos y para la azotea fue 100 kg/m<sup>2</sup>.

Para el cálculo de la fuerza sísmica se consideró la participación del 100 % del peso propio y cargas muertas y del 25 % de las sobrecargas en los entrepisos y azotea.

Materiales Empleados

- Modelo mecánico del concreto armado para una resistencia de  $f' c = 280 \text{ Kg/cm}^2$
- Módulo de Elasticidad calculado para el  $f' c$  especificado:  $E_c = 15000 \sqrt{f' c} \text{ (kg/cm}^2)$
- Modelo mecánico del refuerzo correspondiente al del acero grado 60.

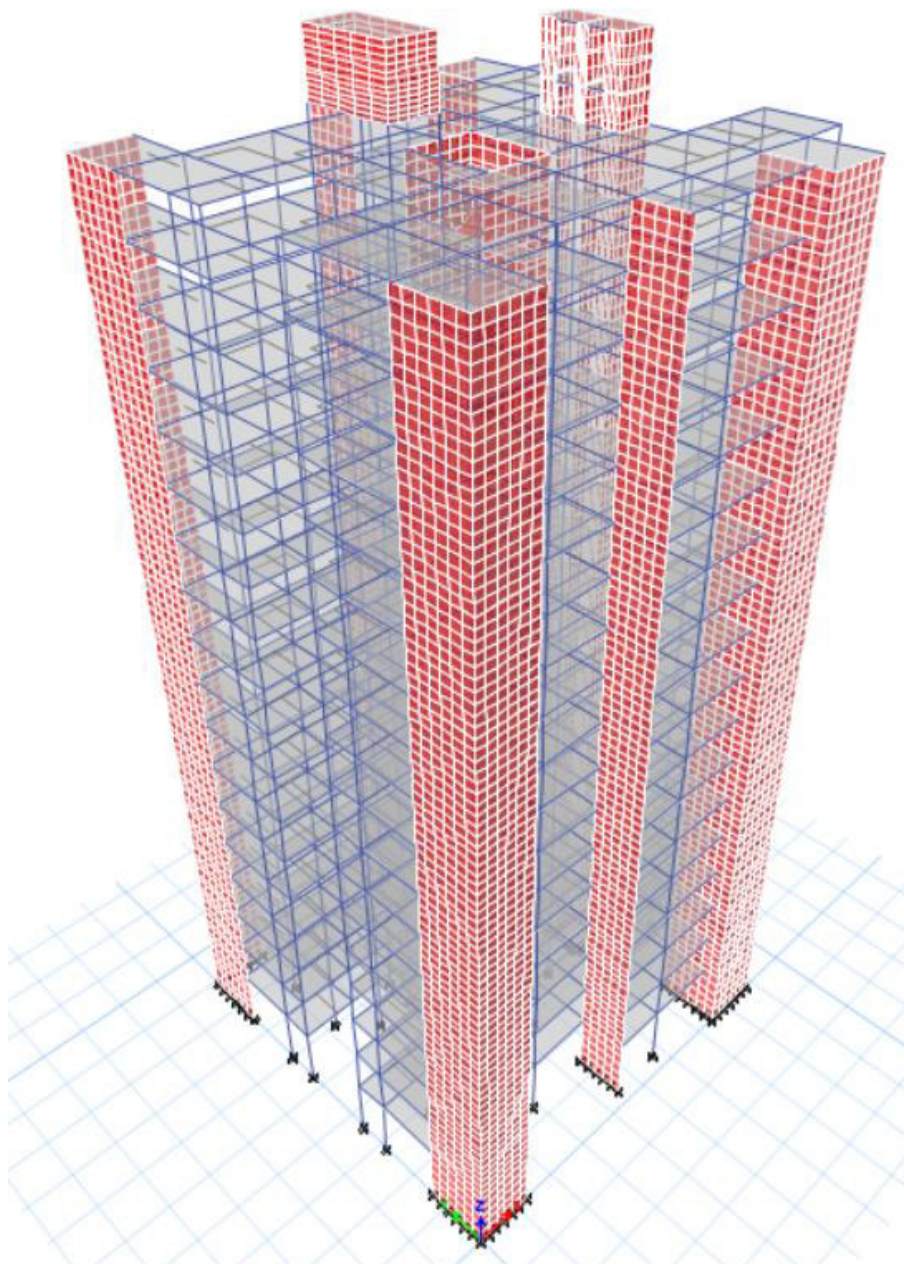
Elementos Estructurales

Modelamiento de losas como elementos área con fuerzas fuera del plano en una dirección, para el caso de aligerados, y en dos direcciones, para las losas macizas.

Se muestra en la Figura 14 una vista en 3D del modelamiento estructural del edificio empotrado en el programa ETABS:

**Figura 14**

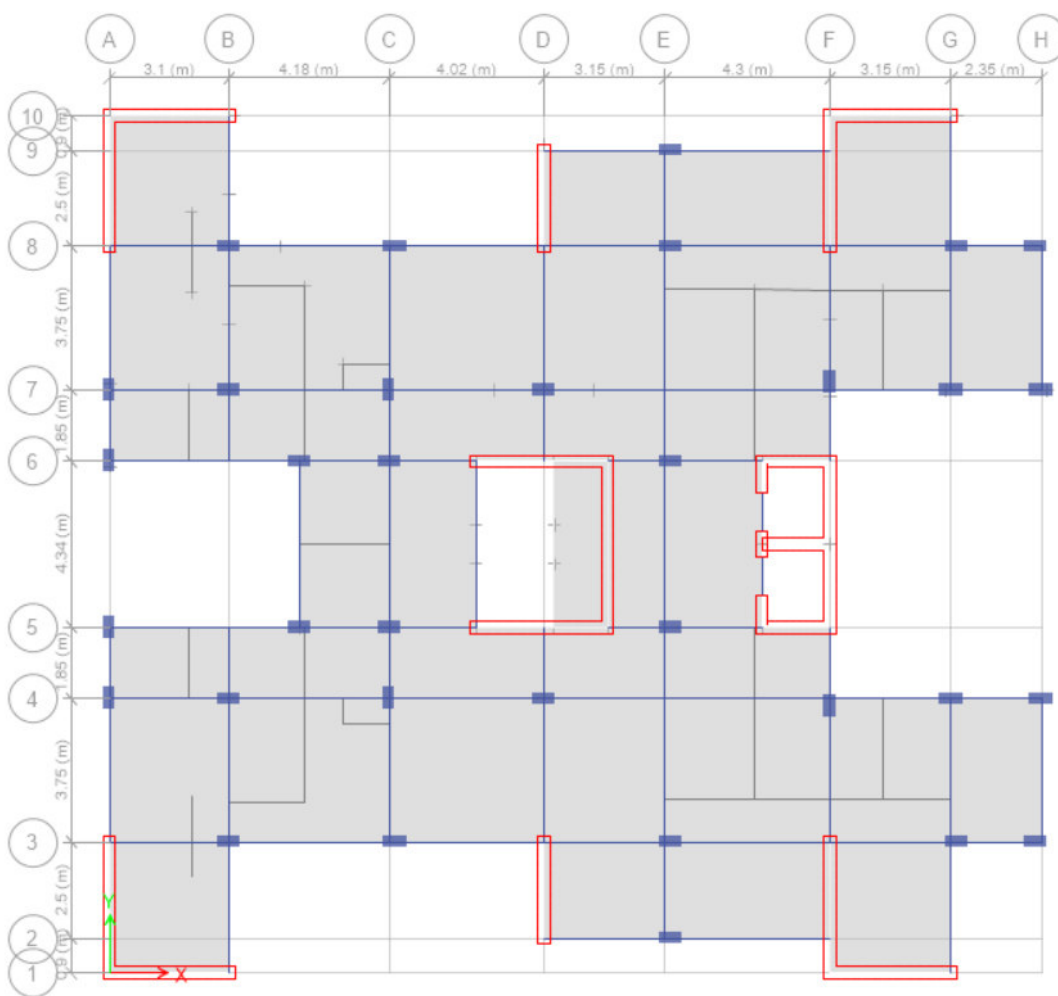
*Modelo empotrado – vista en 3D*



Se muestra en la Figura 15 una vista en planta del modelamiento estructural del edificio empotrado en el programa ETABS, en la que se puede apreciar que la edificación cuenta con 8 placas y 34 columnas.

**Figura 15**

*Modelo empotrado - vista en planta*

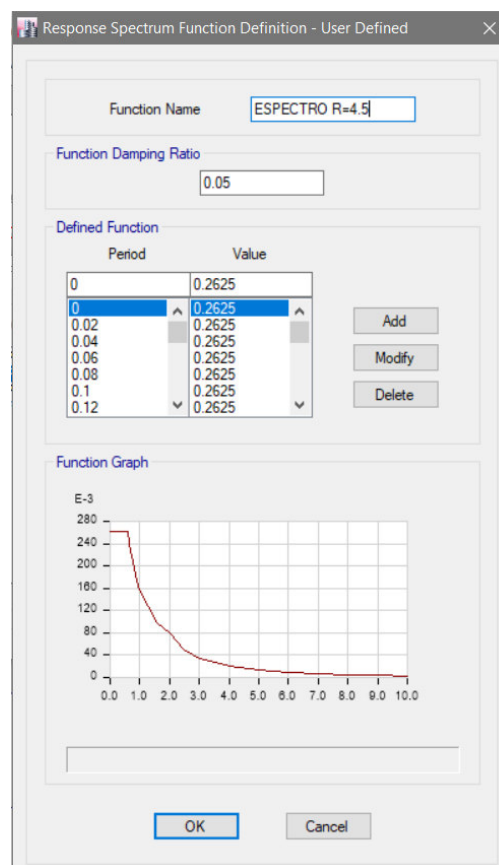


ESPECTRO DE DISEÑO PARA EDIFICIO DE BASE FIJA EN EL EJE X, Y

**Tabla 11**

*Cálculo del espectro de respuesta.*

T	C	ZUCS/R
0.00	2.50	0.2625
0.02	2.50	0.2625
0.04	2.50	0.2625
0.06	2.50	0.2625
0.08	2.50	0.2625
0.10	2.50	0.2625
0.12	2.50	0.2625
0.14	2.50	0.2625
0.16	2.50	0.2625
0.18	2.50	0.2625
0.20	2.50	0.2625
0.25	2.50	0.2625
0.30	2.50	0.2625
0.35	2.50	0.2625
0.40	2.50	0.2625
0.45	2.50	0.2625
0.50	2.50	0.2625
0.55	2.50	0.2625
0.60	2.50	0.2625
0.65	2.31	0.2426
0.70	2.14	0.2247
0.75	2.00	0.2100
0.80	1.88	0.1974
0.85	1.76	0.1848
0.90	1.67	0.1754
0.95	1.58	0.1659
1.00	1.50	0.1575
1.60	0.94	0.0987
2.00	0.75	0.0788
2.50	0.48	0.0504
3.00	0.33	0.0347
4.00	0.19	0.0200
5.00	0.12	0.0126
6.00	0.08	0.0084
7.00	0.06	0.0063
8.00	0.05	0.0053
9.00	0.04	0.0042
10.00	0.03	0.0032



*Espectro de respuesta insertado en  
ETABS.*

#### 4.2.2. *Del modelo aislado*

El modelo aislado consta de 34 columnas rectangulares de 30 x 50 centímetros, las vigas de los pórticos son de 30 x 50 centímetros, se verificó la relación de (6/5) viga/columna mediante el programa ETABS garantizando la condición columna fuerte viga débil. Los aisladores se modelaron usando elementos link, a los cuales se le asignaron las propiedades de rigidez y amortiguación efectivas calculadas para estos, sumado a las propiedades indicadas por el fabricante en cuanto a características mecánicas como dimensionales, el nivel de aislación consta de podios cuadrados de 100 cm por lado, apoyados sobre la parte superior de los aisladores y anclados con pernos, sobre los cuales se apoyan las vigas del piso técnico que tienen una sección 70 x 90 centímetros y una losa maciza de 20 cm de espesor.

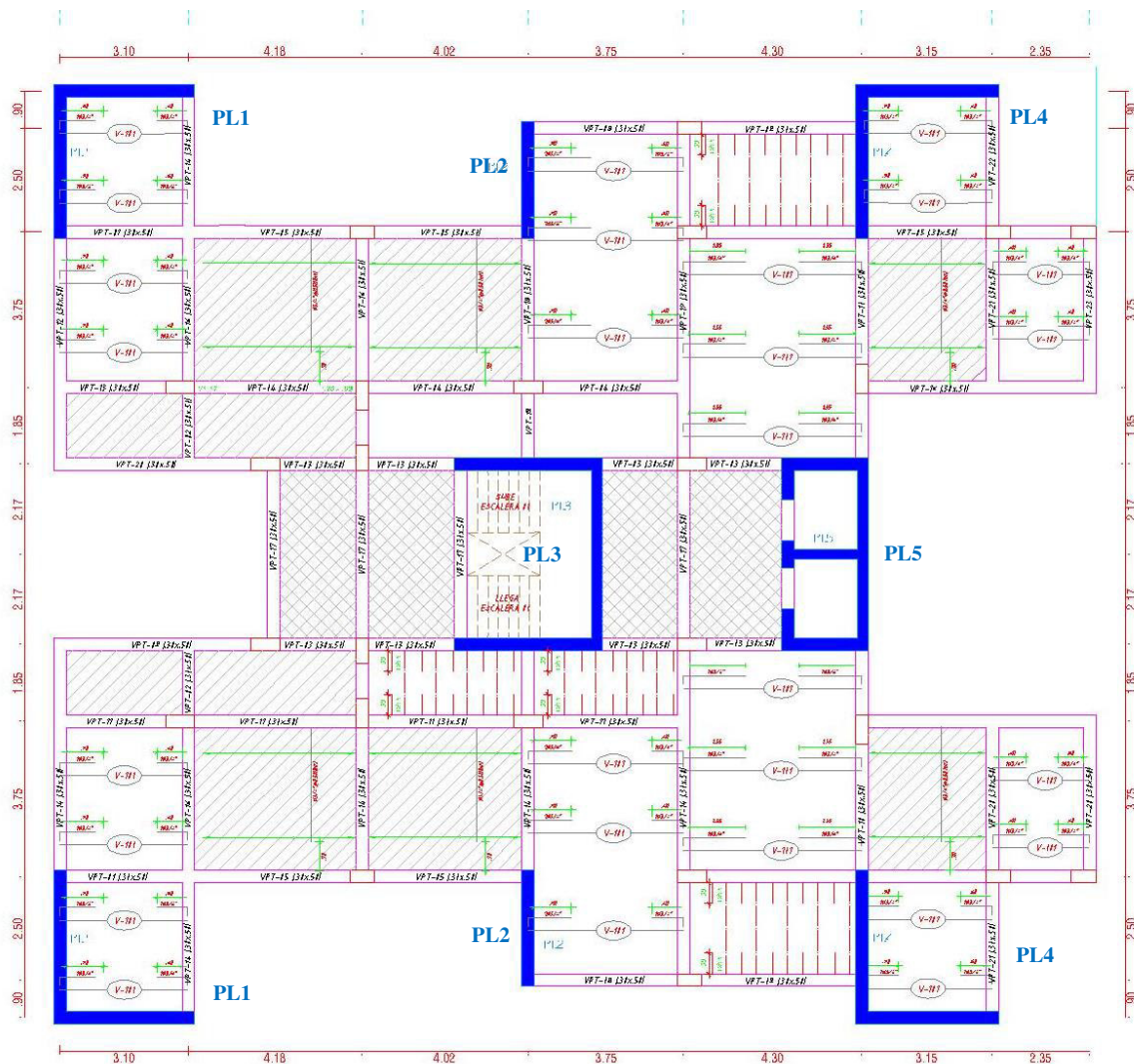
En el presente trabajo se idealizará un aislador debajo de cada columna, por lo cual habrá un total de 56 aisladores elastoméricos de núcleo de plomo. Los LRB tendrán un módulo de corte de caucho  $G = 54 \text{ t/m}^2$ , un esfuerzo máximo permisible del caucho  $\sigma_{max. perm} = 815 \text{ t/m}^2$ , y un esfuerzo de fluencia del núcleo de plomo  $\sigma_y = 1020 \text{ t/m}^2$ .

A continuación, se observa en la Figura 16 una vista en planta de las dimensiones de los elementos estructurales del modelo aislado:



Figura 16

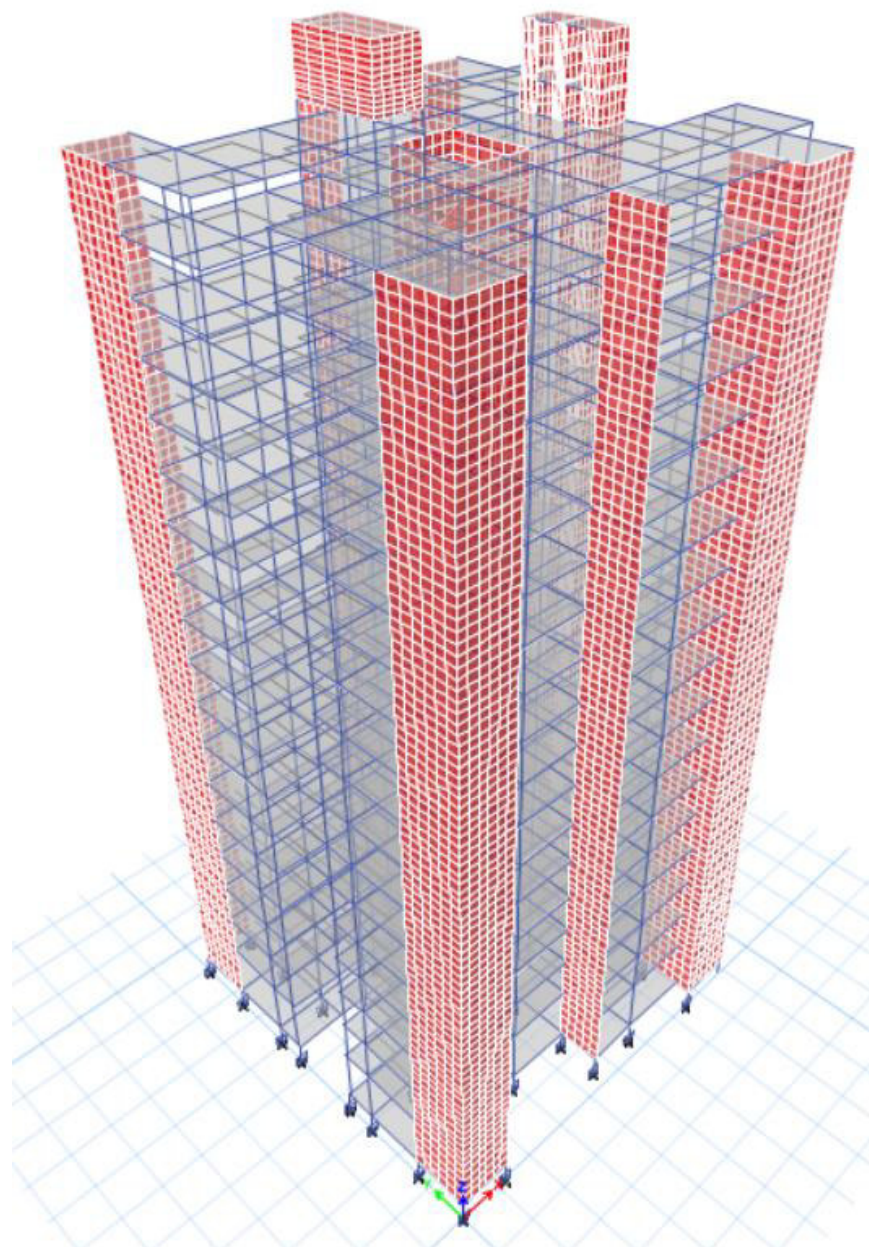
Elementos estructurales de la edificación aislada.



