



FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

**APLICACIÓN DE LA NORMA TÉCNICA  
SISMORRESISTENTE E.030 PARA EVALUAR EL  
COMPORTAMIENTO SÍSMICO DEL EDIFICIO LAS  
MERCEDES DEL DISTRITO DE CERCADO DE LIMA**

**PRESENTADA POR**

**DIEGO ALONSO POMA LOPEZ**

**ELMER ERICK SAUL RODRÍGUEZ GONZALES**

**ASESOR**

**VÍCTOR ANTONIO ZELAYA JARA**

**JUAN MANUEL OBLITAS SANTA MARÍA**

**TESIS**

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

**LIMA – PERÚ**

2020





**CC BY-NC-SA**

**Reconocimiento – No comercial – Compartir igual**

El autor permite transformar (traducir, adaptar o compilar) a partir de esta obra con fines no comerciales, siempre y cuando se reconozca la autoría y las nuevas creaciones estén bajo una licencia con los mismos términos.

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



**USMP**  
UNIVERSIDAD DE  
SAN MARTÍN DE PORRES

FACULTAD DE  
INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

**APLICACIÓN DE LA NORMA TÉCNICA SISMORRESISTENTE E.030  
PARA EVALUAR EL COMPORTAMIENTO SÍSMICO DEL EDIFICIO LAS  
MERCEDES DEL DISTRITO DE CERCA DO DE LIMA**

**TESIS**

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

**PRESENTADA POR**

**POMA LOPEZ, DIEGO ALONSO**

**RODRIGUEZ GONZALES, ELMER ERICK SAUL**

**LIMA - PERÚ**

**2020**

## **DEDICATORIA**

Este trabajo va dedicada a los pilares más importantes en mi formación como ser humano: mis padres Alex Poma y Sonia Lopez. Estoy agradecido con todo lo que me brindaron para poder estudiar. También, extendo esta dedicatoria a todos mis familiares que, con su apoyo incondicional y su confianza en mí, me han hecho mejor persona. También agradezco a mi tío Michael por su paciencia y asesoramiento para poder culminar esta investigación.

Diego Alonso Poma Lopez

## **DEDICATORIA**

Dedico esta tesis a mi madre por el enorme esfuerzo y sacrificio que hace para poder brindarme educación, cariño y valores. Porque, pese a los problemas, adversos, mi madre me dio la oportunidad de continuar estudios superiores. Y, por otro lado, ella ha sido mi principal soporte y la paz que necesito en los momentos más difíciles. Asimismo, este trabajo lo dedico a mi hermano Ricardo por ser mi amigo y nunca abandonarnos. Ya que, él es como mi padre y mi mayor inspiración; incluso, me dio el mejor regalo de mis últimos años: mi sobrina Rafaella. No quiero dejar de agradecer también a mi cuñada Rosemarie. Dado que al igual que mi madre y mi hermano, me ha ayudado a alcanzar mis objetivos y metas en la vida. Este trabajo lleva sus nombres.

Elmer Erick Saul Rodriguez Gonzales

## ÍNDICE

RESUMEN .....	xiv
ABSTRACT .....	xv
INTRODUCCIÓN .....	xvi
CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	19
1.1. Descripción de la situación problemática .....	19
1.2. Definición del problema .....	23
1.3. Formulación del problema.....	23
1.3.1. Problema general.....	23
1.3.2. Problemas específicos .....	23
1.4. Objetivos de la investigación.....	24
1.4.1. Objetivo general.....	24
1.4.2. Objetivo específico.....	24
1.5. Importancia de la investigación.....	24
1.5.1. Justificación del proyecto .....	24
1.5.2. Alcances y limitaciones .....	25
1.6. Viabilidad de la investigación .....	26
1.6.1. Viabilidad social .....	26
1.6.2. Viabilidad económica .....	26
1.6.3. Viabilidad técnica .....	26
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO .....	27
2.1. Antecedentes .....	27
2.1.1. Antecedentes internacionales .....	27
2.1.2. Antecedentes nacionales .....	31
2.2. Bases teóricas .....	37
2.2.1. Riesgo, peligrosidad y vulnerabilidad sísmica.....	37
2.2.2. Sismo .....	39
2.2.3. Sistemas estructurales.....	46
2.2.4. Análisis sísmico .....	49
2.3. Definiciones de términos básicos.....	53
2.4. Hipótesis .....	55

2.4.1. Hipótesis general .....	55
2.4.2. Hipótesis específicas .....	55
CAPÍTULO III METODOLOGÍA .....	57
3.1. Diseño metodológico .....	57
3.1.1. Enfoque de la investigación .....	57
3.1.2. Tipo de la investigación.....	57
3.1.3. Alcance o nivel de la investigación .....	58
3.1.4. Diseño de la investigación .....	58
3.2. Variables .....	58
3.2.1. Definición de variables .....	58
3.2.2. Operacionalización de variables .....	59
3.3. Población .....	60
3.4. Muestra .....	60
3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	60
3.6. Técnicas e instrumentos de procesamiento de datos .....	61
CAPÍTULO IV DESARROLLO DEL PROYECTO .....	62
4.1. Descripción del edificio de estudio .....	62
4.1.1. Aspectos generales del edificio.....	63
4.2. Análisis estático lineal .....	64
4.2.1. Cálculo de la fuerza cortante en la base .....	64
4.2.2. Modelamiento en ETABS.....	78
4.3. Análisis dinámico lineal .....	102
4.3.1. Cálculo de espectro del diseño .....	104
4.3.2. Modelamiento en ETABS.....	106
CAPÍTULO V RESULTADOS .....	110
5.1. Estado del análisis estático lineal .....	110
5.1.1. Fuerza cortante estática.....	110
5.1.2. Fuerzas sísmicas en altura ( $F_i$ ) .....	112
5.1.3. Desplazamiento lateral estático y distorsión del entrepiso (deriva)...	116
5.1.4. Verificación de irregularidades .....	120
5.2. Resultados del análisis dinámico lineal.....	125
5.2.1. Modos de vibración .....	125
5.2.2. Cortante estática vs. cortante dinámica .....	127
5.2.3. Desplazamiento lateral dinámico y distorsión del entrepiso (deriva).128	



5.2.4. Verificación de irregularidades.....	132
CAPÍTULO VI DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	138
CONCLUSIONES .....	140
RECOMENDACIONES.....	141
FUENTES DE INFORMACIÓN.....	143
ANEXOS.....	146

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Escala de intensidad Mercalli Modificada y Richter</i> .....	21
Tabla 2 <i>Escala de Intensidad Mercalli Modificada y Richter</i> .....	44
Tabla 3 <i>Operacionalización de variables</i> .....	59
Tabla 4 <i>Factores de zona norma E.030</i> .....	66
Tabla 5 <i>Factor de suelo</i> .....	67
Tabla 6 <i>Periodos <math>T_p</math> y <math>T_L</math></i> .....	67
Tabla 7 <i>Coeficiente para estimar el periodo fundamental del edificio</i> .....	68
Tabla 8 <i>Factor de amplificación sísmica <math>C</math></i> .....	68
Tabla 9 <i>Categoría de las edificaciones y factor <math>U</math></i> .....	69
Tabla 10 <i>Sistemas estructurales</i> .....	70
Tabla 11 <i>Irregularidades estructurales en altura</i> .....	71
Tabla 12 <i>Irregularidades estructurales en planta</i> .....	72
Tabla 13 <i>Peso por nivel</i> .....	72
Tabla 14 <i>Condición para la irregularidad de masa o peso</i> .....	73
Tabla 15 <i>Distancia por eje</i> .....	73
Tabla 16 <i>Condición para la irregularidad geométrica vertical en X-X</i> .....	74
Tabla 17 <i>Condición para La irregularidad geométrica vertical en Y-Y</i> .....	74
Tabla 18 <i>Distancias totales</i> .....	75
Tabla 19 <i>Distancias relativas</i> .....	76
Tabla 20 <i>Condición para la irregularidad por esquina entrante en X-X</i> .....	76
Tabla 21 <i>Condición para la irregularidad por esquina entrante en Y-Y</i> .....	76
Tabla 22 <i>Áreas por nivel</i> .....	76
Tabla 23 <i>Condición para la irregularidad por discontinuidad del diafragma</i> ..	77
Tabla 24 <i>Irregularidades evaluadas en altura</i> .....	77
Tabla 25 <i>Irregularidades evaluadas en planta</i> .....	77
Tabla 26 <i>Parámetros sísmicos</i> .....	78
Tabla 27 <i>Carga repartida por uso</i> .....	95
Tabla 28 <i>Carga viva de techo</i> .....	95
Tabla 29 <i>Sobrecargas consideradas</i> .....	96
Tabla 30 <i>Coeficiente de la cortante basal en la dirección X</i> .....	96
Tabla 31 <i>Factor <math>K</math> para X-X</i> .....	96
Tabla 32 <i>Coeficiente de la cortante basal en la dirección Y</i> .....	97

Tabla 33 <i>Factor K para Y-Y</i> .....	97
Tabla 34 <i>Pseudoaceleración</i> .....	104
Tabla 35 <i>Cortante basal estática en X-X</i> .....	110
Tabla 36 <i>Peso Sísmico</i> .....	111
Tabla 37 <i>Cortante basal estática en la dirección X</i> .....	111
Tabla 38 <i>Cortante basal estática en la dirección X</i> .....	111
Tabla 39 <i>Cortante basal estática en la dirección Y</i> .....	112
Tabla 40 <i>Peso sísmico y cortante basal estática</i> .....	112
Tabla 41 <i>Fuerza sísmica en altura</i> .....	112
Tabla 42 <i>Fuerzas sísmicas en altura en X-X</i> .....	113
Tabla 43 <i>Fuerzas sísmicas en altura en Y-Y</i> .....	114
Tabla 44 <i>Relación desplazamiento lateral estático y deriva X-X</i> .....	117
Tabla 45 <i>Límites para deriva, según la norma E.030</i> .....	117
Tabla 46 <i>Deriva estática en X-X</i> .....	118
Tabla 47 <i>Relación desplazamiento lateral estático y deriva Y-Y</i> .....	119
Tabla 48 <i>Deriva estática en Y-Y</i> .....	119
Tabla 49 <i>Rigidez estática por nivel en X-X</i> .....	120
Tabla 50 <i>Piso blando estático condición 1 en X-X</i> .....	120
Tabla 51 <i>Piso blando estático condición 2 en X-X</i> .....	121
Tabla 52 <i>Rigidez estática por nivel en Y-Y</i> .....	121
Tabla 53 <i>Piso blando estático condición 1 en Y-Y</i> .....	121
Tabla 54 <i>Piso blando estático condición 2 en Y-Y</i> .....	121
Tabla 55 <i>Fuerza cortante estática por nivel en X-X</i> .....	122
Tabla 56 <i>Piso débil estático condición en X-X</i> .....	122
Tabla 57 <i>Fuerza cortante estática por nivel en Y-Y</i> .....	123
Tabla 58 <i>Piso débil estático condición en Y-Y</i> .....	123
Tabla 59 <i>Irregularidad torsional estática condición 1 en X-X</i> .....	124
Tabla 60 <i>Irregularidad torsional estática condición 1 en Y-Y</i> .....	124
Tabla 61 <i>Modos de vibración y participación de la masa</i> .....	125
Tabla 62 <i>Fuerzas cortantes</i> .....	127
Tabla 63 <i>Verificación de fuerzas cortantes</i> .....	128
Tabla 64 <i>Relación desplazamiento lateral dinámico y deriva X-X</i> .....	129
Tabla 65 <i>Deriva dinámica en X-X</i> .....	130
Tabla 66 <i>Relación desplazamiento lateral dinámico y deriva Y-Y</i> .....	131

Tabla 67 <i>Deriva dinámica en Y-Y</i> .....	132
Tabla 68 <i>Rigidez dinámica por nivel en X-X</i> .....	133
Tabla 69 <i>Piso blando dinámico condición 1 en X-X</i> .....	133
Tabla 70 <i>Piso blando dinámico condición 2 en X-X</i> .....	133
Tabla 71 <i>Rigidez dinámica por nivel en Y-Y</i> .....	134
Tabla 72 <i>Piso blando dinámico condición 1 en Y-Y</i> .....	134
Tabla 73 <i>Piso blando dinámico condición 2 en Y-Y</i> .....	134
Tabla 74 <i>Fuerza cortante dinámica por nivel en X-X</i> .....	135
Tabla 75 <i>Piso débil dinámico condición en X-X</i> .....	135
Tabla 76 <i>Fuerza cortante dinámica por nivel en Y-Y</i> .....	135
Tabla 77 <i>Piso débil dinámico condición en Y-Y</i> .....	136
Tabla 78 <i>Irregularidad torsional dinámica condición 1 en X-X</i> .....	136
Tabla 79 <i>Irregularidad torsional dinámica condición 1 en Y-Y</i> .....	137

## ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.</i> Cinturón de Fuego del Pacífico .....	19
<i>Figura 2.</i> Mapa zonificación sísmica Perú .....	21
<i>Figura 3.</i> Terremotos importantes en el Perú .....	22
<i>Figura 4.</i> Tipos de ondas sísmicas .....	41
<i>Figura 5.</i> Ubicación del Edificación Las Mercedes.....	62
<i>Figura 6.</i> Edificio Las Mercedes.....	63
<i>Figura 7.</i> Vista en Planta, Edificio Las Mercedes.....	64
<i>Figura 8.</i> Fuerza cortante en la base .....	64
<i>Figura 9.</i> Mapa de zonificación .....	65
<i>Figura 10.</i> Esquina entrante evaluada en el primer y segundo nivel.....	75
<i>Figura 11.</i> Esquina entrante evaluada en el tercer y cuarto nivel .....	75
<i>Figura 12.</i> Story data .....	79
<i>Figura 13.</i> Grid System data .....	79
<i>Figura 14.</i> Propiedades del concreto $F'c$ 140' .....	80
<i>Figura 15.</i> Propiedades del concreto $F'c$ .....	81
<i>Figura 16.</i> Propiedades del acero .....	82
<i>Figura 17.</i> Propiedades muro $f'm$ 35.....	83
<i>Figura 18.</i> Sección de columna C-1 .....	84
<i>Figura 19.</i> Refuerzo de columna C-1 .....	85
<i>Figura 20.</i> Sección de viga VCH1 .....	86
<i>Figura 21.</i> Sección de viga VCH2.....	86
<i>Figura 22.</i> Sección de viga VCH3.....	87
<i>Figura 23.</i> Sección de viga VCH4.....	87
<i>Figura 24.</i> Sección de viga VP1 .....	88
<i>Figura 25.</i> Sección de viga VP2.....	88
<i>Figura 26.</i> Sección de viga VS1 .....	89
<i>Figura 27.</i> Sección de viga VS2.....	89
<i>Figura 28.</i> Sección de viga VS3.....	90
<i>Figura 29.</i> Sección de viga VS4.....	90
<i>Figura 30.</i> Sección de muro, MUROe15 .....	91
<i>Figura 31.</i> Sección de muro, MUROe20 .....	91
<i>Figura 32.</i> Sección de muro, MUROe25 .....	92

<i>Figura 33.</i> Sección de muro, MUROe30 .....	92
<i>Figura 34.</i> Sección losa aligerada, losa 20 .....	93
<i>Figura 35.</i> Sección losa aligerada, losa escalera.....	94
<i>Figura 36.</i> Patrones de carga.....	94
<i>Figura 37.</i> Peso de cada elemento estructural.....	95
<i>Figura 38.</i> Sismo X-X.....	97
<i>Figura 39.</i> Sismo Y-Y .....	98
<i>Figura 40.</i> Mass Source .....	98
<i>Figura 41.</i> Diafragma rígido D1 .....	99
<i>Figura 42.</i> Diafragma rígido D2.....	99
<i>Figura 43.</i> Diafragma rígido D3.....	99
<i>Figura 44.</i> Diafragma rígido D4.....	100
<i>Figura 45.</i> Brazo rígido .....	100
<i>Figura 46.</i> Vista en Planta.....	101
<i>Figura 47.</i> Vista en elevación.....	101
<i>Figura 48.</i> Vista en 3D .....	101
<i>Figura 49.</i> Vista renderizada.....	102
<i>Figura 50.</i> Vista renderizada posterior del edificio .....	102
<i>Figura 51.</i> Cargas del primer al tercer nivel .....	103
<i>Figura 52.</i> Cargas del cuarto nivel .....	103
<i>Figura 53.</i> Cargas de la escalera .....	104
<i>Figura 54.</i> Respuesta espectral en X-X.....	105
<i>Figura 55.</i> Respuesta espectral en Y-Y .....	106
<i>Figura 56.</i> Casos modales .....	107
<i>Figura 57.</i> Casos de carga en X-X.....	108
<i>Figura 58.</i> Casos de carga en Y-Y.....	109
<i>Figura 59.</i> Mass Summary .....	111
<i>Figura 60.</i> Factor $\alpha_i$ .....	113
<i>Figura 61.</i> Fuerza sísmica en altura en X-X.....	113
<i>Figura 62.</i> Fuerzas cortantes estáticas en X-X .....	114
<i>Figura 63.</i> Fuerzas sísmicas en altura en Y-Y .....	115
<i>Figura 64.</i> Fuerzas cortantes estáticas en Y-Y .....	115
<i>Figura 65.</i> Desplazamientos laterales estáticos X-X.....	116
<i>Figura 66.</i> Grafica de desplazamientos laterales estáticos.....	116

<i>Figura 67.</i> Drifts estáticos X-X .....	117
<i>Figura 68.</i> Desplazamientos laterales estáticos Y-Y.....	118
<i>Figura 69.</i> Gráfica de desplazamientos laterales estáticos Y-Y .....	118
<i>Figura 70.</i> Drifts estáticos Y-Y .....	119
<i>Figura 71.</i> Rigidez estática por nivel en X-X.....	120
<i>Figura 72.</i> Rigidez estática por nivel en Y-Y .....	121
<i>Figura 73.</i> Modo 1 .....	126
<i>Figura 74.</i> Modo 2.....	126
<i>Figura 75.</i> Modo 3.....	127
<i>Figura 76.</i> Desplazamientos laterales dinámicos X-X.....	128
<i>Figura 77.</i> Grafica de desplazamientos laterales dinámicos X-X.....	129
<i>Figura 78.</i> Drifts dinámicos X-X .....	129
<i>Figura 79.</i> Desplazamientos laterales dinámicos Y-Y.....	130
<i>Figura 80.</i> Gráfica de desplazamientos laterales dinámicos Y-Y .....	131
<i>Figura 81.</i> Drifts dinámicos Y-Y .....	131
<i>Figura 82.</i> Rigidez dinámica por nivel en X-X .....	132
<i>Figura 83.</i> Rigidez dinámica por nivel en Y-Y .....	134

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Matriz de consistencia .....	125
Anexo 2 Plano aligerado primer nivel .....	126
Anexo 3 Plano aligerado segundo nivel.....	127
Anexo 4 Plano aligerado tercer y cuarto nivel.....	128



## RESUMEN

Con la revisión de los antecedentes y la teoría utilizada en esta investigación, se ha logrado obtener conceptos aplicables y aprender las delimitaciones de la norma peruana sismorresistente E.030, así como el uso de la tecnología para la estimación del comportamiento sísmico de las edificaciones existentes. Se ha tenido en cuenta los conceptos básicos del proyecto con los que fue construido, como también el levantamiento de información *in situ* de la construcción. La metodología empleada fue el enfoque cuantitativo de tipo aplicado de alcance descriptivo, mientras que el diseño de la investigación fue no experimental transversal. La problemática de este proyecto se analizó sobre la base de la data histórica que presenta el Perú. En la localización geográfica en la que se sitúa, ocurre el 85 % de eventos sísmicos y activación de volcanes. A esto se agrega que el Perú se encuentra frente a la placa de Nazca, cuya interacción con la placa continental o sudamericana originan disipación de energía; sin embargo, actualmente, el Perú se encuentra ante un evidente silencio sísmico. Por otra parte, el edificio Las Mercedes (ubicado en el distrito de Cercado de Lima) se encuentra expuesto y su antigüedad de construcción es 90 años. En tal sentido, el objetivo general de este proyecto consiste en aplicar la norma técnica peruana sismorresistente E.030 para evaluar el comportamiento sísmico de dicho edificio, mediante los métodos de análisis sísmicos lineales, estático y dinámico modal-espectral. Con esto, se espera conocer si los resultados se encuentran incluidos en los parámetros o límites que la norma contempla. La norma sirve como orientación para evitar el colapso de la edificación ante movimientos sísmicos severos. Finalmente, puesta en práctica la hipótesis de solución, se corroboró con los resultados obtenidos de los análisis que contempla la norma sismorresistente E.030 que sí cumple con los parámetros, límites y restricciones.

**Palabras claves:** análisis estático lineal, análisis dinámico lineal, comportamiento sísmico, cortante basal, distorsión del entrepiso, norma técnica peruana sismorresistente E.030.

## ABSTRACT

With the review of the background and the theory used in this research, it has been possible to obtain applicable concepts and learn the delimitations of the Peruvian earthquake-resistant standard E.030, as well as the use of technology to estimate the seismic behavior of existing buildings. The basic concepts of the project with which it was built have been taken into account, as well as the gathering of information on the construction site. The methodology used was the quantitative approach of the applied type of descriptive scope, while the design of the research was non-experimental cross-sectional. The problems of this project were analyzed based on the historical data presented by Peru. In the geographic location in which it is located, 85% of seismic events and volcano activation occur. To this is added that Peru is in front of the Nazca plate, whose interaction with the continental or South American plate causes energy dissipation; However, currently, Peru is facing an evident seismic silence. On the other hand, the Las Mercedes building (located in the Cercado de Lima district) is exposed and its construction age is 90 years. In this sense, the general objective of this project consists of applying the Peruvian Seismic-resistant Technical Standard E.030 to evaluate the seismic behavior of said building, through the methods of linear, static and dynamic modal-spectral seismic analysis. With this, it is expected to know if the results are included in the parameters or limits that the standard contemplates. The standard serves as an orientation to avoid the collapse of the building in the event of severe seismic movements. Finally, putting the solution hypothesis into practice, it was corroborated with the results obtained from the analyzes contemplated by the E.030 Seismic Resistant Standard, which does comply with the parameters, limits and restrictions.

**Keywords:** linear static analysis, linear dynamic analysis, seismic behavior, basal shear, mezzanine distortion, Peruvian technical standard E.030 earthquake resistant.

## INTRODUCCIÓN

Para los antecedentes de este proyecto, se revisó investigaciones nacionales en las que se han aplicado la norma sismorresistente E.030 (en sus distintas versiones), y se tomó como referencia los criterios, pasos y aportes que los investigadores utilizaron para el desarrollo de sus proyectos, con el fin de que el análisis de nuestra investigación sea más preciso. Así mismo, se consideró investigaciones que aplicaron métodos alternativos para tener una visión sobre la evolución de la norma como consecuencia de nuevas investigaciones y eventos que han ocurrido desde su primera versión publicada en el Perú (1970).

Además, se revisó investigaciones internacionales con miras a encontrar características parecidas en arquitectura, forma de aplicación del *software* ETABS y normas aplicadas en las evaluaciones sismorresistentes. A la vez, se tomó en cuenta las recomendaciones planteadas en las conclusiones de dichas investigaciones con el objetivo de proponer mejoras en el desarrollo de la presente investigación.

Gracias a los antecedentes y a la teoría utilizada en esta investigación, se logró obtener conceptos aplicables y aprender las delimitaciones de la norma peruana sismorresistente E.030, así como el uso de la tecnología para la estimación del comportamiento sísmico de las edificaciones existentes. Se tomó en cuenta los conceptos básicos del proyecto con los que fue construido y el levantamiento de información in situ de la construcción. La metodología empleada fue el enfoque cuantitativo de tipo aplicado de alcance descriptivo, mientras que el diseño de la investigación fue no experimental transversal.

La problemática de este proyecto se analizó sobre la base de la data histórica que presenta el Perú. En su localización geográfica ocurre el 85 % de eventos sísmicos y activación de volcanes. A esto se agrega que el Perú se encuentra frente a la placa de Nazca, cuya interacción con la placa continental o sudamericana originan disipación de energía; sin embargo, actualmente, el Perú se encuentra ante un evidente silencio sísmico.

Por otra parte, el edificio Las Mercedes (ubicado en el distrito de Cercado de Lima) se encuentra expuesto y su antigüedad de construcción es de 90 años. En tal sentido, el objetivo general de este proyecto consistió en aplicar la norma técnica peruana sismorresistente E.030 para evaluar el comportamiento sísmico de dicho edificio, mediante los métodos de análisis sísmicos lineales, estático y dinámico modal-espectral. Con esto, se esperaba conocer si los resultados se encontraban incluidos en los parámetros o límites que la norma contempla. La norma sirve como orientación para evitar el colapso de la edificación ante movimientos sísmicos severos.

Los objetivos específicos de esta investigación consistieron en modelar la fuerza sísmica en el análisis estático lineal del edificio Las Mercedes para evaluar la distorsión del entrepiso del comportamiento sísmico, determinar la cantidad de modos de vibración mayor al 90 % de masa participativa del análisis dinámico lineal en el comportamiento sísmico para ese edificio, analizar la geometría en el análisis estático lineal que permitiera determinar la regularidad estructural del comportamiento sísmico que presenta el edificio Las Mercedes, y calcular la relación de fuerzas cortantes del comportamiento sísmico al obtener la fuerza cortante estática y la fuerza cortante dinámica del análisis estático lineal y del análisis dinámico lineal para el edificio Las Mercedes.

Finalmente, puesta en práctica la hipótesis de solución, se corroboró con los resultados obtenidos de los análisis que contempla la Norma sismorresistente E.030 que sí cumple con los parámetros, límites y restricciones.

En cuanto a las limitaciones para esta tesis, no se consideró realizar un diseño del reforzamiento debido a que la estructura a estudiar no lo necesitaba, pero si se llegaba a la conclusión de que requería reforzamiento, solo se habría propuesto un tipo de refuerzo. En este estudio, no hubo limitaciones críticas para la obtención de datos, puesto que estuvieron al alcance de los investigadores gracias a la Sociedad Beneficencia de Lima Metropolitana (SBLM). Sin embargo, se tuvo una dificultad al conseguir cierta información en las visitas constantes al edificio no solo por su antigüedad sino por la coyuntura de la pandemia.

El alcance de la presente investigación consistió en evaluar el comportamiento de la estructura del edificio mediante la realización de los análisis sísmicos lineales, estático y dinámico modal-espectral, cuyos resultados fueron comparados con los límites permisibles de la norma técnica sismorresistente E.030 para poder determinar si son aceptables.

La estructura textual de esta tesis está compuesta por seis capítulos. En el primer capítulo, se plasma el planteamiento del problema de la tesis y se describe la necesidad del desarrollo de la investigación. En el segundo capítulo, se presenta el marco teórico, compuesto por los antecedentes nacionales e internacionales de la investigación, los estudios que la respaldan y las hipótesis de los problemas ya mencionados. En el tercer capítulo, se consigna la metodología empleada, herramientas y procesos utilizados a lo largo del proceso de ejecución. En el cuarto capítulo, se informa sobre la aplicación de la norma sismorresistente E.030, el desarrollo de los análisis sísmicos, estático lineal y dinámico lineal con el fin de brindar solución al problema planteado en el primer capítulo. En el quinto capítulo, se refleja los resultados obtenidos de los análisis sísmicos realizados y son revelados con las restricciones, parámetros y limitaciones que la norma presenta. Finalmente, en el sexto capítulo, se encuentra la discusión de resultados, las conclusiones y las recomendaciones que se consideraron necesarias.

## CAPÍTULO I

### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

#### 1.1. Descripción de la situación problemática

El Perú se ubica en la zona central y occidental de América del Sur, dentro del Cinturón de Fuego del Pacífico, zona en la que ocurre el 85 % de eventos sísmicos y activación de volcanes. Además, su costa se encuentra frente a la placa de Nazca, cuya interacción con la placa continental o sudamericana origina disipación de energía.

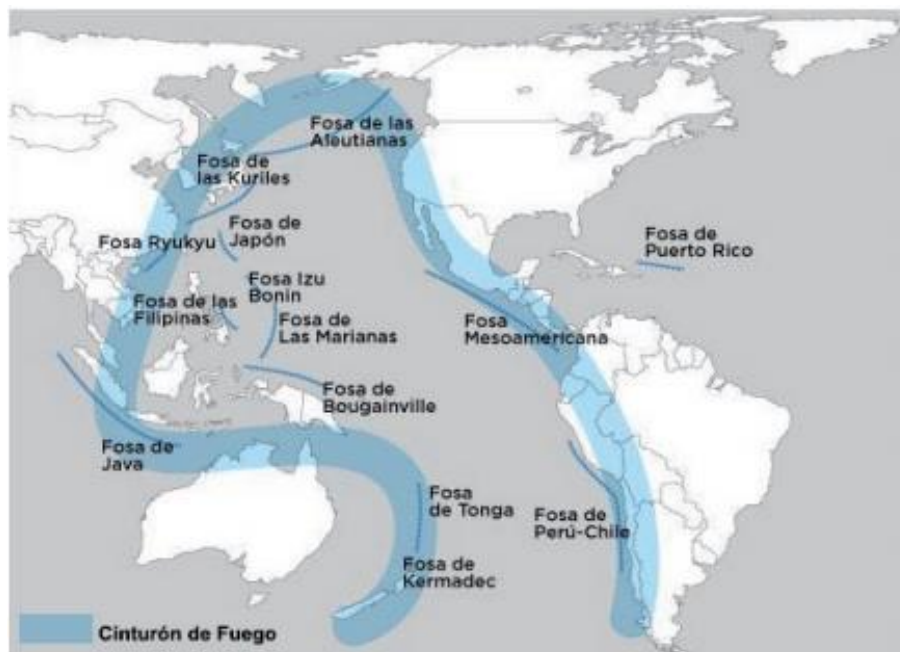


Figura 1. Cinturón de Fuego del Pacífico  
Fuente: Imagen adaptada de *El Nuevo Diario* (2016)

En función de lo anterior, resulta evidente que los movimientos telúricos tienen altas probabilidades de ocurrir en cualquier momento por ubicación geográfica del Perú. De darse alguno, podría acarrear una serie de desastres para una unidad social o económica.

Dado que los movimientos telúricos se presentan con una determinada intensidad en un periodo de tiempo definido, se puede asociar el nivel de peligro con las características que presente el sismo (epicentro, hipocentro, periodo de duración, intensidad y periodo de recurrencia). En este sentido, Quispe (2015) afirma que

Debido a la condición que presenta nuestro país a nivel sísmico, no vendría a ser factible elaborar un análisis estructural o diseño estructural si no se considera las fuerzas de sismo. Las fuerzas del sismo serán tomadas con la misma relevancia que se toma las cargas de gravitacionales y no tan solo considerarlas cuando se pida por algún pedido específico. (p. 4)

Los sismos son eventos que ocurren con un intervalo de tiempo; sin embargo, no se puede predecir cuándo vendrán o que tan agresivos podrán ser, pero sí hay certeza de que sucederá y, por lo tanto, es de suma necesidad desarrollar una cultura de prevención que se impregne en la sociedad desde una edad muy temprana. Para nadie es un secreto la gran devastación, mortandad y debacle económica que los sismos han generado en nuestro país y en países vecinos.

Tomando en consideración la escala modificada de Mercalli (MM). La ubicación del proyecto es la zona 4, cuya intensidad sísmica es VII, según el mapa de zonificación sísmica del Perú de la norma sismorresistente en vigencia (RNE) indicando su ubicación en la zona 4. En otras palabras, la actividad sísmica de la zona ha sido catalogada como alta.

Tabla 1  
*Escala de intensidad Mercalli Modificada y Richter*

Escala Mercalli modificada		Escala Richter
I	No sentido. Efectos marginales.	2.5
II	Sentido por personas que descansan, o en pisos altos.	
III	Sentido en interiores, los objetos oscilan.	3.5
IV	Objetos colgantes oscilan, ventanas y puertas hacen ruidos.	
V	Se siente en el exterior. Se afectan los líquidos.	
VI	Las personas caminan tambaleándose.	4.5
VII	Es difícil mantenerse de pie. Daños en mampostería.	
VIII	Daños en mampostería, colapso parcial.	6.0 Destructivo
IX	Pánico general. Se daña seriamente la mampostería.	
X	La mayor parte de la mampostería y las estructuras de acero de marcos se destruyen junto con cimientos.	7.0 Importante
XI	Ductos subterráneos completamente fuera de servicio.	8.0
XII	Daño casi total. Grandes masas rocosas se desplazan.	Gran Terremoto

Fuente: Herráiz. M, (2011), *Conceptos Básicos de Simbología para Ingenieros*.

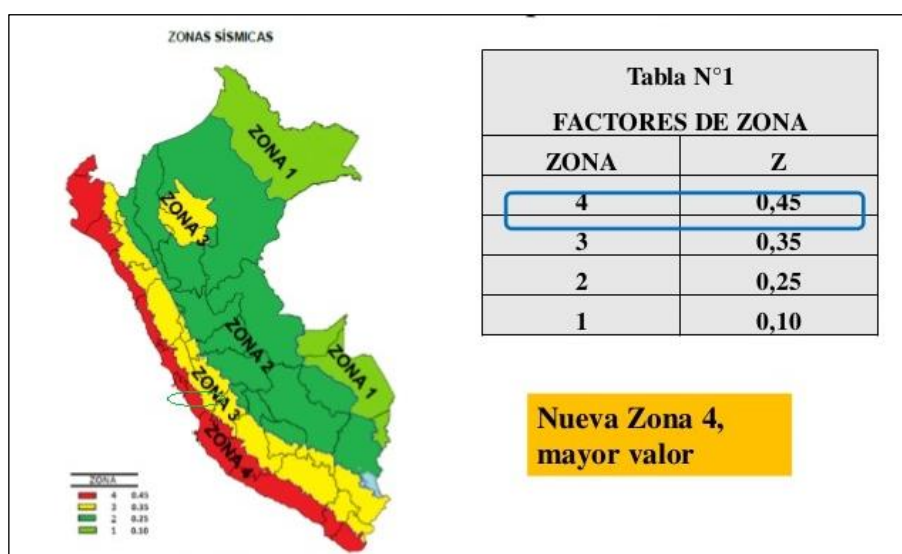


Figura 2. Mapa zonificación sísmica Perú  
 Fuente: IGP – Altas de Peligros Naturales Perú 2014 – INDECI

A su vez, se sabe que la mayor parte de los datos históricos de sismos en territorio peruano (terremoto en la región Ancash -1970, terremoto en la región Lima -1974, terremoto en la provincia de Nazca -1996, terremoto en la región Arequipa - 2001, terremoto en la provincia de Pisco - 2007); ocasionaron daños de magnitud considerable en las infraestructuras más importantes del país, lo que produjo un gran impacto socio-económico.





Figura 3. Terremotos importantes en el Perú  
Fuente: Pique, J. (noviembre del 2013), *Antecedentes de la norma sismo resistente en el Perú*

La importancia de conocer los eventos sísmicos históricos es determinante para identificar fuentes sísmicas y estimar los parámetros sísmicos de los terremotos. De la información obtenida, se concluye que la mayor parte de los terremotos destructivos aparecen como intercontinentales y relacionados al proceso de subducción. Estos eventos están comprendidos dentro de la dinámica del área y de su tectónica local.

La relativa severidad con que la sacudida de un sismo afectaría a la zona del proyecto se puede inferir de los terremotos históricos en áreas aledañas.

Astorga y Aguilar (2006) señalaron que uno de los puntos críticos que deja en evidencia la manifestación de un terremoto, es el mal comportamiento de las estructuras existentes. Aseguran también que, con el fin de limitar o mantener el control de tales puntos, es necesario realizar estudios preliminares de vulnerabilidad sísmica que ayuden a determinar la magnitud que podría resistir la edificación.

Como se sabe, el Perú se encuentra en una etapa evidente de silencio sísmico, por lo que se presenta una excelente oportunidad para poner en

práctica lo aprendido durante los estudios universitarios de pregrado, a partir de la investigación nuevas metodologías, para así contribuir con la mejora de los diseños sismorresistentes en el Perú.

## **1.2. Definición del problema**

En función de lo anterior, se delinea el problema desde el punto de vista del comportamiento sísmico. Para ello, se analizará una edificación ya construida (1930) con procedimientos y normas de aquella época, luego se contrastará el resultado con la norma técnica de diseño sismorresistente actual (E.030).

## **1.3. Formulación del problema**

### **1.3.1. Problema general**

¿Cuál es el comportamiento sísmico del edificio Las Mercedes, distrito Cercado de Lima según la norma técnica sismorresistente E.030?

### **1.3.2. Problemas específicos**

- ¿Cuál será la distorsión del entrepiso del comportamiento sísmico al modelar la fuerza sísmica en el análisis estático lineal para el edificio Las Mercedes del distrito de Cercado de Lima?
- ¿Cuántos modos de vibración se requiere para superar el 90% de masa participativa del análisis dinámico lineal en el comportamiento sísmico para el edificio Las Mercedes del distrito de Cercado de Lima?
- ¿Qué regularidad estructural del comportamiento sísmico presentará el edificio Las Mercedes, del distrito Cercado de Lima, al analizar su geometría en el análisis estático lineal?
- ¿Cuál será la relación de fuerzas cortantes del comportamiento sísmico al obtener la fuerza cortante estática y la fuerza cortante dinámica del análisis estático lineal y del análisis dinámico lineal para el edificio Las Mercedes del distrito de Cercado de Lima?

## **1.4. Objetivos de la investigación**

### **1.4.1. Objetivo general**

Aplicar la norma técnica sismorresistente E.030 para evaluar el comportamiento sísmico del edificio Las Mercedes del distrito Cercado de Lima.

### **1.4.2. Objetivo específico**

- Modelar la fuerza sísmica en el análisis estático lineal del edificio Las Mercedes, del distrito Cercado de Lima, para evaluar la distorsión del entrepiso del comportamiento sísmico.
- Determinar la cantidad de modos de vibración que supere el 90 % de masa participativa del análisis dinámico lineal en el comportamiento sísmico para el edificio Las Mercedes del distrito de Cercado de Lima.
- Analizar la geometría en el análisis estático lineal para determinar la regularidad estructural del comportamiento sísmico que presenta el edificio Las Mercedes del distrito de Cercado de Lima.
- Calcular la relación de fuerzas cortantes del comportamiento sísmico al obtener la fuerza cortante estática y la fuerza cortante dinámica del análisis estático lineal y del análisis dinámico lineal para el edificio Las Mercedes del distrito de Cercado de Lima.

## **1.5. Importancia de la investigación**

### **1.5.1. Justificación del proyecto**

Para determinar la importancia de este estudio, se tomó en cuenta que la antigüedad del edificio (ubicado en la intersección de la av. Nicolás de Piérola y el jr. Cailloma) es de 90 años, por lo que fue construido con normas y procedimientos distintos a la norma técnica sismorresistente actual. La norma original se ha ido modificando a partir de la constante retroalimentación de las investigaciones y de los eventos ocurridos hasta llegar a la norma vigente en el país. Durante todo ese tiempo, la construcción (de 4 pisos, 16 departamentos y 8 locales comerciales) ha sufrido varios sismos, porque se encuentra en una zona altamente sísmica; debido a ello, es necesario realizar

un análisis sísmico detallado para determinar su estado de conservación y saber qué tan preparado se encuentra ante un posible evento telúrico, sobre todo si se considera que ninguna edificación es ajena a las deficiencias o malas prácticas que durante su construcción, independientemente del tiempo en el que se haya hecho. Como dato no menor, el edificio es considerado de valor monumental, debido a se encuentra en una zona del Centro Histórico de Lima clasificada como Patrimonio Cultural de la Humanidad.

