



# UNIVERSIDAD RICARDO PALMA

## **FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

Análisis comparativo de la respuesta estructural de un edificio multifamiliar de 5 niveles con sistema dual y con aisladores sísmicos en Santa María del Mar

### **TESIS**

Para optar el título profesional de Ingeniero(a) Civil

### **AUTORES**

Medrano Lahura, Edward  
ORCID: 0009-0007-2792-224X

Tufiño Villena, Clara Estefany  
ORCID: 0009-0007-5859-8702

### **ASESOR**

Garate Caceres, Francisco Hector  
ORCID: 0000-0003-0413-3399

**Lima, Perú**

**2023**

## **METADATOS COMPLEMENTARIOS**

### **Datos de los autores**

Medrano Lahura, Edward

DNI: 44630325

Tufiño Villena, Clara Estefany

DNI: 47844519

### **Datos de asesor**

Garate Caceres, Francisco Hector

DNI: 07640930

### **Datos del jurado**

JURADO 1

Pereyra Salardi, Enriqueta

DNI: 06743824

ORCID: 0000-0003-2527-3665

JURADO 2

Lopez Silva, Maiquel

CE: 002946058

ORCID: 0000-0002-0946-6160

JURADO 3

Carmenates Hernandez, Dayma Sadami

CE: 002944620

ORCID: 0000-0001-5482-7562

### **Datos de la investigación**

Campo del conocimiento OCDE: 2.01.01

Código del Programa: 732016

## DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD

Nosotros, Edward Medrano Lahura, con código de estudiante N°201220505, con DNI N°44630325, con domicilio en Calle Loma de las Violetas 224 - Dpto 401, distrito Santiago de Surco, provincia y departamento de Lima, y Clara Estefany Tufiño Villena, con código de estudiante N°201121480, con DNI N°47844519, con domicilio en Mz I Lote 1 Nueva Jerusalén II Etapa, distrito Carabayllo, provincia y departamento de Lima, en nuestra condición de bachilleres en Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería, declaramos bajo juramento que:

La presente tesis titulada: “Análisis comparativo de la respuesta estructural de un edificio multifamiliar de 5 niveles con sistema dual y con aisladores sísmicos en Santa María del Mar” es de nuestra única autoría, bajo el asesoramiento del docente Francisco Hector Garate Caceres, y no existe plagio y/o copia de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación presentado por cualquier persona natural o jurídica ante cualquier institución académica o de investigación, universidad, etc.; la cual ha sido sometida al antiplagio Turnitin y tiene el 24% de similitud final.

Dejamos constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en la tesis, el contenido de estas corresponde a las opiniones de ellos, y por las cuales no asumimos responsabilidad, ya sean de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o de internet.

Asimismo, ratificamos plenamente que el contenido íntegro de la tesis es de nuestro conocimiento y autoría. Por tal motivo, asumimos toda la responsabilidad de cualquier error u omisión en la tesis y somos conscientes de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de falsa declaración, nos sometemos a lo dispuesto en las normas de la Universidad Ricardo Palma y a los dispositivos legales nacionales vigentes.

Surco, 05 de noviembre de 2023



---

Edward Medrano Lahura  
DNI N°44630325



---

Clara Estefany Tufiño Villena  
DNI N°47844519

## INFORME DE ORIGINALIDAD–TURNITIN

Análisis comparativo de la respuesta estructural de un edificio multifamiliar de 5 niveles con sistema dual y con aisladores sísmicos en Santa María del Mar

### INFORME DE ORIGINALIDAD



### FUENTES PRIMARIAS

<b>1</b>	<b>hdl.handle.net</b> Fuente de Internet	<b>9%</b>
<b>2</b>	<b>Submitted to Universidad Ricardo Palma</b> Trabajo del estudiante	<b>3%</b>
<b>3</b>	<b>repositorio.urp.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>3%</b>
<b>4</b>	<b>repositorio.ucv.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>2%</b>
<b>5</b>	<b>Submitted to Universidad Cesar Vallejo</b> Trabajo del estudiante	<b>1%</b>
<b>6</b>	<b>Submitted to Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez</b> Trabajo del estudiante	<b>1%</b>
<b>7</b>	<b>www.dspace.uce.edu.ec</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1%</b>
<b>8</b>	<b>docplayer.es</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1%</b>

  
Dr. Yagor Cheng Echevarría

## **DEDICATORIA**

A mi hija María Fernanda, mi gran inspiración para salir adelante día a día. A mis padres Oscar y Angélica, artífices de este gran logro. A mi hermano Herbert que, desde el cielo, viene guiando mis pasos y a mis hermanos Oscar y Henry por su gran apoyo.

Edward Medrano Lahura

Dedico esta tesis a mi amada hija Valentina quién ha sido mi mayor inspiración y motivación para nunca rendirme en los estudios y poder llegar a ser un modelo a seguir para ella.

Clara Estefany Tufiño Villena

## **AGRADECIMIENTO**

A mi familia por el gran apoyo que he recibido para poder concluir con esta investigación.

Edward Medrano Lahura

A mi familia, en especial a mis padres, Rodrigo y Eutropia, por su apoyo incondicional, comprensión y amor a lo largo de mi educación. Sin su respaldo, este logro no hubiera sido posible.

Clara Estefany Tufiño Villena

## ÍNDICE GENERAL

METADATOS COMPLEMENTARIOS .....	II
DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD .....	iii
INFORME DE ORIGINALIDAD–TURNITIN .....	iv
DEDICATORIA .....	v
AGRADECIMIENTO .....	vi
ÍNDICE GENERAL .....	vii
ÍNDICE DE TABLAS .....	x
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xii
RESUMEN .....	xvi
ABSTRACT .....	xvii
INTRODUCCIÓN .....	1
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	2
1.1 Descripción y formulación del problema general y específicos .....	2
1.2 Objetivo general y específico .....	2
1.2.1 Objetivo General .....	2
1.2.2 Objetivos Específicos .....	2
1.3 Delimitación de la investigación .....	3
1.3.1 Delimitación temporal .....	3
1.3.2 Delimitación Espacial .....	3
1.3.3 Delimitación Temática .....	3
1.4 Justificación .....	3
1.4.1 Teórica .....	3
1.4.2 Práctica .....	4
1.4.3 Social .....	4
1.5 Importancia del estudio.....	4
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO .....	5
2.1 Antecedentes del estudio de investigación .....	5
2.1.1 Internacionales .....	5
2.1.2 Nacionales .....	6
2.2 Bases teóricas.....	8
2.2.1 Sistema dual .....	8
2.2.2 Respuesta Estructural .....	11

2.2.3	Aisladores sísmicos	14
2.3	Definición de términos básicos.....	19
CAPÍTULO III: SISTEMA DE HIPÓTESIS .....		21
3.1	Hipótesis .....	21
3.1.1	Hipótesis general	21
3.1.2	Hipótesis específicas	21
3.2	Variables .....	21
3.2.1	Definición conceptual de las variables	21
3.2.2	Operacionalización de las variables	22
CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....		23
4.1	Tipo y nivel.....	23
4.1.1	Tipo de investigación	23
4.1.2	Nivel de investigación	23
4.2	Diseño de investigación.....	23
4.3	Población y muestra.....	23
4.3.1	Población	23
4.3.2	Muestra	24
4.4	Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	24
4.4.1	Tipos de técnicas e instrumentos	24
4.4.2	Criterios de validez y confiabilidad de los instrumentos	24
4.4.3	Procedimientos para la recolección de datos	25
4.5	Técnicas para el procesamiento y análisis de la información.....	25
CAPÍTULO V: RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....		26
5.1	Descripción general del proyecto .....	26
5.2	Planta del proyecto .....	27
5.1.1	Estructuración	28
5.3	Modelación de la estructura.....	31
5.3.1	Configuración estructural	31
5.4	Análisis sísmico de la estructura sin aisladores sísmicos .....	50
5.4.1	Análisis estático o Método de Fuerzas Equivalentes	50
5.4.2	Análisis dinámico espectral	62
5.5	Análisis sísmicos de la estructura con aisladores LRB .....	74
5.5.1	Reestructuración de diseño aislado	74
5.5.2	Diseño de aisladores elastoméricos	74



5.5.3	Análisis estático o de fuerzas equivalentes con aisladores.	81
5.5.4	Análisis dinámico modal-espectral con aisladores.	83
5.6	Resumen de resultados .....	90
5.5.1	Fuerzas sísmicas.	90
5.6.1	Derivas de piso	93
5.6.2	Fuerzas cortantes	95
5.6.3	Modo de vibración, períodos y frecuencias.	96
5.7	Discusión de resultados .....	98
5.7.1	Comparación de las fuerzas sísmicas	98
5.7.2	Comparación de las derivas de piso	100
5.7.3	Comparación de fuerzas cortantes	102
5.8	Contrastación de Hipótesis .....	104
5.8.1	Hipótesis general	104
5.8.2	Hipótesis específicas	104
	CONCLUSIONES .....	106
	RECOMENDACIONES .....	107
	REFERENCIAS .....	109
	ANEXOS .....	112
	Anexo A: Matriz de Consistencia .....	112
	Anexo B: Matriz de operacionalización de las variables de la investigación.....	113
	Anexo C: Cronograma de Actividades .....	114
	Anexo D: Presupuesto .....	115

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Distribución en Planta de los Ejes Principales en el Sentido X.....	27
Tabla 2	Distribución en Planta de los Ejes Principales en el Sentido Y.....	27
Tabla 3	Categoría de las Edificaciones y Factor U.....	51
Tabla 4	Sistemas Estructurales .....	52
Tabla 5	Factores de Zona "Z" .....	53
Tabla 6	Perfiles de Suelos.....	53
Tabla 7	Factor de Suelo "S" .....	54
Tabla 8	Períodos $T_p$ y $T_L$ .....	54
Tabla 9	Modos de vibración y masa participativa de la edificación.....	56
Tabla 10	Períodos fundamentales .....	57
Tabla 11	Resumen de los parámetros sísmicos obtenidos.....	59
Tabla 12	Cálculo de Masa y peso de la Edificación .....	60
Tabla 13	Masa Total de la edificación.....	60
Tabla 14	Distribución de la Fuerza sísmica en X e Y. ....	62
Tabla 15	Espectro de Respuesta X .....	63
Tabla 16	Espectro de Respuesta Y .....	64
Tabla 17	Factor de Escalamiento.....	73
Tabla 18	Verificación de la deriva de Entrepiso en X e Y .....	73
Tabla 19	Datos iniciales para el Diseño Preliminar del Aislador LRB .....	75
Tabla 20	Propiedades Nominales Aislador.....	79
Tabla 21	Propiedades mínimas del Aislador Modal _ FEM.....	79
Tabla 22	Propiedades máximas del Aislador Modal _ FEM.....	80
Tabla 23	Espectro de Respuesta eje X con amplificación .....	84
Tabla 24	Espectro de Respuesta Y con amplificación.....	85
Tabla 25	Desplazamiento por piso con aisladores.....	90
Tabla 26	Fuerza Sísmica Por Nivel de la Estructura sin Aisladores .....	92
Tabla 27	Fuerza Sísmica Por Nivel de la Estructura con Aisladores .....	92
Tabla 28	Desplazamiento Relativo en el Eje X – Análisis de NTP 030.....	93
Tabla 29	Desplazamiento Relativo en el Eje Y – Análisis de NTP 030.....	93
Tabla 30	Desplazamiento Relativo en el Eje X – Análisis de NTP 031.....	94
Tabla 31	Desplazamiento Relativo en el Eje Y – Análisis de NTP 031.....	94
Tabla 32	Fuerzas Cortantes en la Base - Estático.....	95
Tabla 33	Fuerzas Cortantes en la Base - Dinámico.....	95

Tabla 34 Comparación de las Cortantes Basal según NTP E.030.....	96
Tabla 35 Comparación de Fuerzas sísmicas por nivel de estructura en el eje X.....	98
Tabla 36 Comparación de Fuerzas sísmicas por nivel de estructura en el eje Y.....	99
Tabla 37 Comparación de Derivas de Entrepiso en el Eje X.....	100
Tabla 38 Comparación de Derivas de Entrepiso en el Eje Y.....	101
Tabla 39 Comparación de las Cortantes Basal según NTP E.030.....	102

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Ubicación de proyecto.....	3
Figura 2	Aislador sísmico elastomérico tipo LDR .....	15
Figura 3	Aislador sísmico elastomérico tipo HDRB. ....	15
Figura 4	Aislador elastomérico con núcleo de plomo (LRB).....	16
Figura 5	Aislador sísmico deslizante .....	17
Figura 6	Unidad de lámina de caucho .....	19
Figura 7	Ubicación de referencia satelital .....	26
Figura 8	Cuadro de columnas del proyecto multifamiliar Santa María.....	28
Figura 9	Cuadro de distribución de Placas .....	28
Figura 10	Estructuración de techo de sótano .....	29
Figura 11	Estructuración en Planta del Edificio Multifamiliar Santa María .....	30
Figura 12	Grillas de edificio con base fija en el software SAP 2000 v23 .....	32
Figura 13	Definición de Parámetros Mecánicos del Acero en el Sap2000 v 23 .....	32
Figura 14	Definición de Parámetros Físicos del Acero en el Sap2000 v 23 .....	33
Figura 15	Definición de Sección de Columna 01 25x45 de Concreto Armado en el Sap2000 v 23 .....	34
Figura 16	Definición de Sección de Columna 02 25x75 de Concreto Armado en el Sap2000 v 23.....	35
Figura 17	Definición de Sección de Columna 03 25x40 de Concreto Armado en el Sap2000 v 23.....	36
Figura 18	Definición de Sección de Columna 04 15x50 de Concreto Armado en el Sap2000 v 23.....	37
Figura 19	Definición de Sección de Columna 05 25x40 de Concreto Armado en el Sap2000 v 23.....	37
Figura 20	Definición de Sección de Columna 25 x40 de Concreto Armado en el Sap2000 v 23.....	38
Figura 21	Definición de Sección de Viga 15x40 de Concreto Armado en el Sap2000 v 23.....	39
Figura 22	Definición de Sección de Viga 15x50 de Concreto Armado en el Sap2000 v 23.....	39
Figura 23	Definición de Sección de Viga 15x60 de Concreto Armado en el Sap2000 v 23.....	40

Figura 24	Definición de Sección de Viga 20x50 de Concreto Armado en el Sap2000 v 23.....	41
Figura 25	Definición de Sección de Viga 20x55 de Concreto Armado en el Sap2000 v 23.....	41
Figura 26	Definición de Sección de Viga 25x50 de Concreto Armado en el Sap2000 v 23.....	42
Figura 27	Definición de Sección de Viga 25x80 de Concreto Armado en el Sap2000 v 23.....	42
Figura 28	Definición de Sección de Viga 35x80 de Concreto Armado en el Sap2000 v 23.....	43
Figura 29	Definición de Sección de Viga 45x80 de Concreto Armado en el Sap2000 v 23.....	44
Figura 30	Definición de Sección de Viga 50 x80 de Concreto Armado en el Sap2000 v 23.....	44
Figura 31	Definición de Muro de Contención e=25 cm de Concreto Armado en el Sap2000.....	45
Figura 32	Definición de Muro de Contención e=30 cm de Concreto Armado en el Sap2000.....	45
Figura 33	Definición de Placas e=15 cm de Concreto Armado en el Sap2000.....	46
Figura 34	Definición de Placas e=20 cm de Concreto Armado en el Sap2000.....	46
Figura 35	Definición de Placas e=25 cm de Concreto Armado en el Sap2000.....	47
Figura 36	Definición de Placas e=30 cm de Concreto Armado en el Sap2000.....	48
Figura 37	Vista Isométrica de Edificación Multifamiliar Santa Maria en el Sap2000..	48
Figura 38	Vista en Planta ( Eje XY) de Edificación Multifamiliar Santa Maria en el Sap2000.....	49
Figura 39	Vista en Elevación (Eje YZ) de Edificación Multifamiliar Santa Maria en el Sap2000.....	50
Figura 40	Ingreso de Factor de Ampliación Sísmica en X.....	58
Figura 41	Ingreso de Factor de Ampliación Sísmica en Y.....	59
Figura 42	Cortante Basal obtenido del Software Sap 2000.....	61
Figura 43	Espectro de Respuesta X.....	63
Figura 44	Espectro de Respuesta Y.....	64
Figura 45	Espectro de Respuesta en X ingresados al SAP2000.....	65
Figura 46	Espectro de Respuesta en Y ingresados al SAP2000.....	66

Figura 47 Combinación de Carga de Sismo Dinámico X.....	67
Figura 48 Combinación de Carga de Sismo Dinámico Y.....	68
Figura 49 Combinación de Carga de 1.4CM + 1.7CV .....	69
Figura 50 Combinación de Carga de 1.25CM + 1.25CV +1.25 SismDinX .....	69
Figura 51 Combinación de Carga de 1.25CM + 1.25CV +1.25 SismDinY .....	70
Figura 52 Combinación de Carga de 0.9 CM + 1.25 SismDinX.....	70
Figura 53 Combinación de Carga de 0.9 CM + 1.25 SismDinY.....	71
Figura 54 Combinación de Carga Envolvente.....	71
Figura 55 Resultados de la Cortante Dinámica y Estática en X e Y en la base.....	72
Figura 56 Fórmula de Escalamiento de Fuerzas .....	73
Figura 57 Componentes de Aislador con Núcleo de Plomo LASTO .....	74
Figura 58 Espectro de Diseño Horizontal (E-031) -1.5ZCSg.....	78
Figura 59 Espectro de Diseño Horizontal (E-031) -1.5ZCSg.....	80
Figura 60 Espectro de Diseño Horizontal (E-031) -1.5ZCSg.....	81
Figura 61 Modelación de Aislador en encuentro de Base de Columna y Muro de Contención. ....	82
Figura 62 Ingreso de datos de Aislador en el Sap2000.....	83
Figura 63 Espectro de Respuesta X amplificado por 1.5 Según NTP E.031.....	83
Figura 64 Espectro de Respuesta Y amplificado por 1.5 Según NTP E.031.....	85
Figura 65 Espectro de Respuesta en X ingresados al SAP2000 con factor de amplificación.....	86
Figura 66 Espectro de Respuesta en Y ingresados al SAP2000 con factor de amplificación.....	86
Figura 67 Definición de Carga de Sismo Dinámico X – NTP E031 .....	87
Figura 68 Definición de Carga de Sismo Dinámico Y – NTP E031 .....	88
Figura 69 Cuadro de Combinación de Cargas SAP 2000 con aisladores.....	89
Figura 70 Fuerza Sísmica Por Nivel de la Estructura Sin Aisladores .....	90
Figura 71 Fuerza Sísmica Por Nivel de la Estructura con Aisladores.....	91
Figura 72 Período y Frecuencia de la Estructura Sin Aisladores .....	96
Figura 73 Período y Frecuencia de la Estructura Con Aisladores .....	97
Figura 74 Comparación de Fuerzas sísmicas por nivel de estructura en el eje X.....	99
Figura 75 Comparación de Fuerzas sísmicas por nivel de estructura en el eje Y.....	100
Figura 76 Comparación de Derivas de Entrepiso en el Eje X .....	101
Figura 77 Comparación de Derivas de Entrepiso en el Eje Y .....	102

Figura 78 Distribución de fuerzas sísmicas en Eje x .....	103
Figura 79 Distribución de fuerzas sísmicas en Eje y .....	103

## RESUMEN

El propósito de este estudio fue llevar a cabo un análisis comparativo de la respuesta estructural de un edificio multifamiliar de 5 pisos, ubicado en el distrito de Santa María del Mar, que cuenta con un sistema dual y aisladores sísmicos. Esto se hizo en consideración de la importancia vital de garantizar una transmisión adecuada de esfuerzos y un aislamiento efectivo de estructuras en la ciudad de Lima, dado que esta se halla en una región de alta sismicidad. Como resultado, los hallazgos de esta investigación se revelarán de gran utilidad para los desarrolladores inmobiliarios que busquen incorporar dispositivos aisladores en sus proyectos.

La investigación que se ha desarrollado es de tipo aplicada con enfoque cuantitativo y con diseño transversal no experimental. Como instrumento principal se utilizó el programa SAP 2000 v23 y Normas Técnicas Peruanas para el diseño, además del Excel para la recolección de datos y comparación de resultados finales.

Los resultados dieron a conocer que la fuerza sísmica direccionada a la estructura en comparación con la inclusión de los aisladores se redujo en 6.465% para el sentido X e Y, además, la fuerza sísmica en X en su nivel más crítico pasó de 97.13 Ton a 90.86 Ton, y la fuerza sísmica en Y, pasó de 226.65 Ton a 212.01 Ton, lo cual implica un mejor desempeño de la estructura ante un evento sísmico.

Ante esto se llegó a la conclusión, que la edificación multifamiliar ubicada en Santa María del Mar, obtendrá una mejor respuesta sísmica, dado que, sus valores de desplazamiento, período y fuerzas sísmicas disminuyen con la inclusión de los dispositivos aisladores.

*Palabras Claves:* Aisladores Sísmicos, Derivas de Entrepiso, SAP 2000, sistema dual, respuesta estructural.



## **ABSTRACT**

The purpose of this study was to carry out a comparative analysis of the structural response of a 5-story multifamily building, located in the district of Santa Maria del Mar, which has a dual system and seismic isolators. This was done in consideration of the vital importance of ensuring adequate stress transmission and effective isolation of structures in the city of Lima, given that it is located in a region of high seismicity. As a result, the findings of this research will prove to be of great use to real estate developers seeking to incorporate isolation devices in their projects.

The research that has been developed is of an applied type with a quantitative approach and a non-experimental cross-sectional design. The main instrument used was the SAP 2000 v23 program and Peruvian Technical Standards for the design, in addition to Excel for data collection and comparison of final results.

The results showed that the seismic force directed to the structure in comparison with the inclusion of the isolators was reduced by 6.465% in the X and Y directions; in addition, the seismic force in X at its most critical level went from 97.13 tons to 90.86 tons, and the seismic force in Y went from 226.65 tons to 212.01 tons, which implies a better performance of the structure in the event of a seismic event.

It was concluded that the multifamily building located in Santa Maria del Mar will obtain a better seismic response, since its displacement, period and seismic forces values decrease with the inclusion of the isolator devices.

*Keywords:* Seismic Isolators, Mezzanine Drifts, SAP 2000, dual system, structural respons

## INTRODUCCIÓN

Como resultado del avance tecnológico y la investigación de la ingeniería antisísmica, los aislantes sísmicos son uno de los métodos desarrollados en las estructuras para mantener su rendimiento bajo aceleraciones producidas por un sismo, ya que los terremotos son un fenómeno natural que, dependiendo de su magnitud, puede tener efectos sustanciales drásticamente negativos en la sociedad generando un grave peligro. (Stuardi et al, 2005). Los dispositivos denominados aislantes sísmicos se fabrican para disminuir la reacción sísmica de un edificio ante un terremoto. Estos dispositivos, que funcionan como piezas flexibles, proporcionan un movimiento relativo entre la estructura y el suelo durante un evento sísmico ya que se instalan entre la base de la estructura y sus elementos de soporte. (Genatios et al, 2016).

Debido a lo mencionado anteriormente, esta investigación se centra en llevar a cabo una evaluación comparativa de la respuesta estructural de un edificio de cinco pisos con un sistema dual y aisladores sísmicos en Santa María del Mar. El objetivo es comprender y analizar la efectividad de los aisladores en la base del edificio y cómo contribuyen a mejorar el comportamiento estructural de la construcción. Además, se busca hacer una contribución positiva promoviendo la inclusión de estos dispositivos de disipación, con el propósito de mejorar la capacidad de respuesta ante eventos sísmicos, reducir la pérdida de vidas y minimizar los costos de reparación posterior a un desastre.

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

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

El Perú cuenta con un gran potencial sísmico debido a su ubicación en el conocido "Cinturón de Fuego del Pacífico", una región donde se produce la liberación de una gran cantidad de energía acumulada. (Instituto Geofísico del Perú, 2023). Por ello, resulta importante un correcto análisis y estructuración de la edificación.

Como lo hace notar Alarcón et al (2018), durante un terremoto, una gran cantidad de energía se transfiere a la estructura, la cual se convierte en energía cinética y energía potencial de deformación. Estas formas de energía deben ser absorbidas por la estructura para su estabilidad. El diseño convencional de resistencia sísmica se basa en que la estructura sea capaz de absorber y disipar la energía de manera estable. La liberación de esta energía ocurre principalmente en las zonas de juntas plásticas dúctiles, donde el daño es permanente e irreparable, pero se asegura la continuidad de la edificación y se evita la pérdida de vidas. Esta concepción de diseño es aceptada, dado que resulta más económico que introducir elementos de grandes dimensiones que generen una total rigidez y resistencia a la estructura.

Por tal motivo, resulta fundamental la integración de elementos estructurales que puedan generar rigidez y dispositivos que actúen como liberadores de energía ante una sollicitación sísmica.

### **1.2 Objetivo general y específico**

#### ***1.2.1 Objetivo General***

Realizar el análisis comparativo de la respuesta estructural de un edificio multifamiliar de 5 pisos con sistema dual y con aisladores sísmicos en Santa María del Mar.

#### ***1.2.2 Objetivos Específicos***

- a) Modelar los desplazamientos, derivas y esfuerzos con el sistema dual y con aisladores sísmicos con el software SAP 2000 v23.
- b) Realizar el diseño optimizado de la estructura.
- c) Realizar el análisis estructural del edificio con ambos sistemas con el uso de hojas de cálculo Excel.

### 1.3 Delimitación de la investigación

#### 1.3.1 Delimitación temporal

La investigación se realizará en el presente año 2023 durante el periodo comprendido entre los meses de mayo hasta noviembre.

#### 1.3.2 Delimitación Espacial

El proyecto con fines de vivienda multifamiliar de la presente investigación está ubicado en Calle Los Merlines Mz. Q Lote Q2, en el distrito de Santa María del Mar, con coordenadas Sur 12 24'24.4" Oeste 76 46'29.6"

En la figura 1 se muestra en imagen satelital a través de Google Earth Pro la ubicación del proyecto.

### Figura 1

*Ubicación de proyecto*



*Nota.* Extraído de Google Earth Pro.

#### 1.3.3 Delimitación Temática

La presente investigación se limita al análisis y desempeño estructural de la edificación, específicamente al comportamiento de la estructura al introducir elementos aisladores en la cimentación.

### 1.4 Justificación

#### 1.4.1 Teórica

La presente investigación se justifica de manera teórica, dado que, se estudia y analiza a la estructura con la inclusión de los aisladores sísmicos en la base, dando como resultado

que la edificación se comporte en el rango lineal, lo cual aumenta el tiempo de vida de la estructura y se reduce la reparación de elementos.

#### ***1.4.2 Práctica***

La presente investigación se justifica de manera práctica ya que se analizará a los aisladores en la base y como mejoran el comportamiento estructural de la edificación.

Asimismo, es un aporte positivo para la inclusión de estos elementos de disipación con la finalidad que el resultado ante una sollicitación sísmica mejore y disminuya la pérdida de vidas y el costo de reparación post-desastre sea mucho menor.

#### ***1.4.3 Social***

La presente investigación se justifica de manera social, dado que, la inclusión de estos elementos ayudará a mejorar el comportamiento sísmico y es necesario debido a la creciente ola de expansión de edificios de manera vertical, los cuales debido a su geometría dificultan la evacuación del mismo y que durante la ocurrencia sísmica deberán poder continuar operando y garantizando la vida de las 60 personas que habitan el edificio multifamiliar.

### **1.5 Importancia del estudio**

Con el objetivo de mejorar la seguridad de las estructuras frente a los efectos de los terremotos, han surgido sistemas de disipación de energía como una opción confiable y efectiva en el diseño estructural de edificios. Estos sistemas representan estrategias de diseño y refuerzo que actúan como sistemas de protección sísmica, permitiendo mejorar el rendimiento de los edificios durante un terremoto.

Además, esta investigación sirve de guía para los 1251 habitantes de Santa María del Mar ya que reduce las construcciones informales en el Perú que no son diseñadas por un ingeniero civil el que resulta un grave peligro de colapso ante una eventual sollicitud sísmica.

## CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.1 Antecedentes del estudio de investigación

#### 2.1.1 Internacionales

Gonzales (2020) en su investigación titulada “Análisis del comportamiento estructural y viabilidad económica del aislamiento sísmico de base en dos edificios de concreto reforzado ubicados en zona de actividad sísmica alta en Colombia. Estudios de caso: Clínica “Villa Clemencia” y edificio residencial “Venetto””. Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales, Colombia. Tesis para optar al título de Magister en Estructuras. El objetivo consistió en examinar cómo se comportan estructuralmente y si resulta viable económicamente aplicar el aislamiento sísmico de base en dos edificios localizados en una zona con una alta incidencia de actividad sísmica. Para lograrlo, se llevó a cabo una comparación entre el diseño de los edificios con y sin aislamiento. Los resultados de la investigación mostraron que la estructura aislada fue sometida a aceleraciones de unos 4 m/s<sup>2</sup> (0,48 g) mientras que la estructura de base fija fue sometida a aceleraciones de 15,2 m/s<sup>2</sup> (1,55 g). Según estos datos, la estructura aislada acelera 3,7 veces más despacio que la estructura de base fija. En el nivel con aisladores, la fuerza cortante en la base fue de 1930 toneladas, mientras que fue de 9213 toneladas en la estructura de base fija. Esto demuestra que la fuerza cortante del suelo de la estructura aislada es aproximadamente 4,7 veces menor que la de la estructura de base fija. Los resultados de la investigación demuestran que las estructuras de base fija tienen un comportamiento significativamente más desfavorable que las estructuras con aislamiento sísmico en la base, y que se puede lograr un mejor control de las deformaciones sin utilizar muros estructurales, cumpliendo al mismo tiempo todos los requisitos del código de diseño. Esta investigación nos permite examinar cómo los aisladores sísmicos impactan en la respuesta estructural en la cubierta.

Cando et al (2020) realizaron una investigación titulada “Estudio del comportamiento dinámico de modelos estructurales con base empotrada y con aisladores sísmicos, sometidas a diferentes eventos sísmicos simulados en la mesa de vibración XY Shake Table III”. Universidad Central del Ecuador, Ecuador. Tesis para obtener el título de Ingeniero Civil. Su objetivo principal es comparar las respuestas máximas de aceleración y desplazamiento, así como los períodos fundamentales, de tres modelos experimentales con bases empotradas y aisladores sísmicos. Los datos adquiridos proporcionaron las aceleraciones del último piso, que se utilizaron para calcular los desplazamientos. Para

cada uno de los modelos examinados, se identificó el período fundamental mediante la transformada de Fourier. Una vez determinadas las características de los aisladores experimentales, se elaboraron las correspondientes curvas de histéresis. Se determinó que había un descenso considerable de las aceleraciones y los desplazamientos en el último piso, así como un aumento del período fundamental, cuando se compararon los resultados de los modelos con y sin aislamiento sísmico para esas variables. Esto implica que los aislantes actuaron de forma coherente con los aislantes reales. En conclusión, se descubrió que añadir un dispositivo de aislamiento sísmico hace que la demanda de aceleración disminuya significativamente. En cuanto a los registros sísmicos, se observó una reducción promedio del 64,109% en el modelo 1, del 45,659% en el modelo 2 y del 65,485% en el modelo 3. Se concluye que esta tesis nos aporta la determinación de los desplazamientos y aceleraciones y la importancia de realizar modelos experimentales para verificar las actualizaciones de las normas en diseño sismorresistente.

Taboada (2020) realizó una tesis titulada “Estudio comparativo del empleo de aisladores en edificaciones esenciales siguiendo la propuesta de norma sísmica de Guayaquil”. Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, Ecuador. El objetivo era comparar cuantitativamente las variaciones en la aplicación de la recomendación de la norma sísmica de Guayaquil para el uso de aisladores sísmicos en estructuras importantes. Los resultados obtenidos en la tesis revelan que la cortante basal de la estructura con base fija es 2.88 veces mayor que la de la estructura aislada. En términos de desplazamientos, la estructura aislada presenta desplazamientos similares en todos los pisos, mientras que en la otra estructura los desplazamientos aumentan en cada piso superior. En cuanto a los costos, la estructura aislada tiene un costo 1.61 veces mayor que la estructura sin aislar. Los resultados de la investigación indican que, aunque la estructura con aislamiento sísmico tiene un mayor costo, ofrece beneficios significativos en términos de reducción de daños y mejora de la habitabilidad del edificio. En resumen, la tesis proporciona criterios para el diseño de edificaciones y la comparación de la respuesta estructural en un suelo altamente sísmico en Guayaquil.

### **2.1.2 Nacionales**

Melendrez et al (2020) realizaron una tesis titulada “Análisis comparativo de un edificio con cuatro tipos de aisladores sísmicos en el distrito de la Victoria”. La investigación es de tipo aplicada con enfoque cuantitativo. Para identificar qué tipo de aislante genera un rendimiento superior, fue necesario examinar el rendimiento producido en una estructura

de trece pisos utilizando cuatro tipos distintos: aislantes de núcleo de plomo (LRB), aislantes de alto amortiguamiento (HDR), aislantes de péndulo simple (FPS) y aislantes de péndulo triple (FPT). Los resultados mostraron que el aislador FPT proporciona a la estructura una mayor capacidad para desplazar y dispersar la energía bajo demandas sísmicas, con una capacidad de desplazamiento de hasta 30 pulgadas y derivas máximas de 0,0047. Por lo tanto, se puede decir que este aislador es el mejor para la estructura en particular, y se aconseja su uso. En consecuencia, se demostrará además que este aislador es la mejor opción para la estructura considerada. Esta tesis nos brinda una visión clara para comprender la importancia de seleccionar y diseñar adecuadamente un sistema de aislamiento sísmico para mejorar la respuesta durante eventos sísmicos y reducir el riesgo de daños. Además, destaca la utilidad de los análisis lineales y no lineales en la verificación de parámetros críticos, como las derivadas y las fuerzas actuantes, para garantizar un comportamiento seguro y compatible con una estructura aislada.

Frances et al (2020) realizaron una investigación titulada “Resiliencia en edificaciones con aisladores sísmicos”. Artículo científico: Universidad Ricardo Palma. El objetivo era contrastar los resultados de los escenarios sísmicos con los resultados de no utilizar aisladores sísmicos. En este estudio se adoptó una metodología descriptiva-comparativa. Los resultados revelaron que el edificio con aislamiento sísmico logró disipar la energía sísmica, lo cual se reflejó en una reducción significativa de las aceleraciones en ambos sentidos. Específicamente, en el eje x se obtuvo una disminución del 90,91%, mientras que en el eje y fue del 75,95%. Del mismo modo, se observó una disminución en los desplazamientos de un 88,56% y 73,44% respectivamente. La conclusión final es que los aisladores sísmicos desempeñan un papel crucial en la respuesta sísmica de un edificio, ya que reducen significativamente las aceleraciones y los desplazamientos. Además, previenen la pérdida de vidas, daños estructurales y el colapso de las edificaciones. Esta tesis nos brinda una comprensión clara de la importancia de los aisladores sísmicos en la protección y seguridad de las edificaciones ante eventos sísmicos. Nos muestra que los aisladores sísmicos desempeñan un papel fundamental al reducir las aceleraciones y los desplazamientos, lo cual contribuye a prevenir pérdidas humanas, daños estructurales y el colapso de los edificios. Estos hallazgos subrayan la relevancia de considerar e implementar medidas de aislamiento sísmico en el diseño y construcción de edificaciones en áreas propensas a sismos, con el objetivo de mejorar su capacidad de resistencia y proteger la vida de las personas.



Vidaurre (2021) realizó una tesis titulada “Análisis sísmico de una estructura de concreto armado de ocho niveles con y sin aisladores sísmicos, Lince, Lima - 2021”. El objetivo general fue comparar un edificio de hormigón armado de ocho pisos en Lince, Lima, 2021 con y sin aisladores sísmicos en términos de análisis sísmico. La metodología empleada incluyó un diseño experimental. De acuerdo a los datos, la estructura con aisladores pendulares de doble fricción redujo la deriva en 37.62% mientras que la estructura con aisladores elastoméricos con núcleo de plomo redujo la deriva en 50.16%. Esta diferencia significativa entre las dos estructuras es del 12,54%. La conclusión final de la investigación fue que la estructura que utiliza aisladores elastoméricos con núcleo de plomo presenta mejores resultados que la estructura que emplea aisladores pendulares de doble fricción. Además, se demostró que un evento sísmico de gran magnitud causaría graves daños a la estructura. Esta tesis nos proporciona detalles importantes sobre el comportamiento de dos tipos diferentes de aislantes sísmicos en comparación con otros en una estructura. Esto nos permite tomar decisiones informadas al seleccionar el tipo de aislador más adecuado para mejorar la respuesta sísmica de una estructura.