Se muestra en la Figura 17 una vista en 3D del modelamiento estructural del edificio aislado en el programa ETABS:

**Figura 17**

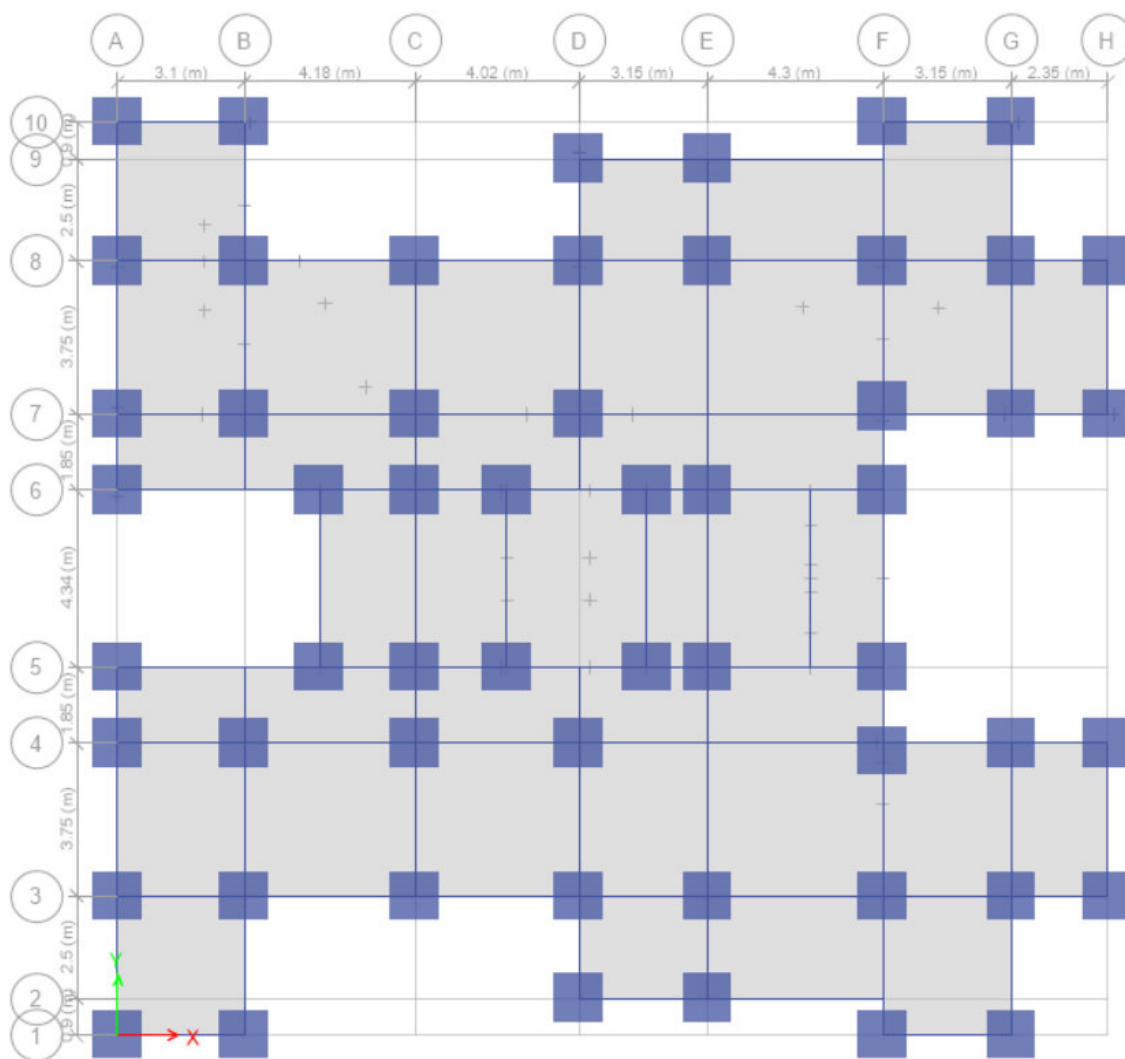
*Modelo aislado – vista 3D.*



A continuación, se observa en la Figura 18 la vista en planta de la interfaz de aislamiento del modelo aislado del edificio Los Rosales, en el cual se aprecian 56 podios cuadrados de 100 cm de lado:

**Figura 18**

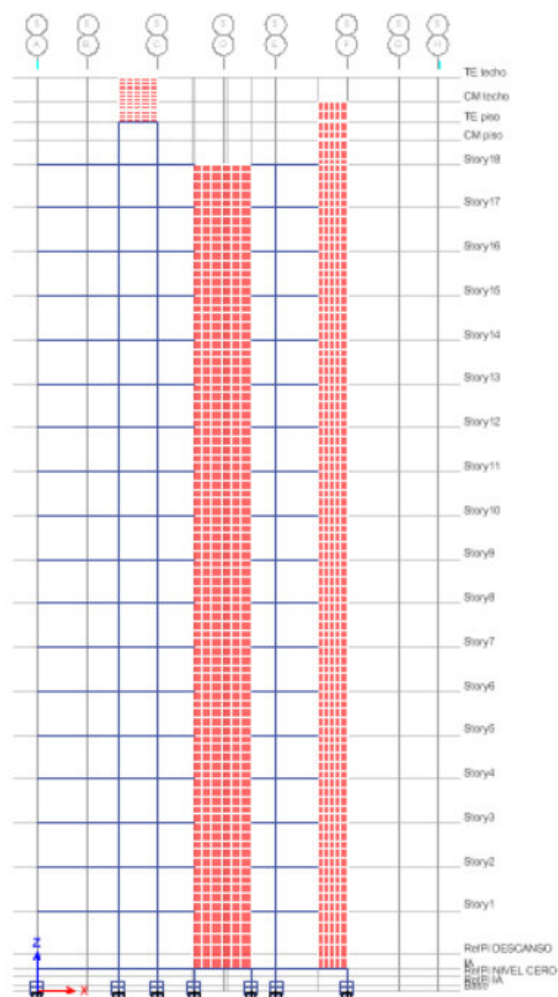
*Modelo aislado – vista planta (interfaz de aislamiento).*



Se muestra en la Figura 19 una vista del corte del eje 5 del modelo aislado en donde se aprecian los aisladores sísmicos y el corte de algunas placas.

**Figura 19**

*Modelo aislado – corte eje 5.*



El factor de suelo  $S$  es el mismo en ambos modelos, debido a que para una correcta comparación se asumirá que la ubicación de ambas edificaciones es la misma; el factor de uso  $U$  es 1 por el mismo fin de la edificación, la norma peruana E.031 recomienda el uso de un factor 1 en todos los casos donde se usen aisladores, al ser el mismo valor no genera ningún

cambio, pero es necesario mencionarlo. El factor de reducción sísmica es igual a 1 en el sistema de aislación, pues se considera que no debe existir daño en el sistema ocurrido un sismo y a diferencia de la edificación empotrada para la norma peruana E.031 indica que el factor de reducción es 3/8 del factor usado en la edificación convencional ( $R=4.5$ ) obteniendo un valor de  $R=1.6875$ , así mismo se indica que el valor debe estar en el rango de 1 a 2, en el caso de la presente investigación hemos usado un valor de  $R=1$  bajo la consideración de que la superestructura no debe sufrir daño y por ser la condición más desfavorable.

Para edificaciones con aisladores sísmicos, según el numeral 13.4 de la norma E.031, el espectro elástico de pseudo aceleraciones correspondiente al sismo máximo considerado (SMC) se determina como:

$$S_{aM} = 1.5 ZCS g \quad (27)$$

Donde  $Z$  y  $S$  son los parámetros definidos en la norma técnica E.030.

El parámetro  $C$  es definido por las siguientes ecuaciones:

$$T < 0.2 T_P \quad C = 1 + 0.75 * \left(\frac{T}{T_P}\right) \quad (28)$$

$$0.2 T_P < T < T_P \quad C = 2.5 \quad (29)$$

$$T_P < T < T_L \quad C = 2.5 * \left(\frac{T_P}{T}\right) \quad (30)$$

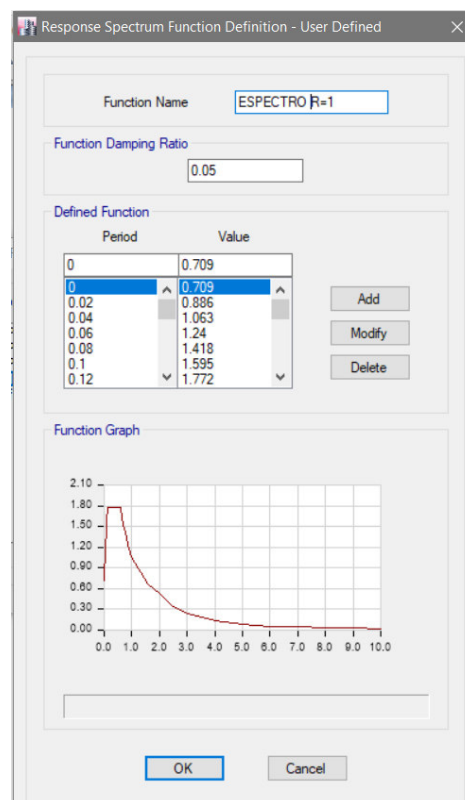
$$T > T_L \quad C = 2.5 * \left(\frac{T_P \cdot T_L}{T^2}\right) \quad (31)$$

ESPECTRO DE DISEÑO PARA EDIFIC. DE BASE AISLADA EN EL EJE X, Y

**Tabla 12**

*Cálculo del espectro de respuesta.*

T	C	1.5*ZCS
0.00	1.00	0.7088
0.02	1.25	0.8859
0.04	1.50	1.0631
0.06	1.75	1.2403
0.08	2.00	1.4175
0.10	2.25	1.5947
0.12	2.50	1.7719
0.14	2.50	1.7719
0.16	2.50	1.7719
0.18	2.50	1.7719
0.20	2.50	1.7719
0.25	2.50	1.7719
0.30	2.50	1.7719
0.35	2.50	1.7719
0.40	2.50	1.7719
0.45	2.50	1.7719
0.50	2.50	1.7719
0.55	2.50	1.7719
0.60	2.50	1.7719
0.65	2.31	1.6356
0.70	2.14	1.5188
0.75	2.00	1.4175
0.80	1.88	1.3289
0.85	1.76	1.2507
0.90	1.67	1.1813
0.95	1.58	1.1190
1.00	1.50	1.0631
1.60	0.94	0.6645
2.00	0.75	0.5316
2.50	0.48	0.3402
3.00	0.33	0.2339
4.00	0.19	0.1329
5.00	0.12	0.0851
6.00	0.08	0.0590
7.00	0.06	0.0434
8.00	0.05	0.0332
9.00	0.04	0.0262
10.00	0.03	0.0213



*Espectro de respuesta insertado en  
ETABS.*

#### 4.2.2.1. Procedimiento para el diseño de aisladores elastoméricos

##### Paso 1. Cálculo del factor de zonificación sísmica para un sismo máximo posible

De acuerdo a lo expuesto anteriormente, para realizar el diseño de los aisladores se empleará el sismo máximo posible o sismo que tiene 10% de probabilidad de ser excedido en 100 años. Según la norma, el factor  $Z$  respectivo para la zona 4 presenta un valor igual a 0.675g.

$$Z_{SMC} = 1.5 Z_{SD}$$

$$Z_{SMC} = 0.675 g$$

##### Paso 2. Estimación de las propiedades de la edificación con aisladores

El periodo  $T_M$  se estimará en un inicio como el doble del periodo de la estructura empotrada en la base, el cual es 1.187 s. Por lo que el periodo  $T_M$  es el siguiente:

$$T_M = 2 * 1.187 = 2.374 s$$

El amortiguamiento efectivo de la estructura  $\beta_{eff}$  se estimará como el 15% del amortiguamiento crítico, según lo descrito en párrafos anteriores. Se procederá a efectuar una interpolación lineal ya que en la tabla 1.3 no se encuentra el valor de  $\beta_{eff}$  igual a 15%, adquiriéndose así un factor  $B_M = 1,35$ .

##### Paso 3. Cálculo del desplazamiento máximo DM y desplazamiento máximo total DTM

$$D_M = \frac{g \cdot S_{aM} \cdot T_M^2}{4 \cdot \pi^2 \cdot B_M}$$

$S_{aM}$  = aceleración máxima espectral correspondiente al sismo máximo considerado.

$$S_{M1} = 0.3773 g$$



$$D_M = 0.165 \text{ m}$$

$$D_M = 164.87 \text{ mm}$$

$$D_{TM} = D_M \left[ 1 + y \cdot \frac{12e}{b^2 + d^2} \right]$$

De acuerdo a lo descrito anteriormente, se procede a calcular los valores b, d, y, e. Dichos valores se muestran en la Tabla 13, con los cuales se hallará el valor de DTM.

**Tabla 13**

*Cálculo de DTM*

Dirección X	Dirección Y
y= 11.32 m	y= 12.58 m
e = 1.132 m	e = 1.260 m
b = 25.15 m	b = 25.15 m
d = 22.64 m	d = 22.64 m
DTM = 0.187 m	DTM = 0.192 m
DTM = 18.70 mm	DTM = 19.20 mm

Se utilizará el mayor valor obtenido de ambas direcciones:

$$D_{TM} = 0.192 \text{ m}$$

#### Paso 4: Cálculo de la altura efectiva del aislador $H_i$

Este parámetro se consigue empleando la siguiente expresión:

$$H_i > \frac{D_{TM}}{\gamma_s}$$

Para una deformación de corte  $\gamma_s$  igual a 1.5, el valor de  $H_i$  es:

$$H_i = \frac{0.192}{1.5} = 0.128$$



Se ajustará este valor a 15 cm, para un óptimo procedimiento constructivo.

Ya que el espesor de cada lamina de caucho será de 6mm, el número de láminas se calculará de la siguiente manera:

$$N^{\circ} = \frac{0.15}{0.006} = 25$$

De esta manera, el caucho estará conformada por 25 láminas de 6mm de espesor cada una.

#### Paso 5: Cálculo del área neta o área efectiva del aislador

Se utilizará la siguiente ecuación para calcular el área neta del aislador:

$$Area\ neta = \frac{P_{u,max}}{\sigma_{maxperm}}$$

El valor  $P_{u,max}$  aplicado a cada aislador es igual a 195.43 t y se refiere a la carga última que soporta cada aislador empleando una combinación de carga vertical igual a 1.25CM + 1.25CV. En donde CM es igual a 6919.09 ton y CV es igual a 1836.26 ton.

Por otro lado, el  $\sigma_{maxperm}$  se asumirá como 815 t/m<sup>2</sup>

$$Area\ neta = \frac{195.43}{815.00} = 0.240\ m^2$$

#### Paso 6: Estimación de la capacidad de carga Qd

Este parámetro se asumirá como el 6% de la masa participativa W que recibe cada aislador. El valor de W es igual a 141.85t, en consecuencia, el 6% de W es igual a 8.51 t.

Paso 7: Cálculo del diámetro de plomo  $D_p$

Se utilizará la siguiente ecuación para obtener el valor del diámetro de plomo. Considerando un valor de  $\sigma_y$  igual a 1020 t/m<sup>2</sup>.

$$D_p = \sqrt{\frac{4 * 1.1 * Q_d}{\pi * \sigma_y}}$$

$$D_p = 0.108 \text{ m}$$

Se redondeará este valor a 15 cm, por lo tanto, se hallará un nuevo valor de  $Q_d$ . De tal manera el valor final de  $Q_d$  será:

$$Q_d = 16.39 \text{ tn}$$

Paso 8: Cálculo del diámetro del aislador a utilizar  $D_i$

Con el valor obtenido  $D_p$  calculado en el paso anterior, se procede a calcular el diámetro del aislador  $D_i$  usando el área neta calculada en el Paso 5.

$$D_i = \sqrt{\frac{4 * \text{Area Neta}}{\pi} + D_p^2}$$

$$D_i = 0.5726 \text{ m}$$

Según tabla 2 (Propiedades de los aisladores), ajustamos el valor de  $D_i$ :

$$D_i = 650 \text{ mm}$$

Paso 9: Cálculo de la rigidez secundaria  $K_d$

$$K_d = \frac{\pi}{4} * \frac{(D_i^2 - D_p^2) * G}{H_i}$$

Se asumirá el módulo de corte del caucho con el siguiente valor  $G = 54 \text{ t/m}^2$

$$K_d = 113.10 \frac{t}{m}$$

Paso 10: Cálculo de la rigidez efectiva  $K_{eff}$

$$k_{eff} = \frac{Q_d}{D_{TM}} + k_d$$

Empleando los valores anteriormente obtenidos de  $Q_d$ ,  $D_{TM}$  y  $K_d$ , el valor de  $K_{eff}$  será:

$$k_{eff} = 198.33 \frac{t}{m}$$

Paso 11: Cálculo del amortiguamiento efectivo  $\beta_{eff}$

$$\beta_{eff} = \frac{4Q_d * (D_{TM} - 1.1Q_d/(10K_d))}{2\pi * k_{eff} * D_{TM}^2}$$

El valor del amortiguamiento efectivo  $\beta_{eff}$  se calculará con los datos obtenidos anteriormente, el cual resulta:

$$\beta_{eff} = 0.251$$

Paso 12: Cálculo del periodo  $T_M$

$$T_M = 2\pi \sqrt{\frac{M}{K_M * g}}$$

$$T_M = 2.137 \text{ seg}$$

### Paso 13: Verificación de los valores obtenidos

Se procede a verificar y comparar los parámetros asumidos inicialmente en el paso 1 que son el amortiguamiento efectivo  $\beta_{\text{eff}}$  y el periodo  $T_M$ , con los valores hallados en los pasos 11 y 12.

$$\beta_{\text{eff}} \text{ propuesto} = 0.15 \neq \beta_{\text{eff}} \text{ calculado} = 0.251$$

$$T_M \text{ propuesto} = 2.374 \text{ s} \neq T_M \text{ calculado} = 2.137 \text{ s}$$

Dado que los valores asumidos inicialmente difieren de los hallados en los pasos 11 y 12, se debe efectuar el proceso repetitivamente utilizando los valores hallados, hasta conseguir que estos valores sean bastante parecidos. Solo cuando tengamos los valores reales de  $T_M$  y  $\beta_{\text{eff}}$  pasaremos al paso 14.