Al ser un edificio que presenta características como las mencionadas, se hizo atractivo realizar el presente análisis por la importancia que presenta y la antigüedad, además, esta investigación busca brindar la perspectiva adecuada para tomar las mejores decisiones con miras a preservar la vida de todas las personas que estén en contacto tanto directa o indirectamente con el edificio.

### **1.5.2. Alcances y limitaciones**

La presente investigación tuvo como alcance la evaluación del comportamiento sísmico de la estructura del edificio mediante la realización de los análisis sísmicos lineales, estático y dinámico modal-espectral. Los resultados que obtenido fueron comparados con los límites permisibles de la norma técnica sismorresistente E.030 para así determinar si son aceptables.

No se consideró realizar un diseño del reforzamiento en caso que la estructura lo necesite, pero si se hubiera concluido que requería reforzamiento, solo se habría enfocado en proponer un tipo de refuerzo.

En este estudio, no hubo limitaciones críticas para la obtención de datos, puesto que estuvieron al alcance de los investigadores gracias a la Sociedad Beneficencia de Lima Metropolitana (SBLM). Sin embargo, se tuvo la dificultad al conseguir cierta información en las visitas constantes al edificio no solo por su antigüedad sino por la coyuntura de la pandemia.

## **1.6. Viabilidad de la investigación**

### **1.6.1. Viabilidad social**

Al contar con un estudio de análisis sísmico, se pudo obtener resultados reales, lo que podría ayudar a los mandos directivos, dueños o gerentes a tomar medidas correctivas para reducir posibles daños y salvaguardar a las personas que se encuentren cumpliendo sus funciones.

### **1.6.2. Viabilidad económica**

Durante el desarrollo de la investigación no se presentaron problemas para el financiamiento, puesto que la tesis se realizó sobre la base de estudios, cálculos, investigaciones, gracias a los estudios que se encuentran en internet. Es por esto que el presente trabajo no demandó una gran suma de inversión de dinero, pero lo que sí demandó fue tiempo y dedicación exclusiva.

### **1.6.3. Viabilidad técnica**

Los recursos utilizados para esta tesis son documentos: normas, artículos científicos, tesis de pregrado y posgrado, videos, blog de investigación. Esto facilitó el desarrollo de la investigación, por lo que no se presentaron problemas de financiación, pues la mayor parte de la información para el análisis y el desarrollo se obtuvo de internet. Así mismo, se utilizaron planos estructurales de la edificación ya existentes, pero que luego fueron modelados con el *software* ETABS.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Antecedentes**

Las investigaciones antecesoras que se realizaron tanto en el Perú como en el extranjero han sido de gran aporte y una ayuda a manera de guía para la elaboración de este estudio. A continuación, se detallan los más importantes de cada una.

##### **2.1.1. Antecedentes internacionales**

**Cadena, Hernández y Parra (Colombia, 2016), *Evaluación de vulnerabilidad sísmica del edificio de la facultad de ingeniería civil de la universidad la gran Colombia.***

El edificio analizado fue construido hace aproximadamente 80 años, en una época en la que no se realizaban estudios analíticos de las cargas de la edificación y, mucho menos, de la acción dinámica sísmica. Dado que el edificio era una sede universitaria que albergaba una gran cantidad de estudiantes que realizan sus actividades en diferentes partes del edificio, se consideró necesario evaluar su estructura, para determinar si podía responder favorablemente a un evento telúrico.

Los autores plantearon la necesidad de realizar reforzamientos y rehabilitaciones en la edificación, con el fin de cumplir los parámetros exigidos en el reglamento colombiano de construcción sismo resistente (NSR-10).

Durante el desarrollo de la tesis, utilizaron el *software* aplicable SAP 2000 para la simulación estructural en estudio.

Al contar con un edificio antiguo, los investigadores recolectaron información de la estructura mediante la extracción de núcleos de concreto. El instrumento utilizado fue el FerroScan (no destructivo), que sirve para visualizar las armaduras de la estructura y determinar la separación entre varillas, a través de un campo magnético. Para la identificación de barras de refuerzo, la medición de la profundidad del recubrimiento de hormigón y el extractor de núcleos, se utilizó el ensayo de diamantina (destructivo).

Las muestras de concreto se analizaron con el ensayo a la resistencia a la compresión y el ensayo de la resistencia a la tracción indirecta; mientras que las vigas se analizaron con el ensayo de la resistencia a la flexión.

Los investigadores llegaron a la conclusión de que las secciones de las columnas no fueron suficientemente grandes para las cargas de servicio del edificio y que este contiene irregularidad en planta. Luego de los ensayos, obtuvieron que los índices de flexibilidad y de sobre esfuerzo para la estructura no llegan a los límites permisibles de la norma que rige en el país colombiano. Además, con los ensayos determinaron la calidad y resistencia de los elementos estructurales, que se encontraron dentro los parámetros de su norma sismorresistente NSR-10. Sin embargo, la evaluación de todo el edificio en conjunto indicó que este no cumplía con los mínimos requeridos establecido en el reglamento colombiano de construcción NSR-10.

**Hernández Ávila, M. A. (México, 2016), *Vulnerabilidad sísmica de edificios del Campus Mocambo de la Universidad Veracruzana.***

Hernández (2016) propuso este estudio para determinar la susceptibilidad que podían presentar las edificaciones del campus de sufrir daño ante la presencia de un sismo. Su objetivo fue asegurar la continuidad de los servicios básicos, así como minimizar daños a la propiedad y del riesgo de colapso. El investigador aplicó el método de Masaya Hirosawa, con el que calculó los índices de vulnerabilidad estructural.

El autor no accedió a los planos estructurales, sino que realizó ensayos no destructivos con un esclerómetro mecánico para conocer la resistencia del concreto en las columnas y vigas. De esta manera, obtuvo datos como la geometría del edificio y el análisis de cargas análisis estructural. Con el resultado, modeló la estructura (tridimensional) con el *software* SAP 2000.

El investigador detalló el procedimiento para realizar el análisis estructural en el SAP 2000 y aportó conceptos básicos de las normas sismorresistente que se aplican en toda la región andina de América del Sur.

En función de la simulación aplicada al edificio B, el autor consideró vulnerable el tercer piso, puesto que su índice de vulnerabilidad sísmica de la estructura fue menor al índice de juicio estructural.

En la última parte de la tesis, para el edificio A recomendó incorporar elementos estructurales que brinden mayor rigidez en la dirección. Para los edificios A y B, recomendó muros de concreto armado para proporcionar reforzamiento a la estructura sin alterar la funcionalidad del edificio. Finalmente, propuso realizar pruebas de vibración ambiental para saber cómo se comportará el edificio ante futuros eventos sísmicos.

**Lao García, J. L. K. (Ecuador, 2015), *Evaluación de la vulnerabilidad sísmica del Edificio Municipal de la Ciudad de Machala.***

Esta investigación tiene como fin evaluar la vulnerabilidad sísmica del Edificio Palacio Municipal localizado en el casco urbano de la ciudad de Machala, Ecuador y categorizado como una obra esencial, según lo que indica la NEC-11 (Norma Ecuatoriana de la Construcción). En función a esta apreciación de vulnerabilidad sísmica, se aplicó métodos analíticos basados en el análisis no lineal de estructuras, como el análisis tiempo-historia (no lineal) y el análisis estático no lineal (*pushover*) con el *software* SAP2000 V-15.

Los métodos analíticos permiten obtener mejores resultados y un análisis de vulnerabilidad sísmica más específico. Así pues, el análisis no



lineal viene a ser el diagnóstico más confiable sobre la data, además de que genera un interesante beneficio de recursos y tiempo. (Lao, 2015, p. 22)

Después de aplicar el *pushover* al edificio, se concluyó que la edificación se encuentra bajo el límite de desempeño. Asimismo, se sugirió realizar reforzamientos, debido a que sus elementos estructurales en el rango elástico alcanzan el 65 %, mientras que los restantes alcanzan el 35 %.

**Peralta y Rangel (Colombia, 2012), *Estudio de vulnerabilidad sísmica y reforzamiento de una estructura industrial combinada en altura con pórticos de concreto y estructura metálica.***

Los autores plantearon como finalidad aplicar conceptos y metodologías para realizar una memoria de vulnerabilidad sísmica.

Se utilizó la microzonificación sísmica de la GRB para calcular el desempeño de todos los utensilios que componen la organización mediante el uso del razonamiento *pushover*. De esta manera, se determinó un nivel de comportamiento de firmeza de la viga según la lógica del ATC40 (Peralta y Rangel, 2012, p.20).

Se tomó como referencia la propuesta de rehabilitación o intervención deseada a partir de algunos métodos aplicables para una estructura que se vea vulnerable ante un sismo. Las técnicas disponibles para incrementar principalmente la capacidad de deformación o ductilidad son las siguientes:

- enchaquetado o zunchado con malla de acero y concreto o mortero de protección
- enchaquetado o envoltura con láminas de acero (relleno, adheridas, ancladas)
- enchaquetado o envoltura con ángulos y platinas de acero (relleno, adheridas)
- enchaquetado o envoltura con materiales compuestos FRP

A partir de lo anterior, se propuso una evaluación que considere que la estructura no deje de funcionar mientras sea intervenida, es decir, se

recomendó que el análisis no produzca algún debilitamiento al adicionar los elementos.

**Moreno, Pujades, Aparicio y Barbat (España, 2008), *Herramientas necesarias para la evaluación sísmica de edificios.***

Básicamente, su finalidad fue inducir al lector a considerar la importancia de la evaluación de la vulnerabilidad y el riesgo sísmico que presentan las edificaciones.

En el libro se indica que, antes de efectuar un análisis sísmico, primero es necesario conocer con exactitud en qué consiste el movimiento sísmico, ya que es complejo y puede considerarse fortuito, por eso, el concepto debe ser sometido análisis estocásticos y teoría de probabilidades. Además, el libro contiene métodos para elaborar acelerogramas artificiales, que ayudan a ejecutar una evaluación de riesgo sísmico a través de un análisis de historias en el tiempo.

Finalmente, se rescató del libro importantes definiciones y principios sobre la acción sísmica, el comportamiento que reflejan los edificios debido a esta acción, así como el daño, el riesgo y la vulnerabilidad sísmica. También fue vital la descripción de índices que utilizan algunos investigadores para clasificar el desgaste por la acción sísmica.

### **2.1.2. Antecedentes nacionales**

**Rojas y Rivera (2020), *Evaluación estructural de edificios de uso multifamiliar diseñados con la norma sismorresistente E.030 1977 utilizando la norma E.030 2016.***

Rojas y Rivera (2020) fijaron como finalidad realizar una evaluación estructural de 4 edificios multifamiliares de 7 a 11 pisos de Miraflores diseñados con la norma E.030 de 1977 mediante los criterios dados por la Norma E.030 del 2016 a través de los análisis sísmicos lineales, el estático y el dinámico modal-espectral. Los edificios cuentan con aproximadamente 35 años de antigüedad o exceden su tiempo de vida útil, por lo que a estos

análisis permitirían concluir si necesitan ser sometidos a soluciones de reforzamiento estructural para minimizar los daños a futuro.

Los investigadores solicitaron el expediente técnico a la Oficina de Archivo Central de la Municipalidad de Miraflores para obtener planos arquitectónicos, planos estructurales, estudios de suelos y características propias de cada edificio. Al realizar la evaluación estructural, consideraron el comportamiento de los elementos estructurales frente a las diferentes combinaciones de carga que se presenta en la norma E.020 del reglamento nacional de edificaciones.

Dado que los edificios fueron diseñados cuando los planos se hacían a mano, tuvieron que realizar el modelamiento con la utilización del *software* ETABS, que evalúa cada elemento estructural. Obtuvieron que tanto las vigas y columnas no presentan un problema crítico en su diseño.

Los investigadores comentaron la evolución de la norma a través del tiempo en el país, específicamente en los criterios del diseño sísmico de edificaciones donde se evidencian cambios de los valores máximos permisibles de derivas de entrepiso y juntas sísmicas. Concluyeron que la normativa E.030 - 1977 y la normativa E.030 - 2016 cuentan con criterios similares para el análisis sísmico; sin embargo, se diferencian en los valores atribuidos a los factores para su cálculo. Es por esto que indicaron que la normativa no cambió en su totalidad, pero sí tomó nuevas consideraciones para las actualizaciones.

Finalmente, recomendaron aplicar reforzamiento a las estructuras de los edificios, tanto a los elementos existentes o incorporando nuevos elementos. También recomendaron realizar un análisis no lineal para obtener mejor precisión en los resultados. En tal contexto, el comportamiento de una edificación de uso común construida en aquellos años y bajo criterios sísmicos que tenían pocos antecedentes de movimientos telúricos en comparación a los criterios contemplados en la normativa actual, podría constituir un riesgo latente ante un gran sismo.

Dávila e Hinojosa (2019), *Análisis de la vulnerabilidad sísmica para una edificación de 10 pisos utilizando aisladores o el sistema dual*, Av. República de Panamá – Lima.

Es un estudio teórico de los principales sistemas de aislación sísmica, así como sus propiedades mecánicas y físicas. Comparó el comportamiento de una edificación dual —a través de aisladores sísmicos— y un análisis estático y dinámico —con implementación de dispositivos de aislación en la base— con el fin de explorar nuevas tecnologías que se implementan en el mercado de la infraestructura, específicamente en el análisis del comportamiento antisísmico (Davila y Hinojosa, 2019, p. ix).

En este trabajo se utilizó la norma nacional E.030 y la norma internacional ASCE 7-10, además de los criterios de estructuración de la configuración arquitectónica.

Del análisis comparativo del comportamiento sísmico dinámico según el diseño normativo sismo-resistente de un sistema dual con el modelo con aisladores sísmicos, los investigadores obtuvieron que los desplazamientos son de menor tamaño en aproximadamente 35%. Al realizar esta comparación también obtuvieron que el sistema aislado presentó una cortante en la base de 50% menos en comparación con el sistema dual.

Para controlar los desplazamientos de las estructuras y las derivas entre pisos, recomendaron hacer un análisis histórico con la cantidad mínima de registros con las que la norma E. 030 cuenta. En el caso de aplicar aisladores sísmicos a una estructura, no es considerable aplicar más de tres tipos de estos; además, de cada una se debe estandarizar las dimensiones y sus características dinámicas, pues con estos datos se puede realizar una mayor cantidad de ensayos para la verificación.

Finalmente, recomendaron estudiar a profundidad los sistemas de aislación activos que cuentan con sensor de movimiento, cuyo fin es mantener un control adecuado, lo que implica un mejor procesamiento de resultados de periodo fundamental de vibración.

**Fustamante Ibazeta, E. B. L. (2018), *Ingeniería sísmica basada en desempeño aplicando la Norma E. 030-2018 para el diseño de una edificación multifamiliar de 12 niveles con 3 sótanos ubicada en la ciudad de Lima, distrito de Miraflores.***

En esta investigación, realizada a un edificio de doce pisos y tres sótanos, el objetivo fue cuantificar el comportamiento de la estructura ante las necesidades reales y las sollicitaciones sísmicas de diseño según la norma E.030 2018.

Se consideró esta investigación porque el autor detalló el procedimiento y los beneficios de las normas ATC- 40 y FEMA – 356 y porque en ella se obtuvieron resultados anticipados del comportamiento de la estructura frente a las aceleraciones del terreno. Asimismo, el investigador identificó las posibles afectaciones que puede presentar la edificación ante un evento telúrico severo, y cuantificó los desplazamientos máximos de la estructura, la variación de la ductilidad y la resistencia de esta, mientras se adentraba en los comportamientos plásticos.

En el marco análisis de estado situacional, el autor afirmó que, como nuestro país se encuentra en una posición geográfica de alta sismicidad, se tiene normativa vigente para diseños sismorresistentes pero esta norma ha sido adaptada a nuestra condición geográfica tomando como base a la norma estadounidense ASCE.

Fustamante introdujo técnicas, procesos para diseñar, cuantificar y evaluar el comportamiento de estructuras. Asimismo, indicó que, cuando la estructura es sometida con un espectro de diseño de factor  $R=1$ , obtuvo que el punto desempeño en la curva bilineal se ubicó cerca a zona de colapso. Pese a esto, la E.030 2018 cumple con mantener la estructura sin derrumbarse, pero presentaría daños considerables e irreparables.

Así, recomendó realizar análisis no lineal dinámico con el fin de obtener una curva de capacidad representativa para sistemas irregulares. También recomendó utilizar ingeniería sísmica basada en desempeño para proponer mayor cantidad de sistemas estructurales en la norma E.030 con nuevos

coeficientes  $R_0$ . Finalmente, recomendó realizar evaluaciones de costos de reparación para distintos tipos de desempeño que permitan relacionarlas con el factor de reducción sísmica.

**Soto Geldres, C. A. (2018), *Aplicación de la norma sismorresistente E.030 2018 y análisis pushover para la evaluación del comportamiento estructural en edificios de muros de ductilidad limitada de 6 pisos en el distrito Rímac - Lima Perú.***

Soto (2018) evaluó el comportamiento estructural de una edificación de muros de ductilidad limitada. Para ello, desarrolló un análisis lineal estático y dinámico, según la norma de diseño sismorresistente E.030 del 2018. Asimismo, desarrolló un análisis no lineal pushover, según la norma ATC-40 (Soto Geldres, 2018, xi). Los resultados que obtuvo se encontraron dentro de los parámetros permisibles de la norma internacional ATC- 40.

Dentro del análisis situacional, el investigador indicó que la incertidumbre con las edificaciones existentes se debe a que las empresas constructoras tergiversaron principios de sistemas estructurales, utilizaron mallas no reglamentarias, construyeron cantidad de pisos por encima de lo que indica la norma y diseñaron losas de transferencia cuando no eran permitidas. Otro motivo de la incertidumbre es que estas edificaciones no han sido expuestas ante una disipación de energía producida por un sismo con magnitud considerable.

Soto brindó recomendaciones para modelar la losa aligerada como *ribbed* con el *software* Etabs, por ejemplo, indicó que la rigidez aportada por el sentido de las viguetas permite resultados más próximos a la realidad. Asimismo, señaló que discretizar los muros en el proceso de modelamiento ayuda a obtener resultados más precisos y aumentar ligeramente los desplazamientos.

Con la realización del análisis no lineal tiempo-historia, el autor afirmó obtener resultados más precisos sobre el comportamiento de una edificación que presenta la configuración estructural de muros de ductilidad limitada. Esto

se debe a que se considera la pérdida de la rigidez de los muros a causa de los lazos histeréticos generados al aplicar las aceleraciones del terreno.

**Quispe Ledesma, F. (2015), *Análisis y diseño estructural comparativo con la norma sismo resistente E.030-2014 vs. E.030-2003 de un edificio multifamiliar de 5 pisos en distrito de surquillo.***

El autor realizó el diseño estructural aplicando la norma sismorresistente E.030-2014, que comparó con la norma E.030-2003 con la finalidad de obtener ventajas e incidencias en el diseño de un edificio multifamiliar.

Cada parámetro de la norma se comparó simultáneamente en el desarrollo del análisis sísmico del edificio. También se verificó en qué porcentaje varían estas dos demandas y si influyó económicamente en la concepción de los planos estructurales del proyecto, además de las influencias de los nuevos parámetros en el comportamiento sísmico del edificio en conjunto.

El investigador obtuvo de resultado la diferencia de demanda sísmica en el orden 1 % - 6 %, por lo que no se consideran como cambios considerables las versiones de la norma E.030 ni causas problemas desde el punto de vista económico, al contrario, existen ventajas económicas, pero no son muy relevantes. También se presentaron ventajas en la mejora del comportamiento sísmico de todo el edificio con la nueva metodología para calcular su coeficiente de reducción de fuerzas sísmicas, además de las nuevas disposiciones y restricciones que se proponen, así como los factores de corrección de los desplazamientos de estructuras regulares e irregulares.

Finalmente, el autor comentó que los resultados de su investigación son solo aplicables a edificaciones de concreto armado que cuenten con cinco pisos de periodo corto, configuración estructural mediante muros de corte y pórticos en dos direcciones.

## 2.2. Bases teóricas

### 2.2.1. Riesgo, peligrosidad y vulnerabilidad sísmica

#### a) Riesgo sísmico

El riesgo sísmico es un indicador para las edificaciones que surge debido a los eventos sísmicos ocurridos en diferentes puntos del planeta a causa de la interacción de las placas tectónicas. Este indicador está determinado en función del lugar en que se encuentre la edificación, de las propiedades de sus materiales y del valor económico que represente. Así, D. Madariaga et al. señalan que

El riesgo debido a los sismos puede ser abordado desde la perspectiva científica y desde la económica; sin embargo, esta última, aunque está relacionado con la primera, supera las competencias del sismólogo y el ingeniero.

En el ámbito científico existen, es labor del sismólogo determinar la probabilidad de que suceda un sismo de ciertas características, mientras que es labor del ingeniero determinar la probabilidad de que una estructura sea afectada por a la acción de un sismo.

Por otro lado, la Unesco propuso en 1980 enlazar todos los aspectos del problema con la siguiente expresión en inglés: *Risk = hazard\*vulnerability\*value at cost*. El término *risk* ('riesgo' en español) abarca todos los aspectos del problema. *Hazard* ('riesgo' o 'peligro' en español) comparte con *risk* el mismo concepto, por lo que algunos autores sugieren utilizar la expresión "peligrosidad sísmica" para diferenciarlos. El término *vulnerability* ('vulnerabilidad' en español) debe ser estimado por el ingeniero o arquitecto a quien le interesa la combinación de las respuestas ocurridas ante sucesos sísmicos y las diferentes reacciones que sufre una estructura en particular. (1989, pp. 199-200)

#### b) Peligrosidad sísmica



La peligrosidad sísmica depende de las características del suelo del lugar en que se encuentre la edificación. Una de las propiedades del suelo más importantes para la edificación es la capacidad portante que presenta; por tanto, mientras la capacidad portante que presente el suelo sea mayor, la edificación tendrá menor peligro sísmico. Por otro lado, Madariaga et al. sostienen que:

Conceptualizar la peligrosidad sísmica en una disposición como la posibilidad de que el factor que calcule el movimiento del suelo, debido al suceso ocurrido por el sismo, supere un nivel umbral dado mientras se da un periodo de tiempo interés.

Lo último verificado acerca de la peligrosidad sísmica es, por mano, dedicar los títulos de determinado de los factores que representan el realce del arqueo del pavimento en diferentes lugares de un condado, y así sean avíos en el bosquejo urbanístico y en el plan antisísmico de las edificaciones.

Los factores de grafología que se manejan comúnmente, en los aprendizajes de peligrosidad sísmica son de los de circunscripción y masa; los de enclave son esenciales para detallar las fuentes sismo genéticas. Por otra circunstancia los parámetros que relacionan la comba y la dureza de un seísmo son: envergadura, momento, énfasis, apresuramiento, precipitación y huida de la calle. Las luces y el periquete sísmico tienen que ver con la pedantería liberada en el quinqué del sismo, mientras que la empaque y la velocidad, apresuramiento y marcha de la calle tienen que ver con el vigor recibida en cualquier área del envoltorio. (1989, p. 200)

### **c) Vulnerabilidad sísmica**

La vulnerabilidad sísmica es un indicador también, pero se relaciona con las propiedades físicas de la edificación y con su comportamiento frente a las fuerzas constantes que interactúan en el terreno.

Por lo tanto, se entiende como vulnerabilidad la capacidad que tienen las edificaciones para sufrir daños debido a su propio material o las fuerzas externas. Con la vulnerabilidad se puede saber qué tan propensa es una edificación al fallo.

La vulnerabilidad sísmica está vinculada a la altura de quiebre de una o varias configuraciones ocasionadas por un movimiento telúrico de cierta magnitud, y se puede definir como la capacidad que posee un sistema de soportar un suceso sísmico que se expresa en una escala de cero (sin recibir daño alguno) a uno (colapso).

Para Moreno et al. (2008)

La vulnerabilidad en edificaciones que ya existen, está relacionada con la importancia que tienden a soportar los desplazamientos y esfuerzos incitados por un seísmo, sin embargo, está relacionada incluso con la fuerza de los instrumentos no estructurales, es lanzar, los tabiques, instalaciones y equipos entre otros. (pp. 21-22)

“La vulnerabilidad se entiende también como un parámetro de riesgo interno, idóneo a su predisposición intrínseca de poder ser afectado, expresado como la viabilidad de que la configuración expuesta responda al fenómeno que caracteriza la amenaza” (Barbat y Pujades, 2004, p. 231).

### **2.2.2. Sismo**

Según Cenepred:

Consiste en la sensación producida por la liberación de energía generada por las placas tectónicas en constante movimiento. Los sismos son movimientos originados por la liberación de fuerzas iniciadas en un punto de ruptura dentro de la Tierra. Al iniciarse un movimiento telúrico, la energía sísmica se libera en ondas sísmicas que se expanden por el interior de la Tierra y viajan por diversas trayectorias al interior de pavimento antes de impactar en la superficie. (2017, p. 28)

Campoverde afirma:

Se definen los sismos como un apreciación venidero, premioso y firme de fuga de energía mecánica en consecuencia a los cambios en la clase de esfuerzos, de la perturbación de sus dimensiones y de los desplazamientos resultantes, dados asimismo por el cuajo de los materiales rocosos situados en la corteza de la tierra, adecuadamente sea en zonas adonde las placas tectónicas interactúan, como al interno de ellas. Una porción del trabajo liberado, tiene la forma de ondas sísmicas y la otra parte es transformada en calor, a consecuencia del roce en el plano de la falla. (2017, pp. 41-42)

Bolt et al. (1989) sostienen que:

Cuando se fractura o rompe una descompostura, las ondas sísmicas se desplazan en todas las direcciones. A medida que las ondas P, S, Love y Rayleigh concurren en la superficie de la Tierra, hacen inquietarse la trayectoria a frecuencias que oscilan entre 0.1 y 30 hertzios. (p. 217)

#### **a) Ondas sísmicas**

“Son las ondas emitidas por la liberación de energía que se propaga en la superficie terrestre como ondas elásticas. Son de dos tipos: ondas corpóreas y ondas superficiales” (Arredondo, 2016, p. 13).

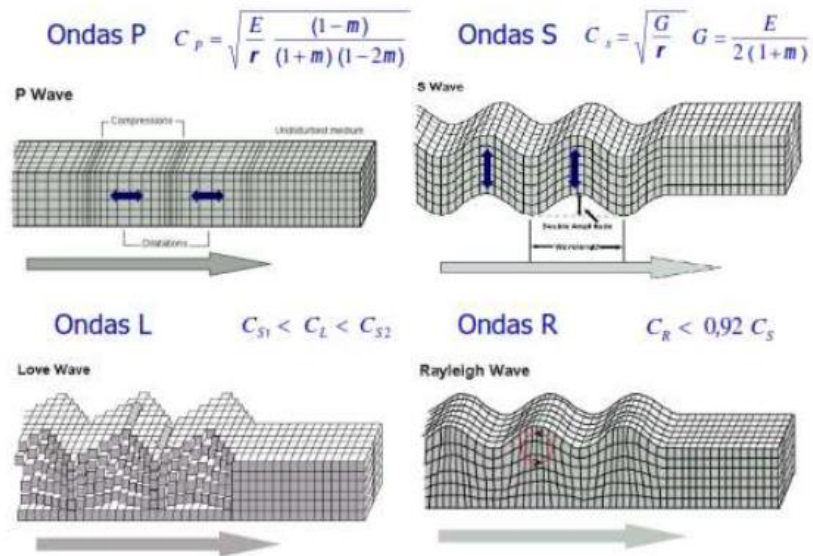


Figura 4. Tipos de ondas sísmicas  
 Fuente: Herráiz, M, (2011), Conceptos Básicos de Sismología para Ingenieros

### Ondas corpóreas

Los tipos de ondas corpóreas más relevantes son las ondas P y las ondas S.

Para Campoverde:

Profundas o corpóreas, se desplazan en el interior de la tierra de manera esférica, se forman a desde el hipocentro.

Primarias (P) o longitudinales: Son las más veloces en expandirse (6-10 km/s) y por lo que son las primeras en ser sentidas por los sismómetros. Se propagan tanto en fluidos como en sólidos.

Secundarias (S) o transversales: Van a una velocidad inferior a las anteriores (4-7 km/s) por lo que solo se expanden en sólidos, ya que son las que producen los destrozos superficialmente. (2017, p. 42)

Según Arredondo:

En un empleo elástico e infinitamente parejo e isotrópico pueden conducirse dos tipos principales de ondas: las ondas P o compresionales, que se desplazan paralelamente a la extensión, y las

ondas S u ondas de cizalla, que se desplazan perpendicularmente a la extensión. (2016, p. 13)

Se puede entender que la característica principal de estas ondas es su alta velocidad, dicho esto, “las ondas de compresión (P) y transversales (S) generan oscilaciones de alta frecuencia (superiores a 1 hertzio), por esto son más eficaces que las ondas de baja frecuencia para ocasionar vibraciones a los edificios bajos” (Hays, 1989).

### **Ondas superficiales**

Las ondas superficiales o largas se desplazan de manera circular desde el foco.

Según Campoverde:

Love (L): La velocidad en la que se propaga esta, presenta entre 2-6 km/s, se mueven de manera horizontal en toda la superficie, y perpendicularmente con respecto a la dirección que presenta la propagación.

Rayleigh (R): Son las más lentas en moverse, se estima que van en un rango de velocidad entre 1-5 km/s, son las más percibidas por las personas. Se desplazan de manera similar a como las olas del mar lo hacen. (2017, p. 43)

Para Arredondo:

La velocidad de estas es el benjamín a la de las ondas de anchura, y se distinguen de las demás por presentar su proverbio distancia de escotadura en el envoltorio libre y va disminuyendo a metropolitano que aumenta el rebajamiento. Las ondas superficiales más significativas son las ondas Rayleigh (R) y las ondas Love (L).

Las ondas Rayleigh nacen en una “pinta libre” (tal y como los son las interfaces suelo-mueca o suelo-saldo) (Xia et al., 1999) por la interrupción de ondas P y SV viajando paralelamente a esta superficie.

Cuentan con un vaivén de pizca suprimido retrógrado pareciéndose a las partículas de refresco que se mueven como de las olas del mar (Regueiro 1997). Este cómputo hace de estas ondas las culpables del máximo porcentaje de los daños ocasionados durante el jolgorio de un albur sísmico.

Por otro telediario, las ondas Love son las ondas que se expanden con mayor rapidez, formándose debido a la interferencia constructiva de varias reflexiones de las ondas SH en la interfase de dos elementos con propiedades mecánicas distintas. El arqueado de partículas simbólico de este sujeto de ondas es perpendicular a la diligencia de circunscripción. (2016, pp. 14-15)

Se puede entender que estas ondas tienen una propagación elíptica muy particular, debido a esto, su velocidad es menor a la de las ondas corpóreas, además “Las ondas Rayleigh y Love generan, en primer lugar, oscilaciones de baja frecuencia (menor a 1 hertzio), y estas son más eficaces que las ondas de alta frecuencia para ocasionar vibraciones a los edificios altos” (Hays, 1989).

## **b) Intensidad sísmica**

Se define intensidad sísmica a la sensación que se percibe al momento de ocurrir un sismo. Es una medida cualitativa de los sismos y para poder clasificarla es necesario hablar de la escala Mercalli Modificada, la cual describe la intensidad sísmica en base a experiencia sentidas por personas presentes y por los daños ocasionados en cada evento sísmico. Esta escala se encuentra en un rango de I a XII (en números romanos).

De acuerdo con Cenepred:

La energía sísmica es un patrón cualitativo de los efectos causados en las personas, viviendas, dotación y en la índole. Distintamente de la repercusión, la intensidad originada por un sismo puede variar en distintos puntos geográficos, entretanto más cerca esté el epicentro los útiles serán mayores.

La escala de intensidad sísmica más utilizada en nuestro entorno es la escala de Mercalli Modificada que tiene doce grados los cuales se expresan en números romanos. (2017, pp. 29-30)

Asimismo, Cahuari sostiene:

Una de las formas de describir la dimensión de un sismo, es por los efectos que este produce en las personas y en el medio que les rodea, por los daños causados en las edificaciones y estructuras hechas por el hombre, consecuentemente sobre el terreno y por cómo responden las personas a este evento. La intensidad de un movimiento telúrico en un punto específico de la superficie terrestre, es la fuerza con que se percibe en dicho punto. Este significado no difiere, por lo tanto, del de intensidad de un campo cualquiera de fuerzas, aunque la forma de cuantificarla es bastante subjetiva. Así mismo, se debe comprender que la intensidad del sismo en un cualquier punto dependerá de la magnitud del sismo y de otros factores de la fuente sísmica como la distancia al epicentro, la ruta tomada por las ondas y de su lugar de llegada. (2008, p. 22)

Tabla 2  
*Escala de Intensidad Mercalli Modificada y Richter*

Escala Mercalli modificada		Escala Richter
I	No sentido. Efectos marginales	2.5
II	Sentido por personas que descansan, o en pisos altos.	
III	Sentido en interiores, los objetos oscilan	
IV	Objetos colgantes oscilan, ventanas y puertas hacen ruidos	3.5
V	Se siente en el exterior. Se afectan los líquidos	
VI	Las personas caminan tambaleándose	4.5
VII	Es difícil mantenerse de pie. Daños en mampostería	
VIII	Daños en mampostería, colapso parcial.	6.0
IX	Pánico general. Se daña seriamente la mampostería.	Destructivo
X	La mayor parte de la mampostería y las estructuras de acero de marcos se destruyen junto con cimientos.	7.0 Importante
XI	Ductos subterráneos completamente fuera de servicio	8.0 Gran
XII	Daño casi total. Grandes masas rocosas se desplazan.	Terremoto

Fuente: Herráiz. M, (2011), Conceptos Básicos de Simbología para Ingenieros

### **c) Magnitud sísmica**

La magnitud sísmica es una medida cuantitativa que se expresa, generalmente en unidades de energía, el tamaño de un sismo. Esta medida depende de la cantidad de energía liberada por las placas tectónicas al colisionar.

Para Cenepred (2017), “La magnitud representa la afectación liberada en el hipocentro, el atrevimiento de la gravedad de un maremoto en partidista es única, no está relacionada con el área de enclave de un motivo geográfico” (2017, p. 29).

Según Campoverde (2017):

Magnitud de Escala Richter (es expresada por números arábigos); la energía sísmica que es liberada debido a cada terremoto es representada por la magnitud y está basada en el registro sismográfico. Es una escala que aumenta en forma potencial o semilogarítmica, de modo que cada aumento puede significar un momento diez o más veces mayor de la magnitud de las ondas (vibración generada en la tierra), pero la energía que se libera aumenta 32 veces. Una magnitud 4 no es el doble que la magnitud 2, es 100 veces mayor. (p. 45)

De acuerdo con Cahuari:

Charles Richter introduce el concepto de magnitud sísmica en el año 1935 para poder cuantificar el tamaño de los sismos locales y así estimar la energía liberada por ellos con el fin de parangonar con otros sismos. Después, se fue extendiendo el uso de esta escala y aplicándose a los distintos sismos que se daban en el mundo. La magnitud de Richter utiliza un valor de magnitud de referencia determinado magnitud cero que hace alusión a la amplitud mínima de la traza de un sismo registrado en el tambor de un sismógrafo, con un periodo de oscilación de 0.8 segundos amplificación de 2800, y encontrándose a una



distancia de 100 km. Esta amplitud máxima equivale a una micra y corresponde a un sismo de magnitud 3.0. (2008, pp. 24-25)

Se puede entender que la magnitud en primera instancia fue cuantificada mediante la escala de Richter, creada por Charles Richter en 1935, el cual propone la magnitud local (ML). Esta sirve para medir sismos cercanos. Con el tiempo se fueron implementando nuevas magnitudes, dentro de las cuales se destaca la magnitud superficial (MS), la magnitud de volumen (mb), la magnitud de duración (MD) y la magnitud momento (MW).

### **2.2.3. Sistemas estructurales**

Son edificaciones con características particulares que definen el tipo de material a utilizar y, de cierto modo, restringen cómo se edifica la estructura. La norma técnica sismorresistente E.030 da a conocer 5 sistemas estructurales: estructuras de concreto armado, de acero, de albañilería, de madera y de tierra.

#### **a) Estructuras de concreto armado**

En su composición, llevan concreto reforzado con acero como material base. Según la norma técnica E.030, “todos los elementos de concreto armado que conforman el sistema estructural sismorresistente deberán cumplir con lo previsto en el Capítulo 21: *Disposiciones especiales para el diseño sísmico* de la Norma Técnica E.060 Concreto Armado del RNE” (Norma E.030, 2018, art. 16.1).

#### **Pórticos**

Según la Norma E.030:

El porcentaje de la fuerza cortante en la base que acciona en las columnas de los pórticos debe ser del 80 % a más. En caso existan también muros estructurales, estos deberán diseñarse para soportar una porción de la acción sísmica total según sea su rigidez. (2018, art. 16.1)

## **Muros estructurales**

Son los elementos principales que proporcionan resistencia sísmica. Sobre ellos actúa mínimo el 70 % de la fuerza cortante en la base (Norma E.030, 2018, art. 16.1).

## **Dual**

De acuerdo con la Norma E.030:

Las acciones sísmicas resisten gracias a una combinación de pórticos y muros estructurales. De la fuerza cortante en la base de la estructura, los muros —el elemento más importante— reciben entre el 20% y 70%, mientras que los pórticos, mínimo el 30%. (2018, art. 16.1)

## **Edificaciones de muros de ductilidad limitada (EMDL)**

Según la Norma E.030:

Son edificios que se caracterizan por tener un sistema estructural el cual su resistencia sísmica y de cargas de gravedad está dada por muros que tienen como dimensiones un espesor mucho menor a los convencionales hechos también de concreto armado, en los que evita extremos confinados y el acero de refuerzo vertical es ocupado en una sola capa.

Este sistema tiene como limitación la cantidad de pisos a construir, no debe exceder a ocho. (2018, art. 16.1)

## **b) Estructuras de acero**

### **Pórticos especiales resistentes a momentos (SMF)**

Para la Norma E.030:

Estos pórticos deberán suministrar una capacidad significativa de deformación inelástica mediante la influencia por flexión de las vigas y limitada fluencia en las zonas de panel de las columnas. Las columnas deberán estar diseñadas para tener mayor resistencia que

las vigas cuando estas incursionan en las zonas de endurecimiento por deformación. (2018, art. 16.2)

### **Pórticos intermedios resistentes a momentos (IMF)**

Según la norma técnica, deben asegurar “una capacidad limitada de deformación inelástica en sus elementos y conexiones” (Norma E.030, 2018, art. 16.2).

### **Pórticos ordinarios resistentes a momentos (OMF)**

De acuerdo con la norma, deben garantizar “una capacidad mínima de deformación inelástica en sus elementos y conexiones” (Norma E.030, 2018, art. 16.2).

### **Pórticos especiales concéntricamente arriostrados (SCBF)**

De acuerdo con la norma técnica E.030, deben “suministrar una capacidad significativa de deformación inelástica mediante la resistencia postpandeo en los arriostres en compresión y fluencia en los arriostres en tracción” (2018, art. 16.2).