## **2.2 Bases teóricas**

### **2.2.1 Sistema dual**

Según Velarde et al (2022) Un muro cortante, que se encarga de contener la mayor parte de las presiones cortantes producidas por eventos sísmicos u, ocasionalmente, por el viento en edificios de gran altura, forma parte del sistema dual, un sistema estructural que combina la resistencia de pórticos de hormigón armado o acero para soportar cargas gravitatorias. La rigidez, el módulo elástico y la ductilidad de estos elementos, en ese orden, determinan cómo se distribuye la carga entre ellos. (p. 75)

La capacidad del sistema dual para disipar la energía histerética durante un terremoto importante demuestra que es esencial para la estructura de cualquier edificio. En nuestro caso, la estructura cumple la normativa especificada porque está construida con un sistema dual que combina pórticos y muros de cortante. Estos requisitos establecen que entre el 20% y el 70% de la fuerza cortante presente en la base del edificio debe ser absorbida por los muros de corte. (Reglamento Nacional de Edificaciones, 2018)

Para nuestra investigación se realizará el siguiente procedimiento:

**Estructuración.** Según De La Torre (2009), estructurar un edificio implica distribuir y disponer los elementos estructurales de forma adecuada, en la medida en que la arquitectura lo permita, para tener una estructura lo más sencilla y uniforme posible.

**Predimensionamiento.** El proceso de "predimensionado" consiste en proporcionar una dimensión preliminar o final de acuerdo con las directrices y normas que se han establecido en base a la experiencia del ingeniero "Antonio Blanco Blasco" y lo exigido por la "Norma Técnica de Edificaciones E060" de Hormigón Armado u otros requisitos arquitectónicos y de ocupación.

### **Vigas**

$$h = \frac{L}{10} \geq 0.25m$$

$$h = \frac{L}{12} \geq 0.25m$$

$$b = 0.30 h @ 0.5h \geq 0.25m$$

Donde: b=Base de la viga

h=Peralte de la viga

L= Longitud más crítica (entre ejes de columnas)

### **Columnas**

$$\text{Área de columna} = \frac{P_{servicio}}{0.45} x f'c$$

$$P_{servicio} = AT x P x n$$

Columnas exteriores

$$\text{Área de columna} = P_{servicio} x 0.35 x f'c$$

**Muros estructurales.** De acuerdo con la Norma Nacional, el espesor del alma de los muros de cortante no puede ser inferior a 1/25 de la altura entre elementos portantes laterales ni inferior a 150 mm, excepto para los sistemas de muros estructurales con ductilidad limitada, donde se requiera un espesor mínimo del alma de 100 mm, además establece que el espesor mínimo del muro de cortante del sótano debe ser de 200 mm cuando se convierte en muro de contención exterior. Además, el muro debe construirse teniendo en cuenta las acciones perpendiculares a su plano. (Norma Técnica de Edificación, E.060 Concreto armado, 2009, capítulo 14).

**Losas aligeradas.** En la Tabla 9.1 de la Norma Nacional donde establece que en losas aligeradas continuos formados por viguetas de 10 cm de ancho, bloques de ladrillo de 30 cm de ancho y losa superior de 5 cm de alto, con sobrecargas inferiores a 300 kg/m<sup>2</sup> y

luces inferiores a 7,5 m, el peralte debe cumplir con los siguiente requisitos y fórmula (Norma Técnica de Edificación, E.060 Concreto armado, 2009, capítulo 9).

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

Donde:

h= Peralte de viga

L= Longitud más crítica (entre ejes de columnas)

**Losas macizas.** Según la Norma Técnica de Concreto Armado E.060, en losas macizas continuas con sobrecargas menores a 300 kg/m<sup>2</sup> y luces menores de 7,5 m, podrá dejar de verificarse las deflexiones (Norma Técnica de Edificación, E.060 Concreto armado, 2009, capítulo 9). Se usó las siguientes fórmulas:

$$h = \frac{Ln}{40}$$

Donde:

Ln= Longitud más crítica de los lados de la losa

**Escaleras.** En cuanto a los pasos y contrapasos, cada tramo de escalera debe tener un máximo de 18 contrapasos, de 16 a 18 cm, y 17 peldaños, de 28 a 30 cm, de acuerdo con la Normativa de Edificación para uso de Vivienda.

Respecto a el descanso de escalera, la dimensión de los descansos deberá tener un mínimo de 0.90m.

**Modelamiento.** Este estudio abarca los procesos de modelado estructural con el software SAP 2000 v23, que proporciona más comodidad y rapidez a la hora de modelar una estructura. La interfaz del programa se incluye en este proceso porque herramientas más fáciles de usar equivalen a mejores resultados.

**Cargas.** La Norma Técnica Nacional de Cargas E.020 (2006) establece que la densidad de los materiales a utilizar en la estructura para el cálculo de la carga muerta se encuentra en sus anexos, junto con valores específicos de la carga viva mínima distribuida en las plantas, en función de la finalidad del edificio.

**Carga Muerta.** El Reglamento Nacional de Edificaciones E.020 (2006) establece que las cargas muertas -que se tratarán más adelante- serán los forjados, la albañilería, los

tabiques, los antepechos y el acristalamiento. Las cargas muertas se definen como el peso de los materiales, dispositivos de servicio, equipos, tabiques y otros elementos soportados por el edificio, incluido su propio peso.

**Carga viva.** Es el peso combinado de todos los habitantes del edificio, materiales, mobiliario, equipos y otros componentes móviles soportados por la estructura, tal y como se establece en la Norma Nacional de Edificaciones E.020 (2006).

**Empuje lateral de suelos.** Es importante tener en cuenta cómo afectará el suelo a las estructuras que soportan cargas de suelo, como los muros de los sótanos.

**Diseño Sismorresistente.** Para determinar las fuerzas sísmicas últimas y garantizar que la estructura es capaz de soportarlas, el diseño sismorresistente tiene en cuenta principalmente las fuerzas sísmicas en un análisis lineal.

a) Análisis preliminar

- ✓ Factor de zona (Z)
- ✓ Parámetros de sitio (S, T<sub>p</sub>, T<sub>L</sub>)
- ✓ Período fundamental de vibración
- ✓ Factor de amplificación sísmica (C)
- ✓ Categoría de la edificación y factor de uso (U)
- ✓ Coeficiente básico de reducción de las fuerzas sísmicas (**R<sub>u</sub>**)
- ✓ Regularidad estructural
- ✓ Factor de irregularidad en planta (I<sub>p</sub>)
- ✓ Factor de irregularidad en altura (I<sub>a</sub>)
- ✓ Restricciones de irregularidad
- ✓ Coeficiente de reducción de las fuerzas sísmicas (R)

### 2.2.2 Respuesta Estructural

#### **Métodos de análisis sísmicos:**

a) Análisis estático o de fuerzas estáticas equivalentes

La fuerza cortante en la base de la estructura se determina utilizando el método de análisis estático de acuerdo con el coeficiente de cortante sísmico especificado en las normas aplicables, y estas fuerzas se distribuyen a continuación en cada nivel del edificio. Este método resuelve esencialmente la ecuación  $f=k/u$ , donde “f” es la fuerza aplicada, “k” es la rigidez de la estructura y “u” son los desplazamientos provocados por la fuerza. (Alcívar et al, 2021)

Para proceder con este análisis en la investigación, requerimos de los siguientes conceptos:

**Masa de la edificación (P).** En la Norma Nacional de Edificaciones E.030 establece que debe añadirse un porcentaje de la carga viva o sobrecarga a las cargas permanentes y totales del edificio para determinar el peso. Se tomará el 50% de la carga viva para edificios de categoría A, el 25% para cubiertas y tejados, y el 100% de la carga que pueda contenerse para estructuras de tanques y estructuras similares.

**Cortante Estático de la base (V).** Las fuerzas sísmicas horizontales en cualquier nivel  $i$ , que corresponde a la dirección considerada, se calcularán mediante: Distribución de fuerzas sísmicas en altura.

$$f_h = \frac{1}{T_{abj}} H_z$$

Donde  $n$  es el número de plantas del edificio y  $k$  es un exponente que se calcula mediante la siguiente fórmula para representar el periodo fundamental de vibración de la estructura ( $T$ ) en la dirección considerada:

Para  $T$  menor o igual a 0,5 segundos:  $k = 1,0$ .

Para  $T$  mayor que 0,5 segundos:  $k = (0,75 + 0,5 T) \leq 2,0$

**Excentricidad accidental.** Se supondrá que la fuerza en cada nivel ( $F_i$ ) actúa en el centro de masa del nivel correspondiente, de acuerdo con la Norma Técnica Nacional de Diseño Sismorresistente E.030 (2018) para estructuras con diafragmas rígidos. Se debe considerar el efecto de las excentricidades accidentales (en cada dirección de análisis) además de la excentricidad propia de la estructura de la siguiente manera:

En el centro de masas de cada nivel, además de la fuerza lateral estática actuante, se aplicará un momento torsor accidental ( $M_{ti}$ ) que se calcula como:

$$M_{ti} = \pm F_i * e_i$$

La excentricidad accidental en cada nivel ( $e_i$ ) para cada dirección de análisis se tendrá en cuenta como 0,05 veces la dimensión del edificio en la dirección perpendicular a la dirección de análisis.

## **b) Análisis dinámico modal espectral.**

Según Alcívar et al (2021), afirman que este tipo de estudio supone considerar las fuerzas, desplazamientos, velocidades y aceleraciones que se producen en una estructura como consecuencia de los movimientos y deformaciones que experimenta el edificio. El concepto de superposición puede aplicarse para tratar situaciones más sencillas de la estructura cuando ésta se concibe como un sistema lineal, lo que simplifica este análisis en la mayoría de los casos. La configuración de la estructura, tanto en su plano horizontal como en su altura vertical, afecta a este proceso.

Para proceder con este análisis en la investigación, requerimos de los siguientes conceptos:

**Modos de vibración.** La Norma Técnica Nacional de Diseño Sismorresistente E.030 (2018) establece que para identificar los modos de vibración se puede utilizar un proceso de análisis que tenga en cuenta adecuadamente las propiedades de rigidez y la distribución de masas. Deben tenerse en cuenta al menos los tres primeros modos predominantes en la dirección de análisis. En cada dirección, deben tenerse en cuenta los modos de vibración cuya suma de masas efectivas sea igual o superior al 90% de la masa total.

**Aceleración espectral.** La Norma Técnica Nacional de Diseño Sismorresistente E.030 (2018) establece que existe un espectro inelástico de pseudoaceleraciones definido por lo siguiente para cada una de las direcciones horizontales bajo análisis:

$$S_{\alpha} = \frac{ZxUxCxS}{R} xg$$

Donde:

$S_{\alpha}$ =Aceleración espectral

g=Aceleración de la gravedad

Para el análisis en dirección vertical puede utilizarse un espectro con valores iguales a 2/3 del espectro utilizado para las direcciones horizontales.

**Fuerza cortante mínima.** La Norma Técnica Nacional de Diseño Sismorresistente E.030 (2018) establece que la fuerza cortante en el primer entrepiso de la edificación no puede ser menor al 80% del valor determinado utilizando el numeral 4.5 para estructuras regulares o menor al 90% para estructuras irregulares para cada dirección considerada durante el análisis.

**Excentricidad accidental.** La aplicación del esfuerzo cortante dinámico requiere la misma consideración que la aplicación del esfuerzo cortante estático, que consiste en aplicar el esfuerzo en el centro de masa con una excentricidad.

### **2.2.3 Aisladores sísmicos**

**Antecedentes.** Los terremotos son un fenómeno natural que, dependiendo de su magnitud, puede tener efectos sustanciales y drásticamente negativos en la sociedad. La susceptibilidad de las estructuras a los terremotos puede suponer un grave peligro. Los aislantes sísmicos son uno de los métodos desarrollados en las estructuras para mantener su rendimiento bajo las aceleraciones producidas por los terremotos como resultado del avance tecnológico y la investigación de la ingeniería antisísmica (Stuardi et al, 2005).

**Concepto.** Los dispositivos denominados aislantes sísmicos se fabrican para disminuir la reacción sísmica de un edificio ante un terremoto. Estos dispositivos, que funcionan como piezas flexibles que proporcionan un movimiento relativo entre la estructura y el suelo durante un evento sísmico, se instalan entre la base de la estructura y sus elementos de soporte. (Genatios et al, 2016).

Oviedo (2009) refiere que los aisladores sísmicos tienen como efecto aumentar el período fundamental de las estructuras, el cual se encuentra en la parte inferior del espectro de diseño. Además, contribuye a una notable reducción del cortante basal en comparación con una estructura de base fija.

#### ***Tipos de aisladores:***

##### **a) Aisladores Elastoméricos:**

Según Genatios et al (2016), son aquellos que pueden soportar deformaciones laterales significativas. Su característica forma cilíndrica proviene de su composición de capas de materiales flexibles, en particular láminas de acero o caucho vulcanizado. Se caracterizan por la capacidad de resistencia a las cargas verticales. Por otro lado, la inclusión de núcleos de plomo permite deformaciones significativas y puede dar lugar a una elevada amortiguación. Esta categoría incluye diversos tipos de dispositivos elastoméricos, entre ellos:

##### **✓ *Aislador elastomérico de bajo amortiguamiento (LDR)***

Según la CDT (2011), entre la variedad de aislantes elastoméricos, estos son los más fundamentales. Dado que oscilan en un rango del 2 al 5%, su principal característica es

la baja amortiguación. Por esta razón, su uso suele combinarse con la adición de disipadores de energía.

En la figura 2 se muestra el aislador sísmico LRD el cual corresponde al de bajo rendimiento, el cual se visualiza que no cuenta con núcleo.

### **Figura 2**

*Aislador sísmico elastomérico tipo LDR*



*Nota.* Extraído de CDT, 2011

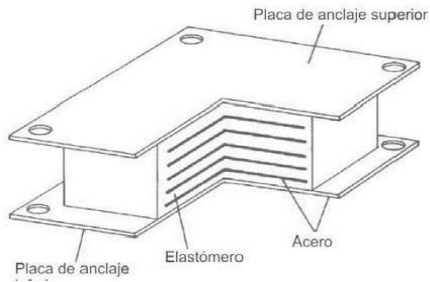
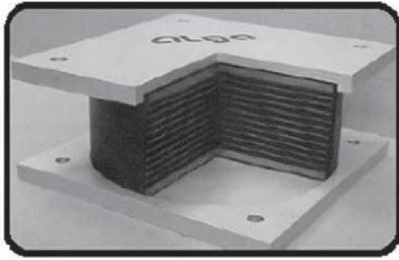
### ✓ *Aislador elastomérico de alto amortiguamiento (HDR):*

Según Mullo (2014), este tipo de aislante es similar a otros aislantes elastoméricos en cuanto a cómo se intercalan las láminas de caucho y acero, pero se diferencia en que se añaden capas de caucho para darle más flexibilidad y rigidez como se muestra en la figura 3. La principal distinción es la gran amortiguación que se consigue mediante la adición de productos químicos.

### **Figura 3**

*Aislador sísmico elastomérico tipo HDRB.*





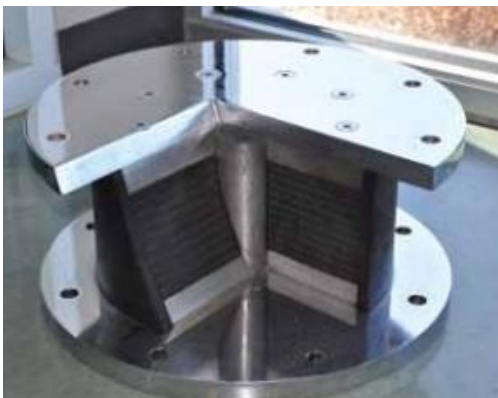
*Nota.* Fuente, Rico y Chio 2012

✓ ***Aislador elastomérico con núcleo de plomo (LRB)***

Luque (2016) afirma que este tipo de aislantes conservan la configuración de las láminas de acero y caucho que ya existen, al tiempo que añaden un núcleo de plomo en la sección central para aumentar la amortiguación entre un 25 y un 30%. En la figura 4 se muestra el aislador elastomérico el cual se observa el núcleo y que son capaces de restituirse, o volver a su posición original, ante un evento sísmico, lo que los prepara para soportar un nuevo evento sísmico.

**Figura 4**

*Aislador elastomérico con núcleo de plomo (LRB)*



*Nota.* Extraído de CDT, 2011

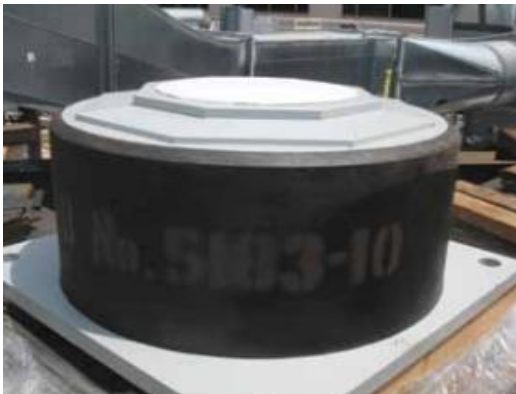
b) Aislador sísmico deslizante o “Sliders”

Según Janampa (2018), estos aisladores consisten en placas de acero paralelas con una placa de acero recubierta de polietileno fluorado que se desliza a través de ellas. Además, afirman que estos deslizadores no limitan el desplazamiento relativo entre las superficies en contacto cuando las fuerzas laterales superan la fuerza de fricción estática, lo que significa que no se crea capacidad de restitución y la superficie no vuelve a su posición inicial.

En la figura 5 a continuación se muestra el aislador sísmico deslizante y se aconseja utilizar este tipo de dispositivos en combinación con otros, como los elastómeros.

### **Figura 5**

*Aislador sísmico deslizante*



*Nota.* Extraído de CDT, 2011

***Parámetros de diseño de un aislador.*** El modelo bilineal se emplea para representar la conexión entre la fuerza de corte y el desplazamiento lateral. Se puede describir mediante tres parámetros que capturan de manera efectiva las propiedades mecánicas de los aisladores y proporcionan información sobre la respuesta no lineal de un aislador.

✓ ***Rigidez elástica ( $K_e$ )***

Puede calcularse como un múltiplo de la rigidez posterior a la fluencia a partir de un ciclo de histéresis derivado de ensayos de aisladores con núcleo de plomo y elastoméricos.

✓ ***Fuerza característica ( $Q$ )***

✓ La fuerza en ausencia de desplazamientos iniciales se puede determinar a partir de un ciclo de histéresis en el caso de los aisladores elastoméricos, mientras que, en los aisladores con núcleo de plomo, se deriva del esfuerzo de fluencia del plomo.

✓ ***Rigidez post fluencia ( $K_p$ )***

Dependiendo de las características del caucho, se pueden utilizar pruebas experimentales para estimar la rigidez posterior a la fluencia.

**Características físicas y mecánicas de aisladores.** Muchos investigadores han desarrollado predicciones sencillas basadas en la teoría elástica, que se han verificado mediante laboratorios de ensayo y, más recientemente, análisis de elementos finitos. Las características mecánicas de los aislantes elastoméricos se han estudiado durante décadas, pero los análisis precisos mediante técnicas no lineales son bastante difíciles (Naeim et al, 1999, p. 93).

- ✓ **Rigidez horizontal ( $K_h$ ):** La rigidez horizontal es una característica importante para este tipo de aisladores y se calcula de la siguiente manera:

$$K_H = \frac{GA}{T_r}$$

Donde:

G: Módulo de corte del caucho

A: Área de la sección transversal del aislador

$T_r$ : Espesor total del caucho

- ✓ **Rigidez vertical ( $K_v$ ):** La rigidez vertical de los aislantes elastoméricos es una rigidez adicional crucial.  $K_v$  es un parámetro necesario para el diseño del aislante que también se determina mediante la teoría elástica y puede expresarse como EI por analogía con la teoría de vigas.

$$K_V = \frac{E_c A}{T_r}$$

$E_c$ : Módulo de comprensión del compuesto caucho – acero

A: Área de la sección transversal del aislador

$T_r$ : Espesor total del caucho

Lo mejor es determinar la frecuencia vertical del aislante con la única condición de que  $f_v > 14\text{Hz}$ . Esto se puede hacer de la siguiente manera:

$$f_v = \sqrt{6S}f_h$$

Donde:

S: Factor de forma

$f_h$ : Frecuencia horizontal;

$$f_h = \frac{1}{T_{abj}} H_z$$

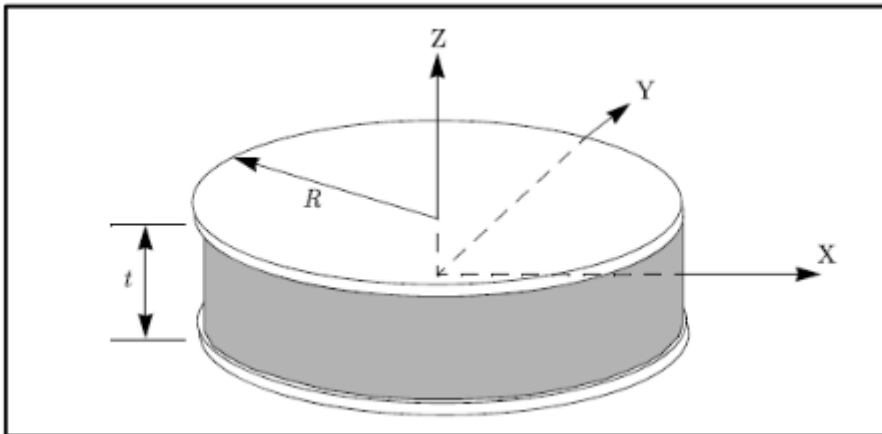
El factor de forma S, que tiene la siguiente definición, determina el valor de  $E_c$  para una sola capa de caucho:

$$S = \frac{\text{área cargada}}{\text{área libre de fuerza}}$$

El espesor de la lámina de caucho y el radio del aislante se muestran en la Figura 6, y el espesor de una lámina de caucho se utiliza para determinar el factor de forma del aislante.

**Figura 6**

*Unidad de lámina de caucho*



*Nota.* (Kelly, 2011)

### 2.3 Definición de términos básicos

**Análisis dinámico:** El análisis dinámico implica examinar las fuerzas, desplazamientos, velocidades y aceleraciones que se producen en una estructura debido a los desplazamientos y deformaciones que ocurren en ella. En muchos casos, es posible simplificar estos análisis al considerar la estructura como un sistema lineal. Esto permite utilizar el principio de superposición y trabajar con casos simplificados de la estructura.

**Deriva:** Es la diferencia de los desplazamientos laterales totales entre piso de niveles consecutivos esto según la norma E.030.

**Estado límite de colapso:** Condición que se produce cuando la estructura está próxima a fallar debido a que los esfuerzos generados superan los esfuerzos de diseño.

**Respuesta estructural:** se describe en términos de cómo la estructura se deforma, desplaza, resiste cargas o vibraciones cuando se le aplica una carga, como la gravedad, el viento, un terremoto u otras influencias externas.

**Rigidez:** Indica la dureza o la resistencia de un objeto o sistema a cambiar su forma o posición cuando se le somete a una carga o fuerza

**Centro de masa:** Es un punto específico en un objeto o sistema de partículas, donde se considera que toda la masa total del objeto está concentrada o equilibrada.

**Cortante basal:** Es una fuerza o carga que actúa horizontalmente en la base de una estructura, como un edificio o una presa, y tiende a hacer que la estructura se desplace lateralmente o se voltee.

**Concreto armado:** Es un material de construcción compuesto por una combinación de concreto (cemento, agua y agregados) reforzado con barras o mallas de acero.

## CAPÍTULO III: SISTEMA DE HIPÓTESIS

### 3.1 Hipótesis

#### 3.1.1 *Hipótesis general*

Se encontrarán diferencias significativas en términos de desplazamientos, derivas y esfuerzos entre los dos sistemas. Se espera que el uso de aisladores sísmicos resulte en una mejor respuesta estructural y una mayor capacidad de resistencia ante cargas sísmicas en comparación con el sistema dual.

#### 3.1.2 *Hipótesis específicas*

- Se obtendrán resultados que demuestren una mejora en la respuesta estructural ante cargas sísmicas en comparación con un sistema sin aisladores sísmicos.
- El diseño optimizado resultará en una estructura que presente un rendimiento óptimo en términos de capacidad de carga, rigidez y comportamiento frente a cargas estáticas y dinámicas, en comparación con un diseño convencional.
- Se obtendrán resultados que demuestran diferencias significativas en las fuerzas sísmicas, desplazamientos laterales y derivas entre los dos sistemas, lo que indica que la elección del sistema tendrá un impacto en la respuesta estructural del edificio.

### 3.2 Variables

#### 3.2.1 *Definición conceptual de las variables*

Sampieri (2016) afirma que las variables independientes son las que impulsan las fluctuaciones de las variables dependientes. La variable independiente se modifica en lugar de medirse directamente para determinar cómo afecta a las variables dependientes.

- a) Variable dependiente 1: Sistema dual
- b) Variable independiente 2: Aisladores sísmicos

Para Cahuas (2015) la variable dependiente “reciben este nombre las variables a explicar, o sea, el objeto de investigación, que se trata de explicar en función de otros elementos” (p. 4).

Variable dependiente: Respuesta estructural.

### ***3.2.2 Operacionalización de las variables***

Para manejar la noción a nivel empírico, Grajales (1996) afirma que la operacionalización de las variables se refiere a su definición operativa. Esto implica encontrar componentes tangibles, indicadores o acciones específicas para medir la noción pertinente. La operacionalización de las variables se encuentra en el Anexo C de la presente tesis.

## CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

### 4.1 Tipo y nivel

#### 4.1.1 Tipo de investigación

El desarrollo de conocimientos con aplicación universal es menos importante en la investigación aplicada que la aplicación directa a un problema. (Borja, 2012).

El método cuantitativo indica que la recolección y el análisis de datos es una técnica fiable para conocer la realidad. (Borja, 2012).

La presente investigación fue de tipo aplicada con enfoque cuantitativo.

#### 4.1.2 Nivel de investigación

Una investigación es descriptiva cuando se determinan las propiedades que tiene el objeto de estudio en mención. (Borja, 2012, p. 13).

La presente investigación se caracterizó por ser de nivel descriptiva porque un componente de la evaluación implicó un análisis de las características de los elementos estructurales.

### 4.2 Diseño de investigación

“No establece ni puede establecer relaciones causales directas entre dos variables o entre dos elementos”, según la investigación no experimental. (Borja, 2012).

Hernández et al (2014) afirman que el objetivo de la investigación transversal es caracterizar y analizar las variables, así como la forma en que inciden y se relacionan entre sí en un período determinado.

Dado que comparamos la respuesta sísmica de la estructura con y sin la inclusión de aisladores, la investigación fue no experimental con un diseño transversal.

### 4.3 Población y muestra

#### 4.3.1 Población

Para Arias et al (2016), “La población de estudio es un conjunto de casos, definido, limitado y accesible, que formará el referente para la elección de la muestra, y que cumple con una serie de criterios predeterminados” (p. 202).



Por lo tanto, en el presente análisis, la población estuvo determinada por todos los edificios de hormigón armado y tenían un sistema dual de 5 niveles en el distrito de Santa María del Mar.

#### **4.3.2 Muestra**

Morice (1994) indica que la muestra “se refiere al grupo de unidades extraídas de una población, definida previamente, de acuerdo con un plan de sondeo dado y sobre las cuales se realizarán las observaciones previstas en la encuesta”. (p. 135).

La muestra se consideró a la vivienda multifamiliar de cinco plantas con un semisótano, 3 pisos y una azotea y sirvió de ejemplo para el estudio.

Su configuración estructural se determinó por un sistema de placas y pórticos.

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

#### **4.4.1 Tipos de técnicas e instrumentos**

##### ***Técnicas.***

Dado que la información se obtuvo a partir de los diseños creados por los ingenieros expertos y las normas técnicas vigentes para los edificios, la investigación empleó la técnica de observación directa.

##### ***Instrumentos.***

Se utilizó el programa SAP 2000 v23, Normas Técnicas Peruanas para el diseño, y Excel para la recolección de datos y comparación de los resultados finales.

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

##### ***Validez.***

La validez de los instrumentos utilizados en la presente investigación forma parte del estándar para la realización de proyectos estructurales, dado que, son normas ratificadas por las autoridades competentes en el Perú.

##### ***Confiabilidad.***

La confiabilidad de los instrumentos utilizados en la presente investigación está respaldada por profesionales especialistas en ingeniería civil que han generado sinergia para la elaboración de las normas técnicas de edificación

#### ***4.4.3 Procedimientos para la recolección de datos***

Para el proceso del desarrollo de la investigación se contó con un proyecto que consiste en un edificio de sistema dual de 5 niveles ubicado en el distrito de Santa María del Mar, este es evaluado bajo la implementación de aisladores sísmicos.

En primer lugar, se llevó a cabo un análisis sísmico de la estructura con una base empotrada con el fin de determinar las reacciones en sus puntos de apoyo. Utilizando estos valores, procedemos a realizar un predimensionamiento de los aisladores sísmicos, definiendo así sus parámetros nominales.

La siguiente etapa involucró una reestructuración de la edificación, modificando su disposición para que los aisladores sísmicos puedan ser instalados en los puntos de carga específicos. Esta instalación se lleva a cabo utilizando el software SAP 2000. Posteriormente, se efectúa un análisis detallado del comportamiento de la estructura en estudio con los aisladores incorporados.

En la tercera etapa se realizó el análisis comparativo de la respuesta estructural del sistema con y sin aisladores sísmicos, donde se observó que el uso de aisladores sísmicos resulta más seguro ante un evento sísmico.

#### **4.5 Técnicas para el procesamiento y análisis de la información**

En la presente investigación se recopiló, procesó e interpretó información y data estructural del edificio multifamiliar ubicado en Santa María, con la finalidad de poder ser validado con las fórmulas establecidas en las normas técnicas y en sus distintas secciones.

Asimismo, se elaboró un modelo virtual del proyecto con el software SAP 2000 v23 para verificar, calcular y diseñar los parámetros de la edificación.

## CAPÍTULO V: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 5.1 Descripción general del proyecto

La estructura es una edificación multifamiliar ubicada en Av. Los Merlines Mz. Q Lote 02, Distrito de Santa María del Mar, Provincia de Lima, Departamento de Lima con 05 niveles (1 semisótano, 3 pisos y 1 azotea) y dos departamentos por piso. El área techada total es de 1123.26 m<sup>2</sup> en un terreno de 357.50 m<sup>2</sup>.

Asimismo, se encuentra delimitado de la siguiente manera

Por el Norte limita con el Distrito de San Bartolo.

Por el Sur limita con el Distrito de Pucusana.

Por el Oeste limita con el Océano Pacífico.

Por el Este limita con la Provincia de Cañete.

En la figura 7 se muestra en imagen satelital la ubicación del proyecto.

### Figura 7

*Ubicación de referencia satelital*



*Nota.* Extraído de Google Earth Pro

Debido a su ubicación en el Cinturón de Fuego del Pacífico, que experimenta altos niveles de actividad sísmica, este edificio fue seleccionado por estar expuesto a un alto nivel de riesgo sísmico.

## 5.2 Planta del proyecto

El terreno ubicado en Santa María del Mar tiene una forma rectangular de 13.00 metros de fachada principal y 27.50 metros de largo. La distribución en planta está conformada por 05 ejes principales en el Eje X y 07 Ejes principales en el Eje y, los cuales se detallan a continuación.

La tabla 1 muestra los ejes principales que posteriormente será ingresado en el SAP 2000 correspondiente al eje x.

**Tabla 1**

*Distribución en Planta de los Ejes Principales en el Sentido X*

Eje X		
Descripción	Distancia x (m)	Distancia y (m)
Eje A	0.00	0.00
Eje B	5.20	0.00
Eje C	1.25	0.00
Eje D	1.25	0.00
Eje E	5.20	0.00

*Nota.* Elaboración Propia

La tabla 2 muestra los ejes principales que posteriormente será ingresado en el SAP 2000 correspondiente al eje y.

**Tabla 2**

*Distribución en Planta de los Ejes Principales en el Sentido Y*

Eje Y		
Descripción	Distancia x (m)	Distancia y (m)
Eje 1	0.00	0.00
Eje 2	0.00	3.32
Eje 3	0.00	4.02
Eje 4	0.00	1.85
Eje 5	0.00	7.43
Eje 6	0.00	4.75
Eje 7	0.00	6.12

*Nota.* Elaboración Propia

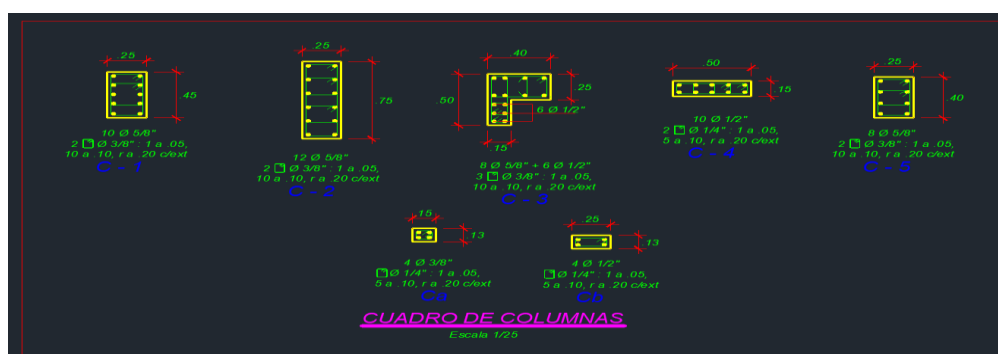
### 5.1.1 Estructuración

El proyecto Multifamiliar Santa María es un edificio que cuenta con un sistema dual, compuesto de muros estructurales, placas de concreto armado, pórticos y sistema de albañilería, compuesto por 7 ejes principales en el sentido X y 5 ejes principales en el sentido Y. La estructuración principal está diseñada por pórticos de extremo a extremo con muros portantes en el eje X, en ambos extremos del edificio.

Las 19 columnas, de sección variable, han sido distribuidas en armonía con la arquitectura del proyecto y colocadas a lo largo del Eje Y. A continuación, en la figura 8 se detalla el cuadro de columnas del proyecto.

**Figura 8**

*Cuadro de columnas del proyecto multifamiliar Santa María*



*Nota.* Elaboración Propia

De igual forma, las vigas principales, que forman parte de los pórticos son peraltadas y las secundarias, en su mayoría, vigas chatas, que sirven de arriostramiento entre los elementos estructurales.

