

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE: INGENIERÍA CIVIL**



**Tesis**

**Análisis Pushover para la evaluación del desempeño sísmico del bloque B del Nuevo  
Palacio Municipal de la provincia de Abancay 2023**

**Asesor:**

Mg. Maldonado Mendivil, Ángel

**Autor :**

Loayza Castañeda, Edith

**Para optar el título profesional de: Ingeniero Civil**

**Abancay – Apurímac - Perú**

**2026**



# Universidad Tecnológica de los Andes

Transformando vidas

FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

## ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TÍTULO PROFESIONAL

Acta N°: 006

En la ciudad de Abancay, a los dieciséis días del mes de enero del 2026, siendo las 9:00 am horas, se reunieron los integrantes del Jurado designado por Resolución Directoral N° 0029-2026- EPIC-FI-UTEA-SA de fecha 08 de enero del 2026, de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería:

Presidente :	Ing. Cayo Baca, Holguer
Dictaminante :	Dr. Alarcón Camacho, Erick
Replicante :	Ing. Gamarra Mota, Rubén

Para evaluar la sustentación, en la modalidad de:

Tesis       Trabajo de suficiencia profesional

Titulada:

**Análisis Pushover para la evaluación del desempeño sísmico del bloque B del nuevo palacio Municipal de la provincia de Abancay 2023**

Desarrollado por el (los) Bachiller (es):

**Br: Loayza Castañeda, Edith**

Para optar el Título Profesional de:

Ingeniero Civil

Concluido el acto, el Jurado dictaminó que el (la) (los) mencionado(a) (s) bachiller (es) fue (ron) APROBADO (S):

Por: Unanimidad  
(Unanimidad o Mayoría) (\*)

Emitiéndose el calificativo final de:

Bachiller (Apellidos y Nombres)	Calificación (**)
Loayza Castañeda, Edith	Aprobada

Siendo las 10:15am horas concluyó la sesión, firmando los integrantes del Jurado.

Presidente: Ing. Cayo Baca, Holguer

Dictaminante: Dr. Alarcón Camacho, Erick

Replicante: Ing. Gamarra Mota, Rubén

Se expide la presente conforme al Libro de Actas de Sustentación de Tesis, consignado en los folios N° 004

Abancay 16 de enero del 2026

(\*): Mayoría: Dos integrantes del jurado aprueban o desaprueban; Unanimidad: Todos los integrantes del jurado aprueban o desaprueban. Art. 18 RGGAT.  
(\*\*): 0 a 10: Desaprobado, 11 a 15: Aprobado, 16 a 18: Aprobado Notable, 19 y 20: Aprobado con Distinción, Art. 18 RGGAT.

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES  
Ciudad Universitaria Av. Perú N° 700, Abancay, Central Telefónica 051 (083) 321559  
Filial Cusco, Av. Grau N° 516, Teléfono (084) 251565  
Filial Andahuaylas, Av. Juan Antonio Trelles N° 513 Teléfono (083) 421752  
www.utea.edu.pe

## 16% Similitud general




El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

### Filtrado desde el Informe

- Coincidencias menores (menos de 15 palabras)

---

### Fuentes principales

- 15%  Fuentes de Internet
- 2%  Publicaciones
- 0%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

---

### Marcas de Integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

## Metadatos

<b>Datos del autor</b>		
Nombres y Apellidos	:	Bach. Edith Loayza Castañeda
Tipo de Documento de identidad	:	DNI
Numero de Documento de identidad	:	46758281
URL ORCID	:	<a href="https://orcid.org/009-0000-6986-5545">https://orcid.org/009-0000-6986-5545</a>
<b>Datos del Asesor</b>		
Nombres y apellidos	:	Mg. Ángel Maldonado Mendivil
Tipo de Documento de identidad	:	DNI
Numero de Documento de identidad	:	06788424
URL ORCID	:	<a href="https://orcid.org/0000-0001-9002-1910">https://orcid.org/0000-0001-9002-1910</a>
<b>Datos de la Investigación</b>		
Facultad	:	Ingeniería
Escuela	:	Ingeniería Civil
Línea de Investigación	:	Gestión de la infraestructura para el desarrollo sostenible
Rango de años que se realizó la investigación	:	Enero 2024 – Julio 2024
Fuente de financiamiento	:	Autofinanciado
Control de antiplagio (Turnitin)	:	16 %
URL de OCDE	:	<a href="https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.01">https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.01</a>

## **DEDICATORIA**

A Gladys Castañeda mi madre quien con su persistencia y constante apoyo me motivo para lograr lo anhelado profesionalmente.

A mi padre Arnaldo y hermano Reyner quienes siempre están presentes en cada paso de mi desarrollo personal.

Y a ustedes parte fundamental de mi vida Fabricio Alessandro hijo mío, Wilingthon mi compañero de esta historia gracias por ser el soporte de mi día a día.

***Edith Loayza Castañeda***

## **AGRADECIMIENTO**

Deseo expresar mi más profundo agradecimiento a Dios, por concederme la salud y la sabiduría necesarias para culminar con éxito esta importante etapa de mi vida académica.

Extiendo un reconocimiento especial a la Municipalidad Provincial de Abancay, en particular a la Gerencia de Acondicionamiento Territorial y Desarrollo Urbano, por brindar las condiciones necesarias que hicieron posible el desarrollo adecuado de esta investigación.

Asimismo, agradezco sinceramente al Mg. Ángel Maldonado Mendívil, asesor de tesis, por su acompañamiento constante, profesionalismo y orientación firme a lo largo del proceso.

Finalmente, manifiesto mi especial gratitud al ingeniero Edwin Meza Tintaya, por su valioso apoyo técnico y compromiso en el fortalecimiento de este trabajo de investigación.

***Edith Loayza Castañeda***

## RESUMEN

El análisis realizado sobre el desempeño sísmico del bloque B del Nuevo Palacio Municipal de Abancay presenta un enfoque académico riguroso. La introducción destaca la importancia de evaluar la capacidad estructural frente a eventos sísmicos, mientras que el objetivo central de la investigación es determinar el nivel de desempeño sísmico del bloque bajo diferentes niveles de amenaza sísmica establecidos por el Comité Visión 2000. La metodología empleada se basa en el análisis Pushover, un método no lineal que permite identificar el comportamiento de la estructura al aplicar cargas laterales incrementales hasta alcanzar el colapso. En cuanto a la población y muestra, el estudio se centró en el bloque B del Palacio Municipal, considerando sus características estructurales y el entorno geotécnico de la provincia de Abancay. Los resultados revelaron que la estructura presentó desplazamientos máximos de 29.29 cm en la dirección XX y 25.72 cm en la dirección YY bajo cargas sísmicas. Estos hallazgos sugieren una capacidad de deformación plástica significativa antes de llegar al colapso. Finalmente, la conclusión del estudio resalta que el bloque B tiene un buen desempeño sísmico, lo que es crucial para garantizar la seguridad estructural y la protección frente a posibles sismos, siendo necesario evaluar posibles refuerzos para mejorar la capacidad de respuesta ante eventos de gran magnitud.

**Palabras claves:** Desempeño sísmico, Pushover, Estructuras no lineales

## ABSTRACT

The analysis conducted on the seismic performance of Block B of the New Municipal Palace of Abancay presents a rigorous academic approach. The introduction highlights the importance of assessing structural capacity against seismic events, while the main objective of the research is to determine the level of seismic performance of the block under different seismic threat levels established by the Vision 2000 Committee. The methodology employed is based on the Pushover analysis, a nonlinear method that allows identifying the behavior of the structure by applying incremental lateral loads until collapse.

Regarding the population and sample, the study focused on Block B of the Municipal Palace, considering its structural characteristics and the geotechnical environment of the province of Abancay. The results revealed that the structure exhibited maximum displacements of

29.29 cm in the XX direction and 25.72 cm in the YY direction under seismic loads.

These findings suggest a significant plastic deformation capacity before reaching collapse. Finally, the study concludes that Block B demonstrates good seismic performance, which is crucial for ensuring structural safety and protection against potential earthquakes. However, it is necessary to evaluate possible reinforcements to improve the response capacity to high- magnitude events.

**Keywords:** Seismic performance, Pushover, Nonlinear structures.

## INDICE

<b>PORTADA</b> .....	<b>i</b>
<b>ACTA DE SUSTENTACION ORIGINAL</b> .....	<b>ii</b>
<b>REPORTE DE SIMILITUD</b> .....	<b>iii</b>
<b>METADATOS</b> .....	<b>iv</b>
<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>v</b>
<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	<b>vi</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>vii</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>viii</b>
<b>INDICE</b> .....	<b>ix</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	<b>xi</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>xiv</b>
<b>ÍNDICE DE ANEXOS</b> .....	<b>xvii</b>
<b>I.Introducción</b> .....	<b>17</b>
<b>II.Planteamiento del problema</b> .....	<b>19</b>
2.1. Descripción y formulación del problema.....	19
2.2. Objetivos .....	22
2.2.1. Objetivo general.....	22
2.2.2. Objetivos específicos .....	22
2.3. Justificación e importancia.....	22
2.3.1. Justificación.....	22
2.3.2. Importancia .....	23
2.4. Hipotesis.....	25
2.4.1. Hipótesis general.....	25
2.4.2. Hipótesis específicas .....	25
2.5. Variables .....	25
<b>III.Marco Teórico</b> .....	<b>27</b>
3.1. Antecedentes de la investigación .....	27
3.2. Bases teóricas .....	38

3.2.1. Análisis estático no lineal .....	38
3.2.2. Desempeño sísmico.....	57
3.3. Definición de términos.....	77
<b>IV. Metodología .....</b>	<b>80</b>
4.1. Tipo y nivel de investigación .....	80
4.2. Ámbito temporal y espacial .....	80
4.3. Población y muestra Población.....	81
4.4. Instrumentos .....	81
4.5. Procedimiento .....	82
4.6. Análisis de datos .....	83
4.7. Consideraciones éticas .....	84
<b>V. Resultados y discusión .....</b>	<b>86</b>
5.1. Resultados .....	86
5.2. Contrastación de hipótesis .....	208
5.3. Discusión de Resultados .....	209
<b>VI. Conclusiones .....</b>	<b>212</b>
<b>VII. Recomendaciones .....</b>	<b>214</b>
<b>VIII. Referencias .....</b>	<b>215</b>
<b>IX. Anexos.....</b>	<b>220</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b>	Matriz de operacionalizacion .....	26
<b>Tabla 2</b>	Factores de la zona Z.....	52
<b>Tabla 3</b>	Factor de suelo “S” .....	53
<b>Tabla 4</b>	Periodos Tp y TL.....	53
<b>Tabla 5</b>	Matriz de objetivos de diseño - Visión 2000.....	58
<b>Tabla 6</b>	Descripción del perfil estratigráfico de C-1 .....	86
<b>Tabla 7</b>	Descripción del perfil estratigráfico de C-2 .....	87
<b>Tabla 8</b>	Descripción del perfil estratigráfico de C-3 .....	88
<b>Tabla 9</b>	Descripción del perfil estratigráfico de C-4 .....	89
<b>Tabla 10</b>	Parámetros utilizados en los cálculos de capacidad portante .....	90
<b>Tabla 11</b>	Capacidad de carga admisible zapata cuadrada calicata 01 .....	91
<b>Tabla 12</b>	Capacidad de carga admisible cimientos corridos calicata 01 .....	92
<b>Tabla 13</b>	Capacidad de carga admisible zapata cuadrada calicata 02 .....	93
<b>Tabla 14</b>	Capacidad de carga admisible cimientos corridos calicata 02.....	94
<b>Tabla 15</b>	Capacidad de carga admisible zapata cuadrada calicata 03 .....	95
<b>Tabla 16</b>	Capacidad de carga admisible cimientos corridos calicata 03 .....	96
<b>Tabla 17</b>	Capacidad de carga admisible zapata cuadrada calicata 04 .....	97
<b>Tabla 18</b>	Capacidad de carga admisible cimientos corridos calicata 04 .....	98
<b>Tabla 19</b>	Coordenadas Geográficas UTM W84 .....	99
<b>Tabla 20</b>	Ubicación de Calicatas .....	100
<b>Tabla 21</b>	Zonificación Sísmica del Perú.....	103
<b>Tabla 22</b>	Clasificación de los Perfiles del Suelo .....	103
<b>Tabla 23</b>	Tipo de Perfiles del Suelo .....	104
<b>Tabla 24</b>	Factores de suelo “S” .....	105

<b>Tabla 25</b>	Periodos TP y TL.....	106
<b>Tabla 26</b>	Categoría de Edificaciones.....	108
<b>Tabla 27</b>	Parámetros Sísmicos para la zona de estudio.....	109
<b>Tabla 28</b>	Número de Puntos de Investigación.....	113
<b>Tabla 29</b>	Número de Puntos de Investigación.....	113
<b>Tabla 30</b>	Excavación de calicata .....	115
<b>Tabla 31</b>	Ensayos de laboratorio de mecánica de suelos.....	116
<b>Tabla 32</b>	Parámetros Físicos y mecánicos de los suelos de fundación.....	117
<b>Tabla 33</b>	Parámetros mecánicos de Corte directo .....	121
<b>Tabla 34</b>	Consolidado de resultados de la calicata.....	124
<b>Tabla 35</b>	Asentamiento con $Q_{adm}$ superiores a $1.50 \text{ Kg/cm}^2$ .....	129
<b>Tabla 36</b>	Coficiente de participación.....	135
<b>Tabla 37</b>	Centro de masas, centro de rigidez y excentricidad de cada planta .....	138
<b>Tabla 38</b>	Vd,X: Cortante basal dinámico en dirección X, por hipótesis sísmica .....	148
<b>Tabla 39</b>	Vd,Y: Cortante basal dinámico en dirección Y, por hipótesis sísmica .....	150
<b>Tabla 40</b>	Cortante basal estático.....	152
<b>Tabla 41</b>	Hipótesis sísmica.....	154
<b>Tabla 42</b>	Hipótesis sísmica: Sismo X1 .....	157
<b>Tabla 43</b>	Hipótesis sísmica: Sismo Y1 .....	160
<b>Tabla 44</b>	Hipótesis sísmica: Sismo X1 .....	171
<b>Tabla 45</b>	Hipótesis sísmica: Sismo Y1 .....	173
<b>Tabla 46</b>	Hipótesis sísmica X1 .....	175
<b>Tabla 47</b>	Hipótesis sísmica Y1 .....	176
<b>Tabla 48</b>	Desplome local máximo de los pilares.....	178
<b>Tabla 49</b>	Desplome total máximo de los pilares (D/H).....	179

<b>Tabla 50</b>	Coordenadas de la curva de capacidad en la dirección XX.....	193
<b>Tabla 51</b>	Desplazamientos y fuerzas cortante para cada nivel de demanda sísmica en XX .....	198
<b>Tabla 52</b>	Coordenadas de la curva de capacidad en la dirección YY.....	201
<b>Tabla 53</b>	Coordenadas de la curva de capacidad en la dirección YY.....	206

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b>	Relación del factor R con el periodo para distintas ductilidades (Krawinkler, 1998).....	39
<b>Figura 2</b>	Espectro de desplazamientos para distintas ductilidades inelásticas (Krawinkler, 1998). .....	40
<b>Figura 3</b>	Curva de capacidad o pushover: cortante basal frente a desplazamiento de terraza.....	42
<b>Figura 4</b>	Cortante basal .....	45
<b>Figura 5</b>	Modelos de rotulas para métodos de integración.....	49
<b>Figura 6</b>	Desarrollo de rotulas plásticas en estados últimos de un pórtico.....	50
<b>Figura 7</b>	Territorio nacional con las zonas sísmicas (NTE E0.30, 2016).....	51
<b>Figura 8</b>	Objetivos de desempeño para edificios con diferentes tipos de importancia....	60
<b>Figura 9</b>	Determinación del punto de desempeño. Método gráfico .....	62
<b>Figura 10</b>	Punto de intersección del Espectro de Demanda y Espectro de Capacidad.....	63
<b>Figura 11</b>	Sectorización de la curva de capacidad para el cálculo de desempeño según VISIÓN 2000.....	64
<b>Figura 12</b>	Conversión a espectro de capacidad .....	65
<b>Figura 13</b>	Demanda sísmica .....	66
<b>Figura 14</b>	Metodología para la ingeniería basada en el desempeño .....	67
<b>Figura 15</b>	Estados de daño y niveles de desempeño.....	69
<b>Figura 16</b>	Niveles y rangos de desempeño del edificio objetivo .....	71
<b>Figura 17</b>	Vista área de la zona de estudio.....	101
<b>Figura 18</b>	Ubicación de las calicatas .....	102
<b>Figura 19</b>	Cálculo de espectros de pseudoaceleraciones (Norma E 0.30/DS-003-2016)	111
<b>Figura 20</b>	Espectro de sismo según la norma E-0.30-2016.....	112
<b>Figura 21</b>	Direcciones de análisis.....	131

<b>Figura 22</b>	Espectro elástico de aceleración.....	132
<b>Figura 23</b>	Espectro de diseño según X.....	133
<b>Figura 24</b>	Espectro de diseño según Y.....	134
<b>Figura 25</b>	Espectro de diseño según X.....	136
<b>Figura 26</b>	Espectro de diseño según Y.....	137
<b>Figura 27</b>	Representación gráfica del centro de masas y del centro de rigidez por planta.....	138
<b>Figura 28</b>	Plano sótano 01.....	139
<b>Figura 29</b>	Plano sótano 02.....	140
<b>Figura 30</b>	Plano primer nivel.....	141
<b>Figura 31</b>	Plano segundo nivel.....	142
<b>Figura 32</b>	Plano tercer nivel.....	143
<b>Figura 33</b>	Plano cuarto nivel.....	144
<b>Figura 34</b>	Plano quinto nivel.....	145
<b>Figura 35</b>	VISTA 3D-PERSPECTIVA.....	146
<b>Figura 36</b>	VISTA 3D-FRONTAL – INGRESO PRINCIPAL.....	146
<b>Figura 37</b>	VISTA 3D- LATERAL IZQUIERDO.....	147
<b>Figura 38</b>	VISTA 3D- POSTERIOR.....	147
<b>Figura 39</b>	Hipótesis sísmica: Sismo X1.....	164
<b>Figura 40</b>	Hipótesis sísmica: Sismo Y1.....	166
<b>Figura 41</b>	Hipótesis sísmica: Sismo X1.....	168
<b>Figura 42</b>	Hipótesis sísmica: Sismo Y1.....	169
<b>Figura 43</b>	Esquema de estructura de planta.....	182
<b>Figura 44</b>	Asignación de propiedades del material.....	183
<b>Figura 45</b>	Secciones de los elementos estructurales.....	184

<b>Figura 46</b>	Modelo en 3D de la estructura .....	185
<b>Figura 47</b>	Mecanismo de formación de rotulas plásticas en la dirección XX.....	187
<b>Figura 48</b>	Mecanismo de formación de rotulas plásticas en la dirección YY.....	188
<b>Figura 49</b>	Diseño del modelamiento .....	189
<b>Figura 50</b>	Punto de desempeño sismo ocasional en XX .....	190
<b>Figura 51</b>	Punto de desempeño sismo raro en XX.....	191
<b>Figura 52</b>	Punto de desempeño sismo muy raro en XX.....	191
<b>Figura 53</b>	Punto de desempeño sismo ocasional en YY .....	192
<b>Figura 54</b>	Punto de desempeño sismo raro en YY .....	192
<b>Figura 55</b>	Punto de desempeño sismo muy raro en YY .....	193
<b>Figura 56</b>	Curva de capacidad en la dirección XX.....	196
<b>Figura 57</b>	Punto de desempeño en la dirección XX.....	198
<b>Figura 58</b>	Curva de capacidad en la dirección YY.....	203
<b>Figura 59</b>	Punto de desempeño en la dirección YY .....	206

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>Anexo 1</b>	Matriz de consistencia .....	221
<b>Anexo 2</b>	Guía de observación .....	219
<b>Anexo 3</b>	certificados de laboratorio.....	221
<b>Anexo 4</b>	certificados de calibración .....	239
<b>Anexo 5</b>	Panel Fotográfico.....	260

## I. Introducción

El presente estudio tiene como objetivo principal realizar un análisis Pushover exhaustivo y detallado para evaluar el desempeño sísmico altamente riguroso y preciso del bloque B del Nuevo Palacio Municipal de la provincia de Abancay en el año 2023. Este análisis, que es fundamental y de suma importancia, permitirá comprender a fondo la verdadera capacidad de resistencia estructural de la mencionada edificación frente a futuros eventos sísmicos potencialmente devastadores. Además, mediante este estudio, se busca identificar de manera meticulosa y minuciosa todas las posibles áreas de vulnerabilidad presentes en la estructura del edificio. Asimismo, se realizará un análisis detallado de las características del suelo y las cargas aplicadas para obtener resultados más precisos y confiables.

Es de vital importancia resaltar que este estudio pionero y vanguardista brindará información técnica y precisa de modo exhaustivo y detallado con el fin de contribuir y favorecer significativamente a la mejora sustancial de la seguridad estructural del edificio en cuestión. Esto permitirá tomar decisiones informadas respaldadas por evidencia científica sólida y confiable para el refuerzo y reforzamiento estructural en caso de ser necesario, garantizando así la máxima protección y resiliencia frente a posibles eventos sísmicos adversos que puedan ocurrir y asegurando la integridad del Nuevo Palacio Municipal. Además, se llevará a cabo un análisis exhaustivo de las conexiones estructurales y se evaluará su capacidad de resistencia bajo condiciones extremas.