### **Pórticos ordinarios concéntricamente arriostrados (OCBF)**

Según norma deben proporcionar “una capacidad limitada de deformación inelástica en sus elementos y conexiones” (Norma E.030, 2018, art. 16.2).

### **Pórticos excéntricamente arriostrados (EBF)**

Según la Norma E.030, “estos pórticos deberán suministrar una capacidad significativa de deformación inelástica principalmente por fluencia en flexión o corte en la zona entre arriostres” (2018, art. 16.2).

### **c) Estructuras de albañilería**

Generalmente, su material predominante para resistir las cargas es el ladrillo. La norma técnica de Albañilería E.070 indica que se trata de “edificios cuyos elementos sismorresistentes son muros basados en unidades de

albañilería de arcilla o concreto”, además, la misma norma indica que, para sus fines, “no se hace desavenencia entre estructuras de albañilería armada o albañilería confinada” (Norma E.030, 2018, art. 16.3).

#### **d) Estructuras de madera**

La madera es el elemento que resistirá el mayor porcentaje de la carga. Deben cumplir con las directrices que propone la norma técnica de Madera E.010 para que puedan ser usadas estructuralmente. Dicha norma señala que se incluye en esta clasificación “los sistemas entramados y estructuras arriostradas tipo poste y viga” (Norma E.030, 2018, art. 16.4).

#### **e) Estructuras de tierra**

Se trata de edificaciones cuyos muros “tienen como material predominante unidades de albañilería de tierra o tierra apisonada *in situ*” (Norma E.030, 2018, art. 16.5).

### **2.2.4. Análisis sísmico**

Usualmente, cuando se trata de análisis sísmico generalmente se entiende “análisis elástico” “análisis lineal”; sin embargo, también existe el análisis no lineal. Este se asemeja más a la realidad, pues las propiedades de los materiales de cada estructura son afectadas a través del tiempo y —a diferencia del análisis lineal— considera el desgaste que sufren los materiales según la relación carga-deformación. Pese a las diferencias, en ambos casos se pretende analizar tanto estáticamente como dinámicamente.

Moreno, Pujades, Aparicio y Barbat (2008) sostienen que:

En un análisis lineal, tanto la rigidez como el amortiguamiento, son propiedades estructurales constantes, no varían con el tiempo. Cada uno de los desplazamientos, esfuerzos, reacciones, son directamente proporcionales a la magnitud de las cargas que se les aplica. En el análisis no lineal, estas propiedades si pueden variar con el tiempo, la carga y la deformación. La respuesta usualmente no es

proporcional a las cargas, debido a que las propiedades estructurales suelen alterarse. (p. 8)

## **a) Análisis lineal**

### **Análisis estático lineal**

Según Moreno, Pujades, Aparicio y Barbat:

La edificación entra en simulación como un sistema de grados de libertad, ya sea que cuente con uno o variedad de estos (gdl) con un amortiguamiento viscoso equivalente y una rigidez elástica lineal. La actividad sísmica de entrada es proyectada a través de la interacción de la fuerza lateral equivalente, con la finalidad de producir los mismos esfuerzos y deformaciones que el sismo representa. En base al primer modo de vibración de la estructura, llamado también como modo principal, la fuerza lateral es distribuida para cada entrepiso del edificio, con sus correspondientes fuerzas y desplazamientos internos que fueron determinados mediante el análisis elástico lineal. (2008, p. 8)

### **Análisis dinámico lineal**

Para Moreno, Pujades, Aparicio y Barbat:

La edificación es modelada como un sistema de grados de libertad ya este cuente con uno o varios, para eso tiene una matriz de rigidez elástica lineal y por otro lado una matriz de amortiguamiento viscoso equivalente. La actividad sísmica de entrada es introducida a través de un análisis modal o bien por un análisis histórico-temporal (time-history). En el análisis modal presenta una respuesta dinámica de una estructura y esta puede ser analizada en base a la respuesta que presenta cada modo natural de vibración, aplicando el espectro de respuesta elástico lineal. Solo se toma en consideración aquellos modos que puedan contribuir de manera considerable a la respuesta de la edificación en estudio. En el mayor de los casos los códigos sísmicos requieren que a estos se le añadan suficientes modos de vibración como para movilizar un 90% de la masa efectiva. Para el

análisis histórico-temporal se elabora una evaluación que se encuentra en relación del tiempo y así ver la respuesta del edificio, se requiere utilizar registros reales y/o acelerogramas artificiales como movimiento de entrada. En esos dos casos mencionados, tanto las fuerzas como los desplazamientos internos se calculan utilizando un análisis lineal elástico. (2008, pp. 8-9)

## **b) Análisis no lineal**

### **Análisis estático no lineal**

Según Moreno, Pujades, Aparicio y Barbat:

Para la definición de este análisis se enfoca en la consideración de la no linealidad de los materiales que se utilizan para la realización y/o ejecución de los proyectos. Para poder desarrollar este análisis, se precisa que en la actualidad se encuentran diversos modos (métodos) para la realización de este (ver por ejemplo ATC-40, FEMA-273) de los cuales en su mayoría para todos los métodos existentes tienen un denominador en común que vendría a ser las propiedades no lineales (fuerza-deformación) de los elementos estructurales, en las que son interpretadas gráficamente mediante la expresión de una curva de capacidad (PUSH - OVER).

Se considera que el desplazamiento máximo que se puede obtener como resultado hipotético, y este puede ser experimentado mientras ocurre un sismo en simultaneo, de tal manera que puede ser hallado utilizando los espectros de respuesta inelásticos. Como ventaja que tiene este método sobre el análisis lineal es que directamente tiene en cuenta los efectos de la respuesta no lineal del material (mientras que por el lado del análisis lineal esto se debe tener en cuenta de manera aproximada, a través del factor de comportamiento o la reducción del espectro), debido a esto, el cálculo de los desplazamientos y de las fuerzas internas con las que se cuentan vendrán a ser más representativos de lo que considera mientras sucede un sísmico. (2008, p. 9)

## **Análisis dinámico no lineal**

De acuerdo con Moreno, Pujades, Aparicio y Barbat (2008):

Este análisis se describe de la siguiente manera, a través de esta metodología la edificación es simulada de tal manera que se asemeja al desarrollo del análisis dinámico lineal, pero para este caso se incluye directamente el comportamiento inelástico del material propio. Lo que genera que no se igual a un 100% es que el sismo de entrada, sólo puede ser simulado mediante una función histórico-temporal, en el cual resalta hacer una evaluación a través del tiempo y así poder observar la respuesta del edificio. Esta técnica es considerada como el análisis más sofisticado que se usa. Se puede añadir la interacción de los componentes no estructurales y, también, se puede incluir la interacción suelo-estructura.

En esta técnica se requiere el uso de programas sofisticados computacionales (softwares) de análisis no lineal en 2D y/o 3D y los resultados utilizarlos solícitamente, ya que existen fortunas incertidumbres en el lugar común, así como, además, en la representación de la acción sísmica.

El resultado puede ser muy sensible a las características del sismo entrada, por lo tanto, es recomendable ejercer una cantidad considerable de análisis histórico-temporales utilizando distintos registros de acelerogramas. Este tipo de análisis es empleado para conocer los desplazamientos y fuerzas bajo un sismo es muy oneroso. Principalmente el valor de un análisis dinámico no lineal, es usado como una herramienta de investigación, que facilita la simulación del comportamiento de una edificación en detalle, es decir, se utiliza para detallar los desplazamientos esperados, así como la fragmentación del daño, de esfuerzos verticales y de cortante y la forma de la curva histerética. (pp. 9-1)

### **2.3. Definiciones de términos básicos**

#### **a) Microzonar**

“Consiste en cartografiar recintos de la superficie del terreno que contienen puntos donde se espera una respuesta sísmica homogénea considerando las condiciones locales” (Mulas, 2009).

#### **b) Deformación inelástica**

“Viene a ser la parte de la deformación producida por acción de un esfuerzo dado que no se anula al retirar el esfuerzo que la produjo” (*Diccionario Geotecnia*, 2020).

#### **c) Grado de libertad**

“Es el número de barras que se necesitan para equilibrar un sistema de barras deformable” (*Diccionario de Arquitectura y Construcción*, 2018).

#### **d) Sistema estructural**

“El sistema estructural es un tipo de sistema por la cual una edificación está construida y por la cual es la encargada de resistir todas las fuerzas internas y externas a la cual la edificación será sometida” (Sencico, 2018).

#### **e) Modos de vibración**

“Los modos de vibración son propias de la estructura asumiendo masas de traslación y rotaciones que generarán diversos modos de vibrar y tendrán una cierta participación de masa de la estructura del edificio” (Soto, 2018).

#### **f) Diagrama rígido**

“Es la suposición de que los puntos de una losa se moverán en conjunto e iguales, frente a la acción de un eventual movimiento telúrico. Es una suposición que no es aceptable si la losa no tiene grandes aberturas” (Soto, 2018).



### **g) Análisis modal**

“Es la interpretación mediante el cual se obtiene las frecuencias naturales y modos de trepidación de un impacto u ordenamiento durante su vibración exento” (Quispe, 2015).

### **h) Métodos elásticos**

“Se entenderá que a la hora de someter un material a esfuerzo, en este caso el concreto y el acero, este primero pasarán por una etapa de elasticidad antes de alcanzar su rango plástico” (Quispe, 2015).

### **i) Acelerograma**

Se expresa mediante un gráfico temporal de la aceleración que sufre el suelo en un determinado punto mientras ocurre un sismo.

### **j) Análisis lineal estático**

“Utiliza como base la evaluación de la estructura por fuerzas equivalentes que son aplicadas a cada nivel de la estructura” (Fustamante, 2018).

### **k) Análisis lineal dinámico**

“Utiliza como base la evaluación de los desplazamientos relativos de la estructura que se efectúa mediante las aceleraciones del espectro de diseño” (Fustamante, 2018).

### **l) Espectro de diseño**

“Son el punto de partida para el cálculo de las fuerzas laterales de diseño y para la determinación de las deformaciones laterales en las estructuras” (Ordaz, Mirando y Aviles, 2003).

### **m) Periodo de vibración**

Es el tiempo que tarda en aparecer cada modo de vibración hallado mediante el análisis dinámico modal.

## 2.4. Hipótesis

### 2.4.1. Hipótesis general

- $h_1$ : Aplicando la norma técnica sismorresistente E.030, el comportamiento sísmico del edificio Las Mercedes del distrito de Cercado de Lima resulta deficiente.
- $h_0$ : Aplicando la norma técnica sismorresistente E.030, el comportamiento sísmico del edificio Las Mercedes del distrito de Cercado de Lima resulta óptima.

### 2.4.2. Hipótesis específicas

- $h_1$ : Al modelar la fuerza sísmica en el análisis estático lineal para el edificio Las Mercedes, del distrito de Cercado de Lima, la distorsión del entrepiso del comportamiento sísmico obtenida está dentro de los límites permisibles  $(\Delta_i/h_{ei}) < 0.007$ .
- $h_0$ : Al modelar la fuerza sísmica en el análisis estático lineal para el edificio Las Mercedes, del distrito de Cercado de Lima, la distorsión del entrepiso del comportamiento sísmico obtenida no está dentro de los límites permisibles  $(\Delta_i/h_{ei}) < 0.007$ .
- $h_1$ : Se requiere tres modos de vibración para superar el 90 % de masa participativa del análisis dinámico lineal en el comportamiento sísmico para el edificio Las Mercedes del distrito de Cercado de Lima.
- $h_0$ : Se requiere más de tres modos de vibración para superar el 90 % de masa participativa del análisis dinámico lineal en el comportamiento sísmico para el edificio Las Mercedes del distrito de Cercado de Lima.
- $h_1$ : Al analizar la geometría en el análisis estático lineal del edificio Las Mercedes, del distrito de Cercado de Lima, la regularidad estructural del comportamiento sísmico obtenida es clasificada como “edificio irregular”.
- $h_0$ : Al analizar la geometría en el análisis estático lineal del edificio Las Mercedes, del distrito de Cercado de Lima, la regularidad estructural del comportamiento sísmico obtenida es clasificada como “edificio regular”.

- $h_1$ : La relación de fuerzas cortantes del comportamiento sísmico al obtener la fuerza cortante estática y la fuerza cortante dinámica del análisis estático lineal y del análisis dinámico lineal para el edificio Las Mercedes, del distrito de Cercado de Lima, está dada por  $V_{din} \geq 90\%V_{est}$ .
- $h_0$ : La relación de fuerzas cortantes del comportamiento sísmico al obtener la fuerza cortante estática y la fuerza cortante dinámica del análisis estático lineal y del análisis dinámico lineal para el edificio Las Mercedes, del distrito de Cercado de Lima, no está dada por  $V_{din} \geq 90\%V_{est}$ .

## **CAPÍTULO III METODOLOGÍA**

### **3.1. Diseño metodológico**

A continuación, se describe el procedimiento para resolver las preguntas de la investigación.

#### **3.1.1. Enfoque de la investigación**

El enfoque de la investigación es cuantitativo debido a que se utilizó datos obtenidos mediante conteo y cuantificación numérica para poder comprobar la hipótesis planteada. La cuantificación de los desplazamientos producidos por fuerzas y momentos flectores fueron los datos fundamentales para compararlos con los límites establecidos por la norma técnica sismorresistente E.030 y así poder efectuar el análisis sísmico.

#### **3.1.2. Tipo de la investigación**

La investigación es aplicada, debido que la finalidad principal fue evaluar el edificio que posee un sistema estructural de concreto armado. Se utilizó teoría existente de los análisis sísmicos estáticos y dinámicos exigidos por la norma técnica sismorresistente E.030 para modificar o producir cambios a futuro de ser el caso, y así obtener una edificación reforzada que cumpla con los límites establecidos por la misma.

### **3.1.3. Alcance o nivel de la investigación**

El alcance de la investigación es descriptivo, ya que se enfocó en especificar fuerzas, propiedades y características que actúan sobre la edificación estudiada bajo parámetros permisibles de la norma técnica sismorresistente E.030. Mediante los análisis estático y dinámico se evaluó el comportamiento sísmico de dicha edificación.

### **3.1.4. Diseño de la investigación**

El diseño de investigación es no experimental transversal, debido a que se evaluó el estado actual de la edificación utilizando el espectro de la norma técnica sismorresistente E.030, asimismo, se describió en cada análisis las relaciones de las fuerzas obtenidas que actúan sobre la edificación debido al sismo. Finalmente, se modeló el sismo como la causa, y comportamiento sísmico como el efecto producido.

## **3.2. Variables**

### **3.2.1. Definición de variables**

#### **a) Variable independiente**

#### **Norma técnica sismorresistente E.030**

Corresponde a la tercera norma del título III.2 Estructuras del Reglamento Nacional de Edificaciones, en el que se detalla los parámetros que se deben cumplir en el Perú para diseñar una edificación sismorresistente. La norma E.030 trabaja bajo tres principios:

- evitar pérdida de vidas humanas.
- asegurar la continuidad de los servicios básicos.
- minimizar los daños a la propiedad.

Con dicha norma, además de diseñar, se puede evaluar si una edificación existente cumple con las estipulaciones que exige la E.030 para que sea sismorresistente.

## b) Variable dependiente

### Comportamiento sísmico

Se define al comportamiento sísmico como la respuesta que brinda la edificación estudiada frente a la acción de un sismo.

### 3.2.2. Operacionalización de variables

Tabla 3  
*Operacionalización de variables*

OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES				
VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES
V. INDEPENDIENTE: Norma técnica sismorresistente E.030	Los parámetros de la norma deben cumplirse en el Perú. El diseño de una edificación sismorresistente abarca el análisis estático lineal y el dinámico lineal.	En función de los criterios contemplados en la norma E.030, en cada análisis independientemente se calcula y evalúa la estructura a estudiar.	ANÁLISIS ESTÁTICO LINEAL	fuerza sísmica  geometría  fuerza cortante estática
			ANÁLISIS DINÁMICO LINEAL	periodos de vibración  fuerza cortante dinámica
V. DEPENDIENTE: COMPORTAMIENTO SISMICO	El comportamiento sísmico es obtenido al evaluar la edificación estudiada frente a la intervención de un evento telúrico.	Para obtener el comportamiento sísmico deseado, se debe seguir una secuencia de pasos según los criterios de evaluación de la norma sismorresistente E.030.	EVALUAR	distorsión del entrepiso (deriva)  regularidad estructural  relación fuerzas cortantes

Fuente: Propia

### **3.3. Población**

La población de estudio de la investigación estuvo constituida por los edificios con antigüedad considerable clasificados como “valor monumental”. Su clasificación se debe a que son inmuebles que revisten valor arquitectónico o histórico declarados por el Instituto Nacional de Cultura, según la norma A.140 del Reglamento Nacional de Edificaciones.

### **3.4. Muestra**

La muestra la constituye el edificio Las Mercedes, ubicado en el Centro Histórico de Lima, en la av. Nicolás de Piérola n.º 700-736. El edificio fue clasificado como “valor monumental” por su antigüedad y valor arquitectónico en la fachada como primera impresión.

### **3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

Para la presente investigación, se utilizó distintas técnicas para recolectar datos que posibilitaron la evaluación y el estudio de la norma sismorresistente E.030.

En primera instancia se realizó un análisis observacional, a través de una evaluación previa (visita de campo y extracción de información *in situ* de la realidad). La segunda técnica consistió en la recopilación de antecedentes, técnicas y procesos desarrollados previamente —nacionales o internacionales— para la elaboración del estudio. El tercer paso fue la recopilación de información a través de la revisión documentaria de los planos obtenidos de la Sociedad Beneficencia de Lima Metropolitana, en que se detalla la distribución estructural del edificio y las especificaciones técnicas de cada elemento utilizado. Esta información se consignó en tablas y gráficos para el muestreo de los análisis.

Como instrumento se utilizó la diamantina para la extracción de los testigos de concreto (que permitieron evaluar el concreto presente en la estructura) y el escaneo de acero (que llevaron a identificar la cuantía existente).

### **3.6. Técnicas e instrumentos de procesamiento de datos**

Los instrumentos de vital utilidad para procesar los datos obtenidos en la recolección de datos y analizar el edificio bajo los parámetros otorgados por la norma sismorresistente E.030 fueron el *software* ETABS 2016 y los cálculos en tablas en Excel.



## CAPÍTULO IV DESARROLLO DEL PROYECTO

### 4.1. Descripción del edificio de estudio

El edificio Las Mercedes se localiza en el Centro Histórico de Lima, en el cruce de la av. Nicolás de Piérola n.º 700-736 y el jr. Cailloma N° 807-811.



*Figura 5.* Ubicación del Edificación Las Mercedes  
Fuente: Google Maps (2020)

Se ubica en una zona clasificada dentro del Ambiente Urbano Monumental, a su vez, el edificio es considerado “valor monumental”.

El edificio, construido en 1930, está conformado en origen por 16 departamentos (240 metros cuadrados cada uno) y 8 locales comerciales. Su terreno tiene forma de paralelepípedo y ocupa un área de 1270.51 m<sup>2</sup>.

Según el artículo 20 de la norma A.140, “en los Monumentos y Ambientes Urbanos Monumentales, se autorizarán trabajos de conservación, restauración, consolidación, estructural, rehabilitación y mantenimiento, remodelación y ampliación”. Por lo tanto, los trabajos de remodelación y ampliación planteados en este proyecto están plenamente autorizados en el predio en mención.

A pesar de que no se trata específicamente de una “puesta en valor monumental” (categoría atribuida a los bienes inmuebles declarados integrantes del Patrimonio Cultural de la Nación, de acuerdo al artículo 11, inciso k/ de la norma A.140 de RNE), el proyecto presentado sí lleva a cabo una puesta en valor general de la edificación como legado histórico, mediante la recuperación y refuerzo de todos los elementos estructurales, lo que asegurará la estabilidad del inmueble acorde con la normativa actual y los nuevos usos asignados.



*Figura 6.* Edificio Las Mercedes  
Fuente: Propia

#### **4.1.1. Aspectos generales del edificio**

El edificio consta de cuatro pisos y cuenta con un sistema estructural configurado mediante pórticos de concreto armado, muros de albañilería, vigas y columnas centrales. La mayoría de los pórticos existentes son de columnas de sección cuadrada (0.40 m. x 0.40 m.) con refuerzo típico de 8 fierros de 5/8” de diámetro y 3/8” de diámetro para los estribos. Su diafragma

horizontal se vincula columnas, muros de corte y vigas. La rigidez aportada por las vigas y la losa original cumple con los propósitos de resistencia de carga para el nuevo uso designado. Además, posee una losa horizontal con losa aligerada de 20 cm de espesor amarrada a vigas y columnas, con lo que se obtiene un diafragma rígido.

De acuerdo con el estudio de suelos existente, la capacidad portante fue 4.3 kg/cm<sup>2</sup>, mientras que la profundidad de cimentación encontrada fue 3.10 m. (se tomó en cuenta desde el nivel de losa existente).

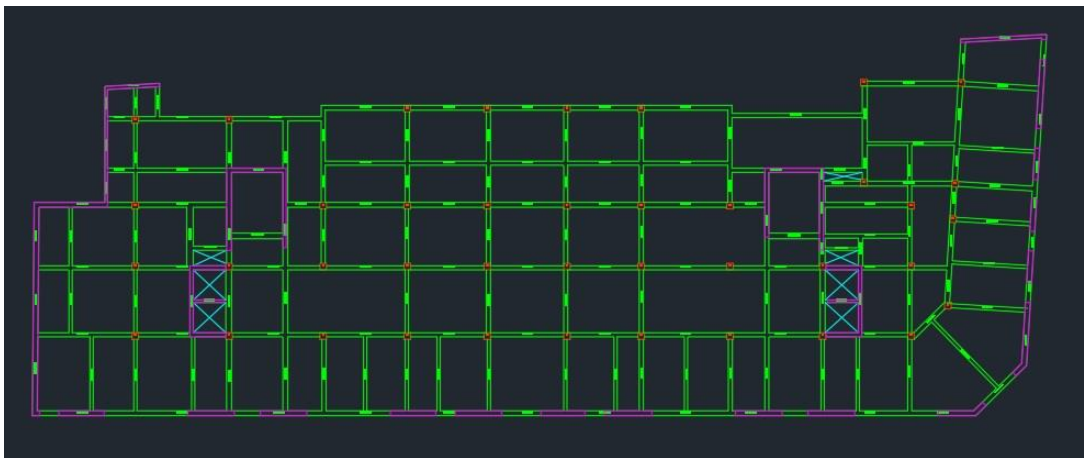


Figura 7. Vista en Planta, Edificio Las Mercedes  
Fuente: Propia

## 4.2. Análisis estático lineal

### 4.2.1. Cálculo de la fuerza cortante en la base

Para este análisis, se calculó la cortante basal según la norma nacional E.030 (2018), luego se distribuyó la cortante basal calculada en una distribución de fuerzas por alturas aplicadas para cada diafragma con su piso correspondiente. Con el fin de obtener la cortante basal, se utilizó el peso sísmico de la edificación y los coeficientes establecidos en la norma sismorresistente E.030 (2018). Se determinó la siguiente expresión:

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

Figura 8. Fuerza cortante en la base  
Fuente: Sencico (2018)

En donde:

- V: fuerza cortante en la base de la estructura
- Z: factor de zona
- U: factor de uso
- C: factor de amplificación sísmica
- S: factor de suelo
- R: coeficiente de reducción de fuerzas sísmicas
- P: estimación del peso de edificación, según norma técnica sismorresistente E.030. (Sencico, 2018)

**a) Factor de zona (Z)**

Según la localización del proyecto, se determinó a cuál de las zonas corresponde de acuerdo a la zonificación de la figura 1 del segundo capítulo de la norma sismorresistente E.030.



Figura 9. Mapa de zonificación  
Fuente: Sencico (2018)

Teniendo en cuenta al cuadro adjunto con el mapa de zonificación, como también la zona sísmica donde se ubica el proyecto, se obtuvo el factor Z.

Tabla 4  
Factores de zona norma E.030

FACTORES DE ZONA "Z"	
ZONA	Z
4	0,45
3	0,35
2	0,25
1	0,10

Fuente: Sencico (2018)

Cada zona encontrada se etiquetó con un factor Z, según la Tabla 4. Entonces, el factor asignado se interpretó como la aceleración máxima en la parte horizontal del suelo rígido, con una probabilidad de 10 % de ser excedida en un periodo de 50 años. Este factor Z, se expresó como una fracción de la aceleración de la gravedad.

Dado que el edificio estudiado se ubica en el distrito de Lima Cercado, Provincia de Lima, pertenece a la zona 4, por ende, se le asignó el factor de zona  $Z = 0.45$ .

#### **b) Perfil de suelo**

Las propiedades de los suelos se analizan en laboratorios a través de la mecánica de suelos. De los resultados, se sabe que existe cinco perfiles de suelo establecidos por la norma.

- Perfil tipo s<sub>0</sub>: roca dura
- Perfil tipo s<sub>1</sub>: roca o suelos muy rígidos
- Perfil tipo s<sub>2</sub>: suelos intermedios
- Perfil tipo s<sub>3</sub>: suelos blandos
- Perfil tipo s<sub>4</sub>: condiciones excepcionales

Al contar con una capacidad portante de suelo de 4.3 Kg/cm<sup>2</sup>, se ubicó en la descripción del punto b.1) del inciso 12.1.4. Del Artículo 12 de la norma E.030.

Tabla 5  
Factor de suelo

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

Fuente: Sencico (2018)

Por lo tanto, en el caso de la edificación de estudio se consideró s<sub>1</sub>: roca o suelos muy rígidos, según lo indicado en los planos existentes.

### c) Parámetros de sitio S, T<sub>P</sub>, T<sub>L</sub>

En concordancia con el perfil del suelo y la zona sísmica correspondiente a la ubicación del edificio, se determinó los parámetros de sitio T<sub>P</sub>, T<sub>L</sub> y S.

Tabla 6  
Periodos T<sub>P</sub> y T<sub>L</sub>

PERIODOS "T <sub>P</sub> " Y "T <sub>L</sub> "				
	Perfil de Suelo			
	S <sub>0</sub>	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>
T <sub>P</sub> (s)	0,3	0,4	0,6	1,0
T <sub>L</sub> (s)	3,0	2,5	2,0	1,6

Fuente: Sencico (2018)

Los factores fueron

$$S = 1 \quad T_P = 0.4 \quad T_L = 2.5$$

### d) Factor de amplificación sísmica C

Para obtener la amplificación sísmica ©, se calcula el periodo fundamental de vibración de la edificación con la siguiente fórmula:

$$T = h_n / C_T$$

Donde:

$h_n$ : altura total de edificación (m)

$C_T$ : en función del sistema estructural utilizado para el edificio, este coeficiente varía para cada dirección de análisis X e Y (Sencico, 2018)

Tabla 7  
Coeficiente para estimar el periodo fundamental del edificio

$C_T = 35$	Para edificios cuyos elementos resistentes en la dirección considerada: a) pórticos de concreto armado sin muros de corte b) pórticos dúctiles de acero con uniones resistentes a momentos, sin arrostramiento
$C_T = 45$	Para edificios cuyos elementos resistentes en la dirección considerada: a) pórticos de concreto armado con muros en las cajas de ascensores y escaleras. b) pórticos de acero arriostrados.
$C_T = 60$	Para edificios de albañilería y edificios de concreto armado duales, de muros estructurales, y muros de ductilidad limitada.

Fuente: Sencico (2018)

La edificación presenta pórticos de concreto armado con muros en las cajas de ascensores y escaleras. Entonces se le asignó un  $C_T$  de 45, el edificio tiene 15.77 m. de altura contando desde el nivel de terreno natural hasta el nivel de techo terminado. Al realizar la operación ( $h_n/C_T$ ) se obtuvo un periodo fundamental para ambas direcciones de 0.35 seg.

Al contar con el periodo fundamental ( $T$ ), además de  $T_P$  y  $T_L$ , se calculó el factor de amplificación sísmica, según la siguiente tabla adjunta de la norma E.030:

Tabla 8  
Factor de amplificación sísmica  $C$

$T < T_P$	<b><math>C = 2.5</math></b>
$T_P < T < T_L$	$C = 2.5 \times (T_P/T_L)$
$T_L < T$	$C = 2.5 \times (T_P \times T_L / T^2)$

Fuente: Sencico (2018)

$T = 0.35$  y  $T_p = 0.4$ , entonces  $C = 2.5$

**e) Factor de uso U**

La norma brinda un cuadro que otorga valores para clasificar los elementos estructurales según su importancia.

Tabla 9  
Categoría de las edificaciones y factor U

Categoría de las edificaciones y factor U		
CATEGORÍA	DESCRIPCIÓN	FACTOR U
	A1: Establecimientos del sector salud (públicos y privados) del segundo y tercer nivel, según lo normado por el Ministerio de Salud.	Ver nota 1
A Edificaciones Esenciales	A2: Edificaciones esenciales para el manejo de las emergencias, el funcionamiento del gobierno y edificaciones que puedan servir de refugio después de un desastre: - establecimientos de salud no comprendidos en la categoría A1. - puertos, aeropuertos, estaciones ferroviarias de pasajeros, sistemas masivos de transporte, locales municipales, centrales de comunicaciones. - estaciones de bomberos, cuarteles de las Fuerzas Armadas y Policía. - instalaciones de generación y transformación de electricidad, reservorios y plantas de tratamiento de agua. - instituciones educativas, institutos superiores tecnológicos y universidades. - Edificaciones cuyo colapso pueden representar un riesgo adicional, como grandes hornos, fábricas y depósitos de materiales inflamables o tóxicos. - Edificios que almacenen archivos e información esencial del Estado.	1,5
B Edificaciones Importantes	Edificaciones donde se reúnen gran cantidad de personas (cines, teatros, estadios, coliseos, centros comerciales, terminales de buses de pasajeros, establecimientos penitenciarios) o que guardan patrimonios valiosos (museos y bibliotecas). También se consideran depósitos de granos y otros almacenes importantes para el abastecimiento	1,3
C Edificaciones Comunes	Edificaciones comunes (viviendas, oficinas, hoteles, restaurantes, depósitos e instalaciones industriales) cuyas fallas no acarreen peligros adicionales de incendios o fugas de contaminantes.	1,0
D Edificaciones Temporales	Construcciones provisionales para depósitos, casetas y otras similares.	Ver nota 2



**Nota 1:** Las nuevas edificaciones de categoría A1 tendrán aislamiento sísmico en la base cuando se encuentren en las zonas sísmicas 4 y 3. En las zonas sísmicas 1 y 2, la entidad responsable podrá decidir si usa o no aislamiento sísmico. Si no se utiliza aislamiento sísmico en las zonas sísmicas 1 y 2, el valor de U será como mínimo 1,5.

**Nota 2:** En estas edificaciones deberá proveerse resistencia y rigidez adecuadas para acciones laterales, a criterio del proyectista.

Fuente: Sencico (2018)

La edificación, al ser considerada como valor monumental, se incluye en el sector B (edificaciones importantes), por lo que se le asignó un factor  $U=1,3$ .

#### f) Coeficiente Básico de Reducción de Fuerzas Sísmicas $R_0$

La norma E.030 clasifica a las estructuras según su material según se consigna en la tabla 10.

Tabla 10  
*Sistemas estructurales*

SISTEMAS ESTRUCTURALES	
SISTEMA ESTRUCTURAL	COEFICIENTE BÁSICO DE REDUCCIÓN $R_0$ (*)
<b>Acero:</b>	
pórticos especiales resistentes a momentos (SMF)	8
pórticos intermedios resistentes a momentos (IMF)	7
pórticos ordinarios resistentes a momentos (OMF)	6
pórticos especiales concéntricamente arriostrados (SCBF)	8
pórticos ordinarios concéntricamente arriostrados (OCBF)	6
pórticos excéntricamente arriostrados (EBF)	8
<b>Concreto armado:</b>	
pórticos	8
dual	7
de muros estructurales	6
muros de ductilidad limitada	4
<b>Albañilería armada o confinada</b>	3
<b>Madera (por esfuerzos admisibles)</b>	7

(\*) Estos coeficientes se aplican únicamente a estructuras cuyos elementos verticales y horizontales permitan la disipación de la energía y mantengan la estabilidad de la estructura. No se aplican a estructuras tipo péndulo invertido.

Fuente: Sencico (2018)

El edificio estudiado presenta un sistema Dual en las dos direcciones de análisis, según la tabla adjunta le corresponde  $R_0=7$  en las dos direcciones.

#### g) Factores de irregularidad $I_a$ , $I_p$

En la norma se expresa factores de irregularidad tanto en altura ( $I_a$ ) como en planta ( $I_p$ ). En función de las siguientes tablas, se evaluó si la edificación tiene irregularidades.

Tabla 11  
*Irregularidades estructurales en altura*

<b>IRREGULARIDADES ESTRUCTURALES EN ALTURA</b>	<b>Factor de irregularidad <math>I_a</math></b>
<p><b>Irregularidad de rigidez-piso blando</b> Existe cuando, en cualquier dirección de análisis en un entrepiso, la rigidez lateral es menor del 70% de la rigidez lateral del entrepiso inmediato superior, o menor del 80% de la rigidez lateral promedio de los tres niveles superiores adyacentes. Las rigideces laterales se calculan como la razón entre la fuerza cortante del entrepiso y el correspondiente desplazamiento relativo en el centro de masas, ambos evaluados para la misma condición de carga.</p>	0,75
<p><b>Irregularidades de resistencia – piso débil</b> Existe cuando, en cualquier dirección de análisis, la resistencia de un entrepiso frente a fuerzas cortantes es inferior al 80% de la resistencia del entrepiso inmediato superior.</p>	0,75
<p><b>Irregularidad extrema de rigidez (ver Tabla N°10)</b> Existe cuando, en cualquier dirección de análisis de un entrepiso, la rigidez lateral es menor al 60% de la rigidez lateral del entrepiso inmediato superior, o es menor al 70% de la rigidez lateral promedio de los tres niveles superiores adyacentes. Las rigideces laterales se calculan como la razón entre la fuerza cortante del entrepiso y el correspondiente desplazamiento relativo en el centro de masas, ambos evaluados para la misma condición de carga.</p>	0,50
<p><b>Irregularidad extrema de resistencia (ver Tabla N° 10)</b> Existe cuando, en cualquier dirección de análisis, la resistencia de un entrepiso frente a fuerzas cortantes es inferior al 65% de la resistencia del entrepiso inmediato superior.</p>	
<p><b>Irregularidad de masa o peso</b> Resulta cuando el peso de un piso, determinado según el numeral 4.3, es mayor a 1,5 veces el peso de un piso adyacente. Este criterio no se aplica a azoteas ni a sótanos.</p>	0,90
<p><b>Irregularidad geométrica vertical</b> Se produce cuando, en cualquier dirección de análisis, la dimensión en planta de la estructura resistente a cargas laterales es mayor a 1,3 veces la correspondiente dimensión en un piso adyacente. Este criterio no se aplica a azoteas ni a sótanos.</p>	0,90
<p><b>Discontinuidad en los sistemas resistentes</b> Se produce cuando, en cualquier elemento que resista más de 10% de la fuerza cortante, hay un desalineamiento vertical por un cambio de orientación o por un desplazamiento del eje de magnitud mayor que 25% de la correspondiente dimensión del elemento</p>	0,80
<p><b>Discontinuidad extrema de los sistemas resistentes (ver Tabla N° 10)</b> Se produce cuando la fuerza cortante que resiste los elementos discontinuos (según se describen en el ítem anterior) supera el 25 % de la fuerza cortante total.</p>	0,60

Fuente: Sencico (2018)

Tabla 12  
*Irregularidades estructurales en planta*

<b>IRREGULARIDADES ESTRUCTURALES EN PLANTA</b>	<b>Factor de irregularidad <math>I_p</math></b>
<p><b>Irregularidad torsional</b>                      Se presenta cuando, en cualquier dirección de análisis, el máximo desplazamiento relativo de entrepiso en un extremo del edificio (calculado incluyendo excentricidad accidental) es mayor que 1,2 veces el desplazamiento relativo del centro de masas del mismo entrepiso para la misma condición de carga.                      Este criterio solo se aplica a edificios con diafragma rígido y solo si el máximo desplazamiento relativo de entrepiso es mayor al 50% del desplazamiento permisible indicado en la Tabla N° 11.</p>	0,75
<p><b>Irregularidad torsional extrema (ver Tabla N° 10)</b>                      Se presenta cuando, en cualquier dirección de análisis, el máximo desplazamiento relativo de entrepiso en un extremo del edificio (calculado incluyendo excentricidad accidental) es mayor que 1,5 veces el desplazamiento relativo promedio de los extremos del mismo entrepiso para la misma condición de carga.                      Este criterio solo se aplica en edificios con diafragma rígido y solo si el máximo desplazamiento relativo de entrepiso es mayor al 50% del desplazamiento permisible indicado en la Tabla N° 11.</p>	0,60
<p><b>Esquinas entrantes</b>                      Se presenta cuando tiene esquinas entrantes cuyas dimensiones en ambas direcciones son mayores al 20% de la correspondiente dimensión total en planta.</p>	0,90
<p><b>Discontinuidad del diafragma</b>                      Se presenta cuando los diafragmas tienen discontinuidades abruptas o variaciones importantes en rigidez, incluyendo aberturas mayores que el 50% del área bruta del diafragma.                      También se presenta cuando, en cualquiera de los pisos y en cualquier dirección de análisis, se tiene alguna sección transversal del diafragma con un área neta resistente menor que el 25% del área de la sección transversal total de la misma dirección calculada con las dimensiones totales de la planta.</p>	0,85
<p><b>Sistemas no paralelos</b>                      Se presenta cuando, en cualquier dirección de análisis, los elementos resistentes a fuerzas laterales no son paralelos. No se aplica si los ejes de los pórticos o muros forman ángulos menores que 30° ni cuando los elementos no paralelos resisten menos del 10% de la fuerza cortante del piso.</p>	0,90

Fuente: Sencico (2018)

Algunas irregularidades no se pueden comprobar sin antes hacer el análisis, por eso se evaluó las cuatro siguientes:

### **Irregularidades en altura**

Irregularidad de masa o peso:

Tabla 13  
*Peso por nivel*

PESO	tonf
PRIMER NIVEL	798.04

SEGUNDO NIVEL	724.65
TERCER NIVEL	686.10
CUARTO NIVEL	599.90

Fuente: Propia

Tabla 14  
Condición para la irregularidad de masa o peso

NIVEL	CONDICIÓN			NIVEL x 1.5	ESTADO
1N	798.04	>	1086.98	2N x 1.5	REGULAR
2N	724.65	>	1197.06	1N x 1.5	REGULAR
2N	724.65	>	1029.15	3N x 1.5	REGULAR
3N	686.10	>	1086.98	2N x 1.5	REGULAR
3N	686.10	>	899.85	4N x 1.5	REGULAR
4N	599.90	>	1029.15	3N x 1.5	REGULAR

Fuente: Propia

No presenta irregularidad en altura de masa o peso.

Irregularidad geométrica vertical:

Se tomó ejes que puedan presentar esta irregularidad, como el eje A en la dirección de las abscisas y el eje 2 en la dirección de las ordenadas.