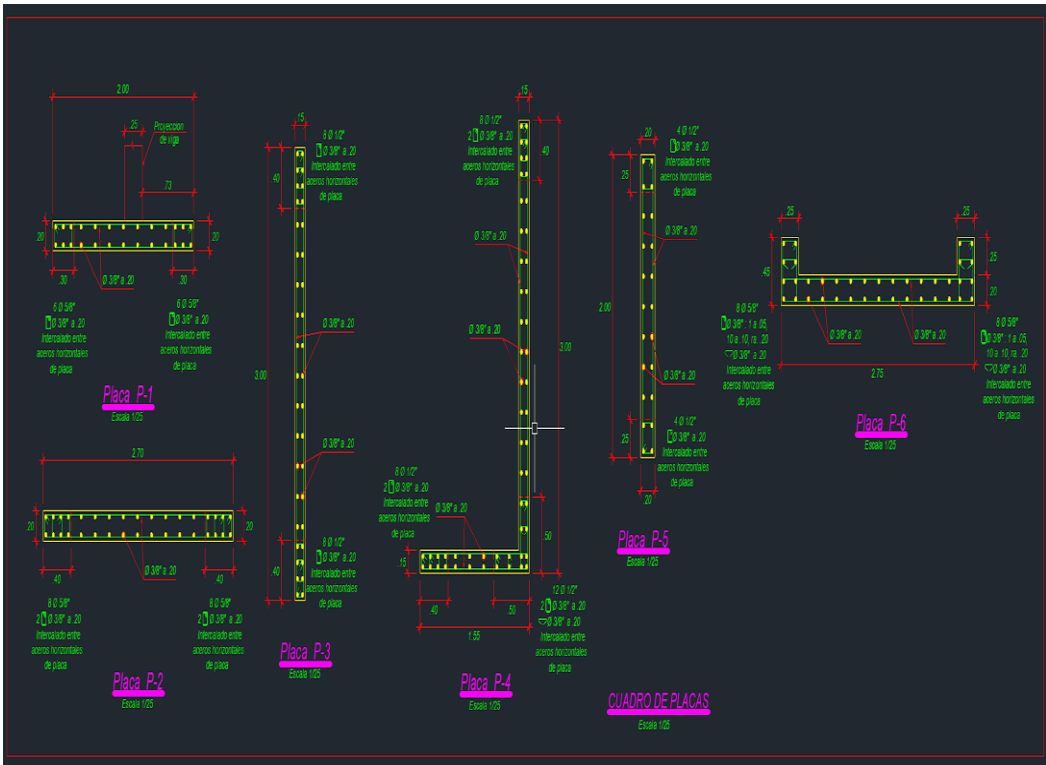
La losa de entrepiso, de altura  $h = 20$  cm, es una combinación de losa aligerada y losa maciza, en los distintos planos de la estructura.

Finalmente, la estructura en la zona del ascensor y la caja de escalera está compuesta por placas de  $e=0.20$  m que son los encargados de absorber la mayor cantidad de esfuerzos al momento del sismo.

En la figura 9 se muestra el cuadro de la distribución de placas en ambos ejes.

**Figura 9**

*Cuadro de distribución de Placas*

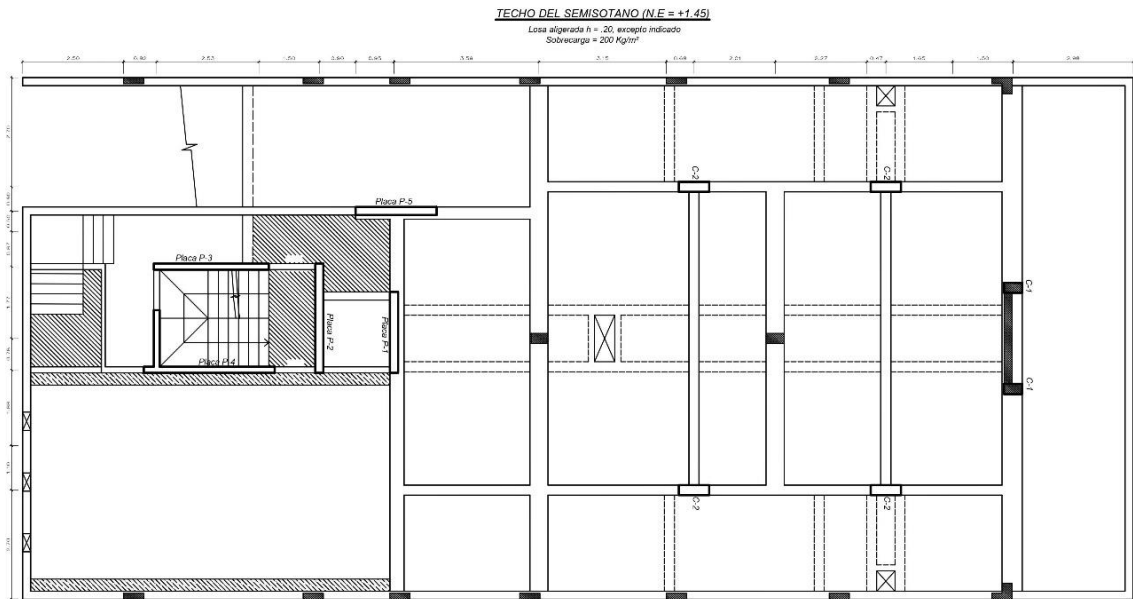


Nota. Elaboración Propia

A continuación, en la figura 10 se muestra una imagen de la estructuración en planta típica del Edificio Multifamiliar Santa Maria.

**Figura 10**

*Estructuración de techo de sótano*

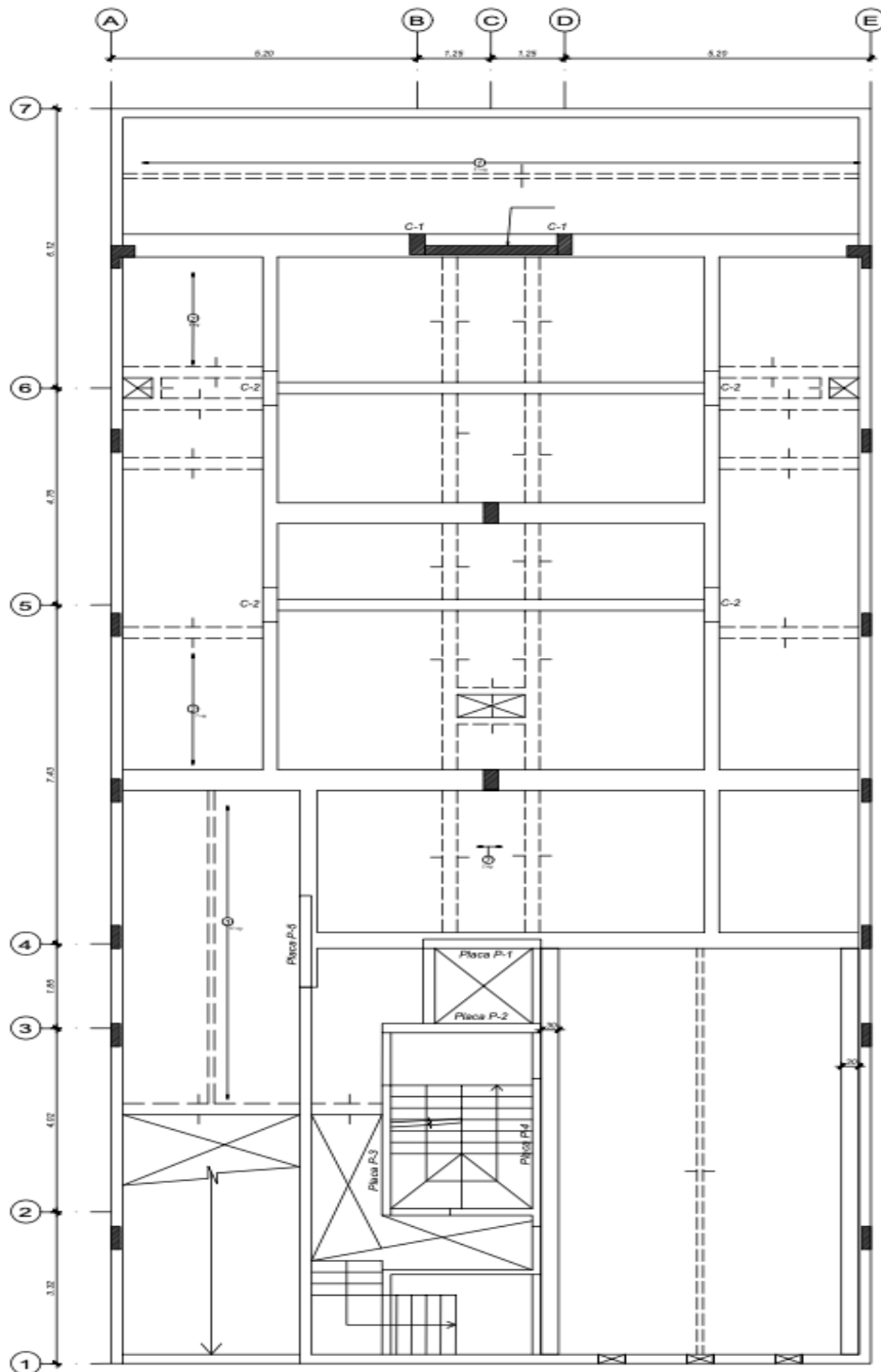


Nota. Elaboración propia

En la figura 11 a continuación, se muestra la estructuración en planta del edificio multifamiliar, donde se muestran los ejes en x e y que se ingresarán en el SAP 2000.

**Figura 11**

*Estructuración en Planta del Edificio Multifamiliar Santa María*



*Nota.* Elaboración propia

### **5.3 Modelación de la estructura**

Para el análisis sismorresistente de la edificación se eligió el Software Sap2000 versión 23.3.1, en la cual, se ingresarán los parámetros de sitio, suelo y características mecánicas de los materiales a utilizar: concreto y acero.

#### **5.3.1 Configuración estructural**

El edificio multifamiliar Proyecto Santa Maria cuenta con 05 niveles, distribuidos de la siguiente manera. En el primer nivel encontramos un semisótano de 329.20 m<sup>2</sup> de área techada destinado al estacionamiento de autos con una altura de entrepiso de 2.80 m. En el segundo nivel, un área de 244.92 de área techada de planta atípica con uso de vivienda multifamiliar y una altura de entrepiso de 2.40 m. En el tercer y cuarto nivel, un área de 242.57 m<sup>2</sup> de área techada de planta típica con uso de vivienda multifamiliar y una altura de entrepiso de 2.40 m. Finalmente, el quinto nivel, con un área techada de 64.00 m<sup>2</sup> destinada al área social de los niveles inferiores y una altura de entrepiso de 2.40m.

La cimentación de la edificación se compone de zapatas conectadas por vigas de cimentación para mitigar el asentamiento diferenciado, dado que, nos encontramos en un Suelo Arenoso con una presión admisible de 1.82 kg/cm<sup>2</sup>.

El primer nivel se configura con muros de contención perimetral para resistir los esfuerzos laterales del terreno y una combinación de pórticos de concreto armado (columna – viga) con placas de concreto armado para aportar resistencia a la edificación.

Los demás niveles están configurados con placas de concreto armado para aumentar la rigidez de la edificación en el Eje x y Eje y, pórticos de concreto armado y albañilería portante confinada.

Los materiales a utilizar serán concreto y acero, cuyas características principales se mencionan a continuación:

#### **Concreto:**

Resistencia a la compresión ( $f^c$ ) = 210.00 kg/cm<sup>2</sup>

Densidad del Concreto ( $\gamma_c$ ) = 2400.00 kg/m<sup>3</sup>

Módulo de Elasticidad ( $E_c$ ) = 2173710.00 kg/cm<sup>2</sup>

#### **Acero Grado 60 Estriado:**



Esfuerzo de Fluencia ( $f_y$ ) = 4200.00 kg/cm<sup>2</sup>

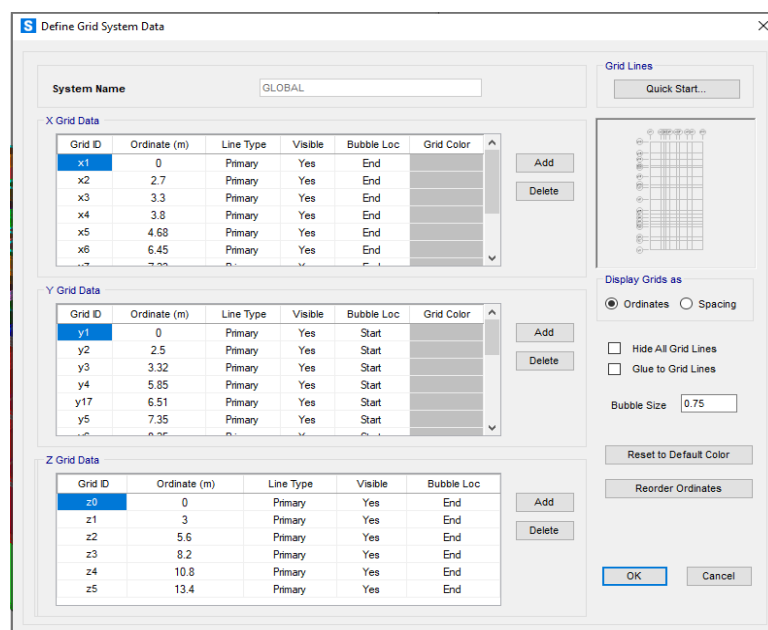
Módulo de Elasticidad ( $E_c$ ) = 2534563.50 kg/cm<sup>2</sup>

Se procede a realizar el modelado de la edificación, introduciendo los ejes principales en X e Y definidos en los planos del proyecto.

En la figura 12 se muestra el ingreso de las grillas en el SAP 2000, que nos servirá de guía para introducir los elementos estructurales.

## Figura 12

*Grillas de edificio con base fija en el software SAP 2000 v23*



*Nota.* Elaboración propia

A continuación, en la figura 13, se muestra el ingreso de los parámetros mecánicos de los elementos a utilizar el Software Sap2000.

## Figura 13

*Definición de Parámetros Mecánicos del Acero en el Sap2000 v 23*

**Material Property Data**

**General Data**

Material Name and Display Color: 4000Psi

Material Type: Concrete

Material Grade: fc 4000 psi

Material Notes: Modify/Show Notes...

**Weight and Mass**

Weight per Unit Volume: 2.4028

Mass per Unit Volume: 0.245

Units: Tonf, m, C

**Isotropic Property Data**

Modulus Of Elasticity, E: 2534563.5

Poisson, U: 0.2

Coefficient Of Thermal Expansion, A: 9.900E-06

Shear Modulus, G: 1056068.1

**Other Properties For Concrete Materials**

Specified Concrete Compressive Strength, fc: 2812.2785

Expected Concrete Compressive Strength: 2812.2785

Lightweight Concrete

Shear Strength Reduction Factor:

Switch To Advanced Property Display

OK Cancel

*Nota.* Elaboración propia

A continuación, en la figura 14, se muestra el ingreso de los parámetros físicos de los elementos a utilizar el Software Sap2000.

#### **Figura 14**

*Definición de Parámetros Físicos del Acero en el Sap2000 v 23*

*Nota.* Elaboración propia

Una vez definida las propiedades de los materiales a utilizar: concreto y acero, se deberá crear las secciones de los elementos estructurales tales como, columnas, vigas, muros de contención, placas, losas aligeradas y muros de albañilería.

A continuación, la creación de dichos elementos y sus propiedades en el Software Sap2000.

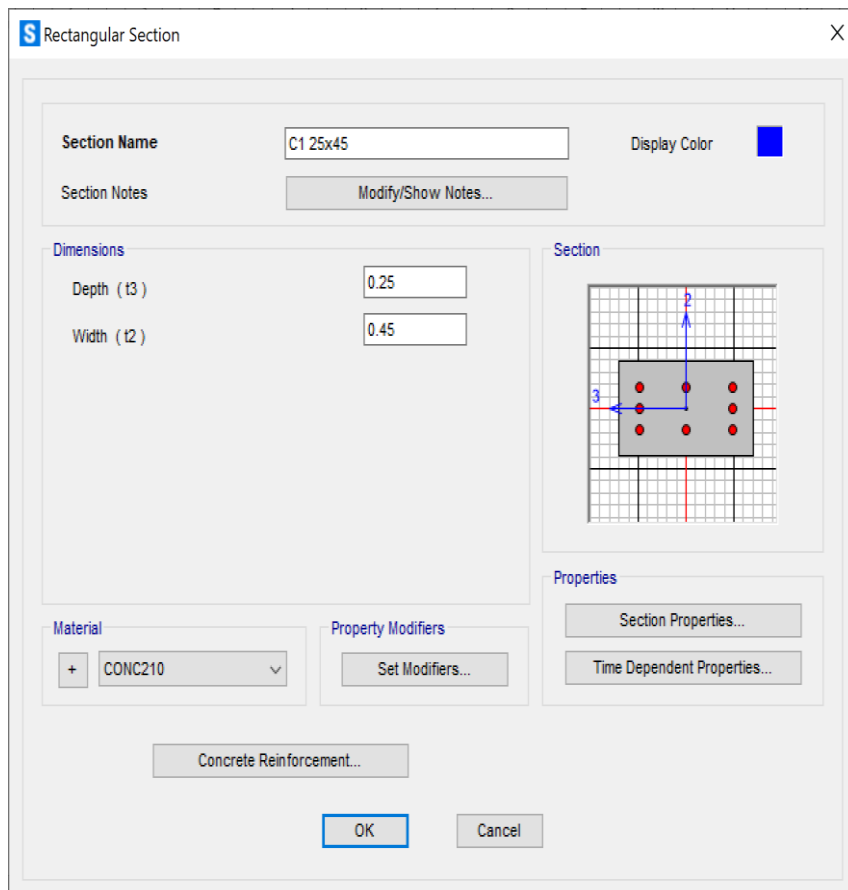
### ***Columnas Estructurales***

A continuación, se mostrarán desde la Figura 15 a la Figura 20, los datos ingresados para las distintas secciones de columna en el SAP 2000, donde se crearán las columnas estructurales del proyecto.

La figura 15 muestra el ingreso al programa SAP 2000 de la columna C1 con dimensiones de 25x45cm.

### **Figura 15**

*Definición de Sección de Columna 01 25x45 de Concreto Armado en el Sap2000 v 23*

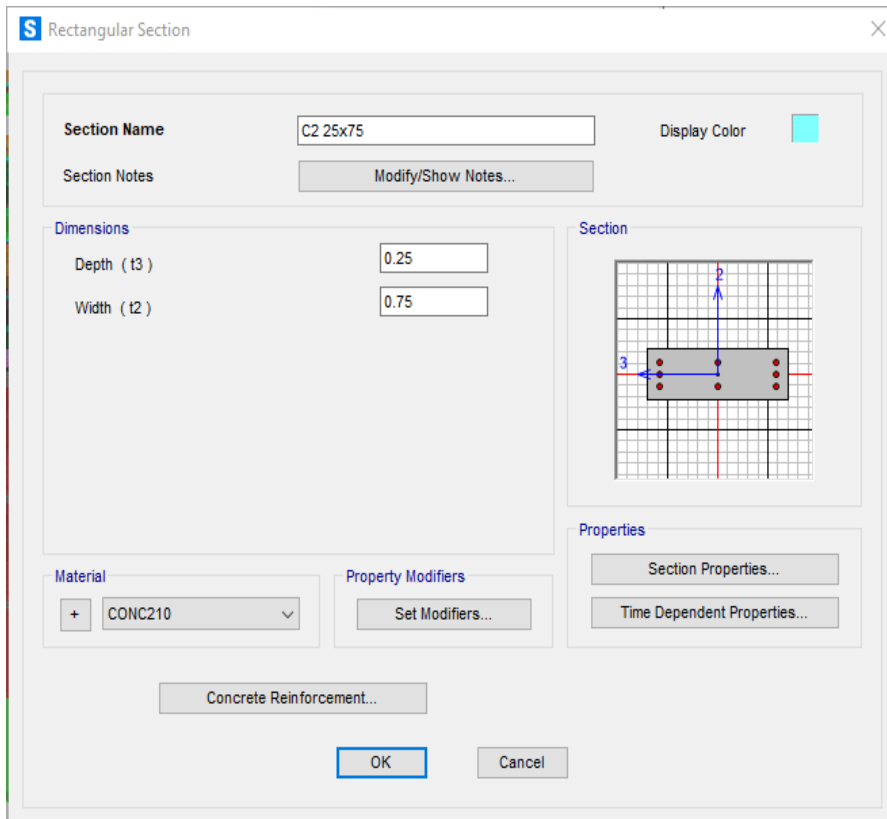


*Nota.* Elaboración propia

La figura 16 muestra el ingreso al programa SAP 2000 de la columna C2 con dimensiones de 25x75cm.

### **Figura 16**

*Definición de Sección de Columna 02 25x75 de Concreto Armado en el Sap2000 v 23*

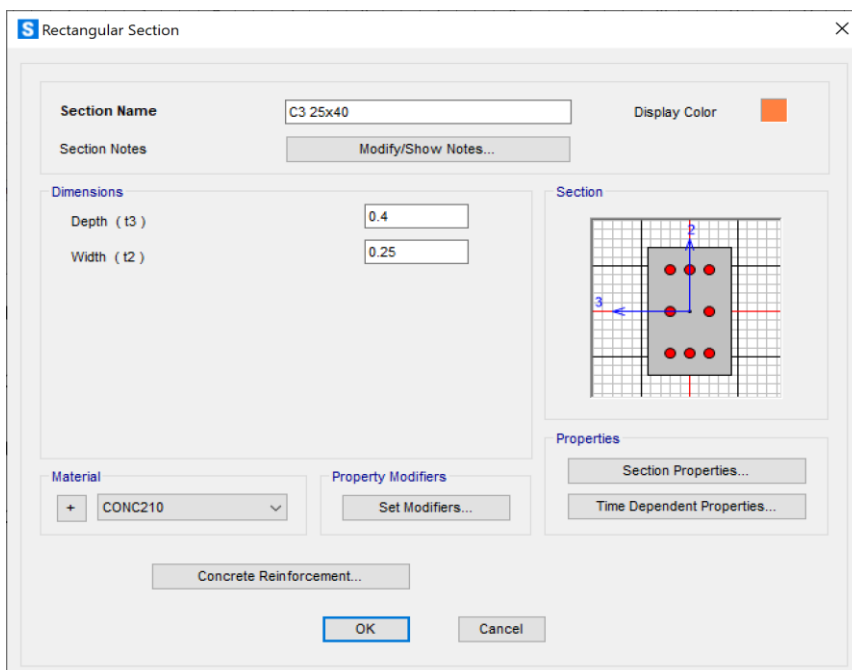


*Nota.* Elaboración propia

La figura 17 muestra el ingreso al programa SAP 2000 de la columna C3 con dimensiones de 25x40cm.

### Figura 17

*Definición de Sección de Columna 03 25x40 de Concreto Armado en el Sap2000 v 23*

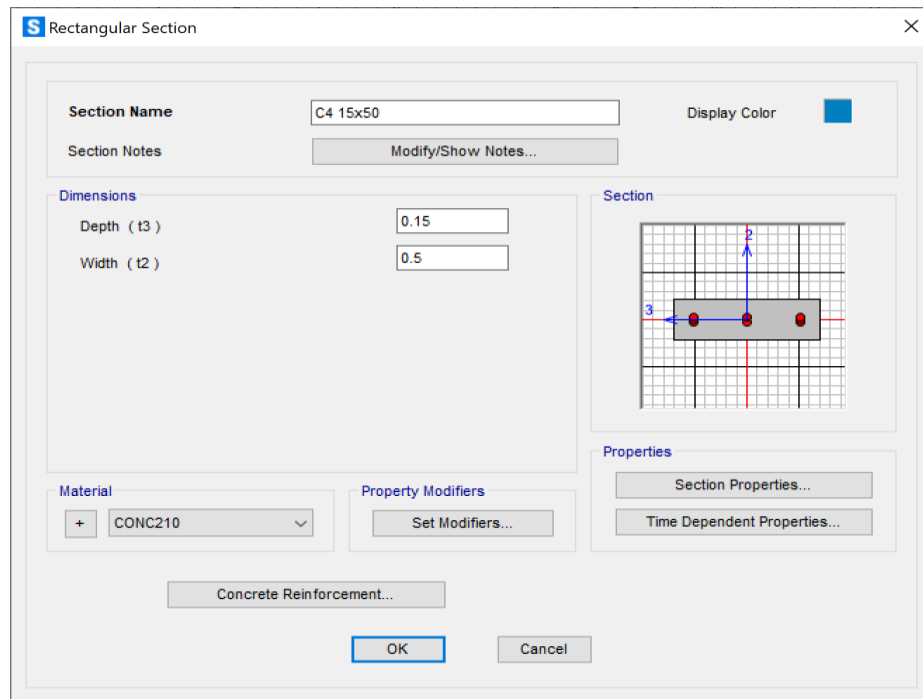


*Nota.* Elaboración propia

La figura 18 muestra el ingreso al programa SAP 2000 de la columna C4 con dimensiones de 15x50cm.

### Figura 18

*Definición de Sección de Columna 04 15x50 de Concreto Armado en el Sap2000 v 23*

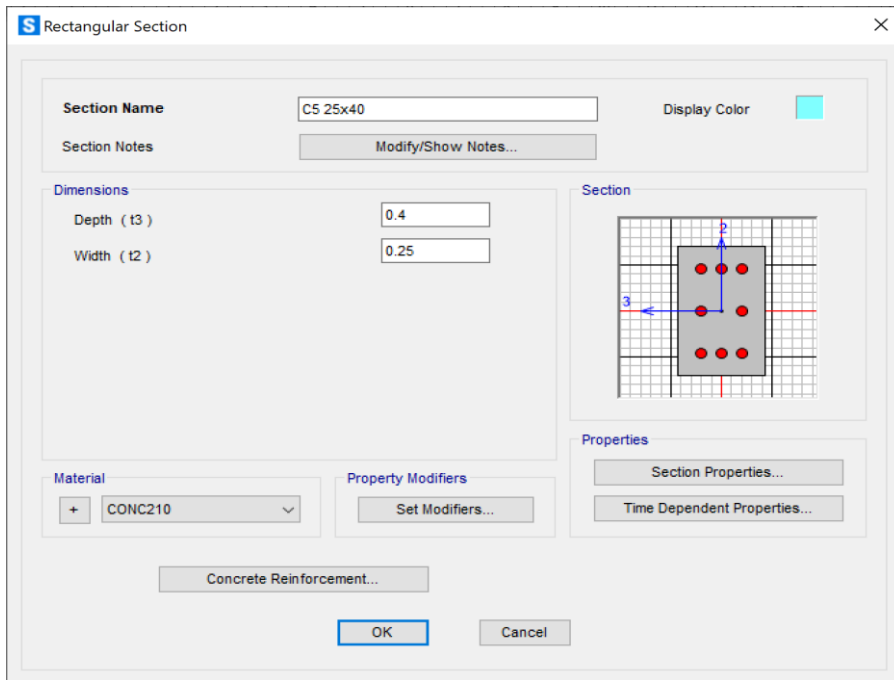


*Nota.* Elaboración propia

La figura 19 muestra el ingreso al programa SAP 2000 de la columna C5 con dimensiones de 25x40cm.

### Figura 19

*Definición de Sección de Columna 05 25x40 de Concreto Armado en el Sap2000 v 23*

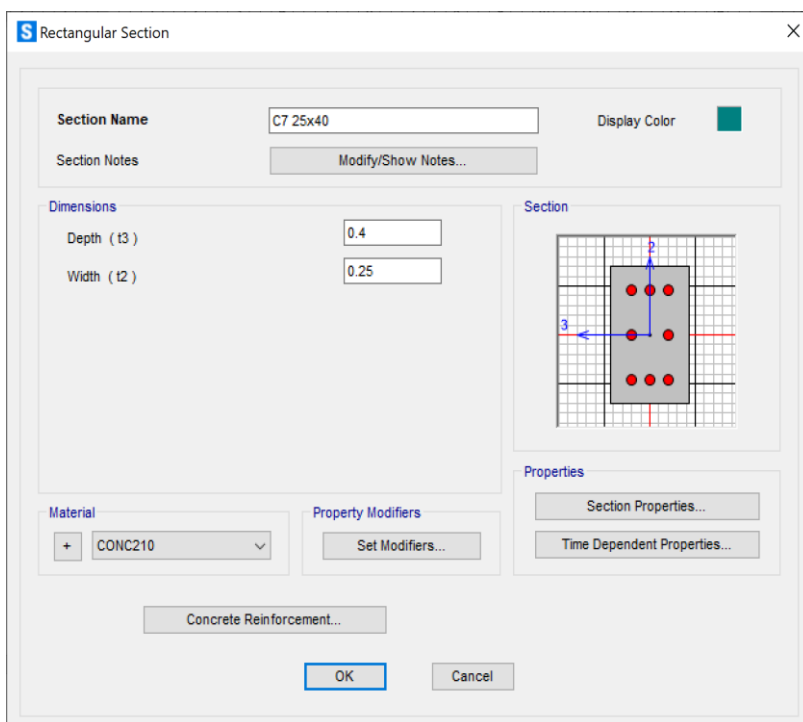


*Nota.* Elaboración propia

La figura 20 muestra el ingreso al programa SAP 2000 de la columna C7 con dimensiones de 25x40cm.

### Figura 20

*Definición de Sección de Columna 25 x40 de Concreto Armado en el Sap2000 v 23*



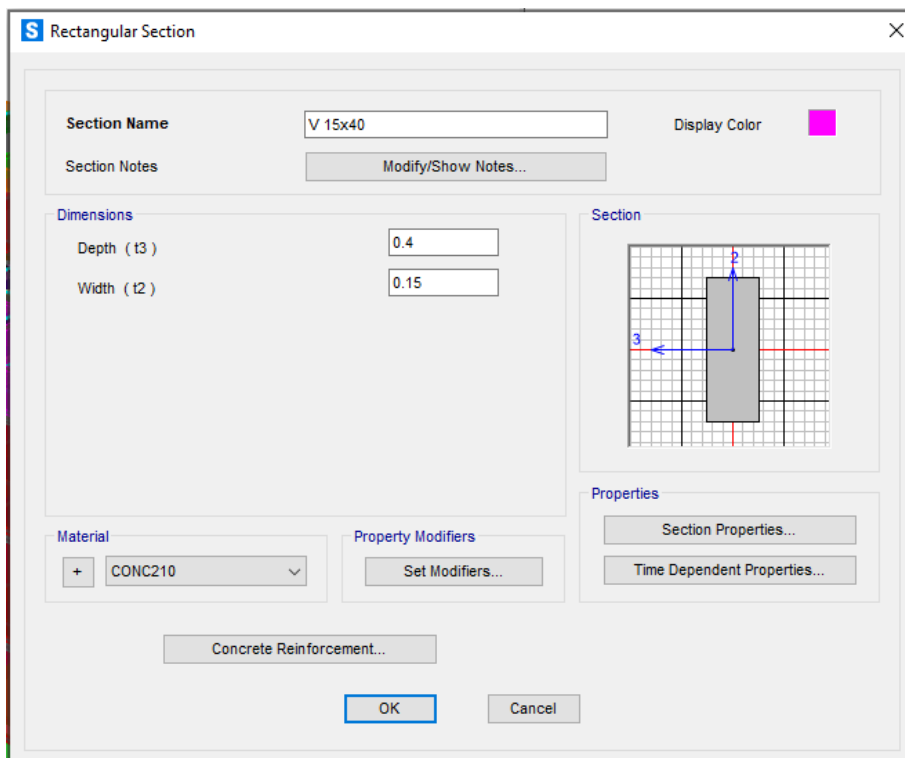
*Nota.* Elaboración propia

**Vigas Estructurales.** De igual forma se mostrarán desde la Figura 21 a la Figura 30, los datos ingresados para las distintas secciones de vigas en el SAP 2000, donde se crearán las vigas estructurales del proyecto.

La figura 21 muestra el ingreso al programa SAP 2000 de la viga con dimensiones de 15x40cm.

### Figura 21

*Definición de Sección de Viga 15x40 de Concreto Armado en el Sap2000 v 23*



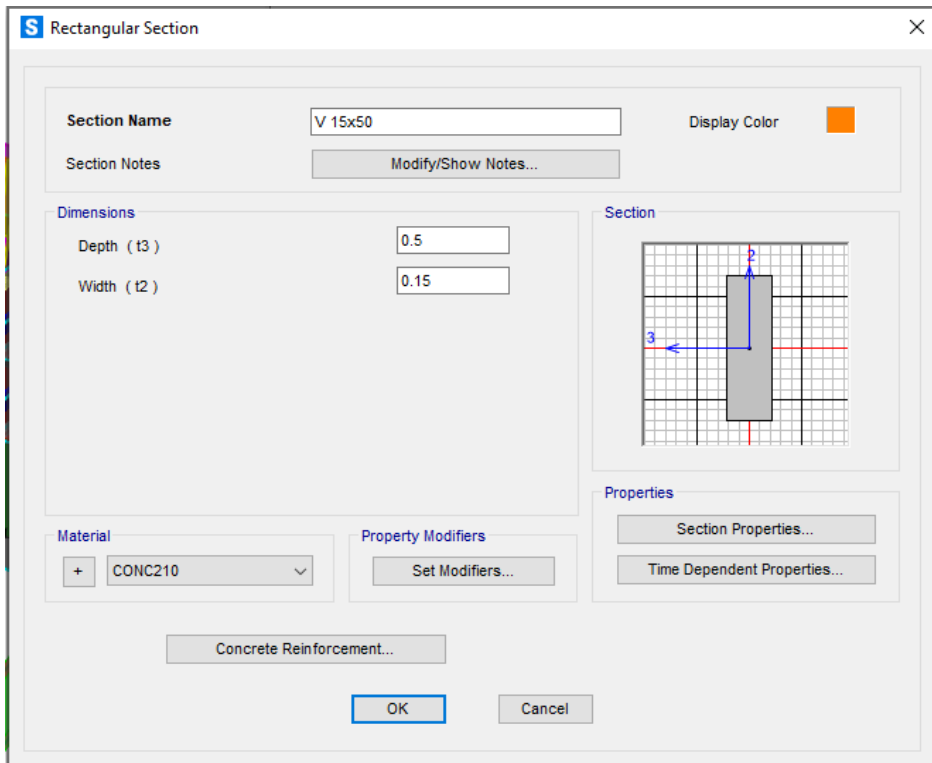
*Nota.* Elaboración propia

La figura 22 muestra el ingreso al programa SAP 2000 de la viga con dimensiones de 15x50cm.

### Figura 22

*Definición de Sección de Viga 15x50 de Concreto Armado en el Sap2000 v 23*



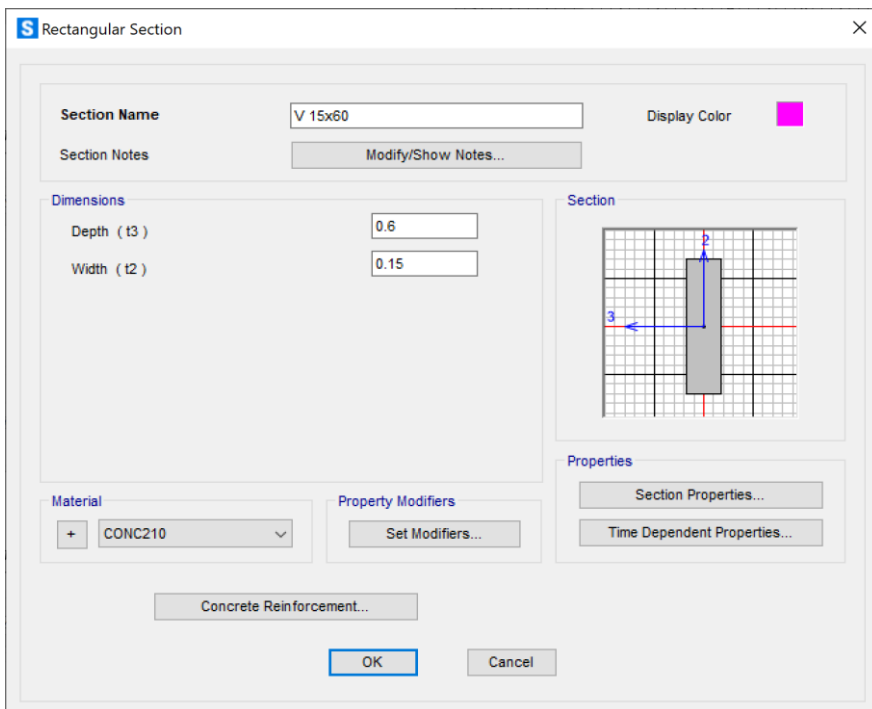


*Nota.* Elaboración propia

La figura 23 muestra el ingreso al programa SAP 2000 de la viga con dimensiones de 15x60cm.