Con este estudio Pushover de vanguardia y altamente innovador, se busca sentar un precedente en la provincia de Abancay y en la comunidad en general, promoviendo la seguridad, la confianza y el bienestar de la población. Es un paso crucial y trascendental hacia la construcción de un futuro más seguro y sostenible, donde las estructuras sean más fuertes y resilientes frente a los embates de la naturaleza. En definitiva, este

estudio representa un valioso aporte para garantizar la protección y el resguardo de nuestros recursos y patrimonio público, así como de la vida de quienes habitan en la provincia de Abancay. Por otra parte, se analizarán los posibles efectos de diferentes intensidades sísmicas y se evaluará el impacto de las vibraciones en el comportamiento del edificio. Se realizará un mapeo detallado de los niveles de agrietamiento y se estudiará su propagación. Además, se llevará a cabo un análisis de los sistemas de control de daños utilizados en otras estructuras similares, con el objetivo de proponer medidas de refuerzo adecuadas. Finalmente, se proporcionarán recomendaciones específicas para mejorar la capacidad de respuesta y mitigar los posibles daños en caso de un sismo de gran magnitud.

En conclusión, este estudio Pushover busca brindar un análisis completo y detallado del desempeño sísmico del bloque B del Nuevo Palacio Municipal de la provincia de Abancay, evaluando su capacidad de resistencia y brindando recomendaciones para reforzar su estructura. Con información precisa y científica, se contribuirá significativamente a la mejora sustancial de la seguridad estructural del edificio, promoviendo la protección y resiliencia frente a los eventos sísmicos adversos. Este estudio representa un gran avance en la construcción de un futuro más seguro y sostenible, donde las estructuras sean capaces de resistir y recuperarse de los impactos sísmicos. En cuanto a la estructura del trabajo, este se distribuye de la siguiente manera: el Capítulo I desarrolla la Introducción, proporcionando un panorama general del tema. El Capítulo II presenta el Planteamiento del problema, donde se detalla la justificación y los objetivos específicos. El Capítulo III expone el Marco teórico, que incluye antecedentes y conceptos clave. El Capítulo IV describe la Metodología, explicando los procedimientos técnicos y de análisis. El Capítulo V presenta los Resultados obtenidos del análisis, mientras que el Capítulo VI ofrece las Conclusiones y recomendaciones finales.

## II. Planteamiento del problema

### 2.1. Descripción y formulación del problema

Moreno y Bairán (2010) señalan que las estructuras con un comportamiento sísmico inadecuado son la causa principal de las pérdidas humanas y económicas durante la ocurrencia de temblores intensos. Aquello se puede explicar según mencionan Bhardwaj et al. (2022) a que los marcos estructurales soportan carga vertical, mientras que la fuerza sísmica ejerce una fuerza en dirección horizontal o fuerza lateral para la cual el marco estructural no está diseñado, donde, además, la fuerza real que ejerce un terremoto es mucho mayor que la fuerza de diseño. Aunado a ello, Lamsal et al. (2022) hace mención al aumento de la demanda de las complejidades arquitectónicas de la estructura por su estética y singularidad, la aparición de discontinuidades verticales en las columnas ha estado ocurriendo en la mayoría de pisos de varios pisos

En el estudio de Vega y Muñoz (2019) se señala que, en la actualidad una gran cantidad de edificaciones realizan análisis lineal elástico y no se evalúan para predecir el comportamiento real de la edificación en el rango inelástico, es decir hasta el nivel del colapso. A su vez, Quizang et al. (2020) Señalan que, en ciudades como Quito, más del 95% de cálculos estructurales para edificios se basan en un análisis lineal que utiliza derivas inelásticas para evaluar la respuesta sísmica; pero, no se realizan análisis más detallados para evaluar el comportamiento real de estructuras en situaciones de terremotos, lo que resulta insuficiente para resistir adecuadamente eventos sísmicos y evitar daños significativos.

De acuerdo con Sulca y Delgadillo (2022), el Perú se encuentra entre los países con mayor vulnerabilidad ante desastres naturales, especialmente terremotos. Esta situación se agrava debido a la informalidad predominante en las construcciones, lo cual incrementa el riesgo de pérdidas humanas y económicas., Tavera et al. (2014) indican que dicha

vulnerabilidad se explica por la ubicación geográfica del país dentro de una de las zonas de mayor actividad sísmica a nivel mundial. Por tanto, el contexto sísmico peruano exige medidas rigurosas en planificación urbana y diseño estructural.

De acuerdo con el Instituto Geofísico del Perú (2011), el mayor número y los más grandes sismos se han producido en esta zona denominada Cinturón de Fuego del Océano Pacífico; ejemplo de ello son los sismos en Arequipa en 2001 con 8.2 grados de magnitud y en Pisco en 2007 con 8.0 grados de magnitud y en Chile con 8.8 grados. Frente a ello, de acuerdo con el especialista en Ingeniería Geotécnica, Germán Gallardo y el Magister Juan Carlos Atoche; hay una práctica extendida de la construcción informal por ahorrar costos, prescindiendo de diseños geotécnicos, estructurales y arquitectónicos adecuados; y que a pesar de los avances en gestión de riesgo sísmico; no se puede decir que el país es resiliente; pues, las estrategias para reducir la vulnerabilidad se están implementado a paso lento; por lo que, miles de edificios, sobre todo las viviendas más antiguas, quedarían inoperativos o colapsarían frente a un sismo de alta intensidad (Salazar, 2021).

En la ciudad de Abancay, dada la configuración geográfica, su expansión urbana horizontal es limitada; por lo que, se viene implementando un desarrollo urbanístico en altura (Luna, 2021). Y aunque, de acuerdo con Huashua y Sánchez (2017) esté considerada en la zona  $Z=2$  según RNE (E-030), con una probabilidad mucho menor que otras, no está exenta de un evento sísmico mucho mayor; ello aunado a que, según su estudio realizado en la urbanización Bellavista, identificó un 46% de viviendas con vulnerabilidad media y un 52% con vulnerabilidad alta; además del estudio realizado por Guanuchi et al. (2023) Quienes identificaron un 36% de viviendas de mediana vulnerabilidad alta y un 18% con alta vulnerabilidad sísmica.

Aunque estos no sean estructuras de mayor dimensión como las que se evalúan en la presente investigación; es importante contribuir e incentivar a la creación de una comunidad más consciente de la importancia de la evaluación del desempeño sísmico de las estructuras por el riesgo que estas presentan.

Según Núñez (2023), las estructuras civiles, pese a ser diseñadas para contar con una funcionalidad dentro de un periodo de vida útil supuesto, sufren daños por factores humanos y naturales, siendo este último el más devastador por las grandes pérdidas humanas y materiales generado a lo largo de los años. En el presente caso; la construcción del nuevo palacio Municipal realizada por las autoridades de la provincia de Abancay, se ha realizado bajo un análisis que prescinde de criterios de que tomen en cuenta la no linealidad y dinamicidad de sus componentes para hacer frente a sismos de diferente magnitud en la región. Es por ello, que en el presente estudio se utilizó el método de análisis estático no lineal para la evaluación sísmica para determinar el desempeño sísmico del bloque B del nuevo palacio.

#### **Formulación del problema Problema general**

¿Cuál es el desempeño sísmico del bloque b del nuevo palacio municipal de la provincia de Abancay frente a los niveles de demanda sísmica que establece el comité visión 2000?

#### **Problemas específicos**

- 1.- ¿Cuál es el cortante de fluencia efectiva del bloque B del nuevo palacio municipal de la provincia de Abancay 2023?
- 2.- ¿Cuál es la ductilidad del bloque B del nuevo palacio municipal de la provincia de Abancay 2023?
- 3.- ¿Cuál es el desplazamiento máximo del bloque B del nuevo palacio municipal de la provincia de Abancay 2023 ?

## **2.2. Objetivos**

### **2.2.1. Objetivo general**

Determinar el nivel de desempeño sísmico del bloque B del nuevo palacio municipal de la provincia de Abancay frente a los diferentes niveles de amenaza sísmica que establece el Comité Visión 2000.

### **2.2.2. Objetivos específicos**

- 1.-Determinar el cortante de fluencia efectiva del bloque B del nuevo palacio municipal de la provincia de Abancay 2023.
- 2.-Determinar la ductilidad del bloque B del nuevo palacio municipal de la provincia de Abancay 2023.
- 3.-Determinar el desplazamiento máximo del bloque B del nuevo palacio municipal de la provincia de Abancay 2023.

## **2.3. Justificación e importancia**

### **2.3.1. Justificación**

La justificación social del presente estudio reside en la necesidad de fortalecer la seguridad de los ciudadanos que laboren o vivan en edificaciones cuyas características estructurales sean similares al del Palacio Municipal al evaluar su capacidad de resistir movimientos sísmicos, y de proteger, además, información valiosa y archivos históricos, así como garantizar la continuidad de los servicios municipales; además de contribuir a la creación de una comunidad más segura y preparada.

La presente investigación se sustenta teóricamente en su contribución al entendimiento del comportamiento estructural de edificaciones similares ante distintas intensidades de demanda sísmica. En ese sentido, permite predecir de manera más precisa la respuesta dinámica de la estructura, aportando evidencia empírica que valida o ajusta los modelos teóricos existentes. Asimismo, el contraste entre las predicciones teóricas y los resultados obtenidos mediante el análisis no lineal proporciona una base sólida para futuras mejoras en los enfoques de diseño y reforzamiento sísmico.

La justificación práctica se basa en que la evaluación del desempeño sísmico de la estructura en estudio permitirá entender el comportamiento de esta fuera del rango elástico; identificando vulnerabilidades sísmicas en la estructura que ayuden a tomar decisiones informadas para realizar mejoras o mantenimiento adecuado; además de realizar estrategias de evacuación seguras a sabiendas de estas vulnerabilidades.

La justificación metodológica se basa en que la investigación permitirá determinar el porqué de la elección de un determinado método de análisis específico y el procedimiento para aplicar dicho método en la evaluación del desempeño sísmico del bloque B del Nuevo Palacio Municipal de la provincia de Abancay, previa adaptación de sus parámetros a las condiciones geotécnicas de la ciudad de Abancay.

### **2.3.2. Importancia**

La investigación titulada "Análisis Pushover para la evaluación del desempeño sísmico del bloque B del Nuevo Palacio Municipal de la provincia de Abancay 2023" tiene una importancia significativa por varias razones:

✓ Los objetivos de desempeño de la norma E.030 (Diseño Sismorresistente) se centran en garantizar la seguridad estructural durante eventos sísmicos de diversas magnitudes. Los objetivos principales incluyen:

1. **Protección de la vida:** El objetivo prioritario es evitar el colapso de las estructuras, asegurando que, en el caso de un sismo severo, los ocupantes tengan una alta probabilidad de sobrevivir.
2. **Control de daños:** Se busca limitar los daños estructurales y no estructurales a niveles aceptables para que los edificios no sufran deterioros significativos, permitiendo su reparación económica y rápida tras un sismo de baja o moderada intensidad.
3. **Mantenimiento de la funcionalidad:** En edificaciones esenciales, como hospitales y estaciones de emergencia, el objetivo es que permanezcan operativas después de un sismo para garantizar su funcionalidad continua.

Estos objetivos están alineados con niveles de desempeño sísmico que varían desde lo operativo, que implica daños insignificantes y la plena funcionalidad del edificio tras un sismo frecuente, hasta la prevención del colapso, donde la estructura soporta daños graves pero sin llegar al colapso total.

✓ Permite evaluar la capacidad de la estructura del bloque B del Nuevo Palacio Municipal para resistir terremotos. Esto es crucial en una región de intensa sismicidad como Abancay, donde la prevención de colapsos y daños graves puede salvar vidas.

✓ Asegura que el diseño y construcción del edificio cumplan con las normativas sísmicas vigentes. Esto es esencial para garantizar que la infraestructura pública esté preparada para eventos sísmicos, minimizando riesgos para los ocupantes y el público en general.

✓ Permite corroborar la hipótesis establecida en la norma peruana , realizando un análisis lineal y estableciendo requisitos, la edificación tendrá un buen comportamiento no lineal.

## 2.4. Hipotesis

### 2.4.1. *Hipótesis general*

El nivel de desempeño sísmico del bloque B del nuevo Palacio Municipal de la provincia de Abancay para un sismo considerado raro es resguardo de vida.

### 2.4.2. *Hipótesis específicas*

1.-El cortante de fluencia efectiva será del 15% del peso del bloque B del nuevo Palacio Municipal de la provincia de Abancay 2023.

2.-La ductilidad del bloque B del nuevo Palacio Municipal de la provincia de Abancay 2023 es de 2.5.

3.-El desplazamiento máximo del bloque B del nuevo Palacio Municipal de la provincia de Abancay 2023 es de 20 cm.

## 2.5. Variables

**V1. Método de análisis no lineal .-** Se trata de un tipo de evaluación estructural no lineal de carácter estático, en la que se considera la acción permanente de cargas gravitacionales junto con fuerzas horizontales o desplazamientos que aumentan de forma continua y luego se estabilizan sin variaciones posteriores. Marte (2014, p. 3)

**V2. Desempeño sísmico.-** El enfoque de diseño orientado al desempeño frente a sismos implica escoger metodologías de evaluación adecuadas que faciliten la determinación y configuración precisa de los elementos estructurales, no estructurales y del contenido. Su objetivo es asegurar que, ante una intensidad sísmica determinada y considerando diversos grados de confiabilidad, la edificación no sufra afectaciones que excedan los estados límite previamente establecidos. SEAOC (1995)

## Operacionalización de variables

**Tabla 1**

*Matriz de operacionalización*

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA
MÉTODO DE ANÁLISIS NO LINEAL	Se trata de un análisis estructural de tipo estático no lineal, en el cual la edificación está sometida de forma continua a cargas gravitacionales permanentes, así como a fuerzas horizontales o desplazamientos que aumentan progresivamente hasta alcanzar un valor constante. Marte (2014, p. 3)	El análisis estructural corresponde a un modelo estático de carácter no lineal, en el cual la estructura es sometida a cargas gravitacionales constantes y a una serie de fuerzas laterales que se incrementan de manera progresiva y unidireccional hasta alcanzar la capacidad máxima del sistema. Esta capacidad se representa a través de una gráfica que vincula el desplazamiento del nivel superior con la fuerza cortante que actúa en la base.	ANÁLISIS NO LINEAL ESTÁTICO (PUSHOVER)	Desplazamiento lateral  Cortante basal	De razon
DESEMPEÑO SÍSMICO	El diseño sismo-resistente orientado al desempeño implica escoger procedimientos de evaluación adecuados que posibiliten la configuración y el dimensionamiento detallado tanto de los elementos estructurales como de los no estructurales y del contenido. Su finalidad es garantizar que, ante una determinada demanda sísmica y considerando distintos grados de confiabilidad, la edificación no experimente daños que sobrepasen los estados límite previamente definidos. SEAOC (1995)	El diseño orientado al desempeño sísmico constituye una filosofía moderna que pretende superar las limitaciones del enfoque tradicional basado únicamente en la resistencia. Este enfoque se fundamenta en la elección de metodologías y procedimientos que permiten al profesional en ingeniería estructural comprender el comportamiento de una edificación cuando esta es sometida a sollicitaciones sísmicas intensas que inducen respuestas fuera del rango elástico.	PUNTO DE DESEMPEÑO	Espectro de capacidad  Espectro de demanda	De razón

### III. Marco Teórico

#### 3.1. Antecedentes de la investigación

##### A nivel internacional

Primeramente, tenemos a Montero y paredes (2023) desarrollaron un estudio titulado *Evaluación del desempeño sísmico del edificio comercial Castro ubicado en la ciudad de Quevedo, aplicando el análisis modal espectral y análisis estático no lineal (Pushover)*. En dicha investigación, se propusieron como objetivo evaluar el comportamiento sismorresistente de una edificación mediante la aplicación de los criterios establecidos por la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC 15. Para ello, se emplearon dos enfoques complementarios de análisis: el análisis dinámico modal espectral y el análisis estático no lineal, también conocido como Pushover. Con el fin de modelar adecuadamente la estructura, los autores utilizaron el software ETABS y los planos arquitectónicos y estructurales disponibles. En cuanto a la metodología, esta adoptó un enfoque mixto, de carácter cualitativo y cuantitativo, lo cual permitió comprender tanto el comportamiento estructural ante cargas sísmicas como el estado de la edificación tras dichas solicitudes. Entre los resultados obtenidos, se evidenció que el edificio cumplía con los parámetros establecidos por la NEC 15. Asimismo, se observó que las demandas estructurales se mantenían dentro de los límites permisibles y que la edificación presentaba una adecuada capacidad de resistencia frente a eventos sísmicos. En consecuencia, se concluyó que no era necesario implementar refuerzos estructurales, dado que el diseño original ofrecía garantías suficientes en términos de seguridad sísmica.

Por su parte Jaramillo (2022) desarrolló un estudio titulado *Evaluación del desempeño sísmico de una estructura aporticada en hormigón armado de tres niveles utilizando el análisis estático no lineal Pushover, Cantón Samborondón*. En dicha

investigación, se planteó como objetivo principal evaluar el comportamiento sísmico resistente y el desempeño sísmico de una estructura de hormigón armado. Para ello, se adoptó un enfoque metodológico cuantitativo, basado en la aplicación del análisis estático no lineal (Pushover), complementado con la evaluación de la amenaza sísmica correspondiente a tres niveles de severidad: sismo de servicio, sismo de diseño y sismo máximo. A partir del análisis realizado, se determinó que la máxima derivada inelástica de piso alcanzó un valor de 0.011 en la dirección Y. Asimismo, la curva de capacidad obtenida por el análisis Pushover mostró que el punto de falla se produjo con un cortante basal de 133.64 toneladas y una deformación de 14.71 cm en el punto monitoreado. Además, el factor de reducción sísmica (R) fue de 5.109, ligeramente inferior al valor inicial de 5.40, indicando una diferencia del 1.057%. Por otra parte, las primeras rótulas plásticas se generaron en las vigas de los tramos 1-2 y 5-6 del primer nivel superior, así como en la base de las columnas de los ejes 2, 3 y 4 en planta baja. El colapso estructural se produjo al formarse mecanismos de falla en los dos primeros niveles, sin presencia de rótulas plásticas en los niveles superiores. Finalmente, se concluyó que la deformación de la estructura fue equivalente al 55% del límite normativo permitido (0.020), lo cual indica que se encuentra dentro de los márgenes establecidos. En efecto, la edificación presentó un comportamiento predominantemente elástico ante un sismo de servicio (período de retorno de 75 años), escasa ductilidad frente a un sismo de diseño (475 años) y daños moderados pero compatibles con el criterio de seguridad de vida ante un sismo máximo (975 años).

De igual manera Galindo et al. (2022) llevaron a cabo una investigación titulada *Evaluación del desempeño sísmico y de la confiabilidad de edificios de concreto reforzado diseñado en zonas de alta sismicidad*, cuyo propósito fue analizar el comportamiento estructural y la confiabilidad de edificaciones de concreto armado emplazadas en contextos de elevada actividad sísmica. Para ello, se adoptó un enfoque metodológico cuantitativo, de tipo aplicado, mediante la realización de un análisis dinámico no lineal paso a paso sobre una edificación diseñada conforme a la normativa mexicana. Posteriormente, dicha estructura fue evaluada bajo diferentes niveles de desempeño

sísmico definidos por los códigos internacionales. Los resultados del estudio evidenciaron que, para el edificio construido sobre Suelo Tipo I, la Curva Promedio Máxima (CPM) alcanzó valores de 0.08%, 0.16% y 0.23% para periodos de retorno de 72, 475 y 2475 años respectivamente, mientras que la distorsión máxima registrada fue de 0.21%, 0.23% y 0.39% para los mismos periodos, correspondientes a los niveles de desempeño de Ocupación Inmediata (IO), Seguridad de Vida (LS) y Prevención de Colapso (CP), respectivamente. En contraste, para el edificio sobre Suelo Tipo II, la CPM fue de 0.03%, 0.06% y 0.11%, y las distorsiones máximas fueron de 0.055%, 0.08% y 0.14%, manteniendo los mismos niveles de desempeño IO, LS y CP. Cabe resaltar que, en ambos casos, las probabilidades de falla estructural fueron prácticamente nulas. En síntesis, se concluyó que el edificio desplazado en Suelo Tipo II mostró un comportamiento sísmico más favorable en términos de distorsiones de entrepiso, lo que sugiere un mejor desempeño estructural frente a eventos sísmicos de diversa intensidad. Asimismo, se verificó que ambas edificaciones cumplen satisfactoriamente con los estándares de confiabilidad estructural y los requerimientos establecidos por la normativa vigente.

Así mismo Medina y Galarza (2020) desarrollaron un estudio titulado *Análisis sísmico comparativo de una estructura irregular torsionalmente flexible aplicando NSP, MPA y NLRHA*, cuyo objetivo fue contrastar la aplicabilidad y precisión de los métodos de análisis no lineal estático (NSP), pushover multimodal (MPA) y análisis no lineal de historia de respuesta (NLRHA), en el comportamiento sísmico de estructuras irregulares. Para ello, se empleó un enfoque metodológico cuantitativo, tomando como unidad de análisis un edificio aporticado de hormigón armado de diez niveles y un subsótano. Entre los hallazgos más relevantes, se observó que en la dirección X los desplazamientos obtenidos mediante el método MPA (0.2083) fueron cercanos a los del NSP (0.1946) y más próximos a los del NLRHA (0.2674). En cambio, en el sentido Y, el método NSP arrojó resultados más ajustados al NLRHA (0.2219), con un error del 2.9%. En cuanto a las derivas inter-piso, el NSP se aproximó más al NLRHA en la dirección X, presentando una desviación del -36.51% en la deriva máxima. Sin embargo,

en la dirección Y, el MPA arrojó mayores demandas por desplazamiento, aunque fue el NLRHA el que registró la deriva máxima. Asimismo, el análisis MPA permitió excitar el 59.2% de la masa modal en la dirección X y el 44% en la dirección Y mediante el primer modo. Por otro lado, el método NLRHA identificó daños concentrados en los niveles intermedios, con afectaciones significativas en las columnas del último piso, comportamiento que fue consistente con el modelo MPA, pero no con el NSP. En conclusión, se determinó que el método NSP presenta limitaciones en la estimación de desplazamientos y mecanismos de daño en estructuras con periodos superiores a un segundo ( $T > 1$  s), mientras que el MPA, si bien es confiable para identificar mecanismos de daño, pierde precisión en el cálculo de desplazamientos en estructuras.