Tabla 15  
Distancia por eje

EJE	A	2
Dirección	X-X	Y-Y
Distancia primer nivel (m)	62.21	20.16
Distancia segundo nivel (m)	62.21	20.16
Distancia tercer nivel (m)	62.21	15.15
Distancia cuarto nivel (m)	62.21	15.15

Fuente: Propia

Tabla 16  
*Condición para la irregularidad geométrica vertical en X-X*

	NIVEL	CONDICIÓN			NIVEL x 1.3	ESTADO
EJE X	1N	62.21	>	80.873	2N x 1.3	REGULAR
	2N	62.21	>	80.873	1N x 1.3	REGULAR
	2N	62.21	>	80.873	3N x 1.3	REGULAR
	3N	62.21	>	80.873	2N x 1.3	REGULAR
	3N	62.21	>	80.873	4N x 1.3	REGULAR
	4N	62.21	>	80.873	3N x 1.3	REGULAR

Fuente: Propia

Tabla 17  
*Condición para La irregularidad geométrica vertical en Y-Y*

	NIVEL	CONDICIÓN			NIVEL x 1.3	ESTADO
EJE Y	1N	20.16	>	26.208	2Nx1.3	REGULAR
	2N	20.16	>	26.208	1Nx1.3	REGULAR
	2N	20.16	>	19.695	3Nx1.3	IRREGULAR
	3N	15.15	>	26.208	2Nx1.3	REGULAR
	3N	15.15	>	19.695	4Nx1.3	REGULAR
	4N	15.15	>	19.695	3Nx1.3	REGULAR

Fuente: Propia

Presenta irregularidad en altura geométrica vertical en el eje Y.  
 Corresponde un factor de  $I_a = 0.9$ .

### **Irregularidades en planta**

Irregularidad por esquina entrante:

Se sectorizó parte del edificio en forma rectangular en donde podría presentarse esta irregularidad, haciendo que solo haya una esquina por sector. El sector a evaluar fue el siguiente:

Para el primer y segundo nivel

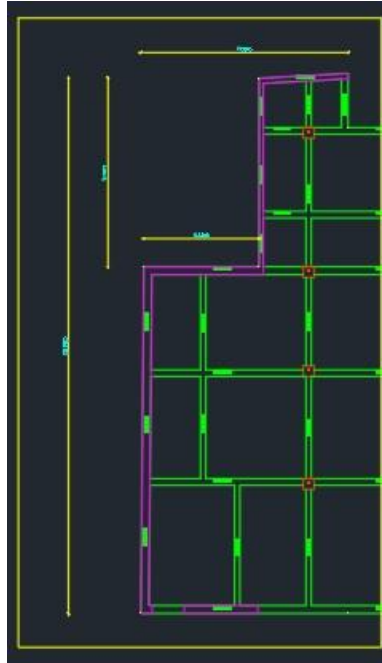


Figura 10. Esquina entrante evaluada en el primer y segundo nivel  
Fuente: Propia

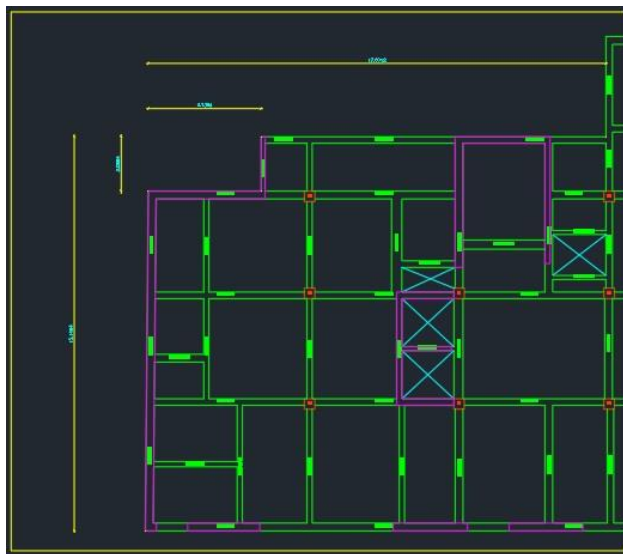


Figura 11. Esquina entrante evaluada en el tercer y cuarto nivel  
Fuente: Propia

Tabla 18  
Distancias totales

DIRECCIÓN	X-X	Y-Y
DISTANCIA TOTAL	Metros (m)	
PRIMER NIVEL	7.80	20.16
SEGUNDO NIVEL	7.80	20.16
TERCER NIVEL	17.60	15.15
CUARTO NIVEL	17.60	15.15

Fuente: Propia

Tabla 19  
*Distancias relativas*

DIRECCIÓN	X-X	Y-Y
ESQUINAS	Metros (m)	
PRIMER NIVEL	4.34	7.10
SEGUNDO NIVEL	4.34	7.10
TERCER NIVEL	4.34	2.09
CUARTO NIVEL	4.34	2.09

Fuente: Propia

Tabla 20  
*Condición para la irregularidad por esquina entrante en X-X*

	NIVEL	CONDICIÓN			NIVEL x 0.2	ESTADO
EJE X	E1N	4.34	>	1.56	1N x 0.2	IRREGULAR
	E2N	4.34	>	1.56	2N x 0.2	IRREGULAR
	E3N	4.34	>	3.52	3N x 0.2	IRREGULAR
	E4N	4.34	>	3.52	4N x 0.2	IRREGULAR

Fuente: Propia

Tabla 21  
*Condición para la irregularidad por esquina entrante en Y-Y*

	NIVEL	CONDICIÓN			NIVEL x 0.2	ESTADO
EJE Y	E1N	7.1	>	4.032	1N x 0.2	IRREGULAR
	E2N	7.1	>	4.032	2N x 0.2	IRREGULAR
	E3N	2.09	>	3.03	3N x 0.2	REGULAR
	E4N	2.09	>	3.03	4N x 0.2	REGULAR

Fuente: Propia

Presenta irregularidad en planta por esquina entrante en ambas direcciones. Corresponde un factor de  $I_p = 0.9$ .

Irregularidad por discontinuidad del diafragma:

Tabla 22  
*Áreas por nivel*

	ÁREA (m <sup>2</sup> )	ÁREA LIBRE (m <sup>2</sup> )
PRIMER NIVEL	1158.56	19.92
SEGUNDO NIVEL	1114.37	43.61
TERCER NIVEL	1048.57	43.61
CUARTO NIVEL	1048.57	28.85

Fuente: Propia

Tabla 23  
Condición para la irregularidad por discontinuidad del diafragma

NIVEL	CONDICIÓN			ESTADO
	ÁREA LIBRE (m <sup>2</sup> )	>	0.5 x ÁREA (m <sup>2</sup> )	
1N	19.92	>	579.28	REGULAR
2N	43.61	>	557.185	REGULAR
3N	43.61	>	524.285	REGULAR
4N	28.85	>	524.285	REGULAR

Fuente: Propia

No presenta irregularidad por discontinuidad del diafragma.

Se comprobó que, de las cuatro irregularidades evaluadas, la edificación presenta solo dos.

Tabla 24  
Irregularidades evaluadas en altura

IRREGULARIDADES ESTRUCTURALES EN ALTURA	FACTOR DE IRREGULARIDAD (I <sub>a</sub> )	EJE X	EJE Y
IRREGULARIDAD DE RESISTENCIA - PISO DÉBIL			
IRREGULARIDAD EXTREMA DE RIGIDEZ	0.50		
IRREGULARIDAD EXTREMA DE RESISTENCIA			
IRREGULARIDAD DE MASA O PESO	0.90		
IRREGULARIDAD GEOMÉTRICA VERTICAL	0.90		X
DISCONTINUIDAD EN LOS SISTEMAS RESISTENTES	0.80		
DISCONTINUIDAD EXTREMA DE LOS SISTEMAS RESISTENTES	0.60		

Fuente: Propia

Tabla 25  
Irregularidades evaluadas en planta

IRREGULARIDADES ESTRUCTURALES EN PLANTA	FACTOR DE IRREGULARIDAD (I <sub>p</sub> )	EJE X	EJE Y
IRREGULARIDAD TORSIONAL EXTREMA	0.60		
ESQUINAS ENTRANTES	0.90	X	X
DISCONTINUIDAD DEL DIAFRAGMA	0.85		
SISTEMAS NO PARALELOS	0.90		

Fuente: Propia



#### h) Coeficiente de reducción de las fuerzas sísmicas R

Se obtiene multiplicando el coeficiente básico de reducción de fuerzas sísmicas por las irregularidades, de las cuales se toma solo el valor más crítico (el menor) para cada caso, en altura y en planta. De no presentar irregularidades, se asumen los valores de  $I_a$  y de  $I_p$  como 1, y se califica al edificio como regular.

$$R_X = R_{0X} \cdot I_a \cdot I_p = 7 \times 1 \times 0.9 = 6.30$$

$$R_Y = R_{0Y} \cdot I_a \cdot I_p = 7 \times 0.9 \times 0.9 = 5.67$$

Finalmente se obtuvo los parámetros sísmicos.

Tabla 26

*Parámetros sísmicos*

Z	0.45
U	1.3
C <sub>x</sub>	2.5
C <sub>y</sub>	2.5
S	1.00
R <sub>x</sub>	6.3
R <sub>y</sub>	5.67

Fuente: Propia

#### 4.2.2. Modelamiento en ETABS

##### a) Creación de storys y grids

###### Storys

Se digitaron las alturas de entrepiso. Según los planos del proyecto, para el primer entrepiso fue 4.60 m., para el segundo entrepiso fue 3.78 m., para el tercer entrepiso fue 3.87 m. y para el cuarto entrepiso fue 3.52 m.

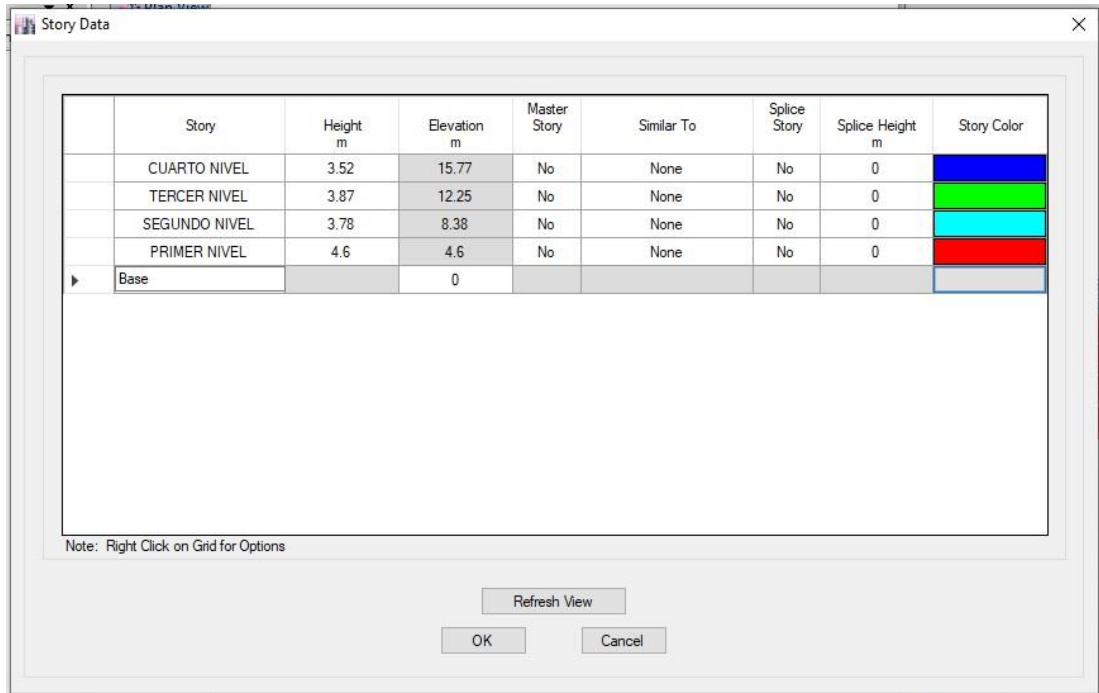


Figura 12. Story data  
Fuente: ETABS

Se definieron los ejes del proyecto, los cuales fueron útiles al dibujar cada elemento estructural en el *software*.

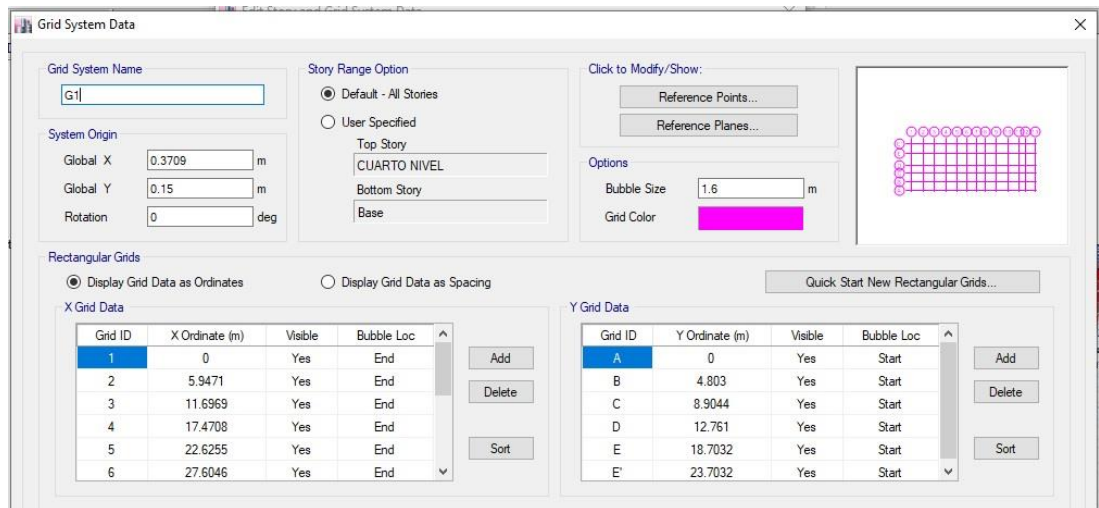


Figura 13. Grid System data  
Fuente: ETABS

## b) Definición de materiales

Según los planos obtenidos y los estudios previos del edificio, se encontró dos tipos de concreto usados. Un concreto con  $f'c = 140 \text{ kg/cm}^2$  para las columnas y con  $f'c = 160 \text{ kg/cm}^2$  para las vigas y losas aligeradas.


Material Property Data

**General Data**

Material Name: F'C 140

Material Type: Concrete

Directional Symmetry Type: Isotropic

Material Display Color:  Change...

Material Notes: Modify/Show Notes...

**Material Weight and Mass**

Specify Weight Density       Specify Mass Density

Weight per Unit Volume: 2400 kg/m<sup>3</sup>

Mass per Unit Volume: 2400 kg/m<sup>3</sup>

**Mechanical Property Data**

Modulus of Elasticity, E: 178665.61 kgf/mm<sup>2</sup>

Poisson's Ratio, U: 0.2

Coefficient of Thermal Expansion, A: 0.0000099 1/C

Shear Modulus, G: 74444 kgf/mm<sup>2</sup>

**Design Property Data**

Modify/Show Material Property Design Data...

**Advanced Material Property Data**

Nonlinear Material Data...      Material Damping Properties...

Time Dependent Properties...

OK      Cancel

Figura 14. Propiedades del concreto F'c 140'  
Fuente: ETABS

**Material Property Data**

**General Data**

Material Name: F'c 160

Material Type: Concrete

Directional Symmetry Type: Isotropic

Material Display Color: [Color Selection] Change...

Material Notes: Modify/Show Notes...

**Material Weight and Mass**

Specify Weight Density  Specify Mass Density

Weight per Unit Volume: 2400 kgf/m<sup>3</sup>

Mass per Unit Volume: 2400 kg/m<sup>3</sup>

**Mechanical Property Data**

Modulus of Elasticity, E: 191001.57 kgf/mm<sup>2</sup>

Poisson's Ratio, U: 0.2

Coefficient of Thermal Expansion, A: 0.0000099 1/C

Shear Modulus, G: 79583.99 kgf/mm<sup>2</sup>

**Design Property Data**

Modify/Show Material Property Design Data...

**Advanced Material Property Data**

Nonlinear Material Data... Material Damping Properties...

Time Dependent Properties...

OK Cancel

Figura 15. Propiedades del concreto F'c  
Fuente: ETABS

Para el modelamiento, el acero de refuerzo que se utilizó fue de grado 40 con una densidad de 7850 kg/m<sup>3</sup> y un punto de fluencia de  $f_y = 2800 \text{ kg/cm}^2$ .

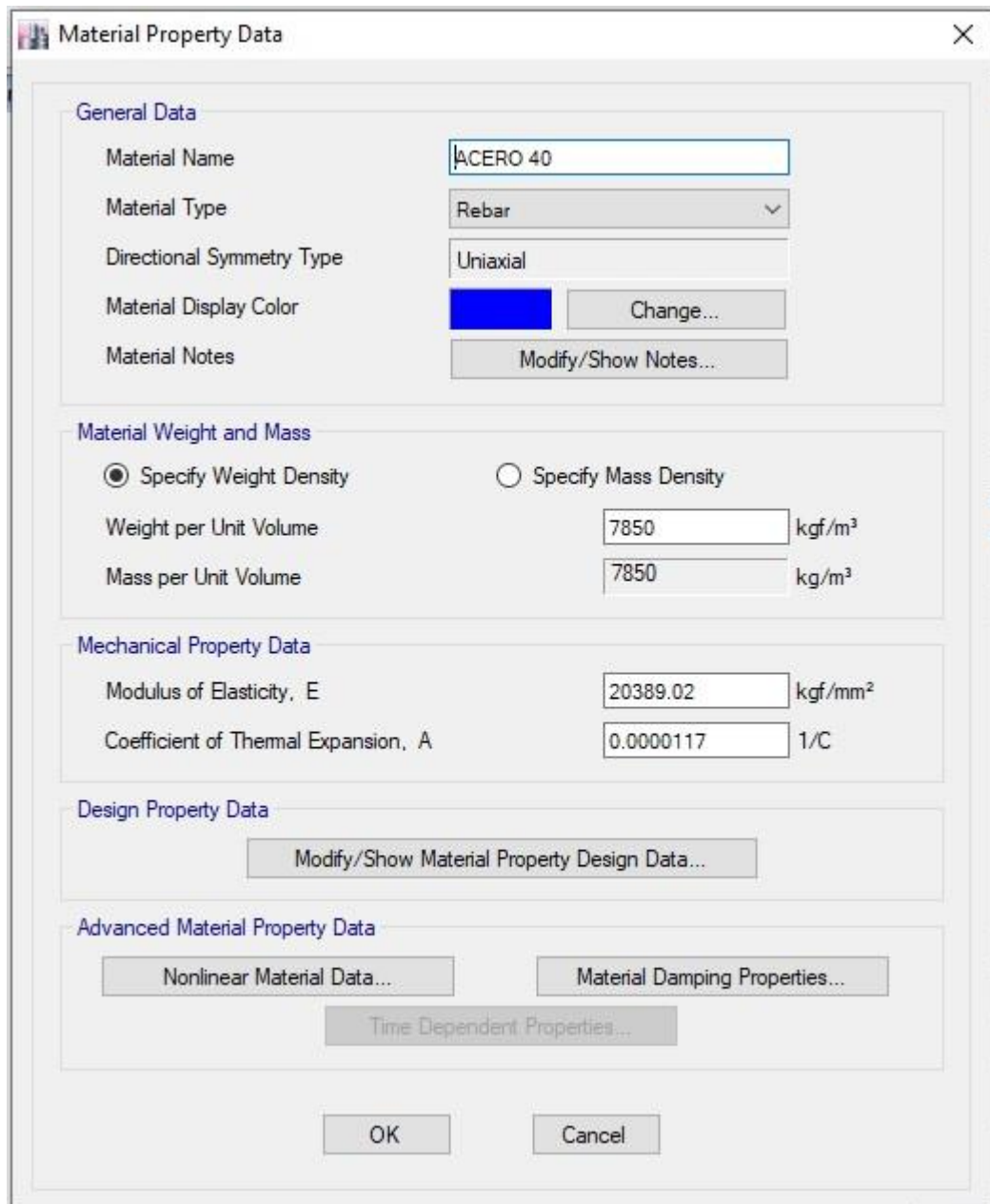


Figura 16. Propiedades del acero  
Fuente: ETABS

Para el modelamiento de los muros portantes del edificio, debido a que por la antigüedad del edificio y la coyuntura actual no consiguió la información exacta del muro utilizado, se utilizó las propiedades mecánicas del ladrillo King Kong Artesanal, cuya materia prima es la arcilla y tiene una resistencia a la compresión axial de  $f_m = 35 \text{ kg/cm}^2$ , según la norma técnica E.070 de albañilería.

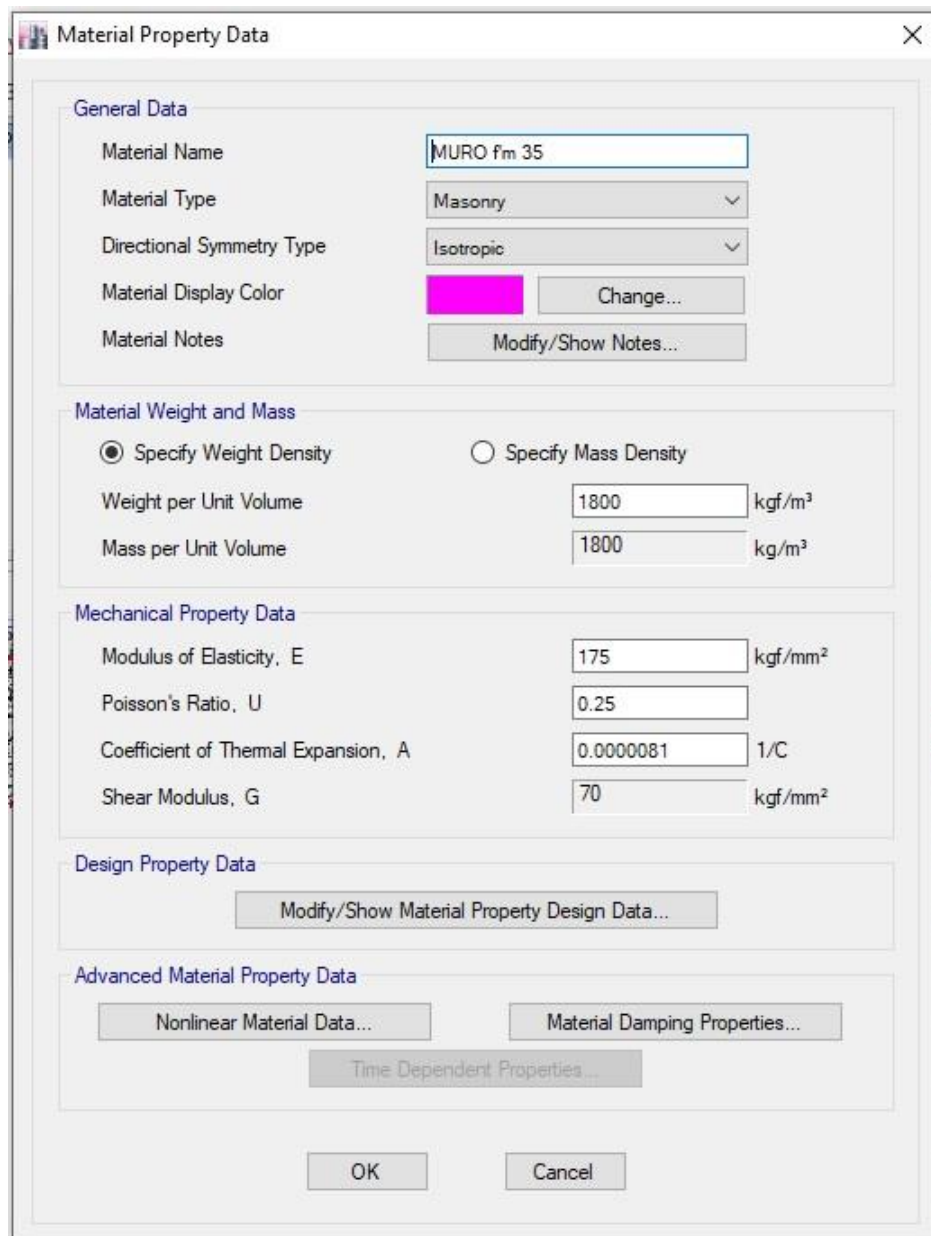


Figura 17. Propiedades muro f'm 35  
Fuente: ETABS

### c) Definición de las secciones de los elementos estructurales

Se definió un tipo de columna con una dimensión de 40 cm x 40 cm.  
Para las vigas, se definió diez secciones diferentes:

- VCH1 15 cm x 20 cm
- VCH2 25 cm x 20 cm
- VCH3 30 cm x 20 cm
- VCH4 35 cm x 20 cm
- VP1 25 cm x 50 cm

- VP2 30 cm x 50 cm
- VS1 20 cm x 50 cm
- VS2 35 cm x 50 cm
- VS3 40 cm x 50 cm
- VS4 15 cm x 50 cm

Para los muros portantes, se definió cuatro secciones:

- MUROe15 espesor de 15 cm
- MUROe20 espesor de 20 cm
- MUROe25 espesor de 25 cm
- MUROe30 espesor de 30 cm

Para las losas se definió dos tipos: una losa aligerada de 20 cm de espesor y una losa maciza para las escaleras de 15 cm de espesor.

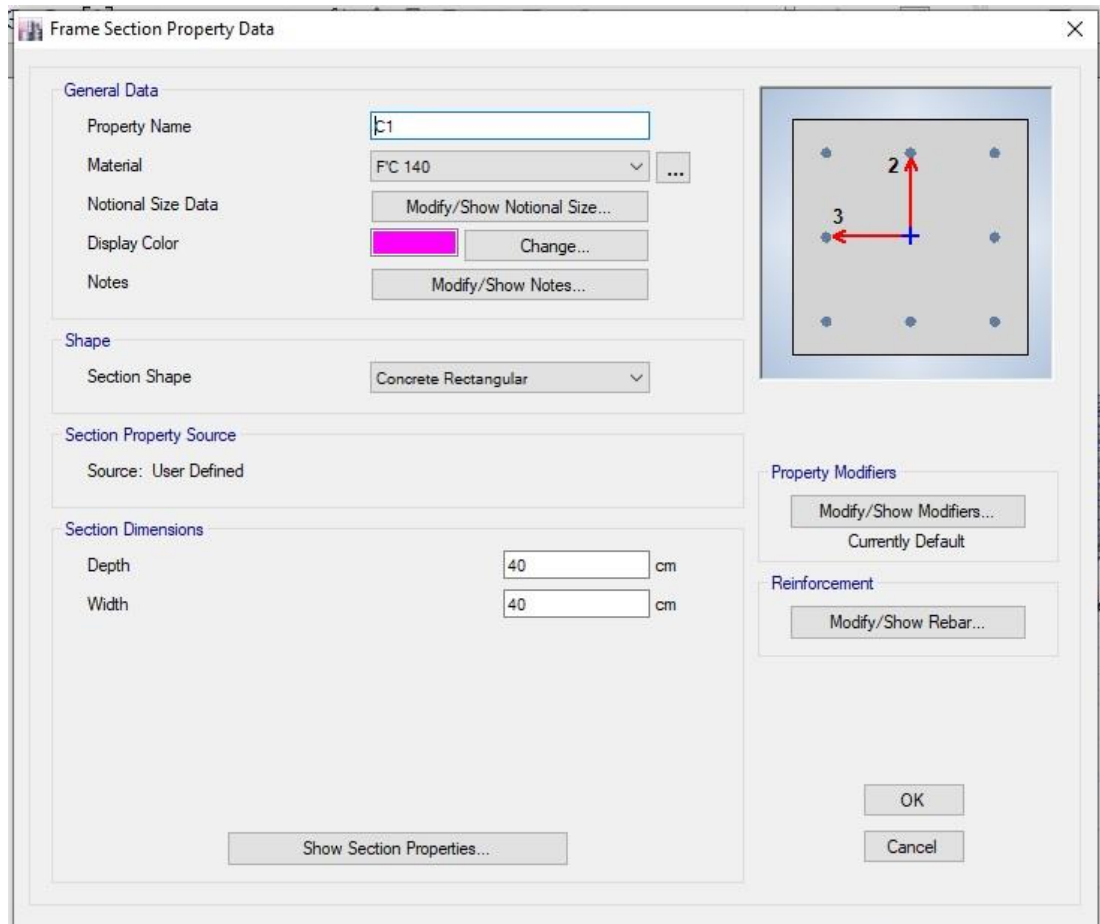


Figura 18. Sección de columna C-1  
Fuente: ETABS

Según los datos obtenidos, los aceros longitudinales utilizados fueron ocho de  $\varnothing 5/8"$  y los estribos fueron de  $\varnothing 3/8"$ .

Frame Section Property Reinforcement Data

**Design Type**

P-M2-M3 Design (Column)

M3 Design Only (Beam)

**Rebar Material**

Longitudinal Bars: ACERO 60

Confinement Bars (Ties): ACERO 60

**Reinforcement Configuration**

Rectangular

Circular

**Confinement Bars**

Ties

Spirals

**Check/Design**

Reinforcement to be Checked

Reinforcement to be Designed

**Longitudinal Bars**

Clear Cover for Confinement Bars: 4 cm

Number of Longitudinal Bars Along 3-dir Face: 3

Number of Longitudinal Bars Along 2-dir Face: 3

Longitudinal Bar Size and Area: #5 2 cm<sup>2</sup>

Corner Bar Size and Area: #5 2 cm<sup>2</sup>

**Confinement Bars**

Confinement Bar Size and Area: #3 0.71 cm<sup>2</sup>

Longitudinal Spacing of Confinement Bars (Along 1-Axis): 15 cm

Number of Confinement Bars in 3-dir: 2

Number of Confinement Bars in 2-dir: 2

OK Cancel

Figura 19. Refuerzo de columna C-1  
Fuente: ETABS

Para el caso de los refuerzos en vigas, el *software* calculó la mínima área de acero permisible, por lo cual solo se digitó las dimensiones de cada viga.