### Figura 23

*Definición de Sección de Viga 15x60 de Concreto Armado en el Sap2000 v 23*

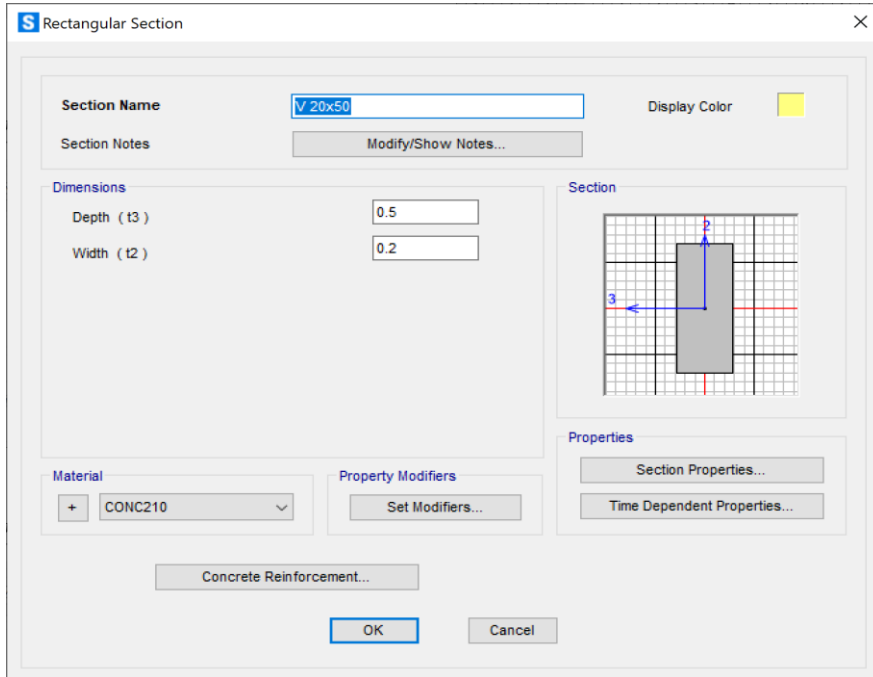


*Nota.* Elaboración propia

La figura 24 muestra el ingreso al programa SAP 2000 de la viga con dimensiones de 20x50cm.

### Figura 24

*Definición de Sección de Viga 20x50 de Concreto Armado en el Sap2000 v 23*

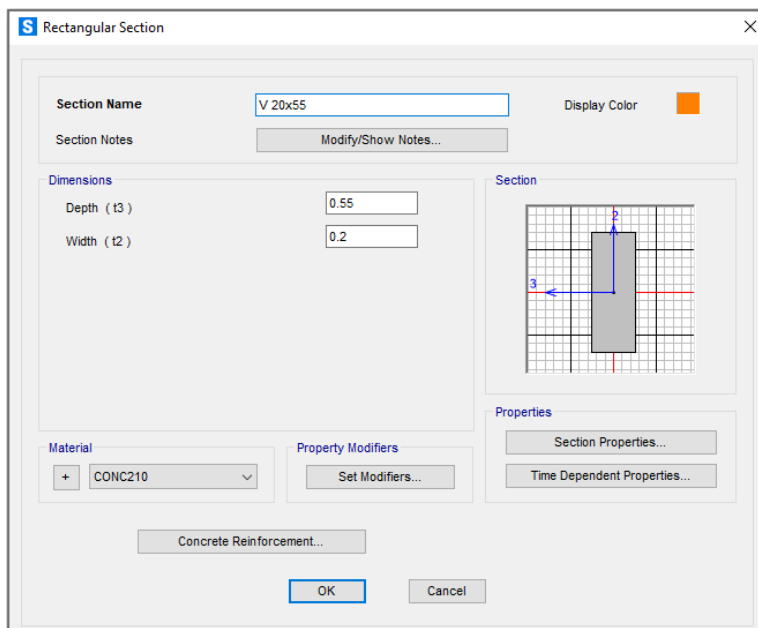


*Nota.* Elaboración propia

La figura 25 muestra el ingreso al programa SAP 2000 de la viga con dimensiones de 20x55cm.

### Figura 25

*Definición de Sección de Viga 20x55 de Concreto Armado en el Sap2000 v 23*

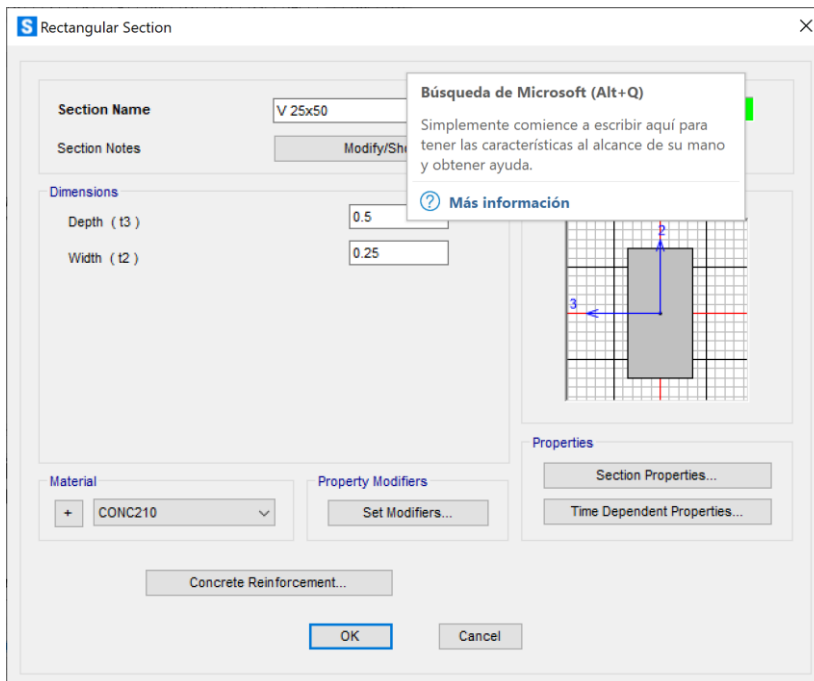


*Nota.* Elaboración propia

La figura 26 muestra el ingreso al programa SAP 2000 de la viga con dimensiones de 25x50cm.

### **Figura 26**

*Definición de Sección de Viga 25x50 de Concreto Armado en el Sap2000 v 23*

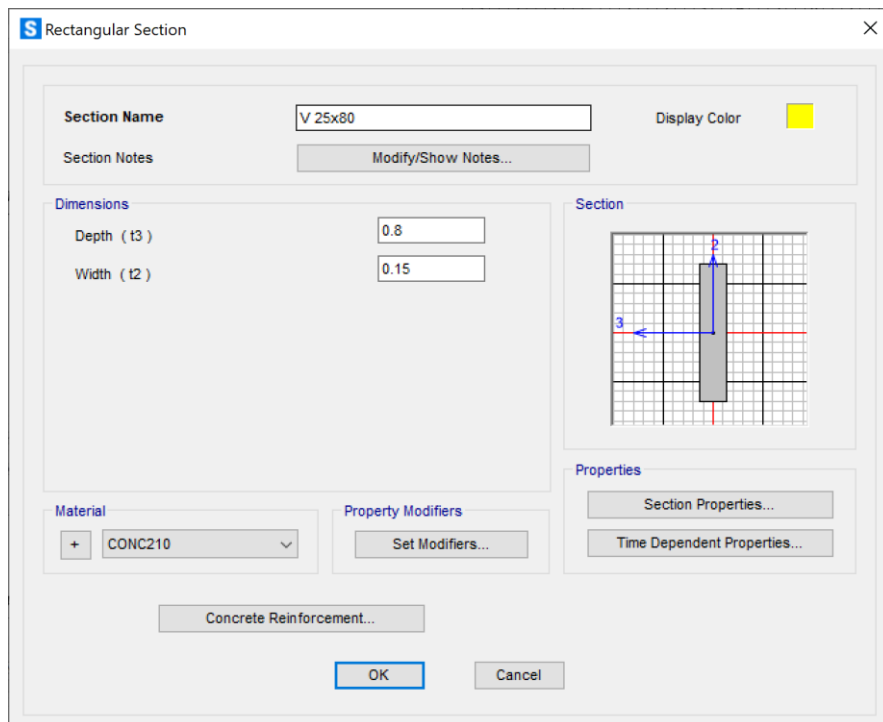


*Nota.* Elaboración propia

La figura 27 muestra el ingreso al programa SAP 2000 de la viga con dimensiones de 25x80cm.

### **Figura 27**

*Definición de Sección de Viga 25x80 de Concreto Armado en el Sap2000 v 23*

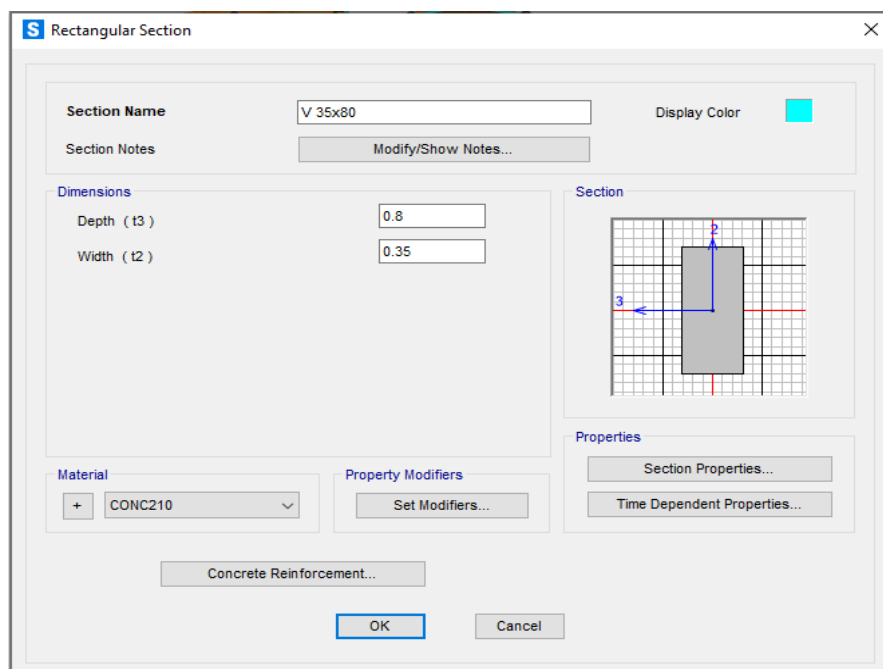


*Nota.* Elaboración propia

La figura 28 muestra el ingreso al programa SAP 2000 de la viga con dimensiones de 35x80cm.

### Figura 28

*Definición de Sección de Viga 35x80 de Concreto Armado en el Sap2000 v 23*

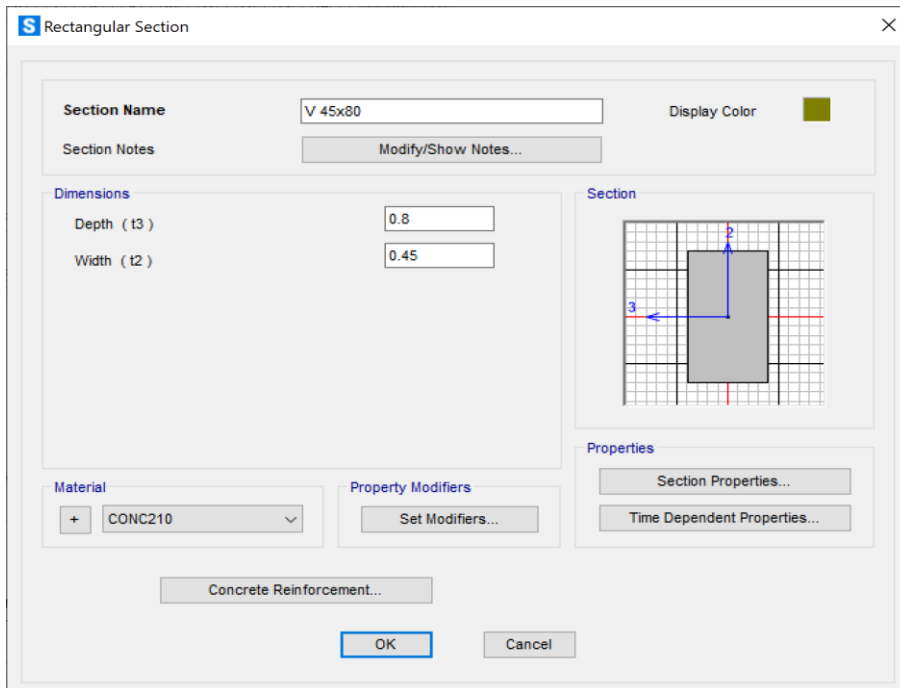


*Nota.* Elaboración propia

La figura 29 muestra el ingreso al programa SAP 2000 de la viga con dimensiones de 45x80cm.

**Figura 29**

*Definición de Sección de Viga 45x80 de Concreto Armado en el Sap2000 v 23*

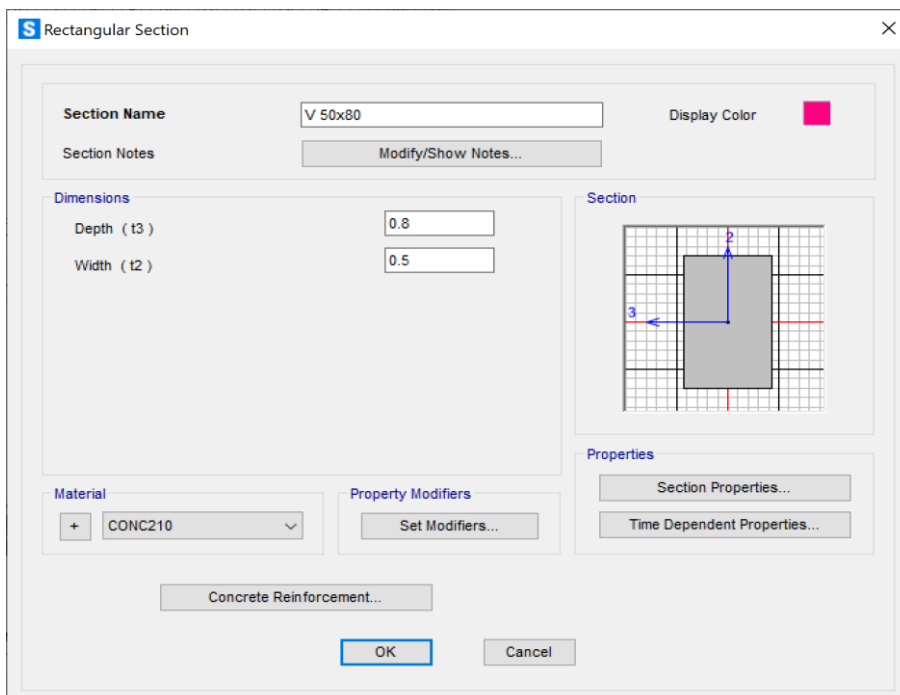


*Nota.* Elaboración propia

La figura 30 muestra el ingreso al programa SAP 2000 de la viga con dimensiones de 50x80cm.

**Figura 30**

*Definición de Sección de Viga 50 x80 de Concreto Armado en el Sap2000 v 23*



*Nota.* Elaboración propia

**Muros de Contención – Sótanos.** Asimismo, se mostrarán desde la Figura 31 a la Figura 32, los datos ingresados para las distintas secciones de muros de contención en el SAP 2000, donde se crearán los muros estructurales para los sótanos del proyecto.

La figura 31 muestra el ingreso al programa SAP 2000 el muro de contención de 25 cm.

**Figura 31**

*Definición de Muro de Contención  $e=25$  cm de Concreto Armado en el Sap2000*

The screenshot shows the 'Shell Section Data' dialog box in SAP 2000. The 'Section Name' is 'MC=.25' and the 'Display Color' is yellow. The 'Type' is 'Shell - Thin'. The 'Thickness' for 'Membrane' and 'Bending' is 0.25. The 'Material' is 'CONC210' with a 'Material Angle' of 0. The 'Concrete Shell Section Design Parameters' and 'Stiffness Modifiers' buttons are visible at the bottom.

*Nota.* Elaboración propia

La figura 32 muestra el ingreso al programa SAP 2000 el muro de contención de 30 cm.

**Figura 32**

*Definición de Muro de Contención  $e=30$  cm de Concreto Armado en el Sap2000*

The screenshot shows the 'Shell Section Data' dialog box in SAP 2000. The 'Section Name' is 'MC.=30' and the 'Display Color' is yellow. The 'Type' is 'Shell - Thick'. The 'Thickness' for 'Membrane' and 'Bending' is 0.3. The 'Material' is 'CONC210' with a 'Material Angle' of 0. The 'Concrete Shell Section Design Parameters' and 'Stiffness Modifiers' buttons are visible at the bottom.

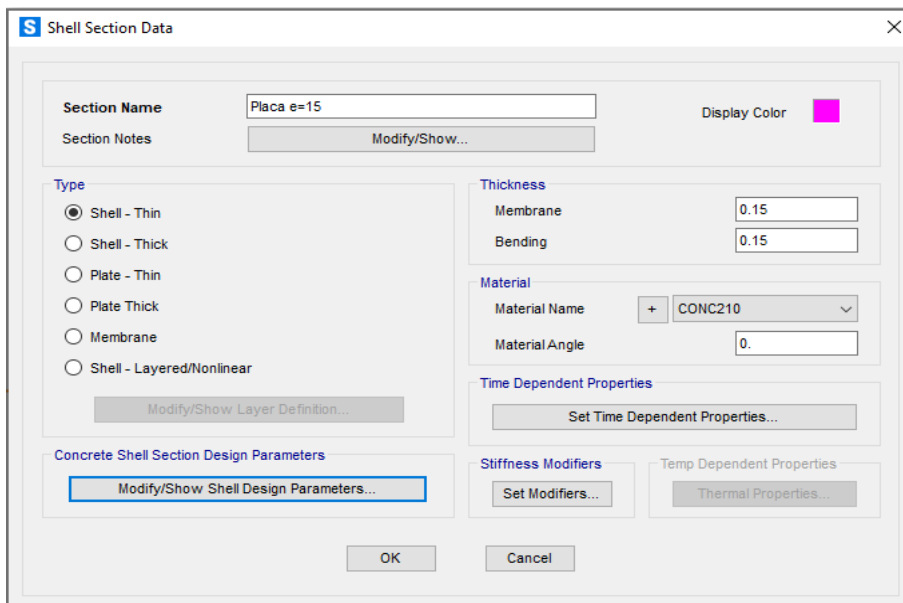
*Nota.* Elaboración propia

**Placas de concreto armado.** Finalmente, se mostrarán desde la Figura 33 a la Figura 36, los datos ingresados para las distintas secciones de placas de concreto armado en el SAP 2000, donde se crearán las placas para la estructura del proyecto, las cuales aumentan la rigidez de la edificación para absorber las fuerzas sísmicas.

La figura 33 muestra el ingreso al programa SAP 2000 la placa de concreto armado de 15 cm.

### Figura 33

*Definición de Placas  $e=15$  cm de Concreto Armado en el Sap2000*

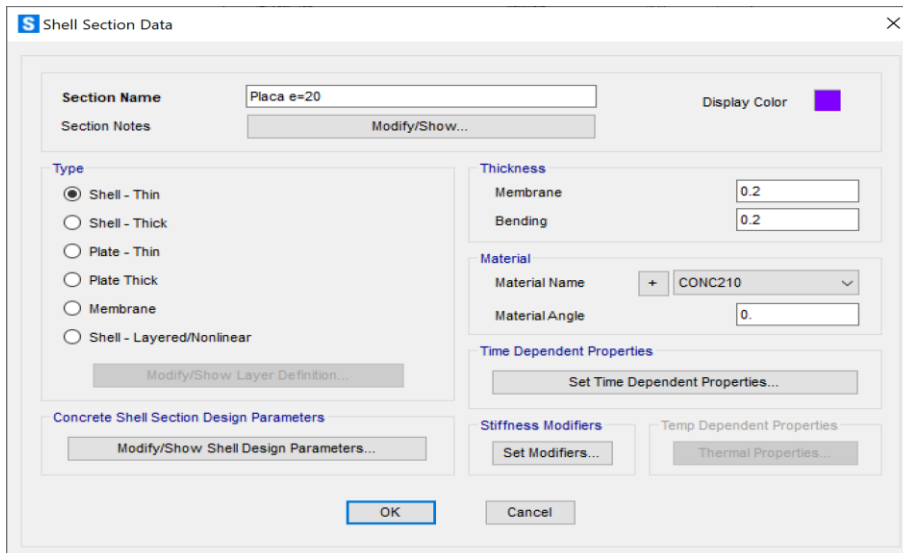


*Nota.* Elaboración propia

La figura 34 muestra el ingreso al programa SAP 2000 la placa de concreto armado de 20 cm.

### Figura 34

*Definición de Placas  $e=20$  cm de Concreto Armado en el Sap2000*

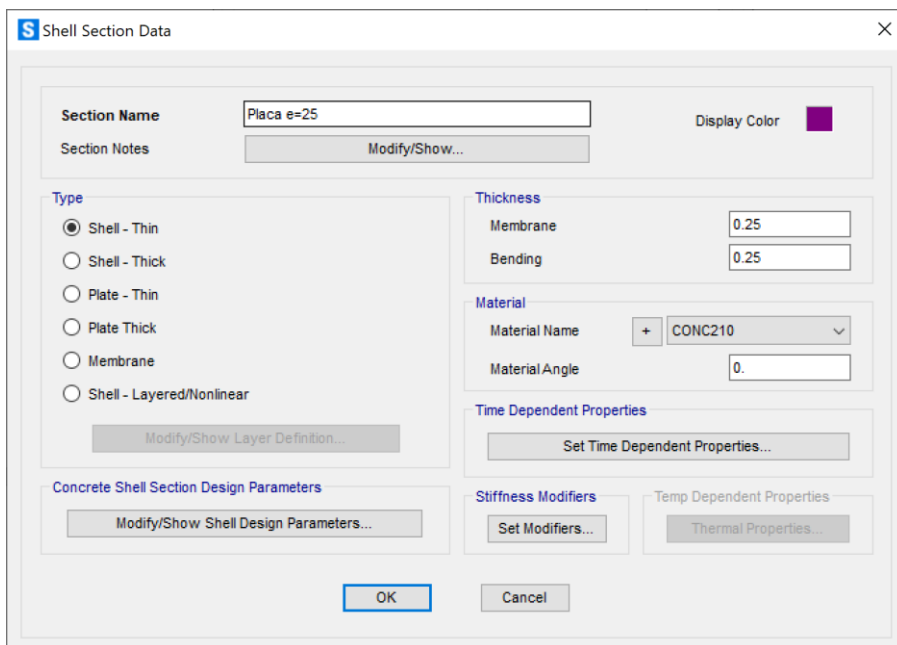


*Nota.* Elaboración propia

La figura 35 muestra el ingreso al programa SAP 2000 la placa de concreto armado de 25 cm.

### Figura 35

*Definición de Placas e=25 cm de Concreto Armado en el Sap2000*



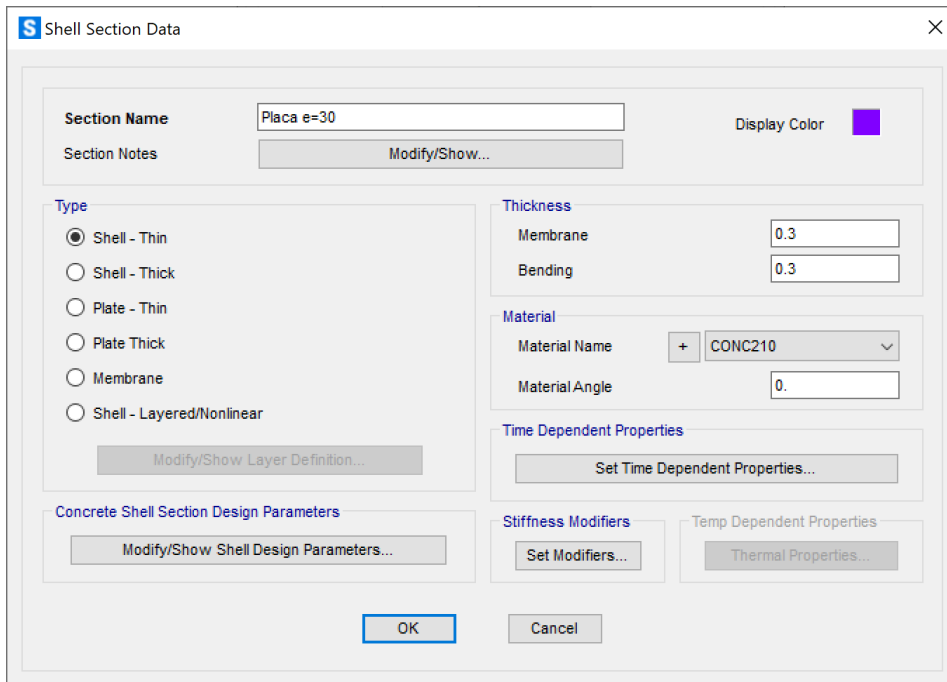
*Nota.* Elaboración propia

La figura 36 muestra el ingreso al programa SAP 2000 la placa de concreto armado de 30 cm.



### Figura 36

*Definición de Placas  $e=30$  cm de Concreto Armado en el Sap2000*



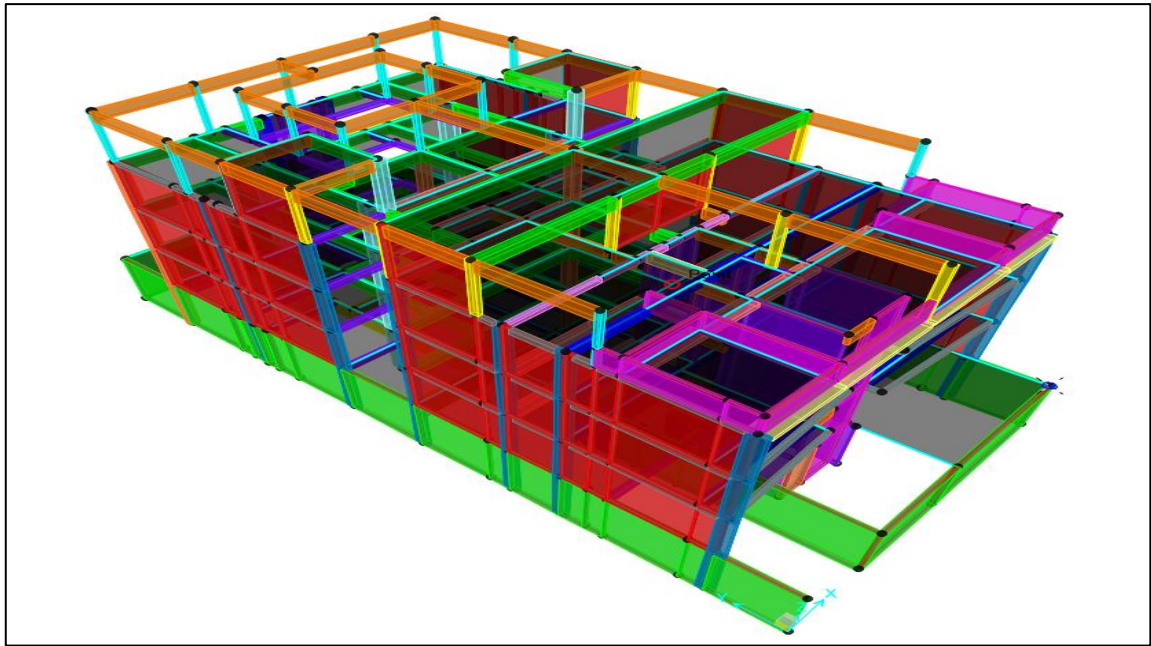
*Nota.* Elaboración propia

Finalizado la creación de los materiales, la definición de secciones de elementos estructurales se procede a dibujar y modelar la estructura. Obteniendo el modelo 3D de la Edificación Multifamiliar Santa Maria.

La figura 37 muestra la vista isométrica del edificio en el programa SAP 2000.

### Figura 37

*Vista Isométrica de Edificación Multifamiliar Santa Maria en el Sap2000*

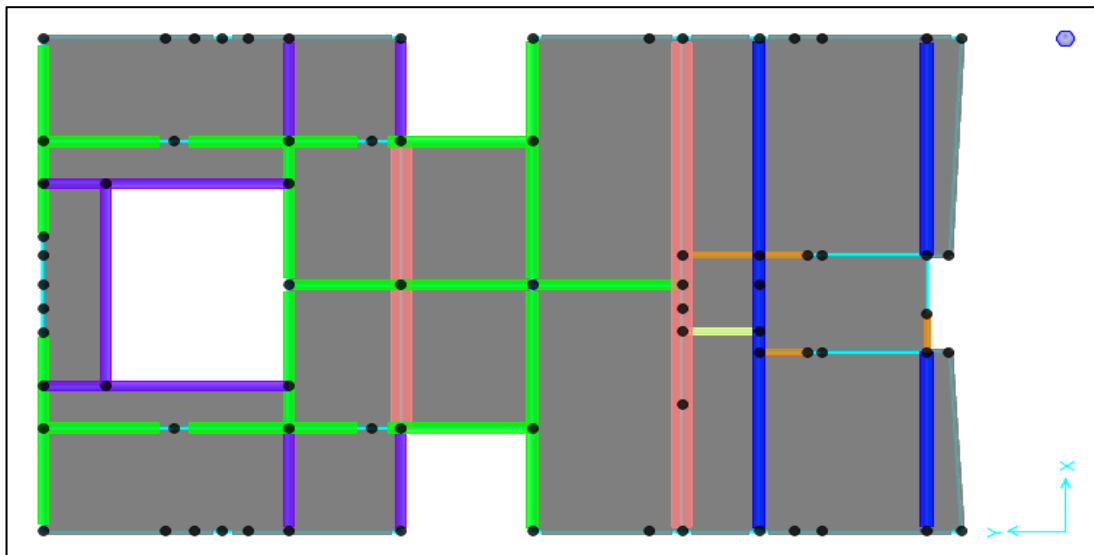


*Nota.* Elaboración propia

A continuación, en la figura 38, se muestra la planta del proyecto en 3D ingresada al SAP 2000, donde se puede apreciar claramente las distintas secciones de columnas, vigas, placas, entre otros elementos estructurales.

**Figura 38**

*Vista en Planta ( Eje XY) de Edificación Multifamiliar Santa Maria en el Sap2000*

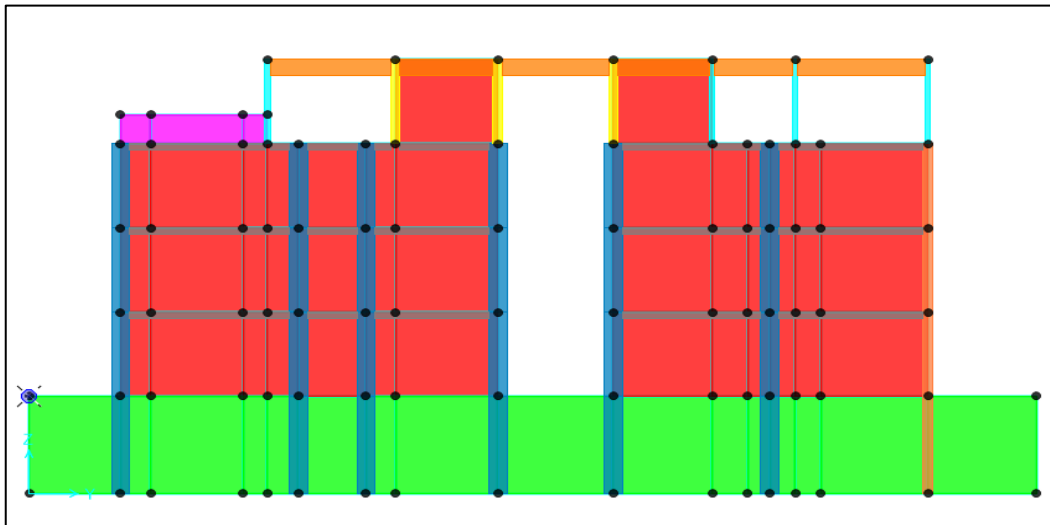


*Nota.* Elaboración propia

De igual forma, en la figura 39, se muestra una elevación en el Eje YZ, para poder identificar la modelación en 3D ingresada al SAP, donde se puede identificar los elementos estructurales del proyecto.

**Figura 39**

*Vista en Elevación (Eje YZ) de Edificación Multifamiliar Santa Maria en el Sap2000*



*Nota.* Elaboración propia

## **5.4 Análisis sísmico de la estructura sin aisladores sísmicos**

### **5.4.1 Análisis estático o Método de Fuerzas Equivalentes**

La Norma Técnica de Edificación – Diseño Sismorresistente en Perú, regula y establece los requisitos y criterios para el diseño y construcción de Edificios Sismorresistentes en este país. El cual tiene como objetivo principal garantizar la seguridad de las edificaciones y de las personas en caso de un terremoto.

El análisis estático o de Fuerzas equivalentes tiene como finalidad la representación de las solicitaciones en un sismo, a través de un conjunto de fuerzas que actúan en el centro de masas de cada nivel.

El diseño sismorresistente según la E.030 implica una serie de consideraciones y técnicas específicas que los ingenieros y arquitectos debemos seguir al diseñar teniendo en cuenta los aspectos siguientes:

**Categoría de las Edificaciones y Factor de Uso ( $U$ ).** Este concepto es importante ya que influye en la resistencia sísmica, siendo una clasificación que se utiliza para agrupar edificios según su importancia estructural y vulnerabilidad a los terremotos. En cuanto al factor de uso a veces denominado “factor de importancia”, es el valor que se utiliza para ponderar la importancia relativa de una edificación en relación con otras en un lugar determinado. En la tabla 3 que viene a continuación, se encuentra la información detallada.

**Tabla 3***Categoría de las Edificaciones y Factor U*

Categoría	Descripción	Factor U
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

*Nota.* Extraído de la NTP E.030 artículo 15.

Nuestra edificación corresponde a una vivienda multifamiliar, por lo que se encuentra dentro de la categoría C y le corresponde un factor de uso  $U=1.0$ .

Debemos tener en cuenta que en este artículo se menciona a los edificios con aislamiento sísmico, el cual indica considerar un  $U=1.0$ .

***Sistema Estructural.*** Según lo establecido en el artículo 16 de la NTP E.030, en lo que respecta a los componentes de concreto de nuestra vivienda multifamiliar, esta ha sido diseñada con un sistema estructural dual en el eje x. Este sistema se caracteriza por el uso combinado de pórticos y muros estructurales para resistir las fuerzas sísmicas. Es importante destacar que la carga de fuerza cortante que los muros estructurales asumen se encuentra en un rango que va desde el 20% hasta el 70% de la fuerza cortante total en la base del edificio.

En cuanto al eje y, nuestra vivienda se compone de Estructuras de Albañilería, cuyos elementos sismorresistentes son muros a base de unidades de albañilería de arcilla o concreto tal como indica la Norma E.030.

***Coficiente Básico de Reducción de las Fuerzas Sísmicas ( $R_0$ ).*** Es un parámetro utilizado para determinar cómo se reducirán las fuerzas sísmicas en un edificio o estructura durante un terremoto junto con los valores de irregularidades. Un valor más alto de  $R_0$  indica una mayor capacidad de resistencia sísmica y, por lo tanto, una reducción más efectiva de las fuerzas sísmicas.

Si la estructura del edificio involucra múltiples sistemas estructurales en la dirección de análisis, se seleccionará el coeficiente  $R_0$  más bajo aplicable. A continuación, se proporciona una tabla 4 detallada para referencia.

**Tabla 4***Sistemas Estructurales*

Sistema Estructural	Coefficiente Básico de Reducción $R_0$
Concreto Armado:	
Pórticos	8
Dual	7
De muros estructurales	6
Muros de ductilidad limitada	4

*Nota.* Extraído de la NTP E.030 artículo 18.

La Norma Técnica Nacional E.030 (2018) indica que “Estos coeficientes se aplican únicamente a estructuras en la que los elementos verticales y horizontales permitan la disipación de la energía manteniendo la estabilidad de la estructura. No se aplican a estructuras tipo péndulo invertido”. (p. 7).

Según la tabla, en el caso de nuestra vivienda multifamiliar, que cuenta con un sistema estructural dual de pórticos y muros estructurales, en el eje x y en el eje y, se asigna un valor de  $R_{0x}$  igual a 7 y en el eje y  $R_{0y}$  igual a 8.