De igual manera Flores (2020) llevó a cabo una investigación titulada *Evaluación del desempeño sismorresistente de una edificación mediante Análisis Estático No Lineal Pushover: Estudio de caso*, cuyo objetivo central fue analizar si una edificación construida sin un diseño estructural específicamente orientado a resistir cargas sísmicas era capaz de responder adecuadamente ante un evento telúrico de alta intensidad. Para tal propósito, se aplicó el análisis estático no lineal tipo Pushover con el fin de evaluar el comportamiento estructural y el nivel de desempeño de la edificación. Con el fin de desarrollar el modelo analítico, se recopiló información técnica esencial como las dimensiones de los elementos estructurales, las cargas gravitacionales actuantes, las propiedades de los materiales utilizados, los planos *As-built* de las armaduras internas, así como los resultados del estudio

geotécnico del terreno, el cual fue clave para calcular la carga sísmica de acuerdo con la normativa establecida en la Guía Boliviana de Diseño Sísmico. A partir de ello, se construyó un modelo computacional al que se le asignaron las cargas espectrales correspondientes, aplicando el análisis mediante los softwares SAP2000, ETABS y

Microsoft Excel. Entre los principales resultados, se destaca que el estudio permitió generar una base de datos útil para la formulación de recomendaciones técnicas aplicables a futuras edificaciones en la zona de estudio. Además, se validó la aplicabilidad del factor de comportamiento propuesto por la guía normativa y se evidenció que, incluso en edificaciones de hormigón armado no diseñadas originalmente con criterios sismorresistentes, es posible alcanzar un nivel de resistencia estructural significativo frente a movimientos sísmicos severos.

#### **A nivel nacional**

Así mismo Carmelo (2022) desarrolló una investigación titulada *Evaluación del desempeño sísmico de un edificio de concreto armado diseñado con la norma E.030 del 2003 mediante un Análisis No Lineal Estático*, cuyo propósito fue analizar el comportamiento sísmico de una edificación multifamiliar de ocho niveles ubicada en el distrito de San Isidro, Lima, diseñada bajo los lineamientos de la antigua normativa peruana E.030-2003. Para alcanzar este objetivo, el estudio adoptó un enfoque cuantitativo, de tipo aplicado, con alcance descriptivo y diseño no experimental de corte transversal. Como herramienta principal de análisis, se empleó el método no lineal estático tipo Pushover. A partir del modelamiento estructural y la aplicación de cargas laterales incrementales, los resultados obtenidos evidenciaron que frente a un sismo de diseño, la edificación presentó una ductilidad del 15.5 % en la dirección XX y del 36.79 % en la dirección YY, ambos valores por debajo del umbral del 60 % planteado en las hipótesis iniciales. Asimismo, se identificó que la deriva interpisos máxima, desde el tercer nivel en la dirección Y, superó el límite normativo de 0.007. En cuanto a la resistencia estructural, se obtuvo un cortante basal máximo de 445 toneladas-fuerza (tonf) en la dirección Y y de 1464.43 tonf en la dirección X, mientras que las deformaciones últimas alcanzaron 46.90 cm y 25.68 cm respectivamente. Respecto al

desempeño frente a un sismo con periodo de retorno de 475 años, se identificaron desplazamientos máximos de 22.77 cm (Y) y 7.53 cm (X), con fuerzas internas máximas de 425.23 tonf y 1198.74 tonf respectivamente. En síntesis, el estudio concluyó que la edificación mostró un comportamiento estructural razonablemente aceptable dentro de los parámetros de la norma vigente (E.030-2018), posicionándose en un nivel de desempeño de tipo “resguardo”. Sin embargo, se identificaron deficiencias en cuanto al cumplimiento integral de los criterios actuales, especialmente por el exceso de deriva en una de las direcciones principales, lo cual pone en evidencia la necesidad de reevaluar edificaciones construidas bajo normativas anteriores.

Por su parte Chancafe y Gonzales (2021) desarrollaron un estudio titulado *Evaluación del desempeño sísmico de un edificio multifamiliar de concreto armado de 8 pisos mediante un análisis Pushover, distrito de Santiago de Surco*, con el propósito de analizar la respuesta estructural de una edificación ante diversos niveles de exigencia sísmica. En términos metodológicos, la investigación se enmarcó en un enfoque cuantitativo, de tipo aplicado, con diseño no experimental y alcance descriptivo, siguiendo una secuencia lógica de evaluación probatoria. Los resultados obtenidos evidenciaron que la deriva máxima alcanzada fue de 0.0051 en la dirección X y de 0.0013 en la dirección Y, siendo ambos valores inferiores al límite normativo de 0.007 establecido por la Norma Técnica Peruana

E.030. A través del método del espectro por capacidad, se determinaron desplazamientos objetivos de 1.79, 2.23, 12.72 y 20.24 cm en la dirección X, mientras que en la dirección Y se obtuvieron valores de 0.76, 1.03, 2.75 y 4.91 cm. Paralelamente, mediante el método de los coeficientes, se reportaron desplazamientos de 3.42, 5.27, 11.29 y 15.47 cm en X, y de 1.03, 1.42, 4.45 y 6.89 cm en Y. En cuanto a la capacidad de disipación de energía, se evidenció una ductilidad de  $\mu = 4.75$  para

la dirección X y  $\mu = 2.50$  para la dirección Y, valores inferiores al coeficiente de reducción sísmica  $R = 6$ , utilizado en el diseño estructural inicial. Si bien se observaron diferencias en la ubicación de los puntos de desempeño según el método aplicado, los autores concluyeron que la edificación cumple con los parámetros establecidos por el Comité Visión 2000. En consecuencia, se determinó que la estructura presenta un comportamiento adecuado frente a sismos severos, sin que exista riesgo inminente de colapso estructural.

Entre tanto Bravo (2021) llevó a cabo una investigación titulada *Evaluación del desempeño sísmico de un edificio de concreto armado considerando los efectos de la interacción suelo-estructura, Lima, 2021*, con el objetivo de analizar el impacto que tiene la interacción entre el terreno y la estructura sobre el comportamiento sismorresistente de edificaciones de concreto armado. Para ello, el estudio adoptó una metodología de tipo aplicada, con diseño cuasiexperimental, y se basó en los lineamientos de la normativa estadounidense NIST GCR 12-917-21, evaluando dos modelos: uno con base rígida (Modelo A) y otro con base flexible (Modelo B). Los resultados del análisis demostraron que, bajo condiciones adversas de un suelo tipo 1, el modelo estructural con base flexible presentó un desplazamiento lateral 5.8 % mayor en comparación con el modelo con base rígida. Asimismo, se evidenció un incremento en el período fundamental de vibración de 0.83 % en el segundo modo y de 1.56 % en el tercero, sin variaciones relevantes en el primer modo. En contraste, la fuerza cortante se redujo en 5.40 % en el modelo con base flexible en el escenario más crítico. Estos hallazgos indican que la flexibilidad del terreno de cimentación afecta parámetros estructurales clave, como el período de vibración, desplazamientos, fuerzas internas y momento de volteo. Además, se registró una disminución en la fuerza axial en las columnas exteriores del modelo B, mientras que el desplazamiento lateral en la azotea

fue similar al del modelo A. En conclusión, la incorporación del efecto de interacción suelo-estructura permite una reducción de la fuerza cortante y del momento de volteo, aportando ventajas en términos de seguridad estructural y eficiencia económica.

De igual manera Muñoz (2018) desarrolló una investigación titulada *Evaluación del desempeño sísmico de hospitales aislados en el Perú*, cuyo propósito fue analizar el comportamiento estructural de una edificación hospitalaria de concreto armado equipada con un sistema de aislamiento sísmico. Para ello, se adoptó una metodología de enfoque cuantitativo, con alcance descriptivo, aplicando el método de análisis dinámico incremental (IDA), el cual permite evaluar la respuesta de la estructura ante distintas intensidades sísmicas. Entre los principales hallazgos, se identificó una deriva máxima de 0.0022 en la dirección X y de 0.0031 en la dirección Y, siendo esta última la más crítica frente a un sismo con periodo de retorno de 2475 años. Asimismo, se registraron aceleraciones de piso inferiores a 0.22g, lo cual sugiere un adecuado control de la respuesta dinámica. El análisis del giro de las rótulas arrojó una relación R/RL de 0.2 para una aceleración pico del suelo (PGA) de 0.4g, y de 0.5 para una PGA de 0.6g; en ambos casos, sin superar el umbral del nivel de desempeño correspondiente a Ocupación Inmediata (0.675g). No obstante, se evidenció que ante una PGA de 0.8g, dicho límite sí fue sobrepasado. En conclusión, el estudio determinó que la estructura hospitalaria presentó un nivel de daño leve bajo la acción de un evento sísmico severo ( $T_r = 2475$  años), con afectaciones menores atribuibles a las aceleraciones generadas, principalmente en los contenidos del edificio. A pesar de ello, se verificó el cumplimiento de los criterios de desempeño establecidos para el nivel de Ocupación Inmediata, lo que demuestra la efectividad del sistema de aislamiento implementado.

En forma similar Fernández (2018) desarrolló una investigación titulada *Análisis Pushover para evaluar el desempeño sísmico de una institución educativa en el Centro*

*Poblado Yungasuyo, provincia de Utcubamba – Amazonas*, cuyo propósito fue analizar el comportamiento sísmico de una edificación de dos niveles, conformada por pórticos de concreto armado en ambas direcciones principales. La metodología adoptada fue de tipo descriptivo, con enfoque cuantitativo, aplicando técnicas de fichaje para la recopilación de datos estructurales y el método de análisis no lineal estático tipo Pushover para la evaluación del desempeño. En cuanto a los resultados, se evidenció que la capacidad sísmica de la estructura en la dirección X-X alcanzó un cortante basal de 98.6 toneladas con un desplazamiento máximo de 5.982 cm en el punto de control. En la dirección Y-Y, el cortante registrado fue de 130.2 toneladas, con una deformación máxima de 3.315 cm. A partir de la curva de capacidad y bajo una demanda sísmica definida por los parámetros  $Z = 0.25$ ,  $U = 1.5$ ,  $S = 1.2$  y un factor  $R = 1$ , se observó una disminución significativa del periodo de vibración: de 0.56 a 0.34 segundos en la dirección X, y de 0.37 a 0.29 segundos en la dirección Y. Asimismo, se constató una reducción de la deriva máxima, de 0.0153 a 0.0060 en X y de 0.0078 a 0.0046 en Y, tras la implementación de reforzamientos estructurales. En síntesis, se concluyó que, inicialmente, la edificación no alcanzaba un nivel de desempeño aceptable, al no cumplir con los criterios del estado límite de Ocupación Inmediata frente a un evento sísmico severo. No obstante, luego del refuerzo en las zonas críticas especialmente en columnas con formación de mecanismos de falla, la estructura logró satisfacer los requerimientos correspondientes al nivel de desempeño de Seguridad de Vida ante un sismo de diseño.

### **A nivel local**

De igual forma Luna (2021) llevó a cabo una investigación titulada *Diseño y evaluación del desempeño sismorresistente de un edificio aporticado de concreto armado de diez pisos, Abancay, Apurímac – 2021*, cuyo objetivo fue diseñar y analizar el comportamiento estructural frente a eventos sísmicos de una edificación de diez niveles construida con pórticos de concreto armado en la ciudad de Abancay. La metodología adoptada fue de tipo aplicada, con un enfoque cuantitativo, diseño no experimental y nivel explicativo; utilizándose la observación directa como técnica principal de recolección de información. En relación con los resultados del análisis lineal, se determinó que la estructura no presentaba irregularidades torsionales. Asimismo, se verificó que la fuerza cortante dinámica fue superior al 80 % de la fuerza de corte estática ( $21.0312 \geq 21.0306$ ), cumpliendo así con los requerimientos mínimos exigidos por la normativa. Por otro lado, en el análisis de desempeño estructural mediante el método Pushover, se evidenció la formación de rótulas plásticas en el nivel de techo, cuando la edificación alcanzó un desplazamiento lateral de 1.25 cm. Además, se registró una deriva inelástica de entrepiso de 0.0042 cm, la cual se encuentra por debajo del límite normativo de 0.005 cm. En consecuencia, se concluyó que la edificación evaluada logró un nivel de desempeño admisible-operacional, evidenciando regularidad estructural en ambas direcciones principales. No obstante, a pesar del cumplimiento normativo en cuanto a derivas y ausencia de torsión, se identificaron ciertos elementos con resistencia estructural insuficiente frente a sollicitaciones mayores, ubicándolos dentro de un estado de desempeño cercano al colapso estructural, lo que sugiere la necesidad de mejoras locales en dichos componentes críticos.

Finalmente Meza (2020) desarrolló un estudio titulado *Desempeño sísmico de una edificación esencial mediante métodos de análisis sísmico no lineal – Institución*

*Educativa Santa Rosa, Abancay, Apurímac 2020*, con el objetivo de evaluar el comportamiento sísmico de una edificación esencial aplicando métodos de análisis no lineales. La investigación se enmarcó en una metodología de tipo aplicada, con nivel explicativo y diseño experimental. En cuanto a los resultados obtenidos a través del análisis no lineal estático, se identificaron desplazamientos en las direcciones X e Y bajo diferentes niveles de demanda sísmica. Frente a una demanda ocasional, los desplazamientos registrados fueron de 3.47 cm y 2.92 cm respectivamente; ante un sismo raro, aumentaron a 7.77 cm y 7.49 cm; mientras que para un evento sísmico muy raro, se alcanzaron desplazamientos de 11.82 cm en la dirección X y 11.84 cm en la Y. Por otro lado, mediante el análisis dinámico no lineal por historia de tiempo, los puntos de desempeño se ubicaron en 0.2205g para sismo ocasional (SO), 0.45g para sismo raro (SR) y 0.6255g para sismo muy raro (SMR). Las derivas máximas en la dirección X fueron de 0.003996, 0.01021 y 0.0164, respectivamente; mientras que en la dirección Y se reportaron valores de 0.004068, 0.01049 y 0.02173 en el mismo orden. Como resultado del análisis comparativo, se evidenció una coherencia entre ambos métodos, lo que permitió concluir que la edificación evaluada alcanzó un desempeño funcional ante sismos ocasionales, un nivel de resguardo de vida frente a sismos raros, y un desempeño cercano al colapso ante eventos sísmicos muy raros. En consecuencia, se determinó que si bien la estructura no excedió los límites normativos de daño en escenarios moderados, sí presentó respuestas críticas en niveles sísmicos extremos. Finalmente, se destacó que el método de análisis dinámico tipo tiempo-historia proporcionó una caracterización más precisa del comportamiento estructural, complementando eficazmente los hallazgos obtenidos mediante el análisis estático no lineal.

## 3.2. Bases teóricas

### 3.2.1. *Análisis estático no lineal*

El análisis no lineal es una herramienta clave para evaluar el desempeño sísmico de las edificaciones, ya que permite una representación más realista del comportamiento estructural bajo condiciones extremas. A diferencia del análisis lineal, considera las no linealidades de materiales y geometría, lo que mejora la precisión en la estimación de la respuesta estructural. Su propósito es determinar fuerzas internas y desplazamientos frente a cargas sísmicas, verificando el cumplimiento de los niveles de seguridad y funcionalidad establecidos (Krawinkler, 1998).

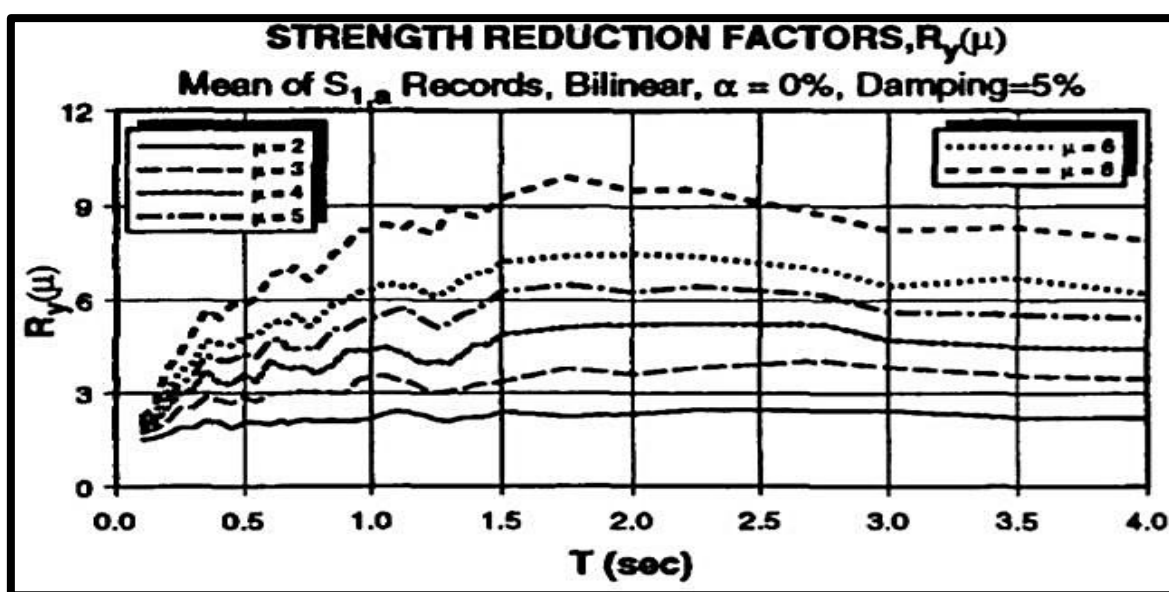
Según lo expuesto por Krawinkler (1998), el análisis no lineal estático suele emplear una simplificación del sistema estructural, modelándolo como un sistema con un solo grado de libertad por nivel. Aunque esta aproximación no refleja con exactitud el comportamiento de un sistema con múltiples grados de libertad, ha demostrado ser suficientemente precisa, ya que los resultados obtenidos son comparables con aquellos derivados de modelos más complejos que consideran tres grados de libertad por nivel. Esta simplificación se fundamenta en que la mayor parte de la respuesta estructural se concentra en la dirección de aplicación de la carga. En este contexto, el análisis comienza con la definición de un vector de forma modal ( $\Phi$ ), que representa el patrón de desplazamiento de la estructura, permitiendo el uso de tres enfoques metodológicos para evaluar la respuesta no lineal frente a cargas laterales: el incremental, el iterativo y el mixto, cada uno con procedimientos particulares (Argyris y Kleiber, 1982).

El análisis no lineal permite evaluar con mayor precisión el comportamiento sísmico de una estructura al considerar la no linealidad de materiales y geometría. Se aplican tres métodos: incremental, iterativo y mixto, que permiten modelar cómo varía la rigidez estructural bajo cargas crecientes. Este enfoque se apoya en espectros de

demanda elástica e inelástica, y requiere factores correctivos como la resistencia de fluencia, degradación de rigidez y efecto P-Delta para estimar la respuesta real. Además, existe una relación entre la ductilidad y el daño estructural, siendo crítica en estructuras con periodos cercanos a 0.5 segundos.

**Figura 1**

*Relación del factor R con el periodo para distintas ductilidades (Krawinkler, 1998).*

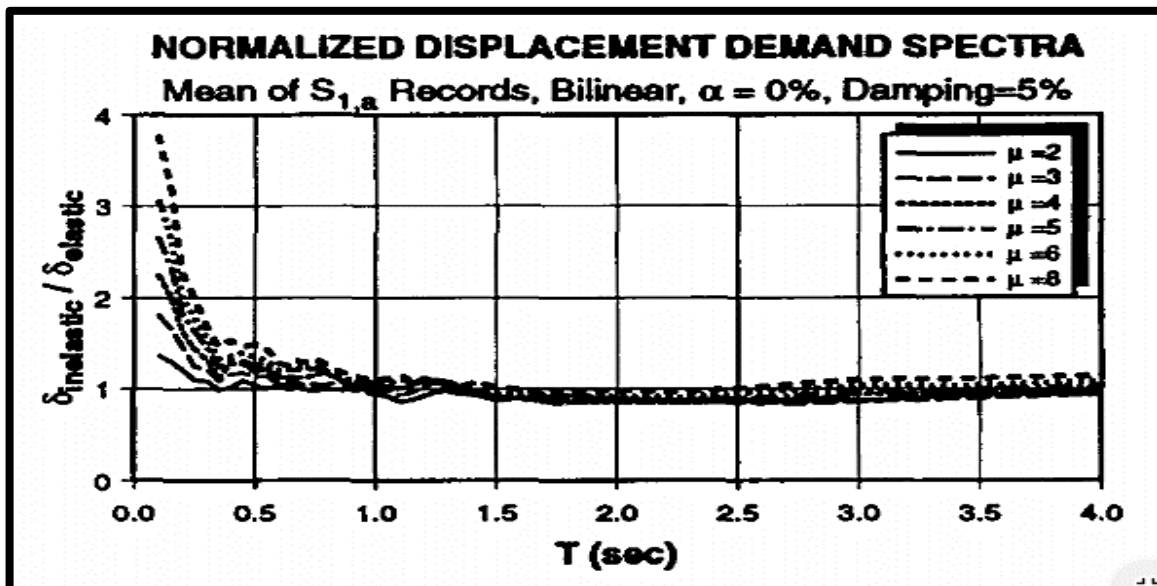


*Nota.* Fuente Krawinkler, 1998

El deterioro por resistencia representa un factor relevante en el comportamiento sísmico, aunque no es posible definirlo mediante una expresión directa. En su lugar, suele asociarse a la capacidad de disipación de energía de la estructura. Por otro lado, el efecto P- delta se produce cuando las cargas gravitacionales actúan sobre una estructura ya desplazada, incrementando así los desplazamientos laterales. Este fenómeno es más notorio en los niveles inferiores de las edificaciones y puede inducir una pérdida de rigidez después de la fluencia, llegando incluso a generar rigidez negativa.

Figura 2

*Espectro de desplazamientos para distintas ductilidades inelásticas (Krawinkler, 1998).*



*Nota.* Fuente Krawinkler 1998

El modelo bilineal, que desprecia el endurecimiento post-fluencia ( $\alpha = 0$ ), permite obtener los desplazamientos mínimos posibles, observándose que para periodos menores a 0.5 segundos, la relación entre desplazamientos elásticos e inelásticos es altamente variable; mientras que, para periodos mayores, esta relación tiende a estabilizarse.