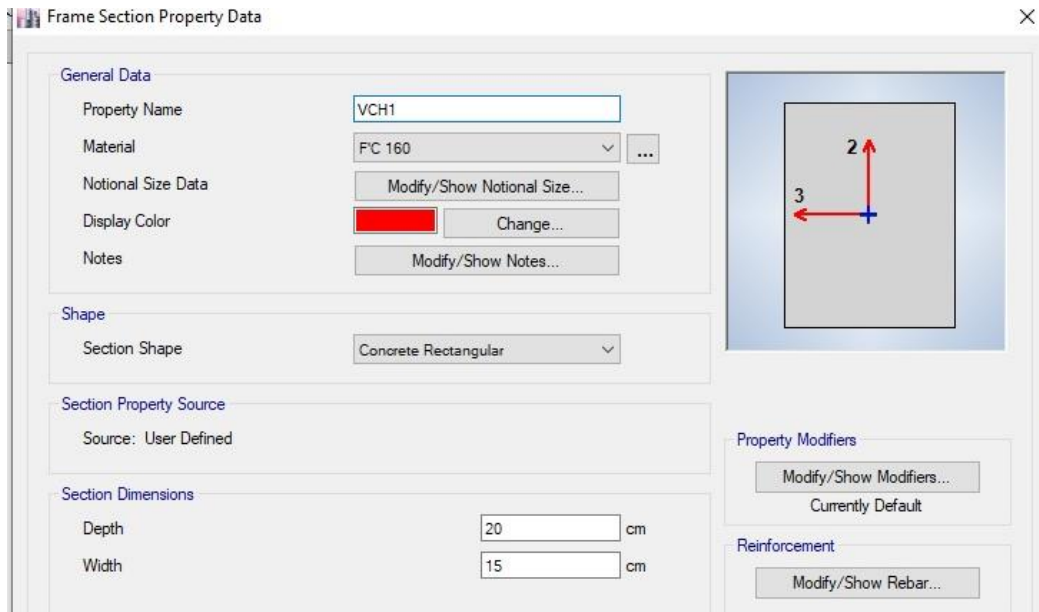


Figura 20. Sección de viga VCH1  
Fuente: ETABS

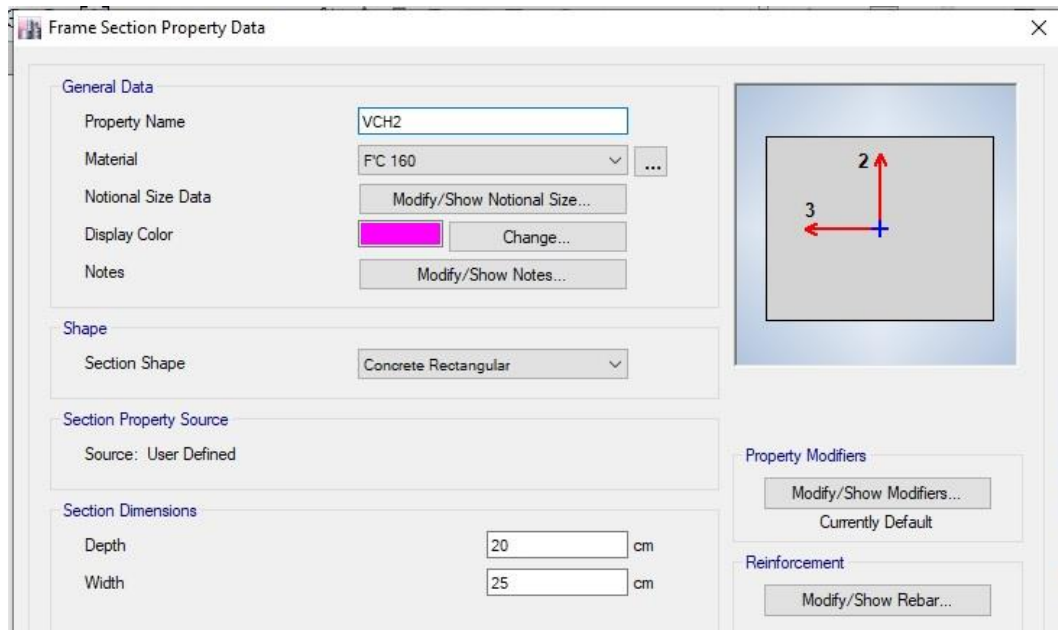


Figura 21. Sección de viga VCH2  
Fuente: ETABS

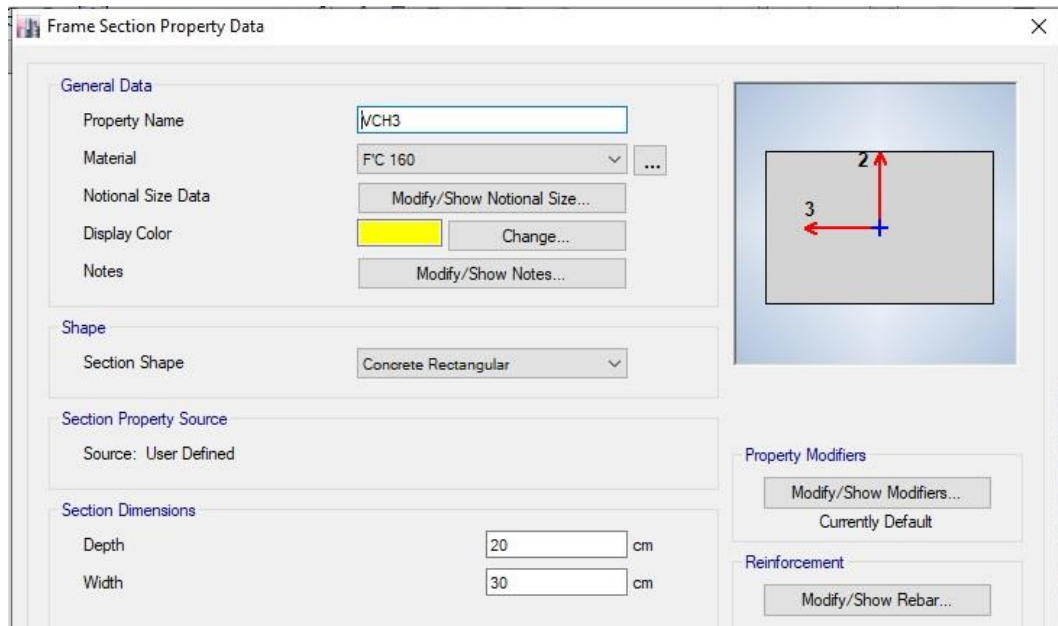


Figura 22. Sección de viga VCH3  
Fuente: ETABS

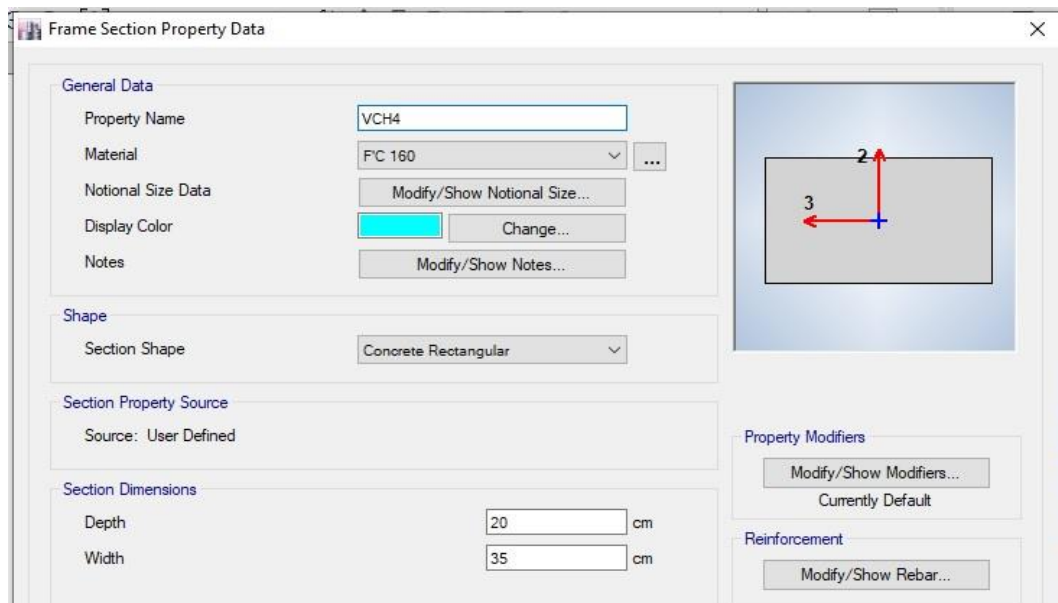


Figura 23. Sección de viga VCH4  
Fuente: ETABS

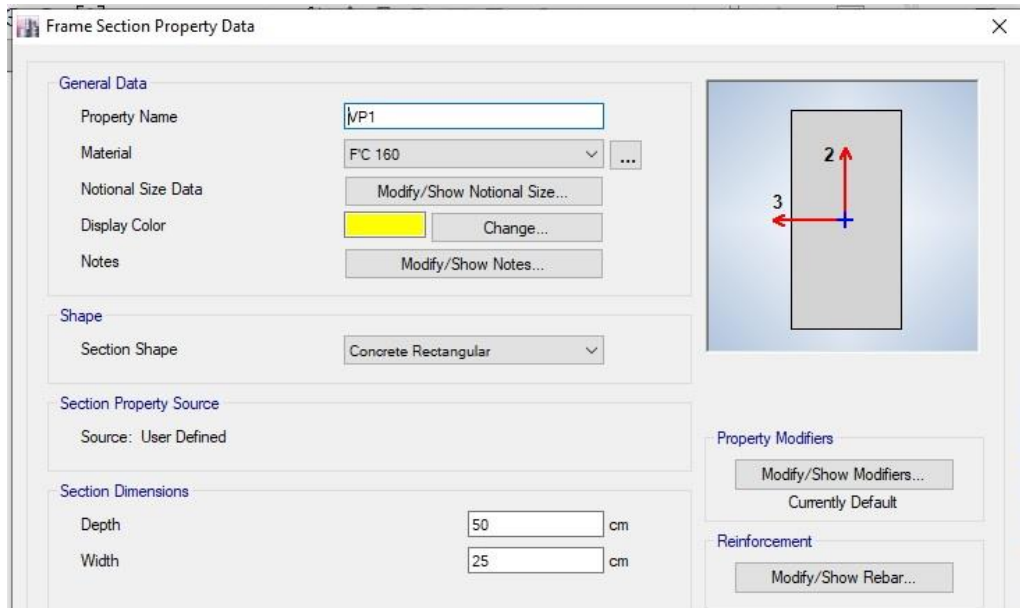


Figura 24. Sección de viga VP1  
Fuente: ETABS

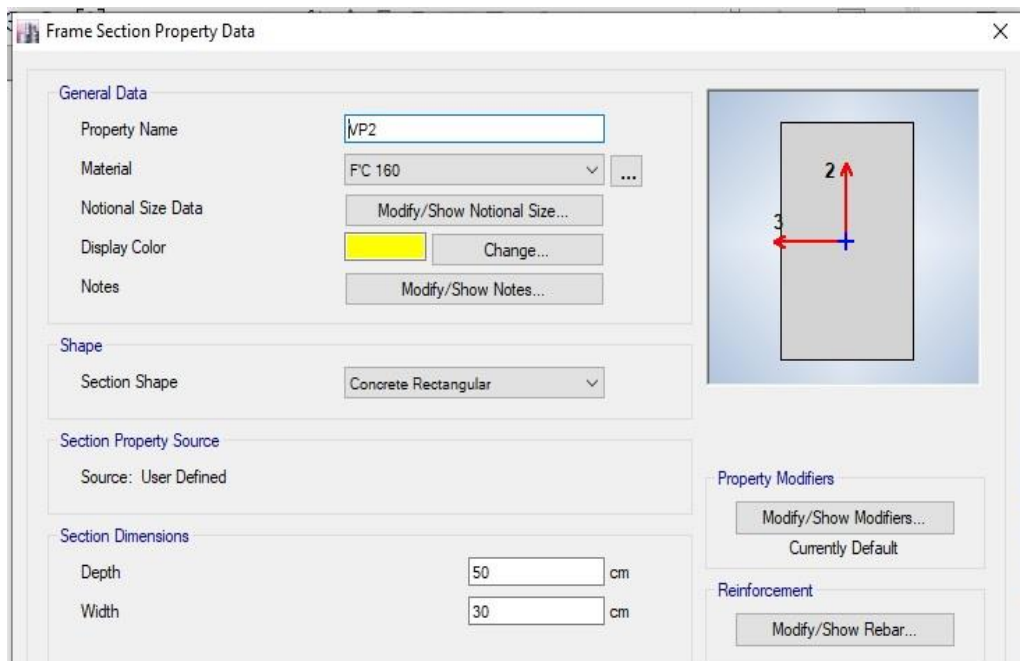


Figura 25. Sección de viga VP2  
Fuente: ETABS

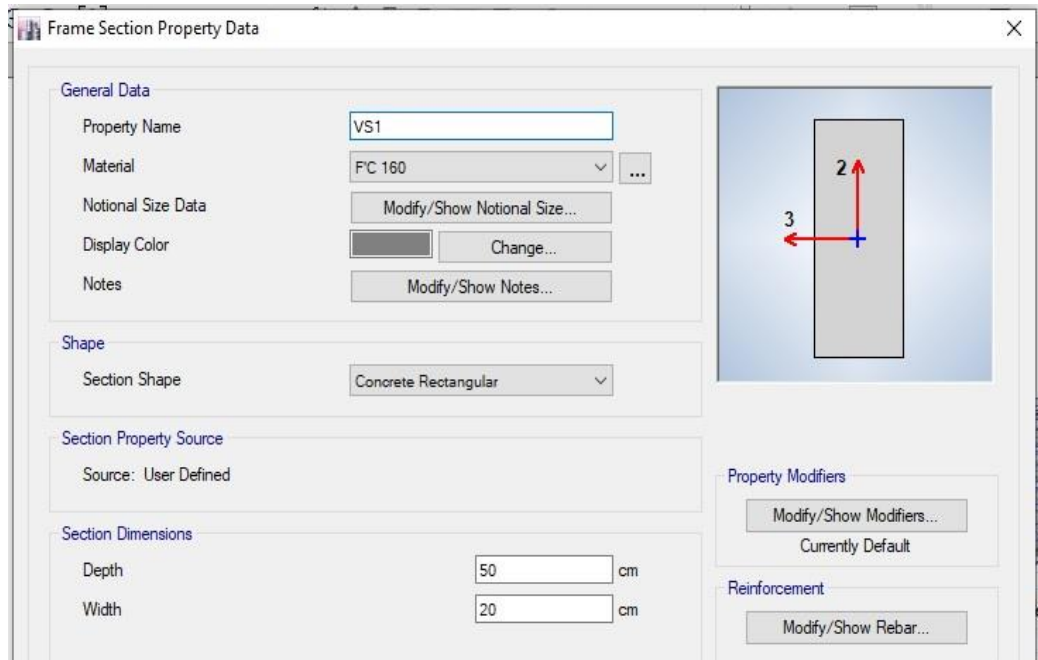


Figura 26. Sección de viga VS1  
Fuente: ETABS

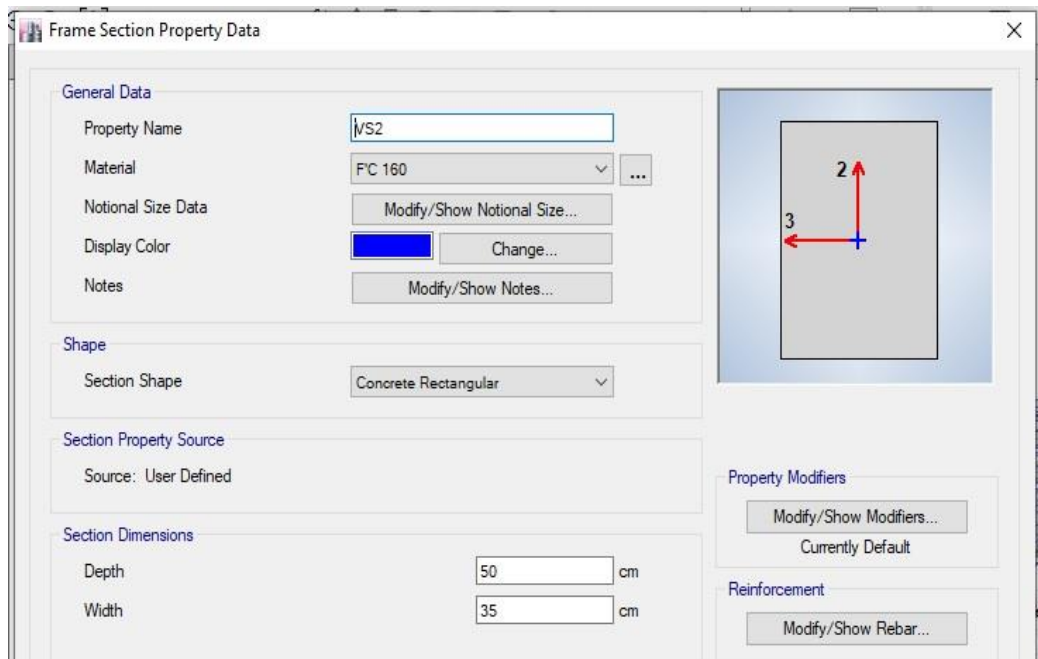


Figura 27. Sección de viga VS2  
Fuente: ETABS

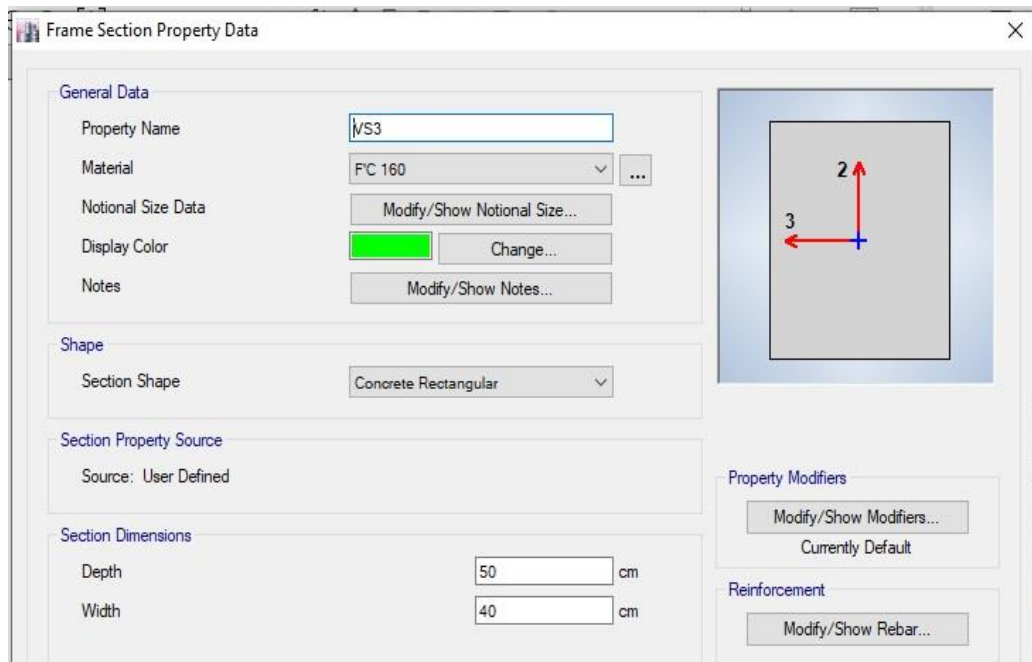


Figura 28. Sección de viga VS3  
Fuente: ETABS

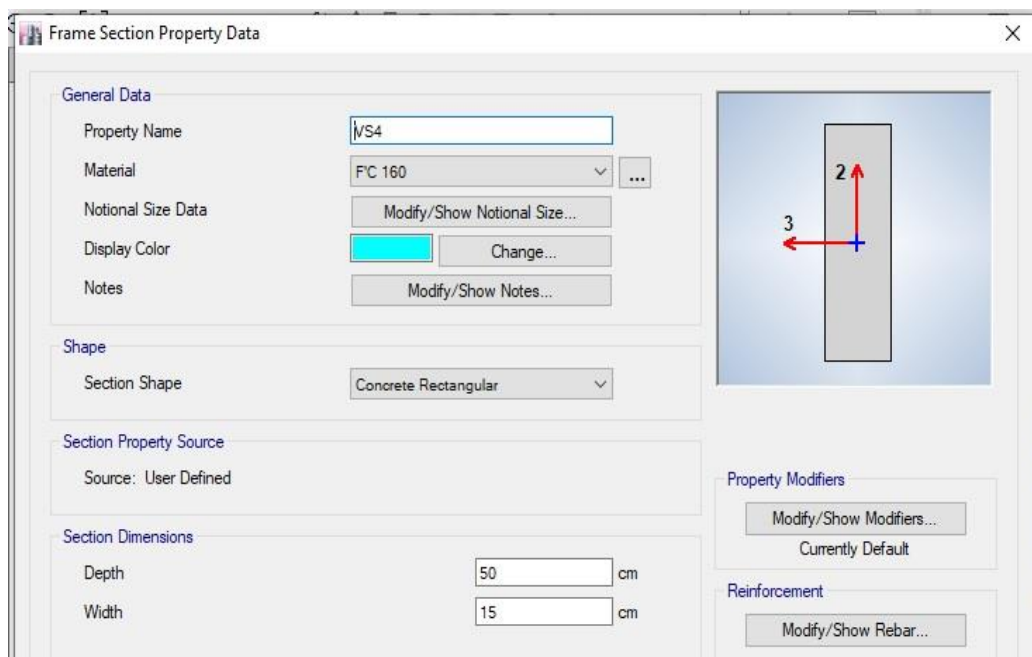


Figura 29. Sección de viga VS4  
Fuente: ETABS

Para modelar los muros portantes, se digitó el espesor en cada caso y se seleccionó el material definido.

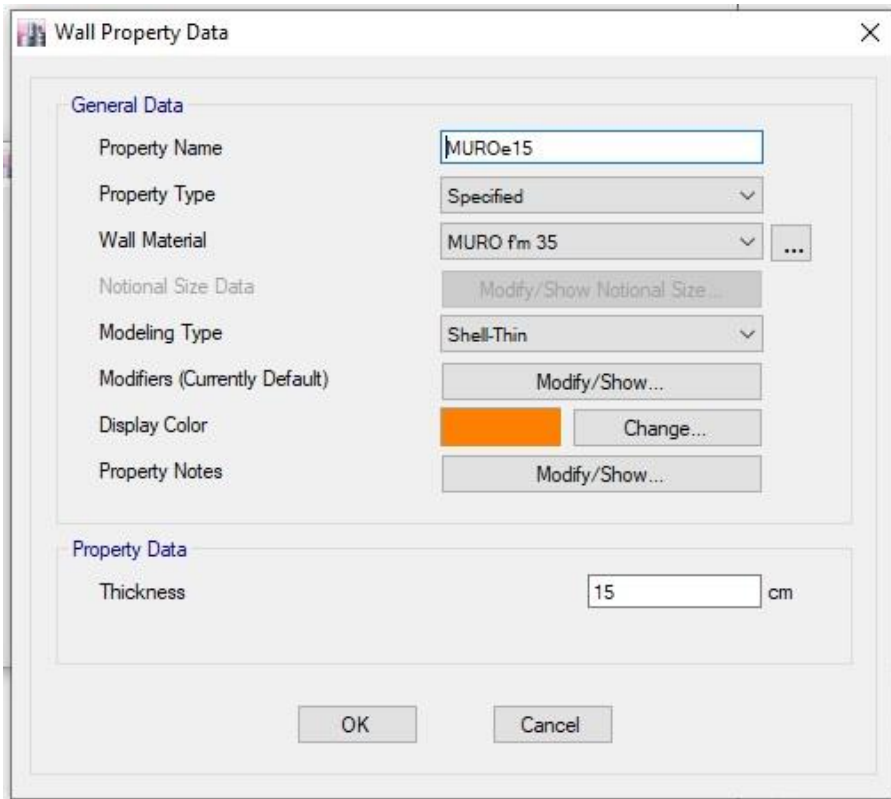


Figura 30. Sección de muro, MUROe15  
Fuente: ETABS

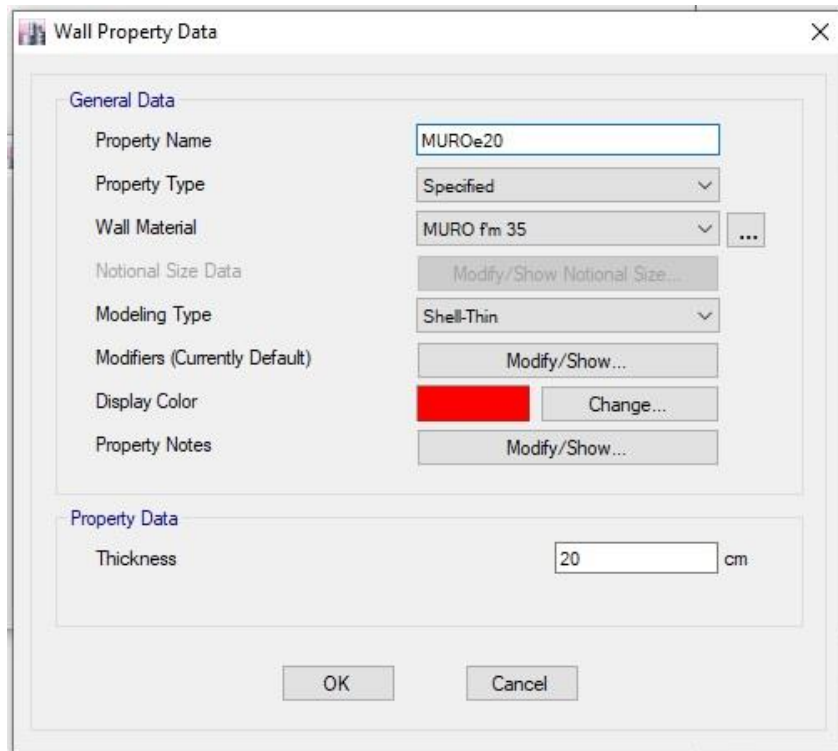


Figura 31. Sección de muro, MUROe20  
Fuente: ETABS

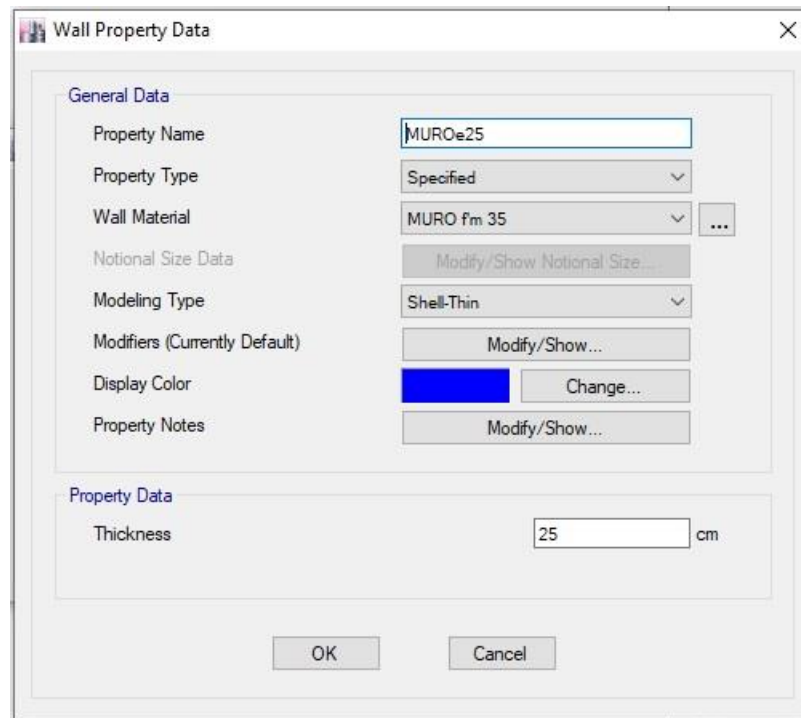


Figura 32. Sección de muro, MUROe25  
Fuente: ETABS

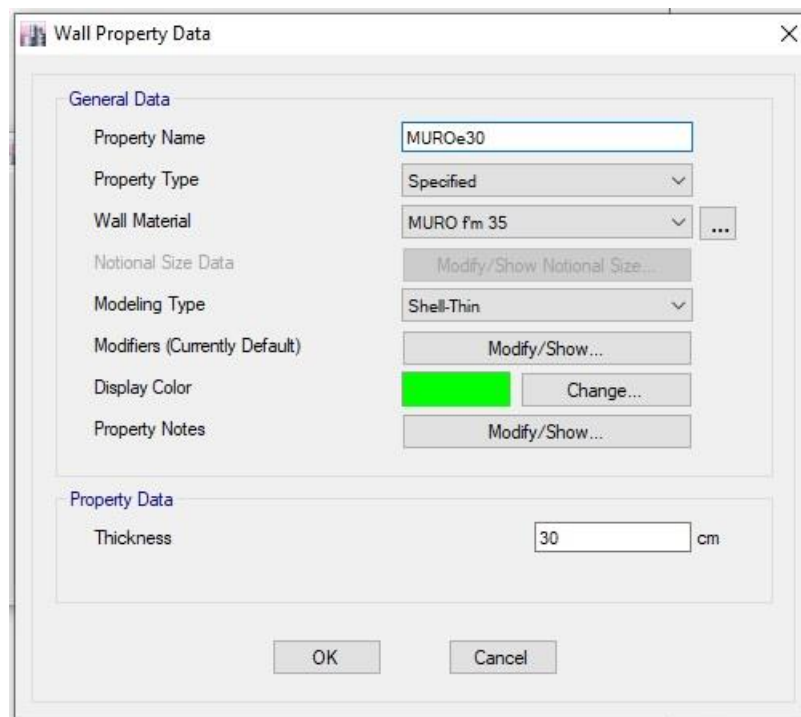


Figura 33. Sección de muro, MUROe30  
Fuente: ETABS

Se modeló las losas aligeradas con un espesor de 20 cm, según los planos estructurales obtenidos espaciando las viguetas 40 cm de eje a eje. Se modeló las losas macizas para las escaleras utilizando un espesor de 15 cm.

General Data	
Property Name	LOSA 20
Slab Material	F/C 160
Notional Size Data	Modify/Show Notional Size...
Modeling Type	Shell-Thin
Modifiers (Currently Default)	Modify/Show...
Display Color	Change...
Property Notes	Modify/Show...

Property Data	
Type	Ribbed
Overall Depth	20 cm
Slab Thickness	5 cm
Stem Width at Top	10 cm
Stem Width at Bottom	10 cm
Rib Spacing (Perpendicular to Rib Direction)	40 cm
Rib Direction is Parallel to	Local 1 Axis

Figura 34. Sección losa aligerada, losa 20  
Fuente: ETABS



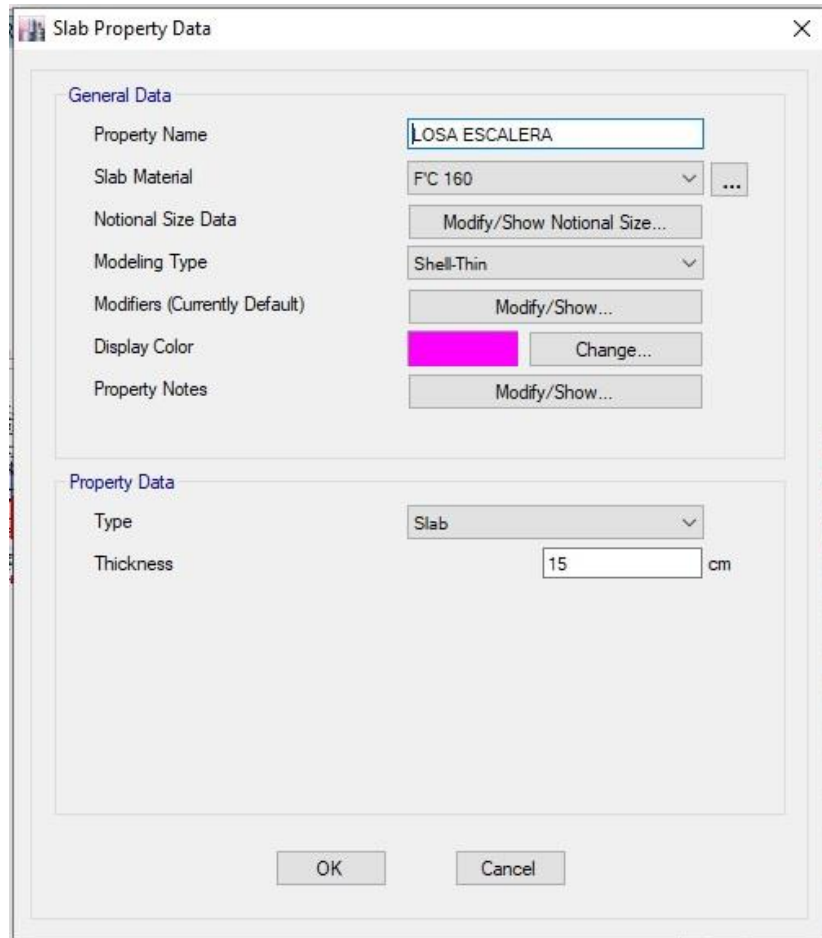


Figura 35. Sección losa aligerada, losa escalera  
Fuente: ETABS

#### d) Definición de tipos de cargas

Peso propio: Pertenece al tipo de carga muerta y se calculó por el mismo *software*, que multiplicó el volumen de cada elemento estructural por la densidad de cada material utilizado por la gravedad.

Las cargas de gravedad que se utilizaron fueron las siguientes:

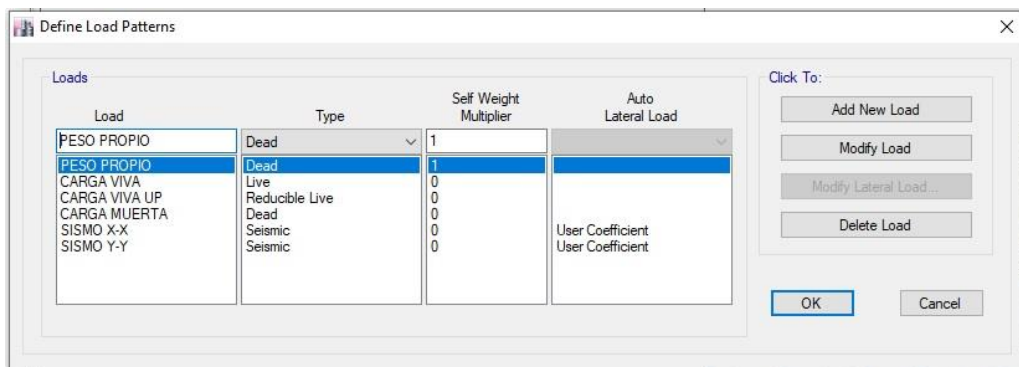


Figura 36. Patrones de carga  
Fuente: ETABS

$$\text{PESO}_{\text{elemento estructural}} = \text{Vol}_{\text{elemento estructural}} \times \text{Densidad}_{\text{material del elemento estructural}} \times \text{Gravedad}$$

Figura 37. Peso de cada elemento estructural  
Fuente: Fuente propia

Carga viva: Pertenece al tipo de carga viva y se calculó según la norma E.020, en las losas aligeradas desde el primer nivel hasta el tercer nivel una sobrecarga y otra para las losas de las escaleras. Correspondió, por tanto, una carga repartida según el uso de oficinas de 250 kgf/m<sup>2</sup>, y para las escaleras, una carga repartida de 400 kgf/m<sup>2</sup>.

Tabla 27  
*Carga repartida por uso*

<b>CARGA REPARTIDA</b>	<b>kgf/m<sup>2</sup></b>
OFICINAS	250
ESCALERAS	400

Fuente: Sencico (2018)

Carga viva up: Pertenece al tipo de carga viva y se calculó según la norma E.020. Se aplicó a las losas aligeradas del último nivel, es decir, a las losas del cuarto nivel. Correspondió, por tanto, una carga repartida de 100 kgf/m<sup>2</sup>.

Tabla 28  
*Carga viva de techo*

<b>CARGA VIVA DE TECHO</b>	<b>kgf/m<sup>2</sup></b>
Para los techos con una inclinación hasta de 3° con respecto a la horizontal	100

Fuente: Sencico (2018)

Sobrecarga: Pertenece al tipo de carga muerta, son las cargas que están siempre incluidas en las edificaciones como cargas fijas. Para este análisis se consideró la tabiquería, las instalaciones, el cielo raso, el sistema de agua contra incendios (por si hubiera) y el piso terminado.

Tabla 29  
Sobrecargas consideradas

<b>SEGÚN E.020</b>	
Se estimaron las siguientes cargas repartidas (kgf/m <sup>2</sup> )	
Tabiquería	100
Instalaciones	10
Cielo raso	10
SACI	10
Piso terminado	100

Fuente: Propia

Sismo X-X: Pertenece al tipo de carga sísmica en la dirección X. Se calculó digitando dos coeficientes según la norma E.030, hallado previamente con los parámetros sísmicos.

El coeficiente de la cortante basal está dado por una relación de todos los parámetros sísmicos.

Tabla 30  
Coeficiente de la cortante basal en la dirección X

$\frac{Z \cdot U \cdot C_x \cdot S}{R_x}$	=	0.232
---	---	-------

Fuente: Propia

El factor K depende del valor del periodo fundamental hallado previamente.

Tabla 31  
Factor K para X-X

Condición	K
Para T menor o igual a 0.5 segundos	1
Para T mayor que 0.5 segundos	$0.75 + 0.5T \leq 2$

Fuente: Sencico (2018)

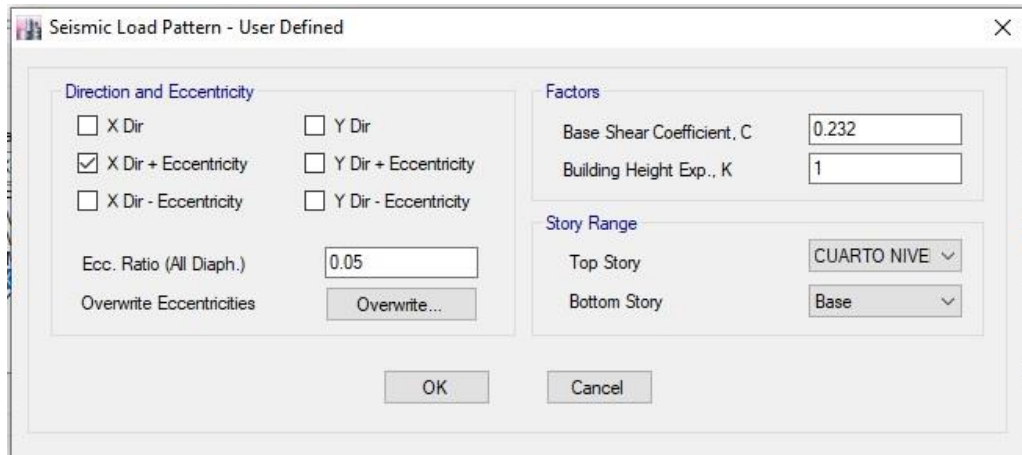


Figura 38. Sismo X-X  
Fuente: ETABS

Sismo Y-Y: Pertenece al tipo de carga sísmica en la dirección Y. Se calculó digitando dos coeficientes según la norma E.030, hallado previamente con los parámetros sísmicos.

El coeficiente de la cortante basal está dado por una relación de todos los parámetros sísmicos.

Tabla 32  
Coeficiente de la cortante basal en la dirección Y

$$\frac{Z \cdot U \cdot C_Y \cdot S}{R_Y} = 0.258$$

Fuente: Propia

El factor K depende del valor del periodo fundamental hallado previamente.

Tabla 33  
Factor K para Y-Y

Condición	K
Para T menor o igual a 0.5 segundos	1
Para T mayor que 0.5 segundos	$0.75 + 0.5T \leq 2$

Fuente: Sencico (2018)

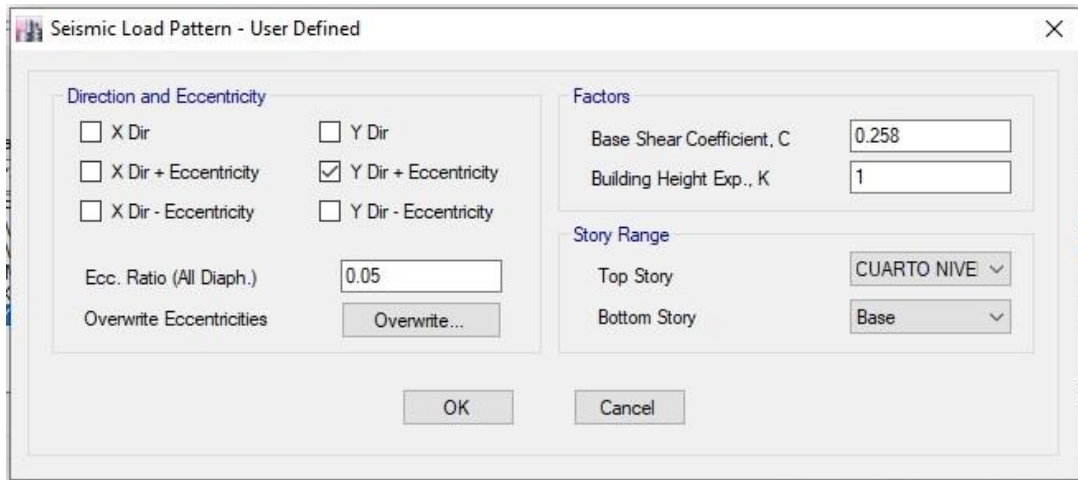


Figura 39. Sismo Y-Y  
Fuente: ETABS

### e) Definición de Mass Source

Al definir la *Mass Source* se indicó al *software* qué porcentaje de carga se considerará al analizar. Según la norma E.030, el edificio está sujeto a la categoría B; por ello, para el cálculo del peso de la edificación se utilizó el 100% de la carga muerta y se agregó el 50% de la carga viva. Se especificó cada porcentaje según su tipo de carga.

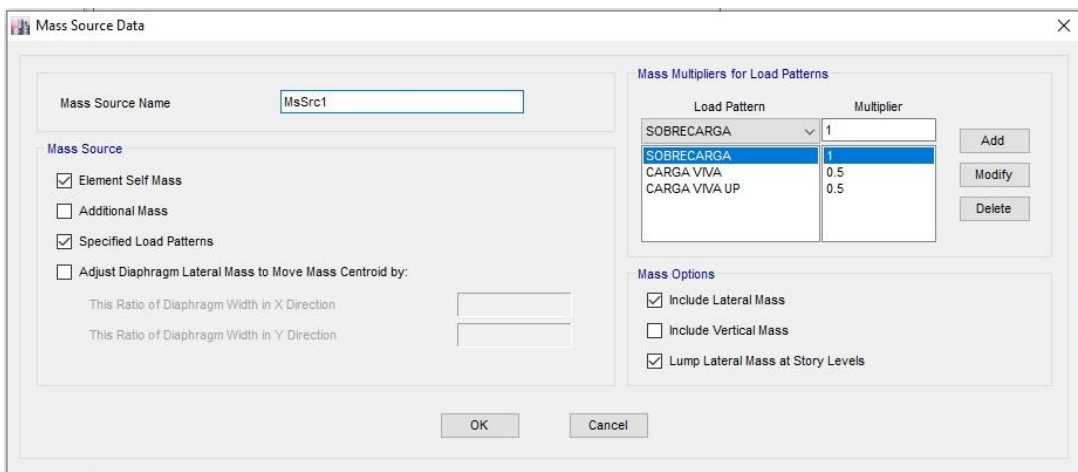


Figura 40. Mass Source  
Fuente: ETABS

### f) Modelamiento de la edificación

Se dibujó cada elemento estructural según los planos obtenidos. Se asignó diafragma rígido para las losas aligeradas en cada nivel, de esta

manera se indicó al *software* que los asentamientos de las losas trabajen uniformemente.

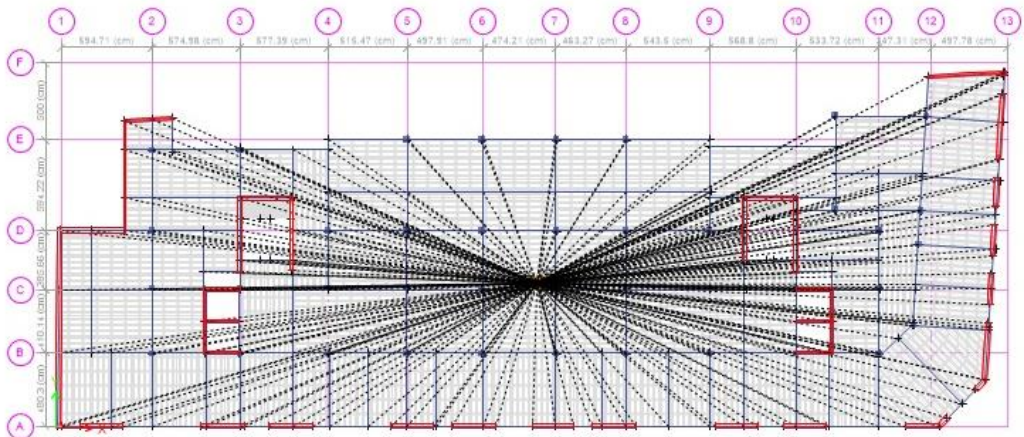


Figura 41. Diafragma rígido D1  
Fuente: ETABS

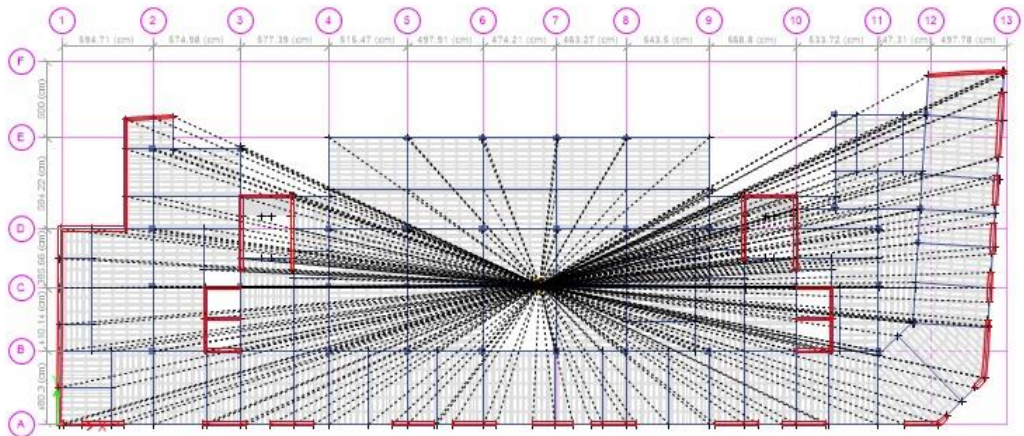


Figura 42. Diafragma rígido D2  
Fuente: ETABS

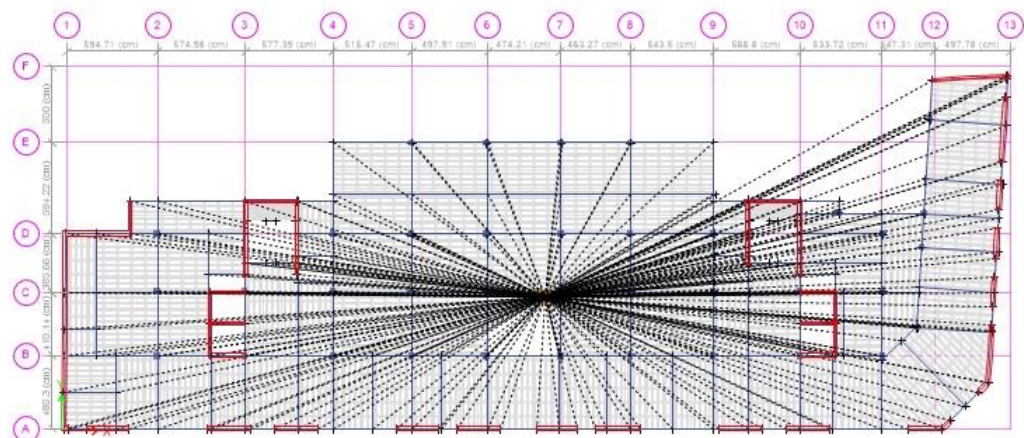


Figura 43. Diafragma rígido D3  
Fuente: ETABS



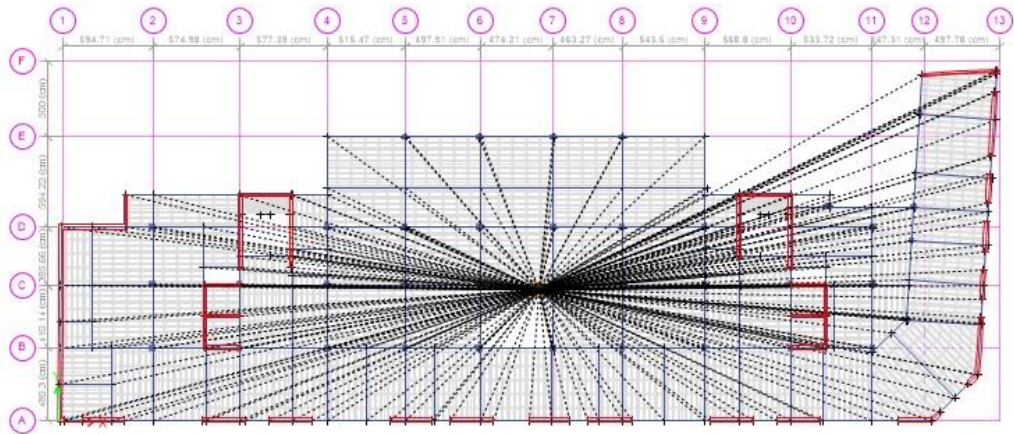


Figura 44. Diafragma rígido D4  
Fuente: ETABS

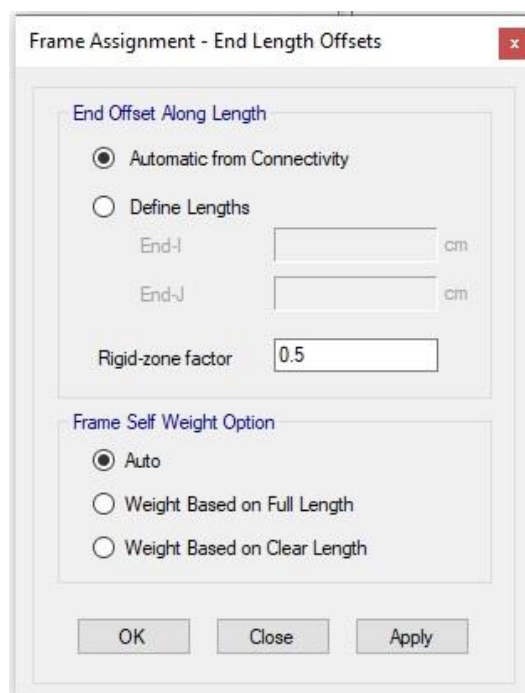


Figura 45. Brazo rígido  
Fuente: ETABS

Se asignó brazo rígido a las interacciones de vigas con columnas con un factor de 0.5, y se indicó al *software* la unión rígida en el eje de cada elemento estructural.