En conclusión, se deberá reiniciar todos los pasos anteriormente mencionados, pero asumiendo los nuevos valores de  $T_M$  y  $\beta_{\text{eff}}$  obtenidos en los pasos 11 y 12 respectivamente.

Después de realizar 4 iteraciones los resultados finales fueron los siguientes:

$$\beta_{\text{eff}} \text{ propuesto} = 0.287 = \beta_{\text{eff}} \text{ calculado} = 0.287$$

$$T_M \text{ propuesto} = 2.137 \text{ s} = T_M \text{ calculado} = 2.137 \text{ s}$$

Las propiedades del aislador elastomérico se muestran en la Tabla 14, en el cual se presentan los siguientes valores:

**Tabla 14**

*Resumen de propiedades del aislador.*

Di =	650 mm
Dp =	150 mm
Kd =	113.10 t/m
Keff =	230.50 t/m
$\beta_{eff}$ =	0.287

Una vez encontrados los valores finales de las propiedades del aislador elastomérico, pasaremos al paso 14.

#### Paso 14: Cálculo de la altura total del aislador HT

De acuerdo al Paso 4 se emplearán 25 placas de caucho, por tanto, se necesitan 24 placas de acero para poder intercalarlas y confinarlas con las placas de caucho. El espesor de cada placa de acero t<sub>acero</sub> es de 3mm y la altura total de caucho es de 0.15 m.

$$H_T = H_I + N^{\circ} \text{placas de acero} * t_{\text{acero}}$$

$$H_T = 0.222 \text{ m}$$

#### Paso 15: Cálculo de la rigidez vertical kv

Para el cálculo de este parámetro se sumará la rigidez equivalente del acero y la rigidez equivalente del conjunto caucho-plomo.

$$K_v = \frac{E_C A_{acero}}{H_i} + \frac{E_P A_{plomo}}{H_T}$$

$E_p$  = módulo de elasticidad del plomo (1400000 t/m<sup>2</sup>)

$E_c$  = módulo de compresión para el conjunto acero-caucho

$$\frac{1}{E_C} = \left( \frac{1}{6 * G * S^2} + \frac{4}{3 * K} \right)$$

$K$  = módulo de compresibilidad del elastomérico (200000 t/m<sup>2</sup>)

$S$  = factor de forma del aislador

$$S = \frac{D_i^2 - D_p^2}{4 * D_i * t_{caucho}}$$

- ❖  $S = 25.64$
- ❖  $E_C = 88,019.56$
- ❖  $K_V = 295,789.37 \frac{t}{m}$

Obtenidos estos datos, queda terminado el procedimiento de diseño de los aisladores elastoméricos con núcleo de plomo para la edificación “Los Rosales”.

En la tabla 15 se presenta las propiedades del aislador sísmico del modelo aislado en el eje x e y, estos son los datos que se requieren ingresar al programa ETABS.

Asimismo, en la Tabla 16 se muestran las propiedades del aislador sísmico en el eje z.

DATOS A INGRESAR AL ETABS

- **Eje x, y**

**Tabla 15**

*Propiedades del aislador eje X, Y (ETABS)*

Rigidez efectiva lineal	230.50 t/m
Amortiguamiento efectivo lineal	0.287 t.s/m
Rigidez no lineal	113.10 t/m
Fluencia	18.02 t
Radio de rigidez post fluencia	0.1

- **Eje z**

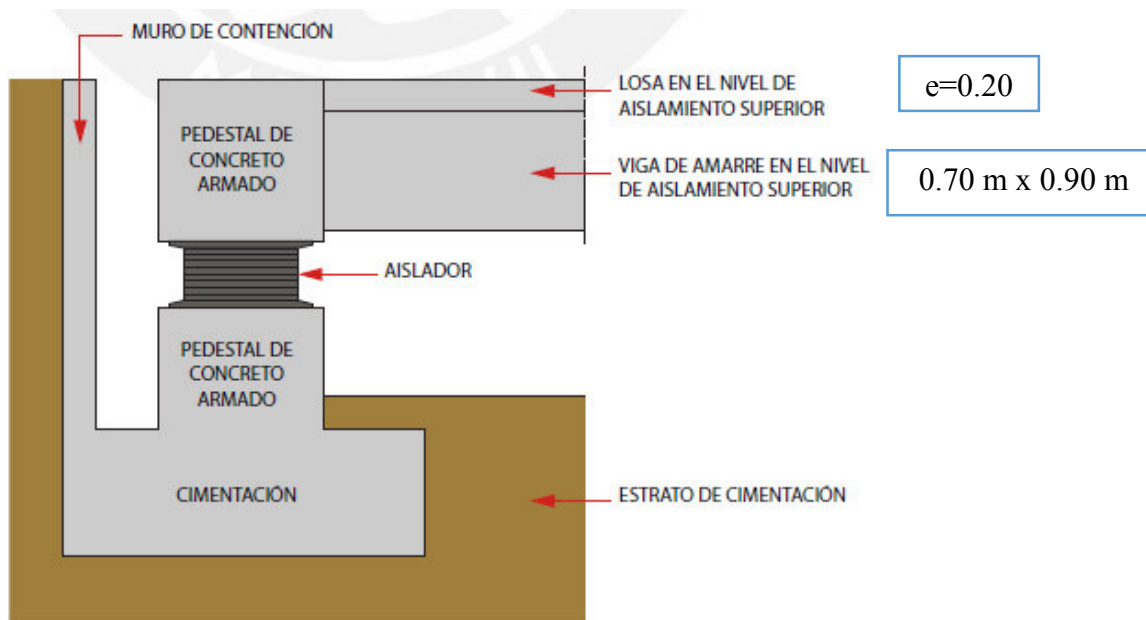
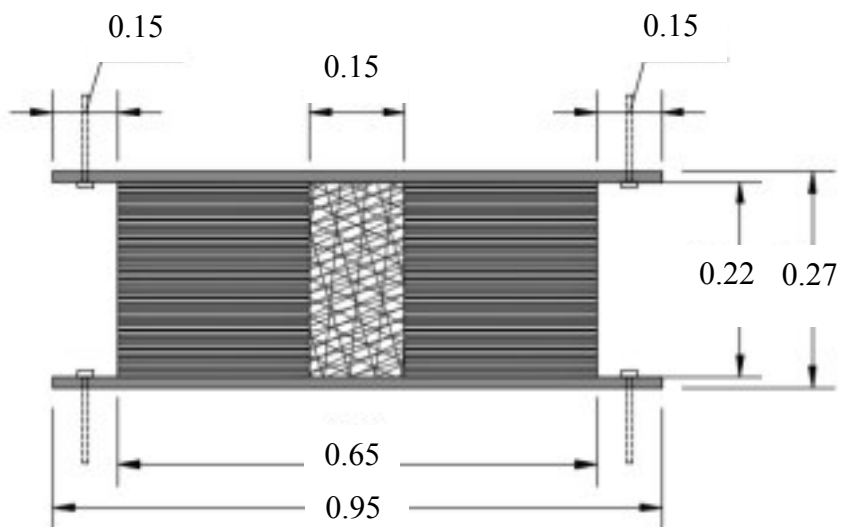
**Tabla 16**

*Propiedades del aislador eje Z (ETABS)*

Rigidez efectiva	295,789.37 t/m
Amortiguamiento efectivo lineal	0.287 t.s/m

Se presenta en la Figura 20 el diseño final del sistema de aislamiento del modelo aislado, en donde se puede apreciar el espesor de la losa en el nivel de aislamiento superior y las dimensiones de la viga de amarre.

En la Figura 21 se presentan las dimensiones finales del aislador LRB para el modelo aislado.

**Figura 20***Diseño del sistema de aislamiento***Figura 21***Dimensiones finales del aislador LRB*



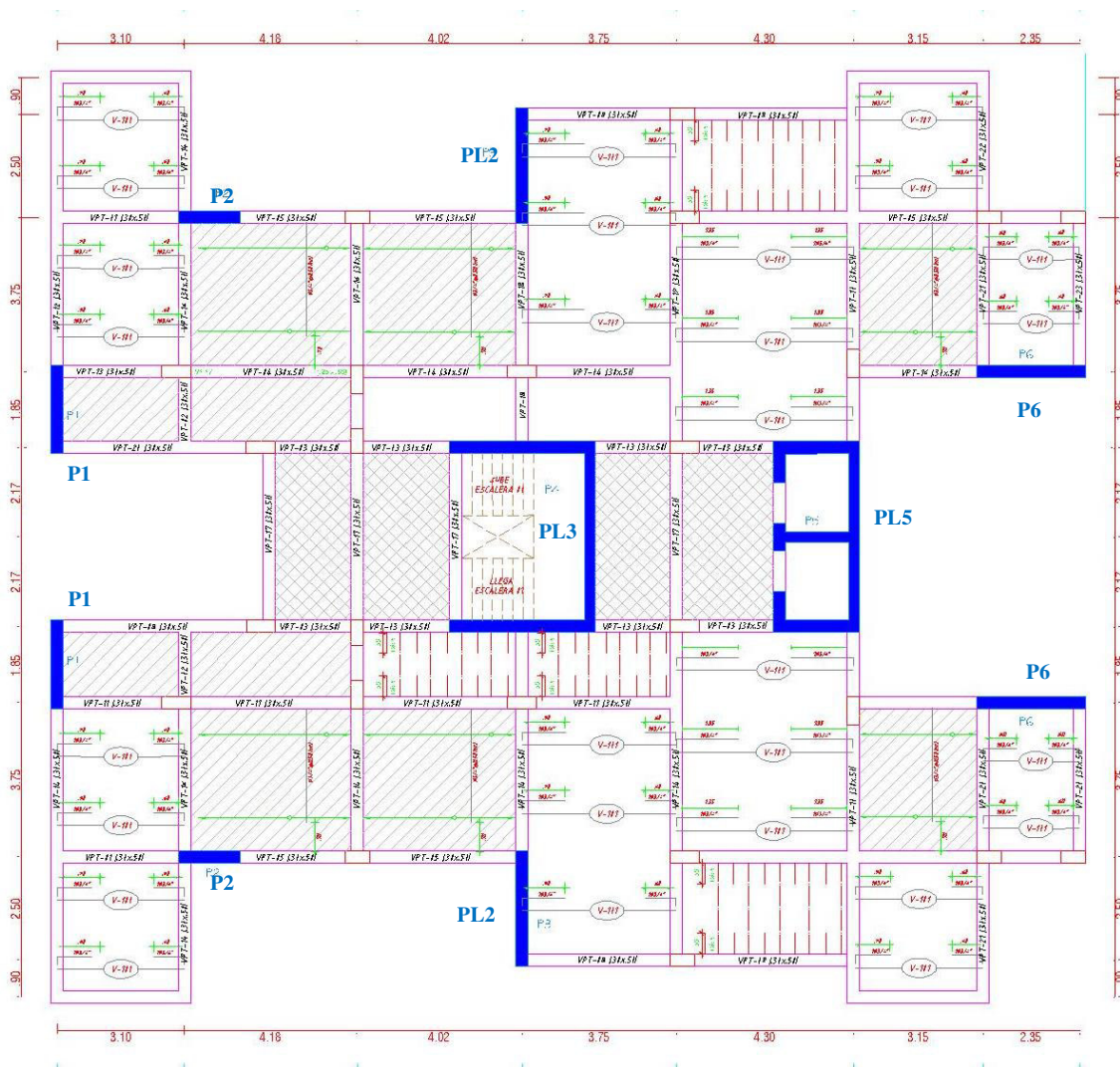
### 4.2.3. Del modelo Dual Aislado

Se planteó un modelo adicional en el cual se optimiza la estructura quitando algunas placas de la edificación, ya que las derivas de entrepiso obtenidas en el edificio con base aislada son bastante menores al parámetro establecido en la norma E.031 (aislamiento sísmico).

Se presenta en la Figura 22 una vista en planta de las dimensiones de los elementos estructurales del modelo dual aislado:

**Figura 22**

*Elementos estructurales de la edificación dual aislada.*

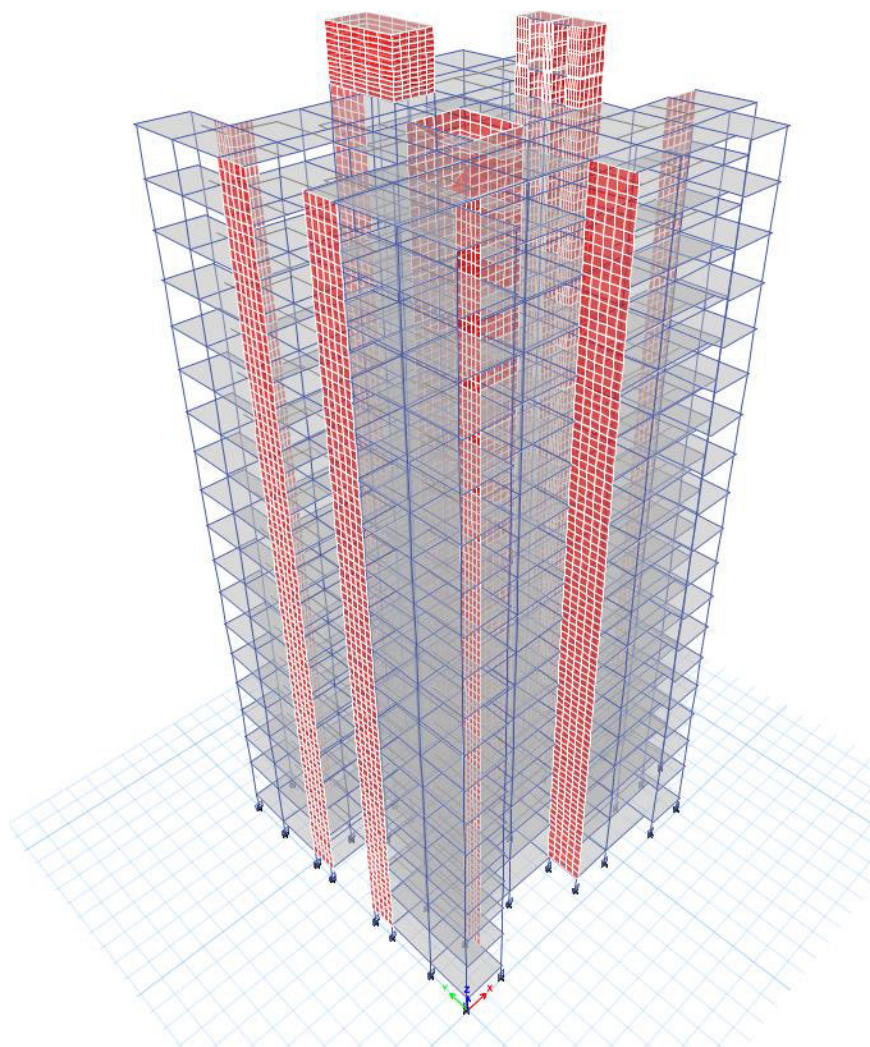


Se puede apreciar en la figura anterior que se mantienen las placas que rodean a la escalera y al ascensor (PL3 y PL5), asimismo también se mantienen las placas PL2. Se quitaron las placas EN FORMA DE “L” PL1 y PL4, y se añadieron las placas P1, P2 y P6.

El modelamiento estructural en 3D del edificio dual aislado se aprecia en la Figura 23, en donde se aprecia la nueva distribución de los muros de corte:

### Figura 23

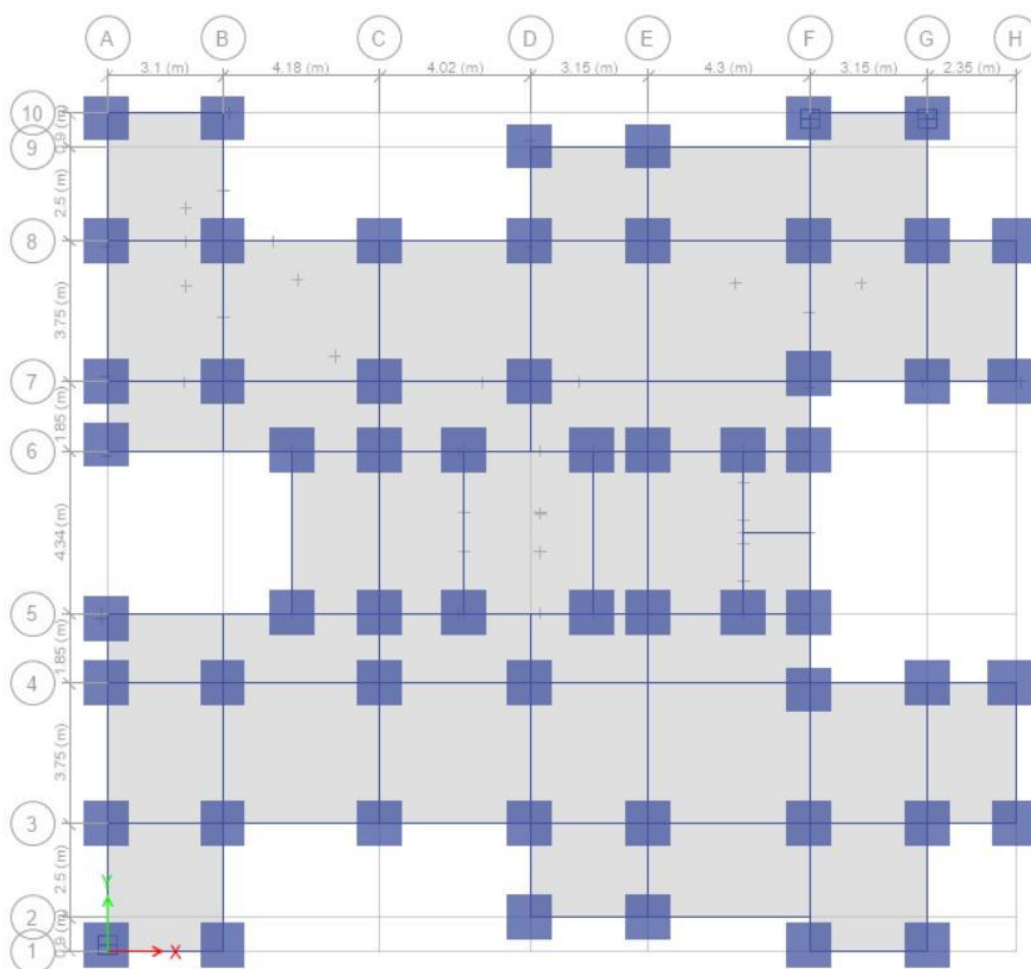
*Modelo Dual aislado – vista 3D.*



A continuación, se observa en la Figura 24 la vista en planta de la interfaz de aislamiento del modelo dual aislado del edificio Los Rosales, en el cual se aprecian 56 podios cuadrados de 100 cm de lado:

### Figura 24

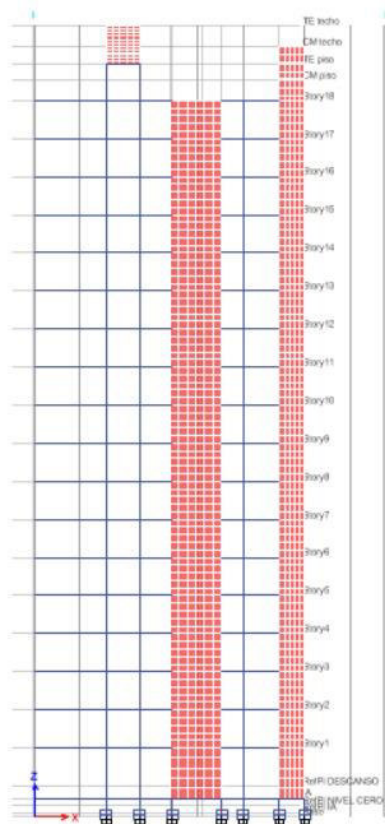
*Modelo dual aislado – vista planta (interfaz de aislamiento).*



Se muestra en la Figura 25 una vista del corte del eje 5 del modelo dual aislado en donde se aprecian los aisladores sísmicos y el corte de algunas placas.