Si bien el análisis no lineal estático es una herramienta útil, presenta limitaciones. Está diseñado para estructuras simétricas que pueden representarse mediante modelos simplificados de una masa concentrada por nivel y cuya respuesta está dominada por el periodo fundamental. Esto lo hace inaplicable a edificaciones con irregularidades en planta o altura, ya que omite los efectos de torsión y las cargas verticales inducidas por el sismo, debido a su formulación bidimensional. En estructuras con condiciones límite o configuraciones complejas, estos efectos pueden ser relevantes. Además, diversas investigaciones sugieren no aplicar este tipo de análisis a edificaciones con periodos largos, debido a la pérdida de precisión en la estimación del desempeño estructural.

### 3.2.1.1. Modelos de análisis inelásticos

Las estructuras en ingeniería suelen presentar un comportamiento complejo, lo que hace necesario el uso de modelos para su análisis. Un modelo se entiende como la idealización de una estructura o de sus componentes, permitiendo adaptar su representación a las exigencias de un determinado tipo de análisis o diseño. La elección del modelo adecuado depende directamente del tipo de respuesta que se busca estudiar, por lo que no es posible aplicar un mismo esquema para todos los casos. En ocasiones, es precisamente la complejidad del modelo lo que conduce a resultados más precisos y útiles. En ese sentido, el presente trabajo expone el modelo estructural que será analizado.

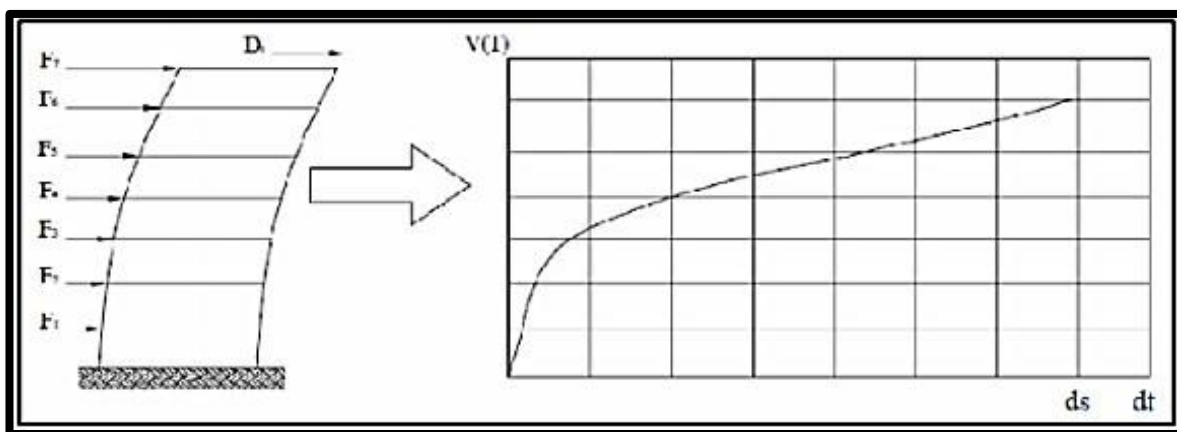
**3.2.1.1.1. Análisis estático no lineal o Pushover.** El análisis estático no lineal, conocido como Pushover, se ha posicionado como una herramienta ampliamente utilizada en la evaluación del desempeño sísmico, debido a su capacidad para estimar con eficacia el nivel de riesgo estructural, especialmente en edificaciones de concreto armado (Nuñez, 2023) Este método permite simular el comportamiento inelástico de una estructura frente a cargas sísmicas crecientes, fundamentándose en los conceptos de capacidad y demanda (Mora et al., 2006). Para ello, se construye una curva de capacidad que relaciona el cortante basal con el desplazamiento superior de la estructura, representando así su resistencia progresiva hasta el colapso (Zabala, 2017).

Cuando esta curva se cruza con el espectro de demanda sísmica en coordenadas de desplazamiento y aceleración espectral (S-D), se obtiene el punto de desempeño, el cual refleja el equilibrio entre la capacidad estructural y la exigencia sísmica del terreno. Este punto permite determinar el nivel de daño esperado, categorizado según estándares como funcional, ocupación inmediata, resguardo de vida o prevención del colapso. Además, el diagrama de capacidad resultante es clave para estimar la resistencia y

ductilidad global de la edificación (Betti et al., 2015). Sin embargo, es importante señalar que, al ser un procedimiento estático, este análisis no contempla los efectos cíclicos ni las cargas inversas que pueden incidir en la degradación estructural durante un sismo real.

### Figura 3

*Curva de capacidad o pushover: cortante basal frente a desplazamiento de terraza*



*Nota.* Tomado de Paredes (2023).

En el análisis *pushover*, las fuerzas laterales aplicadas en cada nivel de la estructura ( $F_1$ ,  $F_2$ , ...,  $F_n$ ) se distribuyen de acuerdo con un patrón determinado, cuya sumatoria representa el cortante basal total ( $V$ ). Como resultado de esta aplicación, la estructura experimenta un desplazamiento lateral máximo ( $d_{\square}$ ). El procedimiento consiste en incrementar gradualmente dichas cargas hasta llevar al sistema estructural al colapso o a su máxima deformación admisible. Es fundamental que el patrón de cargas utilizado se asemeje lo más posible a la distribución de fuerzas inerciales que se generarían durante un evento sísmico real. Sin embargo, debe considerarse que dichas fuerzas inerciales varían según la intensidad del sismo, mientras que en el análisis *pushover*, por simplicidad, el patrón de carga lateral se mantiene constante a lo largo del proceso. (Paredes, 2023)

Además, se debe saber que el análisis Pushover utiliza principalmente dos patrones de

distribución de carga lateral propuestos por el FEMA (Paredes, 2023):

En el análisis *pushover*, el patrón de carga lateral aplicado puede variar según el criterio adoptado para representar la acción sísmica. Uno de los enfoques más comunes es el patrón de carga uniforme, en el cual la fuerza lateral asignada a cada nivel es directamente proporcional a su masa, sin considerar la altura o la distribución de deformaciones modales. Este patrón es simple y fácil de implementar, aunque puede no reflejar adecuadamente la respuesta dinámica real de la estructura.

Otro enfoque más representativo es la distribución modal, en la que las fuerzas laterales se asignan en función del producto entre la masa de cada piso y la forma modal correspondiente al primer modo de vibración. Esta forma de carga considera las deformaciones relativas de los niveles, lo que permite capturar de manera más precisa los efectos del modo predominante de respuesta. Para edificaciones más complejas, se pueden incorporar múltiples modos de vibración, permitiendo una distribución de cargas más realista frente a excitaciones sísmicas.

Según Galindo (2022), El análisis estático no lineal puede implementarse a través del Método del Espectro de Capacidad (MEC), formulado por Freeman en 1998. Este enfoque permite establecer una comparación gráfica entre la capacidad estructural de una edificación y la demanda sísmica prevista. En efecto, al superponer la curva de capacidad con el espectro de demanda, se facilita una evaluación visual e integral de la respuesta estructural frente a un evento sísmico, lo cual resulta fundamental para estimar el punto de desempeño y verificar el cumplimiento de los objetivos de seguridad estructural. Según Medina y Music (2018) la intersección de ambas curvas define el punto de desempeño, que representa el equilibrio entre lo que la estructura puede resistir y lo que el sismo le exige.

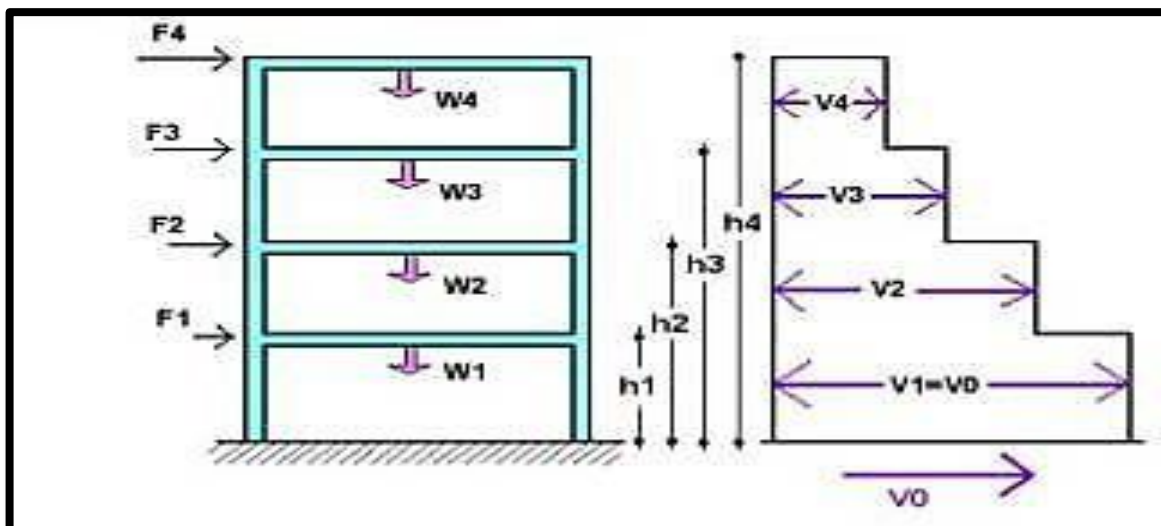
✓ **Desplazamiento lateral.** Se entiende por desplazamiento lateral a las

distorsiones o movimientos horizontales experimentados por una estructura, particularmente, en sus entrepisos, como resultado de las fuerzas sísmicas; y su evaluación se realiza con el objetivo de cumplir con un estado límite de limitación de daños que asegure que las distorsiones no superen ciertos valores críticos que causen daño estructural o no estructural (Esteva, 2020).

De acuerdo con Guerrero (2019), cuando el desplazamiento lateral máximo de la estructura es de aproximadamente 4 a 5% de la altura total de la edificación, se presenta el colapso de la estructura.

Por otro lado, para estructuras regulares, los desplazamientos laterales se calcularán multiplicando por  $0.75 R$  los resultados obtenidos del análisis lineal y elástico con las sollicitaciones sísmicas reducidas; y para estructuras irregulares, los desplazamientos laterales se calcularán multiplicando por  $0.85 R$  los resultados obtenidos del análisis lineal elástico; aunque, no se debe considerar los valores mínimos de  $C/R$  menores a 0.125, ni el cortante mínimo en la base; es decir, menor al 80% del valor calculado según el numeral 4.5 del D.S. N°003-2016-VIVIENDA para estructuras rregulares, ni menor que el 90% para estructuras irregulares (El Peruano, 2016).

✓ **Cortante basal.** Es la fuerza resultante a nivel de cargas últimas en la base de la estructura compuesta por la sumatoria de las fuerzas laterales aplicadas en cada piso (Velásquez, 2022).

**Figura 4***Cortante basal*

*Nota.* Tomado de paredes 2023

También se entiende como el comportamiento que presenta el edificio inducido por las vibraciones del sismo, sujeta a la variación de las vibraciones sísmicas y diversos factores; por lo que, de acuerdo con la NTP E.030, presenta el siguiente mecanismo (Colonia, 2017):

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

Z: Factor de zonificación sísmica

U: Factor de uso

C: Coeficiente de amplificación

S: Factor de suelo

R: Factor de reducción sísmico

P: Peso de la edificación

Debiendo considerarse para C/R el valor mínimo de 0.125.

### **3.2.1.1.2. Modelos con plasticidad concentrada**

Los modelos estructurales con plasticidad concentrada son ampliamente utilizados en el análisis de edificaciones sismorresistentes, ya que permiten representar el comportamiento no lineal mediante la asignación de rótulas plásticas en los extremos de los elementos, a los cuales se les asocian propiedades mecánicas derivadas del análisis estructural. Sin embargo, su aplicación presenta ciertas limitaciones, especialmente en el modelado de columnas, debido a que estas están sometidas simultáneamente a cargas axiales y momentos flectores, cuya interacción se representa mediante diagramas específicos. Una de las principales dificultades radica en la sensibilidad de estos modelos a variaciones en las condiciones de carga, lo cual puede alterar significativamente la forma de la curva de capacidad. Para mitigar este problema, es necesario calibrar adecuadamente los modelos mediante ensayos experimentales de alta precisión, ya que cualquier desviación en los parámetros puede modificar el estado de carga y, con ello, afectar los resultados del análisis estructural. (Martínez y Narváez, 2019).

Tal como se ha mencionado previamente, ante la acción de cargas sísmicas, resulta fundamental evaluar los posibles daños estructurales dentro del rango inelástico, lo cual se manifiesta a través de la formación de rótulas plásticas. Este fenómeno se define como la articulación que se genera en una sección estructural una vez superado el límite elástico del material, permitiendo un giro relativo sin incremento adicional de carga. En esta condición, la sección pierde capacidad portante adicional, marcando el inicio de un mecanismo de colapso, el cual se completa cuando la sección más resistente alcanza su estado plástico.

Se reconoce que, a mayor cantidad de apoyos o secciones en el sistema estructural, mayor será el retardo en la formación del mecanismo global de falla, lo cual puede traducirse en una mejora en la ductilidad del sistema. Las rótulas plásticas también actúan como

disipadores de energía, ya que permiten liberar parte de la energía acumulada durante el ingreso al comportamiento inelástico. Esto resulta particularmente ventajoso en estructuras hiperestáticas, al contribuir a su estabilidad más allá del rango elástico.

En este contexto, es esencial que el modelo estructural contemple límites apropiados para el desarrollo de las rótulas, en función del desempeño esperado. Por tal motivo, la definición precisa de sus propiedades mecánicas y condiciones de activación resulta clave para una evaluación estructural confiable y realista.

En el marco del modelado estructural con comportamiento no lineal, este se representa mediante zonas plásticas localizadas en los extremos de los elementos, las cuales corresponden a una fracción de la longitud total del componente. Así, se divide cada elemento en tres tramos: dos regiones donde se forman las rótulas plásticas, y una región central que conserva un comportamiento lineal-elástico. Para simular esta respuesta, se emplean principalmente dos tipos de elementos: los basados en fuerzas y los basados en desplazamientos.

Los elementos basados en fuerzas no se tratan como cuerpos rígidos y conservan la validez de las ecuaciones de equilibrio incluso en el rango inelástico. En estos, la relación entre fuerzas y desplazamientos se obtiene mediante puntos de integración distribuidos a lo largo del elemento, cuya rigidez puede variar espacialmente. En cambio, los elementos basados en desplazamientos calculan la respuesta global del elemento a partir de sus extremos, exigiendo condiciones de contorno más complejas, lo que dificulta su aplicación práctica. Por esta razón, los modelos basados en fuerzas son los más utilizados. Cuando el material presenta endurecimiento, el número de puntos de integración se incrementa, conduciendo a una solución única. En contraste, si existe ablandamiento, pueden generarse múltiples soluciones en un mismo punto de integración, lo que complica el análisis. Para abordar estas dificultades, se establecieron tres principios

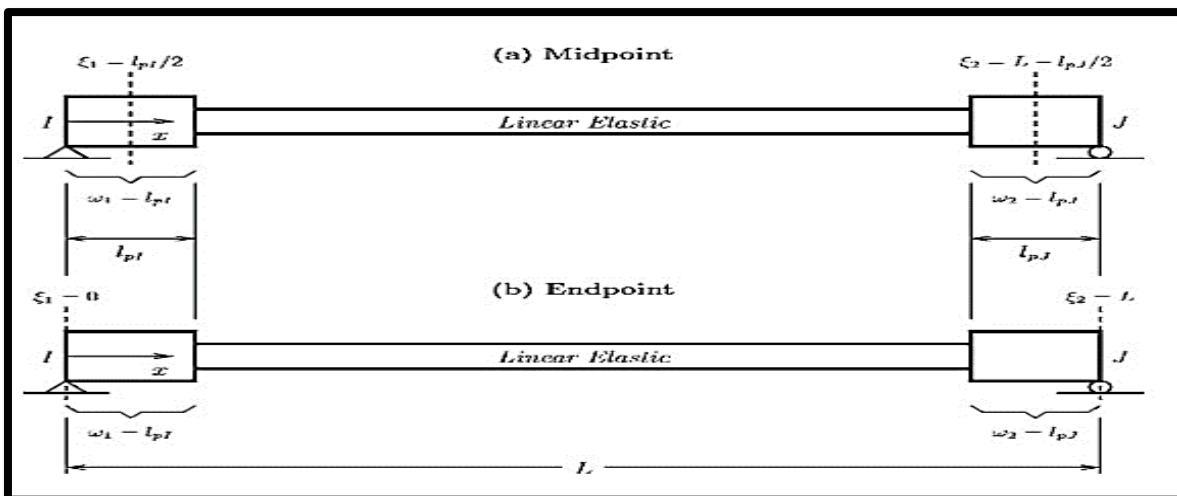
fundamentales para la integración de rótulas plásticas: (1) ubicar las secciones plásticas donde el momento flector es máximo, (2) utilizar la integración polinómica para obtener soluciones exactas ante distribuciones lineales de fuerzas y (3) calcular deformaciones a partir de secciones simples dentro de las regiones plásticas. Es importante señalar que la deformación por ablandamiento se expresa únicamente dentro de la longitud asignada a las rótulas.

Inicialmente, se propuso el método Midpoint, que posicionaba el punto de integración en el centro de la región plástica. No obstante, este no permitía representar con precisión los momentos máximos en los extremos ni capturar distribuciones de deformación no lineales. Posteriormente, el método Endpoint propuso ubicar el punto de integración en los extremos de las zonas plásticas, pero tampoco resolvía completamente la distribución real de deformaciones.

Ante estas limitaciones, Scott y Fenves (2006) introdujeron el método Gauss-Radau, el cual fue posteriormente ajustado para cumplir con los criterios fundamentales antes descritos. Este método permite representar la respuesta estructural bajo distintas condiciones de carga con mayor precisión. Se ha determinado que asignar una longitud equivalente al 15 % de la longitud total del elemento ( $0.15L$ ) constituye una estimación adecuada para modelar el comportamiento plástico concentrado en este tipo de análisis.

**Figura 5**

Modelos de rotulas para métodos de integración



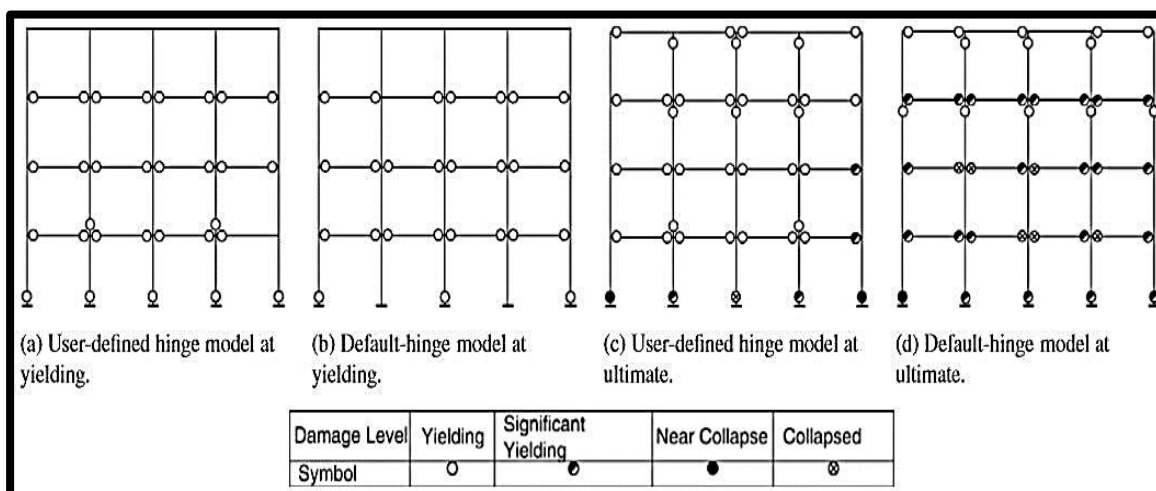
Nota. Fuente Scott y Fenves 2006

En el marco del análisis estructural no lineal, el mecanismo típico de formación de rótulas plásticas suele iniciar en las vigas, para luego manifestarse en las columnas del primer nivel y continuar progresivamente hacia los niveles superiores. Este comportamiento responde al criterio de “viga débil – columna fuerte”, cuyo propósito es concentrar las fallas en los elementos horizontales, permitiendo así una disipación controlada de energía sin comprometer la estabilidad global del sistema estructural. De este modo, la localización del daño en las vigas contribuye a evitar un colapso generalizado, favoreciendo una respuesta estructural más segura.

Asimismo, este principio se representa gráficamente mediante los resultados del análisis pushover, los cuales permiten visualizar la secuencia progresiva de formación de rótulas plásticas en un pórtico sometido a cargas laterales crecientes. En este contexto, la figura 5 ilustra dicha evolución, mostrando los distintos niveles de daño estructural conforme aumenta la demanda sísmica. Esta representación resulta esencial para identificar tanto el punto de desempeño alcanzado por la estructura como los mecanismos de colapso incipiente, aportando información clave para la toma de decisiones en ingeniería sismorresistente.

**Figura 6**

*Desarrollo de rotulas plásticas en estados últimos de un pórtico*



*Nota.* Fuente Inel y Baytan 2006

### **Análisis Pushover Multimodal**

De acuerdo con Medina y Galarza (2020), este método se emplea para estructuras con un período de vibración natural superior a 1 segundo, donde los modos de vibración superiores influyen significativamente en la respuesta; esto, implica empujar la estructura hasta un desplazamiento en el techo basado en la deformación máxima del modo de vibración específico; luego por procesos de combinación modal, se obtiene una evaluación más precisa sísmica de la estructura; sin embargo, su aplicación puede ser limitada en estructuras rígidas a torsión donde los dos primeros modos de vibración son predominantemente traslacionales, ya que la respuesta estática de la estructura se asemeja cualitativamente al comportamiento dinámico y, por lo tanto, solo se consideran los modos traslacionales.