Con este análisis se pretendió determinar cómo se comportaría el edificio sometido solo a las cargas de la propia estructura, la cual solo considera el peso propio de todos los elementos estructurales.

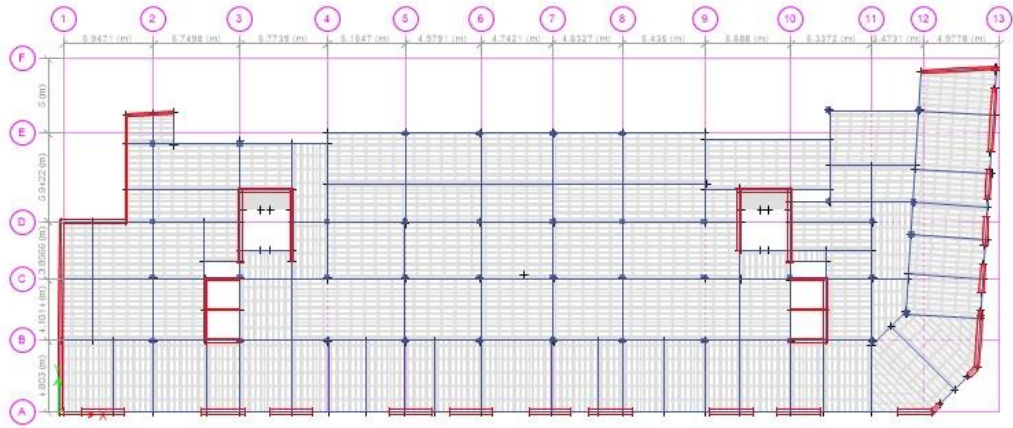


Figura 46. Vista en Planta  
Fuente: ETABS

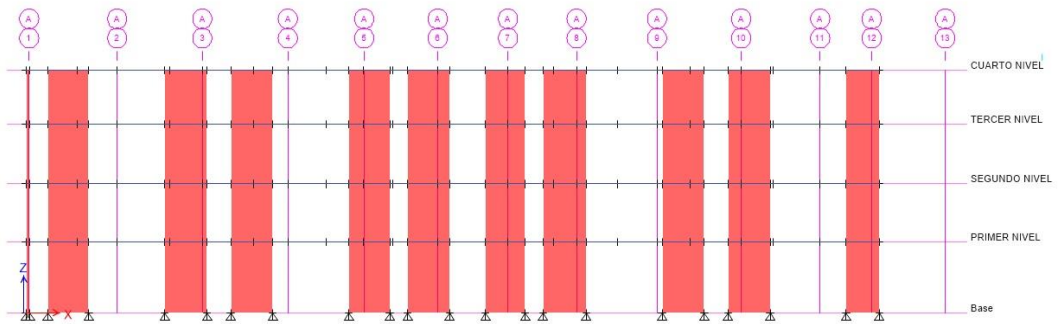


Figura 47. Vista en elevación  
Fuente: ETABS

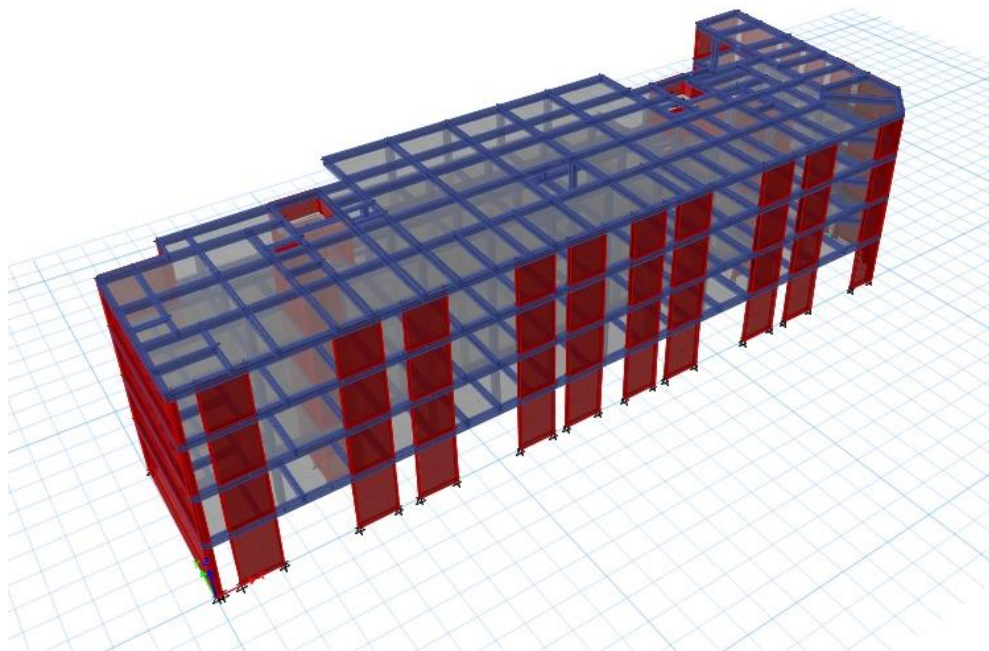


Figura 48. Vista en 3D  
Fuente: ETABS



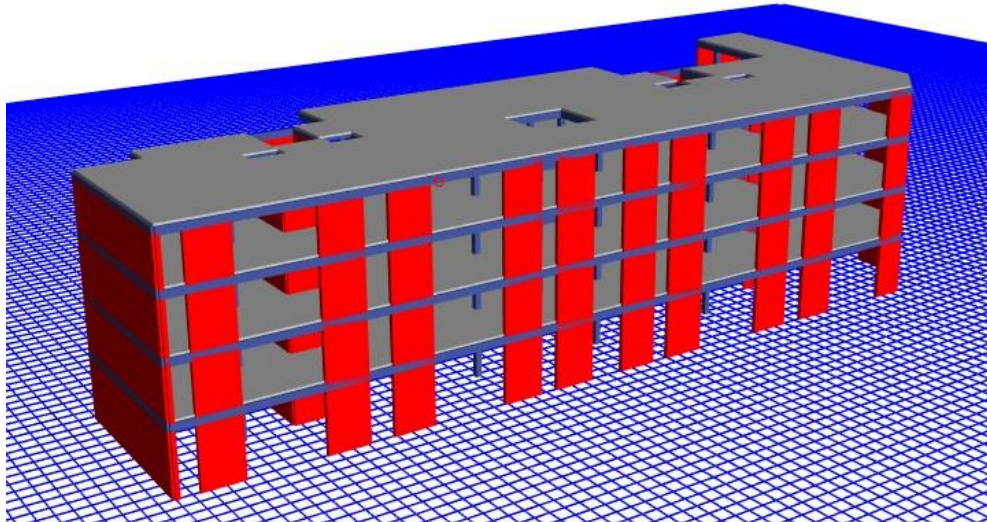


Figura 49. Vista renderizada  
Fuente: ETABS

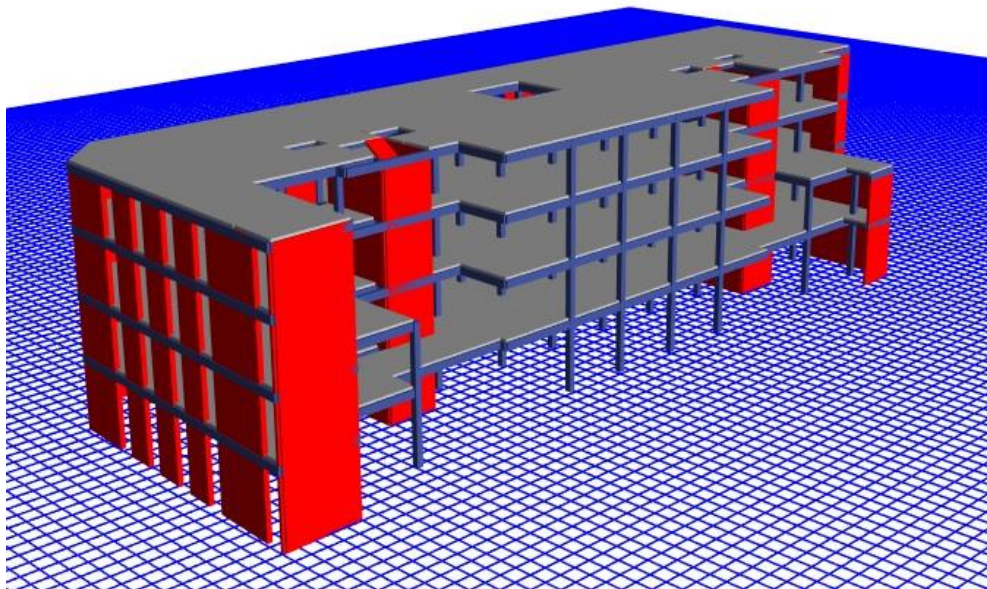


Figura 50. Vista renderizada posterior del edificio  
Fuente: ETABS

### 4.3. Análisis dinámico lineal

Se asignaron las cargas vivas definidas previamente, las cuales se consideran por el peso variable que se podría ocupar en dicha edificación de acuerdo a su uso y a las personas que lo transitan. También se asignaron las cargas muertas que no son consideradas como el peso propio de los elementos estructurales —debido a que la variación de su posición no afecta

a la estructura— pero a la vez son cargas fijas necesarias para el funcionamiento de la edificación como tal.



Figura 51. Cargas del primer al tercer nivel  
Fuente: ETABS

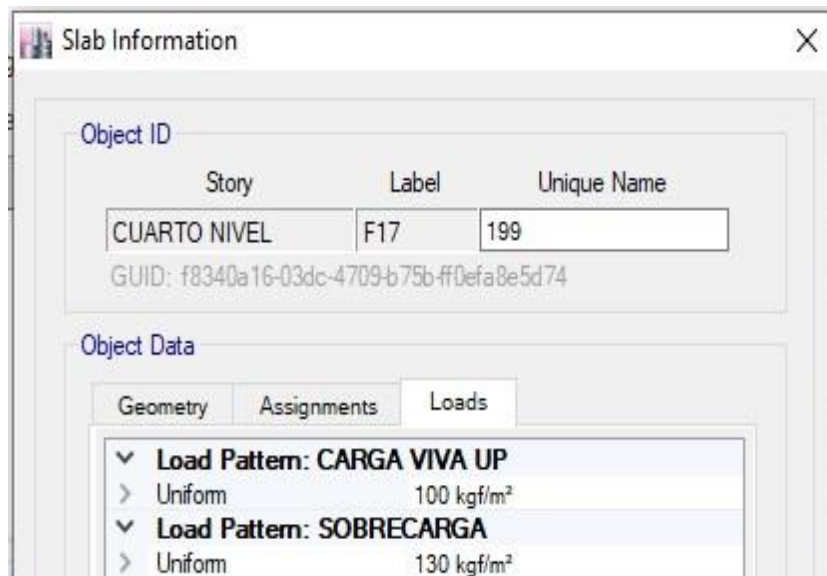


Figura 52. Cargas del cuarto nivel  
Fuente: ETABS

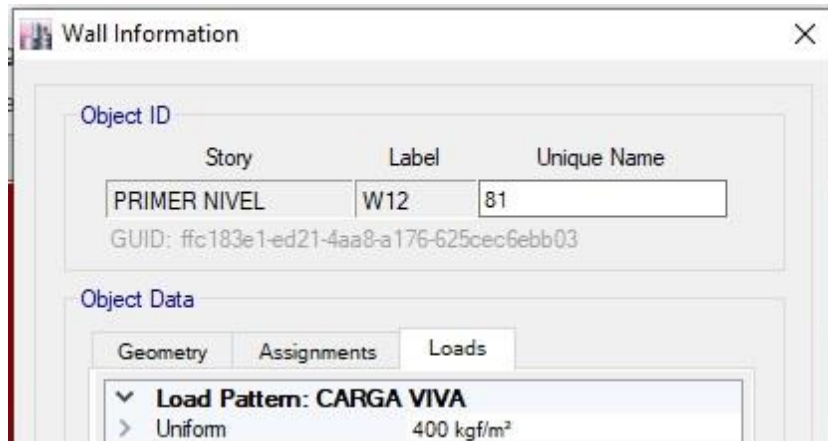


Figura 53. Cargas de la escalera  
Fuente: ETABS

#### 4.3.1. Cálculo de espectro del diseño

La pseudoaceleración se rige en función de la formula expuesta en la norma E.030, en ambas direcciones se utilizaron los parámetros sísmicos calculados previamente (ver tabla 26).

Tabla 34  
Pseudoaceleración

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

Fuente: Sencico (2018)

#### En donde:

Sa: Pseudoaceleración

Z: Factor de zona

U: Factor de uso

C: Factor de amplificación sísmica

S: Factor de suelo

R: Coeficiente de reducción de las fuerzas sísmicas

g: Aceleración de la gravedad

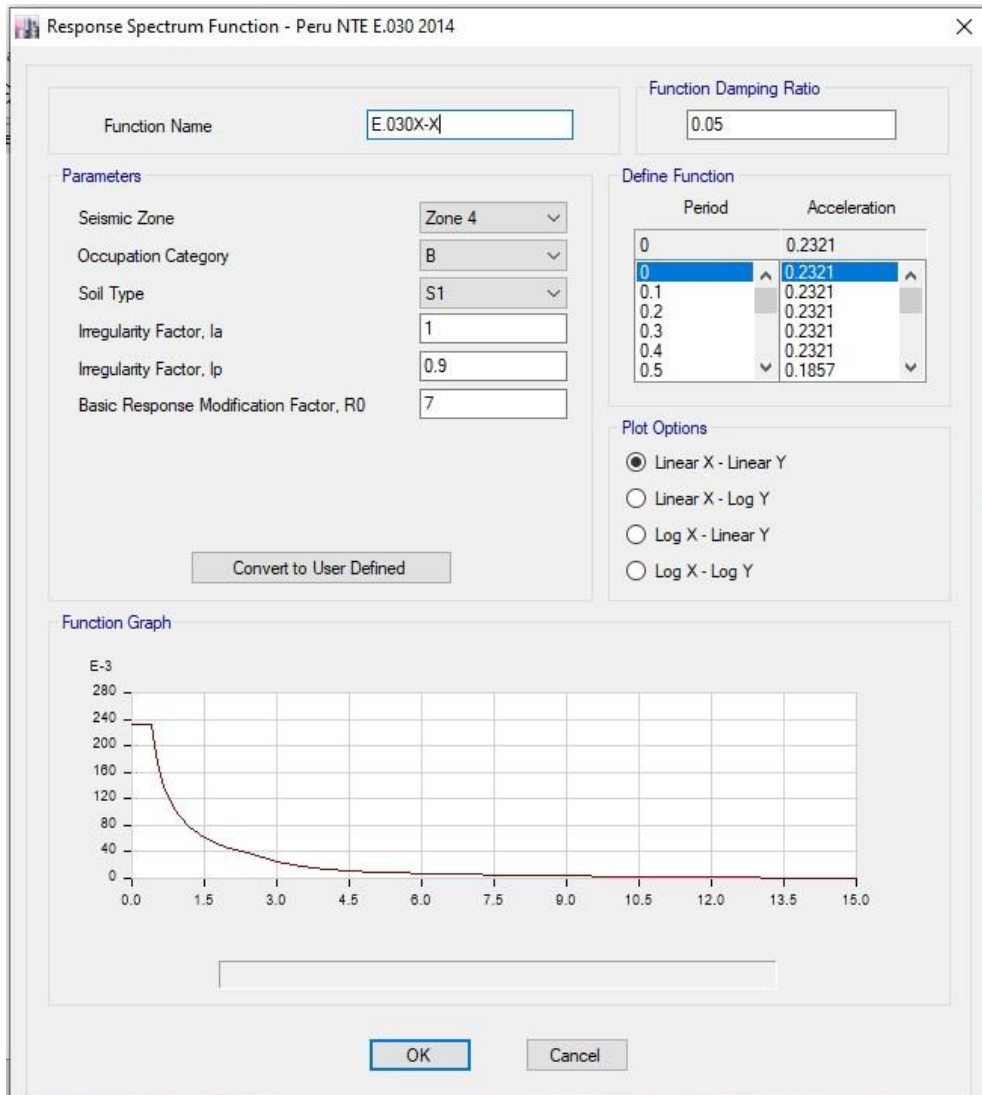


Figura 54. Respuesta espectral en X-X  
Fuente: ETABS

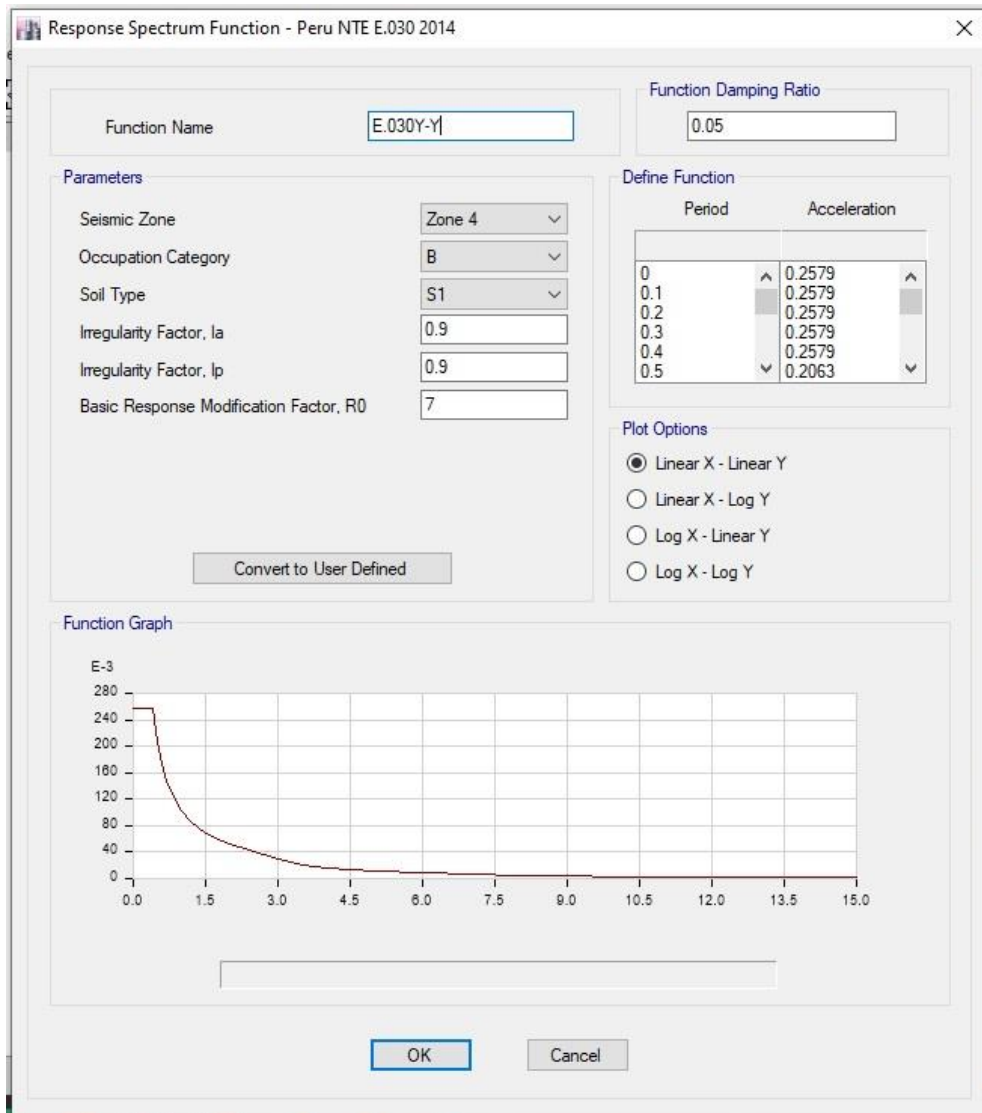


Figura 55. Respuesta espectral en Y-Y  
Fuente: ETABS

La aceleración de la gravedad se añadió en la definición de los casos para las cargas.

#### 4.3.2. Modelamiento en ETABS

Se reanudó con el modelamiento estático previo cuando se agregó las funciones de los espectros y se creó tantos casos modales como nos dice la norma E.030 (mínimo tres modos de vibración por nivel o la cantidad necesaria que haga participar el 90% de la masa total del edificio).

##### a) Modos de vibración

Para la edificación estudiada se definió un total de doce modos de vibración, debido a que cuenta con cuatro niveles.

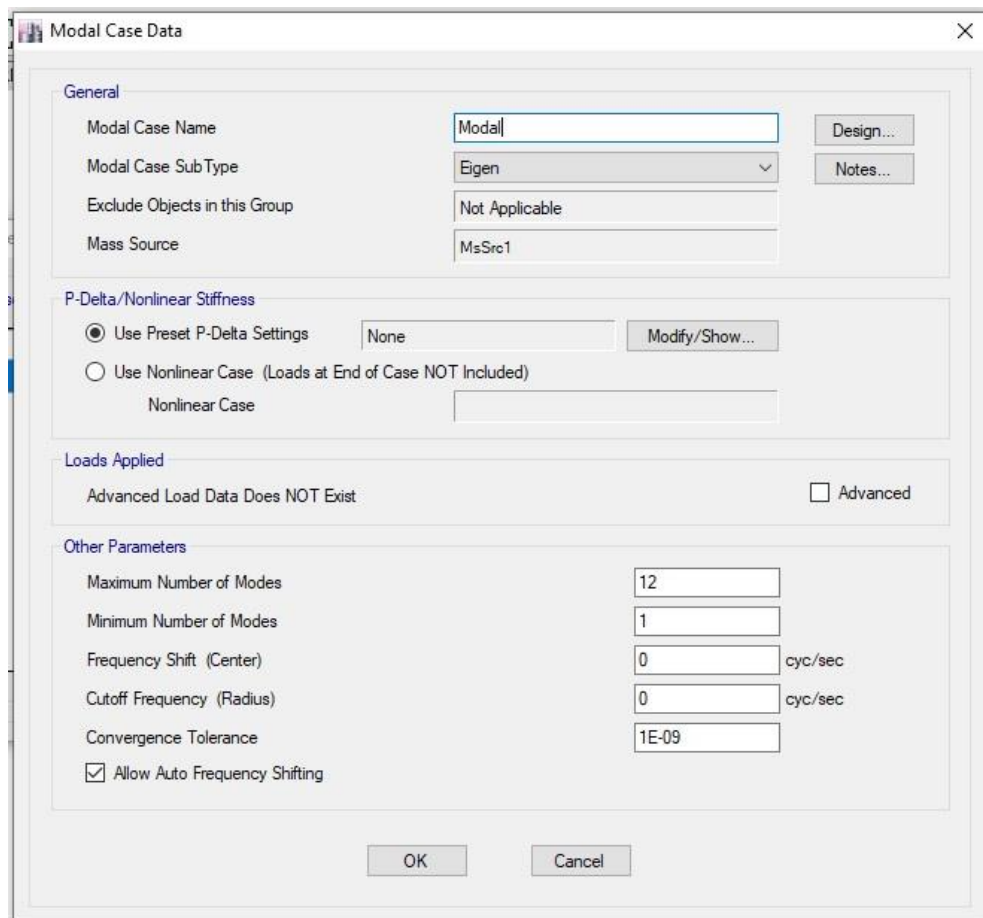


Figura 56. Casos modales  
Fuente: ETABS

## b) Casos de cargas

Se definió los casos de carga según la función de los espectros que hubo previamente para ambas direcciones.

Al momento de definir el sismo dinámico en X, en el *software* se seleccionó la dirección U1, la función del espectro X-X creado y un factor escala (aceleración de la gravedad). El tipo de combinación utilizado fue determinado por la norma SRSS (raíz cuadrada de la suma de los cuadrados).



**Load Case Data**

**General**

Load Case Name: SISMO DINAMICO X-X [Design...]

Load Case Type: Response Spectrum [Notes...]

Exclude Objects in this Group: Not Applicable

Mass Source: Previous (MsSrc1)

**Loads Applied**

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Acceleration	U1	E.030X-X	9806.7

[Add] [Delete] [Advanced]

**Other Parameters**

Modal Load Case: Modal

Modal Combination Method: CQC

Include Rigid Response

Rigid Frequency, f1: [ ]

Rigid Frequency, f2: [ ]

Periodic + Rigid Type: [ ]

Earthquake Duration, td: [ ]

Directional Combination Type: SRSS

Absolute Directional Combination Scale Factor: [ ]

Modal Damping: Constant at 0.05 [Modify/Show...]

Diaphragm Eccentricity: 0 for All Diaphragms [Modify/Show...]

[OK] [Cancel]

Figura 57. Casos de carga en X-X  
Fuente: ETABS

Al definir el sismo dinámico en Y, en el *software* se seleccionó la dirección U2, la función del espectro Y-Y creado y un factor escala (aceleración de la gravedad). El tipo de combinación utilizado fue determinado por la norma SRSS (raíz cuadrada de la suma de los cuadrados).

**Load Case Data** [X]

**General**

Load Case Name:  [Design...]

Load Case Type:  [Notes...]

Exclude Objects in this Group:

Mass Source:

**Loads Applied**

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Acceleration	U2	E.030Y-Y	9806.7

[Add] [Delete]  Advanced

**Other Parameters**

Modal Load Case:

Modal Combination Method:

Include Rigid Response

Rigid Frequency, f1:

Rigid Frequency, f2:

Periodic + Rigid Type:

Earthquake Duration, td:

Directional Combination Type:

Absolute Directional Combination Scale Factor:

Modal Damping:  [Modify/Show...]

Diaphragm Eccentricity:  [Modify/Show...]

[OK] [Cancel]

Figura 58. Casos de carga en Y-Y  
Fuente: ETABS



## CAPÍTULO V RESULTADOS

### 5.1. Estado del análisis estático lineal

A continuación, se muestran los resultados del análisis estático lineal luego de aplicar la teoría adquirida de la norma y del uso del *software* ETABS.

#### 5.1.1. Fuerza cortante estática

##### a) Cortante basal estática en la dirección X

Para calcular la fuerza cortante estática, según la norma E.030 se multiplicó los siguientes factores:

Tabla 35  
*Cortante basal estática en X-X*

---

$$V_x = \frac{Z \cdot U \cdot C_x \cdot S}{R_x} \cdot P_{\text{SISMICO}}$$

---

Fuente: Propia

Es decir, se multiplicó el coeficiente de la cortante basal en la dirección X hallado en la tabla 30 por el peso sísmico. Se halló el peso sísmico multiplicando la masa obtenida del *software* por la aceleración de la gravedad.

Mass Summary by Story				
5 de 5   Reload Apply				
	Story	UX tonf-s <sup>2</sup> /m	UY tonf-s <sup>2</sup> /m	UZ tonf-s <sup>2</sup> /m
	CUARTO NIVEL	73.05503	73.05503	0
	TERCER NIVEL	102.99919	102.99919	0
	SEGUNDO NIVEL	110.16978	110.16978	0
	PRIMER NIVEL	117.26582	117.26582	0
	Base	17.3563	17.3563	0

Figura 59. Mass Summary  
Fuente: ETABS

Tabla 36  
Peso Sísmico

Story	Masa tonf-s <sup>2</sup> /m	Gravedad m/s <sup>2</sup>	Peso sísmico tonf
CUARTO NIVEL	73.05503	9.8067	716.4287627
TERCER NIVEL	102.99919	9.8067	1010.082157
SEGUNDO NIVEL	110.16978	9.8067	1080.401982
PRIMER NIVEL	117.26582	9.8067	1149.990717
TOTAL			3956.8835

Fuente: Propia

Se definió la cortante basal estática en la dirección X multiplicando 0.232 (hallado en la tabla 30) por 3956.8835 (hallado en la tabla 36), y se obtuvo un valor de 917.997 tonf.

Tabla 37  
Cortante basal estática en la dirección X

$V_x =$	$0.232 \times 3956.8835$	$=$	$917.997$
---------	--------------------------	-----	-----------

Fuente: Propia

## b) Cortante basal estática en la dirección Y

Para calcular la fuerza cortante estática se sabe por la norma E.030 que se multiplican los siguientes factores.

Tabla 38  
Cortante basal estática en la dirección X

$V_Y =$	$\frac{Z \cdot U \cdot C_Y \cdot S}{R_Y}$	$\cdot P_{SISMICO}$
---------	---	---------------------

Fuente: Propia

O también dicho el coeficiente de la cortante basal en la dirección X hallado en la tabla 32, multiplicado por el peso sísmico. Se halla el peso sísmico multiplicando la masa obtenida del *software* (se puede apreciar en la figura 58) por la aceleración de la gravedad. Se obtiene así un peso sísmico total de 3956.8835 tonf como se muestra en la tabla 36.

Posteriormente se multiplicó 0.258 (hallado en la tabla 32) por el peso sísmico total.

Tabla 39  
*Cortante basal estática en la dirección Y*

$V_Y =$	$0.258 \times 3956.8835$	$=$	1020.8759
---------	--------------------------	-----	-----------

Fuente: Propia

A continuación, se presenta una tabla resumen del ETABS que contiene las cortantes basales en ambas direcciones.

Tabla 40  
*Peso sísmico y cortante basal estática*

Load pattern	Type	Direction	Eccentricity %	Ecc. overridden	Top story	Bottom story	C	K	Weight used tonf	Base shear tonf
sismo X-X	Seismic	X + Ecc. Y	5	False	cuarto nivel	Base	0.232	1	3956.8835	917.997
sismo Y-Y	Seismic	Y + Ecc. X	5	False	cuarto nivel	Base	0.258	1	3956.8835	1020.8759

Fuente: ETABS

### 5.1.2. Fuerzas sísmicas en altura ( $F_i$ )

La fuerza cortante basal calculada previamente para ambas direcciones se distribuyó en la edificación mediante un factor  $\alpha_i$  que varía según las alturas de los entrepisos, y se obtuvo las fuerzas sísmicas aplicadas a cada nivel.

Tabla 41  
*Fuerza sísmica en altura*

$F_i =$	$\alpha_i \cdot V$
---------	--------------------

Fuente: Sencico (2018)

$$\alpha_i = \frac{P_i(h_i)^k}{\sum_{j=1}^n P_j(h_j)^k}$$

Figura 60. Factor  $\alpha_i$   
Fuente: Sencico (2018)

Tabla 42  
Fuerzas sísmicas en altura en X-X

Nivel	M <sub>i</sub>	P <sub>i</sub>	h <sub>i</sub>	P <sub>i</sub> x (h <sub>i</sub> ) <sup>k</sup>	α <sub>i</sub>	F <sub>i</sub>
4	73.05503	716.4287627	3.52	2521.82924	0.15956174	146.477193
3	102.99919	1010.082157	3.87	3909.01795	0.24733225	227.050257
2	110.16978	1080.401982	3.78	4083.91949	0.25839866	237.209187
1	117.26582	1149.990717	4.60	5289.9573	0.33470735	307.260335
	Σ =	3956.8835	Σ =	15804.724	V <sub>x</sub> =	917.997

Fuente: Propia

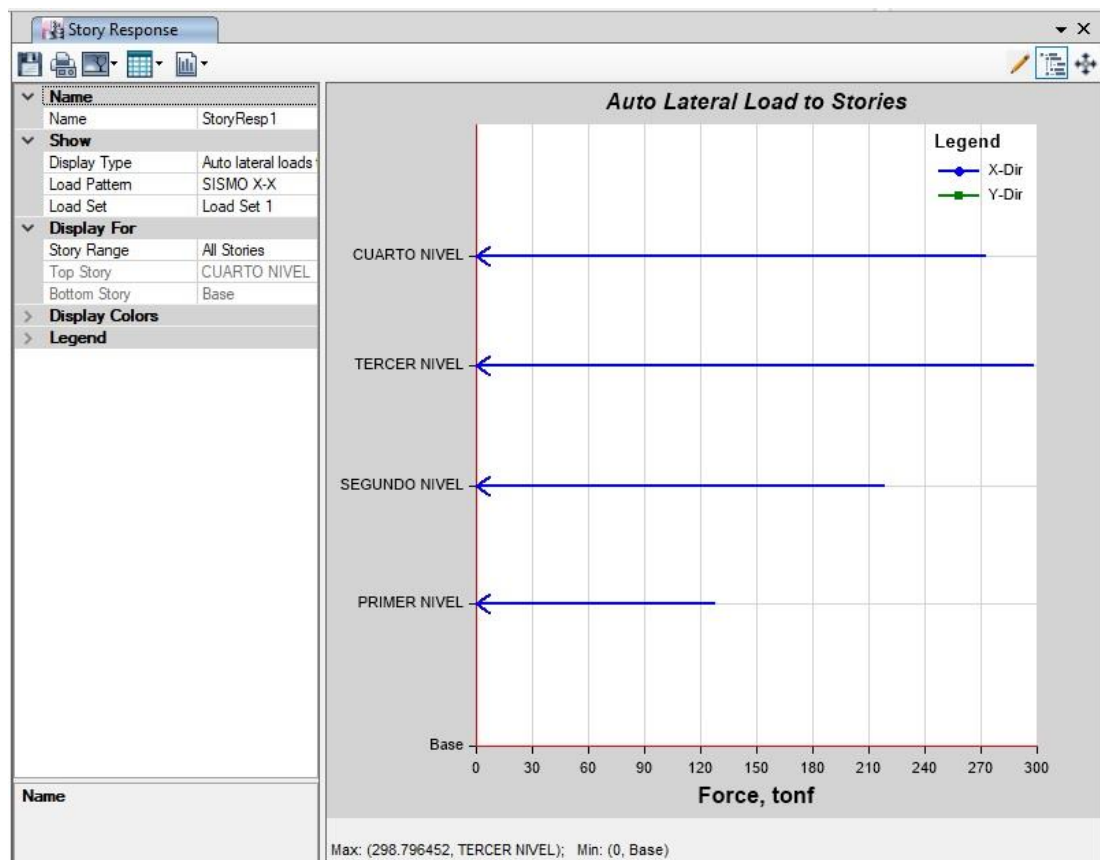


Figura 61. Fuerza sísmica en altura en X-X  
Fuente: ETABS

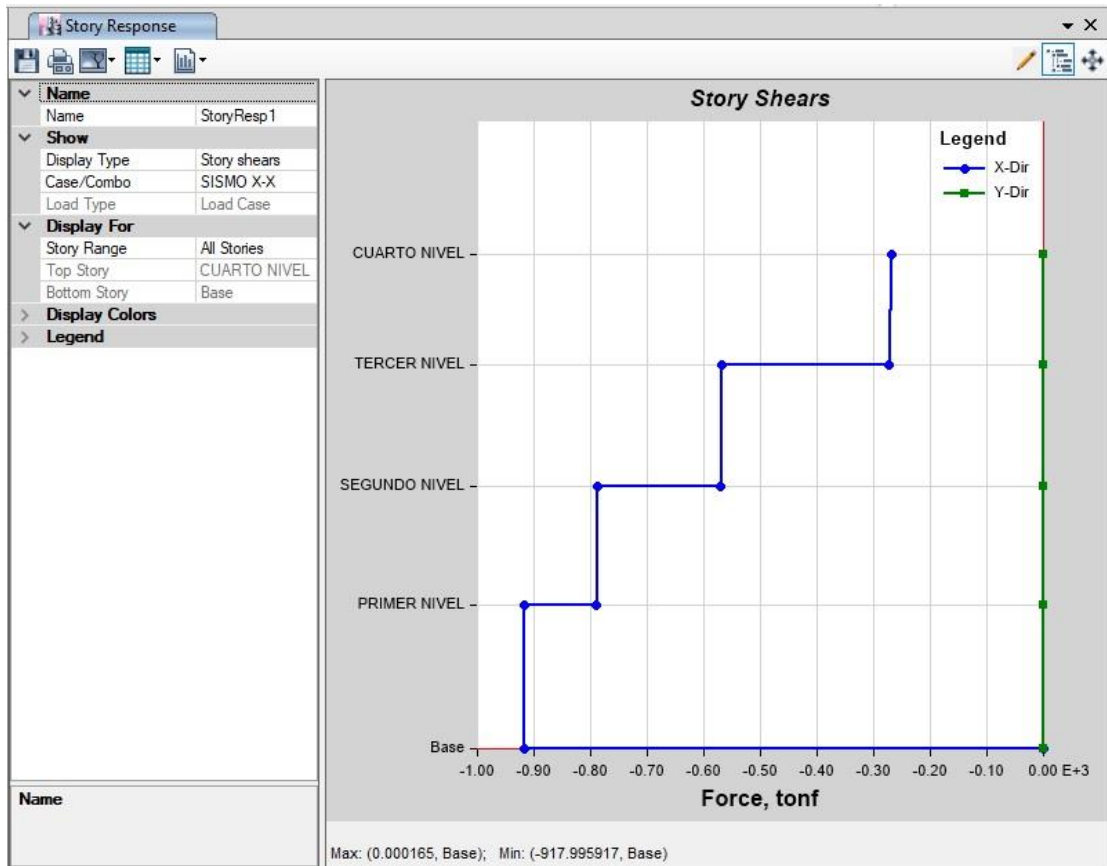


Figura 62. Fuerzas cortantes estáticas en X-X  
Fuente: ETABS

Tabla 43  
Fuerzas sísmicas en altura en Y-Y

Nivel	$M_i$	$P_i$	$h_i$	$P_i \times (h_i)^k$	$\alpha_i$	$F_i$
4	73.05503	716.428763	3.52	2521.82924	0.15956174	162.892741
3	102.99919	1010.08216	3.87	3909.01795	0.24733225	252.495544
2	110.16978	1080.40198	3.78	4083.91949	0.25839866	263.792975
1	117.26582	1149.99072	4.60	5289.9573	0.33470735	341.694683
	$\Sigma =$	3956.8835	$\Sigma =$	15804.724	$V_Y =$	1020.8759

Fuente: Propia

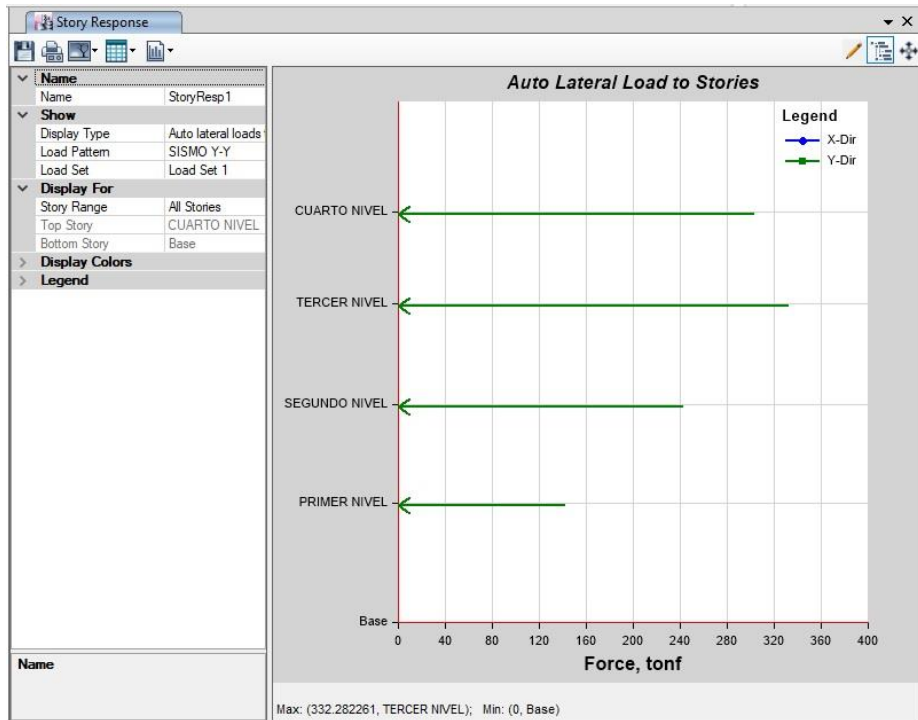


Figura 63. Fuerzas sísmicas en altura en Y-Y  
Fuente: ETABS



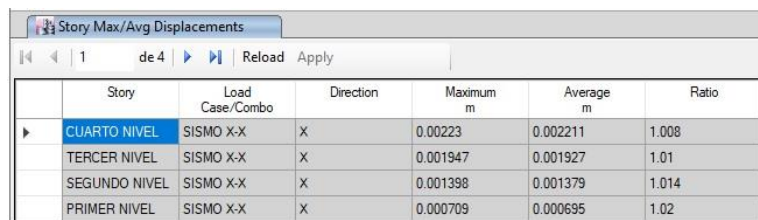
Figura 64. Fuerzas cortantes estáticas en Y-Y  
Fuente: ETABS

### 5.1.3. Desplazamiento lateral estático y distorsión del entrepiso (deriva)

Los desplazamientos laterales son producidos por las fuerzas sísmicas aplicadas en cada entrepiso para ambas direcciones.