**Figura 25**

*Modelo Dual aislado – corte eje 5.*



Los pasos a seguir para el diseño de los aisladores con núcleo de plomo, son los mismos que se explicaron anteriormente, sin embargo, al reducir el número de placas, también disminuirá el peso de la edificación.

Por lo tanto, para el cálculo del área neta del aislador (Paso 5) y para la estimación de la capacidad de carga  $Q_d$  (Paso 6), los valores de  $P_u$  y  $W$  aplicado a cada aislador serán los siguientes:

- $P_u$  (edificio dual) para cada aislador: 185.11 tn.
- $W$  (edificio dual) para cada aislador: 133.60 tn.

Al reemplazar estos valores en los pasos anteriores, después de 5 iteraciones se obtienen los siguientes resultados, los cuales son resumidos en la Tabla 17:

**Tabla 17**

*Resumen de propiedades del aislador (modelo dual aislado)*

$D_i =$	570 mm
$D_p =$	150 mm
$K_d =$	85.50 t/m
$K_{eff} =$	189.53 t/m
$\beta_{eff} =$	0.303

#### DATOS A INGRESAR AL ETABS

- **Eje x, y**

Se presenta en la Tabla 18 las propiedades del aislador del modelo dual aislado de los ejes x, y que se deben insertar en el programa ETABS:

**Tabla 18**

*Propiedades del aislador eje X, Y – modelo dual aislado (ETABS).*

Rigidez efectiva lineal	189.53 t/m
Amortiguamiento efectivo lineal	0.303 t.s/m
Rigidez no lineal	85.50 t/m
Fluencia	18.02 t
Radio de rigidez post fluencia	0.1

- **Eje z**

Se presenta en la Tabla 19 las propiedades del aislador del modelo dual aislado del eje z que se deben insertar en el programa ETABS:

**Tabla 19**

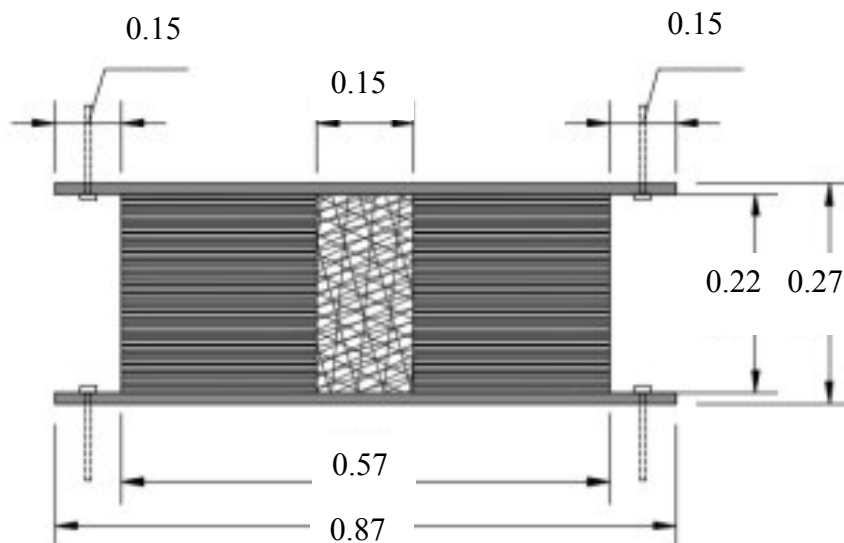
*Propiedades del aislador eje Z - modelo dual aislado (ETABS)*

Rigidez efectiva	233,398.44 t/m
Amortiguamiento efectivo lineal	0.303 t.s/m

De acuerdo a los datos obtenidos se muestran en la Figura 26 las dimensiones finales del aislador LRB para el modelo dual aislado:

**Figura 26**

Dimensiones finales del aislador LRB



### 4.3. Comparación de resultados

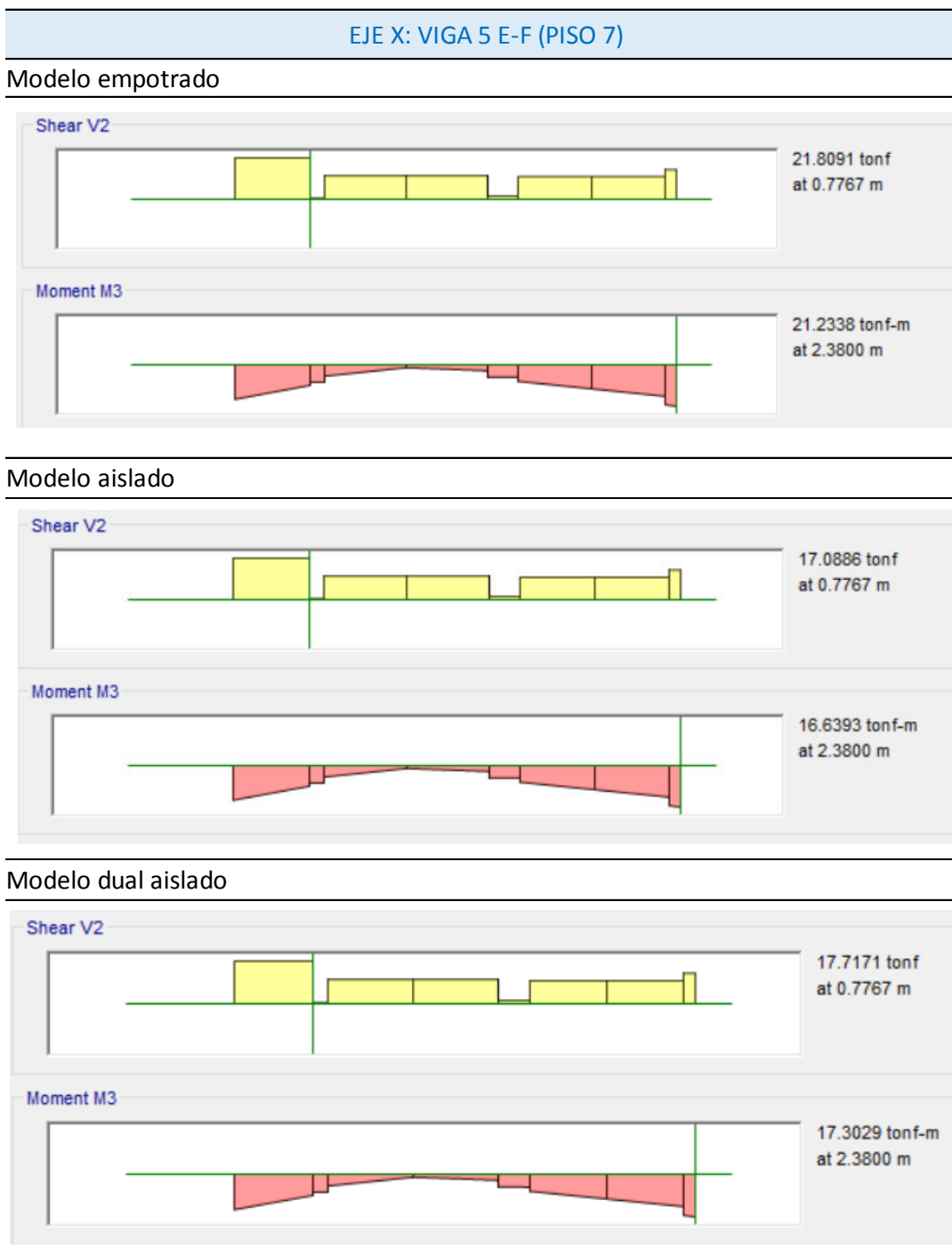
#### 4.3.1. Esfuerzos en los elementos estructurales

Se procederá a evaluar los esfuerzos máximos en los elementos estructurales, fuerza cortante, momento flector y fuerza axial. Esto con la finalidad de determinar la variación de dichos esfuerzos en los tres modelos.

**4.3.1.1. Máxima cortante en viga.** A continuación, se muestran los diagramas de fuerza cortante y momento flector de las vigas que presentan mayor fuerza cortante luego del análisis en el programa ETABS, tanto en el eje x (Tabla 20) como en el eje y (Tabla 21).

**Tabla 20**

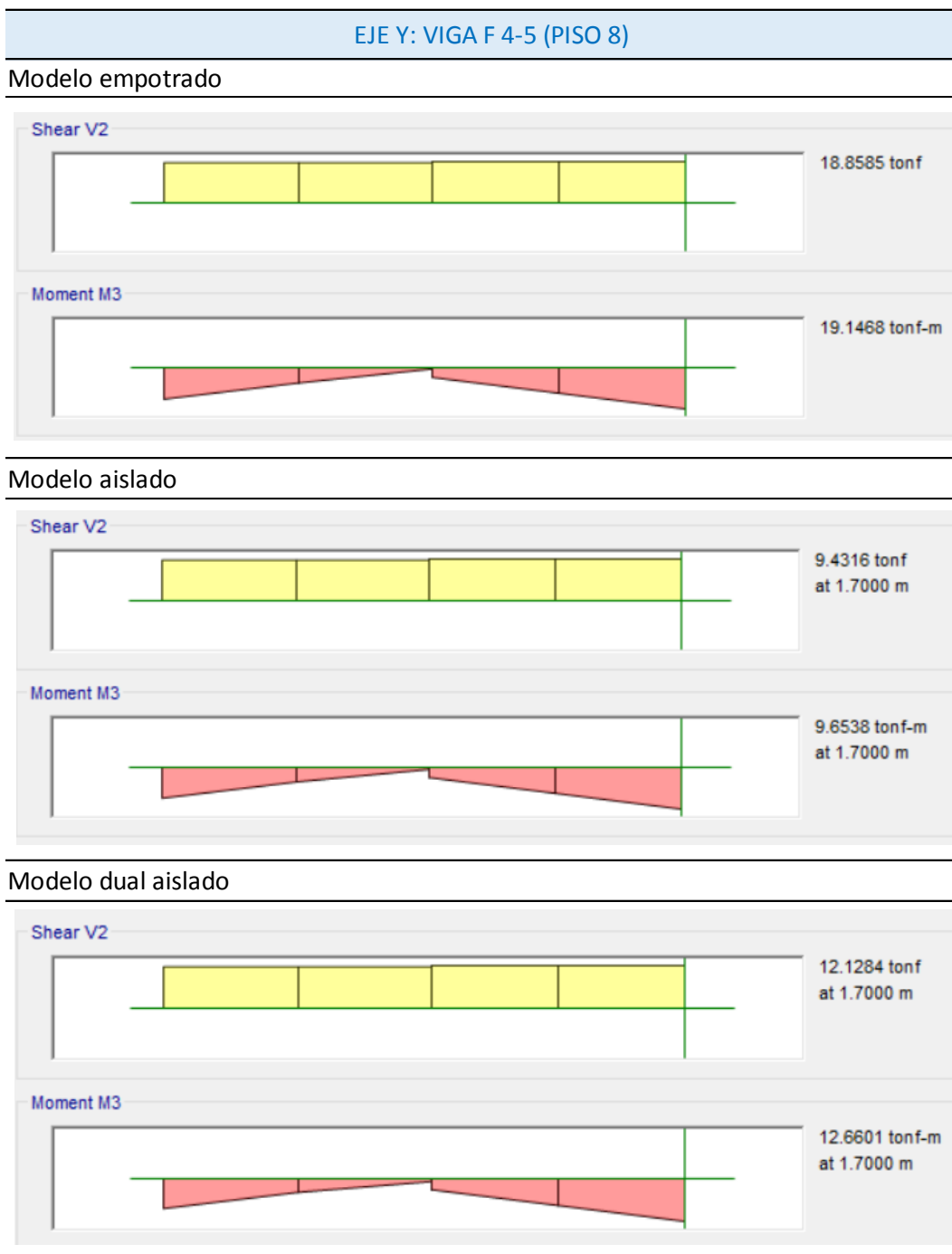
*DFC y DMF en viga 5 E-F (piso 7)*





**Tabla 21**

*DFC y DMF en viga F 4-5 (piso8)*



A continuación, se elaboró un cuadro resumen (Tabla 22) con los valores que se muestran en los diagramas, para facilitar el análisis de los resultados obtenidos.

**Tabla 22**

*Cuadro resumen de vigas con mayor fuerza cortante.*

	EJE X: VIGA 5 E-F (PISO 7)		EJE Y: VIGA F 4-5 (PISO 8)	
	Fuerza cortante	Momento Flector	Fuerza cortante	Momento Flector
Mod. empotrado	21.81 ton	21.23 ton-m	18.86 ton	19.15 ton-m
Mod. aislado	17.09 ton	16.64 ton-m	9.43 ton	9.65 ton-m
Mod. dual aislado	17.72 ton	17.30 ton-m	12.13 ton	12.66 ton-m

Con los resultados obtenidos al analizar cada uno de los modelos en el programa ETABS, se puede apreciar que en el eje x la viga que presenta mayor fuerza cortante en el modelo empotrado es la VIGA 5 E-F (PISO 7), la cual disminuye en un 21.64% en el modelo aislado y en un 18.75% en el modelo dual aislado, tal como se muestra en la tabla 22.

Mientras que en el eje y, la viga que presenta mayor fuerza cortante es la VIGA F 4-5 (PISO 8), la cual disminuye en un 50.00% en el modelo aislado y en un 35.68% en el modelo dual aislado.

**4.3.1.2. Máximo momento flector en viga.** A continuación, se muestran los diagramas de fuerza cortante y momento flector de las vigas que presentan mayor momento flector luego del análisis en el programa ETABS, tanto en el eje x (Tabla 23) como en el eje y (Tabla 24).

Tabla 23

DFC y DMF en viga 5 E-F (piso 7)

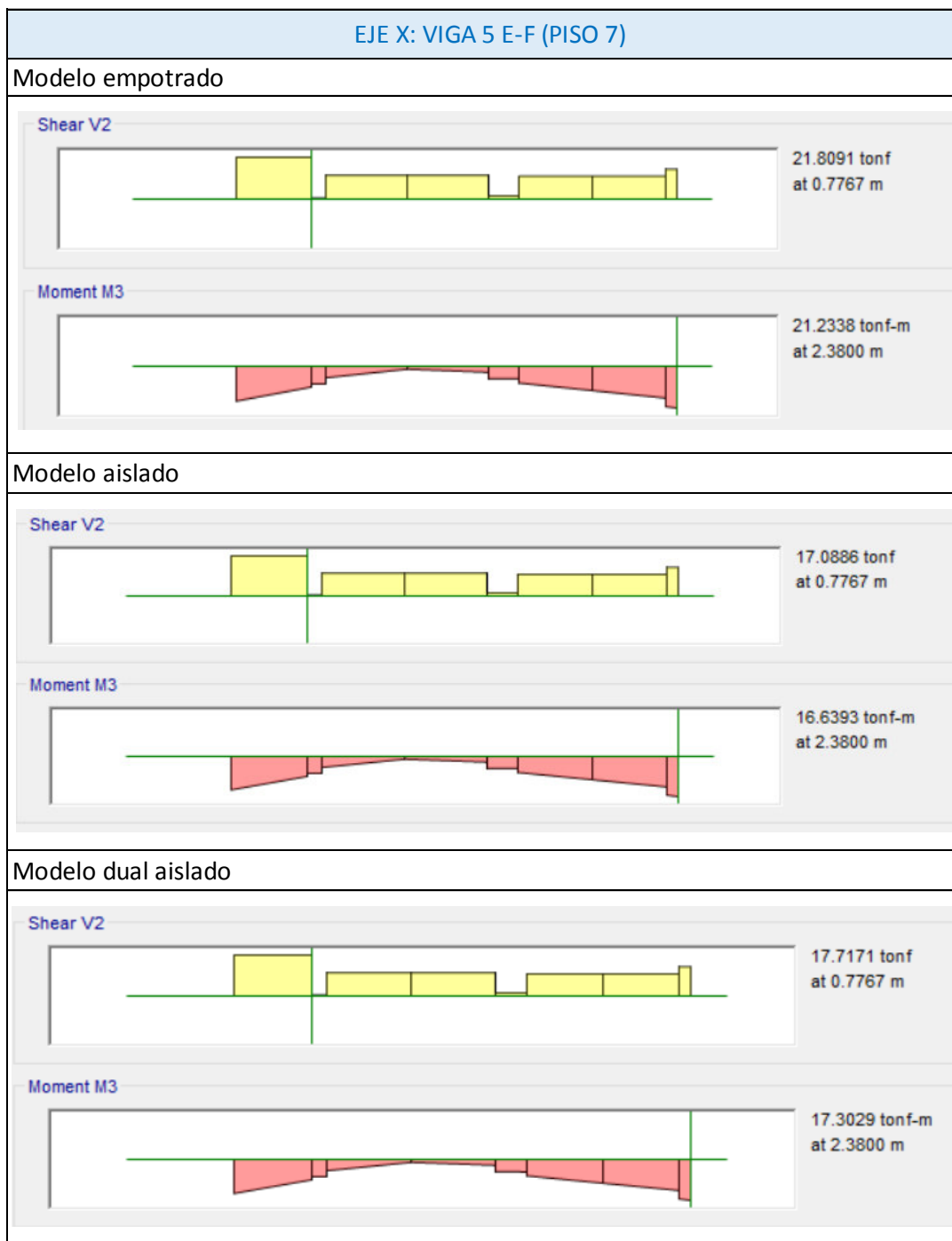
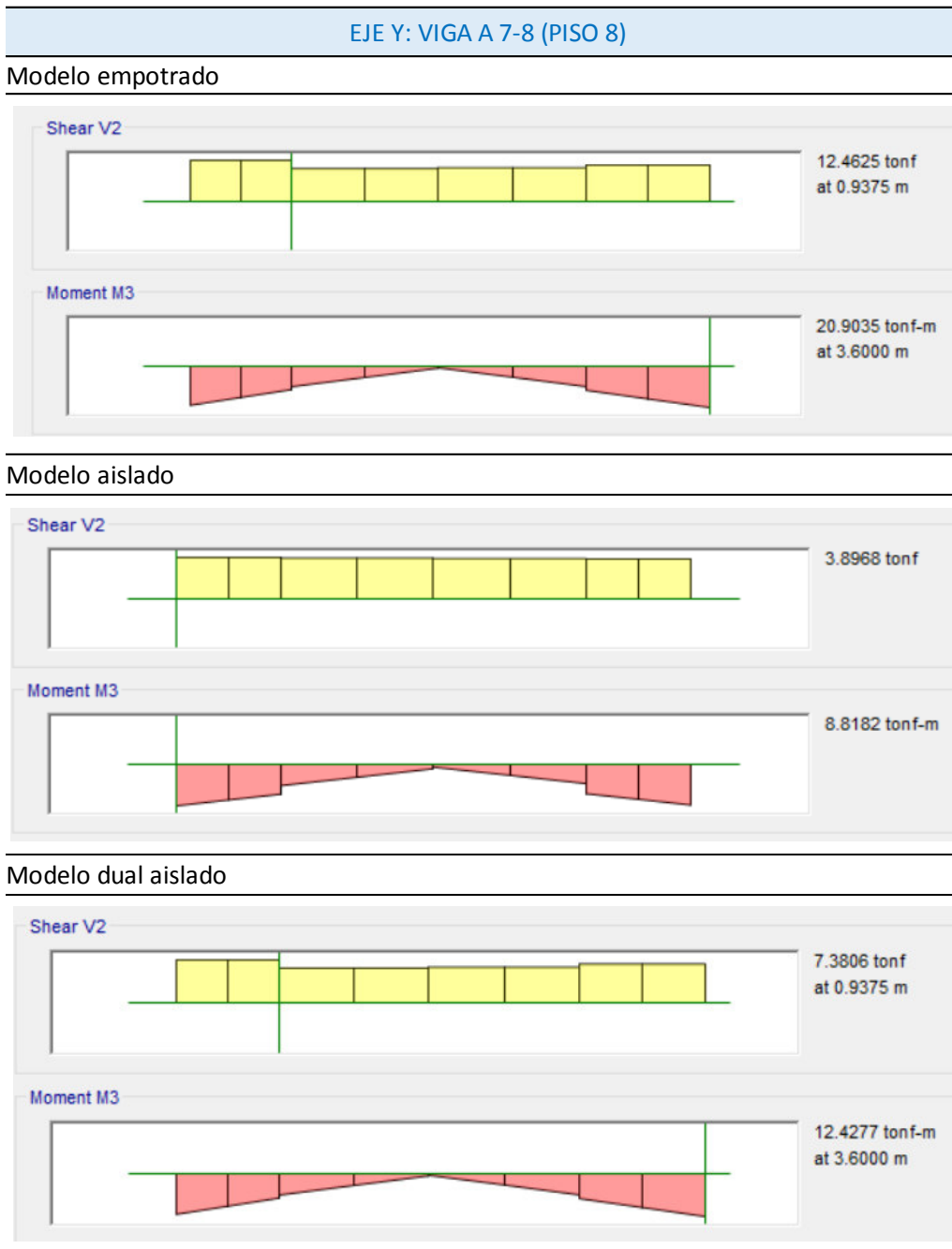