**Factores de Irregularidad ( $I_a$ ,  $I_p$ ).** La información de nuestro expediente señala que los parámetros  $I_a$  e  $I_p$  tienen un valor de 0.75, lo cual se relaciona con las irregularidades de la Tabla N°8 de la normativa NTP E.0.30 específicamente en lo que respecta a problemas de Rigidez o Piso Blando, y en la Tabla N°9 indica la existencia de irregularidades torsionales en la estructura.

**Coefficiente de Reducción de las Fuerzas Sísmicas  $R$ .** Se determina con el producto del coeficiente  $R_0$  determinado de la Tabla N°7 de la Norma, y de los factores  $I_a$  e  $I_p$  de las Tablas N°8 y N°9.

$$R_x = R_{0x} * I_a * I_p \rightarrow R_x = 7 * 0.75 * 0.75 = 3.94$$

$$R_y = R_{0y} * I_a * I_p \rightarrow R_y = 8 * 0.75 * 0.75 = 4.5$$

Para iniciar con el análisis sísmico, nos guiamos de la Norma Técnica E.030 de Diseño Sismorresistente del Reglamento Nacional de Edificaciones, el cual nos establece las condiciones mínimas para el Diseño Sismorresistente de las Edificaciones.

## Etapa 1: Peligro Sísmico

- **Zonificación**

El territorio nacional está dividido en cuatro zonas como se indica en la Tabla 5, cada factor se interpreta como la aceleración máxima horizontal en suelo rígido con una probabilidad de 10 % de ser excedida en 50 años.

**Tabla 5**

*Factores de Zona "Z"*

Zona	Z
4	0.45
3	0.35
2	0.25
1	0.10

*Nota.* Extraído de la NTP E.030 artículo 16

Según la E.030 en el anexo II, el distrito de Santa María del Mar en el que se encuentra ubicado nuestro proyecto de investigación pertenece a la Zona 4, por lo que le corresponde un 0.45 de g.

- **Perfil de Suelo**

Se realizan estudios de suelos para identificar las condiciones geotécnicas y determinar el tipo de suelo en el que se va a realizar el Diseño de Edificación. Según la Norma E0.30 se dividen en 4 tipos de suelos como se muestra en la Tabla 6.

**Tabla 6**

*Perfiles de Suelos*

Perfil	Descripción
S0	Roca dura
S1	Roca o Suelos Muy Rígidos
S2	Suelos Intermedios
S3	Suelos Blandos
S4	Clasificación basada en el EMS

*Nota.* Extraído de la NTP E.030 artículo 12.1

Según el estudio de Mecánica de Suelos realizado por el Ing. Alberto Zegarra Tambo, con CIP 58647 para este Proyecto Multifamiliar, se determinó que el tipo de suelo es una arena densa, lo cual lo ubica dentro del perfil de suelo tipo S2 – Suelos Intermedios.

• **Parámetros de Sitio (S, TP, TL)**

Para hallar los parámetros de Sitio, requerimos del Tipo de Suelo y del factor Z, obteniendo el factor de amplificación del Suelo “S”, además de los períodos  $T_p$  y  $T_L$  dados en las siguientes Tablas.

La tabla 7 muestra el factor de suelo y la zonificación, el cual nos dará un factor de amplificación de suelo.

**Tabla 7**

*Factor de Suelo "S"*

Suelo \ Zona	Zona			
	$S_0$	$S_1$	$S_2$	$S_3$
$Z_4$	0.80	1.00	1.05	1.10
$Z_3$	0.80	1.00	1.15	1.20
$Z_2$	0.80	1.00	1.20	1.40
$Z_1$	0.80	1.00	1.60	2.00

*Nota.* Extraído de la NTP E.030 artículo 13

La tabla 8 muestra los periodos que con el tipo de suelo nos brindará los periodos correspondientes.

**Tabla 8**

*Períodos  $T_p$  y  $T_L$*

	$S_0$	$S_1$	$S_2$	$S_3$
$T_p$	0.30	0.40	0.60	1.00
$T_L$	3.00	2.5	2.00	1.60

*Nota.* Extraído de la NTP E.030 artículo 13

Según la Tabla 7, el factor de amplificación del factor de Suelo “S” corresponde a la intersección entre el  $Z_4$  y el  $S_2$  por lo que  $S= 1.05$ .

De acuerdo con la Tabla 8 nos corresponde los períodos (s),  $T_p=0.60$  y un  $T_L=2.00$ .

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

Para hallar el factor de amplificación de la aceleración estructural respecto de la aceleración del suelo “C”, se define por las siguientes expresiones

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

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

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

De acuerdo al numeral 28.4, concordando con el numeral 29.1 de la E.030, hallamos el período “T” según las siguientes expresiones.

Dirección “x”

$$T_p = 0.40 < T = 0.57 < T_L = 2.50$$

$$C_x = 2.50 \times \left( \frac{0.40}{0.57} \right)$$

$$C_x = 1.75$$

Dirección “y”

$$T = 0.22 < T_p = 2.51$$

$$C_y = 2.50$$

Asimismo, en el inciso 28.3 de la Norma E. 030, se indica que la relación C/R deber mayor igual al valor de 0.11:

$$c_x = 0.476$$

$$c_y = 1.111$$

Determinación de coeficientes para ingresar al SAP 2000 v23

-Para la Dirección “x”:

$$“C_x” = ZUC_xSR$$

$$“C_x” = 0.45 \times 1 \times 1.75 \times 16.30$$

$$C_x = 0.125 \text{ s}$$

-Para la Dirección “y”:

$$“C_y” = ZUC_ySR$$

$$“C_y” = 0.45 \times 1 \times 2.50 \times 15.40$$



$$C_y = 0.208 s$$

En el inciso 28.3.2 del artículo 28 de la Norma E 0.30, se indica lo siguiente:

$$T \leq 0.5 s, K = 1.0$$

$$T > 0.5 s, K = (0.75 + 0.5T) \leq 2.0$$

-Para la Dirección “x”:

$$Si T_x = 0.57 s, entonces el K_x = (0.75 + 0.5 \times 0.57) = 1.035$$

**Período fundamental de la edificación.** Las estructuras, por lo general, presentan distintas formas de vibración, las cuales están asociadas a un período y masa respectivo.

El período fundamental, es el tiempo que toma la edificación en completar un ciclo de vibración completo.

De conformidad con el artículo 29 de la norma E.030, que especifica que los modos de vibración pueden determinarse mediante procedimientos de análisis que tengan en cuenta las características de rigidez y la distribución de la masa, en la tabla 9 se identifican los modos de vibración y la verificación participativa de la masa. Del mismo modo, se considerarán los modos de vibración hasta el 90% de la masa total, siendo los tres primeros modos el objetivo principal.

**Tabla 9**

*Modos de vibración y masa participativa de la edificación.*

Modo	Período (S)	%Masa Participante X-X	Sum acumulado %X-X	%Masa Participante Y-Y	Sum acumulado %Y-Y	%Masa Participante Z-Z	Sum acumulado %Z-Z
1	0.569	73%	73%	0%	0%	4%	4%
2	0.446	2%	75%	0%	0%	68%	68%
3	0.219	0%	75%	71%	71%	0%	0%
4	0.152	13%	88%	0%	72%	1%	1%
5	0.107	0%	89%	0%	72%	3%	3%
6	0.071	1%	94%	0%	72%	11%	11%
7	0.049	0%	94%	0%	88%	0%	0%
8	0.049	0%	94%	0%	90%	0%	0%

9	0.043	0%	96%	0%	90%	0%	0%
10	0.03	2%	96%	0%	90%	2%	2%
11	0.03	0%	97%	0%	90%	0%	0%
12	0.023	1%	98%	0%	90%	0%	0%
13	0.023	1%	98%	2%	95%	0%	0%
14	0.022	0%	98%	15%	95%	0%	0%
15	0.019	0%	98%	1%	95%	3%	3%
16	0.018	0%	98%	0%	95%	0%	0%
17	0.016	0%	98%	0%	95%	0%	0%
18	0.015	0%	98%	0%	97%	0%	0%
19	0.012	0%	98%	0%	98%	0%	0%
20	0.01	0%	98%	0%	98%	0%	0%
21	0.009	1%	98%	0%	98%	1%	1%
22	0.007	0%	98%	0%	98%	1%	1%
23	0.007	0%	98%	0%	98%	0%	0%
24	0.007	0%	98%	0%	98%	1%	1%

*Nota.* Elaboración propia

La tabla 10 muestra los periodos fundamentales, masa participada correspondientes a los modos 1, 2 y 3.

**Tabla 10**

*Períodos fundamentales*

Dirección	Período fundamental	Masa participativa	Modo
Ux	0.57	73%	1
Uy	0.219	71%	3
Rz	0.447	68%	2

*Nota.* Elaboración propia

Mediante la Tabla N°10, se obtiene:

$$Tx = 0.57$$

$$Ty = 0.219$$

Basándonos en la información proporcionada anteriormente, se puede concluir que el 90% de la masa participativa en el modo 8 cumple el artículo 29 de la norma E. 030. Esto nos servirá de apoyo más adelante cuando realicemos el análisis dinámico.

Determinación de coeficientes para ingresar al SAP 2000 v23

**-Para la Dirección X:**

$$C_x = ZUC_xS/(R_x)$$

$$C_x = 0.45 \times 1 \times 2.50 \times 1.05 / (5.25)$$

$$C_x = 0.225 \text{ s}$$

**-Para la Dirección Y**

$$C_y = ZUC_yS/(R_y)$$

$$C_y = 0.45 \times 1 \times 2.50 \times 1.05 / (2.25)$$

$$C_y = 0.525 \text{ s}$$

En el inciso 28.3.2 del artículo 28 de la Norma E 0.30, se indica lo siguiente:

$$T \leq 0.5 \text{ s}, K = 1.0$$

$$T > 0.5 \text{ s}, K = (0.75 + 0.5T) \leq 2.0$$

**- Para la Dirección X:**

$$\text{Si } T_x = 0.57 \text{ s, entonces el } K_x = (0.75 + 0.5 \times 0.57) = 1.035$$

**- Para la Dirección Y**

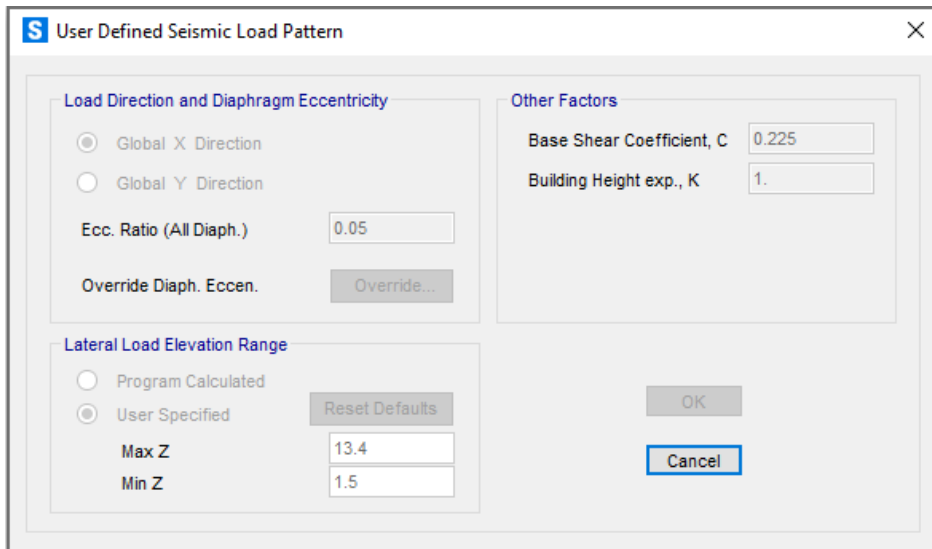
$$\text{Si } T_y = 0.22 \text{ s, entonces el } K_y = 0.22 \leq 0.5 = 1.000$$

Como se observa el ingreso de los coeficientes mediante la Figura N°40 y Figura N°41.6

La figura 40 muestra el ingreso al SAP 2000 del factor de amplificación sísmica en el eje x.

**Figura 40**

*Ingreso de Factor de Ampliación Sísmica en X*

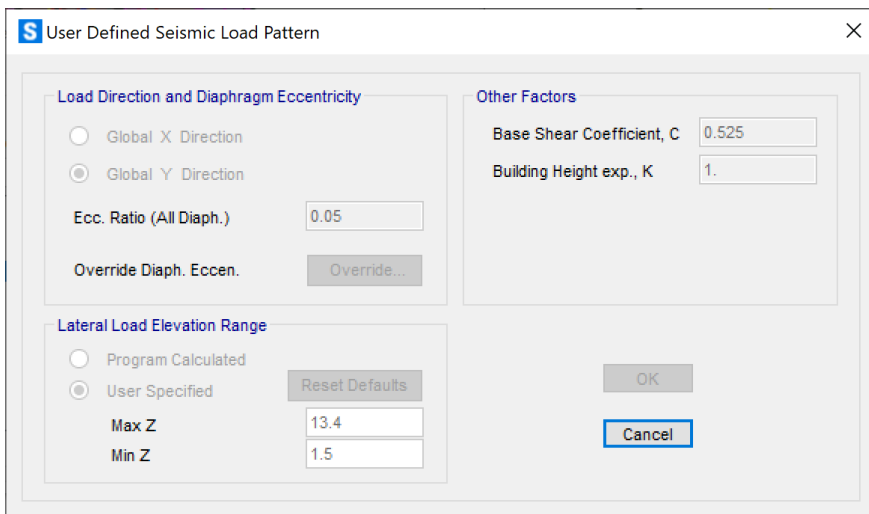


*Nota.* Elaboración propia

La figura 41 muestra el ingreso al SAP 2000 del factor de amplificación sísmica en el eje y.

**Figura 41**

*Ingreso de Factor de Ampliación Sísmica en Y*



*Nota.* Elaboración propia

En la Tabla 11 se muestra el resumen de los parámetros sísmicos utilizados en el análisis estructural.

**Tabla 11**

*Resumen de los parámetros sísmicos obtenidos*

Parámetros sísmicos		
Factor de Zonificación	Z	0.450

Uso	U	1.000
Factor de amplificación sísmica	Cx	2.500
	Cy	2.500
Perfil de suelo (S1)	S	1.050
Factor de reducción sísmica	Rx	5.250
	Ry	2.250
	Tp	0.600
Períodos fundamentales	Tl	2.000
	Tx	0.298
	Ty	0.223

*Nota.* Elaboración propia

### ***Masa y peso de la edificación.***

Para el cálculo de masas y pesos por nivel se toma el 100% de la Carga Muerta y el 25 % de la Carga Viva, según lo estipulado en la NTP E020.

La tabla 12 muestra el cálculo realizado en Excel para obtener las masas y pesos de edificación.

**Tabla 12**

### ***Cálculo de Masa y peso de la Edificación***

Cálculo de Masas											
Nivel i	Área, m <sup>2</sup>	Altura piso, m	wd, kg/m <sup>2</sup>	w l, kg/m <sup>2</sup>	% S/C	w total, kg/m <sup>2</sup>	Pd, t	Pi, t	Pi dato(* )	Pi, t	Masa i, t-s <sup>2</sup> /m
6							-		-		
5	64.0	2.60	500.0	100.0	25%	825.0	51	1.60	-	52.80	5.38
4	242.6	2.60	500.0	200.0	25%	850.0	194	12.13	-	206.18	21.02
3	242.6	2.60	500.0	200.0	25%	850.0	194	12.13	-	206.18	21.02
2	244.9	2.60	500.0	200.0	25%	850.0	196	12.25	-	208.18	21.22
1	329.2	3.00	500.0	200.0	25%	850.0	263	16.46	-	279.82	28.52
	1,123	13.4								953.17	

*Nota.* Elaboración propia

Mediante la Tabla 13, se extrae la masa de cada nivel de la edificación y por consiguiente el peso total de esta misma el cual se visualiza como resumen en la tabla 13.

**Tabla 13**

### ***Masa Total de la edificación***

Nivel	Masa (Ton-s2/m)	P (ton)
Azotea	5.38	52.80
4° piso	21.02	206.18
3° piso	21.02	206.18
2° piso	21.22	208.18
1° piso	28.52	279.82

*Nota.* Elaboración propia

$$\sum P = 953.17\text{Ton}$$

**Fuerza cortante de la edificación y distribución de la Fuerza Sísmica.** El valor de la fuerza cortante en la base o cortante basal es una reacción horizontal en ambos sentidos, que representa una porción del peso total de la estructura. La cortante basal se considera desde el nivel natural, es decir, desde el NPT +0.00.

Dicha cortante basal se obtiene de la siguiente fórmula descrita en el Capítulo 28.2 de la NTP E.030 Diseño Sismorresistente.

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

-Cortante Basal en Sentido X:

$$V_x = ZUCS x P/R_x$$

$$V_x = (0.45 x 1 x 2.50 x 1.05) 953.17/5.25 \text{ ton}$$

$$V_x = 214.46 \text{ ton}$$

- Cortante Basal en Sentido Y:

$$V_y = ZUCS x P/R_y$$

$$V_y = (0.45 x 1 x 2.50 x 1.05) 953.17/2.25 \text{ ton}$$

$$V_y = 500.41 \text{ ton}$$

De igual forma, obtendremos el valor de la Cortante basal mediante el Software SAP 2000 y podremos comparar el valor obtenido mediante cálculos.

En la figura 42 se muestra la cortante basal calculado por el SAP 2000.

#### **Figura 42**

*Cortante Basal obtenido del Software Sap 2000*

LoadPat Text	Dir Text	PercentEcc Unitless	EccOverride	UserZ Yes/No	MaxZ m	MinZ m	C Unitless	K Unitless	WeightUsed	BaseShear Tonf
SismoEjeX	X	0.05	No	Yes	13.4	1.5	0.225	1	1129.2767	254.0873
SismoEjeY	Y	0.05	No	Yes	13.4	1.5	0.525	1	1129.2767	592.8703

*Nota.* Elaboración propia

Ante lo obtenido, se observa que, los resultados de las cortantes presentan diferencia entre los valores obtenidos mediante el uso de fórmulas y los valores obtenidos de la Figura 40.

Ante esta diferencia, se utilizará los valores obtenidos del SAP 2000, dado que, son más exactos y no presentan errores.

***Distribución de la fuerza sísmica.*** Según la Norma E.030 se debe cumplir las siguientes ecuaciones para poder distribuir la fuerza sísmica:

$$F_i = \alpha_i \times V$$

$$\alpha_i = P_i \times h_i K_i \sum P_i \times h_i K_i$$

La tabla 14 muestra la distribución de fuerza sísmica mediante cálculos en Excel.

**Tabla 14**

*Distribución de la Fuerza sísmica en X e Y.*

Niveles	Pi	Hi	Pi(x)Hi	Pi(y)Hi	$\alpha_{ix}$	$\alpha_{iy}$	Fix	Fiy
Azotea	52.80	13.40	707.5	707.5	0.116	0.114	22.89	53.40
4	206.18	10.80	2226.8	2226.8	0.168	0.169	72.03	168.06
3	206.18	8.20	1690.7	1690.7	0.125	0.126	54.69	127.60
2	208.18	5.60	1165.8	1165.8	0.082	0.084	37.71	87.99
1	279.82	3.00	839.5	839.5	0.04	0.042	27.15	63.36
<b>Totales</b>							<b>214.46</b>	<b>500.41</b>

*Nota.* Elaboración propia

Mediante la Tabla 14, se desprende que, la fuerza máxima para ambas direcciones se da en el 4 nivel, con un valor de 72.03 y 168.06 ton respectivamente.

#### **5.4.2 Análisis dinámico espectral**

“El análisis modal espectral utiliza los modos de vibrar y el espectro de diseño, con base en que la estructura se comporta de manera elástica, suponiendo los entrepisos como

diafragmas rígidos, tomando como grados de libertad dos desplazamientos ortogonales y un giro alrededor de un eje vertical por cada nivel.” (Hernandez, 2003).

Es importante mencionar que la ventaja principal del análisis modal espectral es que solo resulta necesario la respuesta sísmica de los primeros nodos, dado que, la respuesta de los nodos superiores es muy pequeña.

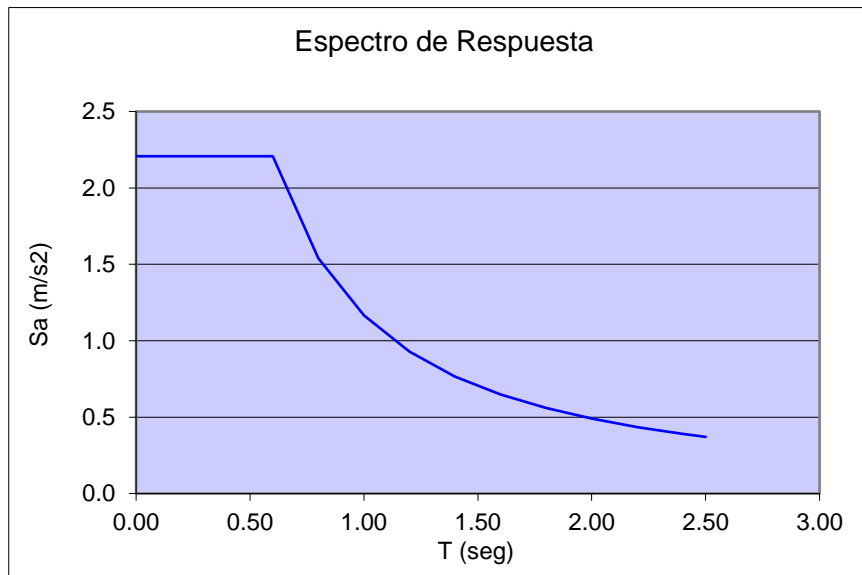
Para realizar el análisis dinámico espectral es necesario conocer el espectro de diseño para ambas direcciones, el cual según lo indica la norma E.030 en el capítulo 29.2 Aceleración Espectral se determina de la siguiente manera:

$$S_a = \frac{ZUCS}{R} xg$$

En la Figura 43 y Figura 44, podemos apreciar el espectro de respuesta en X y el espectro de respuesta en Y, cuyo valor mide la reacción de la estructura ante la vibración del suelo donde se encuentra cimentado y en las tablas 17 y 18 se verifican los datos ingresados para obtener los espectros correspondientes.

**Figura 43**

*Espectro de Respuesta X*



*Nota.* Elaboración propia

La tabla 15 muestra la iteración del espectro de respuesta realizada mediante cálculo en el Excel correspondiente al eje x.

**Tabla 15**

*Espectro de Respuesta X*

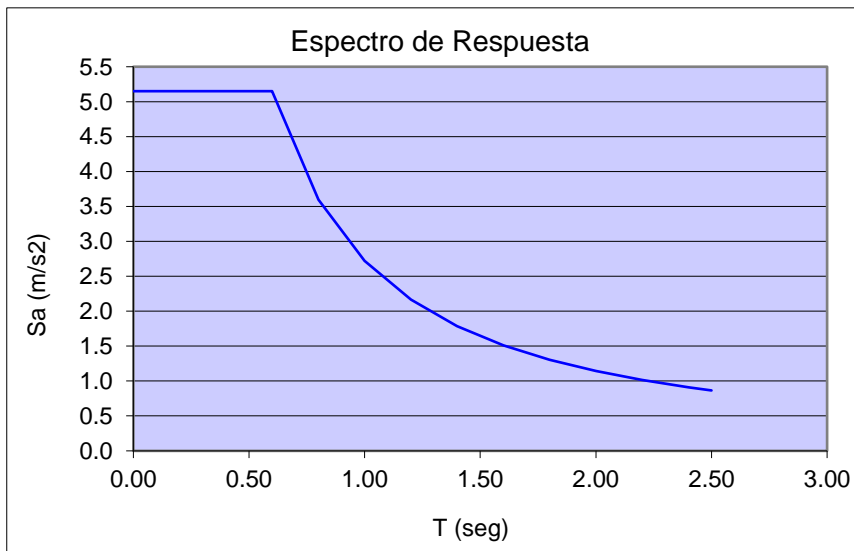


T	Spec	Sa
0.00	2.500	2.207
0.60	2.500	2.207
0.80	1.745	1.541
1.00	1.320	1.166
1.20	1.051	0.928
1.40	0.867	0.765
1.60	0.734	0.648
1.80	0.633	0.559
2.00	0.555	0.490
2.00	0.555	0.490
2.20	0.493	0.435
2.40	0.442	0.390
2.50	0.420	0.371

*Nota.* Elaboración propia

#### **Figura 44**

*Espectro de Respuesta Y*



*Nota.* Elaboración propia

La tabla 16 muestra la iteración del espectro de respuesta realizada mediante cálculo en el Excel correspondiente al eje y.

#### **Tabla 16**

*Espectro de Respuesta Y*

T	Spec	Sa
0.00	2.500	5.150
0.60	2.500	5.150
0.80	1.745	3.595
1.00	1.320	2.720
1.20	1.051	2.165
1.40	0.867	1.786
1.60	0.734	1.511
1.80	0.633	1.304
2.00	0.555	1.143
2.00	0.555	1.143
2.20	0.493	1.015
2.40	0.442	0.910
2.50	0.420	0.865

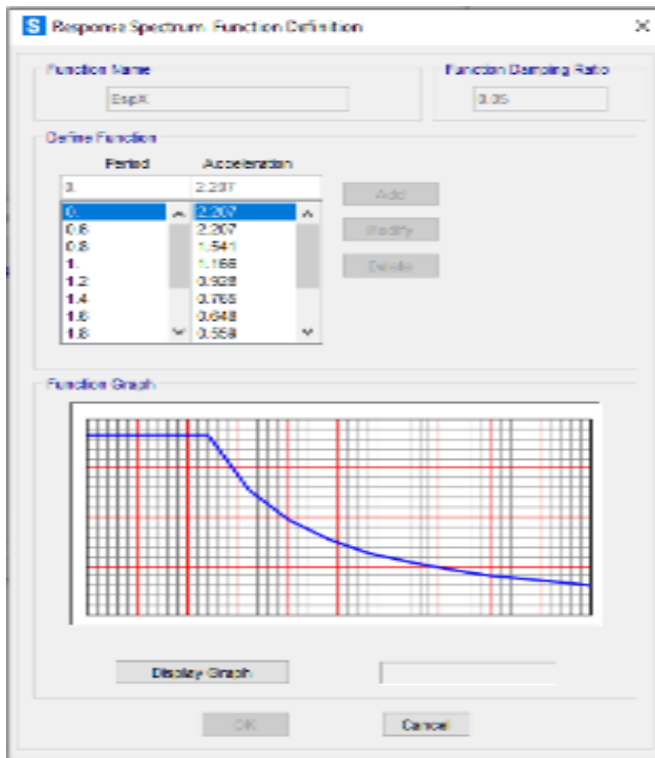
*Nota.* Elaboración propia

Dichos valores serán ingresados al Software Sap2000 v23 para que sean tomados en cuenta al momento de realizar el análisis dinámico.

La figura 45 muestra el ingreso de espectro de respuesta ingresado en el SAP 2000 correspondiente al eje x.

**Figura 45**

*Espectro de Respuesta en X ingresados al SAP2000*

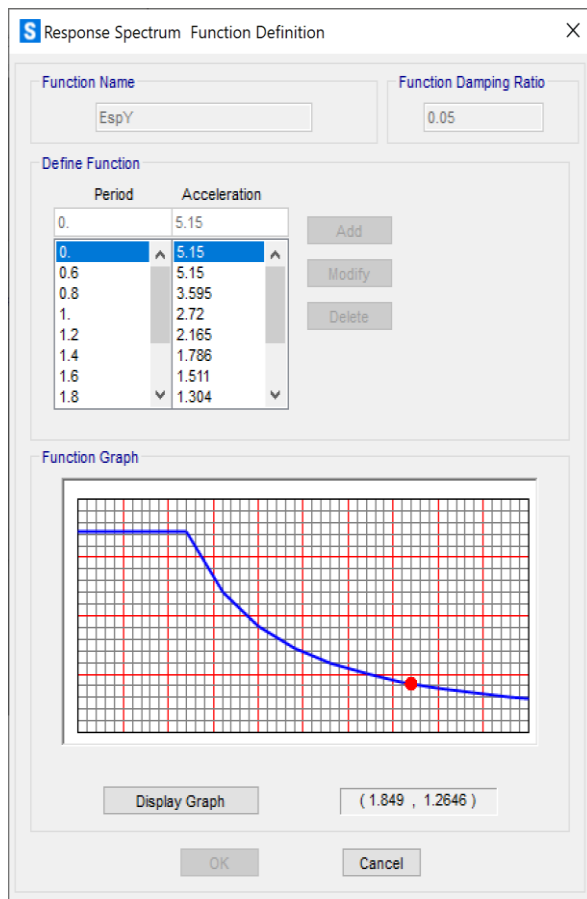


*Nota.* Elaboración propia

La figura 46 muestra el ingreso de espectro de respuesta ingresado en el SAP 2000 correspondiente al eje y.

**Figura 46**

*Espectro de Respuesta en Y ingresados al SAP2000*



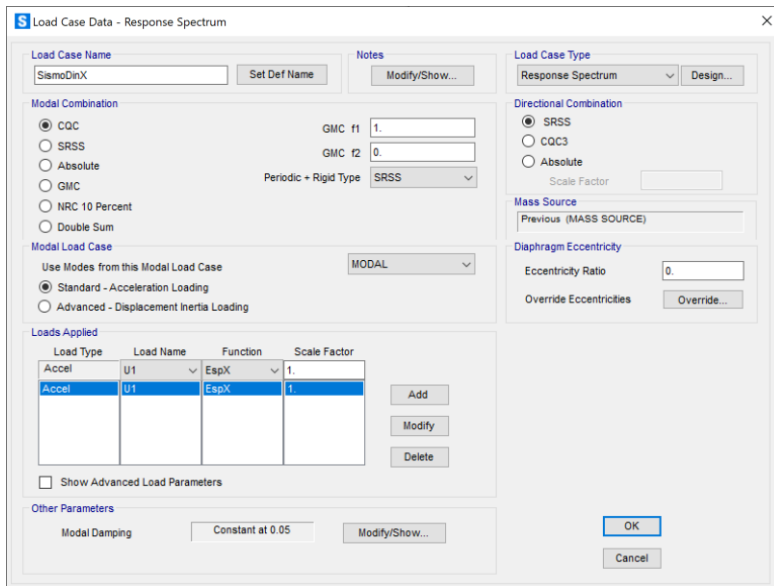
*Nota.* Elaboración propia

Luego de ingresado el espectro de aceleraciones, se deberá cargar las combinaciones dinámicas espectrales. Para tal fin, en el software SAP2000 se define de la siguiente manera el caso de Sismo Dinámico X (SismoDinX) y el Sismo Dinámico Y (SismoDinY).

En la figura 47 se muestra el ingreso al SAP 2000 de la combinación de cargas correspondiente al eje x.

### **Figura 47**

*Combinación de Carga de Sismo Dinámico X*

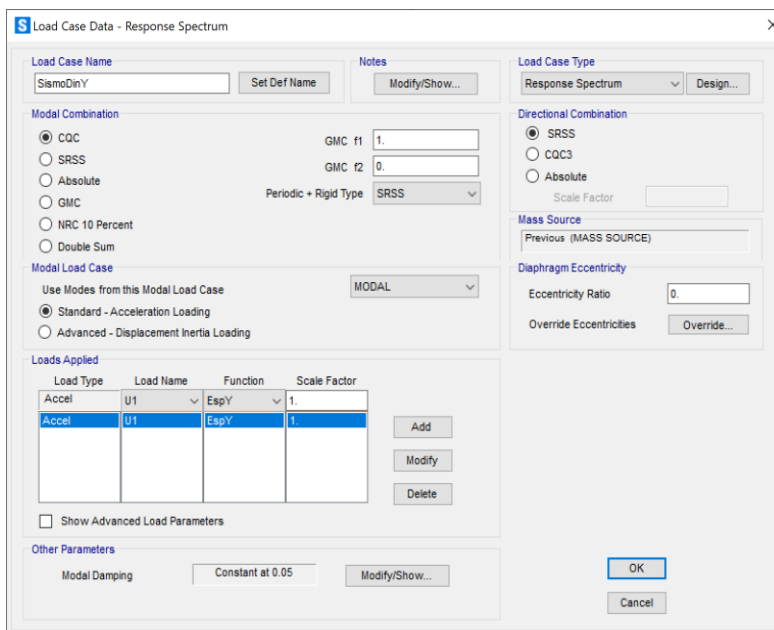


*Nota.* Elaboración propia

En la figura 48 se muestra el ingreso al SAP 2000 de la combinación de cargas correspondiente al eje y.

### Figura 48

#### *Combinación de Carga de Sismo Dinámico Y*



*Nota.* Elaboración propia

Luego de ingresada la información requerida por el Software Sap2000 para el análisis dinámico espectral y haber asignado brazos rígidos a todos los elementos, se procede a correr el modelo con las siguientes combinaciones de carga, definidas en el Artículo 19 de la NTP E.020.

Las figuras 49 y 54 nos muestran las combinaciones de carga que indica la norma y como son ingresadas al SAP 2000, las combinaciones de cargas descritas son las siguientes:

*Comb 1: Combinación de Carga de 1.4CM + 1.7CV*

*Comb 2: Combinación de Carga 1.25CM + 1.25CV + 1.25 SismDinX*

*Comb 3: Combinación de Carga 1.25CM + 1.25CV + 1.25 SismDinY*

*Comb 4: Combinación de Carga 0.9 CM + 1.25 SismDinX*

*Comb 5: Combinación de Carga 0.9 CM + 1.25 SismDinY*

*Comb 1: Envolvente*

La figura 49 muestra el ingreso del Comb 1 en el SAP 2000.

### **Figura 49**

*Combinación de Carga de 1.4CM + 1.7CV*

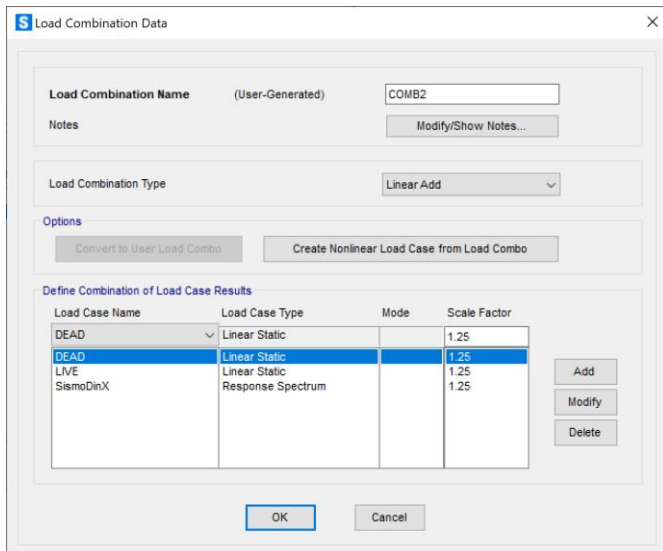
Load Case Name	Load Case Type	Mode	Scale Factor
DEAD	Linear Static		1.4
DEAD	Linear Static		1.4
LIVE	Linear Static		1.7

*Nota.* Elaboración propia

La figura 50 muestra el ingreso del Comb 2 en el SAP 2000.

### **Figura 50**

*Combinación de Carga de 1.25CM + 1.25CV + 1.25 SismDinX*

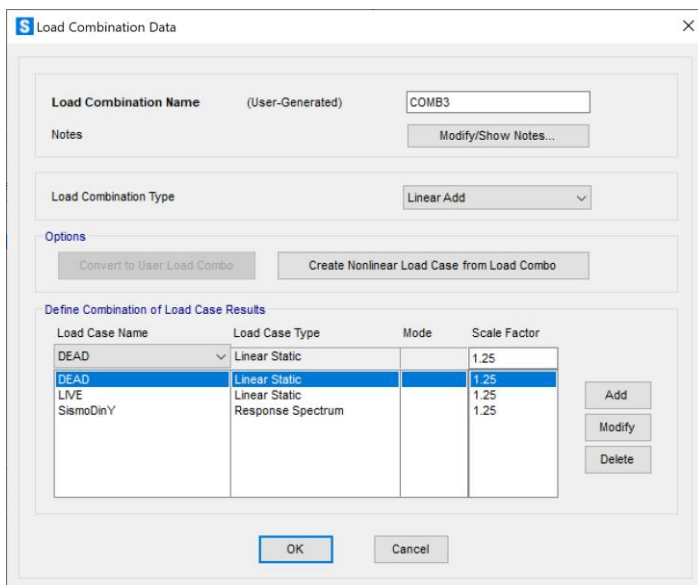


*Nota.* Elaboración propia

La figura 51 muestra el ingreso del Comb 3 en el SAP 2000.