La deriva es la razón geométrica, cuyo antecedente es la diferencia de desplazamientos laterales consecutivos y cuyo consecuente es la altura de entrepiso de los mismos.

#### a) Desplazamiento lateral estático y deriva en la dirección X



Story	Load Case/Combo	Direction	Maximum m	Average m	Ratio
CUARTO NIVEL	SISMO X-X	X	0.00223	0.002211	1.008
TERCER NIVEL	SISMO X-X	X	0.001947	0.001927	1.01
SEGUNDO NIVEL	SISMO X-X	X	0.001398	0.001379	1.014
PRIMER NIVEL	SISMO X-X	X	0.000709	0.000695	1.02

Figura 65. Desplazamientos laterales estáticos X-X  
Fuente: ETABS

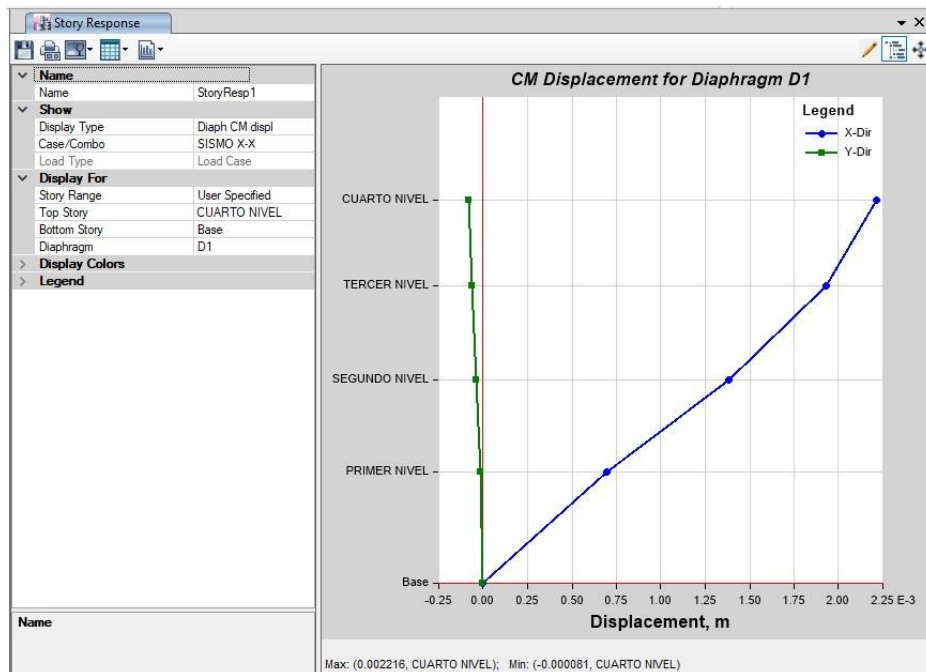


Figura 66. Grafica de desplazamientos laterales estáticos  
Fuente: ETABS

Tabla 44  
Relación desplazamiento lateral estático y deriva X-X

Story	Load case/combo	Ux m	$\Delta_i - \Delta_{i-1}$ m	$h_i$ m	$(\Delta_i - \Delta_{i-1}) / h_i$ Deriva
Cuarto nivel	SISMO X-X	0.002211	0.000284	3.52	0.00008
Tercer nivel	SISMO X-X	0.001927	0.000548	3.87	0.00014
Segundo nivel	SISMO X-X	0.001379	0.000684	3.78	0.00018
Primer nivel	SISMO X-X	0.000695	0.000695	4.60	0.00015

Fuente: Propia

Story	Load Case/Combo	Direction	Drift	Label	X m	Y m	Z m
CUARTO NIVEL	SISMO X-X	X	8.1E-05	235	62.0065	23.2354	15.77
TERCER NIVEL	SISMO X-X	X	0.000142	269	1.6304	0.15	12.25
SEGUNDO NIVEL	SISMO X-X	X	0.000182	269	1.6304	0.15	8.38
PRIMER NIVEL	SISMO X-X	X	0.000154	269	1.6304	0.15	4.6

Figura 67. Drifts estáticos X-X  
Fuente: ETABS

Tabla 45  
Límites para deriva, según la norma E.030

LÍMITES PARA LA DISTORSIÓN DEL ENTREPISO	
MATERIAL PREDOMINANTE	$(\Delta_i - \Delta_{i-1}) / h_i$
Concreto armado	0.007
Acero	0.010
Albañilería	0.005
Madera	0.010
Edificios de concreto armado con muros de ductilidad limitada	0.005

Fuente: Sencico (2018)

Antes de comparar los valores, se multiplicó la deriva obtenida del *software* por 0.85R, según la norma E.030, pues se trata de una edificación irregular, en donde R es el coeficiente de reducción de las fuerzas sísmicas hallado previamente.



Tabla 46  
Deriva estática en X-X

Story	Load case/combo	Dir.	Drift	R x 0.85	Deriva real	Norma	Condición
Cuarto nivel	SISMO X-X	X	0.000081	5.36	0.00043	0.007	CUMPLE
Tercer nivel	SISMO X-X	X	0.000142	5.36	0.00076	0.007	CUMPLE
Segundo nivel	SISMO X-X	X	0.000182	5.36	0.00097	0.007	CUMPLE
Primer nivel	SISMO X-X	X	0.000154	5.36	0.00082	0.007	CUMPLE

Fuente: Propia

### b) Desplazamiento lateral estático y deriva en la dirección Y

Story	Load Case/Combo	Direction	Maximum m	Average m	Ratio
CUARTO NIVEL	SISMO Y-Y	Y	0.003435	0.002799	1.227
TERCER NIVEL	SISMO Y-Y	Y	0.002996	0.002429	1.233
SEGUNDO NIVEL	SISMO Y-Y	Y	0.002168	0.00174	1.246
PRIMER NIVEL	SISMO Y-Y	Y	0.001061	0.000882	1.202

Figura 68. Desplazamientos laterales estáticos Y-Y  
Fuente: ETABS

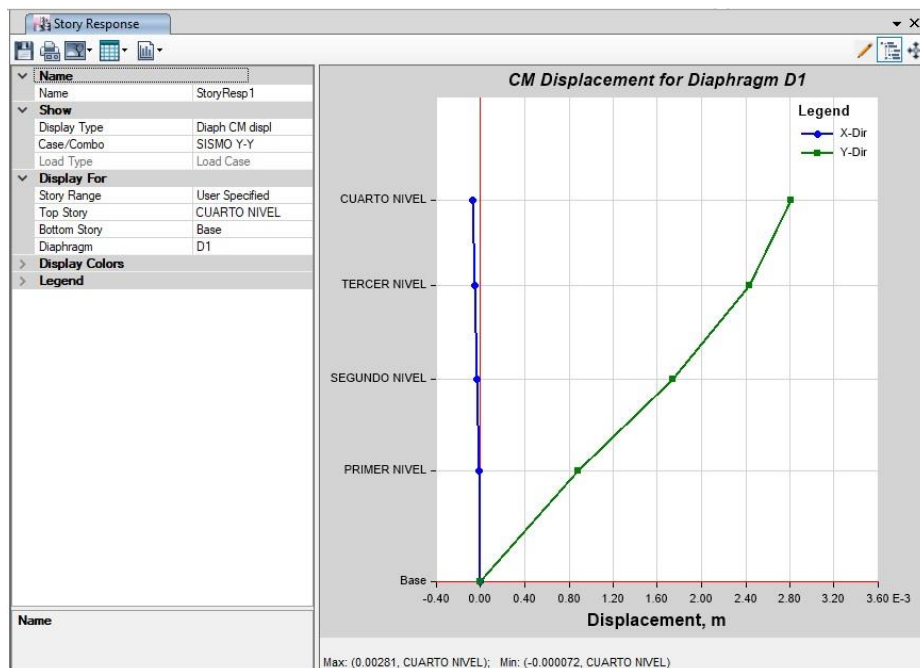


Figura 69. Gráfica de desplazamientos laterales estáticos Y-Y  
Fuente: ETABS

Tabla 47  
Relación desplazamiento lateral estático y deriva Y-Y

Story	Load case/combo	Uy m	$\Delta_i - \Delta_{i-1}$ m	$h_i$ m	$(\Delta_i - \Delta_{i-1}) / h_i$ Deriva
Cuarto nivel	SISMO Y-Y	0.002799	0.00037	3.52	0.000125
Tercer nivel	SISMO Y-Y	0.002429	0.000689	3.87	0.000214
Segundo nivel	SISMO Y-Y	0.00174	0.000858	3.78	0.000293
Primer nivel	SISMO Y-Y	0.000882	0.000882	4.60	0.000231

Fuente: Propia

Story	Load Case/Combo	Direction	Drift	Label	X m	Y m	Z m
CUARTO NIVEL	SISMO Y-Y	Y	0.000125	79	62.0565	23.2354	15.77
TERCER NIVEL	SISMO Y-Y	Y	0.000214	79	62.0565	23.2354	12.25
SEGUNDO NIVEL	SISMO Y-Y	Y	0.000293	79	62.0565	23.2354	8.38
PRIMER NIVEL	SISMO Y-Y	Y	0.000231	235	62.0065	23.2354	4.6

Figura 70. Drifts estáticos Y-Y  
Fuente: ETABS

La deriva no puede superar los parámetros establecidos por la norma E.030, tabla 45.

Antes de comparar los valores, se multiplicó la deriva obtenida del *software* por 0.85R, según la norma E.030, pues se trata de una edificación irregular, en donde R es el coeficiente de reducción de las fuerzas sísmicas hallado previamente.

Tabla 48  
Deriva estática en Y-Y

Story	Load case/combo	Dir.	Drift	R x 0.85	Deriva real	Norma	Condición
Cuarto nivel	SISMO Y-Y	Y	0.000125	4.82	0.00060	0.007	CUMPLE
Tercer nivel	SISMO Y-Y	Y	0.000214	4.82	0.00103	0.007	CUMPLE
Segundo nivel	SISMO Y-Y	Y	0.000293	4.82	0.00141	0.007	CUMPLE
Primer nivel	SISMO Y-Y	Y	0.000231	4.82	0.00111	0.007	CUMPLE

Fuente: Propia

### 5.1.4. Verificación de irregularidades

Dado que había irregularidades, estas no se podían comprobar sin antes obtener los resultados de los análisis.

#### a) Irregularidad de rigidez – piso blando

Story	Load Case	Shear X tonf	Drift X m	Stiffness X tonf/m	Shear Y tonf	Drift Y m	Stiffness Y tonf/m
CUARTO NIVEL	SISMO X-X	272.8268	0.000284	961143.29	0.0001	1.7E-05	0
TERCER NIVEL	SISMO X-X	571.6228	0.000549	1042060.323	0.0001	2.5E-05	0
SEGUNDO NIVEL	SISMO X-X	790.2537	0.000684	1156022.269	0.0001	2.4E-05	0
PRIMER NIVEL	SISMO X-X	917.9959	0.000695	1320534.964	0.0002	2.7E-05	0

Figura 71. Rigidez estática por nivel en X-X  
Fuente: ETABS

Tabla 49  
Rigidez estática por nivel en X-X

Story	Load case	Shear X tonf	Drift X m	Stiffness X tonf/m
CUARTO NIVEL	SISMO X-X	272.8268	0.000284	961143.29
TERCER NIVEL	SISMO X-X	571.6228	0.000549	1042060.32
SEGUNDO NIVEL	SISMO X-X	790.2537	0.000684	1156022.27
PRIMER NIVEL	SISMO X-X	917.9959	0.000695	1320534.96

Fuente: ETABS

Según la norma E.030, el edificio es irregular por piso blando cuando la rigidez de un entrepiso es menor al 70% del entrepiso superior consecutivo o cuando es menor que el 80% del promedio de los tres entrepisos superiores consecutivos.

Tabla 50  
Piso blando estático condición 1 en X-X

NIVEL	Condición			Estado
	K	<	$K_{n+1} \times 0.7$	
4N	961143.29	<	-	-
3N	1042060.32	<	672800.303	REGULAR
2N	1156022.27	<	729442.226	REGULAR
1N	1320534.96	<	809215.588	REGULAR

Fuente: Propia

Tabla 51  
Piso blando estático condición 2 en X-X

NIVEL	Condición			Estado
	K	<	$0.8 \times (K_{n+1} + K_{n+2} + K_{n+3})/3$	
4N	961143.29	<	-	-
3N	1042060.32	<	-	-
2N	1156022.27	<	-	-
1N	1320534.96	<	842460.235	REGULAR

Fuente: Propia

No presenta irregularidad por piso blando en el eje X.

Story	Load Case	Shear X tonf	Drift X m	Stiffness X tonf/m	Shear Y tonf	Drift Y m	Stiffness Y tonf/m
CUARTO NIVEL	SISMO Y-Y	0.0002	2.4E-05	0	303.4025	0.00037	821059.457
TERCER NIVEL	SISMO Y-Y	0.0003	4.5E-05	0	635.6846	0.000689	922116.873
SEGUNDO NIVEL	SISMO Y-Y	0.0003	6.9E-05	0	878.8173	0.000858	1024138.022
PRIMER NIVEL	SISMO Y-Y	0.0003	4.7E-05	0	1020.8754	0.000882	1157190.624

Figura 72. Rigidez estática por nivel en Y-Y

Fuente: ETABS

Tabla 52  
Rigidez estática por nivel en Y-Y

Story	Load case	Shear Y tonf	Drift Y m	Stiffness Y tonf/m
CUARTO NIVEL	SISMO Y-Y	303.4025	0.00037	821059.457
TERCER NIVEL	SISMO Y-Y	635.6846	0.000689	922116.873
SEGUNDO NIVEL	SISMO Y-Y	878.8173	0.000858	1024138.02
PRIMER NIVEL	SISMO Y-Y	1020.8754	0.000882	1157190.62

Fuente: ETABS

Tabla 53  
Piso blando estático condición 1 en Y-Y

NIVEL	Condición			Estado
	K	<	$K_{n+1} \times 0.7$	
4N	821059.457	<	-	-
3N	922116.873	<	574741.62	REGULAR
2N	1024138.02	<	645481.811	REGULAR
1N	1157190.62	<	716896.615	REGULAR

Fuente: Propia

Tabla 54  
Piso blando estático condición 2 en Y-Y

NIVEL	Condición			Estado
	K	<	$0.8 \times (K_{n+1} + K_{n+2} + K_{n+3})/3$	
4N	821059.457	<	-	-
3N	922116.873	<	-	-
2N	1024138.02	<	-	-
1N	1157190.62	<	737950.494	REGULAR

Fuente: Propia

No presenta irregularidad por piso blando en el eje Y.

### b) Irregularidad de resistencia – piso débil

En la figura 68 se aprecian las fuerzas cortantes en X-X por nivel de entrepiso.

Tabla 55

*Fuerza cortante estática por nivel en X-X*

Story	Load case	Shear X tonf
CUARTO NIVEL	SISMO X-X	272.8268
TERCER NIVEL	SISMO X-X	571.6228
SEGUNDO NIVEL	SISMO X-X	790.2537
PRIMER NIVEL	SISMO X-X	917.9959

Fuente: ETABS

Tabla 56

*Piso débil estático condición en X-X*

NIVEL	Condición			Estado
	V	<	$V_{n+1} \times 0.8$	
4N	272.8268	<	-	-
3N	571.6228	<	218.26144	REGULAR
2N	790.2537	<	457.29824	REGULAR
1N	917.9959	<	632.20296	REGULAR

Fuente: Propia

No presenta irregularidad por piso débil en el eje X.

En la figura 69 se aprecian las fuerzas cortantes en Y-Y por nivel de entrepiso.

Tabla 57  
Fuerza cortante estática por nivel en Y-Y

Story	Load case	Shear Y tonf
CUARTO NIVEL	SISMO Y-Y	303.4025
TERCER NIVEL	SISMO Y-Y	635.6846
SEGUNDO NIVEL	SISMO Y-Y	878.8173
PRIMER NIVEL	SISMO Y-Y	1020.8754

Fuente: ETABS

Tabla 58  
Piso débil estático condición en Y-Y

NIVEL	Condición			Estado
	V	<	$V_{n+1} \times 0.8$	
4N	303.4025	<	-	-
3N	635.6846	<	242.722	REGULAR
2N	878.8173	<	508.54768	REGULAR
1N	1020.8754	<	703.05384	REGULAR

Fuente: Propia

No presenta irregularidad por piso débil en la dirección Y.

### c) Discontinuidad en los sistemas resistentes

No presenta esta irregularidad, debido a que todos los elementos estructurales que soportan las fuerzas de corte son continuos desde el primer nivel hasta el último nivel, según se puede ver en los planos.

### d) Discontinuidad extrema de los sistemas resistentes

No presenta esta irregularidad, debido a que no existe discontinuidad en los sistemas resistentes.

### e) Irregularidad torsional

Se comprobó primero si los entrepisos cumplían la condición para que se pueda aplicar esta irregularidad. Con este fin, se usaron los desplazamientos relativos máximos que se indican en la figura 64.

Tabla 59  
Irregularidad torsional estática condición 1 en X-X

Story	Load case/co mbo	Ux max	$\Delta_i - \Delta_{i-1}$	$h_i$	$(\Delta_i - \Delta_{i-1}) / h_i$	Deriva x	>	0.5 x 0.007
		m	m	m	Deriva	0.85R		
4to nivel	SISMO X-X	0.00223	0.000283	3.52	0.00008	0.00043	No cumple	0.0035
3er nivel	SISMO X-X	0.001947	0.000549	3.87	0.00014	0.00076	No cumple	0.0035
2do nivel	SISMO X-X	0.001398	0.000689	3.78	0.00018	0.00010	No cumple	0.0035
1er nivel	SISMO X-X	0.000709	0.000709	4.60	0.00015	0.00083	No cumple	0.0035

Fuente: Propia

No se puede aplicar la irregularidad torsional estática en la dirección X.

Para la dirección Y se utilizó también los desplazamientos relativos máximos que se indican en la figura 67.

Tabla 60  
Irregularidad torsional estática condición 1 en Y-Y

Story	Load case/co mbo	Uy max	$\Delta_i - \Delta_{i-1}$	$h_i$	$(\Delta_i - \Delta_{i-1}) / h_i$	Deriva x	>	0.5 x 0.007
		m	m	m	Deriva	0.85R		
4to nivel	SISMO Y-Y	0.003435	0.000439	3.52	0.00012	0.00060	No cumple	0.0035
3er nivel	SISMO Y-Y	0.002996	0.000828	3.87	0.00021	0.00103	No cumple	0.0035
2do nivel	SISMO Y-Y	0.002168	0.001107	3.78	0.00029	0.00141	No cumple	0.0035
1er nivel	SISMO Y-Y	0.001061	0.001061	4.60	0.00023	0.00111	No cumple	0.0035

Fuente: Propia

No se puede aplicar la irregularidad torsional estática en la dirección Y.

#### f) Irregularidad torsional extrema

No presenta esta irregularidad, debido a que no existe irregularidad torsional.

#### g) Sistemas no paralelos

No se aplica esta irregularidad, debido a que el mayor ángulo que forman los ejes en los que se encuentran los elementos estructurales que resisten las fuerzas cortantes del piso es menor a  $4^\circ$ , y por norma deben formar un ángulo mayor o igual a  $30^\circ$ .

## 5.2. Resultados del análisis dinámico lineal

Se muestran los resultados del análisis dinámico lineal después de la aplicación de la teoría adquirida de la norma y de la ayuda del *software* ETABS.

### 5.2.1. Modos de vibración

Debido a que se tomó en cuenta doce modos (tres modos por piso) para este análisis, se comprobó que con los seis primeros modos se superó el 90% de participación de la masa para la dirección X, en cambio, para la dirección Y se superó en los cinco primeros modos.

Tabla 61  
*Modos de vibración y participación de la masa*

Case	Mode	Period sec	UX	UY	RZ	Sum UX	Sum UY	Sum RZ
Modal	1	0.174	0.0002	0.5883	0.2861	0.0002	0.5883	0.2861
Modal	2	0.163	0.4728	0.1341	0.2702	0.4730	0.7224	0.5563
Modal	3	0.154	0.3969	0.1481	0.3274	0.8699	0.8705	0.8837
Modal	4	0.055	0.0021	0.0075	0.0842	0.8720	0.8780	0.9679
Modal	5	0.054	0.0148	0.0839	0.0031	0.8868	0.9619	0.971
Modal	6	0.052	0.0845	0.0104	0.0065	0.9713	0.9723	0.9775
Modal	7	0.031	0.0013	0.0001	0.0167	0.9726	0.9724	0.9942
Modal	8	0.029	0.0031	0.0195	0.0004	0.9757	0.9919	0.9946
Modal	9	0.028	0.0179	0.0026	0.0012	0.9936	0.9945	0.9958
Modal	10	0.023	0.0001	0.0001	0.0031	0.9937	0.9946	0.9989
Modal	11	0.02	0.0000	0.0046	0.0002	0.9937	0.9992	0.9991
Modal	12	0.02	0.0048	0.0000	0.0002	0.9985	0.9992	0.9993

Fuente: ETABS

En el primer modo, el predominio de la participación de masa es en la dirección Y con un 59%. En el segundo modo, en el eje X es en donde predomina la participación de masa con un 47%. En el tercer modo más participa la masa de la torsión en planta con un 33%.



A continuación, se muestra los modos con mayor masa participativa de la estructura.

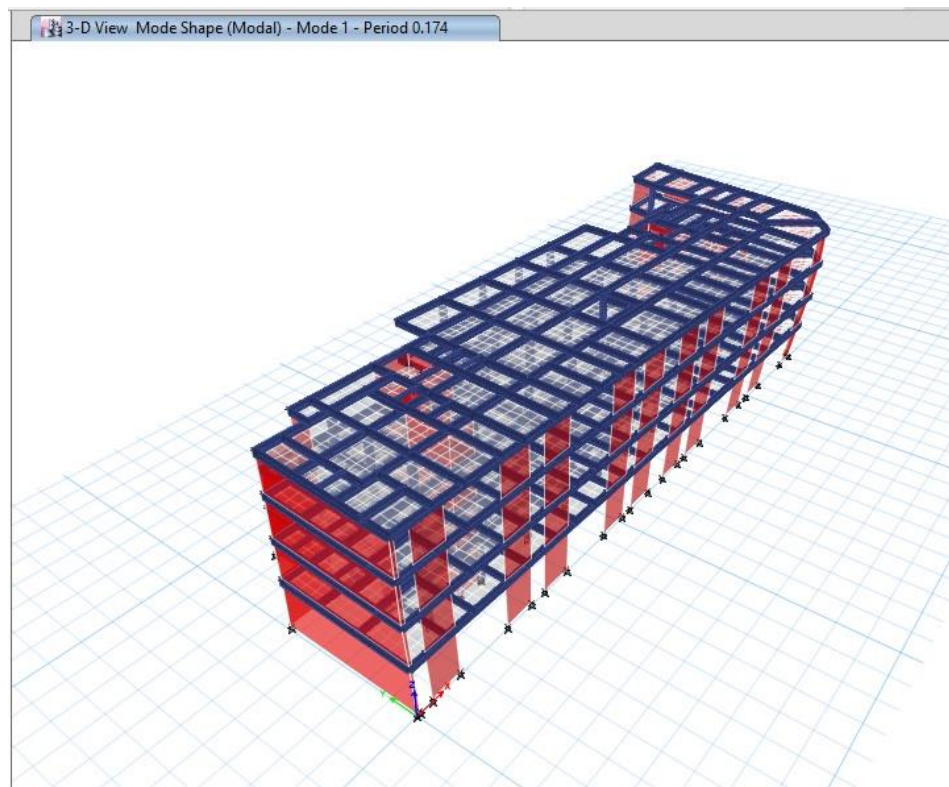


Figura 73. Modo 1  
Fuente: ETABS

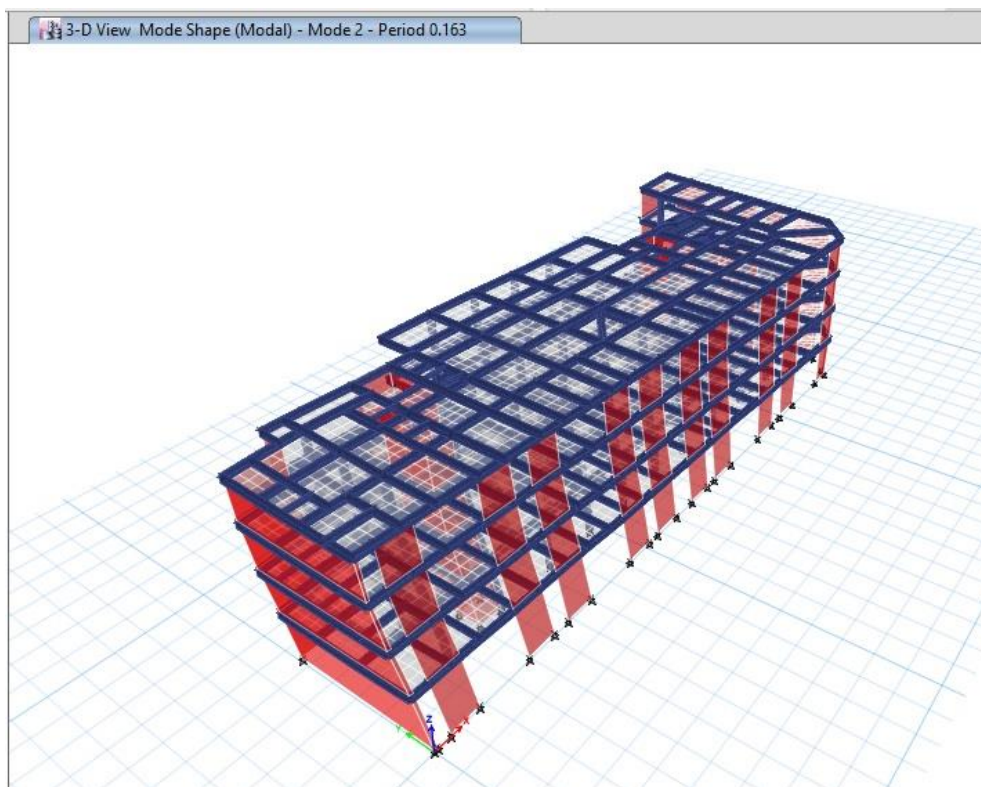


Figura 74. Modo 2  
Fuente: ETABS

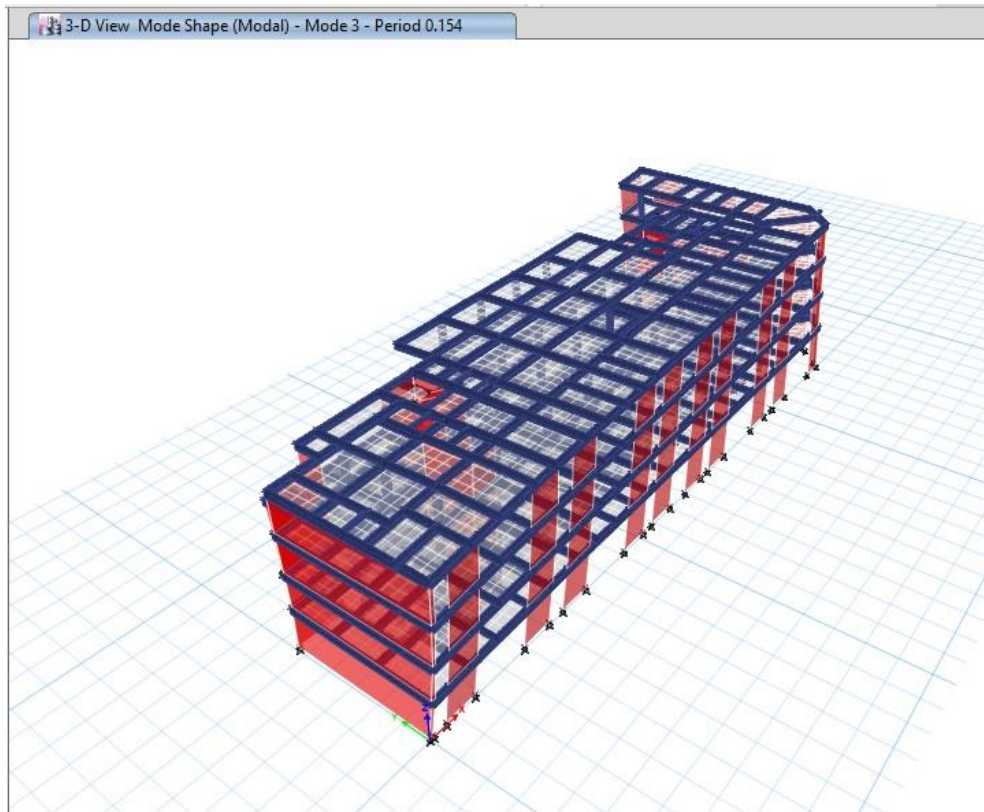


Figura 75. Modo 3  
Fuente: ETABS

## 5.2.2. Cortante estática vs. cortante dinámica

Las fuerzas cortantes deben cumplir una relación, según la norma E.030. Ya que se trata de una edificación irregular, la fuerza cortante dinámica debe ser mayor o igual al 90% de la fuerza cortante estática.

Tabla 62  
Fuerzas cortantes

Story	Load case/combo	Location	VX	VY
			tonf	tonf
PRIMER NIVEL	SISMO X-X	Bottom	-917.997	0.0002
PRIMER NIVEL	SISMO Y-Y	Bottom	0.0003	-1020.8759
PRIMER NIVEL	SISMO DINAMICO X-X Max	Bottom	753.768	157.623
PRIMER NIVEL	SISMO DINAMICO Y-Y Max	Bottom	175.137	797.468

Fuente: ETABS

Tabla 63  
Verificación de fuerzas cortantes

	$V_{DINAMICO}$	$\geq$	$0.9 \times V_{ESTATICO}$
X-X	753.768	NO CUMPLE	826.197
Y-Y	797.468	NO CUMPLE	918.788

Fuente: Propia

Se verifica que no cumple con la condición, entonces se debe escalar según la norma E.030 multiplicando  $(Z \cdot U \cdot S \cdot g / R) \cdot 0.9 \cdot V_{ESTATICO} / V_{DINAMICO}$ .

$$F.E._X = 0.898$$

$$F.E._Y = 1.049$$

Estos factores escala se usaron posteriormente para multiplicarlos por las pseudoaceleraciones en ambas direcciones, y así cumplir la condición de la norma E.030. Con estos nuevos valores, se obtuvieron los datos necesarios para diseñar los elementos estructurales en un posible reforzamiento.

### 5.2.3. Desplazamiento lateral dinámico y distorsión del entrepiso (deriva)

Los desplazamientos laterales son producidos por las fuerzas sísmicas aplicadas en cada entrepiso para ambas direcciones.

La deriva es la razón geométrica, cuyo antecedente es la diferencia de desplazamientos laterales consecutivos y cuyo consecuente es la altura de entrepiso de los mismos.

#### a) Desplazamiento lateral dinámico y deriva en la dirección X

Story	Load Case/Combo	Direction	Maximum m	Average m	Ratio
CUARTO NIVEL	SISMO DINAMICO X-X Max	X	0.001837	0.001795	1.024
TERCER NIVEL	SISMO DINAMICO X-X Max	X	0.001615	0.001575	1.025
SEGUNDO NIVEL	SISMO DINAMICO X-X Max	X	0.001171	0.001137	1.03
PRIMER NIVEL	SISMO DINAMICO X-X Max	X	0.0006	0.000579	1.036

Figura 76. Desplazamientos laterales dinámicos X-X  
Fuente: ETABS

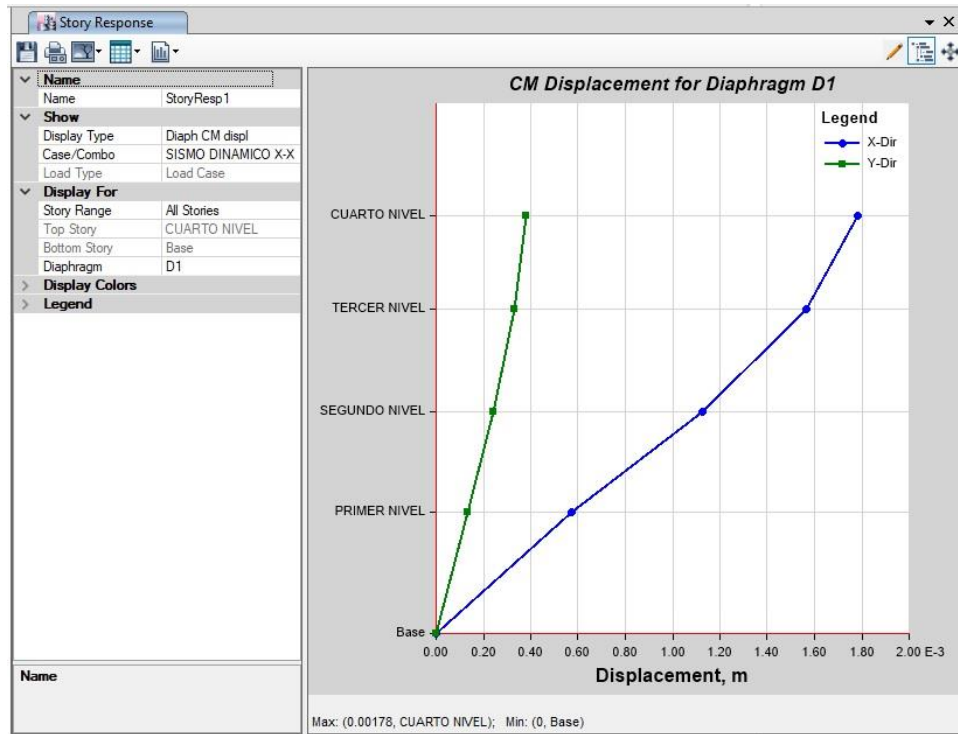


Figura 77. Grafica de desplazamientos laterales dinámicos X-X  
Fuente: ETABS

Tabla 64

Relación desplazamiento lateral dinámico y deriva X-X

Story	Load case/combo	$U_x$ m	$\Delta_i - \Delta_{i-1}$ m	$h_i$ m	$(\Delta_i - \Delta_{i-1}) / h_i$ Deriva
Cuarto nivel	SISMO DINÁMICO X-X Max	0.001795	0.00022	3.52	0.00006
Tercer nivel	SISMO DINÁMICO X-X Max	0.001575	0.000438	3.87	0.00011
Segundo nivel	SISMO DINÁMICO X-X Max	0.001137	0.000558	3.78	0.00015
Primer nivel	SISMO DINÁMICO X-X Max	0.000579	0.000579	4.60	0.00013

Fuente: Propia

Story	Load Case/Combo	Direction	Drift	Label	X m	Y m	Z m
CUARTO NIVEL	SISMO DINAMIC...	X	6.5E-05	269	1.6304	0.15	15.77
TERCER NIVEL	SISMO DINAMIC...	X	0.000116	269	1.6304	0.15	12.25
SEGUNDO NIVEL	SISMO DINAMIC...	X	0.000152	269	1.6304	0.15	8.38
PRIMER NIVEL	SISMO DINAMIC...	X	0.00013	269	1.6304	0.15	4.6

Figura 78. Drifts dinámicos X-X  
Fuente: ETABS

La deriva no puede exceder 0.007 los límites permisibles de la norma E.030, tal como se indica en la tabla 45.

Antes de comparar los valores, se multiplicó la deriva obtenida del *software* por 0.85R según la norma E.030, debido a que se trata de una edificación irregular, en donde R es el coeficiente de reducción de las fuerzas sísmicas hallado previamente.