Tabla 24

DFC y DMF en viga A 7-8 (piso 8)



A continuación, se elaboró un cuadro resumen (Tabla 25) con los valores que se muestran en los diagramas, para facilitar el análisis de los resultados obtenidos.

**Tabla 25**

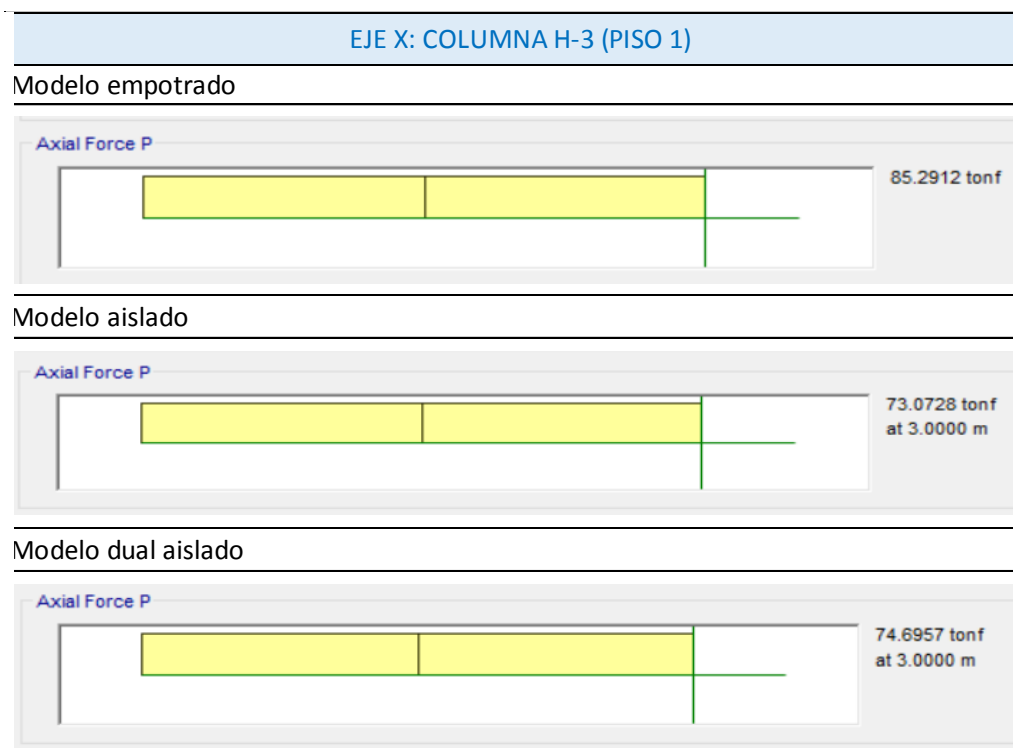
*Cuadro resumen de vigas con mayor momento flector.*

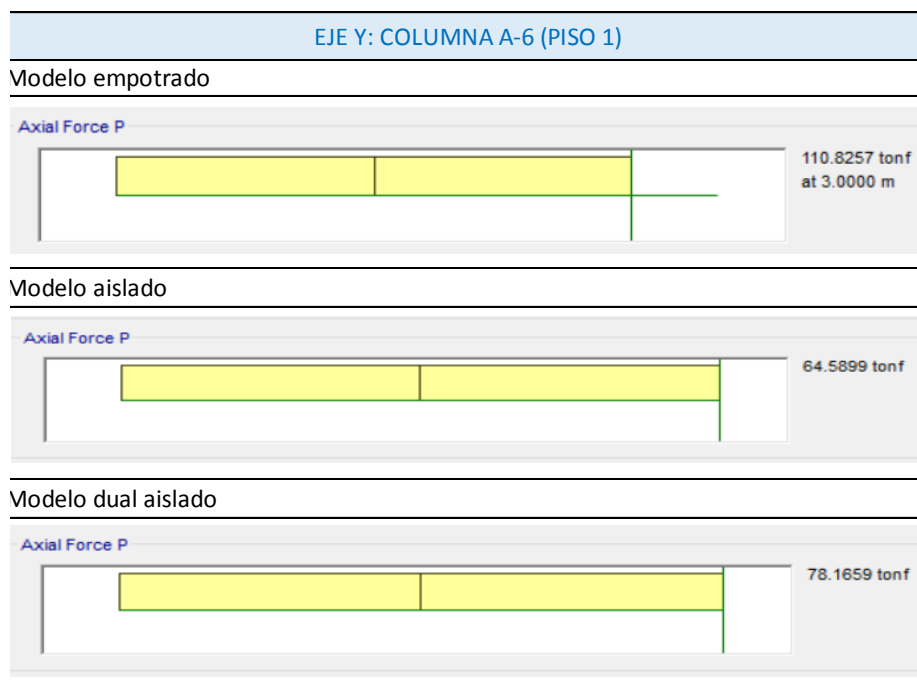
	EJE X: VIGA 5 E-F (PISO 7)		EJE Y: VIGA A 7-8 (PISO 8)	
	Fuerza cortante	Momento Flector	Fuerza cortante	Momento Flector
Mod. empotrado	21.81 ton	21.23 ton-m	12.46 ton	20.90 ton-m
Mod. aislado	17.09 ton	16.64 ton-m	3.90 ton	8.82 ton-m
Mod. dual aislado	17.72 ton	17.30 ton-m	7.38 ton	12.43 ton-m

Con los resultados obtenidos, se puede apreciar que en el eje x la viga que presenta mayor momento flector en el modelo empotrado es la VIGA 5 E-F (PISO 7), la cual disminuye en un 21.62% en el modelo aislado y en un 18.51% en el modelo dual aislado, tal como se muestra en la tabla 25.

Mientras que en el eje y, la viga que presenta mayor momento flector es la VIGA A 7-8 (PISO 8), la cual disminuye en un 57.80% en el modelo aislado y en un 40.53% en el modelo dual aislado.

**4.3.1.3. Máxima fuerza axial en columnas.** A continuación, se muestran los diagramas de fuerza axial de las columnas que presentan mayor fuerza axial en el modelo empotrado luego del análisis modal espectral en el programa ETABS, tanto en el eje x (Tabla 26) como en el eje y (Tabla 27).

**Tabla 26***DFA en columna H-3 (piso 1)*

**Tabla 27***DFA en columna A-6 (piso 1)*

A continuación, se elaboró un cuadro resumen (Tabla 28) con los valores que se muestran en las Tablas 26 y 27 para facilitar el análisis de los resultados obtenidos.

**Tabla 28***Cuadro resumen de columnas con mayor fuerza axial.*

	EJE X: COLUMNA H-3 (PISO 1)	EJE Y: COLUMNA A-6 (PISO 1)
	Fuerza axial	Fuerza axial
Mod. empotrado	85.29 ton	110.83 ton
Mod. aislado	73.07 ton	64.59 ton
Mod. dual aislado	74.70 ton	78.17 ton

Con los resultados obtenidos, se puede apreciar que en el eje x la columna que presenta mayor fuerza axial en el modelo empotrado es la COLUMNA H-3 (PISO 1), la cual disminuye en un 14.33% en el modelo aislado y en un 14.42% en el modelo dual aislado, tal como se muestra en la tabla 28.

Mientras que en el eje y, la columna que presenta mayor fuerza axial es la COLUMNA A-6 (PISO 1), la cual disminuye en un 41.72% en el modelo aislado y en un 29.47% en el modelo dual aislado.

#### 4.3.2. *Parámetros sísmicos*

##### 4.3.2.1. **Periodos y Frecuencias**

**Tabla 29**

*Periodos y frecuencias.*

Edificacion Empotrada			Edificacion Aislada			Edificacion Dual Aislada		
Modo	Periodo (seg)	Frecuencia (seg)	Modo	Periodo (seg)	Frecuencia (seg)	Modo	Periodo (seg)	Frecuencia (seg)
1 (Longitudinal)	1.187	0.842	1 (Longitudinal)	3.122	0.320	1 (Longitudinal)	3.963	0.252
2 (Transversal)	1.145	0.873	2 (Transversal)	2.87	0.348	2 (Transversal)	3.711	0.269
3 (Torsional)	1.054	0.949	3 (Torsional)	2.491	0.401	3 (Torsional)	3.332	0.300
4	0.346	2.890	4	2.113	0.473	4	2.954	0.339
5	0.312	3.205	5	1.959	0.510	5	2.800	0.357
6	0.294	3.401	6	1.89	0.529	6	2.731	0.366

Como se puede observar en la tabla 29, el periodo de la edificación con base empotrada es de 1.187 seg, el de la edificación con base aislada es de 3.122 seg, y el de la edificación dual con base aislada es de 3.963 seg. Esto quiere decir que el periodo en la edificación aislada es 2.7



veces mayor que el periodo de la edificación empotrada, mientras que en el caso de la edificación dual aislada aumenta en 3.4 veces.

Los aisladores elastoméricos con núcleo de plomo muestran una ventaja porque permiten aumentar el periodo de vibración de la estructura, ya que la aceleración y las fuerzas de diseño serán menores. Como se sabe al aumentar el periodo de la estructura, también aumentará el desplazamiento, pero al existir el sistema de aislación, este desplazamiento ocurrirá a nivel de dicho sistema.

#### 4.3.2.2. Cortante Basal

Mediante el uso del software ETABS se obtuvieron los siguientes valores de las cortantes de entrepiso tanto para el eje x como para el eje y, se aprecian dichos valores en la Tabla 30:

**Tabla 30**

*Cortantes de entrepiso.*

Entrepiso	Cortantes Eje x-x (Tn)			Cortantes Eje y-y (Tn)		
	Edificacion Empotrada	Edificacion Aislada	Edificacion Dual Aislada	Edificacion Empotrada	Edificacion Aislada	Edificacion Dual Aislada
Story 18	93.65	45.89	166.25	102.48	52.65	181.34
Story 17	105.96	58.12	178.48	117.63	62.47	191.16
Story 16	127.45	75.36	195.72	148.52	86.41	215.10
Story 15	155.16	87.32	207.68	167.45	102.84	231.53
Story 14	270.10	111.10	231.46	283.51	131.36	260.05
Story 13	373.45	154.87	275.23	387.24	165.27	293.96
Story 12	466.95	198.65	319.01	480.82	209.17	337.86
Story 11	551.53	242.42	362.78	565.34	253.07	381.76
Story 10	627.72	286.20	406.56	641.39	296.98	425.67
Story 9	695.84	329.97	450.33	709.26	340.88	469.57
Story 8	756.04	373.75	494.11	769.87	384.79	513.48
Story 7	808.35	417.52	537.88	820.11	428.69	557.38
Story 6	852.67	461.30	581.66	864.58	472.59	601.28
Story 5	888.88	505.08	625.44	900.09	516.50	645.19
Story 4	916.84	548.85	669.21	937.47	560.40	689.09
Story 3	936.55	592.63	712.99	946.75	604.30	732.99
Story 2	948.33	636.40	756.76	968.35	648.21	776.90
Story 1	953.12	680.18	800.54	965.14	692.11	820.80

Asimismo, a través del modelamiento estructural de la edificación se obtuvieron los valores de cortante basal de los tres modelos tanto para el eje x como para el eje y. Se muestran dichos resultados en la Tabla 31:

**Tabla 31**

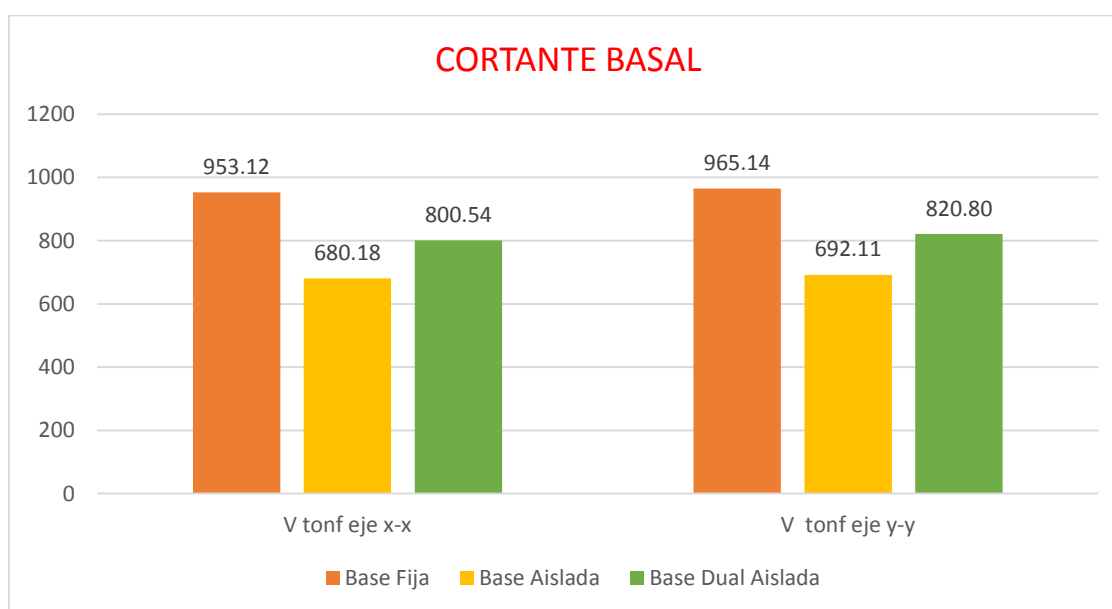
*Cortante Basal*

---	Tipo de analisis	Location	V tonf eje x-x	V tonf eje y-y
Base Fija	dinamico espectral	Bottom	953.12	965.14
Base Aislada	dinamico espectral	Bottom	680.18	692.11
Base Dual Aislada	dinamico espectral	Bottom	800.54	820.80

Se puede observar en la Figura 19 un diagrama en barras de los resultados obtenidos en la Tabla 31.

**Figura 27**

*Diagrama de cortante basal.*



En el grafico anterior (Figura 27) se puede observar que el eje X, la cortante basal en el modelo aislado disminuye en un 28.63% y en el modelo dual aislado un 16.01%, respecto al modelo con base fija.

Mientras que el eje Y, la cortante basal en el modelo aislado disminuye en un 28.29% y en el modelo dual aislado un 14.96%, respecto al modelo de base fija.