**Figura 51**

*Combinación de Carga de 1.25CM + 1.25CV + 1.25 SismDinY*

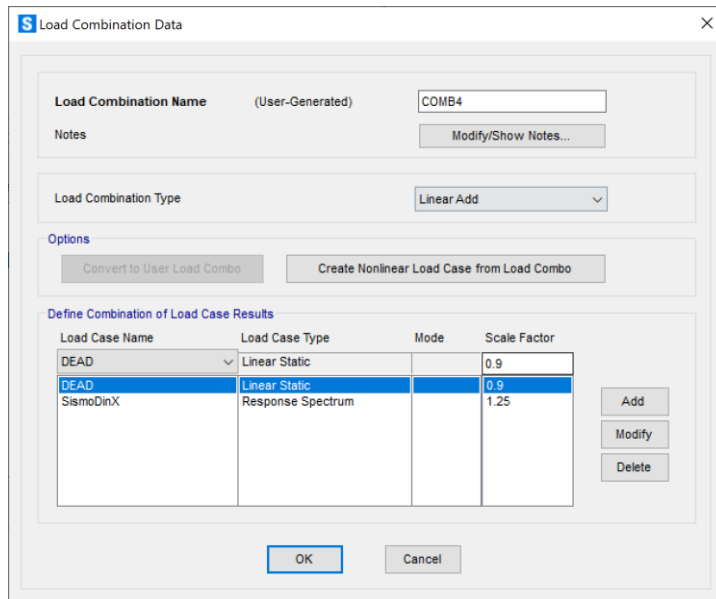


*Nota.* Elaboración propia

La figura 52 muestra el ingreso del Comb 4 en el SAP 2000.

**Figura 52**

*Combinación de Carga de 0.9 CM + 1.25 SismDinX*

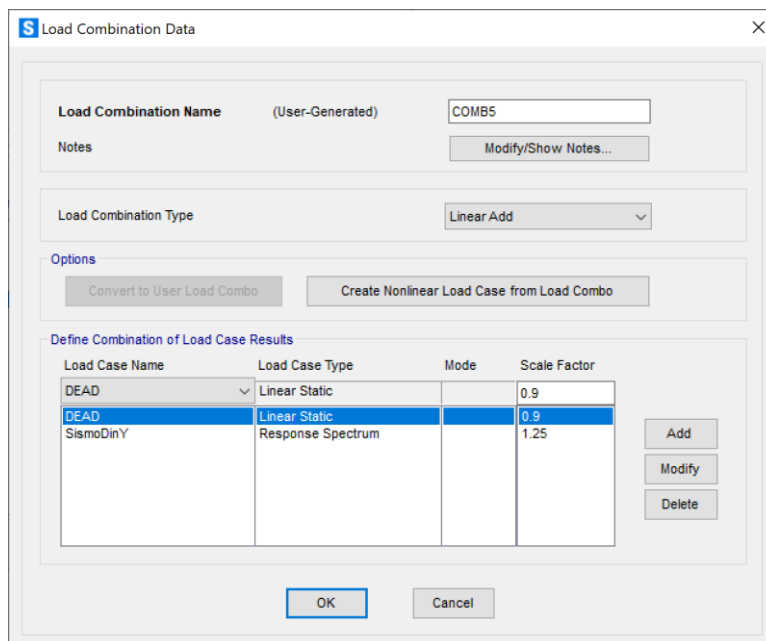


*Nota.* Elaboración propia

La figura 53 muestra el ingreso del Comb 5 en el SAP 2000.

**Figura 53**

*Combinación de Carga de 0.9 CM + 1.25 SismDinY*



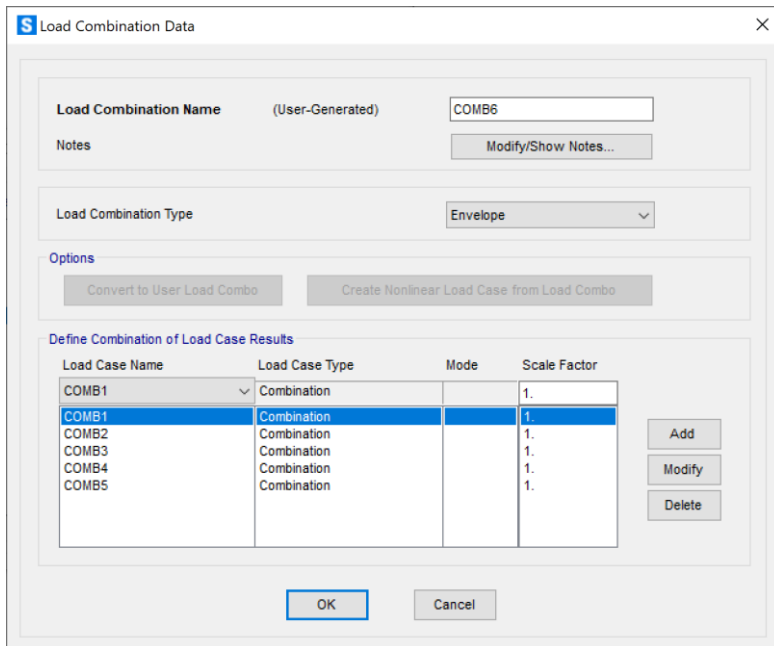
*Nota.* Elaboración propia

La figura 54 muestra el ingreso el envolvente en el SAP 2000.

**Figura 54**

*Combinación de Carga Envolvente*





*Nota.* Elaboración propia

La primera comprobación que hay que hacer es la que se indica en el artículo 29 de la NTP E.030, que dice que la fuerza cortante dinámica en la primera planta del edificio no puede ser inferior al 90% de la fuerza cortante estática para estructuras irregulares para cada dirección tenida en cuenta durante el análisis.

La figura 55 se muestra las cortantes dinámica y estáticas correspondientes al eje x e y.

### Figura 55

*Resultados de la Cortante Dinámica y Estática en X e Y en la base*

	OutputCase	CaseType Text	StepType Text	GlobalFX Tonf	GlobalFY Tonf	GlobalFZ Tonf	GlobalMX Tonf-m	GlobalMY Tonf-m	GlobalMZ Tonf-m	GlobalX m	GlobalY m	GlobalZ m
▶	SismoDinX	LinRespSpec	Max	147.094	1.6417	1.1638	11.40799	1461.31434	1930.97296	0	0	0
	SismoDinY	LinRespSpec	Max	343.2416	3.8308	2.7158	26.62038	3409.95416	4505.89522	0	0	0
	SismoEstX	LinStatic		-254.0873	-3.07E-13	1.027E-12	1.687E-11	-2287.70867	3688.74568	0	0	0
	SismoEstY	LinStatic		1.071E-12	-592.8703	-1.776E-13	5337.98691	6.381E-12	-4200.5648	0	0	0

*Nota.* Elaboración propia.

De la figura 55 se desprende que:

$$V_{\text{Dinámico X}} = 147.94 \text{ Tn} > 90 \% V_{\text{Estático X}} = 228.67 \text{ ( No Cumple)}$$

$$V_{\text{Dinámico Y}} = 343.24 \text{ Tn} > 90 \% V_{\text{Estático Y}} = 533.58 \text{ ( No Cumple)}$$

Dado que la fuerza cortante dinámica comparada con el 90% de la fuerza cortante estática no cumple, se deberá realizar el escalamiento de fuerzas, de tal manera que se consiga un factor que proporcione las fuerzas y pueda hacer que el modelo cumpla el Artículo 29 de la NTP E.030.

La figura 56 se muestra las fórmulas utilizadas para el escalamiento de fuerzas que no cumplen.

**Figura 56**

*Fórmula de Escalamiento de Fuerzas*

$F_{\text{ESCAL-REGULAR}} = (F_{\text{ESTATICA}}/F_{\text{DINAMICA}}) * 0.80$ $F_{\text{ESCAL-IRREGULAR}} = (F_{\text{ESTATICA}}/F_{\text{DINAMICA}}) * 0.90$
---

*Nota.* Elaboración propia.

La tabla 17 muestra los factores de escalamiento de fuerzas respectivamente a la fuerza dinámica y la fuerza estática.

**Tabla 17**

*Factor de Escalamiento*

Irregular 0.90 =	1.55	Irregular 0.90 =	1.55
F dinámico X =	147.1	F dinámico Y =	343.2
F estático X =	254.1	F estático Y =	592.9

*Nota.* Elaboración propia.

Este factor de escalamiento de fuerzas (1.55) se ingresa al Software Sap2000 y se vuelve a correr el modelo, con esta modificación de factores se cumple el Artículo 29 de la NTP E.030.

Finalmente, se procede a realizar la verificación de la deriva de entrepiso según lo indicado en el Art. 31 de la NTP E.030, donde se indica que los desplazamientos se obtienen al multiplicar por 0.75 los resultados obtenidos del análisis lineal y estático y que estos deberán ser menor, para nuestro caso, menor a 0.007 para que cumpla (OK). En la Tabla 18 realizamos las verificaciones.

**Tabla 18**

*Verificación de la deriva de Entrepiso en X e Y*

DESPLAZ. PISO	h	Máximo Absolut o X	Máximo Absoluto Y	Máximo Relativo X	Máximo Relativo Y	( $\Delta$ / h ex)	( $\Delta$ / h ey)	Cumpl e en X	Cumple en Y
5 (Nudo 421)	2.60	4.235	0.837	1.227	0.235	0.00472	0.0009	OK	OK
4 (Nudo 330)	2.60	3.008	0.602	1.129	0.196	0.00434	0.0008	OK	OK
3 (Nudo 251)	2.60	1.878	0.406	1.067	0.215	0.00410	0.0008	OK	OK
2 (Nudo 177)	2.60	0.812	0.192	0.715	0.172	0.00275	0.0007	OK	OK
1 (Nudo 89)	3.00	0.096	0.020	0.096	0.020	0.00032	0.0001	OK	OK
Suelo (Nudo 21)		0.000	0.000						

*Nota.* Elaboración propia.

## 5.5 Análisis sísmicos de la estructura con aisladores LRB

### 5.5.1 Reestructuración de diseño aislado

Se le considera un “sistema de aislamiento sísmico” o también llamado “sistema aislado” a aquella interfase que se ubicará a nivel de la sub-estructura, es decir, en la base inferior de la super-estructura, la cual logrará que esta tenga una performance como un bloque rígido.

Dentro de este nivel, se ubican los dispositivos de aislamiento sísmico, conocidos como “aisladores sísmicos”, los cuales permitirán que en la base se originen deformaciones superlativas ante el efecto de un evento sísmico.

A efectos de esta investigación, se han conservado las mismas características del sistema dual para incorporar este sistema y utilizar los análisis siguientes, con la elección de eliminar las placas que estaban presentes en la dirección "y". Sin embargo, se han conservado algunas que se incluirían en los elementos, como el ascensor y las escaleras. Además, se han "sustituido" los pilares típicos en todo el edificio para "suplir" la omisión de las placas respetando los mismos criterios originales.

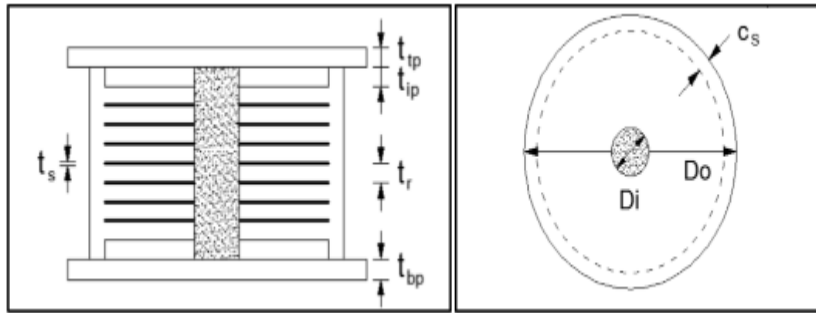
### 5.5.2 Diseño de aisladores elastoméricos

A continuación, seguimos los siguientes pasos para obtener el diseño de los aisladores con núcleo de plomo, utilizando el catálogo de fabricantes, en este caso se usa de la empresa Mageba. Además, se utilizan las Normas ASCE 7-16 y la NTP E.031

Para el diseño se considera las propiedades nominales de aisladores en la Figura 57 se muestra los componentes geométricos de un aislador LRB, como son diámetro de caucho, espesor de lámina de acero y espesor de placas base exteriores.

## Figura 57

*Componentes de Aislador con Núcleo de Plomo LASTO*



Nota. (Constantinou et al, 2011, p.39)

En la tabla 19 se muestra los datos iniciales para el diseño preliminar del aislador LRB, datos que se usarán en los pasos para el diseño del aislador definitivo.

**Tabla 19**

*Datos iniciales para el Diseño Preliminar del Aislador LRB*

<b>DATOS PRINCIPALES PARA EL DISEÑO PRELIMINAR DEL AISLADOR LRB</b>	
Módulo de corte del caucho	$G$
Esfuerzo de fluencia efectivo del plomo	$\sigma_y$
$\lambda$ usado para considerar calentamiento, tasa de carga y scragging	$\lambda_{test,max,G}$ ; $\lambda_{test,min,G}$
$\lambda$ usado para considerar efectos de envejecimiento y condiciones ambientales	$\lambda_{ae,max,\sigma}$ ; $\lambda_{ae,min,\sigma}$
$\lambda$ usado para considerar variaciones de fabricación permisible	$\lambda_{spec,max}$ ; $\lambda_{spec,min}$

Nota. Elaboración propia.

**Paso 1: Propiedades Nominales**

Para las propiedades nominales que son el Módulo de corte del caucho y el Esfuerzo de fluencia efectivo del plomo usamos valores comerciales:

$$G = 0.06 \text{ Ksi}$$

$$\sigma_y = 1.45 \text{ Ksi}$$

**Paso 2: Factores de Prueba**

**a) Para el módulo de corte del caucho**

$$\lambda_{test,max,G} = 1.15$$

Factor  $\lambda$  máximo del caucho, usado para considerar calentamiento, tasa de carga y scragging.

$$\lambda_{test,min,G} = 1.00$$

Factor  $\lambda$  mínimo del caucho, usado para considerar calentamiento, tasa de carga y scragging.

**b) Para el esfuerzo de fluencia efectivo del plomo**

$$\lambda_{test,max,\sigma} = 1.34$$

Factor  $\lambda$  máximo del plomo, usado para considerar calentamiento, tasa de carga y scragging.

$$\lambda_{test,min,\sigma} = 0.92$$

Factor  $\lambda$  mínimo del plomo, usado para considerar calentamiento, tasa de carga y scragging.

**Paso 3: Factores de Envejecimiento Ambiental**

**a) Para el módulo de corte del caucho**

$$\lambda_{ae,max,G} = 1.10$$

Factor  $\lambda$  máximo del caucho, usado para considerar efectos de envejecimiento y condiciones ambientales.

$$\lambda_{ae,min,G} = 1.00$$

Factor  $\lambda$  mínimo del caucho, usado para considerar efectos de envejecimiento y condiciones ambientales.

**b) Para el esfuerzo de fluencia efectivo del plomo**

$$\lambda_{ae,max,\sigma} = 1.00$$

Factor  $\lambda$  máximo del plomo, usado para considerar calentamiento, tasa de carga y scragging.

$$\lambda_{ae,min,\sigma} = 1.00$$

Factor  $\lambda$  mínimo del plomo, usado para considerar calentamiento, tasa de carga y scragging.

**Paso 4: Factores de especificación**

$$\lambda_{spec,max} = 1.10$$

Factor  $\lambda$  máximo, usado para considerar variaciones de fabricación permisibles.

$$\lambda_{spec,min} = 0.9$$

Factor  $\lambda$  mínimo, usado para considerar variaciones de fabricación permisibles.

### **Paso 5: Comportamiento de Fuerza - Desplazamiento superior e inferior**

#### **a) Para el Módulo de corte del Caucho**

Usamos la siguiente fórmula del ASCE 7-16 17.2-1:

$$\lambda_{max,G} = \left(1 + 0.75 * (\lambda_{ae,max,G} - 1)\right) x \lambda_{test,max,G} x \lambda_{spec,max}$$

Cuyo resultado es el factor  $\lambda$  máximo del caucho:

$$\lambda_{max,G} = 1.4$$

Usamos la siguiente fórmula del ASCE 7-16 17.2-2:

$$\lambda_{min,G} = \left(1 - 0.75 * (1 - \lambda_{ae,min,G})\right) x \lambda_{test,min,G} x \lambda_{spec,min}$$

Cuyo resultado es el factor  $\lambda$  máximo del caucho:

$$\lambda_{min,G} = 0.9$$

#### **b) Para el Esfuerzo de Fluencia efectiva del plomo**

Usamos la siguiente fórmula del ASCE 7-16 17.2-1:

$$\lambda_{max,\sigma} = \left(1 + 0.75 * (\lambda_{ae,max,\sigma} - 1)\right) x \lambda_{test,max,\sigma} x \lambda_{spec,max}$$

Cuyo resultado es el factor  $\lambda$  máximo del plomo:

$$\lambda_{max,\sigma} = 1.5$$

Usamos la siguiente fórmula del ASCE 7-16 17.2-2:

$$\lambda_{min,G} = \left(1 - 0.75 * (1 - \lambda_{ae,min,\sigma})\right) x \lambda_{test,min,\sigma} x \lambda_{spec,min}$$

Cuyo resultado es el factor  $\lambda$  máximo del plomo:

$$\lambda_{min,G} = 0.8$$

### **Paso 6: Factores de modificación por defecto**

#### **Tipo Fabricante de calidad (ASCE 7-16) / CLASE I (E.031)**

#### **a) Para el módulo de corte del caucho**

$$\lambda_{max,G} = 1.3$$

$$\lambda_{min,G} = 0.8$$

#### **b) Para el esfuerzo de fluencia efectivo del plomo**

$$\lambda_{max,\sigma} = 1.5$$

$$\lambda_{min,\sigma} = 0.8$$

### **Paso 7: Espectro de respuesta del sitio**

Para el espectro de diseño horizontal (E-031) se determinará de la siguiente manera:

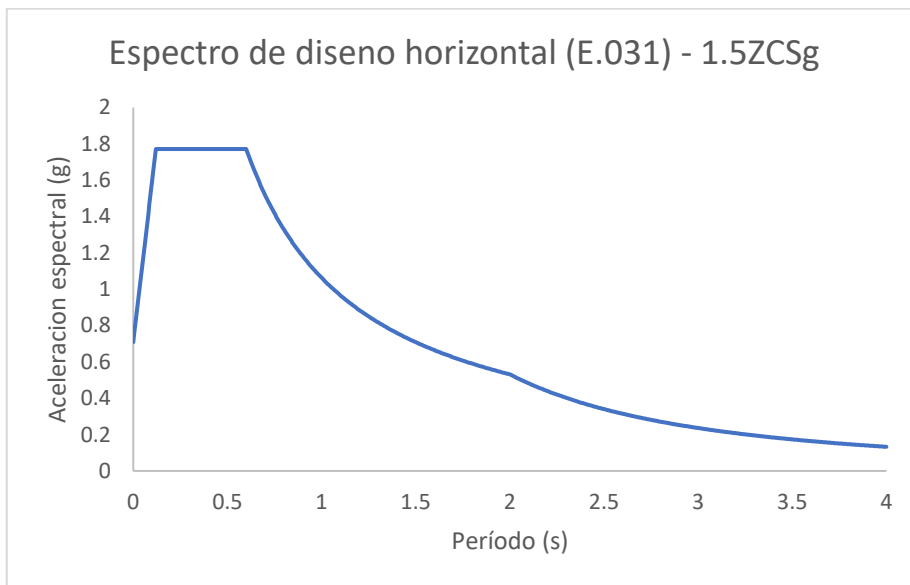
$$S_{am} = 1,5 ZUCSg$$

Donde Z, U y S son los parámetros de Zonificación Sísmica, Categoría de la Edificación y Categoría de Suelo amplificados por un factor de 1.5. Para todos los casos de estructuras el U será igual a 1.

En la figura 58 se muestra el espectro de diseño horizontal, realizado según la norma E.031.

**Figura 58**

*Espectro de Diseño Horizontal (E-031) -1.5ZCSg*



*Nota.* Elaboración propia.

$$SM1 = 1.06$$

**Paso 8: Dimensiones y Propiedades Preliminares del Aislador**

$$Qd = \pi D^2 \sigma_{yl} l / 4$$

Qd = Resistencia Característica preliminar del Sistema

Naislador = Numero de Aisladores

Qd1 Pre = Resistencia característica preliminar de un aislador

D1 Pre = Diámetro preliminar del núcleo de plomo

$$Qd = 79.529 \text{ Ton}$$

$$Na = 37.00$$

$$Qdpre = 2.15 \text{ Ton}$$

$$Dlpre = 5.19 \text{ cm}$$

**Paso 9: Propiedades Nominales (Iteracion Final)**

En la tabla 20 detallamos las propiedades nominales del aislador a utilizar:

**Tabla 20**

*Propiedades Nominales Aislador*

Propiedad Nominal	Cant.	Und.	Descripción
$\sigma_{YL}$	1.45	ksi	Esfuerzo de fluencia efectivo del plomo
G	0.06	ksi	Módulo de corte del caucho
$D_L$	14.40	cm	Diámetro del núcleo de plomo
$D_B$	55.00	cm	Diámetro del caucho adherido ( $3D_L < D_B < 6D_L$ )
$T_r$	14.40	cm	Espesor total del caucho ( $T_r \geq D_L$ )
$K_{d,total}$	23.90	Ton/cm	Rigidez post-fluencia del sistema
$Q_{d,total}$	611.60	Ton	Resistencia característica del sistema
Y	2.85	cm	Desplazamiento de fluencia aproximado ( $Q_d/9K_d$ )
$D_M$	15.00	cm	Máximo Desplazamiento Asumido (iteración "i")
$K_M$	64.70	Ton/cm	Rigidez efectiva
$T_M$	0.99	s	Período efectivo
$\beta_M$	32.53	%	Amortiguamiento efectivo
$B_M$	1.75		Coefficiente de Amortiguamiento
$D_M$	14.99	cm	Máximo Desplazamiento Calculado (iteración "i+1")
$P_u$	156.20	Ton	Carga vertical crítica ( $1.2D + 0.5L$ ) + E
$D_{TM}$	18.00	cm	Desplazamiento con torsión (aproximado a $1.2D_M$ )
$\delta$	141.80	grados	$2\cos^{-1}(D_{TM}/D_B)$
$\phi$	1.10		Factor de seguridad
t	1.29	cm	Espesor de caucho requerido por estabilidad (0.6-1.9cm)
$D_M/T_r$	104	%	Deformación unitaria por corte (Valores recomendados 200-250%)
$Q_d/W$	38	%	Resistencia en fluencia
$V_b/W$	61	%	Cortante en la base

*Nota.* Elaboración propia.

**Paso 10: Determinación de las Propiedades del Aislador (Análisis Espectral Modal – FEM)**

***Propiedades Mínimas***

En la tabla 21 se muestra de forma detallada las propiedades mínimas del aislador.

**Tabla 21**

*Propiedades mínimas del Aislador Modal – FEM*

Propiedades Mínimas	Cant.	Und.	Descripción
$K_{d,total}$	19.10	Ton/cm	Rigidez post-fluencia del sistema



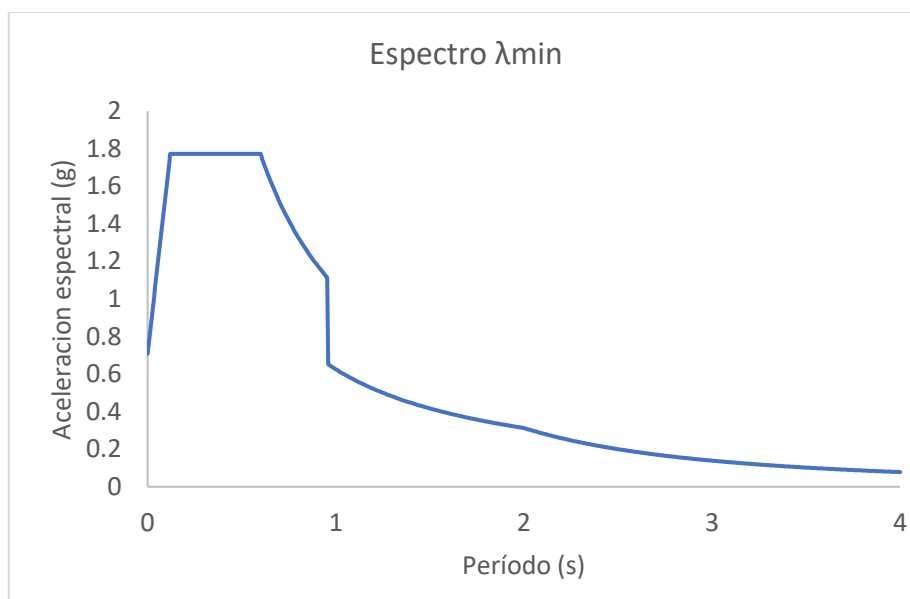
$Q_{d,total}$	489.30	Ton	Resistencia característica del sistema
$K_{d,i}$	0.52	Ton/cm	Rigidez post-fluencia de un aislador
$Q_{d,i}$	13.22	Ton	Resistencia característica de un aislador
$Y$	2.85	cm	Desplazamiento de fluencia
$D_M$	18.0	cm	Máximo Desplazamiento Calculado
$K_{isol}$	1.25	Ton/cm	Rigidez del aislador
$\beta_M$	30.00	%	Amortiguamiento efectivo ( $\leq 30\%$ )
$B_M$	1.70		Coefficiente de Amortiguamiento
$T_{eff}$	1.20	s	Período efectivo
$0.8T_{eff}$	0.96	s	0.8 veces el Período efectivo

*Nota.* Elaboración propia.

La figura 59 muestra el espectro de diseño horizontal, correspondiente a las propiedades mínimas del aislador.

### Figura 59

*Espectro de Diseño Horizontal (E-031) -1.5ZCSg*



*Nota.* Elaboración propia.

### Propiedades Máximas

La tabla 22 muestra las propiedades máximas del aislador.

**Tabla 22**

*Propiedades máximas del Aislador Modal \_ FEM*

Propiedades	Cant.	Und.	Descripción
Máximas			

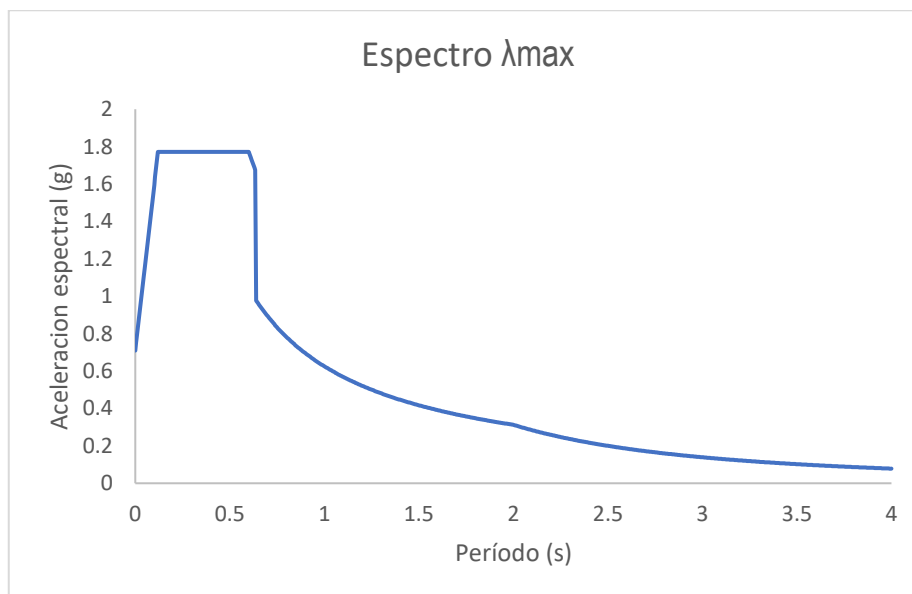
$K_{d,total}$	31.0	Ton/cm	Rigidez post-fluencia del sistema
$Q_{d,total}$	917.4	Ton	Resistencia característica del sistema
$K_{d,i}$	0.84	Ton/cm	Rigidez post-fluencia de un aislador
$Q_{d,i}$	24.80	Ton	Resistencia característica de un aislador
Y	3.28	cm	Desplazamiento de fluencia
$D_M$	11.4	cm	Máximo Desplazamiento Calculado
$K_{isol}$	3.01	Ton/cm	Rigidez del aislador
$\beta_M$	30.00	%	Amortiguamiento efectivo ( $\leq 30\%$ )
$B_M$	1.70		Coefficiente de Amortiguamiento
$T_{eff}$	0.8	s	Período efectivo
$0.8T_{eff}$	0.64	s	0.8 veces el Período efectivo

*Nota.* Elaboración propia

La figura 60 muestra el espectro de diseño horizontal, correspondiente a las propiedades máximas del aislador.

### Figura 60

*Espectro de Diseño Horizontal (E-031) -1.5ZCSg*



*Nota.* Elaboración propia.

#### 5.5.3 Análisis estático o de fuerzas equivalentes con aisladores.

Para el análisis estático o de fuerzas equivalentes incluyendo el uso de aisladores la estructura deberá cumplir ciertos requisitos como:

La ubicación geográfica de la edificación deberá estar ubicada en la Zona Sísmica 1 o 2. Para nuestro caso si cumple esa condición.

La estructura sobre el aislador no deberá de tener más de 4 niveles y/o 20.0 m de altura. Nuestra edificación no sobrepasa la altura máxima permisible ni la cantidad de niveles indicados.

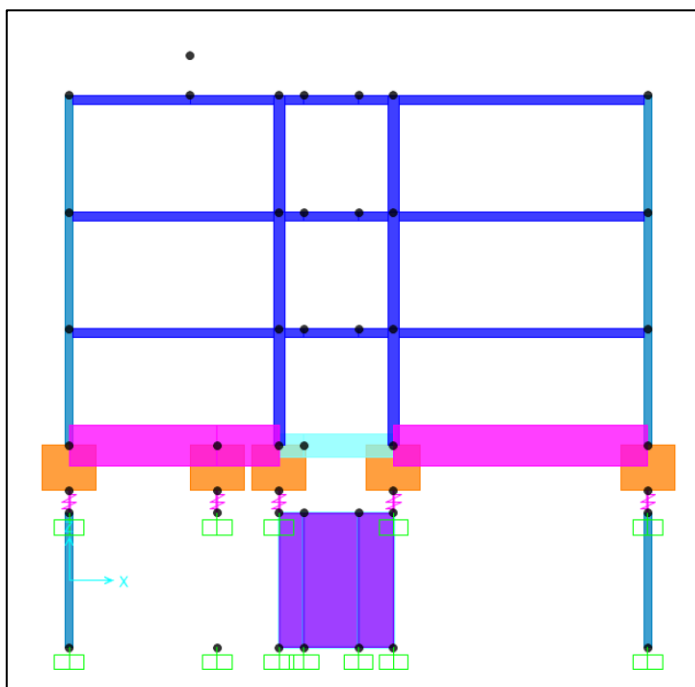
La estructura por encima del aislador no deberá tener ninguna irregularidad listadas en el Numeral 8.1 de la NTP E031. Para nuestro caso cumple también con esa condición.

Para el análisis correspondiente y el modelado del aislador se procederá a introducir los aisladores en la superficie entre la base de la columna y los muros de contención de los sótanos. Se decidió hacerlo de esta manera, dado que, los muros que están por debajo del nivel +0.00 no sufrirán desplazamientos horizontales por su propia condición de estar enterrados.

La figura 61 muestra la modelación en perfil de la separación de la subestructura y la superestructura de la vivienda multifamiliar.

### Figura 61

*Modelación de Aislador en encuentro de Base de Columna y Muro de Contención.*

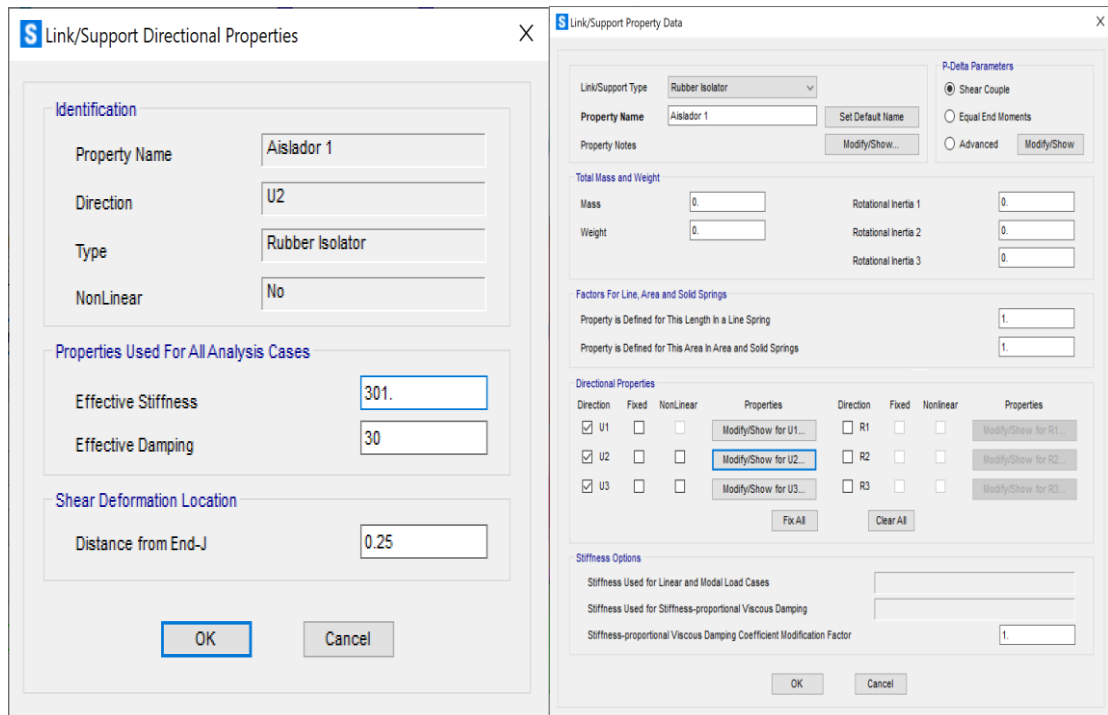


*Nota.* Elaboración propia.

La figura 62 muestra el ingreso de las características del aislador en el SAP 2000.

**Figura 62**

*Ingreso de datos de Aislador en el Sap2000*



*Nota.* Elaboración propia.

#### **5.5.4 Análisis dinámico modal-espectral con aisladores.**

Para el análisis dinámico modal – espectral la Norma NTP E.031 indica que podrá ser usado en estructuras que cumplan con los Artículos 17.1, 17.2, 17.3, 17.4 y 17.6. Este mismo requisito lo solicita para el análisis estático, esto quiere decir que, nuestra estructura cumple con estos parámetros básicos.