### **Zonificación**

El territorio peruano, conforme a lo dispuesto por la Norma Técnica Peruana E.030, está dividido en cuatro zonas sísmicas determinadas en función de la sismicidad registrada, los antecedentes históricos de movimientos sísmicos, la atenuación de estos eventos

según la distancia al epicentro, y los datos proporcionados por estudios neotectónicos. En función de esta clasificación, se asigna a cada zona un factor sísmico  $Z$ , entendido como la aceleración horizontal máxima probable sobre suelo rígido, con una probabilidad del 10 % de ser superada en un intervalo de 50 años. Este factor, expresado como una fracción de la aceleración de la gravedad ( $g$ ), constituye un componente clave en el diseño estructural sismorresistente, pues permite adaptar los parámetros de cálculo al nivel de peligrosidad sísmica específico de cada región del país.

### Figura 7

*Territorio nacional con las zonas sísmicas (NTE E0.30, 2016)*



*Nota.* Fuente NTE E.030

**Tabla 2***Factores de la zona Z*

<b>Factores de la Zona "Z"</b>	
<b>Zona</b>	<b>Z</b>
4	0.45
3	0.35
2	0.25
1	0.10

*Nota.* NTE E.030, 2016**Factor S, Factor  $T_P$  y Factor  $T_L$** 

- De acuerdo con lo establecido por la Norma Técnica de Edificación E.030, uno de los parámetros fundamentales en el análisis sismorresistente es el coeficiente de amplificación sísmica, representado por el factor S, el cual varía en función del tipo de suelo donde se encuentra emplazada la estructura. Esta variabilidad se debe a que las características del suelo influyen directamente en la propagación y en la intensificación de las ondas sísmicas que se transmiten durante un evento telúrico.
- En este contexto, también se consideran dos parámetros clave en la configuración del espectro de diseño. Por un lado, se encuentra el periodo característico de la plataforma de amplificación, identificado como TPT\_PTP, que marca el inicio del rango en el cual la respuesta sísmica comienza a amplificarse notablemente. Por otro lado, el parámetro TLT\_LTL representa el periodo a partir del cual la amplificación se estabiliza, manteniéndose constante. Ambos valores son esenciales para definir la forma del espectro de diseño y, por ende, para evaluar de manera precisa la demanda sísmica sobre la edificación.
- Asimismo, la norma clasifica los suelos en cinco perfiles geotécnicos distintos, en función de la velocidad de propagación de ondas de corte ( $V_s$ ), lo que permite caracterizar su rigidez y comportamiento ante un sismo. En primer lugar, el Perfil Tipo S0 corresponde a roca intacta o extremadamente dura, con velocidades mayores a 1500

m/s, siendo considerado el suelo con mejor desempeño sísmico. En segundo lugar, el Perfil Tipo S1 agrupa materiales como rocas fracturadas o suelos muy rígidos, cuya velocidad de onda de corte oscila entre 500 m/s y 1500 m/s. Por su parte, el Perfil Tipo S2 representa suelos de rigidez intermedia, tales como arenas densas o arcillas consistentes, con velocidades comprendidas entre 180 m/s y 500 m/s.

- En contraste, el Perfil Tipo S3 abarca suelos blandos, usualmente compuestos por materiales altamente deformables, con velocidades de corte iguales o inferiores a 180 m/s. Finalmente, se identifica el Perfil Tipo S4, el cual incluye condiciones geotécnicas excepcionales, caracterizadas por una geología compleja y suelos extremadamente flexibles. En estos últimos casos, resulta imprescindible realizar un estudio geotécnico detallado para definir con precisión los parámetros sísmicos de diseño y garantizar la seguridad estructural.

**Tabla 3**

*Factor de suelo "S"*

<b>Factor de Suelo "S"</b>				
<b>Zona</b>	<b>Suelo</b>			
	<b>S<sub>0</sub></b>	<b>S<sub>1</sub></b>	<b>S<sub>2</sub></b>	<b>S<sub>3</sub></b>
Z4	0.80	1.00	1.05	1.10
Z3	0.80	1.00	1.15	1.20
Z2	0.80	1.00	1.20	1.40
Z1	0.80	1.00	1.60	2.00

*Nota.* NTE E.030, 2016

**Tabla 4**

*Periodos T<sub>p</sub> y T<sub>L</sub>*

<b>Perfil de Suelo</b>	<b>S<sub>0</sub></b>	<b>S<sub>1</sub></b>	<b>S<sub>2</sub></b>	<b>S<sub>3</sub></b>
<b>T<sub>p</sub></b>	0.30	0.40	0.60	1.00
<b>T<sub>L</sub></b>	3.00	2.50	2.00	1.60

*Nota.* NTE E.030, 2016

### Factor de Amplificación Sísmica (C)

Este factor se define según las características del lugar y se usan las siguientes expresiones:

$$T < T_P \quad C = 2.5$$

$$T_P < T < T_L \quad C = 2.5(T_P/T)$$

$$T > T_L \quad C = 2.5((T_P \cdot T_L)/T^2)$$

### Factor “U”

Según lo establecido en la Norma Técnica Peruana de Diseño Sismorresistente E.030, las edificaciones deben ser clasificadas en cuatro categorías funcionales, las cuales reflejan su grado de importancia en la atención y respuesta ante un sismo. Esta clasificación determina el valor del factor de uso (U), un coeficiente que incrementa las fuerzas sísmicas de diseño en función de la criticidad y función de la edificación dentro del entorno urbano y social.

En ese sentido, las edificaciones esenciales, agrupadas en la Categoría A, comprenden establecimientos como hospitales, estaciones de bomberos y otras infraestructuras de atención inmediata ante emergencias. Dada su alta relevancia operativa, estas construcciones reciben un valor de  $U = 1.5$ . Por su parte, la Categoría B incluye edificaciones importantes, tales como centros educativos, instalaciones gubernamentales y recintos destinados a la congregación masiva de personas, las cuales se diseñan con un factor  $U = 1.3$ .

En un nivel intermedio, la Categoría C corresponde a las edificaciones comunes, entre las que se encuentran viviendas, oficinas o edificaciones de uso cotidiano, las cuales mantienen un coeficiente de uso estándar de  $U = 1.0$ . Finalmente, las edificaciones temporales, agrupadas en la Categoría D, comprenden almacenes provisionales o estructuras desmontables, las cuales, a pesar de su carácter transitorio,

deben garantizar una adecuada resistencia y rigidez ante solicitaciones sísmicas, aunque no se les asigne un valor específico de  $U$  superior a 1.0.

Cabe precisar que, para aquellas estructuras que incorporan aislamiento sísmico en la base, la norma establece que el factor de uso se mantendrá en  $U = 1.0$ , independientemente de la categoría funcional, en reconocimiento de la eficiencia de esta tecnología para reducir las demandas sísmicas.

Adicionalmente, la norma contempla la aplicación del coeficiente básico de reducción de fuerzas sísmicas ( $R_0$ ), el cual se asigna exclusivamente a estructuras cuyas configuraciones estructurales tanto horizontales como verticales presentan una adecuada capacidad de disipación de energía, fundamental para asegurar la estabilidad estructural frente a eventos sísmicos severos. En el caso de sistemas de concreto armado, se establecen los siguientes valores:

- $R_0 = 8$  para sistemas aporricados (pórticos),
- $R_0 = 7$  para sistemas duales que combinan pórticos y muros estructurales,
- $R_0 = 6$  para sistemas conformados únicamente por muros estructurales, y
- $R_0 = 4$  para muros con ductilidad limitada, reconociéndose en estos últimos una menor capacidad de absorción de energía.

Esta normativa asegura que las edificaciones se diseñen en coherencia con su función y con los niveles de desempeño esperados ante sismos de distinta severidad.

### **Coefficiente de reducción de la fuerza sísmica “R”**

Para calcular el coeficiente de reducción de la fuerza sísmica ( $R$ ), resulta imprescindible identificar en primer lugar el tipo de sistema estructural de concreto adoptado en el proyecto. Esta elección permitirá determinar el coeficiente básico de reducción sísmica ( $R_0$ ), establecido por la Norma Técnica Peruana E.030 en función del comportamiento inelástico y la capacidad de disipación de energía del sistema

estructural seleccionado.

Una vez definido  $R_0$ , el valor final del coeficiente  $R$  se obtiene considerando los factores de penalización por irregularidades estructurales, tanto en planta como en altura.

La normativa establece la siguiente expresión:

$$R = R_0 \times I_a \times I_p$$

Donde:

- $I_a$  representa el factor de penalización asociado a irregularidades estructurales en altura,
- $I_p$  corresponde al factor relacionado con irregularidades en planta.

La Norma E.030 identifica seis tipos de irregularidades en altura y cinco tipos de irregularidades en planta, cuya presencia reduce la capacidad de la estructura para responder de manera adecuada ante acciones sísmicas, lo que conlleva a una disminución del valor final del coeficiente  $R$ .

En cuanto a la estimación del peso sísmico, este se determina sumando al peso propio de la edificación un porcentaje específico de la carga viva o sobrecarga, según la categoría funcional del edificio. La norma E.030 estipula lo siguiente:

- Para edificaciones clasificadas en las categorías A y B, se considera el 50 % de la carga viva,
- Para edificaciones de la categoría C, se incluye el 25 %,
- En el caso de depósitos o almacenes, el porcentaje asciende al 80 %,
- Para azoteas y techos, se aplica un 25 %,
- Y para estructuras que contienen líquidos o materiales almacenados, como tanques o silos, se considera el 100 % del peso del contenido.

### **Losa Aligerada**

La losa aligerada es un sistema constructivo caracterizado por su ligereza,

logrado mediante la sustitución parcial del concreto con materiales livianos como bloques de poliestireno expandido, cajones de madera, esferas plásticas u otros elementos de aligeramiento. En edificaciones residenciales de dos niveles, es común reemplazar el volumen de concreto entre viguetas por bloques o ladrillos de arcilla o cemento, lo que reduce considerablemente el peso propio de la losa sin comprometer su capacidad estructural. Esta reducción de carga permite cubrir espacios de forma más eficiente y económica.

Además, uno de los beneficios funcionales del sistema es que no requiere encofrado completo, ya que los elementos de aligeramiento como los ladrillos cumplen también la función de encofrado lateral en las viguetas durante el vaciado del concreto, simplificando así el proceso constructivo y reduciendo tiempos y costos de obra.

### **Vulnerabilidad Sísmica**

Según Barbat sostiene que la vulnerabilidad sísmica constituye una propiedad intrínseca de la estructura, y que no depende directamente de la peligrosidad sísmica del entorno geográfico. Esta afirmación se fundamenta en observaciones realizadas tras eventos sísmicos anteriores, donde se evidenció que edificaciones con características estructurales similares experimentaron niveles de daño distintos, a pesar de ubicarse en la misma zona sísmica. Por lo tanto, se concluye que una estructura puede presentar una alta vulnerabilidad, pero no necesariamente estar en riesgo, salvo que se localice en un área con amenaza sísmica significativa. En este sentido, el riesgo sísmico resulta de la combinación entre la amenaza del lugar y la vulnerabilidad del objeto expuesto.

#### ***3.2.2. Desempeño sísmico***

**a) Visión 2000.** Según Núñez (2023), El marco normativo que rige el diseño y rehabilitación de edificaciones en zonas sísmicas establece directrices claras para garantizar la seguridad estructural ante eventos sísmicos de diversa magnitud. En este

contexto, las edificaciones son clasificadas según su importancia funcional en cuatro grupos: aquellas de importancia básica, como viviendas comunes; las esenciales, como hospitales y estaciones de bomberos; las consideradas peligrosas, que almacenan materiales tóxicos o inflamables; y finalmente, las de seguridad crítica, cuya operatividad resulta indispensable durante y después de una emergencia.

La normativa sísmica establece distintos niveles de amenaza en función de su frecuencia: sismos frecuentes (43 años), ocasionales (72 años), raros o de diseño (475 años) y muy raros (970 años). Cada uno se asocia a un nivel de desempeño estructural: totalmente operacional, operacional, seguridad de vida y cerca del colapso, que indica la capacidad de la edificación para soportar el evento sin afectar la seguridad ni funcionalidad. En esta línea, Medina y Music (2018) destacan que el comité Visión 2000 propone una matriz de objetivos múltiples de desempeño, que orienta el diseño no solo a evitar el colapso, sino también a mantener operativas las edificaciones según su importancia en situaciones de emergencia.

**Tabla 5**

*Matriz de objetivos de diseño - Visión 2000*

Nivel de demanda sísmica	— Totalmente operativo	Nivel de desempeño sísmico		
		Operacional	Seguridad de vida	Pre-colapso
Frecuente	Transmisión exterior	X	X	X
Ocasional	OPE	Transmisión exterior	X	X
Raro	OSC	OPE	Transmisión exterior	X
Muy raro	-	OSC	OPE	Transmisión exterior

*Nota.* Tomado de Medina y Music (2018)

**OPE: Objetivo esencial y peligroso:** edificios esenciales (hospitales, policía) e instalaciones peligrosas.

**OSC: Objetivo de seguridad crítica:** edificios con elementos tóxicos, explosivos, radiactivos, etc.

Acorde con la propuesta del Comité Visión 2000, los niveles de desempeño sísmico se conciben como un enfoque integral para evaluar la capacidad funcional de una edificación tras la ocurrencia de un evento sísmico, considerando tres aspectos fundamentales: el grado de daño en los elementos estructurales y no estructurales, el nivel de riesgo que enfrentan los ocupantes, y la continuidad de los servicios básicos. Según Medina y Music (2018), enfatizan que esta clasificación permite establecer estándares mínimos para la seguridad y funcionalidad de las construcciones, dependiendo de su uso y nivel de importancia.

En primer lugar, el nivel **Totalmente Operacional** representa el escenario más favorable, en el cual la edificación no presenta daño estructural ni no estructural, o este es prácticamente nulo. Según Hoyos (2018), bajo este desempeño, la estructura se mantiene en condiciones óptimas para su uso inmediato, y los servicios esenciales, como el suministro de agua, energía eléctrica y las vías de acceso, continúan operativos sin interrupciones.

Por otro lado, el nivel **Operacional** implica que, si bien se registran agrietamientos o daños leves en algunos elementos estructurales, estos no afectan de forma significativa la resistencia ni la rigidez de la estructura. La edificación conserva su integridad funcional y puede ser reutilizada luego de intervenciones menores. Hoyos (2018) indica que este nivel permite mantener la seguridad y operatividad del inmueble con arreglos menores.

En el caso del nivel **Seguridad de Vida**, se evidencian daños moderados en ciertos componentes estructurales, acompañados de una disminución en la capacidad resistente frente a cargas laterales. A pesar de ello, la estructura aún ofrece protección adecuada a los ocupantes, ya que no se ha alcanzado un umbral de colapso (Hoyos, 2018). se requieren trabajos de reparación y reforzamiento para restablecer su

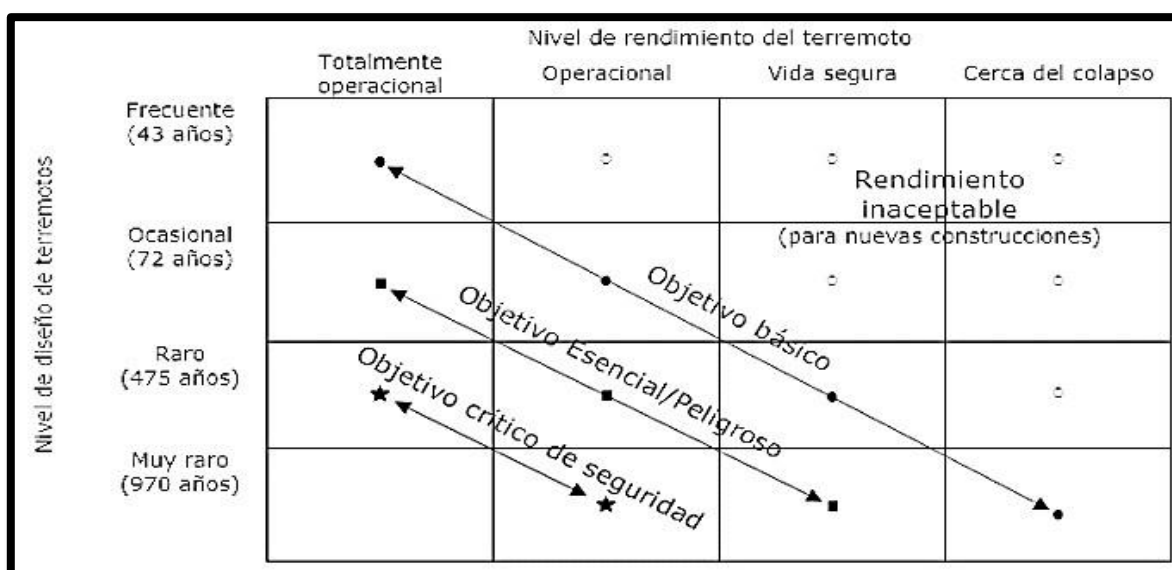
funcionalidad.

Finalmente, el nivel **Pre-colapso** o “Cerca del colapso” describe un estado crítico de la edificación, en el cual se observan daños severos en los elementos estructurales y no estructurales, comprometiendo gravemente la capacidad portante y la estabilidad general. Según Hoyos (2018), en este escenario, el edificio puede quedar inhabilitado, con un margen muy reducido antes del colapso total, haciendo incluso necesaria su demolición.

Esta tipología de desempeño resulta clave para diseñar estructuras más seguras y resilientes, permitiendo anticipar el comportamiento de las edificaciones y tomar decisiones informadas en el diseño, evaluación o rehabilitación sísmica.

### Figura 8

*Objetivos de desempeño para edificios con diferentes tipos de importancia*



*Nota.* Tomado de Núñez (2023).

**3.1.1.1.** Según Chancafe y Gonzales (2021), la evaluación del desempeño sísmico se basa en tres conceptos fundamentales: **capacidad estructural**, **demanda sísmica** y **desempeño estructural**. La capacidad se refiere a la resistencia esperada de la edificación, la demanda al desplazamiento generado por el sismo, y el desempeño al

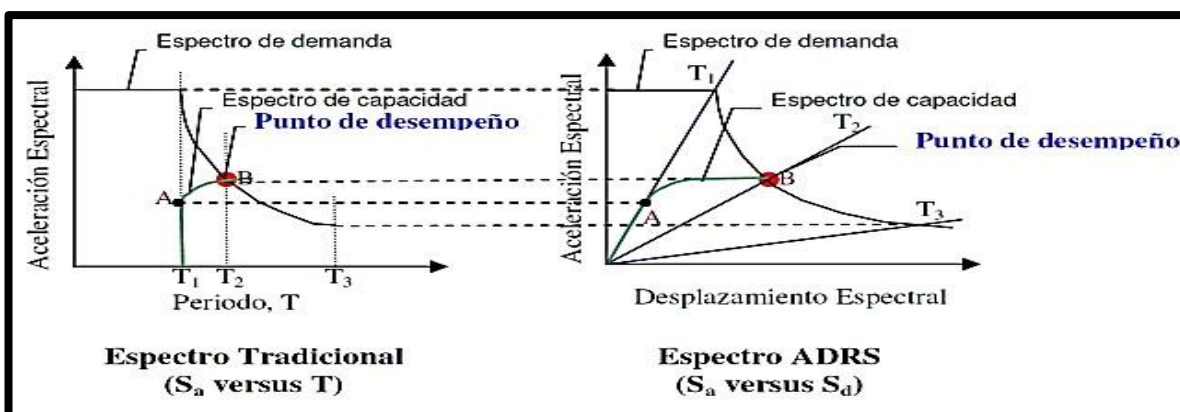
comportamiento real resultante de su interacción. Comprender estos conceptos permite predecir mejor la respuesta estructural, optimizar el diseño y reducir riesgos ante sismos.

**3.1.1.2. Punto de desempeño** La determinación del punto de desempeño estructural constituye una herramienta fundamental tanto en el diseño sismorresistente de nuevas edificaciones como en los procesos de rehabilitación de estructuras existentes. Asimismo, permite evaluar la vulnerabilidad y el daño sísmico potencial en edificaciones frente a distintos niveles de sollicitación. Según Calcina. (2017), identificar este punto posibilita una comprensión más precisa del comportamiento estructural, lo cual resulta esencial para la toma de decisiones en ingeniería estructural, ya que facilita la implementación de intervenciones específicas de refuerzo o corrección en zonas críticas, incluso con recursos limitados, elevando así los niveles de seguridad estructural.

El punto de desempeño representa el desplazamiento máximo esperado que experimenta una estructura bajo una determinada exigencia sísmica (Sanchez, 2021). Su determinación se basa en la intersección entre la curva de capacidad idealizada y el espectro de demanda inelástica, proceso conocido como el método del espectro de capacidad-demanda (Arco et al., 2021); Este enfoque permite comparar gráficamente la capacidad de la edificación para resistir fuerzas laterales con la demanda sísmica correspondiente, evaluando así el desempeño estructural frente a eventos sísmicos de distintas intensidades Medina y Music (2018).

**Figura 9**

*Determinación del punto de desempeño. Método gráfico*



*Nota.* Tomado de Tocto (2018).