### 4.3.2.3. Derivas de entrepiso

#### EJE X:

En la tabla 32 se muestran los valores obtenidos de las derivas máximas de entrepiso en el eje x, de los tres modelos presentados:

**Tabla 32**

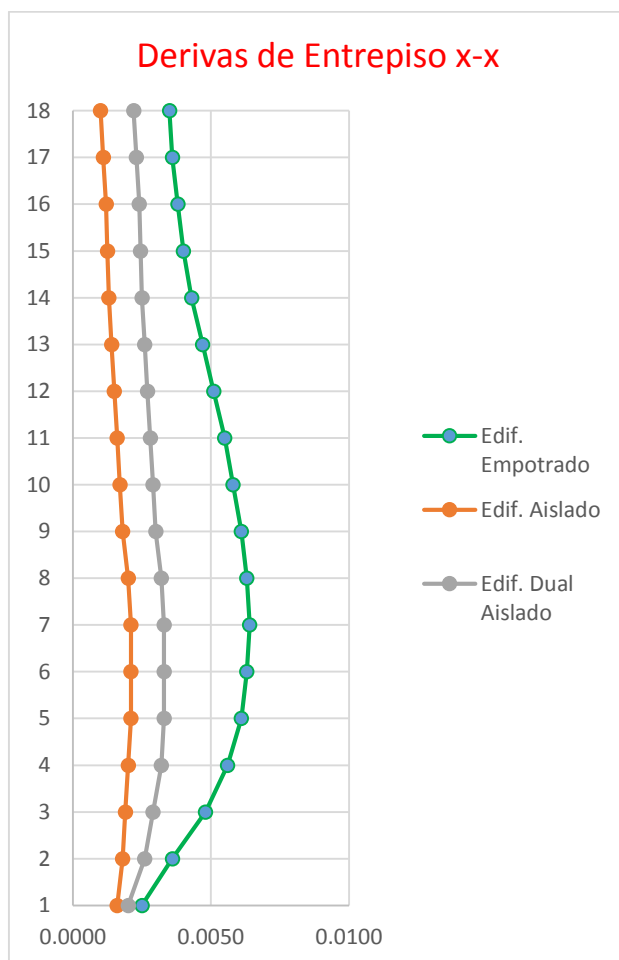
*Derivas máximas de entrepiso – eje x.*

Edificacion Empotrada		Edificacion Aislada		Edificacion Dual Aislada	
Entrepiso	Deriva (m)	Entrepiso	Deriva (m)	Entrepiso	Deriva (m)
Story 18	0.0035	Story 18	0.0010	Story 18	0.0022
Story 17	0.0036	Story 17	0.0011	Story 17	0.0023
Story 16	0.0038	Story 16	0.0012	Story 16	0.0024
Story 15	0.0040	Story 15	0.0013	Story 15	0.0025
Story 14	0.0043	Story 14	0.0013	Story 14	0.0025
Story 13	0.0047	Story 13	0.0014	Story 13	0.0026
Story 12	0.0051	Story 12	0.0015	Story 12	0.0027
Story 11	0.0055	Story 11	0.0016	Story 11	0.0028
Story 10	0.0058	Story 10	0.0017	Story 10	0.0029
Story 9	0.0061	Story 9	0.0018	Story 9	0.0030
Story 8	0.0063	Story 8	0.0020	Story 8	0.0032
Story 7	0.0064	Story 7	0.0021	Story 7	0.0033
Story 6	0.0063	Story 6	0.0021	Story 6	0.0033
Story 5	0.0061	Story 5	0.0021	Story 5	0.0033
Story 4	0.0056	Story 4	0.0020	Story 4	0.0032
Story 3	0.0048	Story 3	0.0019	Story 3	0.0029
Story 2	0.0036	Story 2	0.0018	Story 2	0.0026
Story 1	0.0025	Story 1	0.0016	Story 1	0.0020

En la Figura 28 se presenta una representación gráfica de los resultados de las derivas de entreciso – eje x obtenidos en la Tabla 32.

### Figura 28

*Diagrama de derivas de entreciso – eje x*



En la tabla 33 se muestran los valores obtenidos de las derivas máximas de entrepiso en el eje y, de los tres modelos presentados:

EJE Y:

**Tabla 33**

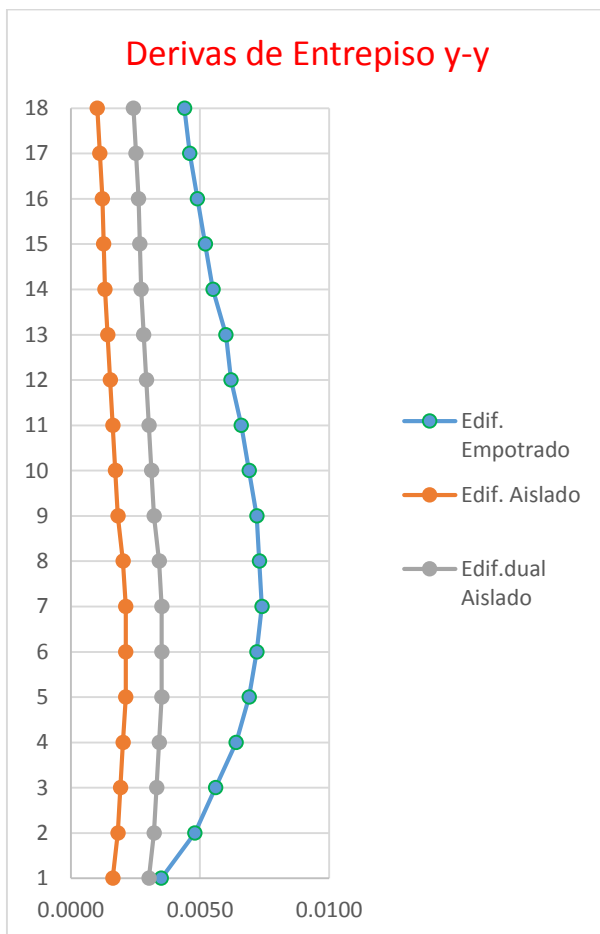
*Derivas máximas de entrepiso – eje y.*

Edificacion Empotrada		Edificacion Aislada		Edificacion Dual Aislada	
Entrepiso	Deriva (cm)	Entrepiso	Deriva (cm)	Entrepiso	Deriva (cm)
Story 18	0.0044	Story 18	0.0010	Story 18	0.0024
Story 17	0.0046	Story 17	0.0011	Story 17	0.0025
Story 16	0.0049	Story 16	0.0012	Story 16	0.0026
Story 15	0.0052	Story 15	0.0013	Story 15	0.0027
Story 14	0.0055	Story 14	0.0013	Story 14	0.0027
Story 13	0.0060	Story 13	0.0014	Story 13	0.0028
Story 12	0.0062	Story 12	0.0015	Story 12	0.0029
Story 11	0.0066	Story 11	0.0016	Story 11	0.0030
Story 10	0.0069	Story 10	0.0017	Story 10	0.0031
Story 9	0.0072	Story 9	0.0018	Story 9	0.0032
Story 8	0.0073	Story 8	0.0020	Story 8	0.0034
Story 7	0.0074	Story 7	0.0021	Story 7	0.0035
Story 6	0.0072	Story 6	0.0021	Story 6	0.0035
Story 5	0.0069	Story 5	0.0021	Story 5	0.0035
Story 4	0.0064	Story 4	0.0020	Story 4	0.0034
Story 3	0.0056	Story 3	0.0019	Story 3	0.0033
Story 2	0.0048	Story 2	0.0018	Story 2	0.0032
Story 1	0.0035	Story 1	0.0016	Story 1	0.0030

En la Figura 29 se presenta una representación gráfica de los resultados de las derivas de entrepiso – eje y obtenidos en la Tabla 33.

**Figura 29**

*Diagrama de derivas de entrepiso – eje y*



Luego de observar las tablas 32 y 33, es claro que las derivas en la superestructura del sistema aislado son menores en comparación con el sistema empotrado.

En el eje x tenemos que la deriva máxima en el sistema empotrado es de 0.0064 m, cumpliendo este con el parámetro establecido en la norma E.030. Sin embargo, en el eje y, la deriva máxima es 0.0074 el cual sobrepasa el límite establecido 0.0070.

En el eje x, la deriva de entrepiso se reduce en promedio en un 65.50% en el modelo aislado y un 41.90% en el modelo dual aislado, esto respecto al modelo empotrado.

En el eje y, la deriva de entrepiso se reduce en promedio en un 71.60% en el modelo aislado y un 46.90% en el modelo dual aislado, esto respecto al modelo empotrado.

Es evidente el mejor desempeño de la edificación aislada en comparación con la empotrada, mejor aún si la edificación aislada puede optimizarse siendo una garantía de protección para la edificación y sus ocupantes.

#### 4.3.2.4. Desplazamientos máximos

##### EJE X:

En la tabla 34 se muestran los valores obtenidos de los desplazamientos máximos en cada piso en el eje x, de los tres modelos presentados:

**Tabla 34**

*Desplazamientos máximos – eje x*

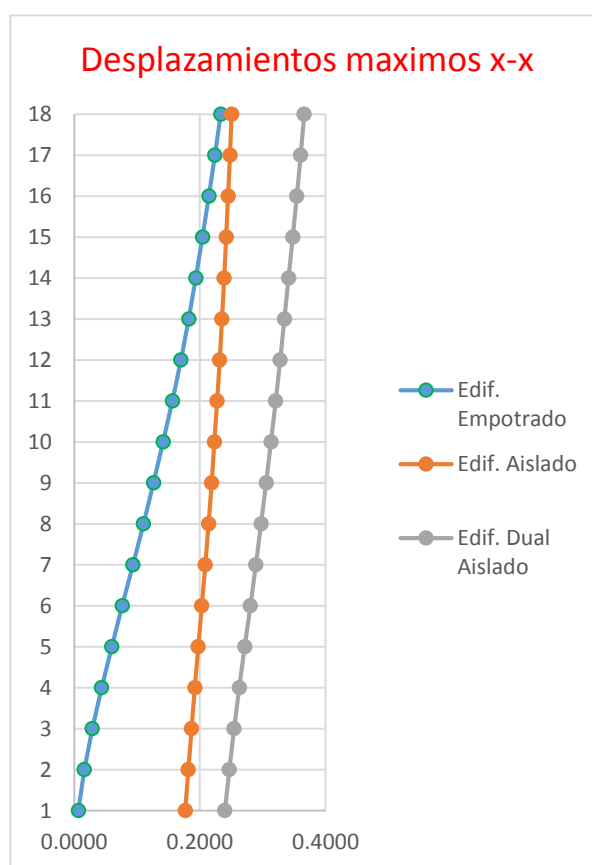
Edificacion Empotrada		Edificacion Aislada		Edificacion Dual Aislada	
Entrepiso	max. Desp. (m)	Entrepiso	max. Desp. (m)	Entrepiso	max. Desp. (m)
Story 18	0.2332	Story 18	0.2506	Story 18	0.3661
Story 17	0.2239	Story 17	0.2480	Story 17	0.3602
Story 16	0.2144	Story 16	0.2451	Story 16	0.3541
Story 15	0.2043	Story 15	0.2419	Story 15	0.3478
Story 14	0.1937	Story 14	0.2386	Story 14	0.3413
Story 13	0.1823	Story 13	0.2351	Story 13	0.3347
Story 12	0.1699	Story 12	0.2314	Story 12	0.3278
Story 11	0.1564	Story 11	0.2275	Story 11	0.3206
Story 10	0.1418	Story 10	0.2232	Story 10	0.3132
Story 9	0.1264	Story 9	0.2187	Story 9	0.3055
Story 8	0.1102	Story 8	0.2139	Story 8	0.2976
Story 7	0.0935	Story 7	0.2086	Story 7	0.2891
Story 6	0.0766	Story 6	0.2031	Story 6	0.2803
Story 5	0.0599	Story 5	0.1975	Story 5	0.2716
Story 4	0.0437	Story 4	0.1919	Story 4	0.2629
Story 3	0.0289	Story 3	0.1866	Story 3	0.2544
Story 2	0.0162	Story 2	0.1816	Story 2	0.2467
Story 1	0.0066	Story 1	0.1768	Story 1	0.2398
Piso Tecnico	0.0000	Piso Tecnico	0.1726	Piso Tecnico	0.2345



En la Figura 30 se presenta una representación gráfica de los resultados de los desplazamientos máximos en cada piso – eje x obtenidos en la Tabla 34.

**Figura 30**

*Diagrama de desplazamientos máximos – eje x*



EJE Y:

En la tabla 35 se muestran los valores obtenidos de los desplazamientos máximos en cada piso en el eje y, de los tres modelos presentados:

**Tabla 35**

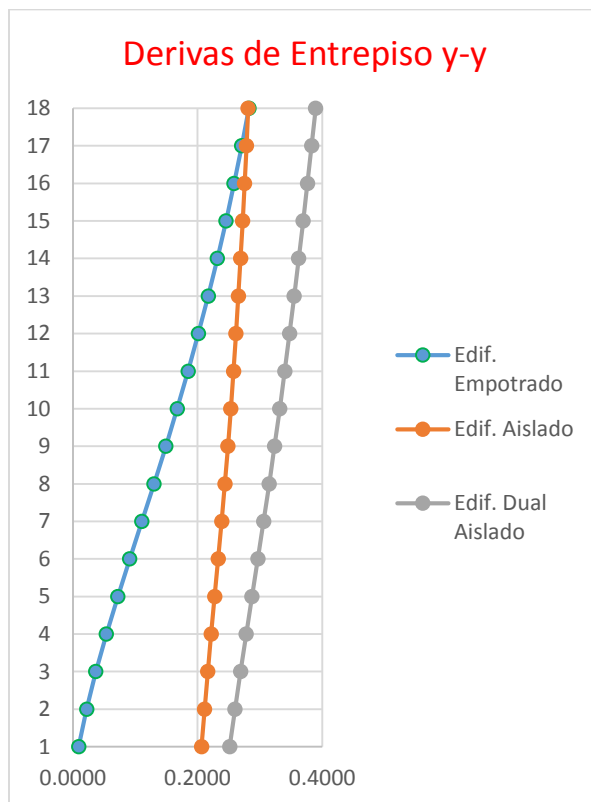
*Desplazamientos máximos – eje y.*

Edificacion Empotrada		Edificacion Aislada		Edificacion Dual Aislada	
Entrepiso	max. Desp. (m)	Entrepiso	max. Desp. (m)	Entrepiso	max. Desp. (m)
Story 18	0.2825	Story 18	0.2813	Story 18	0.3895
Story 17	0.2708	Story 17	0.2786	Story 17	0.3831
Story 16	0.2586	Story 16	0.2756	Story 16	0.3764
Story 15	0.2457	Story 15	0.2724	Story 15	0.3694
Story 14	0.2319	Story 14	0.2690	Story 14	0.3624
Story 13	0.2173	Story 13	0.2655	Story 13	0.3552
Story 12	0.2014	Story 12	0.2618	Story 12	0.3477
Story 11	0.1850	Story 11	0.2577	Story 11	0.3399
Story 10	0.1675	Story 10	0.2534	Story 10	0.3319
Story 9	0.1492	Story 9	0.2489	Story 9	0.3237
Story 8	0.1301	Story 8	0.2441	Story 8	0.3151
Story 7	0.1108	Story 7	0.2387	Story 7	0.3061
Story 6	0.0912	Story 6	0.2331	Story 6	0.2968
Story 5	0.0721	Story 5	0.2275	Story 5	0.2874
Story 4	0.0538	Story 4	0.2219	Story 4	0.2781
Story 3	0.0368	Story 3	0.2165	Story 3	0.2690
Story 2	0.0220	Story 2	0.2114	Story 2	0.2602
Story 1	0.0093	Story 1	0.2066	Story 1	0.2517
Piso Tecnico	0.0000	Piso Tecnico	0.2023	Piso Tecnico	0.2437

En la Figura 31 se presenta una representación gráfica de los resultados de los desplazamientos máximos en cada piso – eje y obtenidos en la Tabla 35.

**Figura 31**

*Diagrama de desplazamientos máximos – eje y.*



De acuerdo a las tablas anteriores 34 y 35, se puede apreciar que el desplazamiento total en ambas direcciones resulta mayor para el sistema aislado, sin embargo, el mayor desplazamiento se da en el nivel de aislación con 23.45 en el eje x, el cual aumenta 13.16 cm en 18 niveles, mientras que en el eje y el desplazamiento en el nivel de aislación es de 24.37, aumentando 14.58 en los 18 niveles.

Muy distinto es el desplazamiento en la estructura empotrada, el cual pasa de 0 a 23.32 cm y 28.25 cm para el eje X e Y respectivamente.

## V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En el presente capítulo, se presenta la discusión de resultados del análisis sísmico del edificio “Los Rosales” con el programa ETABS.

Los resultados obtenidos en cuanto a esfuerzos en los elementos estructurales coinciden parcialmente con los obtenidos en el trabajo de Chuman y Valladares “*Análisis y diseño estructural comparativo de una edificación de quince niveles con y sin aisladores sísmicos, ubicada en el distrito de Pimentel*”, en el cual se determinó que en el eje x, la viga que presenta mayor fuerza cortante en el modelo empotrado disminuye en un 23.56% en el modelo aislado; mientras que en el eje y, este disminuye en un 29.69%. Sin embargo, en el presente trabajo, según la Tabla 21 se puede apreciar que la mayor fuerza cortante en la viga del modelo dual aislado disminuye un 18.75% en el eje x y un 35.68% en el eje y, respecto a los resultados del modelo empotrado. De igual manera, los resultados obtenidos en las vigas que presentan mayor momento flector en el trabajo de Chuman y Valladares disminuyen en un 26.35% en el eje x y en un 51.23% en el eje y; mientras que en el presente trabajo según la tabla 24 el mayor momento flector en la viga del modelo dual aislado disminuye en un 18.51% en el eje x y un 40.53% en el eje y, respecto a los resultados del modelo empotrado. Por otro lado, al evaluar la máxima fuerza axial de las columnas del modelo aislado en el trabajo de Chuman y Valladares en los ejes x e y, estos resultados disminuyen en un 15.23% y 42.15% respectivamente; mientras que en la presente tesis los resultados disminuyen en 18.75% y 35.68% en los ejes x e y, respectivamente. Estas diferencias obtenidas en ambos trabajos, puede deberse a la diferencia de niveles, ya que en el trabajo de Chuman y Valladares la edificación analizada tiene 15 niveles, mientras que la analizada en este trabajo consta de 18 niveles. Otra de las diferencias que pudieron influir en el

resultado, es que la estructura analizada por Chuman y Valladares no presenta ningún tipo de irregularidades ( $R=6$ ) mientras que la que se analiza en la presente tesis presenta la irregularidad torsional en planta ( $R=4.5$ ). Así mismo el análisis utilizado en este trabajo de investigación fue el modal espectral, mientras que el utilizado por Chuman y Valladares fue el análisis tiempo-historia.

En cuanto a los resultados obtenidos sobre los parámetros sísmicos, estos varían de acuerdo a cada parámetro a analizar.

En los resultados obtenidos en cuanto al periodo de la estructura, la variación es mínima respecto al trabajo de Herrera "*Desempeño sísmico en edificaciones con aisladores elastoméricos y amortiguadores de fluido viscoso*" en el cual se determinó que el periodo de la estructura empotrada es de 0.785 seg., mientras que el de la aislada es de 3.132 seg. Lo cual quiere decir que el periodo es 3.99 veces mayor. Mientras que en el presente trabajo el periodo de la edificación con base empotrada es de 1.187 seg y el de la edificación dual con base aislada es de 3.963 seg, lo cual significa que el periodo es 3.4 veces mayor. En ambos casos se utilizaron aisladores elastoméricos, y en ambos casos se logró incrementar el periodo de vibración de la estructura. La pequeña diferencia de resultados en ambos trabajos puede deberse a que en la investigación de Herrera la edificación analizada consta de 12 niveles, la distribución en planta es totalmente simétrica y la edificación está destinada para un uso de oficinas.

Los resultados obtenidos en cuanto a cortante basal, presentan una variación regular respecto a los resultados obtenidos en el trabajo de Portillo "*Diseño de una edificación con aislamiento sísmico según la normativa peruana*" en el cual la cortante basal obtenida en el

modelo empotrado en los ejes x e y son 933.12 ton y 933.13 ton respectivamente; mientras que los obtenidos en el modelo aislado en los ejes x e y son 660.18 y 662.11 respectivamente. Las cortantes se ven reducidos en un 25% aproximadamente. Sin embargo, en los resultados obtenidos en la presente tesis, las cortantes basales en el modelo empotrado fueron de 953.12 y 965.14 en los ejes x e y, respectivamente; y en el modelo aislado 800.54 y 820.80 en los ejes x e y. Lo cual significa que en el modelo aislado las cortantes basales disminuyen en un 16.01% en el eje x, y un 14.96% en el eje y, esto respecto al modelo empotrado. Esta variación en los diferentes trabajos puede deberse principalmente a que la edificación analizada por Portillo cuenta con 8 niveles, ya que se sabe que entre la cortante basal y el peso de la edificación existe una relación directamente proporcional.