De manera análoga que la NTP E.030 es necesario conocer el espectro de diseño para el sentido “X” e “Y”, el cual se indica que el Artículo 14 de la NTP E.031 Espectro de Diseño donde es amplificada por el factor de 1.5

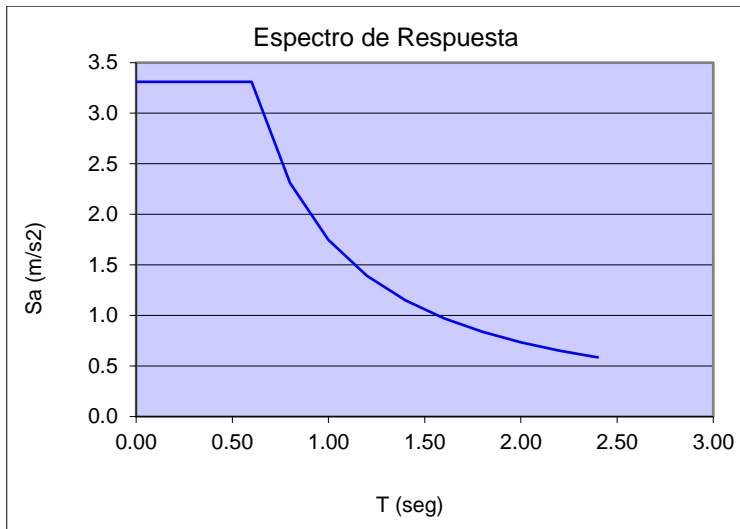
A continuación, se detalla la fórmula, donde U es igual a 1 en todos los casos según lo indica la NPT E-031.

$$S = 1.5 \cdot Z \cdot U \cdot C \cdot S \cdot g/R$$

La figura 63 muestra el espectro de respuesta amplificado en el eje x, correspondiente a la norma E.031.

**Figura 63**

*Espectro de Respuesta X amplificado por 1.5 Según NTP E.031*



*Nota.* Elaboración propia.

La tabla 23 muestra el espectro de respuesta con amplificación correspondiente al eje x, el cual fue calculado mediante iteración en hoja de cálculo de Excel.

**Tabla 23**

*Espectro de Respuesta eje X con amplificación*

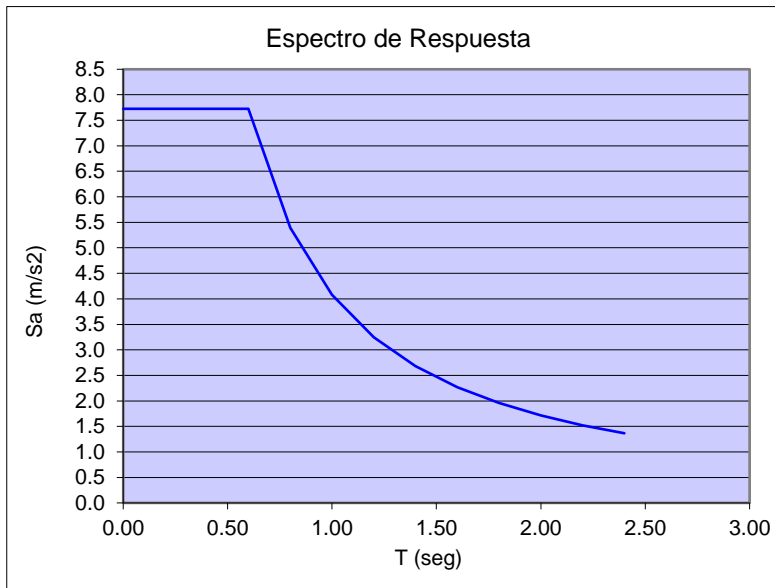
T	Spec	Sa
0.00	2.500	3.311
0.60	2.500	3.311
0.80	1.745	2.311
1.00	1.320	1.748
1.20	1.051	1.392
1.40	0.867	1.148
1.60	0.734	0.972
1.80	0.633	0.839
2.00	0.555	0.735
2.00	0.555	0.735
2.20	0.493	0.653
2.40	0.442	0.585
2.50	0.420	0.556

*Nota.* Elaboración propia.

La figura 64 muestra el espectro de respuesta amplificado en el eje y, correspondiente a la norma E.031

**Figura 64**

*Espectro de Respuesta Y amplificado por 1.5 Según NTP E.031*



*Nota.* Elaboración propia

La tabla 24 muestra el espectro de respuesta con amplificación correspondiente al eje y, realizado mediante iteración en hoja de cálculo Excel.

**Tabla 24**

*Espectro de Respuesta Y con amplificación*

T	Spec	Sa
0.00	2.500	7.725
0.60	2.500	7.725
0.80	1.745	5.392
1.00	1.320	4.080
1.20	1.051	3.248
1.40	0.867	2.679
1.60	0.734	2.267
1.80	0.633	1.957
2.00	0.555	1.715
2.00	0.555	1.715
2.20	0.493	1.523
2.40	0.442	1.366
2.50	0.420	1.298

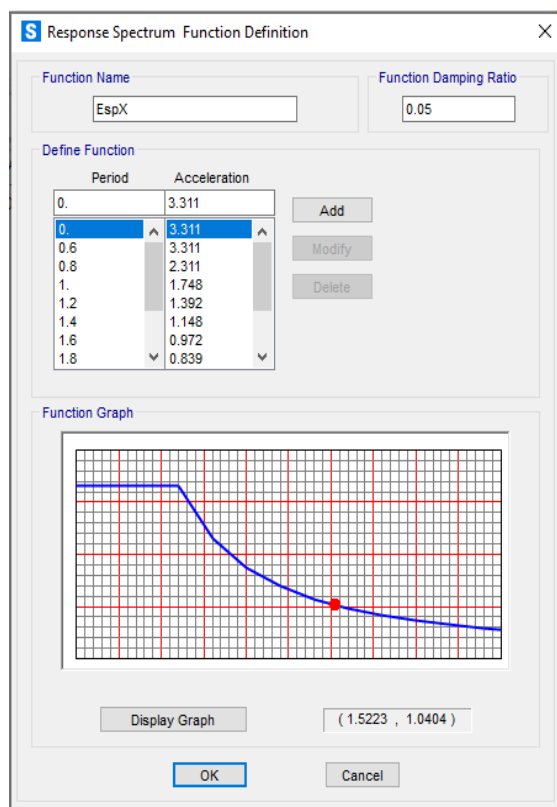
*Nota.* Elaboración propia.

Luego de obtener el espectro de aceleraciones con el factor de amplificación que determina la NTP E.031 se deberá ingresar dichos valores al SAP 2000 para que forme parte del nuevo análisis modal espectral.

La figura 65 muestra el ingreso del espectro de respuesta amplificado en el eje x, correspondiente a la norma E.031 en el SAP 2000.

### Figura 65

*Espectro de Respuesta en X ingresados al SAP2000 con factor de amplificación*

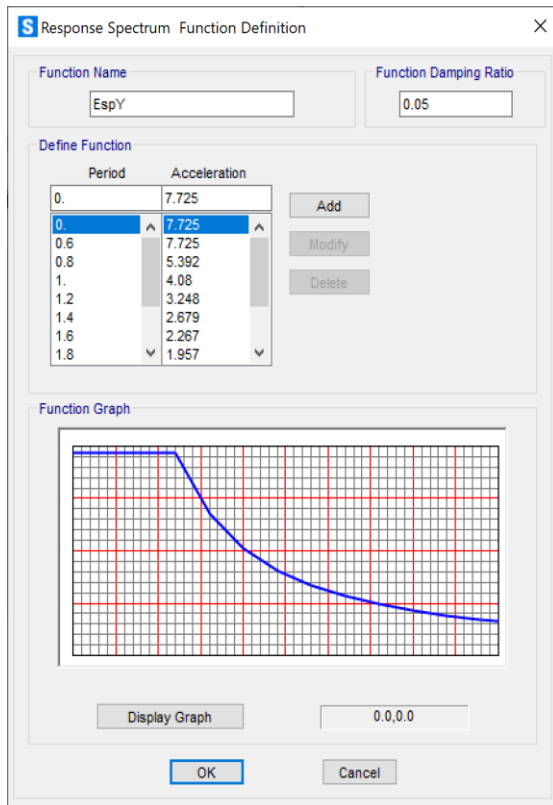


*Nota.* Elaboración propia.

La figura 66 muestra el ingreso del espectro de respuesta amplificado en el eje y, correspondiente a la norma E.031 en el SAP 2000.

### Figura 66

*Espectro de Respuesta en Y ingresados al SAP2000 con factor de amplificación*



*Nota.* Elaboración propia.

Luego de ingresado el nuevo espectro de respuesta al SAP 2000, se procede a definir los nuevos casos de Sismo Dinámico para el Eje X e Y que se muestran a continuación en la Figura 63 y Figura 64.

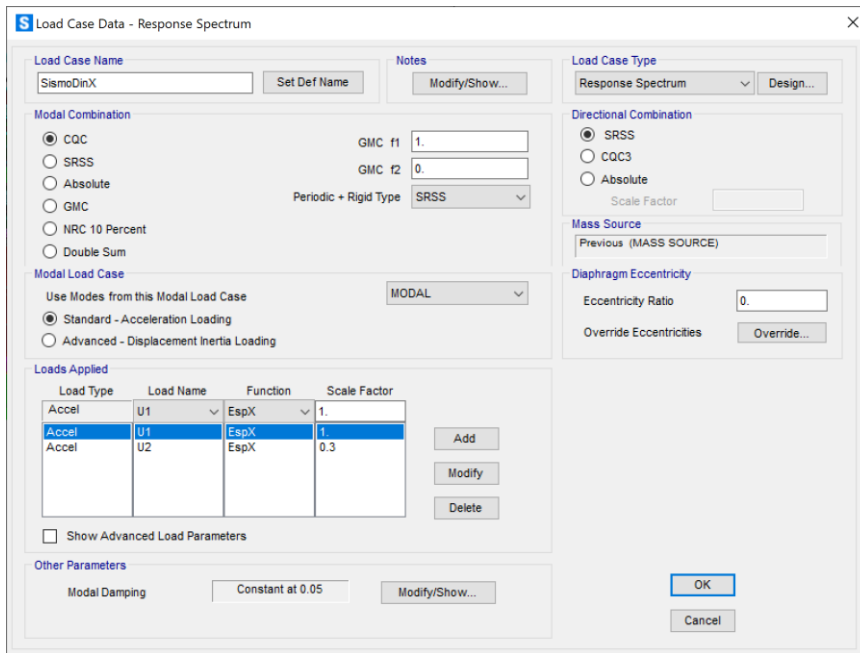
La norma indica en el Artículo 25.2 que para el análisis modal espectral los casos que serán evaluados deberán ser el 100 % del espectro en la dirección del análisis más un adicional del 30 % en la dirección perpendicular. Por tal motivo se procede a ingresar dicha indicación en el SAP 2000.

La figura 67 muestra el ingreso de definición de cara de sismo dinámico en eje x, correspondiente a la norma E.031 en el SAP 2000.

### **Figura 67**

*Definición de Carga de Sismo Dinámico X – NTP E031*



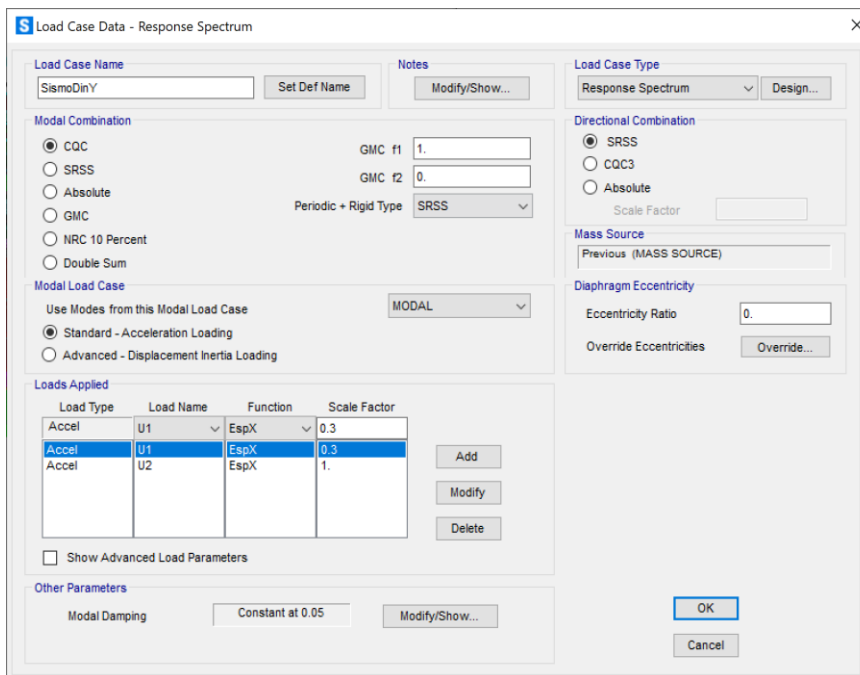


*Nota.* Elaboración propia

La figura 68 muestra el ingreso de definición de cara de sismo dinámico en eje y, correspondiente a la norma E.031 en el SAP 2000.

### Figura 68

#### *Definición de Carga de Sismo Dinámico Y – NTP E031*

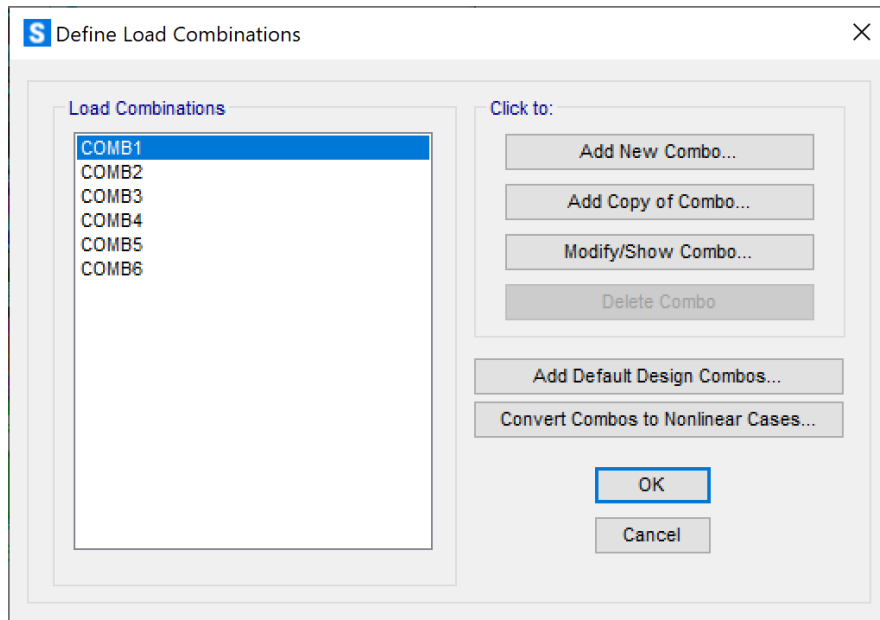


*Nota.* Elaboración propia.

Análogamente, al igual que el caso anterior de la edificación sin aisladores se procede a colocar las combinaciones de carga según la NTP E.030 según lo indicado en la Figura 69.

**Figura 69**

*Cuadro de Combinación de Cargas SAP 2000 con aisladores*



*Nota.* Elaboración propia.

*Comb 1: Combinación de Carga de 1.4CM + 1.7CV*

*Comb 2: Combinación de Carga 1.25CM + 1.25CV + 1.25 SismDinX*

*Comb 3: Combinación de Carga 1.25CM + 1.25CV + 1.25 SismDinY*

*Comb 4: Combinación de Carga 0.9 CM + 1.25 SismDinX*

*Comb 5: Combinación de Carga 0.9 CM + 1.25 SismDinY*

*Comb 6: Envolvente*

Finalmente, se procede a realizar el modelado de la estructura y la verificación de la deriva de entrepiso, que según el Artículo 23.1 de la NTP E.031, nos indica que la máxima deriva de entrepiso por encima del nivel de la base deberá ser de 0.0035.

La tabla 25 muestra el desplazamiento por nivel, realizado mediante hojas de cálculo Excel.

**Tabla 25***Desplazamiento por piso con aisladores*

Desplazamiento Piso	h	Máximo	Máximo	Máximo	Máximo	$(\Delta / h$ ex)	$(\Delta / h$ ey)	Cumple en X	Cumple en Y
		Absoluto X	Absoluto Y	Relativo X	Relativo Y				
5 (Nudo 531)	2.60	3.174	0.774	1.429	0.250	0.00550	0.0010	Error	OK
4 (Nudo 482)	2.60	1.745	0.524	0.679	0.181	0.00261	0.0007	OK	OK
3 (Nudo 386)	2.60	1.067	0.343	0.634	0.191	0.00244	0.0007	OK	OK
2 (Nudo 311)	2.60	0.433	0.153	0.419	0.153	0.00161	0.0006	OK	OK
1 (Nudo 137)	3.00	0.014	0.000	0.014	0.000	0.00005	0.0000	OK	OK
Suelo (Nudo 70)		0.000	0.000						

*Nota.* Elaboración propia.

## 5.6 Resumen de resultados

Después de un exhaustivo análisis de la edificación multifamiliar en el distrito de Santa María del Mar, se utilizaron las normas técnicas peruanas NTP E.030 para evaluar la estructura sin aisladores y NTP E.031 para evaluar la estructura con aisladores. Además, se ajustó el espectro de respuesta y se aplicó una amplificación de 1.5, conforme a las indicaciones de la NTP E.031 para la estructura con aisladores. A continuación, se presentarán los resultados detallados y se llevará a cabo una comparación entre ambos escenarios.

### 5.5.1 Fuerzas sísmicas.

Según la NTP E.030 las fuerzas sísmicas que tienen mayor protagonismo son las obtenidas del análisis estático o fuerzas equivalentes por lo que se procede a mostrar los resultados del SAP 2000.

La figura 70 muestra la fuerza sísmica por nivel correspondiente a la estructura sin aisladores.

## Figura 70

*Fuerza Sísmica Por Nivel de la Estructura Sin Aisladores*

Auto Seismic Loads To Horizontal Diaphragms

File View Edit Format-Filter-Sort Select Options

Units: As Noted

Filter: Auto Seismic Loads To Horizontal Diaphragms

LoadPat Text	AutoLdType	Diaphragm Text	DiaphragmZ	FX Tonf	FY Tonf	FZ Tonf	MX Tonf-m	MY Tonf-m	MZ Tonf-m	X m	Y m
SismoEjeX	USER COEFF	DIAPH7	19.65	0	0	0	0	0	0	4.33963	7.36259
SismoEjeX	USER COEFF	DIAPH6	17	0	0	0	0	0	0	4.20565	7.5087
SismoEjeX	USER COEFF	DIAPH5	13.4	29.2329	0	0	0	2.596E-13	33.41235	6.47314	16.572
SismoEjeX	USER COEFF	DIAPH4	10.8	97.1364	0	0	0	1.898E-12	-62.1158	6.281	13.46516
SismoEjeX	USER COEFF	DIAPH3	8.2	65.186	0	0	0	-1.158E-13	-37.53722	6.30155	13.98919
SismoEjeX	USER COEFF	DIAPH2	5.6	39.8899	0	0	0	-2.868E-13	-22.97054	6.30155	13.98919
SismoEjeX	USER COEFF	DIAPH1	3	20.2191	0	0	0	-1.107E-15	-51.40536	6.2006	13.65337
SismoEjeX	USER COEFF	DIAPH16	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SismoEjeY	USER COEFF	DIAPH15	40.46	0	0	0	0	0	0	10.57652	11.21536
SismoEjeY	USER COEFF	DIAPH14	39.4	0	0	0	0	0	0	16.62063	5.89625
SismoEjeY	USER COEFF	DIAPH10	38.55	0	0	0	0	0	0	11.59666	6.11209
SismoEjeY	USER COEFF	DIAPH13	36.75	0	0	0	0	0	0	19.62657	6.41119
SismoEjeY	USER COEFF	DIAPH9	34.6	0	0	0	0	0	0	9.8319	3.47704
SismoEjeY	USER COEFF	DIAPH12	33.62	0	0	0	0	0	0	20.75556	9.55426
SismoEjeY	USER COEFF	DIAPH11	30.82	0	0	0	0	0	0	21.47956	10.00209
SismoEjeY	USER COEFF	DIAPH8	22.35	0	0	0	0	0	0	3.94727	8.37682
SismoEjeY	USER COEFF	DIAPH7	19.65	0	0	0	0	0	0	4.33963	7.36259
SismoEjeY	USER COEFF	DIAPH6	17	0	0	0	0	0	0	4.20565	7.5087
SismoEjeY	USER COEFF	DIAPH5	13.4	0	68.2101	0	-6.058E-13	0	42.60389	6.47314	16.572
SismoEjeY	USER COEFF	DIAPH4	10.8	0	226.6516	0	-4.429E-12	0	180.72461	6.281	13.46516
SismoEjeY	USER COEFF	DIAPH3	8.2	0	152.1006	0	2.702E-13	0	116.75065	6.30155	13.98919
SismoEjeY	USER COEFF	DIAPH2	5.6	0	93.0765	0	6.692E-13	0	71.44443	6.30155	13.98919
SismoEjeY	USER COEFF	DIAPH1	3	0	47.1778	0	2.583E-15	0	50.80129	6.2006	13.65337
SismoEjeY	USER COEFF	DIAPH16	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Record: << < 1 > >> of 32

Add Tables... Done

Nota. Elaboración propia

La figura 71 muestra la fuerza sísmica por nivel correspondiente a la estructura con aisladores.

### Figura 71

*Fuerza Sísmica Por Nivel de la Estructura con Aisladores*

Auto Seismic Loads To Horizontal Diaphragms

File View Edit Format-Filter-Sort Select Options

Units: As Noted

Filter: Auto Seismic Loads To Horizontal Diaphragms

	LoadPat Text	AutoLdType	Diaphragm Text	DiaphragmZ	FX Tonf	FY Tonf	FZ Tonf	MX Tonf-m	MY Tonf-m	MZ Tonf-m	X m	Y m	Z m
	SismoEjeX	USER COEFF	DIAPH11	30.82	0	0	0	0	0	0	21.47956	10.00209	
	SismoEjeX	USER COEFF	DIAPH8	22.35	0	0	0	0	0	0	3.94727	8.37682	
	SismoEjeX	USER COEFF	DIAPH7	19.65	0	0	0	0	0	0	4.33963	7.36259	
	SismoEjeX	USER COEFF	DIAPH6	17	0	0	0	0	0	0	4.20565	7.5087	
	SismoEjeX	USER COEFF	DIAPH5	13.4	27.2231	0	0	0	2.418E-13	33.0955	6.47314	16.572	
	SismoEjeX	USER COEFF	DIAPH4	10.8	90.8629	0	0	0	1.775E-12	-36.22064	6.281	13.46516	
	SismoEjeX	USER COEFF	DIAPH3	8.2	58.2131	0	0	0	-1.034E-13	-28.8529	6.30155	13.98919	
	SismoEjeX	USER COEFF	DIAPH2	5.6	35.6229	0	0	0	-2.552E-13	-17.65626	6.30155	13.98919	
	SismoEjeX	USER COEFF	DIAPH1	3	0	0	0	0	0	0	6.2006	13.65337	
	SismoEjeX	USER COEFF	DIAPH16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	SismoEjeY	USER COEFF	DIAPH15	40.46	0	0	0	0	0	0	10.57852	11.21536	
	SismoEjeY	USER COEFF	DIAPH14	39.4	0	0	0	0	0	0	16.82063	5.89625	
	SismoEjeY	USER COEFF	DIAPH10	38.55	0	0	0	0	0	0	11.59666	6.11209	
	SismoEjeY	USER COEFF	DIAPH13	36.75	0	0	0	0	0	0	19.62657	6.41119	
	SismoEjeY	USER COEFF	DIAPH9	34.6	0	0	0	0	0	0	9.8319	3.47704	
	SismoEjeY	USER COEFF	DIAPH12	33.62	0	0	0	0	0	0	20.75556	9.55426	
	SismoEjeY	USER COEFF	DIAPH11	30.82	0	0	0	0	0	0	21.47956	10.00209	
	SismoEjeY	USER COEFF	DIAPH8	22.35	0	0	0	0	0	0	3.94727	8.37682	
	SismoEjeY	USER COEFF	DIAPH7	19.65	0	0	0	0	0	0	4.33963	7.36259	
	SismoEjeY	USER COEFF	DIAPH6	17	0	0	0	0	0	0	4.20565	7.5087	
	SismoEjeY	USER COEFF	DIAPH5	13.4	0	63.5205	0	-5.642E-13	0	39.70053	6.47314	16.572	
	SismoEjeY	USER COEFF	DIAPH4	10.8	0	212.0134	0	-4.143E-12	0	166.91483	6.281	13.46516	
	SismoEjeY	USER COEFF	DIAPH3	8.2	0	135.8305	0	2.413E-13	0	104.82234	6.30155	13.98919	
	SismoEjeY	USER COEFF	DIAPH2	5.6	0	83.1201	0	5.954E-13	0	64.14501	6.30155	13.98919	
	SismoEjeY	USER COEFF	DIAPH1	3	0	0	0	0	0	0	6.2006	13.65337	
	SismoEjeY	USER COEFF	DIAPH16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

Record: << < 1 > >> of 32

Add Tables... Done

Nota. Elaboración propia.

La tabla 26 muestra las fuerzas sísmicas por nivel correspondiente a la estructura sin aisladores.

**Tabla 26**

*Fuerza Sísmica Por Nivel de la Estructura sin Aisladores*

	Fx (Ton)	Fy (Ton)	X (m)	Y (m)
Piso 5	29.2329	68.2101	6.47314	16.572
Piso 4	97.1364	226.6518	6.281	13.46516
Piso 3	65.166	152.1006	6.30155	13.98919
Piso 2	39.8899	93.0765	6.30155	13.98919
Piso 1	20.2191	47.1778	6.2006	13.65337

Nota. Elaboración propia

La tabla 27 muestra las fuerzas sísmicas por nivel correspondiente a la estructura con aisladores.

**Tabla 27**

*Fuerza Sísmica Por Nivel de la Estructura con Aisladores*

	Fx (Ton)	Fy (Ton)	X (m)	Y (m)
Piso 5	27.2231	63.5205	6.47314	16.572

Piso 4	90.8629	212.0134	6.281	13.46516
Piso 3	58.2131	135.8305	6.30155	13.98919
Piso 2	35.6229	83.1201	6.30155	13.98919
Piso 1	0	0	6.2006	13.65337

*Nota.* Elaboración propia.

Se observa una clara disminución de las fuerzas sísmicas distribuidas en cada nivel y esto se debe a la inclusión de elementos de aislamiento.

### 5.6.1 Derivas de piso

La deriva de entrepiso o desplazamiento relativo por piso es el valor más importante dentro del análisis para el diseño de edificaciones. La norma NTP E.030 indica que la deriva máxima permisible es de 0.007 para estructuras de concreto armado. De igual forma, la norma NTP E.031 indica que la deriva máxima permisible deberá de ser no mayor a 0.0035 para estructuras de concreto armado que presenten sistemas de aislación sísmica.

A continuación, en la tabla 28 se detallarán mediante tablas los resultados obtenidos para ambos análisis de la edificación.

**Tabla 28**

*Desplazamiento Relativo en el Eje X – Análisis de NTP 030*

Desplazamiento Piso	H	Máximo Absoluto X	Máximo Relativo X	$(\Delta / h_{ex})$	<0.007
5 (Nudo 421)	2.60	4.264	1.243	0.00478	Cumple
4 (Nudo 330)	2.60	3.021	1.134	0.00436	Cumple
3 (Nudo 251)	2.60	1.886	1.072	0.00412	Cumple
2 (Nudo 177)	2.60	0.814	0.718	0.00276	Cumple
1 (Nudo 89)	3.00	0.097	0.097	0.00032	Cumple
Suelo (Nudo 21)		0.000			

*Nota.* Elaboración propia

En la tabla 29 se muestra el desplazamiento relativo correspondiente al eje y, mediante el análisis de la norma E.030.

**Tabla 29**

*Desplazamiento Relativo en el Eje Y – Análisis de NTP 030*

Desplazamiento Piso	H	Máximo Absoluto Y	Máximo Relativo Y	( $\Delta / h_{ey}$ )	<0.007
5 (Nudo 421)	2.60	0.843	0.241	0.00093	Cumple
4 (Nudo 330)	2.60	0.601	0.196	0.00075	Cumple
3 (Nudo 251)	2.60	0.405	0.212	0.00081	Cumple
2 (Nudo 177)	2.60	0.193	0.172	0.00066	Cumple
1 (Nudo 89)	3.00	0.021	0.021	0.00007	Cumple
Suelo (Nudo 21)		0.000			

*Nota.* Elaboración propia

La tabla 30 muestra el desplazamiento relativo correspondiente al eje x, mediante el análisis de la norma E.031.

**Tabla 30**

*Desplazamiento Relativo en el Eje X – Análisis de NTP 031*

Desplazamiento Piso	H	Máximo Absoluto X	Máximo Relativo X	( $\Delta / h_{ex}$ )	<0.0035
5 (Nudo 421)	2.60	3.174	1.429	0.00550	No Cumple
4 (Nudo 330)	2.60	1.745	0.679	0.00261	Cumple
3 (Nudo 251)	2.60	1.067	0.634	0.00244	Cumple
2 (Nudo 177)	2.60	0.433	0.419	0.00161	Cumple
1 (Nudo 89)	3.00	0.014	0.014	0.00005	Cumple
Suelo (Nudo 21)		0.000			

*Nota.* Elaboración propia

La tabla 31 muestra el desplazamiento relativo correspondiente al eje y, mediante el análisis de la norma E.031.

**Tabla 31**

*Desplazamiento Relativo en el Eje Y – Análisis de NTP 031*

Desplazamiento Piso	H	Máximo Absoluto Y	Máximo Relativo Y	( $\Delta / h_{ey}$ )	<0.0035
5 (Nudo 421)	2.60	0.250	0.001	0.0010	Cumple
4 (Nudo 330)	2.60	0.181	0.001	0.0007	Cumple
3 (Nudo 251)	2.60	0.191	0.001	0.0007	Cumple
2 (Nudo 177)	2.60	0.153	0.001	0.0006	Cumple

1 (Nudo 89)	3.00	0.000	0.000	0.0000	Cumple
Suelo (Nudo 21)		0.000			

*Nota.* Elaboración propia.

Mediante el análisis dinámico espectral se demostró que la estructura con aisladores redujo su desplazamiento de entrepiso en un 38.7% para el sentido “X” y un 24.76 % para el sentido “Y”, lo cual influye directamente en un mejor comportamiento sismorresistente.

### 5.6.2 Fuerzas cortantes

Se determinó con el software SAP 2000 que la fuerza cortante en el base estático en el sentido del Eje X es de 254.087 Ton. y en el sentido del Eje Y es de 592.870 Ton.

La tabla 32 muestra las fuerzas cortantes en la base del análisis estático.

**Tabla 32**

*Fuerzas Cortantes en la Base - Estático*

	Dirección	F (Ton)
Cortante Basal Estático	X	254.087
Cortante Basal Estático	Y	592.870

*Nota.* Elaboración propia.

De igual forma, con el uso del software SAP 2000 se determinó que fuerza cortante en el base dinámico en el sentido del Eje X es de 147.094 Ton. y en el sentido del Eje Y es de 343.240 Ton.

La tabla 33 muestra las fuerzas cortantes en la base del análisis dinámico.

**Tabla 33**

*Fuerzas Cortantes en la Base - Dinámico*

	Dirección	F (Ton)
Cortante Basal Dinámico	X	147.094
Cortante Basal Dinámico	Y	343.240

*Nota.* Elaboración propia.

La norma NTP E.030 establece como requisito que la cortante basal dinámica en el sentido X e Y no podrá ser menor que el 90% de la fuerza cortante basal estática. En caso no cumpla este requisito habrá que realizar el procedimiento de escalamiento de fuerzas y volver a correr el programa con los nuevos valores



Para nuestro modelo la cortante basal dinámica no cumple el requisito exigido por la norma NTP E.030, por lo que se realizó el cálculo del factor de escalamiento, obteniendo 1.55.

La tabla 34 muestra la comparación de las cortantes basales, según el análisis de la norma E.030.

**Tabla 34**

*Comparación de las Cortantes Basal según NTP E.030*

	Dirección	F (Ton)	Norma E.030	90% F. Estático
Cortante Basal Dinámico	X	147.094	>	228.678
Cortante Basal Estático	Y	343.240	>	533.583

*Nota.* Elaboración propia.

### **5.6.3 Modo de vibración, períodos y frecuencias.**

El período fundamental de una edificación es un valor muy importante, dado que, nos ayuda a entender el tiempo que demora (ciclo) en que la estructura oscila de un lado a otro y con esto podemos determinar las condiciones de seguridad estructural de la edificación.

De los resultados podemos observar que el período fundamental de la edificación es de 0.3204 segundos y con una frecuencia de 3.1205 ciclos por segundo para la edificación sin aisladores. Mientras que para la estructura con aisladores se observa de los resultados que el período fundamental es de 0.2403 y con una frecuencia de 4.1602 ciclos por segundo.

La figura 72 muestra el periodo y frecuencia de la estructura sin aisladores extraídos del SAP 2000.

**Figura 72**

*Período y Frecuencia de la Estructura Sin Aisladores*

	OutputCase	StepType Text	StepNum Unitless	Period Sec	Frequency Cyc/sec	CircFreq rad/sec	Eigenvalue rad2/sec2
▶	MODAL	Mode	1	0.320461	3.12050388...	19.6067041...	384.422848...
	MODAL	Mode	2	0.163497	6.11632667...	38.4300138...	1476.86596...
	MODAL	Mode	3	0.160431	6.23321647...	39.1644541...	1533.85446...
	MODAL	Mode	4	0.149595	6.68469637...	42.0011860...	1764.09963...
	MODAL	Mode	5	0.144272	6.93135931...	43.5510149...	1896.69090...
	MODAL	Mode	6	0.143146	6.98587728...	43.8935615...	1926.64474...
	MODAL	Mode	7	0.133992	7.46312724...	46.8922114...	2198.87949...
	MODAL	Mode	8	0.133849	7.47113298...	46.9425130...	2203.59952...
	MODAL	Mode	9	0.131075	7.62922604...	47.9358410...	2297.84485...
	MODAL	Mode	10	0.130781	7.64635582...	48.0434705...	2308.17506...
	MODAL	Mode	11	0.130232	7.67858327...	48.2459615...	2327.67281...
	MODAL	Mode	12	0.129948	7.69539429...	48.3515883...	2337.87609...
	MODAL	Mode	13	0.128452	7.78500401...	48.9146228...	2392.64032...
	MODAL	Mode	14	0.126221	7.92258250...	49.7790539...	2477.95421...
	MODAL	Mode	15	0.117756	8.49211275...	53.3575180...	2847.02473...

*Nota.* Elaboración propia

La figura 73 muestra el periodo y frecuencia de la estructura con aisladores extraídos del SAP 2000.

**Figura 73**

*Período y Frecuencia de la Estructura Con Aisladores*

	OutputCase	StepType Text	StepNum Unitless	Period Sec	Frequency Cyc/sec	CircFreq rad/sec	Eigenvalue rad2/sec2
▶	MODAL	Mode	1	0.240372	4.1602	26.139	683.27
	MODAL	Mode	2	0.182347	5.4841	34.457	1187.3
	MODAL	Mode	3	0.141144	7.085	44.516	1981.7
	MODAL	Mode	4	0.138087	7.2418	45.502	2070.4
	MODAL	Mode	5	0.135632	7.3729	46.325	2146
	MODAL	Mode	6	0.133685	7.4803	47	2209
	MODAL	Mode	7	0.133518	7.4896	47.059	2214.5
	MODAL	Mode	8	0.132682	7.5368	47.355	2242.5
	MODAL	Mode	9	0.130364	7.6708	48.197	2323
	MODAL	Mode	10	0.13025	7.6776	48.24	2327.1
	MODAL	Mode	11	0.129154	7.7427	48.649	2366.7
	MODAL	Mode	12	0.128877	7.7594	48.754	2376.9
	MODAL	Mode	13	0.127891	7.8192	49.129	2413.7
	MODAL	Mode	14	0.125696	7.9557	49.987	2498.7
	MODAL	Mode	15	0.115952	8.6242	54.188	2936.3

*Nota.* Elaboración propia.

## 5.7 Discusión de resultados

En el capítulo previo, se llevó a cabo un análisis de la estructura con una base fija (sistema sin aisladores) y un análisis de la estructura con un sistema de aislamiento (sistema con aisladores), presentando los resultados obtenidos de manera independiente. En este capítulo actual, se procederá a comparar estos resultados con el propósito de determinar cuál de los dos sistemas exhibe un desempeño superior en la edificación de 5 niveles.

### 5.7.1 Comparación de las fuerzas sísmicas

A continuación, presentamos una comparativa detallada de nuestros resultados de investigación mediante tablas y figuras, con el fin de ilustrar claramente el alcance de nuestro estudio.