De acuerdo con Sánchez (2021), Para la determinación del punto de desempeño de una estructura mediante el Método del Espectro de Capacidad, se evalúa si el desplazamiento de intersección ( $d_i$ ) entre el espectro de capacidad y el espectro de demanda se encuentra dentro de una tolerancia del 5 % con respecto al desplazamiento del punto de desempeño estimado previamente ( $d_{\square_i}$ ). Específicamente, se considera que la condición se cumple si:

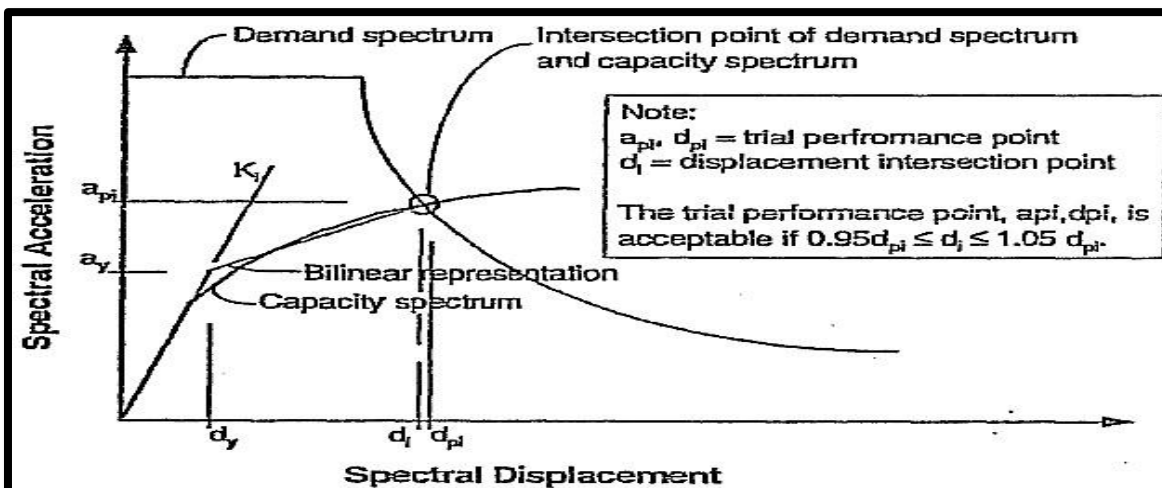
$$0.95 \cdot d_{\square_i} \leq d_i \leq 1.05 \cdot d_{\square_i}.$$

Cuando esta condición es satisfecha, se acepta el par de coordenadas ( $a_{\square_i}$ ,  $d_{\square_i}$ ) como el punto de desempeño de la estructura.

En caso contrario, si el punto de intersección no cae dentro del rango de tolerancia establecido, se procede a seleccionar un nuevo valor estimado de aceleración y desplazamiento ( $a_{\square_i}$ ,  $d_{\square_i}$ ) y se repite el procedimiento iterativamente hasta encontrar un resultado que cumpla con el criterio de convergencia definido. Este proceso permite ubicar de manera precisa el punto en el que la capacidad estructural y la demanda sísmica se equilibran, lo cual es fundamental para evaluar el nivel de daño esperado y el desempeño sísmico de la edificación.

Figura 10

Punto de intersección del Espectro de Demanda y Espectro de Capacidad



Nota. Tomado de Sánchez (2021).

Donde según la nota:

El punto de desempeño tentativo ( $a_{pi}$ ;  $d_{pi}$ ) se considera aceptable cuando el desplazamiento de intersección ( $d_i$ ) se encuentra dentro del rango de tolerancia definido:  $0.95 \cdot d_{pi} \leq d_i \leq 1.05 \cdot d_{pi}$ . Para calificar el desempeño estructural, se aplica una sectorización basada en el criterio del SEAOC, la cual clasifica los niveles de daño según los desplazamientos laterales, identificando como punto de inicio el punto de fluencia efectiva (FE), a partir del cual la estructura entra en el rango inelástico (Meza, 2020).

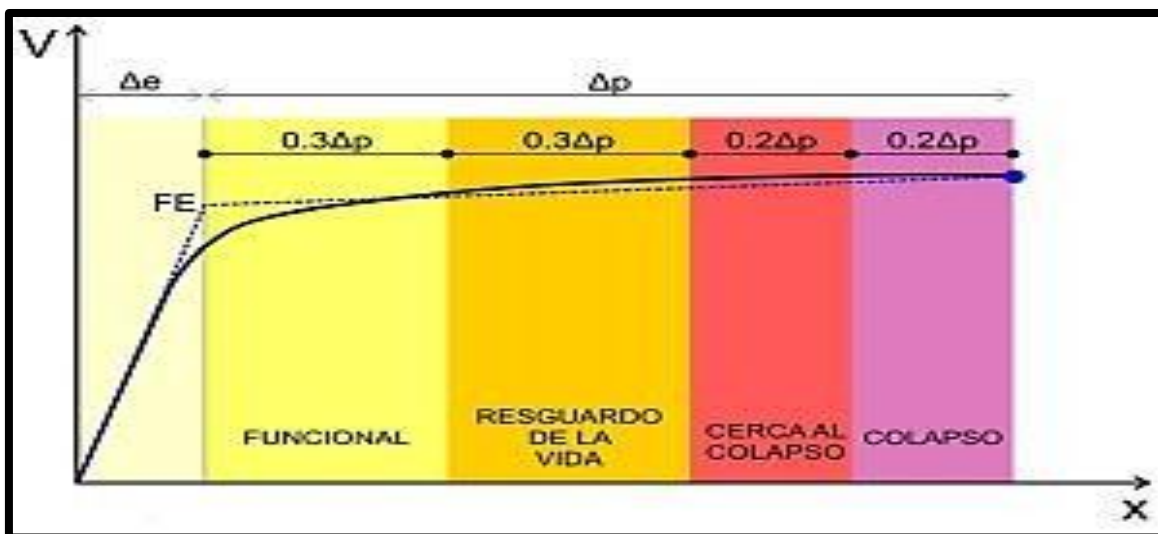
Asimismo, la metodología VISION 2000 propone dividir la curva bilineal del análisis pushover en tramos proporcionales a la deformación total no lineal ( $\Delta_p$ ), con los siguientes intervalos:  $0.3\Delta_p$ ,  $0.3\Delta_p$ ,  $0.2\Delta_p$  y  $0.2\Delta_p$ . Estos corresponden, respectivamente, a los niveles de desempeño estructural:

- Funcional u Ocupación Inmediata,
- Resguardo de Vida,
- Cerca al Colapso, y
- Colapso,

según lo indicado por Izquierdo y Mendoza (2022). Este esquema permite interpretar con mayor precisión el estado estructural ante distintos escenarios sísmicos.

**Figura 11**

*Sectorización de la curva de capacidad para el cálculo de desempeño según VISIÓN 2000*



*Nota.* Tomado de (Contreras, 2023)

**2.2.2.1.1 Conversión del espectro de capacidad.** Para establecer el espectro de capacidad, se debe de transformar la curva de desempeño, convirtiendo la fuerza de corte en la base en aceleración espectral y los desplazamientos en desplazamiento espectral (Salazar & Fernández, 2022).

Las siguientes ecuaciones muestran las fórmulas para la conversión de la curva de capacidad en espectro de capacidad (Llocle, 2021):

- Desplazamiento espectral

$$S_d = \frac{\Delta_{t\text{ope}}}{FP_1 \phi_{t\text{ope}1}}$$

- Factor de participación sísmica del modo 1

$$PF_1 = \frac{\sum_{i=1}^N (w_1 \phi_{i1}) / g}{\sum_{i=1}^N (w_1 \phi_{i1}^2) / g}$$

- Coeficiente de masa del modo 1

$$\alpha_1 = \frac{[\sum_{i=1}^N (w_1 \phi_{i1}) / 2]^2}{[\sum_{i=1}^N w_1] [\sum_{i=1}^N (w_1 \phi_{i1}^2) / g]}$$

Donde:

$W_i/g$ : masa asignada al nivel  $i$ .

$\Phi_{i1}$ : Amplitud del modo 1 en el nivel  $i$ .

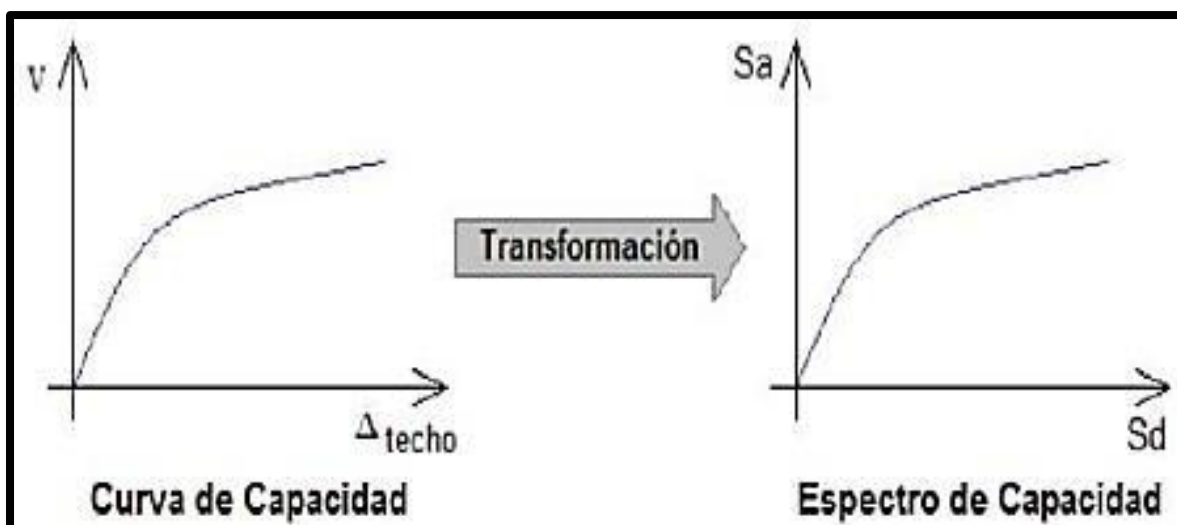
$N$ : nivel  $N$ , correspondiente al más alto de la estructura.

$W$ : Peso propio de la estructura, con un porcentaje de la carga variable.

$\Delta_{\text{techo}}$ : desplazamiento en el tope, obtenido de la curva de capacidad (para valor de corte basal)

## Figura 12

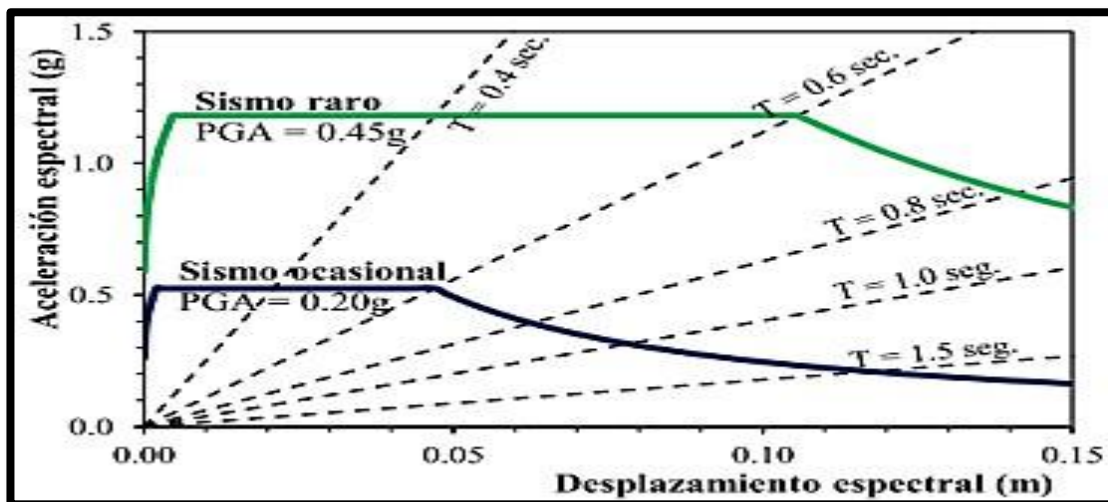
*Conversión a espectro de capacidad*



*Nota.* Tomado de Salazar y Fernández (2022).

**2.2.2.1.1 Conversión del espectro de respuesta en espectro de demanda.** Respecto al espectro de demanda, se construcción se basa en el promedio de espectros de sismos ocurridos en un determinado lugar, a partir del cual se definen los parámetros generales para su elaboración (Salazar & Fernández, 2022).

**Figura 13**  
Demanda sísmica



Nota. Tomado de Salazar y Fernández (2022).

De acuerdo con Llocle (2021), el espectro de respuesta debe ser convertido en forma ADRS; tal que, los valores de espectro de respuesta expresados en  $S_{ai}$ ,  $T_i$  deber convertirse en  $S_{di}$ , es decir que encontrar  $S_{di}$ , a partir de  $T_i$  para cada punto de la coordenada.

$$S_{di} = \frac{T_i^2}{4\pi^2} S_{ai} g$$

Donde :

$S_{di}$ : Desplazamiento espectral para cada valor de período  $T_i$  y aceleración espectral  $S_{ai}$ .

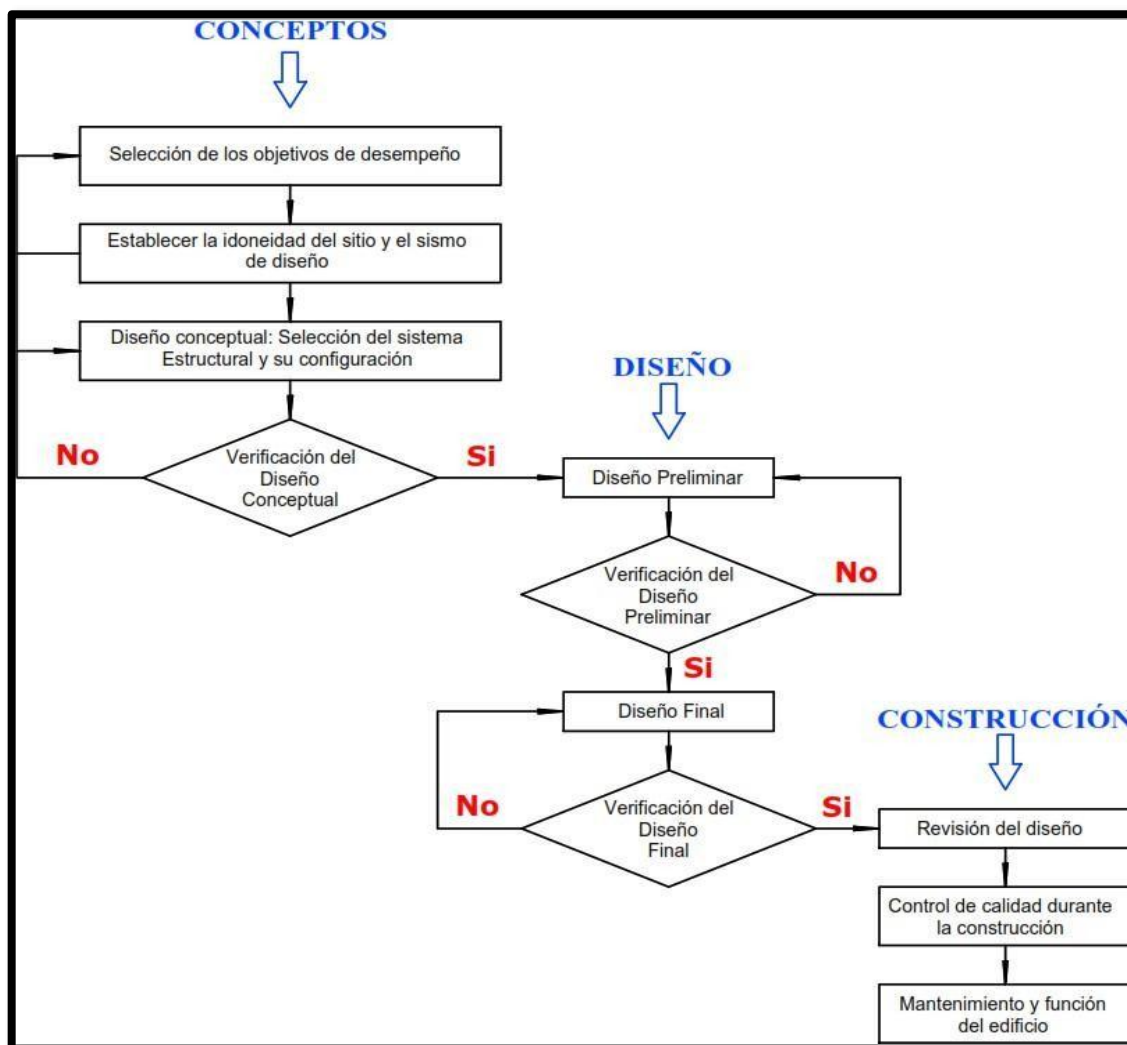
### Diseño basado en el desempeño sísmico

El El diseño basado en el desempeño sísmico, propuesto por el Comité Visión 2000 de la SEAOC, busca garantizar no solo la seguridad de vida, sino también la funcionalidad y sostenibilidad de las edificaciones ante diferentes niveles de amenaza sísmica. Este enfoque evalúa el comportamiento inelástico real de la estructura mediante metodologías avanzadas que consideran daños estructurales y no estructurales, y utiliza parámetros como el desplazamiento espectral ( $S_{di}$ ) para estimar la demanda sísmica. A diferencia del diseño tradicional, permite una evaluación más precisa y eficiente,

optimizando la resistencia y el funcionamiento post-sismo de la edificación. (Ver Figura N°14).

**Figura 14**

*Metodología para la ingeniería basada en el desempeño*



*Nota.* SEAOC Visión 2000 Comité (1995)

### Niveles de desempeño sísmico

Los niveles de desempeño permiten una comprensión más precisa del grado de daño que pueden experimentar las edificaciones tras un evento sísmico, proporcionando una referencia para identificar el estado estructural y funcional del inmueble. Esta clasificación facilita la evaluación de los procedimientos necesarios para habilitar

nuevamente la ocupación del edificio, asegurando que los usuarios no se expongan a riesgos físicos.

Estos conceptos han sido desarrollados por diversas entidades internacionales con el objetivo de proteger la integridad física de los ocupantes y mitigar las pérdidas económicas, priorizando dentro de sus principios fundamentales la seguridad de vida. Las estrategias propuestas buscan establecer criterios claros para la prevención de daños estructurales y no estructurales, permitiendo tomar decisiones más informadas sobre la rehabilitación o refuerzo de edificaciones afectadas.

En el presente estudio, se tomarán como referencia tres propuestas principales en relación con los niveles de desempeño, las cuales servirán como base para el análisis y aplicación metodológica del diseño estructural orientado al desempeño sísmico.

### **Propuesta del Comité Visión 2000**

El estado límite de desempeño se define como la condición máxima admisible de daño que puede experimentar una estructura ante un evento sísmico. Según el Comité Visión 2000 (1995), este concepto se sustenta en tres aspectos fundamentales:

los daños físicos producidos en los elementos estructurales y no estructurales, el nivel de riesgo que dichos daños representan para la seguridad de vida de los ocupantes, y el grado de funcionalidad que mantiene la edificación después del sismo.

Con base en estos criterios, el Comité propone cuatro niveles de desempeño estructural, descritos a continuación:

**Totalmente Operacional:** La edificación no presenta daños significativos. No se requieren reparaciones, y la funcionalidad del edificio permanece intacta, permitiendo su uso inmediato.

**Operacional:** Se identifican daños menores, principalmente en componentes no esenciales. Las reparaciones son mínimas, y la estructura puede seguir funcionando sin comprometer

la seguridad o habitabilidad.

**Seguridad de Vida:** La estructura presenta daños moderados, perceptibles mediante inspección visual. Aunque la integridad física de los ocupantes no está comprometida, no se recomienda la ocupación del edificio sin una evaluación estructural detallada.

**Prevención del Colapso:** Se evidencian daños severos que comprometen la estabilidad de la edificación y representan una amenaza directa para la vida de los ocupantes. La estructura no es habitable y requiere una intervención inmediata.

**Figura 15**

*Estados de daño y niveles de desempeño.*

Rango e Índice de daño		Estados de daño y umbrales de nivel de desempeño.	
10 DESPRECIABLE	↑	TOTALMENTE OPERACIONAL	Sin daños, servicio continuo.
			Servicio continuo, la instalación opera y funciona después de un sismo. Daños estructurales y no estructurales insignificantes.
9 LEVE	↑	OPERACIONAL	La mayoría de las operaciones y funciones se pueden reanudar de inmediato. Se requiere reparación para restaurar algunos servicios no esenciales. El daño es leve.
			La estructura es segura para su ocupación inmediatamente después del terremoto. Las operaciones esenciales están protegidas. Las operaciones no esenciales se interrumpen.
8 MODERADO	↑	SEGURIDAD DE VIDA	El daño es moderado. Los sistemas, características o contenidos del edificio seleccionados pueden protegerse contra daños.
			La seguridad de la vida generalmente está protegida. La estructura está dañada pero permanece estable. Los peligros de caída permanecen seguros.
7 SEVERO	↑	CERCA DEL COLAPSO	Se previene el colapso estructural. Pueden caer elementos no estructurales.
			El daño estructural es severo pero se evita el colapso. Caen elementos no estructurales.
6 COMPLETO	↓	COLAPSO	Partes del sistema estructural primario colapsan.
			Colapso estructural completo.

*Nota.* SEAOC Comité Visión 2000 (1995)

### **Propuesta del ATC-40**

Los niveles de desempeño estructural surgen como una respuesta técnica a los daños generados por los eventos sísmicos y a las consecuencias que estos pueden tener sobre los ocupantes de las edificaciones, especialmente en lo que respecta a su seguridad e integridad física. Cada nivel de desempeño representa una condición límite de daño estructural y funcional que se considera aceptable para una determinada edificación, en función de un movimiento sísmico específico.

Dicha condición límite se caracteriza por tres aspectos esenciales: el grado de daño físico observado en los elementos estructurales y no estructurales; el riesgo que este daño representa para la vida humana al interior del edificio; y la capacidad de servicio que conserva la edificación una vez ocurrido el sismo.

Estos niveles permiten establecer criterios objetivos para la evaluación, el diseño y la rehabilitación de estructuras, orientados a minimizar el riesgo y garantizar un desempeño estructural adecuado frente a diferentes intensidades de amenaza sísmica. (ATC-40, 1996, p. 47).

La propuesta metodológica presentada se distingue por establecer una separación explícita entre los niveles de desempeño sísmico correspondientes a los elementos estructurales y no estructurales de una edificación. Esta diferenciación permite realizar un análisis más riguroso y detallado, lo cual incrementa la confiabilidad de los resultados y mejora la capacidad de proteger la integridad física de los ocupantes frente a eventos sísmicos.