Los resultados obtenidos en cuanto a derivas de entrepiso, presentan una variación parcial respecto a los resultados obtenidos por Chuman y Valladares en su trabajo *“Análisis y diseño estructural comparativo de una edificación de quince niveles con y sin aisladores sísmicos, ubicada en el distrito de Pimentel”*, ya que se obtuvo como máximas derivas del modelo empotrado 0.0064 y 0.0063 en los ejes x e y respectivamente, y 0.0019 para el modelo aislado, además en un promedio la reducción de las derivas es de 65.44% en la dirección x-x y en 64.31% en la dirección y-y. Mientras que en la presente tesis las derivas máximas del modelo empotrado son 0.0064 y 0.0074 en los ejes x e y respectivamente, y 0.0035 en el modelo dual aislado, asimismo en un promedio la reducción de las derivas es de 41.90% y 46.90% en los ejes x e y, respectivamente. Esta variación en los diferentes trabajos puede deberse a las diferentes dimensiones de los elementos estructurales, tanto en la sub estructura como en la super estructura.

Los resultados obtenidos en cuanto a los desplazamientos máximos de entrepiso, varían de manera considerable respecto a los resultados obtenidos por Chuman y Valladares en su trabajo *“Análisis y diseño estructural comparativo de una edificación de quince niveles con y sin aisladores sísmicos, ubicada en el distrito de Pimentel”*, ya que se obtuvo que el máximo desplazamiento ocurrió en el nivel de aislamiento con 28.03 y 28.02 para los ejes x e y, los cuales aumentaron a 34.53 y 34.34, esto quiere decir que tan solo aumento alrededor de 6cm en 15 niveles. Lo mismo ocurrió en el presente trabajo, donde el máximo desplazamiento se dio en el nivel de aislación con 23.45 en el eje x y 24.37 en los ejes x e y, los cuales aumentaron alrededor de 14 cm en 18 niveles (Tabla 33 y 34). En este caso la diferencia de resultados se puede deber a los distintos diámetros de aisladores elastoméricos utilizados en cada trabajo. Puesto que en este trabajo se procedió a utilizar aisladores de 570 mmm de diámetro, mientras que el trabajo de Chuman y Valladares se utilizaron aisladores de 700 mm de diámetro.

## VI. CONCLUSIONES

Se realizó el análisis sísmico de la edificación “Los Rosales” utilizando aisladores sísmicos elastoméricos con núcleo de plomo; por lo expuesto anteriormente se permite concluir que:

El comportamiento sísmico del edificio multifamiliar “Los Rosales” mejoro en gran medida al adicionarle aisladores elastoméricos con núcleo de plomo.

- **Luego de evaluar las fuerzas en los elementos estructurales respecto a las vigas** en relación a **la máxima fuerza cortante** en cada una de las direcciones del modelo empotrado, según la tabla 21 se puede apreciar que en el eje x la viga que presenta mayor fuerza cortante en el modelo empotrado es la VIGA 5 E-F (PISO 7), disminuye en un 21.64% en el modelo aislado y en un 18.75% en el modelo dual aislado.

Mientras que en el eje y, la viga que presenta mayor fuerza cortante es la VIGA F 4-5 (PISO 8), disminuye en un 50.00% en el modelo aislado y en un 35.68% en el modelo dual aislado.

En relación al **máximo momento flector** en cada una de las direcciones del modelo empotrado, según tabla 24 se puede apreciar que en el eje x la viga que presenta mayor momento flector en el modelo empotrado es la VIGA 5 E-F (PISO 7), la cual disminuye en un 21.62% en el modelo aislado y en un 18.51% en el modelo dual aislado. Mientras que en el eje y, la viga que presenta mayor momento flector es la VIGA A 7-8 (PISO 8), la cual disminuye en un 57.80% en el modelo aislado y en un 40.53% en el modelo dual aislado.



- Así mismo, **respecto a las columnas en relación a la mayor fuerza axial** en cada una de las direcciones del modelo empotrado, según tabla 27 se puede apreciar que en el eje x la columna que presenta mayor fuerza axial en el modelo empotrado es la COLUMNA H-3 (PISO 1), la cual disminuye en un 14.33% en el modelo aislado y en un 14.42% en el modelo dual aislado. Mientras que en el eje y, la columna que presenta mayor fuerza axial es la COLUMNA A-6 (PISO 1), la cual disminuye en un 41.72% en el modelo aislado y en un 29.47% en el modelo dual aislado.

Por lo tanto, de acuerdo a lo expuesto anteriormente se puede concluir que el uso de aisladores elastoméricos con núcleo de plomo permitió reducir notablemente los esfuerzos en los elementos estructurales del edificio multifamiliar “Los Rosales”.

- Considerando la incorporación de aisladores sísmicos elastoméricos con núcleo de plomo, para cumplir con los parámetros sísmicos se ha determinado que se logran cumplir con los parámetros establecidos en las normas peruanas E.030 y E.031; con el siguiente detalle:

**En relación al periodo**, según tabla 28, en la edificación dual aislada este aumento en 3.4 veces respecto al periodo de la edificación empotrada, la edificación dual con base aislada cuenta con un periodo de 3.963 seg, mientras que el de la estructura empotrada es de 1.187 seg. En cuanto al modelo de la edificación aislada esta presenta un periodo de 3.122 seg, la cual aumenta en 2.6 veces respecto al periodo del modelo empotrado. Con esto se concluye que los aisladores elastoméricos con núcleo de plomo muestran una amplia ventaja porque permiten aumentar el periodo de vibración de la estructura.

**En relación a la cortante basal**, según tabla 29, se puede observar que el eje X, la cortante basal en el modelo aislado disminuye en un 28.63% y en el modelo dual aislado un 16.01%, respecto al modelo con base fija. Mientras que el eje Y, la cortante basal en el modelo aislado disminuye en un 28.29% y en el modelo dual aislado un 14.96%, respecto al modelo de base fija.

**En relación a la deriva máxima de entrepiso**, según tabla 31 se pudo concluir que las derivas máximas del modelo empotrado son 0.0064 y 0.0074 en los ejes x e y respectivamente, 0.0035 en el modelo dual aislado y 0.0021 en el modelo aislado, asimismo en un promedio la reducción de las derivas es de 41.90% y 46.90% en los ejes x e y del modelo dual aislado, respectivamente.

- Con los resultados obtenidos es evidente el mejor desempeño de la edificación aislada en comparación con la edificación empotrada.

**En relación a los desplazamientos**, según tabla 32, estos son nulos en la base del edificio empotrado en ambas direcciones, pero en el nivel 18 pasan a 23.32 cm y 28.25 cm en los ejes X e Y; a diferencia del edificio donde se utilizó aisladores LRB (modelo dual aislado), en el que el desplazamiento en la base es 23.45 y 24.37 cm para el eje X e Y, los cuales aumentaron alrededor de 14 cm en 18 niveles hasta llegar a 36.61 cm y 38.95 cm.

Por otro lado, en el modelo aislado los desplazamientos en la base son 17.26 y 20.23 cm en los ejes X e Y, estos aumentaron alrededor de 8 cm en el último nivel. Se logra concluir que, al aumentar el periodo de la estructura, también se presenta un aumento de desplazamiento, que es absorbido por el sistema de aislamiento.

- Como conclusión general, se permite deducir que al implementar adecuadamente aisladores elastoméricos con núcleo de plomo al edificio multifamiliar “Los Rosales” se logró mejorar notablemente el comportamiento de la estructura, lo cual se ve reflejado en la reducción de esfuerzos en los elementos estructurales del modelo aislado, así como en el cumplimiento de los parámetros sísmicos establecidos en las normas.

## VII. RECOMENDACIONES

- Considerando que los edificios con implementación de sistemas de aisladores sísmicos presentan gran desplazamiento en la base debido al aumento del periodo fundamental, se recomienda que exista un espacio mínimo perimetral entre lotes que permita implementar una junta sísmica de alrededor de 50 cm a cada lado, para edificios de 18 pisos aproximadamente. Esto con la finalidad de permitir que la edificación se desplace sin dificultad al ocurrir un sismo severo.
- Se recomienda que, para realizar el análisis estructural de edificios con aisladores sísmicos, se pudiera utilizar el programa ETABS, el cual permite el modelamiento y diseño de este tipo de estructuras con los dispositivos indicados.
- Se recomienda tener mayor precaución en las conexiones flexibles en el aislamiento del edificio ya que es el detalle constructivo más importante que diferencia al edificio empotrado del edificio aislado.
- Considerando los resultados de la presente investigación aplicado a edificios comunes, es recomendable el uso de aisladores elastoméricos de caucho natural, con núcleo de plomo (LRB), esto debido a que el plomo es un medio adicional de disipación de energía, el cual es un gran elemento de ayuda en la absorción de energía.

- Nuestro país está ubicado en una zona de alto riesgo sísmico por lo que es recomendable la difusión y la capacitación de las amplias ventajas que nos ofrece un sistema de aislamiento sísmico en cualquier tipo de edificación y puentes; para de esta manera reducir la vulnerabilidad que se pueda presentar en estructuras ante la acción de fuerzas dinámicas.

## VIII. REFERENCIAS

- Auqui M. (2010). *Análisis de aisladores sísmicos elastoméricos construidos en el Ecuador*. [Tesis de pregrado, Escuela Politécnica del Ejército]. Repositorio Institucional de la Universidad las Fuerzas Armadas ESPE. <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/2614/1/T-ESPE-029822.pdf>
- Chuman A. y Valladares C. (2017). *Análisis y diseño estructural comparativo de una edificación de quince niveles, con y sin aisladores sísmicos elastoméricos con núcleo de plomo*. [Tesis de pregrado, Universidad de San Martín de Porres]. Repositorio Académico USMP. <https://repositorio.usmp.edu.pe/handle/20.500.12727/3440>
- Descouvieres C. (2016). *Registro del estudio pionero en Chile de aisladores sísmicos elastoméricos para aplicación de edificios de baja altura*. [Tesis de pregrado, Universidad de Chile]. Repositorio Académico Universidad de Chile. <https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/143351/Registro-del-estudio-pionero-en-Chile-de-aisladores-s%C3%ADsmicos-elastom%C3%A9ricos-para-aplicaci%C3%B3n-en-edificios-de-baja.pdf?sequence=1>
- Gioacchini et al. (2016). Comportamiento de aisladores elastoméricos de baja carga axial bajo acciones verticales y horizontales cíclicas. *Revista Mecánica computacional*, (34), 1423-1441. <https://fddocuments.ec/document/comportamiento-de-aisladores-elastomricos-de-baja-carga-.html>
- Jianchun et al. (2013). Development of adaptive seismic isolators for ultimate seismic protection of civil structures. *Sensors and Smart Structures Technologies for Civil, Mechanical, and Aerospace Systems*, (8692). <https://www.spiedigitallibrary.org/conference-proceedings->

[of-spie/8692/86920H/Development-of-adaptive-seismic-isolators-for-ultimate-seismic-protection-of/10.1117/12.2009626.short?SSO=1](https://spie/8692/86920H/Development-of-adaptive-seismic-isolators-for-ultimate-seismic-protection-of/10.1117/12.2009626.short?SSO=1)

Leyton, M. (2017). *Implementación de aisladores sísmicos en un edificio de viviendas en Lima, Perú*. [Tesis de pregrado, Pontificia Universidad Católica del Perú]. Repositorio Académico PUCP.

[https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/8648/LEYTON\\_MICHAEL\\_AISLADORES\\_SISMICOS\\_EDIFICIO\\_LIMA.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/8648/LEYTON_MICHAEL_AISLADORES_SISMICOS_EDIFICIO_LIMA.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Mestanza J. (2015). *Análisis de una edificación mediante un sistema propuesto de aislamiento sísmico del tipo péndulo friccional*. [Tesis de pregrado, Universidad Ricardo Palma]. Repositorio Académico Universidad Ricardo Palma.

<https://repositorio.urp.edu.pe/handle/20.500.14138/2372>

Oviedo J. y Duque M. (2006). Sistemas de control de respuesta sísmica en edificaciones. *Revista EIA*, 1237(6), 105-120.

[http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1794-12372006000200010](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1794-12372006000200010)

Portillo R. (2019). *Diseño de un hospital con aislamiento sísmico según la normativa peruana*. [Tesis de pregrado, Pontificia Universidad Católica del Perú]. Repositorio Académico PUCP.

[https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/14234/PORTILLO\\_CAZORLA\\_AYMAR\\_RAUL.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/14234/PORTILLO_CAZORLA_AYMAR_RAUL.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Ramos A. (2018). *Análisis y diseño de una clínica haciendo uso de aisladores sísmicos en su base*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa].

Repositorio

Académico

UNSA.

<http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/7184/ICrachad.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Retamales et al. (2015). Aplicación de Sistemas de aislación sísmica en un edificio residencial de 19 pisos. *Revista EMB Construcción*, 184.

[https://boroschek.files.wordpress.com/2015/04/2015\\_achisinaretamalesbonelliboroschekarvallo\\_184.pdf](https://boroschek.files.wordpress.com/2015/04/2015_achisinaretamalesbonelliboroschekarvallo_184.pdf)

Romero Y. (2014). *Análisis dinámico de aisladores de base elastoméricos como alternativa de solución para edificaciones con fallas por piso blando*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Cajamarca]. Repositorio Académico Universidad Nacional de Cajamarca.

<https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/92>

Sosa A. y Ruiz S. (2010). Análisis estructural y costos de edificios con aisladores sísmicos. *Revista Ingeniería Sísmica*, (44), 11-28.

<https://smis.mx/index.php/RIS/article/view/287/220>

Trujillo E. (2014). *Diseño Integral de Estructuras con sistema de aislación sísmica aplicado a un edificio de concreto armado*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Centro del Perú]. Repositorio Institucional UNCP.