La tabla 35 muestra la comparación de fuerzas sísmicas por nivel de la estructura correspondiente al eje x.

**Tabla 35**

*Comparación de Fuerzas sísmicas por nivel de estructura en el eje X*

Fuerza sísmica por piso	h	Fx (Ton) Sin Aisladores	Fx (Ton) Con Aisladores	Reducción
Piso 5	2.60	29.2329	27.2231	6.88%
Piso 4	2.60	97.1364	90.8629	6.46%
Piso 3	2.60	65.166	58.2131	10.67%
Piso 2	2.60	39.8899	35.6229	10.70%
Piso 1	3.00	20.2191	0	100.00%

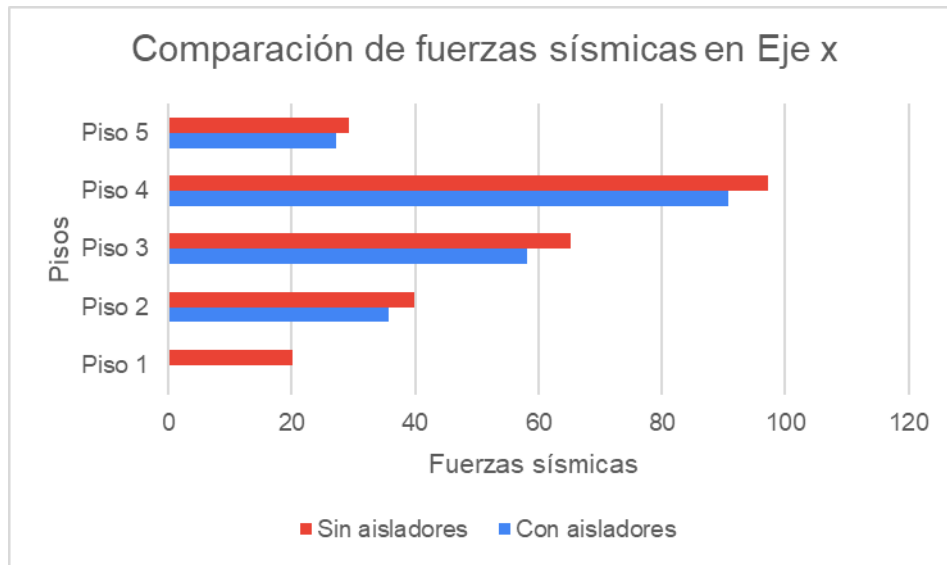
*Nota.* Elaboración propia.

Como se puede apreciar en la Tabla 37, hemos evaluado únicamente las fuerzas sísmicas en el eje x de la edificación, y hemos encontrado que las fuerzas más significativas se encuentran en el cuarto piso. En el caso de la estructura sin la presencia de aisladores, la fuerza sísmica asciende a 97.136 toneladas, pero al incorporar aisladores a la edificación, esta fuerza disminuye a 90.86 toneladas.

A continuación, en la figura 74, se muestra gráficamente la comparación de fuerzas sísmicas correspondiente al eje x.

**Figura 74**

*Comparación de Fuerzas sísmicas por nivel de estructura en el eje X*



*Nota.* Elaboración propia.

Como se evidencia en las Figuras 74 y 75, hay una disminución de fuerza sísmica en el sistema con aisladores. Esto implica un mejor rendimiento de la edificación y previene daños significativos en los muros del nivel uno, especialmente teniendo en cuenta que se trata de un sistema aporticado.

La tabla 36 muestra la comparación de fuerzas sísmicas por nivel de la estructura correspondiente al eje y.

**Tabla 36**

*Comparación de Fuerzas sísmicas por nivel de estructura en el eje Y*

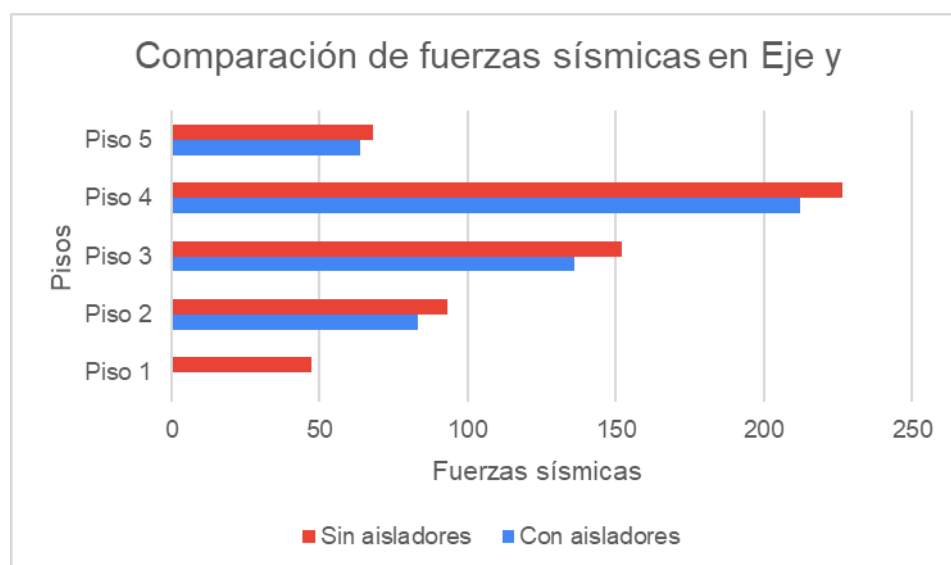
Fuerza sísmica por piso	h	Fy (Ton) Sin Aisladores	Fy (Ton) Con Aisladores	Reducción
Piso 5	2.60	68.2101	63.5205	6.88%
Piso 4	2.60	226.6518	212.0134	6.46%
Piso 3	2.60	152.1006	135.8305	10.70%
Piso 2	2.60	93.0765	83.1201	10.70%
Piso 1	3.00	47.1778	0	100.00%

*Nota.* Elaboración propia

A continuación, en la figura 75, se muestra gráficamente la comparación de fuerzas sísmicas correspondiente al eje y.

**Figura 75**

*Comparación de Fuerzas sísmicas por nivel de estructura en el eje Y*



*Nota.* Elaboración propia.

Finalmente, de los resultados se concluye que se tiene una disminución esperada del 6.465 % para el sentido X e Y del piso 4, donde se encuentran las fuerzas más significativas.

### 5.7.2 Comparación de las derivas de piso

Luego de haber efectuado los cálculos en nuestro resumen de resultados, centrándonos en las derivas entre pisos o desplazamientos relativos por nivel, estamos dispuestos a cotejar nuestros hallazgos con las directrices establecidas en las normas NTP E.030 y NTP E.031. Estas regulaciones estipulan que las derivas permitidas son de 0.007 y 0.0035, respectivamente. Tras verificar la conformidad de nuestros resultados con estos estándares, lo cual ha sido corroborado, procedemos a llevar a cabo una comparación entre ellos.

La tabla 37 muestra la comparación de las derivas de entrepiso correspondiente al eje x.

**Tabla 37**

*Comparación de Derivas de Entrepiso en el Eje X*

Desplazamiento Piso	h	( $\Delta / h$ ex) - Sin Aisladores	( $\Delta / h$ ex) - Con Aisladores	Reducción
5 (Nudo 421)	2.60	0.00478	0.00550	-14.9%
4 (Nudo 330)	2.60	0.00436	0.00261	40.2%

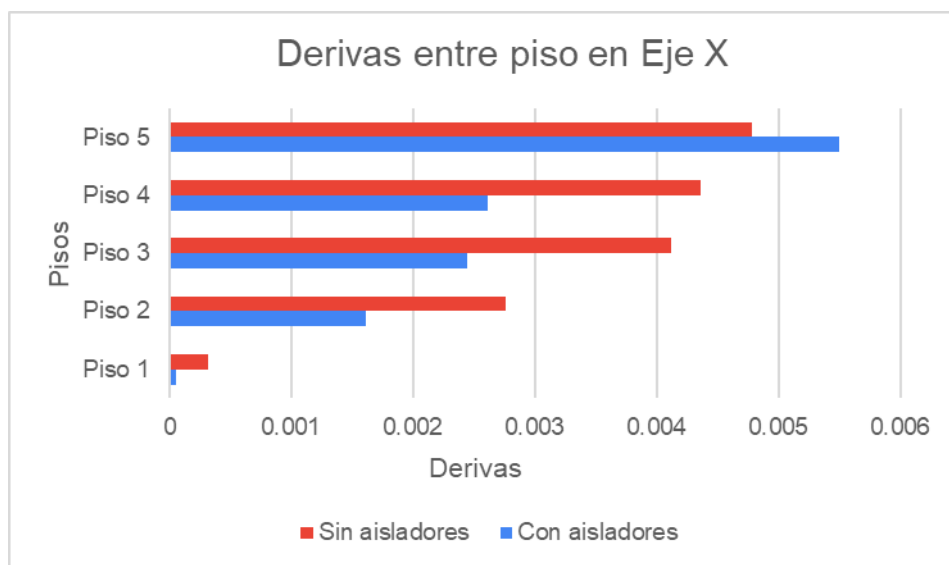
3 (Nudo 251)	2.60	0.00412	0.00244	40.8%
2 (Nudo 177)	2.60	0.00276	0.00161	41.6%
1 (Nudo 89)	3.00	0.00032	0.00005	86.0%
Suelo (Nudo 21)				

Nota. Elaboración propia.

La figura 76, muestra gráficamente la comparación de las derivas correspondiente al eje x.

**Figura 76**

*Comparación de Derivas de Entrepiso en el Eje X*



Nota. Elaboración propia

La tabla 38 muestra la comparación de las derivas de entrepiso correspondiente al eje y.

**Tabla 38**

*Comparación de Derivas de Entrepiso en el Eje Y*

Desplazamiento Piso	h	$(\Delta / h \text{ ex}) -$ Sin Aisladores	$(\Delta / h \text{ ex}) -$ Con Aisladores	Reducción
5 (Nudo 421)	2.60	0.00093	0.0010	-3.65%
4 (Nudo 330)	2.60	0.00075	0.0007	8.01%
3 (Nudo 251)	2.60	0.00081	0.0007	10.02%
2 (Nudo 177)	2.60	0.00066	0.0006	11.53%
1 (Nudo 89)	3.00	0.00007	0.0000	97.89%

---

Suelo (Nudo 21)

---

Nota. Elaboración propia

La figura 77, muestra gráficamente la comparación de las derivas correspondiente al eje y.

**Figura 77**

*Comparación de Derivas de Entrepiso en el Eje Y*



Nota. Elaboración propia.

### 5.7.3 Comparación de fuerzas cortantes

Mostramos las comparaciones realizadas para las fuerzas cortantes con el uso de tablas y figuras a continuación:

La tabla 39 muestra la comparación de las cortante basal correspondiente a ambos análisis de la norma E.030.

**Tabla 39**

*Comparación de las Cortantes Basal según NTP E.030*

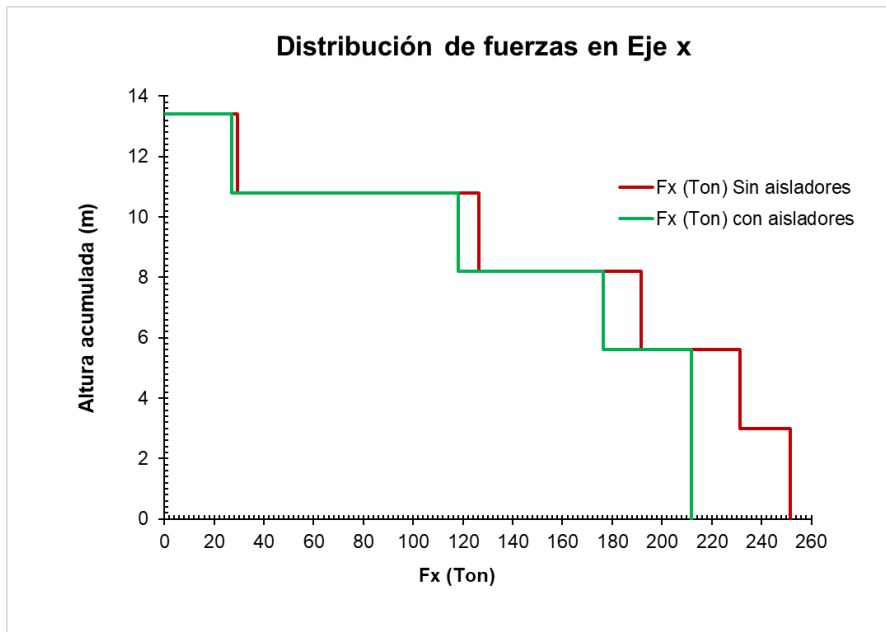
	Dirección	F (Ton)	Norma E.030	90% F. Estático
Cortante Dinámico	Basal X	147.09	>	228.678
Cortante Estático	Basal Y	343.24	>	533.583
		0		

Nota. Elaboración propia.

La figura 78, muestra gráficamente la comparación de la distribución de fuerzas sísmicas correspondiente al eje x.

**Figura 78**

*Distribución de fuerzas sísmicas en Eje x*

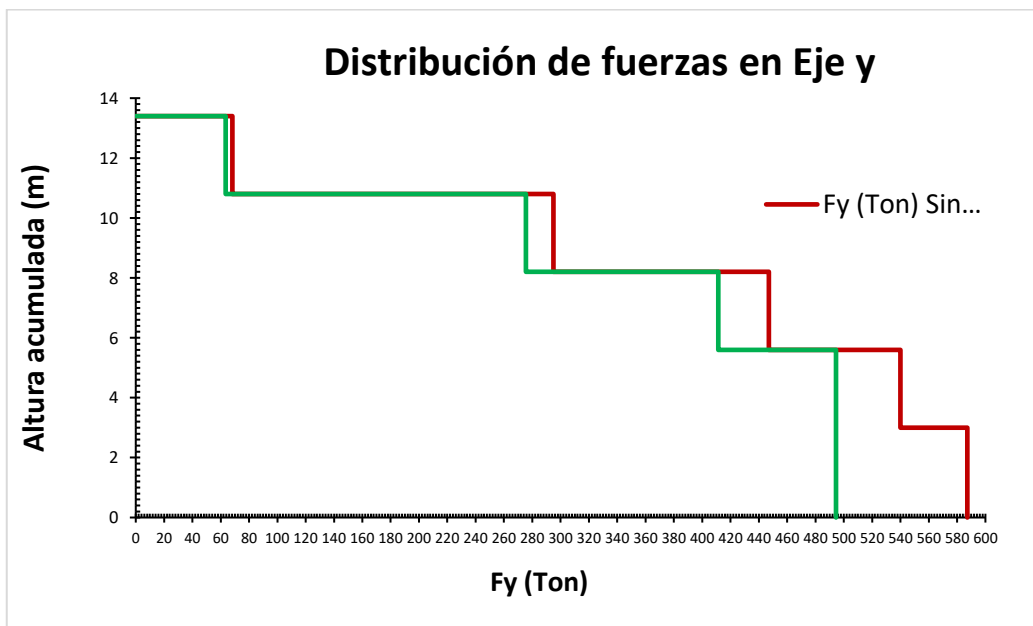


*Nota.* Elaboración propia.

La figura 79, muestra gráficamente la comparación de la distribución de fuerzas sísmicas correspondiente al eje y.

**Figura 79**

*Distribución de fuerzas sísmicas en Eje y*



*Nota.* Elaboración propia.



Al analizar las fuerzas sísmicas, se notan notables cambios en las fuerzas cortantes basales tanto en el eje x como el eje y al incorporar un sistema de aislamiento sísmico. Este sistema reduce significativamente las fuerzas sísmicas, llegando al punto en el que, en el primer nivel, las fuerzas sísmicas prácticamente desaparecen gracias a la inclusión de estos aisladores.

## **5.8 Contrastación de Hipótesis**

### **5.8.1 Hipótesis general**

Se encontrarán diferencias significativas en términos de desplazamientos, derivas y esfuerzos entre los dos sistemas. Se espera que el uso de aisladores sísmicos resulte en una mejor respuesta estructural y una mayor capacidad de resistencia ante cargas sísmicas en comparación con el sistema dual.

Para confirmar la validez de esta hipótesis, llevamos a cabo un análisis detallado de los datos. Al examinar las tablas 28 y 29, se evidencia una reducción significativa de las fuerzas sísmicas al utilizar aisladores en comparación con el sistema sin aislamiento. Esta diferencia también se refleja en las tablas 30 y 31, donde los desplazamientos y las derivas son notablemente inferiores en el sistema con aisladores en comparación con el sistema sin ellos. Estos resultados indican que la incorporación de aisladores sísmicos permite una mayor capacidad de disipación de energía y, por ende, una mejor respuesta estructural ante eventos sísmicos.

### **5.8.2 Hipótesis específicas**

**Hipótesis específica 1.** Se obtendrán resultados que demuestren una mejora en la respuesta estructural ante cargas sísmicas en comparación con un sistema sin aisladores sísmicos.

La hipótesis se confirma al observar los resultados de la respuesta estructural de la edificación. La fuerza sísmica dirigida hacia la estructura se redujo significativamente, disminuyendo en un 6.465% tanto en las direcciones X como en Y. En el sentido X, que es crítico, la fuerza sísmica pasó de 97.13 toneladas a 90.86 toneladas, y en el sentido Y, también crítico, pasó de 226.65 toneladas a 212.01 toneladas, tal como se detalla en las tablas 35 y 36. Estos resultados reflejan un mejor desempeño de la estructura frente a eventos sísmicos.

***Hipótesis específica 2.*** El diseño optimizado resultará en una estructura que presente un rendimiento óptimo en términos de capacidad de carga, rigidez y comportamiento frente a cargas estáticas y dinámicas, en comparación con un diseño convencional.

Esta hipótesis se cumple ya que sobre la optimización del diseño se puede comentar que nuestro proyecto multifamiliar Santa María, en su estado inicial, fue modificado y se le quitaron las placas de concreto armado para poder evaluar de una mejor manera el sistema, dado que, el dispositivo trabaja mejor en estructuras donde la carga se distribuye de manera puntual, como en el caso de los pórticos. Dicho esto, se ha optimizado y reducido la inclusión de placas de concreto armado, además al considerar menor desplazamiento y menor fuerza sísmica que ingresa a la superestructura, se desprende que las secciones de los elementos estructurales tales como: Columna, Viga, entre otros deberán reducirse debido a la menor acción de la fuerza sísmica.

***Hipótesis específica 3.*** Se obtendrán resultados que demuestran diferencias significativas en las fuerzas sísmicas, desplazamientos laterales y derivas entre los dos sistemas, lo que indica que la elección del sistema tendrá un impacto en la respuesta estructural del edificio.

La hipótesis se confirma al analizar las Tablas 28 y 29, donde se evidencia una notable disminución de la fuerza sísmica esperada del 6.465 % en el piso 4, donde las fuerzas son más significativas tanto en la dirección X como en la dirección Y. En lo que respecta a las derivas y desplazamientos, como se puede apreciar en las Tablas 30 y 31, la deriva de entrepiso en la dirección X disminuye hasta un 86%, mientras que en la dirección Y la disminución alcanza un impresionante 97.89%. Esto tiene un impacto muy positivo en la estructura, ya que, a menor desplazamiento final, se reduce la posibilidad de daños internos a las mamposterías y demás elementos de arquitectura.

## CONCLUSIONES

1. Sobre los resultados expuestos se demuestra que la estructura multifamiliar ubicada en el distrito de Santa María del Mar tendrá una mejor respuesta estructural al incluir dispositivos de aislamiento y no solo reduce las secciones de los elementos de concreto armado tanto horizontales como verticales, sino que también tiene una mejor respuesta post sismo, reduciendo los costos por reparación presentes en toda estructura que es sometida a eventos sísmicos.
2. Se concluye que la fuerza sísmica en “X” disminuyó un 6.65 %, pasando de 97.13 Ton a 90.86 Ton. De igual forma, la fuerza sísmica en “Y” disminuye 6.65 % pasando de 226.65 Ton a 212.01 Ton, debido a que los dispositivos aíslan de manera efectiva a la superestructura.
3. Para nuestro análisis de la introducción de aisladores, se tuvo que realizar modificaciones estructurales, tales como la eliminación de placas, convirtiendo a la estructura en un sistema dual sin placas en el eje “y” y esto con la finalidad de poder aislar de manera efectiva la superestructura del terreno, dado que, si se mantuvieran todos los muros estructurales, estos podrían originar fallas en los dispositivos aisladores. Además, para un buen análisis hay que robustecer los componentes del pórtico para evitar fallas en los nudos.
4. Podemos afirmar que la edificación multifamiliar en Santa Maria del Mar ha demostrado una notable mejora en su capacidad para resistir terremotos. Esto se evidencia en la significativa reducción de los desplazamientos de entrepisos, con una disminución del 38.7% en el sentido X y del 24.76% en el sentido Y, así como en la disminución del 6.65% en las fuerzas sísmicas. Estos resultados son el resultado de la implementación de dispositivos aisladores, que han contribuido de manera efectiva a fortalecer la respuesta sísmica de la estructura.

## RECOMENDACIONES

1. Se recomienda continuar y ampliar la línea de investigación presentada en esta tesis y estimar la reducción de costos al incluir estos dispositivos aisladores, dado que, genera un buen aporte para futuros investigadores y desarrolladores inmobiliarios que requieran incluir estos dispositivos en sus proyectos.
2. Se recomienda incluir dentro del análisis, el proceso constructivo para la colocación del dispositivo, dado que, esto asegura la correcta transmisión de esfuerzos y aislamiento de la estructura.
3. Es importante incentivar a los futuros ingenieros a desarrollar tesis sobre temas de aislamiento sísmico y disipación de energía para generar discusiones académicas al respecto y poder enriquecer la NTP E.031, que recién fue creada en el 2019 y aún tiene muchas oportunidades de mejora.
4. Resulta importante realizar construcciones aisladas, más aún, en países que se encuentran dentro de una zona altamente sísmica, dado que, se obtiene una mejor respuesta de la edificación y se logra mitigar los daños estructurales, mediante la disminución de los desplazamientos relativos de la edificación.
5. Para llevar a cabo un análisis exhaustivo de una edificación con aislamiento, es esencial seguir las pautas establecidas en la Norma Técnica de Edificaciones E.031, y también es fundamental consultar los catálogos proporcionados por los proveedores. Esto permitirá obtener información detallada sobre las características y propiedades del aislador que se está evaluando.
6. Es importante mencionar que la ciudad de Lima, se encuentra ubicada en el llamado Cinturón del Fuego, cuya zona concentra alta actividad volcánica y se desplaza a gran velocidad por año. Entonces al existir mucha tensión proveniente de las placas tectónicas estas deben ser liberadas en forma de sismos. Entonces, es conocido que Lima tiene un silencio sísmico de más de 270 años (desde 1746) y está acumulando mucha energía por eso que resulta importante empezar a usar dispositivos de aislamiento o disipación que permitan que las edificaciones puedan responder de mejor manera y efectiva antes las sollicitaciones sísmicas.
7. La evaluación del uso de aisladores para edificaciones multifamiliares deberá tomar en cuenta, no solamente los datos estructurales y la reducción de esfuerzos, sino también evaluar la estructura post sismo. Por experiencias en el pasado, se conoce que las edificaciones luego de una sollicitación sísmica, si bien se

comportan de manera efectiva y responden al evento, muchos de ellos quedan con daños muy graves que deben ser reparados. Por el contrario, con la inclusión de los aisladores, se evita que el período de la superestructura se entrelaza con la del terreno y eso hace que la energía del sismo no afecte a la superestructura, reduciendo considerablemente los costos de reparación post sismo. Entonces resulta fundamental la evaluación económica desde un punto de vista global, donde se tome en consideración todos los costos directos (construcción, dispositivos, entre otros) y los costos indirectos (mantenimiento, daños post sismo, entre otros) para realmente poder tomar una decisión al momento de elegir el mejor método constructivo.

8. Finalmente, es importante mencionar que la NTP E.030, contempla muy bien los parámetros y se adecua muy bien a las características de las edificaciones en los distintos escenarios, pero consideramos que muchas de los escenarios que se evalúan son sobredimensionados y esto puede llegar a encarecer los costos de construcción. Por otro lado, la NTP E.031 si bien es una nueva norma, que tiene pocos años, consideramos que aún tiene muchos aspectos de mejora, tales como el comportamiento del dispositivo en el rango inelástico, entre otros. Por eso consideramos de vital importancia fomentar líneas de investigación que puedan aportar mayor data y análisis, de tal manera que se puedan tomar mejores referencias y así consolidar una mejor información en la NTP E.031.

## REFERENCIAS

- Alcivar, S, Mieles, Y, & Ostaiza, J. (2021). Estudio comparativo de análisis y diseño de estructuras aporricadas de hormigón armado, aplicando los espectros de la microzonificación sísmica del cantón Portoviejo y los espectros de la NEC-15. *Revista de Investigaciones en Energía, Medio Ambiente y Tecnología: RIEMAT ISSN: 2588-0721*, 6(1), 26-35. doi:<https://doi.org/10.33936/riemat.v6i1.3687>
- Apaza, L., & Ccana, B. (2020). *Análisis comparativo del comportamiento dinámico de una maqueta con sistema estructural aporricado sometido a vibraciones de 1 GDI, con y sin amortiguadores de masa sintonizada (AMS), simulado de forma numérica y experimental*. [Tesis de grado, Universidad Andina del Cusco, Cusco, Perú]. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12557/4745>
- ASCE/SEI 7-16. (2016). *Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures*, American Society of. Estados Unidos.
- ATC - 40. (1996). Seismic evaluation and retrofit of concrete building. California.
- Avila Baray, H. L. (2006). Introducción a la metodología de la investigación. 233.
- Bertero, V. V. (1992). Lecciones aprendidas de terremotos catastróficos recientes y otras investigaciones. Madrid.
- Cando Erazo, B., & Guamá Tequiz, C. (2020). *Estudio del comportamiento dinámico de modelos estructurales con base empotrada y con aisladores sísmicos, sometidas a diferentes eventos sísmicos simulados en la mesa de vibración XY Shake Table III*. [Tesis de grado, Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador]. Obtenido de <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/21855>
- Chancafe Vela, B. S., & Gonzales Coronel, C. (2021). *Evaluación del desempeño sísmico de un edificio multifamiliar de concreto armado de 8 pisos mediante un Análisis Pushover, distrito de Santiago de Surco*. [Tesis de grado, Universidad Ricardo Palma, Lima, Perú], Lima, Perú. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.14138/4721>
- Choque Sucasaca, J. F., & Luque Solis, E. D. (2019). *Análisis estático no lineal y evaluación del desempeño sísmico de un edificio de 8 niveles diseñado con la norma e.030*. [Tesis de grado, Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa, Perú]. Obtenido de <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/8866>
- Duarte Bonilla, C. E., Martínez Chavarría, M. E., & Santamaría Díaz, J. J. (2017). *Análisis estático no lineal (pushover) del cuerpo central del edificio de la*

- universidad de El salvador*. [Tesis de grado de título, Universidad de El Salvador, El salvador]. Obtenido de <http://ri.ues.edu.sv/>
- Dueñas Solórzano, F. P. (2019). Evaluación Estructural de acuerdo con las Normas NEC Y FEMA de la Estación de bomberos del Cantón Jana provincia de Manabí, Ecuador. *Polo del Conocimiento: Revista científico - profesional*, 5(1), 380-397. doi:10.23857/pc.v5i01.1229
- FEMA 440. (junio de 2005). Improvement of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedures.
- Genatios, C., & Lafuente, M. (2016). *Introducción al uso de aisladores y disipadores en estructuras*. Caracas: CAF-Banco de Desarrollo de América Latina. Obtenido de <https://scioteca.caf.com/handle/123456789/1213>
- Hamburger, R. (1997). A framework for performance-based earthquake design.
- Hernández Sampieri, R. (s.f.). Metodología de la Investigación. 6, 634. MC Graw hill.
- Melendrez, J., & Pantoja, C. (2020). *Análisis comparativo de un edificio con cuatro tipos de aisladores sísmicos en el distrito de la Victoria*. [Tesis de grado de título, Universidad Ricardo Palma, Lima, Perú]. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.14138/3553>
- Moustafa Muffed Kassem, F. M. (2019). Development of seismic vulnerability index methodology for reinforced concrete buildings based on nonlinear parametric analyses. *ELSEVIER*, 12.
- Najam, F. A. (2018). Nonlinear Static Analysis Procedures for Seismic Performance Evaluation of Existing Buildings – Evolution and Issues. *Facing the Challenges in Structural Engineering*, 18.
- Paredes Azaña, M. Á. (2016). *Evaluación del desempeño sismorresistente de un edificio destinado a vivienda en la ciudad de Lima aplicando el análisis estático no lineal pushover*. [Tesis de grado, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Lima, Perú]. Obtenido de <https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/620673>
- Resiliencia en Edificaciones con Aisladores Sísmicos. (2021). *Perfiles De Ingeniería*, 17(17), 25-35. doi:[https://doi.org/10.31381/perfiles\\_ingenieria.v17i17.4574](https://doi.org/10.31381/perfiles_ingenieria.v17i17.4574)
- Safina, S. P. (2005). Respuesta Sísmica del sistema hospitalario regional. *Sociedad mexicana de Ingeniería Sísmica, A. C. .*
- SEAOC. (1995). Performance based seismic engineering of building.

- Stuardi, J., Massa, J., & Brewer, A. (Noviembre de 2055). Eficiencia de sistemas de aislamiento sísmico basados en resortes helicoidales y amortiguadores viscosos comparada con aisladores tradicionales goma-metal. *Mecánica computacional*, XXIV, 743-764.
- Velarde, F., Bojorquez, J., & Bojorquez, E. (2022). Confiabilidad estructural de edificios de concreto reforzado y sistema dual. *Revista de ingeniería sísmica*(107), 74-90.
- Velásquez Ortega, S. J. (2020). *Evaluación del desempeño estructural de una edificación de concreto armado mediante un análisis pushover y propuesta de intervención (caso de estudio: Torre Trecca)*. [Tesis de grado, Universidad Ricardo Palma, Lima - Perú]. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.14138/3954>
- Vidaurre, C. (2011). *Análisis sísmico de una estructura de concreto armado de ocho niveles con y sin aisladores sísmicos*. [Tesis de grado, Universidad Cesar Vallejo, Lima, Perú]. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12692/84661>



## ANEXOS

### Anexo A: Matriz de Consistencia

PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	POBLACIÓN Y MUESTRA	INSTRUMENTOS
PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPOTESIS GENERAL	POBLACIÓN Y MUESTRA	INSTRUMENTOS
¿Cómo realizar el Análisis comparativo de la respuesta estructural de un edificio multifamiliar de 5 niveles con sistema dual y con aisladores sísmicos en Santa María del Mar?	Realizar el Análisis comparativo de la respuesta estructural de un edificio multifamiliar de 5 niveles con sistema dual y con aisladores sísmicos en Santa María del Mar.	Se encontrarán diferencias significativas en términos de desplazamientos, derivas y esfuerzos entre los dos sistemas. Se espera que el uso de aisladores sísmicos resulte en una mejor respuesta estructural y una mayor capacidad de resistencia ante cargas sísmicas en comparación con el sistema dual	<b>Población:</b> Edificios multifamiliares de 5 niveles con sistema dual en Santa María del Mar. <b>Muestra:</b> Edificio multifamiliar de 5 niveles con sistema dual en Santa María del Mar.	Artículos Tesis nacionales Tesis internacionales
PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	METODOLOGÍA	INSTRUMENTOS
¿Cómo modelar los desplazamientos, derivas y esfuerzos con el sistema dual y con aisladores sísmicos LRB con el software SAP V23?	Modelar los desplazamientos, derivas y esfuerzos con el sistema dual y con aisladores sísmicos LRB con el software SAP V23.	See obtendrán resultados que demuestren una mejora en la respuesta estructural ante cargas sísmicas en comparación con un sistema sin aisladores sísmicos	Tipo de investigación La investigación es de tipo aplicada con enfoque cuantitativo	Norma técnica de edificación E. 030 Diseño Sismorresistente
¿Cómo realizar el diseño optimizado de la estructura?	Realizar el diseño optimizado de la estructura.	El diseño optimizado resulte en una estructura que presente un rendimiento óptimo en términos de capacidad de carga, rigidez y comportamiento frente a cargas estáticas y dinámicas, en comparación con un diseño convencional	Diseño de la investigación La investigación es no experimental con diseño transversal	Software SAP V23 Software AutoCAD 2022
¿Cómo realizar el análisis estructural del edificio con ambos sistemas con el uso de hojas de cálculo excel?	Realizar el análisis estructural del edificio con ambos sistemas con el uso de hojas de cálculo excel.	Se obtendrán resultados que demuestren diferencias significativas en los desplazamientos, las derivas y los esfuerzos entre los dos sistemas, lo que indica que la elección del sistema tendrá un impacto en la respuesta estructural del edificio.	Nivel de investigación La investigación tiene un nivel descriptivo	Norma técnica de edificación E. 031 Aislamiento sísmico

*Nota.* Elaboración propia.

## Anexo B: Matriz de operacionalización de las variables de la investigación

**Título:** *Análisis comparativo de la respuesta estructural de un edificio multifamiliar de 5 niveles con sistema dual y con aisladores sísmicos en Santa María del Mar*

VARIABLE	Definición Conceptual	Dimensión	Indicadores	Instrumentos
<b>VARIABLES INDEPENDIENTES:</b>				
Sistema dual	El sistema dual es un sistema estructural que combina la resistencia de marcos de hormigón reforzado o acero para soportar las cargas gravitacionales, junto con un muro de cortante que se encarga de resistir la mayoría de las fuerzas cortantes generadas por actividades sísmicas o, en ocasiones, por el viento en edificios de gran altura. La distribución de carga entre estos elementos depende de su rigidez, módulo de elasticidad y ductilidad respectivamente. (Velarde et al, 2022)	Método de análisis de edificio aislado	Análisis estático o de fuerzas estáticas equivalentes  Análisis dinámico modal espectral.	
Aisladores sísmicos	Los aisladores sísmicos son dispositivos diseñados para reducir la respuesta sísmica de las estructuras ante un terremoto. Estos dispositivos se instalan entre la base de la estructura y sus elementos de soporte, y actúan como elementos flexibles que permiten el movimiento relativo entre la estructura y el suelo durante un evento sísmico. (Genatios et al, 2016).	Tipos de aisladores  Características físicas y mecánicas del aislador	Diseño de aislador  Rigidez y coeficiente de amortiguamiento	Normas vigentes actualizadas, expediente técnico del proyecto, uso de softwares.
<b>VARIABLE DEPENDIENTE:</b>				
Respuesta Estructural	La respuesta estructural se refiere al comportamiento de una estructura ante la aplicación de una carga o excitación externa. Esta respuesta puede ser medida en términos de fuerzas, deformaciones, desplazamientos, aceleraciones u otras variables relacionadas con la respuesta de la estructura. (Apaza et al, 2022)	Predimensionamiento de estructuras  Norma Peruana Sismorresistente E.30  Norma de Concreto Armado E.060	Desplazamiento  Derivas  Fuerzas sísmicas	

*Nota.* Elaboración propia



**Anexo D: Presupuesto**

Descripción	Unidad	Cantidad	P. U	Parcial
Material de oficina				S/ 292.00
Hojas bond A4	Mill	1	S/ 24.00	S/ 24.00
Files	Und	25	S/ 1.00	S/ 25.00
Grapas	Und	1	S/ 8.00	S/ 8.00
Internet	Glb	1	S/ 200.00	S/ 200.00
Lapiceros, Resaltadores, etc.	Glb	1	S/ 35.00	S/ 35.00
Material de oficina				S/ 850.00
Fotocopias	Glb	1	S/ 350.00	S/ 350.00
Impresiones	Glb	1	S/ 250.00	S/ 250.00
Anillados	Glb	1	S/ 250.00	S/ 250.00
Material				S/ 470.00
Programa SAP 2000 v23	Glb	1	S/ 400.00	S/ 400.00
Catálogo de aisladores sísmicos	Und	1	S/ 35.00	S/ 35.00
Libro de curvas de fragilidad y capacidad	Und	1	S/ 35.00	S/ 35.00
total				S/ 1,612.00

*Nota.* Elaboración propia