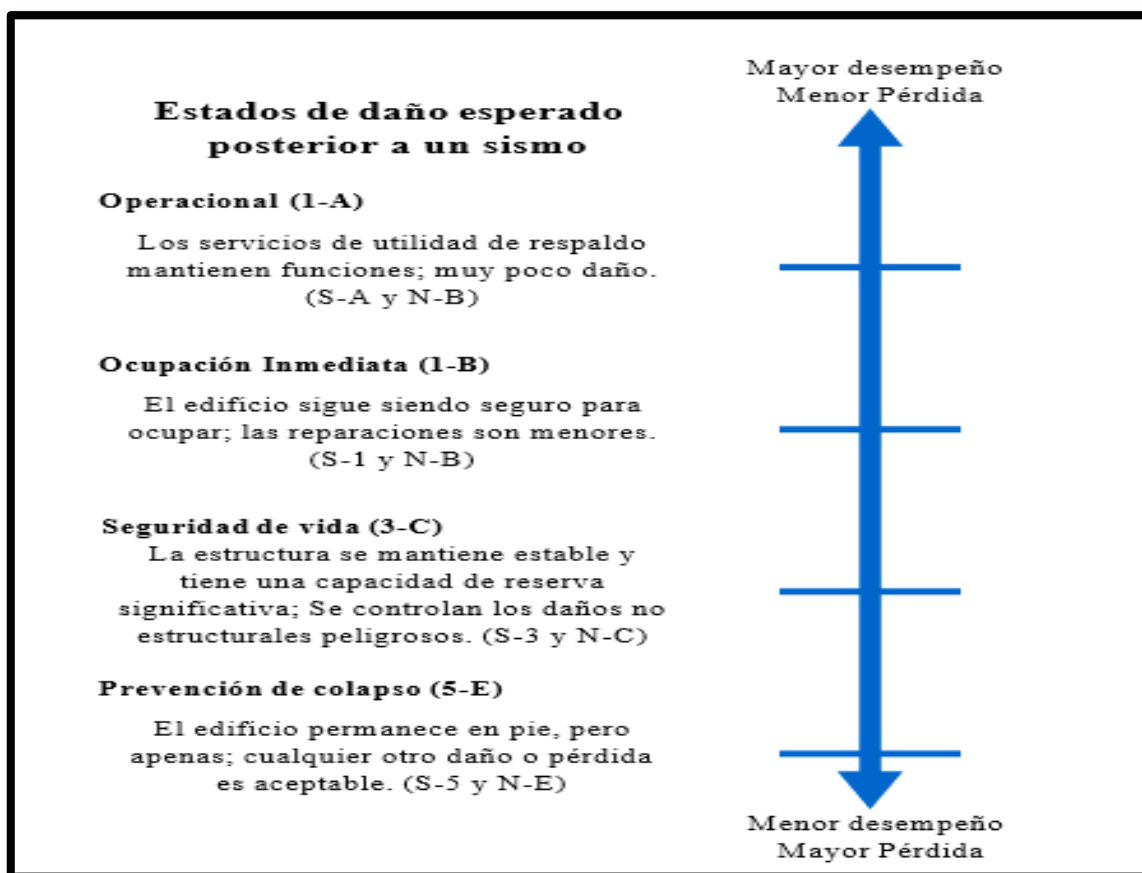
En este enfoque, los objetivos de desempeño se definen de manera independiente tanto para los sistemas estructurales como para los sistemas no estructurales. Los niveles de desempeño estructural reciben una denominación nominal y una designación numérica, mientras que los niveles de desempeño global del edificio resultan de la combinación de ambos criterios, estructural y no estructural. Estos niveles combinados se identifican mediante una codificación alfanumérica, como 1-A, 3-C, entre otros, donde el número corresponde al desempeño estructural y la letra al desempeño no estructural. Esta clasificación detallada permite una evaluación más precisa del comportamiento esperado de la edificación y facilita la toma de decisiones en el diseño y

rehabilitación sísmica.(ATC-40, 1996, p.47) Propuesta del ASCE/SEI 41-13

De acuerdo con la norma ASCE/SEI 41-13 (2014), el nivel de desempeño objetivo de un edificio debe definirse como una combinación de un nivel estructural y un nivel no estructural, ambos claramente establecidos como metas del análisis. Esta combinación se expresa mediante una designación alfanumérica, en la que el componente numérico representa el nivel de desempeño estructural, mientras que la letra identifica el nivel correspondiente a los elementos no estructurales. Esta clasificación integrada permite establecer con mayor claridad los objetivos funcionales y de seguridad que se espera alcanzar en la edificación bajo determinadas solicitaciones sísmicas (ASCE/SEI 41-13, 2014, pp. 35– 36). (Ver Figura N°16).

**Figura 16**

*Niveles y rangos de desempeño del edificio objetivo*



*Nota.* ASCE/ SEI 41-13 (2014)

Aunque los elementos no estructurales no suelen ser incluidos en los modelos generados mediante software de simulación estructural y sísmica como *ETABS*, su consideración resulta fundamental en la evaluación del desempeño sísmico de una edificación. Esto se debe a que, ante un evento sísmico, todos los componentes del edificio estructurales y no estructurales pueden experimentar daños, y estos últimos pueden representar una amenaza directa para la seguridad de los ocupantes, especialmente cuando se producen desprendimientos, colapsos parciales o pérdida de funcionalidad en servicios esenciales.

Por esta razón, se advierte que no es recomendable combinar niveles dispares de desempeño estructural y no estructural. Por ejemplo, un nivel estructural bajo puede generar daños que imposibiliten el cumplimiento del nivel no estructural deseado, incluso si los elementos no estructurales han sido diseñados para alcanzarlo. Del mismo modo, mejorar únicamente el desempeño estructural sin intervenir en los componentes no estructurales puede conducir a un diseño desequilibrado, en el que persisten riesgos para la seguridad humana derivados de la falla de sistemas secundarios, cerramientos, mobiliario, instalaciones, entre otros. Por lo tanto, una evaluación integral del desempeño sísmico debe contemplar ambos aspectos de manera coordinada para garantizar la seguridad y funcionalidad del edificio.(ASCE/SEI 41-13, 2014, p.43).

### **Objetivos de desempeño**

El punto de partida en la aplicación de la ingeniería estructural basada en el desempeño es la definición de los objetivos de desempeño sísmico para el diseño, los cuales son seleccionados por el cliente en coordinación con el profesional a cargo del proyecto. Esta elección se fundamenta en una evaluación integral que considera las expectativas del usuario, el nivel de amenaza sísmica del emplazamiento, el análisis de viabilidad económica, y el grado de riesgo que se considera aceptable para la edificación. En

función de estos factores, los objetivos de desempeño pueden ir desde los niveles mínimos exigidos por las normativas vigentes los cuales suelen garantizar la seguridad de vida frente a un sismo raro hasta requerimientos más exigentes, como el mantenimiento operativo de la estructura ante la ocurrencia de un sismo muy raro.

En términos técnicos, un objetivo de desempeño sísmico se define como la combinación de un nivel de desempeño estructural y funcional esperado con un nivel específico de movimiento sísmico del suelo, lo que permite establecer con claridad las metas del diseño sismorresistente.

A continuación, se describirán los objetivos de desempeño establecidos por tres normativas internacionales de referencia, las cuales constituyen el marco normativo comparativo central del presente estudio.

#### **Propuesta del Comité Visión 2000**

El inicio del diseño estructural basado en desempeño parte de la definición de los objetivos sísmicos, los cuales se determinan en conjunto entre el cliente y el profesional responsable del proyecto. Esta decisión se basa en aspectos como las expectativas del usuario, la amenaza sísmica del lugar, la viabilidad económica y el nivel de riesgo aceptable. Los objetivos pueden ir desde los mínimos exigidos por norma (como seguridad de vida ante un sismo raro) hasta exigencias mayores (como mantener la operatividad frente a un sismo muy raro). Técnicamente, un objetivo de desempeño sísmico combina el nivel esperado de comportamiento estructural y funcional con un determinado nivel de movimiento sísmico. En este marco, se presentarán los objetivos definidos por tres normativas internacionales, que servirán como base comparativa para el presente estudio.

#### **Propuesta del ATC-40**

Según lo indicado por el ATC-40 (1996), un objetivo de desempeño sísmico se

establece al definir el nivel de comportamiento esperado de una edificación frente a un determinado nivel de movimiento sísmico del terreno. Este concepto admite configuraciones de nivel doble o múltiple, lo que permite evaluar una misma estructura bajo distintos escenarios sísmicos. Un ejemplo representativo es el objetivo de seguridad básica, detallado en la Tabla N.º 2 del documento, que plantea un nivel de desempeño de *Seguridad de Vida* ante un sismo de diseño (Design Earthquake – DE), y un nivel de *Estabilidad Estructural* frente a un sismo máximo esperado (Maximum Earthquake – ME). Este enfoque busca no solo preservar la vida de los ocupantes durante eventos sísmicos de intensidad moderada, sino también evitar el colapso estructural total ante terremotos de gran magnitud.

### **Concepto de Evaluación por desempeño**

“El concepto de evaluación por desempeño ha transformado significativamente los enfoques tradicionales del diseño sismorresistente, al permitir verificar si los daños ocasionados por un sismo en una estructura se mantienen dentro de los márgenes tolerables definidos en cada nivel de desempeño estructural. En este contexto, la SEAOC (1995) sostiene que *“el concepto de la evaluación por desempeño permite que se pueda verificar si los daños ocasionados por los sismos en la estructura se encuentran dentro de los márgenes establecidos en cada uno de los niveles de desempeño”*. Este enfoque considera variables fundamentales como la rigidez estructural, la resistencia y la capacidad de la estructura para incursionar fuera del rango elástico, lo cual proporciona mayor flexibilidad en la toma de decisiones, incluso más allá de los parámetros estrictamente normativos, como los establecidos por la Norma Técnica Peruana E.030.

Mayhua (2018) reafirma esta perspectiva al señalar que *“este método, a través de un análisis inelástico, permite conocer el grado de ductilidad requerida de las estructuras*

*según su uso o función que va a cumplir”* (p. 46). En efecto, el desempeño exigido a una estructura varía de acuerdo con su funcionalidad y la importancia de su operación posterior al evento sísmico. Así, por ejemplo, un hospital debe mantener la operatividad tras un sismo severo, lo que implica que debe presentar un número limitado de rótulas plásticas, conservando su rigidez y asegurando que los daños sean reparables y no comprometan su funcionamiento esencial. En contraste, edificaciones residenciales de menor importancia funcional pueden aceptar mayores niveles de daño y pérdida de rigidez, siempre que se garantice la estabilidad general y se evite el colapso estructural (Asmat, 2016, p.2).

A fin de fortalecer la comprensión del diseño estructural por desempeño, se presentan a continuación las definiciones propuestas por dos entidades de referencia internacional: el **ASCE 41-13** y el **FEMA 440**, cuyas disposiciones normativas constituyen uno de los principales pilares técnicos del presente estudio.

### **Concepto del ASCE 41-13**

La normativa vigente en diseño por desempeño, representada principalmente por el ASCE/SEI 41-13, establece procedimientos sistemáticos que aplican los principios fundamentales del diseño por desempeño para la evaluación y rehabilitación de edificaciones existentes frente a la acción de sismos. Esta norma proporciona un enfoque integral y jerarquizado que garantiza, como mínimo, el cumplimiento del criterio de seguridad de la vida, al mismo tiempo que permite seleccionar niveles de desempeño más exigentes según la función o importancia de la edificación. Asimismo, facilita la predicción confiable del comportamiento estructural bajo distintos escenarios sísmicos, guiando la toma de decisiones en intervenciones estructurales correctivas o preventivas.

### **Concepto del FEMA 440**

Para la implementación del análisis estático no lineal, también conocido como *Pushover*, se estipulan diversos métodos para la aplicación de cargas laterales estáticas, con el fin de simular la acción sísmica sobre la estructura y obtener su comportamiento inelástico. Específicamente, se reconocen tres tipos de distribuciones de fuerzas laterales que permiten generar la curva de capacidad: la Distribución Uniforme, en la que las cargas son proporcionales a la masa de cada nivel sin considerar la elevación; la Distribución de Fuerzas Laterales Equivalentes (ELF), basada en la masa y altura de cada nivel; y el método SRSS (Square Root of the Sum of the Squares), que combina efectos modales mediante la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados. Estas distribuciones buscan aproximarse a las fuerzas inerciales reales durante un sismo y permiten representar de manera bilineal la curva de capacidad estructural.

Asimismo, en el marco del diseño sismorresistente basado en el desempeño, se han definido criterios y procedimientos normativos que permiten alcanzar diferentes niveles de rendimiento estructural. En este contexto, los cuatro niveles de desempeño del edificio, ampliamente adoptados en estándares internacionales como FEMA 356 y ASCE/SEI 41-13, son los siguientes:

1. **Prevención del Colapso (Collapse Prevention - CP):** corresponde al nivel mínimo de seguridad estructural; la edificación experimenta daños severos, pero se evita el colapso total.
2. **Seguridad de la Vida (Life Safety - LS):** se permite un nivel moderado de daño estructural y no estructural, garantizando que los ocupantes puedan evacuar sin riesgo inminente.
3. **Ocupación Inmediata (Immediate Occupancy - IO):** la estructura mantiene su funcionalidad básica y presenta daños menores; es segura para su uso inmediato.

4. **Operacional (Operational - OP):** la estructura continúa funcionando sin interrupciones, con daños insignificantes, asegurando el pleno uso de sus instalaciones.

### 3.3. Definición de términos

**Análisis No Lineal.** Método de análisis que revela el comportamiento o respuesta estructural más allá del rango elástico; incluye la fuerza y la rigidez asociada con un deterioro en el comportamiento del material no elástico y desplazamiento mayores; es decir, responde al hecho de que el material no es lineal y a que los movimientos en la estructura no son pequeños (Ocaña, 2016).

**Pushover.** Técnica de análisis estático no lineal basada en el diseño por desempeño, que, tras aplicar patrón de carga lateral, que se incrementa en cada iteración, lleva la estructura más allá del rango elástico hasta el colapso o deformación máxima, obteniendo una gráfica de fuerza desplazamiento denominada “curva de capacidad estructural” (Zabala, 2017).

**Corte Basal.** Fuerza resultante a nivel de cargas últimas en la base de la estructura compuesta por la sumatoria de las fuerzas laterales aplicadas en cada piso (Velásquez, 2022). **Desempeño Sísmico.** Es el comportamiento de la estructura durante la ocurrencia de un sismo; el cual, depende del diseño de la estructura, y ante la cual existe una probabilidad de daño sin llegar al colapso frente a un sismo severo o de no sufrir daño frente a un sismo moderado (Perez, 2019).

**Punto de Desempeño Sísmico.** Es la magnitud del desplazamiento máximo de la estructura durante un terremoto; y resulta de la interacción del espectro de capacidad con el espectro de demanda (Pierre & Hidayat, 2020) (Paredes, 2023).

**Espectro de Capacidad.** Gráfico que muestra la relación entre el desplazamiento con la aceleración espectral; compara la capacidad de la estructura para resistir fuerzas

laterales con la demanda sísmica (Medina & Music, 2018) (Aguilar et al., 2016).

**Espectro de Demanda.** Es el espectro de respuesta reducido que se usa para representar el movimiento del suelo durante un evento sísmico; este relaciona las aceleraciones espectrales con el desplazamiento espectral (Puican, 2019).

**Vulnerabilidad sísmica.** Es la predisposición intrínseca de una estructura o zona, a sufrir daño ante la ocurrencia de un movimiento sísmico, y que se encuentra asociada a sus características físicas estructurales de la construcción (Moposita et al., 2021).

**Distorsión de entrepiso.** Se define como la diferencia de desplazamientos laterales de dos niveles consecutivos dividida por la altura de entrepiso (Pujol y Rodriguez, 2019).

**Ductilidad.** Es la propiedad que permite a la estructura experimentar una gran deformación cíclica mientras mantiene la capacidad de carga y disipa energía en ciclos de histéresis (Kristombu et al., 2019).

**Fragilidad sísmica.** Se define como la probabilidad condicional de alcanzar o exceder un cierto nivel de desempeño para una intensidad de terremoto determinada (He et al., 2022).

**Curva de capacidad.** Es la conexión entre la carga de aumento inducida y el movimiento generado en la parte de arriba del nivel (Slawko, 2019).

**Demanda de desplazamiento.** Es el estimado de la máxima respuesta esperada del edificio durante el movimiento del terreno (Calciña, 2017).

**Fallas por rotación.** Son fallas que describen la deformación plástica de las conexiones de los elementos estructurales, las cuales presentan una rotación en su sección transversal producido por los esfuerzos a flexión (Calciña, 2017).

**Riesgo sísmico.** Descripción probabilística de las consecuencias esperadas de los daños que pueden presentarse en un sistema dado ante las acciones sísmicas que puedan ocurrir en dicho sitio, tomando en cuenta sus probabilidades de ocurrencia (Maraboto, 2018).

**Epicentro.** Es la proyección en la superficie, perpendicular al hipocentro, que refleja la intensidad de un terremoto, producto de la liberación de tensiones en la zona de falla o debilidad en la corteza terrestre (Bergöing, 2015).

**Comportamiento elástico.** Mecanismo que produce una respuesta instantánea en la deformación al imponer un estrés en un cuerpo (Dos Santos et al., 2014).

## **IV. Metodología**

### **4.1. Tipo y nivel de investigación**

La investigación fue aplicada, para Hernández (2018) se centra en identificar a través del conocimiento científico, los medios (metodologías, tecnologías y protocolos) por los cuales se puede contribuir a solucionar una necesidad reconocida, práctica y específica.

Esta investigación es de tipo aplicada porque se centra en la aplicación de conocimiento científico y tecnológico para abordar una necesidad práctica y específica relacionada con la seguridad sísmica de un edificio en particular.

El estudio presenta un alcance descriptivo explicativo, para Barragán (2022) el alcance descriptivo se justifica porque el estudio tiene como finalidad caracterizar y describir el comportamiento estructural del bloque B frente a cargas sísmicas, empleando el método Pushover.

En segundo lugar, el alcance explicativo se fundamenta en el hecho de que el análisis busca explicar las causas y efectos relacionados con el comportamiento sísmico del edificio. Al aplicar el análisis Pushover, se pretende identificar no solo los resultados cuantitativos (como los desplazamientos máximos o las fuerzas internas), sino también las razones detrás de este comportamiento, es decir, cómo y por qué la estructura responde de la manera en que lo hace ante cargas sísmicas.

### **4.2. Ámbito temporal y espacial**

#### **Temporal**

La investigación se realizó en el periodo comprendido por los semestres 2023-I y 2023-II que comprenden los meses de marzo a diciembre del año 2023-2024 según el calendario académico de la Universidad Tecnológica de los Andes.

#### **Espacial**

El estudio se llevó a cabo en el bloque B del Nuevo Palacio Municipal de la

provincia de Abancay, ubicado en el distrito de Abancay, departamento de Apurímac.

### **4.3. Población y muestra Población**

Se define como el conjunto de casos que tienen una serie de especificaciones en común y se encuentran en un espacio determinado. En muchos casos, no es posible analizar toda la población por cuestiones de tiempo y recursos humanos. Es por ello que debe trabajarse con una parte “Muestra” (Chaudhuri, 2018).

La infraestructura objeto de estudio corresponde a una edificación de siete niveles construida con concreto armado, ubicada en la ciudad de Abancay. En este caso, la población está conformada por la totalidad de los elementos estructurales que componen dicha edificación, tales como columnas, vigas, muros de corte y losas. Dado que el análisis se realizará sobre la integralidad de la estructura, se ha determinado que la muestra coincidirá con la población, aplicándose así un muestreo censal, el cual permite un estudio exhaustivo y detallado de todos los componentes estructurales de la edificación.

#### **Muestra**

Se puede definir como ese subgrupo de casos de una población en el cual se recolectan los datos. El trabajar con muestra permite: ahorrar tiempo, reduce costos y si está bien seleccionada puede ayudar con la precisión y exactitud de los datos.

La muestra será tipo censal donde la población se convierte en muestra por ser pequeña.

#### **Unidad de análisis**

Serán las vigas, columnas y muros de corte de la edificación de 7 pisos situada en la ciudad de Abancay.

### **4.4. Instrumentos**

Son un conjunto de acciones y actividades que realiza el investigador para recolectar

la información los cuales permiten lograr los objetivos y así contrastar la hipótesis de investigación. Para ello se necesita contar con las fuentes de datos, el método para la recolección y el plan de análisis de los datos.

La técnica de recolección de datos se realizará mediante observación, de los hechos y el instrumento que se utilizaran será la guía de observación de toma de datos en concordancia con NTP; E-030, E-020, E-060, vigentes a la fecha, estas normas están dadas oficialmente (ver Anexo 1) y no necesitan ser validadas

#### **4.5. Procedimiento**

Se realizó un análisis de tipo no experimental y descriptivo, dado que no se manipularon intencionalmente las variables, sino que se observó y caracterizó el comportamiento estructural de la edificación en estudio. La recolección de datos se llevó a cabo mediante la ficha técnica, utilizada como instrumento para registrar las características geométricas y especificaciones técnicas detalladas en los documentos gráficos del proyecto estructural correspondiente a una construcción de siete pisos de concreto armado.

Posteriormente, se procedió al modelamiento estructural empleando el software computacional ETABS 19.11, donde se definieron adecuadamente los elementos estructurales tales como columnas, vigas y muros de corte. A continuación, se aplicaron fuerzas laterales incrementales de forma monótona y horizontal distribuidas a lo largo de la altura de la edificación, a fin de ejecutar un análisis estático no lineal (Pushover). El objetivo de este análisis fue determinar la formación de rótulas plásticas en los distintos elementos estructurales mencionados, así como identificar el punto de desempeño de la edificación. Para ello, se construyó la curva de capacidad, representando la relación entre el cortante basal y el desplazamiento en el último nivel. Con los datos obtenidos, se procedió a graficar dicha curva, lo que permitió evaluar el comportamiento inelástico de la estructura ante cargas sísmicas crecientes y establecer su nivel de desempeño frente a la

demanda sísmica.