<https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/4108>

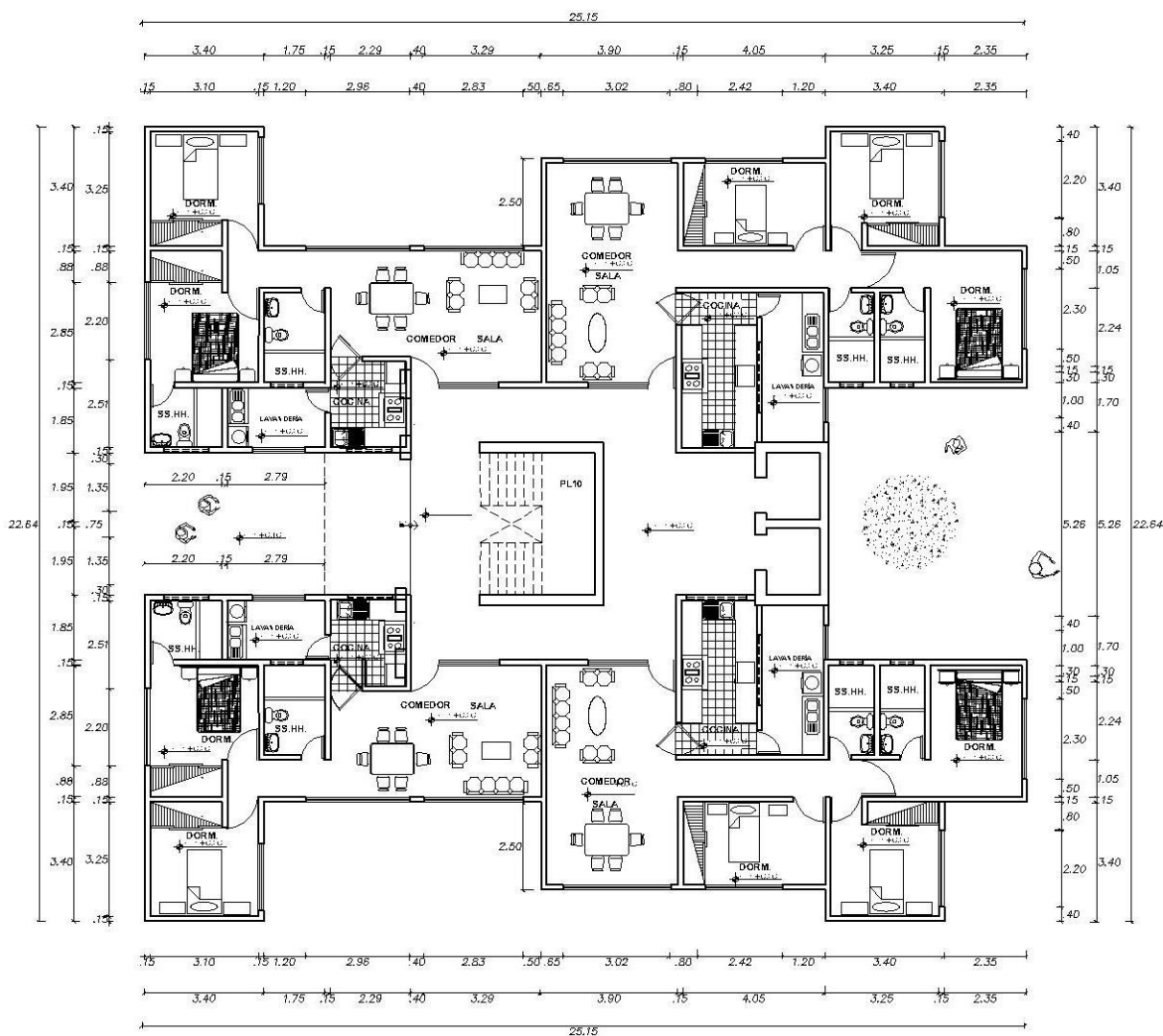


## IX. ANEXOS

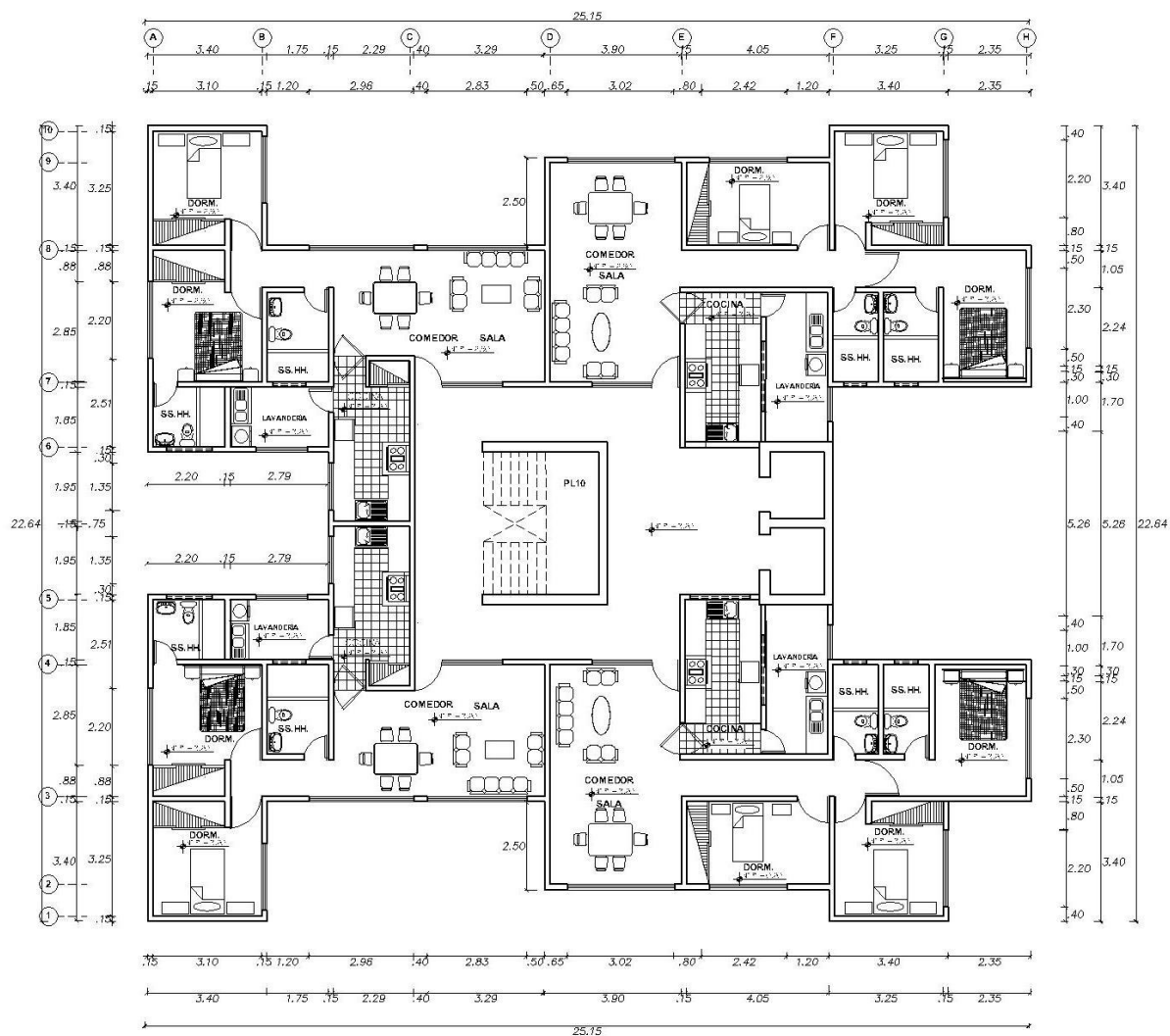
- Anexo A: Planos de Arquitectura y Estructuras del edificio multifamiliar “Los Rosales”.
- Anexo B: Cálculos del diseño del aislador elastomérico con núcleo de plomo – Modelo aislado.
- Anexo C: Cálculos del diseño del aislador elastomérico con núcleo de plomo – Modelo dual aislado.
- Anexo D: Matriz de consistencia.

Anexo A

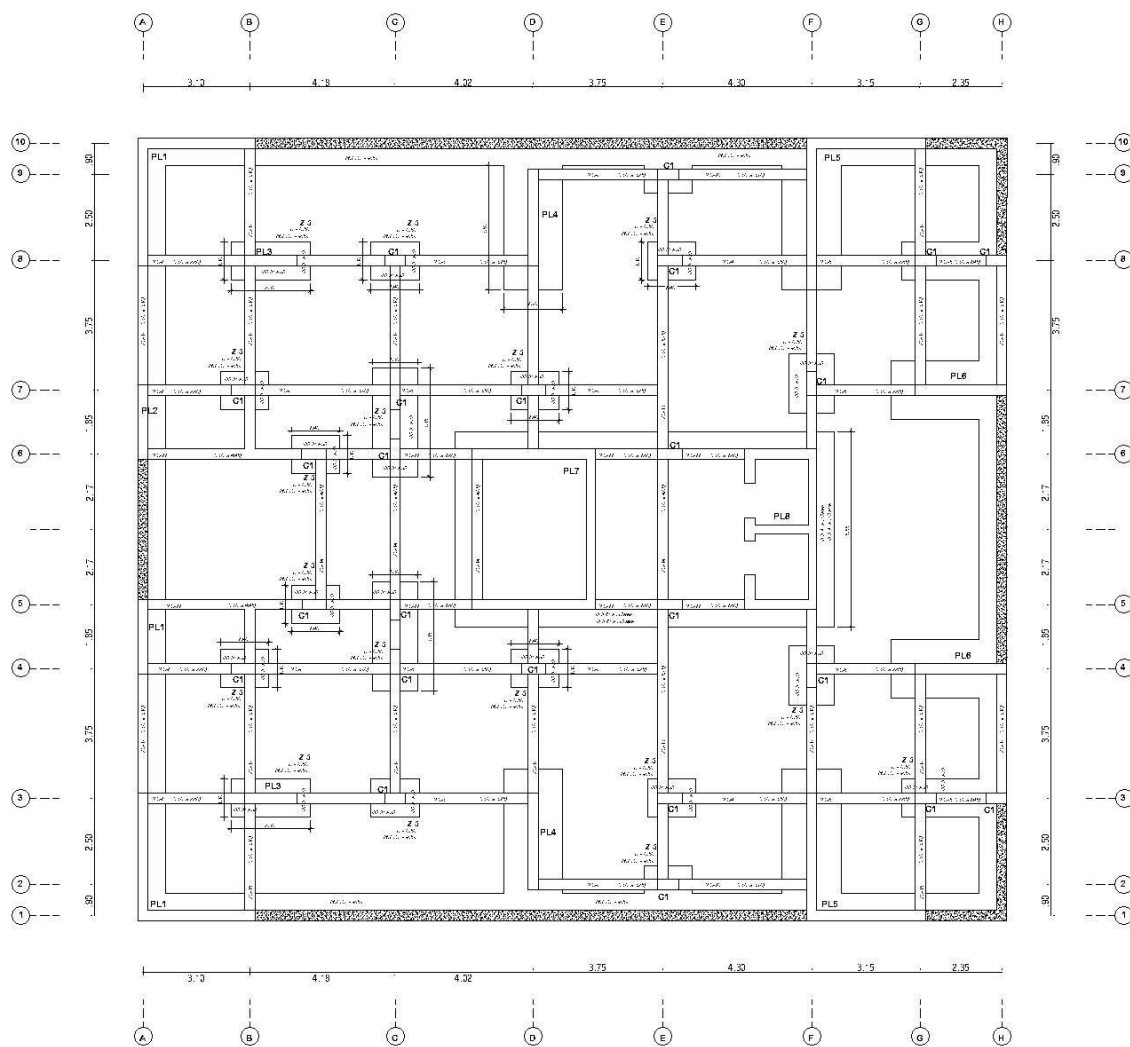
Planta 1er piso.



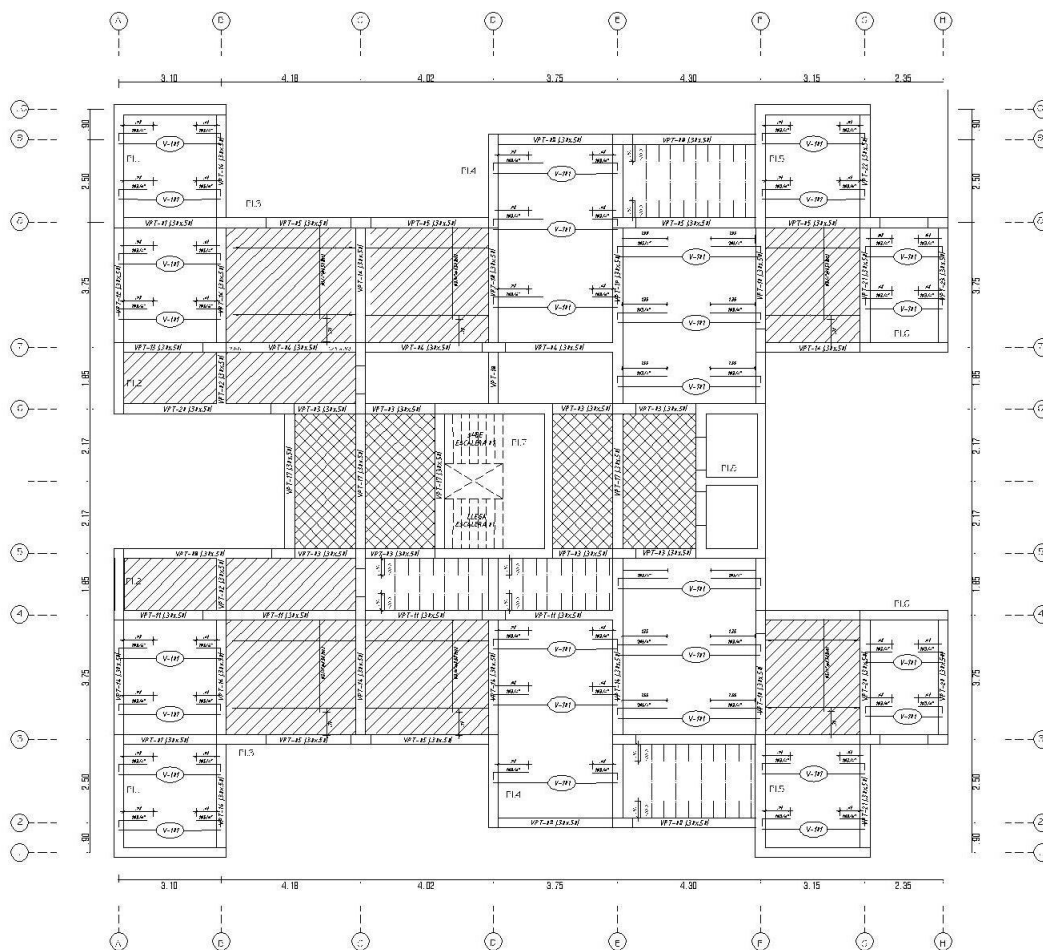
Planta Típica.



Cimentación – Modelo empotrado.



Aligerado.



## Anexo B

### Diseño de aislador – Modelo Aislado

DISEÑO DEL AISLADOR - MODELO AISLADO			
PERIODO DE LA ESTRUCTURA FIJA	1.187		TM= 2.137
AMORTIGUAMIENTO CRITICO	0.287	28.70	BM= 1.67
DESPLAZAMIENTO MAXIMO			DM= 0.1197 m 119.69 mm
DESPLAZAMIENTO TOTAL MAXIMO			DTMX= 0.1358 m DTMY= 0.1396 m
			DTM= 0.140 m
ALTURA EFECTIVA DEL AISLADOR			Hi= 0.093 m 0.150 m
Nº DE LAMINAS DE CAUCHO			Nº= 25
PESO TOTAL			10944.188
Nº DE AISLADORES			56.00
Pumax.		195.432	W: 141.85
AREA NETA			0.240 m <sup>2</sup>
Qd=	8.51		
Dp=	0.108 m		
Ajustando el valor:	0.15		
Recalculando Qd:	16.386 tn		
Di=	0.5726 m		

TAMAÑO DEL DISPOSITIVO				DIMENSIONES DE LA PLACA DE SOPORTE					
Díametro Aislador, D <sub>i</sub> (mm)	Altura Aislador, H (mm)	Número de capas de caucho, N	Díametro del plomo, D <sub>L</sub> (mm)	L (mm)	t (mm)	Cantidad Orificios	Orificio Ø (mm)	A (mm)	B (mm)
305	125-280	4-14	0-100	355	25	4	27	50	-
355	150-305	5-16	0-100	405	25	4	27	50	-
405	175-330	6-20	0-125	455	25	4	27	50	-
455	175-355	6-20	0-125	510	25	4	27	50	-
520	205-380	8-24	0-180	570	25	8	27	50	50
570	205-380	8-24	0-180	620	25	8	27	50	50
650	205-380	8-24	0-205	700	32	8	27	50	50
700	205-430	8-30	0-205	750	32	8	33	65	75
750	230-455	8-30	0-230	800	32	8	33	65	75
800	230-510	8-33	0-230	850	32	8	33	65	75
850	230-535	8-35	0-255	900	38	12	33	65	95
900	255-560	9-37	0-255	955	38	12	33	65	95
950	255-585	10-40	0-280	1005	38	12	33	65	95
1000	280-635	11-40	0-280	1055	38	12	40	75	115
1050	305-660	12-45	0-305	1105	44	12	40	75	115
1160	330-760	14-45	0-330	1205	44	12	40	75	115
1260	355-760	16-45	0-355	1335	44	16	40	75	115
1360	405-760	18-45	0-380	1435	51	16	40	75	115
1450	430-760	20-45	0-405	1525	51	20	40	75	115
1550	455-760	22-45	0-405	1625	51	20	40	75	115

Ajustamos Di: 650.00 mm 0.65

Kd: 113.10 t/m

Keff: 230.50 t/m 0.12362994

Beff: 0.287 OK 7943.8125

Tm: 2.137 OK

Hr: 0.222 m

S: 25.64 Acero: 0.31415927

Ec: 88019.56 Aplomo: 0.01767146

Kv: 295,789.37 t/m

Ke: 1130.97

Fy: 18.02

radio de rigidez 0.1

## Anexo C

### Diseño de aislador – Modelo Dual Aislado

DISEÑO DEL AISLADOR - MODELO DUAL AISLADO			
PERIODO DE LA ESTRUCTURA FIJA	1.187		TM= 2.458
AMORTIGUAMIENTO CRITICO	0.303	30.30	BM= 1.71
DESPLAZAMIENTO MAXIMO			DM= 0.1351 m 135.08 mm
DESPLAZAMIENTO TOTAL MAXIMO			DTM <sub>X</sub> = 0.1532 m DTM <sub>Y</sub> = 0.1575 m
			DTM= 0.158 m
ALTURA EFECTIVA DEL AISLADOR			Hi= 0.105 m 0.150 m
Nº DE LAMINAS DE CAUCHO			Nº= 25
PESO TOTAL			10366.325
Nº DE AISLADORES			56.00
Pumax.	185.113		W: 133.60
AREA NETA			0.227 m <sup>2</sup>
Qd=	8.02		
Dp=	0.105 m		
Ajustando el valor:	0.15		
Recalculando Qd:	16.386 tn		
Di=	0.5583 m		



TAMAÑO DEL DISPOSITIVO				DIMENSIONES DE LA PLACA DE SOPORTE					
Diámetro Aislador, D <sub>i</sub> (mm)	Altura Aislador, H (mm)	Número de capas de caucho, N	Diámetro del plomo, D <sub>i</sub> (mm)	L (mm)	t (mm)	Cantidad Orificios	Orificio Ø (mm)	A (mm)	B (mm)
305	125-280	4-14	0-100	355	25	4	27	50	-
355	150-305	5-16	0-100	405	25	4	27	50	-
405	175-330	6-20	0-125	455	25	4	27	50	-
455	175-355	6-20	0-125	510	25	4	27	50	-
520	205-380	8-24	0-180	570	25	8	27	50	50
570	205-380	8-24	0-180	620	25	8	27	50	50
650	205-380	8-24	0-205	700	32	8	27	50	50
700	205-430	8-30	0-205	750	32	8	33	65	75
750	230-455	8-30	0-230	800	32	8	33	65	75
800	230-510	8-33	0-230	850	32	8	33	65	75
850	230-535	8-35	0-255	900	38	12	33	65	95
900	255-560	9-37	0-255	955	38	12	33	65	95
950	255-585	10-40	0-280	1005	38	12	33	65	95
1000	280-635	11-40	0-280	1055	38	12	40	75	115
1050	305-660	12-45	0-305	1105	44	12	40	75	115
1160	330-760	14-45	0-330	1205	44	12	40	75	115
1260	355-760	16-45	0-355	1335	44	16	40	75	115
1360	405-760	18-45	0-380	1435	51	16	40	75	115
1450	430-760	20-45	0-405	1525	51	20	40	75	115
1550	455-760	22-45	0-405	1625	51	20	40	75	115

Ajustamos Di: 570.00 mm 0.57

Kd: 85.502 t/m

Keff: 189.53 t/m 0.13643945

Beff: 0.303 OK 7481.5225

Tm: 2.458 OK

Hr: 0.222 m

S: 22.11 Acero: 0.2375044

Ec: 77023.92 Plomo: 0.01767146

Kv: 233,398.44 t/m

Ke: 855.02

Fy: 18.02

radio de rigidez 0.1

## Anexo D

### Matriz de Consistencia

#### MATRIZ DE CONSISTENCIA

Título: COMPORTAMIENTO SÍSMICO DEL EDIFICIO “LOS ROSALES” CON LA IMPLEMENTACIÓN DE AISLADORES ELASTOMÉRICOS CON NÚCLEO

Problema General	Objetivo General	Hipótesis	Variable	Dimensión	Indicadores
¿En qué medida mejorará el comportamiento sísmico con la implementación de aisladores elastoméricos con núcleo de plomo en el edificio multifamiliar “Los Rosales”?	Mejorar el comportamiento sísmico con la implementación de aisladores sísmicos elastoméricos con núcleo de plomo del edificio “Los Rosales”.	Implementando adecuadamente aisladores sísmicos elastoméricos con núcleo de plomo se logrará disminuir los esfuerzos en los elementos estructurales del edificio “Los Rosales”, y se cumplirá con la deriva objetivo establecido en las normas peruanas.	Variable Independiente: aisladores sísmicos elastoméricos con núcleo de plomo	Dimensiones del aislador	Diametro del aislador - Capacidad de desplazamiento horizontal - Altura del aislador - Desplazamiento máximo - Numero de aisladores - Numero de capas de caucho - Diametro del plomo
¿En qué medida variaran los esfuerzos en los elementos estructurales del edificio multifamiliar “Los Rosales” con la implementación de aisladores elastoméricos con núcleo de plomo?	Evaluar la variación de esfuerzos en los elementos estructurales del edificio “Los Rosales” al implementar aisladores sísmicos elastoméricos con núcleo de plomo.	Al adicionar aisladores sísmicos con núcleo de plomo al edificio “Los Rosales” se logrará reducir los esfuerzos en los elementos estructurales.	Variable Dependiente: Mejora del comportamiento sísmico del edificio “Los Rosales”.	Esfuerzos en los elementos estructurales	Maxima fuerza axial - Maxima fuerza cortante - Maximo momento flector.
¿Se cumplirá con la deriva objetivo establecido en las normas peruanas al adicionar aisladores elastoméricos con núcleo de plomo al edificio multifamiliar “Los Rosales”?	Cumplir con la deriva objetivo establecido en las normas peruanas al adicionar aisladores sísmicos elastoméricos con núcleo de plomo al edificio “Los Rosales”.	La incorporación de aisladores sísmicos con núcleo de plomo permitirá cumplir con la deriva objetivo establecida en la Norma E.031 (Aislamiento Sísmico).		Parametros Sísmicos	Periodos y frecuencias - Cortante basal - Derivas de entrepiso - Maximos desplazamientos