Tabla 65  
Deriva dinámica en X-X

Story	Load case/combo	Direction	Drift	R x 0.85	DERIVA REAL	NORMA	CONDICIÓN
Cuarto nivel	SISMO DINÁMICO X-X Max	X	0.000065	5.36	0.00035	0.007	CUMPLE
Tercer nivel	SISMO DINÁMICO X-X Max	X	0.000116	5.36	0.00062	0.007	CUMPLE
Segundo nivel	SISMO DINÁMICO X-X Max	X	0.000152	5.36	0.00081	0.007	CUMPLE
Primer nivel	SISMO DINÁMICO X-X Max	X	0.00013	5.36	0.00070	0.007	CUMPLE

Fuente: Propia

## b) Desplazamiento lateral dinámico y deriva en la dirección Y

Story	Load Case/Combo	Direction	Maximum m	Average m	Ratio
CUARTO NIVEL	SISMO DINAMICO Y-Y Max	Y	0.00307	0.002498	1.229
TERCER NIVEL	SISMO DINAMICO Y-Y Max	Y	0.002697	0.002186	1.233
SEGUNDO NIVEL	SISMO DINAMICO Y-Y Max	Y	0.001967	0.001585	1.241
PRIMER NIVEL	SISMO DINAMICO Y-Y Max	Y	0.000982	0.00081	1.212

Figura 79. Desplazamientos laterales dinámicos Y-Y

Fuente: ETABS



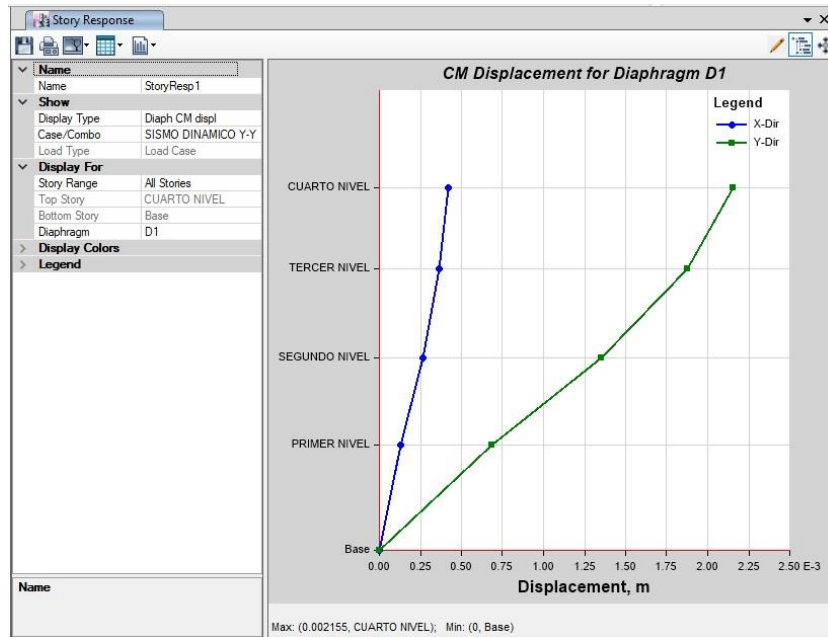


Figura 80. Gráfica de desplazamientos laterales dinámicos Y-Y  
Fuente: ETABS

Tabla 66

Relación desplazamiento lateral dinámico y deriva Y-Y

Story	Load case/combo	U <sub>x</sub>	$\Delta_i - \Delta_{i-1}$	$h_i$	$(\Delta_i - \Delta_{i-1}) / h_i$
		m	m	m	Deriva
Cuarto nivel	SISMO DINÁMICO X-X Max	0.001795	0.00022	3.52	0.00006
Tercer nivel	SISMO DINÁMICO X-X Max	0.001575	0.000438	3.87	0.00011
Segundo nivel	SISMO DINÁMICO X-X Max	0.001137	0.000558	3.78	0.00015
Primer nivel	SISMO DINÁMICO X-X Max	0.000579	0.000579	4.60	0.00013

Fuente: Propia

Story	Load Case/Combo	Direction	Drift	Label	X m	Y m	Z m
CUARTO NIVEL	SISMO DINAMIC...	Y	0.000108	79	62.0565	23.2354	15.77
TERCER NIVEL	SISMO DINAMIC...	Y	0.00019	79	62.0565	23.2354	12.25
SEGUNDO NIVEL	SISMO DINAMIC...	Y	0.000261	79	62.0565	23.2354	8.38
PRIMER NIVEL	SISMO DINAMIC...	Y	0.000213	235	62.0065	23.2354	4.6

Figura 81. Drifts dinámicos Y-Y  
Fuente: ETABS

La deriva no puede exceder 0.007 los límites permisibles de la norma E.030, según se indica en la tabla 45.

Antes de comparar los valores, se multiplicó la deriva obtenida del *software* por 0.85R, según la norma E.030, debido a que se trata de una edificación irregular, en donde R es el coeficiente de reducción de las fuerzas sísmicas hallado previamente.

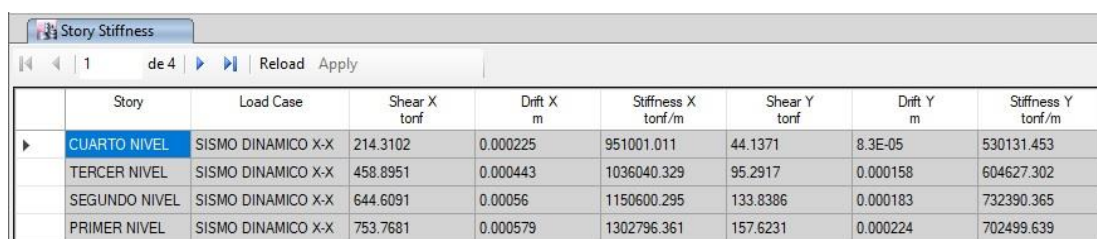
Tabla 67  
Deriva dinámica en Y-Y

Story	Load case/combo	Direction	Drift	R x 0.85	DERIVA REAL	NORMA	CONDICIÓN
Cuarto nivel	SISMO DINÁMICO Y-Y Max	Y	0.000108	4.82	0.00052	0.007	CUMPLE
Tercer nivel	SISMO DINÁMICO Y-Y Max	Y	0.00019	4.82	0.00092	0.007	CUMPLE
Segundo nivel	SISMO DINÁMICO Y-Y Max	Y	0.000261	4.82	0.00126	0.007	CUMPLE
Primer nivel	SISMO DINÁMICO Y-Y Max	Y	0.000213	4.82	0.00103	0.007	CUMPLE

Fuente: Propia

## 5.2.4. Verificación de irregularidades

### a) Irregularidad de rigidez-piso blando



Story	Load Case	Shear X tonf	Drift X m	Stiffness X tonf/m	Shear Y tonf	Drift Y m	Stiffness Y tonf/m
CUARTO NIVEL	SISMO DINAMICO X-X	214.3102	0.000225	951001.011	44.1371	8.3E-05	530131.453
TERCER NIVEL	SISMO DINAMICO X-X	458.8951	0.000443	1036040.329	95.2917	0.000158	604627.302
SEGUNDO NIVEL	SISMO DINAMICO X-X	644.6091	0.00056	1150600.295	133.8386	0.000183	732390.365
PRIMER NIVEL	SISMO DINAMICO X-X	753.7681	0.000579	1302796.361	157.6231	0.000224	702499.639

Figura 82. Rigidez dinámica por nivel en X-X

Fuente: ETABS

Tabla 68  
Rigidez dinámica por nivel en X-X

Story	Load case	Shear X	Drift X	Stiffness X
		tonf	m	tonf/m
CUARTO NIVEL	SISMO DINÁMICO X-X	214.3102	0.000225	951001.011
TERCER NIVEL	SISMO DINÁMICO X-X	458.8951	0.000443	1036040.33
SEGUNDO NIVEL	SISMO DINÁMICO X-X	644.6091	0.00056	1150600.3
PRIMER NIVEL	SISMO DINÁMICO X-X	753.7681	0.000579	1302796.36

Fuente: ETABS

Según la norma E.030, el edificio es irregular por piso blando cuando la rigidez de un entrepiso es menor al 70% del entrepiso superior consecutivo o cuando es menor que el 80% del promedio de los tres entrepisos superiores consecutivos.

Tabla 69  
Piso blando dinámico condición 1 en X-X

NIVEL	Condición			Estado
	K	<	$K_{n+1} \times 0.7$	
4N	951001.011	<	-	-
3N	1036040.33	<	665700.71	REGULAR
2N	1150600.3	<	725228.23	REGULAR
1N	1302796.36	<	805420.21	REGULAR

Fuente: Propia

Tabla 70  
Piso blando dinámico condición 2 en X-X

NIVEL	Condición			Estado
	K	<	$0.8 \times (K_{n+1} + K_{n+2} + K_{n+3})/3$	
4N	951001.011	<	-	-
3N	1036040.33	<	-	-
2N	1150600.3	<	-	-
1N	1302796.36	<	836704.44	REGULAR

Fuente: Propia

No presenta irregularidad por piso blando en el eje X.



Story	Load Case	Shear X tonf	Drift X m	Stiffness X tonf/m	Shear Y tonf	Drift Y m	Stiffness Y tonf/m
CUARTO NIVEL	SISMO DINAMICO Y-Y	49.3404	8.3E-05	596536.448	229.0737	0.000318	720298.306
TERCER NIVEL	SISMO DINAMICO Y-Y	106.4532	0.000162	657140.328	486.2207	0.000608	799637.165
SEGUNDO NIVEL	SISMO DINAMICO Y-Y	150.1699	0.000205	731571.245	681.1051	0.000774	880371.575
PRIMER NIVEL	SISMO DINAMICO Y-Y	175.1369	0.00021	833872.443	797.4675	0.00081	984145.073

Figura 83. Rigidez dinámica por nivel en Y-Y  
Fuente: ETABS

Tabla 71  
*Rigidez dinámica por nivel en Y-Y*

Story	Load Case	Shear Y	Drift Y	Stiffness Y
		tonf	m	tonf/m
CUARTO NIVEL	SISMO DINÁMICO Y-Y	229.0737	0.000318	720298.31
TERCER NIVEL	SISMO DINÁMICO Y-Y	486.2207	0.000608	799637.17
SEGUNDO NIVEL	SISMO DINÁMICO Y-Y	681.1051	0.000774	880371.58
PRIMER NIVEL	SISMO DINÁMICO Y-Y	797.4675	0.00081	984145.07

Fuente: ETABS

Tabla 72  
*Piso blando dinámico condición 1 en Y-Y*

NIVEL	Condición		Estado
	K	$< K_{n+1} \times 0.7$	
4N	720298.31	$< -$	-
3N	799637.17	$< 504208.81$	REGULAR
2N	880371.58	$< 559746.02$	REGULAR
1N	984145.07	$< 616260.1$	REGULAR

Fuente: Propia

Tabla 73  
*Piso blando dinámico condición 2 en Y-Y*

NIVEL	Condición		Estado
	K	$< 0.8 \times (K_{n+1} + K_{n+2} + K_{n+3})/3$	
4N	720298.31	$< -$	-
3N	799637.17	$< -$	-
2N	880371.58	$< -$	-
1N	984145.07	$< 640081.88$	REGULAR

Fuente: Propia

No presenta irregularidad por piso blando en el eje Y.

### b) Irregularidad de resistencia-piso débil

En la figura 79 se consignan las fuerzas cortantes en X-X por nivel de entrepiso.

Tabla 74  
*Fuerza cortante dinámica por nivel en X-X*

Story	Load case	Shear X tonf
CUARTO NIVEL	SISMO DINÁMICO X-X	214.3102
TERCER NIVEL	SISMO DINÁMICO X-X	458.8951
SEGUNDO NIVEL	SISMO DINÁMICO X-X	644.6091
PRIMER NIVEL	SISMO DINÁMICO X-X	753.7681

Fuente: Propia

Tabla 75  
*Piso débil dinámico condición en X-X*

NIVEL	Condición			Estado
	V	<	$V_{n+1} \times 0.8$	
4N	214.3102	<	-	-
3N	458.8951	<	171.44816	REGULAR
2N	644.6091	<	367.11608	REGULAR
1N	753.7681	<	515.68728	REGULAR

Fuente: Propia

No presenta irregularidad por piso débil en el eje X.

En la figura 80 se aprecian las fuerzas cortantes en Y-Y por nivel de entrepiso.

Tabla 76  
*Fuerza cortante dinámica por nivel en Y-Y*

Story	Load case	Shear Y tonf
CUARTO NIVEL	SISMO DINÁMICO Y-Y	229.0737
TERCER NIVEL	SISMO DINÁMICO Y-Y	486.2207
SEGUNDO NIVEL	SISMO DINÁMICO Y-Y	681.1051
PRIMER NIVEL	SISMO DINÁMICO Y-Y	797.4675

Fuente: ETABS

Tabla 77  
Piso débil dinámico condición en Y-Y

NIVEL	Condición			Estado
	V	<	$V_{n+1} \times 0.8$	
4N	229.0737	<	-	-
3N	486.2207	<	183.25896	REGULAR
2N	681.1051	<	388.97656	REGULAR
1N	797.4675	<	544.88408	REGULAR

Fuente: Propia

No presenta irregularidad por piso débil en la dirección Y.

### c) Discontinuidad en los sistemas resistentes

No presenta esta irregularidad, debido a que todos los elementos estructurales que soportan las fuerzas de corte son continuos desde el primer nivel hasta el último nivel, según se puede ver en los planos.

### d) Discontinuidad extrema de los sistemas resistentes

No presenta esta irregularidad, debido a que no existe discontinuidad en los sistemas resistentes.

### e) Irregularidad torsional

Se comprobó primero si los entrepisos cumplían la condición para que se pueda aplicar esta irregularidad. Con este fin, se utilizó los desplazamientos relativos máximos que se indican en la figura 73.

Tabla 78  
Irregularidad torsional dinámica condición 1 en X-X

Story	Load case/combo	$U_x$ max m	$\Delta_i - \Delta_{i-1}$ m	$h_i$ m	$(\Delta_i - \Delta_{i-1}) / h_i$ Deriva	Deriva x 0.85R	>	0.5 x 0.007
4to nivel	SISMO DINÁMICO X-X Max	0.00183 7	0.000222	3.52	0.00006	0.00033773	NO CUMPL E	0.003 5
3er nivel	SISMO DINÁMICO X-X Max	0.00161 5	0.000444	3.87	0.00011	0.00061437	NO CUMPL E	0.003 5
2do nivel	SISMO DINÁMICO X-X Max	0.00117 1	0.000571	3.78	0.00015	0.00080892	NO CUMPL E	0.003 5
1er nivel	SISMO DINÁMICO X-X Max	0.0006	0.0006	4.60	0.00013	0.00069848	NO CUMPL E	0.003 5

Fuente: Propia

No se puede aplicar la irregularidad torsional dinámica en la dirección X.

Para la dirección Y se utilizó también los desplazamientos relativos máximos que se indican en la figura 76.

Tabla 79  
Irregularidad torsional dinámica condición 1 en Y-Y

Story	Load case/combo	Uy max	$\Delta_i - \Delta_{i-1}$	$h_i$	$\frac{(\Delta_i - \Delta_{i-1})}{h_i}$	Deriva x 0.85R	>	0.5 x 0.007
		m	m	m	Deriva			
Cuarto nivel	SISMO DINÁMICO Y-Y Max	0.00307	0.000373	3.52	0.00011	0.0005107	no cumple	0.0035
Tercer nivel	SISMO DINÁMICO Y-Y Max	0.002697	0.00073	3.87	0.00019	0.0009091	no cumple	0.0035
Segundo nivel	SISMO DINÁMICO Y-Y Max	0.001967	0.000985	3.78	0.00026	0.00125588	no cumple	0.0035
Primer nivel	SISMO DINÁMICO Y-Y Max	0.000982	0.000982	4.60	0.00021	0.00102886	no cumple	0.0035

Fuente: Propia

No se puede aplicar la irregularidad torsional dinámica en la dirección Y.

#### f) Irregularidad torsional extrema

No presenta esta irregularidad, debido a que no existe irregularidad torsional.

#### g) Sistemas no paralelos

No se aplica esta irregularidad, debido a que el mayor ángulo que forman los ejes en los que se encuentran los elementos estructurales que resisten las fuerzas cortantes del piso es menor a 4° y por norma deben formar un ángulo mayor o igual a 30°.

## **CAPÍTULO VI**

### **DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

Esta investigación tuvo como propósito aplicar la norma técnica sismorresistente E.030 a una edificación existente (Edificio Las Mercedes ubicado en el distrito Lima Centro) para evaluar su comportamiento sísmico. Esta evaluación se realizó mediante los métodos de análisis sísmico lineales, estático y dinámico modal – espectral.

Hipótesis específica 1: Al modelar la fuerza sísmica en el análisis estático lineal para el edificio Las Mercedes, distrito Cercado de Lima, la distorsión del entrepiso del comportamiento sísmico obtenida está dentro de los límites permisibles ( $\Delta_i/h_{ei}$ ) < 0.007.

Se comprobó que para el edificio Las Mercedes, al modelar las fuerzas sísmicas en el análisis estático lineal, las derivas obtenidas son inferiores a 0.007, que es el límite permisible para edificaciones de concreto armado según la norma E.030, por lo que se validó la hipótesis  $h_i$ .

Hipótesis específica 2: Se requiere tres modos de vibración para superar el 90 % de masa participativa del análisis dinámico lineal en el comportamiento sísmico para el edificio Las Mercedes, distrito Cercado de Lima.

Se determinó en el análisis dinámico lineal del edificio Las Mercedes que se requiere para superar el 90% de masa participativa (seis modos de vibración en el eje X, cinco modos de vibración en el eje Y, y cuatro modos de vibración en la torsión en planta), por lo que se validó la hipótesis  $h_0$ .

Hipótesis específica 3: Al analizar la geometría en el análisis estático lineal del edificio Las Mercedes, distrito Cercado de Lima, la regularidad estructural del comportamiento sísmico obtenida es clasificada como “edificio irregular”.

Se comprobó que el edificio Las Mercedes presenta irregularidad tanto en altura como en planta. En altura presenta irregularidad geométrica vertical solo en el eje Y, y en planta presenta para ambos ejes irregularidad por esquina entrante. Por lo tanto, el edificio es clasificado como irregular y se valida la hipótesis  $h_i$ .

Hipótesis específica 4: La relación de fuerzas cortantes del comportamiento sísmico al obtener la fuerza cortante estática y la fuerza cortante dinámica del análisis estático lineal y del análisis dinámico lineal para el edificio Las Mercedes, distrito Cercado de Lima está dada por  $V_{din} \geq 90\%V_{est}$ .

Se obtuvo una relación diferente a la establecida por la norma E.030: la fuerza cortante dinámica es menor al 90 % de la fuerza cortante estática. Por lo tanto, se calculó en dirección X un factor escala de 0.898, y en la dirección Y un factor escala de 1.049. Así, se validó la hipótesis  $h_o$ .

De acuerdo a la hipótesis general planteada:

Hipótesis General. Al aplicar la norma técnica sismorresistente E.030, se concluye que el comportamiento sísmico del edificio Las Mercedes, distrito Cercado de Lima resulta deficiente.

Se obtuvo como resultado que el comportamiento presentado por el edificio Las Mercedes, distrito Cercado de Lima, está delimitado por los parámetros que estipula la norma sismorresistente E.030, por lo que se valida la hipótesis  $h_o$ .

## CONCLUSIONES

Luego de analizar los datos y ponerlas a discusión, se concluyó lo siguiente:

1. Se modelaron las fuerzas sísmicas del análisis estático lineal para evaluar las derivas del edificio Las Mercedes. Se obtuvo valores inferiores al límite permisible de la norma E.030, a pesar de tener un concreto inferior al usual de ahora. Esto se debe a la densidad estructural que presenta la edificación.
2. Se determinó la cantidad de modos de vibración del edificio las Mercedes. Se concluyó que, mínimo, se requieren seis modos de vibración para superar el 90 % de masa participativa en los tres sentidos analizados.
3. Se analizó la geometría del edificio Las Mercedes. Debido a que es irregular, se concluyó que, si en un futuro se desea hacer una ampliación, se deberá considerar las restricciones según su categoría y zona establecidas por la norma E.030 (no está permitido presentar irregularidades extremas).
4. Se calculó la relación de fuerzas cortantes. Al ser la fuerza cortante dinámica menor al 90 % de la fuerza cortante estática, se debe utilizar los factores escala según la norma E.030 para diseñar nuevos elementos estructurales o reforzarlos en el futuro.

## RECOMENDACIONES

1. Se recomienda a las personas interesadas o futuros investigadores que tengan una noción básica de dominio del *software* ETABS, y que dominen la lectura de planos estructurales, con el fin de modelar adecuadamente las fuerzas sísmicas del edificio involucrado y así consiga evaluar las derivas.
2. Al realizar el análisis dinámico lineal, se recomienda corroborar la cantidad de modos vibración que superen el 90 % de la masa participativa del edificio involucrado
3. Se recomienda analizar la geometría del edificio involucrado con el fin de determinar irregularidades que la norma E.030 estipula en caso las presente, y así tenerlas en cuenta en el análisis estático lineal.
4. Se recomienda comparar las fuerzas cortantes de ambos análisis con el fin de corroborar la relación estipulada por la norma E.030.
5. Se recomienda, para este tipo de estructuras, realizar el análisis sísmico no lineal para justipreciar la relación fuerza-deformación.
6. Se recomienda realizar un análisis dinámico tiempo-historia para que se considere directamente el comportamiento histórico de los elementos estructurales actuantes en ambas direcciones.
7. A los futuros investigadores, se recomienda realizar levantamientos in situ de las estructuras existentes, con el fin de obtener una realidad problemática de datos con la aplicación de distintos métodos o ensayos, y así acompañar a la información con la que se cuenta de los expedientes técnicos.



8. Es recomendable trabajar con hojas de cálculos de manera ordenada para mantener un entendimiento de los procesos que la norma demanda y brindar la confianza a las personas que puedan seguir con la investigación.
9. Se recomienda a las personas que inician una especialización estructural que apliquen la norma sismorresistente vigente para otros tipos de edificios que presenten diferentes configuraciones estructurales, material predominante, formas o alturas.

## FUENTES DE INFORMACIÓN

- Arredondo, L. (2016). *Aplicación de la norma técnica e-030 diseño sismorresistente en la clasificación de los suelos en el área urbana del distrito de Santa Rosa – Lima* (tesis de pregrado). Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Perú.
- Barbat, A., y Pujades, L. (2004). *Evaluación de la vulnerabilidad y del riesgo sísmico en zonas urbanas. Aplicación a Barcelona. SÍSMICA 2004 – 6° Congreso Nacional de Sismología e Engenharia Sísmica*. Recuperado de [http://www.hms.civil.uminho.pt/events/sismica2004/229-252%20Alex%20Barbat%20e%20Luis%20Pujades%20\\_24%20p\\_.pdf](http://www.hms.civil.uminho.pt/events/sismica2004/229-252%20Alex%20Barbat%20e%20Luis%20Pujades%20_24%20p_.pdf)
- Bazán, E., y Meli, R. (2010). *Diseño Sísmico de Edificios*. México D. F.: Limusa.
- Bolt, B., Madariaga, R., Teisseyre, R., Udías, A., Espinosa, A., Roca, A., Oliveira, C., Muñoz, D., Hays, W., García, A., Martín, A., Soriano, A., Alarcón, E., y Villacañas, J. (1989). Física de la tierra. En Universidad Complutense de Madrid (Ed.), *Conceptos básicos en riesgo sísmico* (págs. 199-215). *Cátedra de Geofísica*. Facultad de Ciencias Físicas. Universidad Complutense. Madrid. Recuperado de: <https://revistas.ucmes/index.php/FITE/article/view/FITE8989110199A/12605>
- Bolt, B., Madariaga, R., Teisseyre, R., Udías, A., Espinosa, A., Roca, A., Oliveira, C., Muñoz, D., Hays, W., García, A., Martín, A., Soriano, A., Alarcón, E., y Villacañas, J. (1989). Física de la tierra. En Universidad Complutense de Madrid (Ed.), *Aspectos fundamentales de la geología y la sismología para la microzonación sísmica* (págs. 217-250). U. S. *Geological Survey Reston*, Virginia. Recuperado de: <https://revistas.ucmes/index.php/FITE/article/view/FITE8989110217A/12609>
- Cadena, S., Hernandez, J. y Parra, D. (2016). *Evaluación de vulnerabilidad sísmica del edificio de la facultad de ingeniería civil de la Universidad la Gran Colombia* (seminario de grado). Universidad la Gran Colombia, Colombia.

- Cahuari, A. (2008). *Cálculo de la magnitud local (ml) a partir de registros de aceleración usando la técnica de convolución y relación de magnitudes* (tesis de pregrado). Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Perú.
- Campoverde, J. (2017). *Escenarios de riesgo sísmico en el distrito de San Isidro* (tesis de grado). Universidad Nacional Federico Villarreal, Perú.
- Cenepred. (2017). *Manual para evaluación del riesgo por sismos*. Recuperado de [http://cenepred.gob.pe/web/wp-content/uploads/Guia\\_Manuales/MANUAL%20DE%20SISMOS.pdf](http://cenepred.gob.pe/web/wp-content/uploads/Guia_Manuales/MANUAL%20DE%20SISMOS.pdf)
- Davila, E. y Hinojosa, C. (2019). *Análisis de la vulnerabilidad sísmica para una edificación de 10 pisos utilizando aisladores o el sistema dual, av. República de Panamá – Lima* (tesis de pregrado). Universidad de San Martín de Porres, Perú.
- El Nuevo Diario (26 de abril de 2016). *¿Qué es el Cinturón de Fuego del Pacífico? Managua, Nicaragua*. Recuperado de <https://www.elnuevodiario.com.ni/nacionales/390835-que-es-cinturon-fuego-pacifico/>
- Fustamante, E. (2018). *Ingeniería sísmica basada en desempeño aplicando la norma E.030-2018 para el diseño de una edificación multifamiliar de 12 niveles con 3 sótanos ubicada en la ciudad de Lima, distrito de Miraflores* (tesis de pregrado). Universidad de San Martín de Porres, Perú.
- Hernández, M. (2016). *Vulnerabilidad sísmica de edificios del campus Mocambo de la Universidad Veracruzana* (tesis de posgrado). Universidad Veracruzana, México.
- Lao, J. (2015). *Evaluación de la vulnerabilidad sísmica del edificio municipal de la ciudad de Machala* (trabajo aplicativo). Universidad Técnica de Machala, Ecuador.
- Moreno, R., Pujades, L., Aparicio, A., y Barbat, A. (2008). *Herramientas necesarias para la evaluación sísmica de edificios*. Recuperado de: [https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/28503/monografia\\_1\\_rosangel.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/28503/monografia_1_rosangel.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Quispe, F. (2015). *Análisis y diseño estructural comparativo con la norma sismo resistente E.030-2014 vs E.030-2003 de un edificio multifamiliar*

*de 5 pisos en distrito de Surquillo* (tesis de pregrado). Universidad Ricardo Palma, Perú.

Rojas, E. y Rivero, M. (2020). *Evaluación estructural de edificios de uso multifamiliar diseñados con la norma sismorresistente E.030 1977 utilizando la norma E.030 2016* (tesis de pregrado). Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Perú.

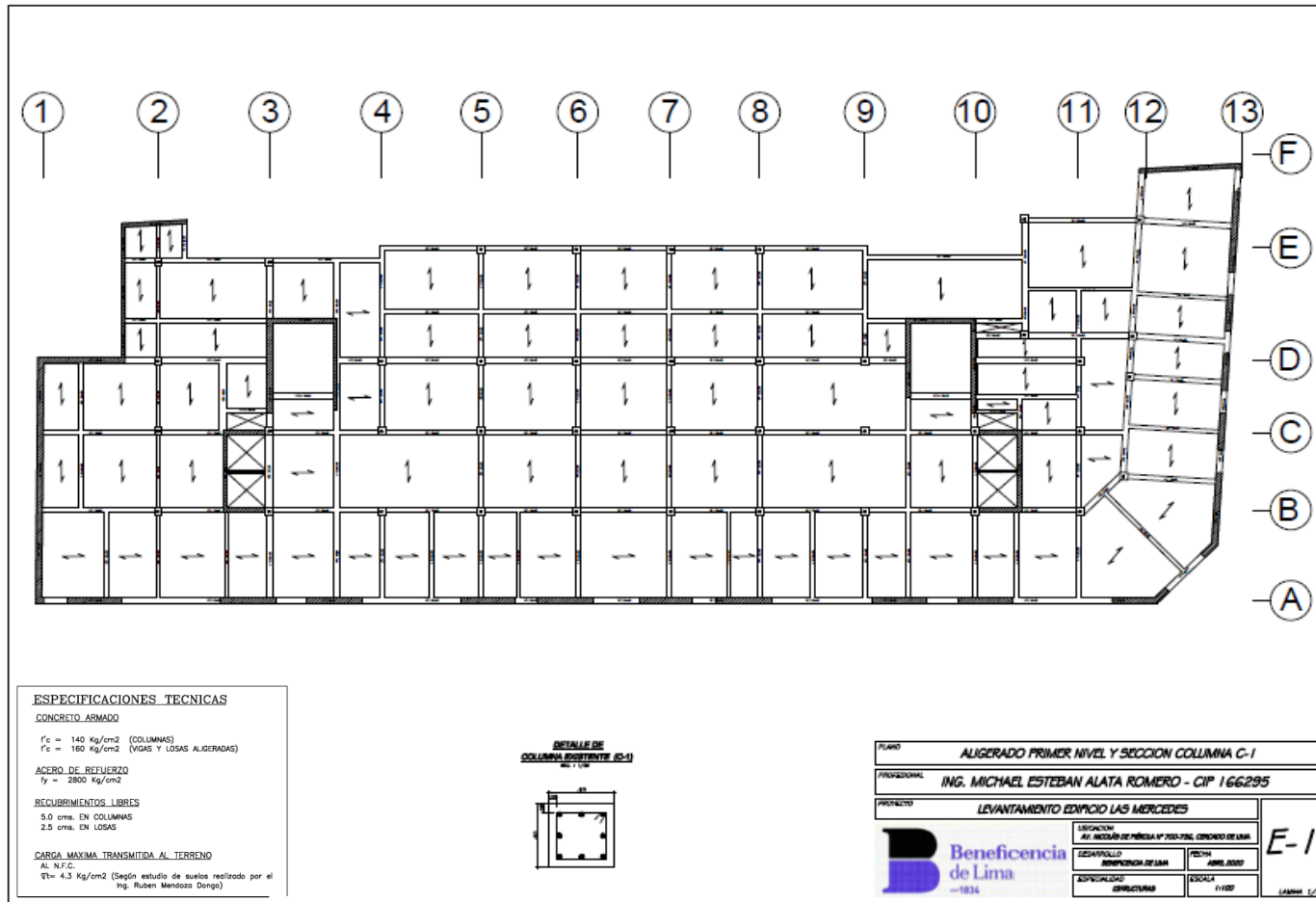
Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción. (22 de octubre de 2018). Título III.2 [Estructuras]. *Reglamento Nacional de Edificaciones* [Norma E.030]. DO: El Peruano

## **ANEXOS**

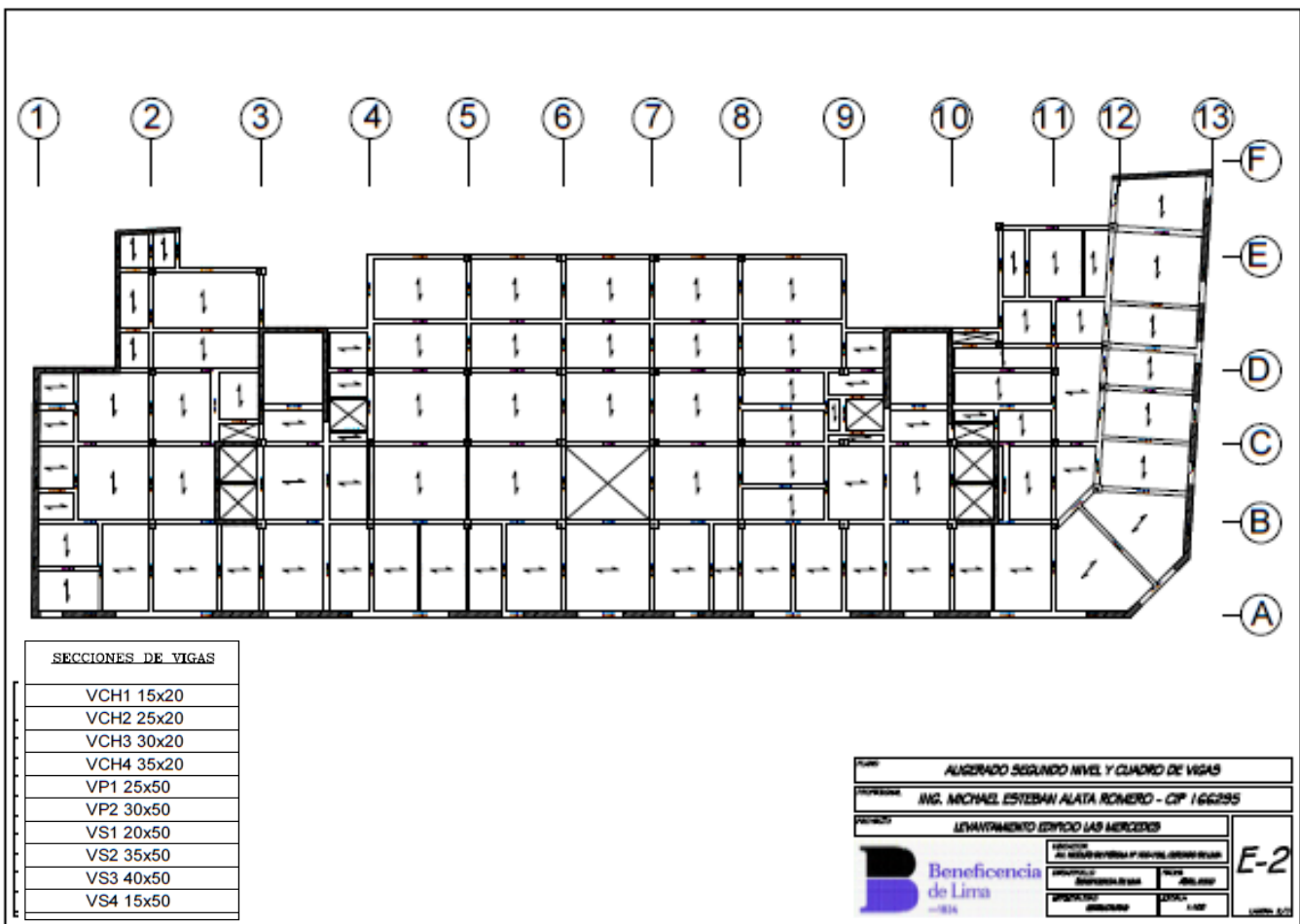
Anexo 1  
Matriz de consistencia

APLICACIÓN DE LA <b>NORMA TÉCNICA SISMORRESISTENTE E.030</b> PARA EVALUAR EL <b>COMPORTAMIENTO SÍSMICO</b> DEL EDIFICIO LAS MERCEDES, DISTRITO CERCADO DE LIMA					
PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES E INDICADORES		METODOLOGÍA
PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPOTESIS GENERAL	VARIABLE INDEPENDIENTE		METODO DE INVESTIGACION
¿Cuál es el comportamiento sísmico del edificio Las Mercedes, distrito Cercado de Lima aplicando la norma técnica sismorresistente E.030?	Aplicar la norma técnica sismorresistente E.030 para evaluar el comportamiento sísmico del edificio Las Mercedes, distrito Cercado de Lima.	Aplicando la norma técnica sismorresistente E.030, el comportamiento sísmico del edificio Las Mercedes, distrito Cercado de Lima resulta deficiente.	<b>Norma Técnica Sismorresistente E.030</b>		Cuantitativa
			DIMENSIONES	INDICADORES	
PROBLEMAS ESPECIFICOS	OBJETIVOS ESPECIFICOS	HIPOTESIS ESPECIFICAS	Análisis Estático Lineal	Fuerza Sísmica	TIPO
				Fuerza cortante estática	Aplicativa
¿Cuál será la distorsión del entrepiso del comportamiento sísmico al modelar la fuerza sísmica en el análisis estático lineal para el edificio Las Mercedes, distrito Cercado de Lima?	Modelar la fuerza sísmica en el análisis estático lineal del edificio Las Mercedes, distrito Cercado de Lima para evaluar la distorsión del entrepiso del comportamiento sísmico.	Al modelar la fuerza sísmica en el análisis estático lineal para el edificio Las Mercedes, distrito Cercado de Lima, la distorsión del entrepiso del comportamiento sísmico obtenida está dentro de los límites permisibles $(\Delta_i/h_{ei}) < 0.007$ .	Análisis Dinámico Lineal	Modos de vibración	DISEÑO DE INVESTIGACIÓN
				Fuerza cortante dinámica	No experimental transversal
¿Cuántos modos de vibración se requiere para superar el 90% de masa participativa del análisis dinámico lineal en el comportamiento sísmico para el edificio Las Mercedes, distrito Cercado de Lima?	Determinar la cantidad de modos de vibración que supere el 90% de masa participativa del análisis dinámico lineal en el comportamiento sísmico para el edificio Las Mercedes, distrito Cercado de Lima.	Se requiere tres modos de vibración para superar el 90% de masa participativa del análisis dinámico lineal en el comportamiento sísmico para el edificio Las Mercedes, distrito Cercado de Lima.	VARIABLE DEPENDIENTE		POBLACIÓN
			Comportamiento Sísmico		Edificios con antigüedad considerable clasificados como "valor monumental".
¿Qué regularidad estructural del comportamiento sísmico presentará el edificio Las Mercedes, distrito Cercado de Lima al analizar su geometría en el análisis estático lineal?	Analizar la geometría en el análisis estático lineal para determinar la regularidad estructural del comportamiento sísmico que presenta el edificio Las Mercedes, distrito Cercado de Lima.	Al analizar la geometría en el análisis estático lineal del edificio Las Mercedes, distrito Cercado de Lima, la regularidad estructural del comportamiento sísmico obtenida es clasificada como "edificio irregular".	EVALUAR	Distorsión del entrepiso (Deriva)	
				Regularidad estructural	El edificio Las Mercedes ubicado en el Centro Histórico de Lima, en la Av. Nicolás de Piérola N°700-736. El cual es clasificado como "valor monumental" debido a su antigüedad y valor arquitectónico.
¿Cuál será la relación de fuerzas cortantes del comportamiento sísmico al obtener la fuerza cortante estática y la fuerza cortante dinámica del análisis estático lineal y del análisis dinámico lineal para el edificio Las Mercedes, distrito Cercado de Lima?	Calcular la relación de fuerzas cortantes del comportamiento sísmico al obtener la fuerza cortante estática y la fuerza cortante dinámica del análisis estático lineal y del análisis dinámico lineal para el edificio Las Mercedes, distrito Cercado de Lima.	La relación de fuerzas cortantes del comportamiento sísmico al obtener la fuerza cortante estática y la fuerza cortante dinámica del análisis estático lineal y del análisis dinámico lineal para el edificio Las Mercedes, distrito Cercado de Lima, está dada por $V_{di} \geq 90\%V_{ei}$ .	Relación de fuerzas cortantes	INSTRUMENTOS	Norma sismorresistente E.030, hoja de cálculo Excel & ETABS 2016

Anexo 2  
Plano aligerado primer nivel



Anexo 3  
Plano aligerado segundo nivel





Anexo 4  
Plano aligerado tercer y cuarto nivel