#### **4.6. Análisis de datos**

Para llevar a cabo un análisis Pushover para la evaluación del desempeño sísmico del bloque B del Nuevo Palacio Municipal de la provincia de Abancay en 2023, se deben seguir varios procedimientos estadísticos y de ingeniería estructural. A continuación, un resumen de los pasos clave que se consideró en la investigación:

1. **Recopilación de datos sísmicos:** Recopilo datos sísmicos históricos y geotécnicos relevantes para la zona de Abancay, incluyendo registros de terremotos pasados, características del suelo y parámetros de diseño sísmico.
2. **Modelado estructural:** Desarrollo un modelo estructural detallado del bloque B del Nuevo Palacio Municipal. Se utilizó el software de análisis estructural ETABS, para representar la geometría, propiedades de materiales y condiciones de carga.
3. **Definición de curvas de capacidad:** Se calculó las curvas de capacidad de la estructura, que muestran cómo la resistencia de la estructura varía con la deformación. Esto se hace sometiendo el modelo a diferentes niveles de carga incrementalmente crecientes.
4. **Selección de acelerogramas sísmicos:** Se seleccionó acelerogramas sísmicos de diseño representativos de la zona de estudio. Estos acelerogramas deben reflejar la amenaza sísmica actualizada para Abancay en 2023.
5. **Análisis Pushover:** Se realizó el análisis Pushover utilizando los acelerogramas seleccionados. Estos análisis determinarán la respuesta de la estructura bajo cargas sísmicas crecientes y proporcionarán información sobre la capacidad y demanda sísmica de la estructura.
6. **Evaluación del desempeño:** Se evaluó el desempeño sísmico de la estructura en función de las curvas de capacidad y demanda sísmica. Esto te permitirá determinar si la estructura cumple con los criterios de diseño y las normativas sísmicas aplicables.

7. **Estadísticas descriptivas:** Se realiza los análisis estadísticos descriptivos para resumir los resultados del análisis Pushover. Esto incluye cálculos de media, mediana, desviación estándar y otros estadísticos relevantes para las respuestas de la estructura.
8. **Interpretación de resultados:** Se Interpretó los resultados estadísticos y de análisis estructural para evaluar la vulnerabilidad de la estructura ante cargas sísmicas. Esto te ayudará a identificar posibles áreas de mejora en el diseño y refuerzo estructural.
9. **Recomendaciones y conclusiones:** Basado en los hallazgos, proporciona recomendaciones para mejorar el desempeño sísmico de la estructura y concluye tu análisis con una evaluación general de la seguridad sísmica del bloque B del Nuevo Palacio Municipal.

#### 4.7. Consideraciones éticas

***Integridad profesional:*** Los profesionales encargados de llevar a cabo el análisis Pushover deben mantener altos estándares de integridad y ética en todo momento. Esto incluye evitar cualquier forma de fraude, mala praxis o conflicto de intereses.

***Transparencia y divulgación:*** Debe existir una total transparencia en el proceso de recopilación de datos, análisis y presentación de resultados. Toda la información relevante debe ser documentada y divulgada de manera clara y accesible.

***Responsabilidad hacia la seguridad pública:*** El análisis Pushover tiene un impacto directo en la seguridad de las personas que utilizan el Palacio Municipal. Por lo tanto, los profesionales deben priorizar la seguridad pública por encima de cualquier otra consideración y tomar medidas para garantizar que las estructuras sean seguras en caso de un terremoto.

***Respeto a las normativas y regulaciones:*** El análisis Pushover debe realizarse de acuerdo con todas las normativas y regulaciones aplicables en el campo de la

ingeniería sísmica y la construcción. Esto incluye cumplir con estándares de seguridad y calidad, así como obtener las aprobaciones y permisos necesarios.

***Ética en la comunicación de resultados:*** Al presentar los resultados del análisis Pushover, es importante hacerlo de manera precisa y honesta. No se deben exagerar ni minimizar los hallazgos, y cualquier limitación en el análisis debe ser claramente comunicada.

## V. Resultados y discusión

### 5.1. Resultados

#### 5.1.1. Resultados geotécnicos

**Tabla 6**

*Descripción del perfil estratigráfico de C-1*

Calicata	Estrato	Profundidad	Descripción
C - 01	E - 01	0.00 – 0.50	El material de cobertura está conformado por material de afirmado constituido por grava mal graduada de color marrón oscuro. Presenta una granulometría deficiente y posible contenido orgánico superficial, típico de capas superiores de afirmado vial. Se recomienda complementar su caracterización con ensayos geotécnicos.
	E - 02	0.50 – 1.10	Se trata de arcilla de alta plasticidad gravosa de color negro, con grava subangulosa de forma chata y alargada. El suelo es húmedo, de consistencia y cementación moderada, y con estructura estratificada. Su granulometría presenta: 20.29 % de grava, 15.11 % de arena y 64.61 % de finos; con partículas de arena media y grava gruesa (hasta 3", en un 20 % visual). No contiene bloques ni bolones. La dureza del grano grueso es baja, ya que se agrieta bajo golpe de martillo. Los ensayos indican un índice de plasticidad (I.P) de 26.55 % y un límite líquido (L.L) de 51.53 %, confirmando su alta plasticidad.
	E - 03	1.10 – 1.50	Se trata de grava arcillosa con arena de color marrón claro, con presencia de grava subredondeada a redondeada, de forma chata. El suelo presenta humedad moderada, consistencia suave, cementación débil y estructura estratificada. Su granulometría está compuesta por 36.37 % de grava, 27.67 % de arena y 35.96 % de finos, con partículas de arena media y grava gruesa. Se identifican gravas de 1", 2", y 3", así como bloques o bolones de hasta 11" (40 % visual). Los granos gruesos son duros, sin desmoronamiento al golpe de martillo. Los ensayos muestran un índice de plasticidad (I.P) de 12.31 % y un límite líquido (L.L) de 36.19 %, lo que indica plasticidad media.
	E - 04	1.50 – 2.80	Se identifica como grava arcillosa con bloques, de color gris oscuro, con presencia de grava subredondeada a redondeada, de forma chata. El material presenta humedad moderada, consistencia suave, cementación moderada y estructura estratificada. Su granulometría está compuesta por 61.14 % de grava, 24 % de arena y 14.86 % de finos, con partículas de arena media y grava gruesa. Se observan gravas de 1", 2", 3" y bloques o bolones de hasta 23" en un 40 % del volumen visualizado. Los granos gruesos son duros, no se desmoronan al golpe de martillo. Los ensayos indican un índice de plasticidad (I.P) de 13.11 % y un límite líquido (L.L) de 27.97 %, lo que sugiere una plasticidad baja a media.

*Nota.* Dato de laboratorio

**Interpretación.** La calicata C-01 presento 4 estratos , el primer estrato E-01 presento una profundidad de 0.00-0.50 m, el segundo estrato E-02 presento una profundidad desde 0.50

—

1.10 m, el tercer estrato E-03 presento una profundidad de 1.10-1.50 m y el ultimo estrato E-04 presento una profundidad de 1.50-2.80 m.

**Tabla 7**

*Descripción del perfil estratigráfico de C-2*

Calicata	Estrato	Profundidad	Descripción
	E - 01	0.00 – 0.30	Se trata de un material de afirmado compuesto por grava mal graduada, de color gris oscuro, en condición húmeda, con consistencia moderada.
	E – 02	0.30 – 1.30	Se trata de una arcilla gravosa de media plasticidad, de color marrón oscuro, con grava subangulosa de forma chata y alargada. Se encuentra en condición húmeda, con consistencia y cementación moderadas, y estructura estratificada. El análisis granulométrico indica 24.17 % de grava, 20.32 % de arena y 55.51 % de finos. El tamaño máximo de partícula corresponde a arena media y grava gruesa. No presenta bloques ni bolones, pero contiene grava de 2" a 3" en un 20 %. El grano grueso de mayor tamaño se agrieta al golpe de martillo, y presenta un índice de plasticidad (IP) de 17.98 % y un límite líquido (LL) de 38.40 %.
C-02	E – 03	1.30 – 3.30	Se trata de una grava mal graduada con arcilla y arena, de color marrón oscuro, con grava subredondeada a redondeada y de forma chata. El suelo presenta humedad moderada, consistencia suave, cementación débil y estructura estratificada. La composición granulométrica es de 70.73 % de grava, 19.88 % de arena y 9.39 % de finos. El tamaño máximo de partícula corresponde a arena media y grava gruesa de 2" a 3", con presencia de bloques o bolones de 4", 6", 7" (30 %) y de 15" (10 %). La dureza del grano grueso es alta, ya que no se desmorona al golpe de martillo. Presenta un índice de plasticidad (IP) de 9.52 % y un límite líquido (LL) de 21.10 %.
	E – 04	3.30 – 4.10	Se trata de una arcilla de baja plasticidad arenosa, de color rojo a ocre, con presencia de grava de forma chata. El suelo presenta humedad moderada, consistencia suave, cementación débil y una estructura estratificada. Su composición granulométrica es de 12.10 % de grava, 24.46 % de arena y 63.44 % de finos. El tamaño máximo de partícula corresponde a arena media y grava gruesa, con grava de hasta 3/4". Tiene un índice de plasticidad (IP) de 21.86 % y un límite líquido (LL) de 9.01 %.

*Nota.* Dato de laboratorio

**Interpretación.** La calicata C-02 presento 4 estratos , el primer estrato E-01 presento una profundidad de 0.00-0.30 m, el segundo estrato E-02 presento una profundidad desde 0.30 –1.30 m, el tercer estrato E-03 presento una profundidad de 1.30-3.30 m y el ultimo estrato E-04 presento una profundidad de 3.30-4.10 m.

**Tabla 8***Descripción del perfil estratigráfico de C-3*

<b>Calicata</b>	<b>Estrato</b>	<b>Profundidad.</b>	<b>Descripción</b>
C-03	E - 01	0.00 – 0.60	Se identifica como grava bien graduada con arena y bloques, de color gris claro, usada como material de cobertura. Corresponde a un suelo tratado con dosificación para afirmado, con humedad moderada y consistencia moderada. Su uso y preparación indican que está destinado a mejorar la capacidad portante y estabilidad de superficies de rodadura o plataformas estructurales.
	E - 02	0.60 – 1.70	Se trata de una arcilla gravosa de media plasticidad, de color marrón oscuro, con presencia de grava subangulosa de forma chata y alargada. El suelo presenta estructura estratificada, con humedad húmeda, consistencia moderada y cementación débil. Su composición granulométrica incluye 15.73 % de grava, 28.40 % de arena y 55.87 % de finos, sin bloques ni bolones visibles. El tamaño máximo de la partícula corresponde a grava gruesa y arena media. Se observaron partículas de grava de 2" a 3" en un 15 %, con granos que se agrietan al golpe de martillo. Presenta un índice de plasticidad de 35.38 % y un límite líquido de 17.66 %.
	E - 03	1.70 – 4.00	Se trata de una grava arcillosa con arena de color marrón oscuro, con grava subredondeada a redondeada de forma chata. Presenta estructura estratificada, humedad moderada, consistencia suave y cementación moderada. La composición granulométrica incluye 63.57 % de grava, 24.09 % de arena y 12.34 % de finos, con partículas de arena media y grava gruesa (2"-3"). Se observan bloques o bolones de 4" a 7" en un 30 % y de 15" en un 10 %. Los granos gruesos más grandes no se desmoronan al golpe de martillo, indicando buena resistencia. El índice de plasticidad es 8.12 % y el límite líquido 23.44 %.

*Nota.* Dato de laboratorio

**Interpretación.** La calicata C-03 presento 3 estratos , el primer estrato E-01 presento una profundidad de 0.00-0.60 m, el segundo estrato E-02 presento una profundidad desde 0.60 –1.70 m, el tercer estrato E-03 presento una profundidad de 1.70-4.00 m.

**Tabla 9***Descripción del perfil estratigráfico de C-4*

Estrato	Estrato	Profundidad	Descripción
C-4	E - 01	0.00 – 0.50	Grava bien graduada con arena y con bloque de color gris claro, material de cobertura, suelo tratado con dosificación para afirmado, húmeda moderada, Consistencia moderada.
	E – 02	0.50 – 1.20	Arcilla de media plasticidad gravosa de color marrón oscuro.
	E – 03	1.20 – 3.00	Grava arcillosa con arena de color marrón oscuro.
	E – 04	3.00 – 4.00	Grava arcillosa con arena con bloque de color marrón oscuro. Se observa presencia de la grava subredondeada a redondeada; forma grava: chatas; humedad: moderada; consistencia: suave; cementación: débil; estructura: estratificada, presenta un rango de partícula 59.89 % de grava, 22.41 % de arena, 17.70 % de finos; tamaño máximo de partícula: arena media, grava gruesa de 2",3". Asimismo, presenta tamaño de bloque o bolones de 4",6",7", 1" en un 30% y de 14", 15",23" y 25" en 15% (descripción visual); dureza de grano grueso, la de mayor tamaño mantiene su dureza debido a que no se desmoronan al ser sometidos al golpe de martillo; presenta una índice de plasticidad i.p = 8.12 % y un límite líquido de l.l= 23.44 %.

*Nota.* Dato de laboratorio

**Interpretación.** La calicata C-04 presento 4 estratos , el primer estrato E-01 presento una profundidad de 0.00-0.50 m, el segundo estrato E-02 presento una profundidad desde 0.50 – 1.20 m, el tercer estrato E-03 presento una profundidad de 1.20-3.00 m y el ultimo estrato E-04 presento una profundidad de 3.00-4.00 m.

**Interpretación.** La naturaleza del sub suelo en el área del proyecto es heterogéneo; en los niveles de fundación y apoyo de la cimentación; Se recomienda que el nivel de cimentación debe ser de -2.80 mts, considerando el estrato E-4 más crítico de la calicata C-2, como mínimo.

**Tabla 10**

*Parámetros utilizados en los cálculos de capacidad portante*

CALICATA	SUCS	AASHTOO	Ø	C'		c	γ nat.	Módulo de Poisson (u)	Módulo de Deformación (Es) Kg/cm <sup>2</sup>
				Ø	(Kg/cm <sup>2</sup> )				
C-1; E-4	GC	A-2-6 (0)	26°	18°	0.04	0.03	2.01	0.30	300
C-2; E-4	CL	A-4 (6)	15.4°	10.4°	0.40	0.27	1.88	0.30	300
C-3; E-3	GC	A-2-4 (0)	26.10°	18.1°	0.03	0.02	.044	0.30	300
C-4; E-4	GC	A-2-4 (0)	25.40°	17.6°	0.14	0.09	.054	0.30	300

*Nota.* Dato de laboratorio

**Interpretación.** Las sub estructuras necesariamente deben de desplantarse en los suelos (SUCS: GC) cuya capacidad de carga son las siguientes:

**Tabla 11***Capacidad de carga admisible zapata cuadrada calicata 01*

Cota Relativa	Desplante Df (m)	Ancho B (m)	Factores por N.F. W W'		qd (kg/cm <sup>2</sup> )	qadm (kg/cm <sup>2</sup> )	Detalle
-2.80	2.80	1.5	1.00	1.00	4.17	1.39	Zapata Cuadrada
-2.80	2.80	1.8	1.00	1.00	4.21	1.40	
-2.80	2.80	2.1	1.00	1.00	4.25	1.42	
-3.10	3.10	1.5	1.00	1.00	4.59	1.53	
-3.10	3.10	1.8	1.00	1.00	4.63	1.54	
-3.10	3.10	2.1	1.00	1.00	4.67	1.56	
-3.40	3.40	1.5	1.00	1.00	5.01	1.67	
-3.40	3.40	1.8	1.00	1.00	5.05	1.68	
-3.40	3.40	2.1	1.00	1.00	5.09	1.70	
-3.70	3.70	1.5	1.00	1.00	5.43	1.81	
-3.70	3.70	1.8	1.00	1.00	5.47	1.82	
-3.70	3.70	2.1	1.00	1.00	5.51	1.84	
-4.00	4.00	1.5	1.00	1.00	5.86	1.95	
-4.00	4.00	1.8	1.00	1.00	5.89	1.96	
-4.00	4.00	2.1	1.00	1.00	5.93	1.98	

*Nota.* Dato de laboratorio

**Interpretación:** Factores por Nivel Freático *W*: Los factores de corrección por el nivel freático se mantienen constantes en 1.00, lo que indica que no se ha aplicado ajuste por la presencia de agua freática en el terreno.  $\sigma_d$  (kg/cm<sup>2</sup>): Este parámetro representa la capacidad de carga admisible del suelo en condiciones secas, con valores que van desde 4.17 kg/cm<sup>2</sup> hasta 5.93 kg/cm<sup>2</sup>. Estos datos son cruciales para asegurar la estabilidad de la estructura en condiciones normales.

**Tabla 12***Capacidad de carga admisible cimientos corridos calicata 01*

Cota Relativa	Desplante Df (m)	Ancho B (m)	Factores por n.f.		Qd (kg/cm <sup>2</sup> )	Qadm (kg/cm <sup>2</sup> )	Detalle
			W	W'			
-2.80	2.80	1.0	1.00	1.00	3.30	1.10	Cimientos Corridos
-2.80	2.80	1.5	1.00	1.00	3.40	1.13	
-2.80	2.80	2.0	1.00	1.00	3.50	1.17	
-3.30	3.30	1.0	1.00	1.00	3.85	1.28	
-3.30	3.30	1.5	1.00	1.00	3.95	1.32	
-3.30	3.30	2.0	1.00	1.00	4.05	1.35	
-3.80	3.80	1.0	1.00	1.00	4.40	1.47	
-3.80	3.80	1.5	1.00	1.00	4.50	1.50	
-3.80	3.80	2.0	1.00	1.00	4.60	1.53	
-4.30	4.30	1.0	1.00	1.00	4.94	1.65	
-4.30	4.30	1.5	1.00	1.00	5.04	1.68	
-4.30	4.30	2.0	1.00	1.00	5.14	1.71	
-4.80	4.80	1.0	1.00	1.00	5.49	1.83	
-4.80	4.80	1.5	1.00	1.00	5.59	1.86	
-4.80	4.80	2.0	1.00	1.00	5.69	1.90	

*Nota.* Dato de laboratorio

**Interpretación:** Los factores de corrección por el nivel freático se mantienen constantes en 1.00, lo que indica que no se aplica ajuste por la presencia de agua freática. Qs (kg/cm<sup>2</sup>): Representa la capacidad de carga admisible del suelo en condiciones secas, con valores que van de 3.30 kg/cm<sup>2</sup> a 5.69 kg/cm<sup>2</sup>. Estos valores son cruciales para asegurar que el suelo pueda soportar las cargas estructurales en condiciones secas. Qadm (kg/cm<sup>2</sup>): Refleja la capacidad de carga admisible del suelo en condiciones húmedas, variando entre 1.10 kg/cm<sup>2</sup> y 1.90 kg/cm<sup>2</sup>. Esta información es esencial para el diseño en áreas con presencia de humedad, ya que la capacidad de carga se reduce en dichas condiciones.

**Tabla 13**

Capacidad de carga admisible zapata cuadrada calicata 02

	Desplante Df (m)	Ancho B (m)	Factores por N.F.		Q <sub>d</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	Q <sub>adm</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	Detalle
			W	W'			
-3.50	3.50	1.5	1.00	1.00	4.16	1.39	Zapata Cuadrada
-3.50	3.50	1.8	1.00	1.00	4.18	1.39	
-3.50	3.50	2.1	1.00	1.00	4.20	1.40	
-3.80	3.80	1.5	1.00	1.00	4.45	1.48	
-3.80	3.80	1.8	1.00	1.00	4.47	1.49	
-3.80	3.80	2.1	1.00	1.00	4.49	1.50	
-4.10	4.10	1.5	1.00	1.00	4.75	1.58	
-4.10	4.10	1.8	1.00	1.00	4.77	1.59	
-4.10	4.10	2.1	1.00	1.00	4.79	1.60	
-4.40	4.40	1.5	1.00	1.00	5.04	1.68	
-4.40	4.40	1.8	1.00	1.00	5.06	1.69	
-4.40	4.40	2.1	1.00	1.00	5.08	1.69	
-4.70	4.70	1.5	1.00	1.00	5.33	1.78	
-4.70	4.70	1.8	1.00	1.00	5.36	1.79	
-4.70	4.70	2.1	1.00	1.00	5.38	1.79	

Nota. Dato de laboratorio

**Interpretación:** Representa la capacidad de carga admisible del suelo en condiciones secas, con valores que van desde 4.16 kg/cm<sup>2</sup> hasta 5.38 kg/cm<sup>2</sup>. Esta capacidad es crucial para asegurar que el suelo pueda soportar las cargas estructurales bajo condiciones normales. *Q<sub>adm</sub>* (kg/cm<sup>2</sup>): Indica la capacidad de carga admisible del suelo en condiciones húmedas, variando entre 1.39 kg/cm<sup>2</sup> y 1.89 kg/cm<sup>2</sup>. Estos valores son importantes para diseñar cimentaciones en áreas con presencia de humedad, ya que la capacidad de carga disminuye en tales condiciones. Especifica que las zapatas analizadas son de tipo cuadrado, lo que es relevante para la estandarización y comparabilidad de los datos.

**Tabla 14**

*Capacidad de carga admisible cimientos corridos calicata 02*

<b>Cota Relativa</b>	<b>Desplante Df (m)</b>	<b>Ancho B (m)</b>	<b>Factores por N.F.</b>		<b>Qd (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Qadm (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Detalle</b>
			<b>W</b>	<b>W'</b>			
-3.50	3.50	1.0	1.00	1.00	3.35	1.12	Cimientos Corridos
-3.50	3.50	1.5	1.00	1.00	3.41	1.14	
-3.50	3.50	2.0	1.00	1.00	3.46	1.15	
-3.80	3.80	1.0	1.00	1.00	3.59	1.20	
-3.80	3.80	1.5	1.00	1.00	3.64	1.21	
-3.80	3.80	2.0	1.00	1.00	3.70	1.23	
-4.10	4.10	1.0	1.00	1.00	3.82	1.27	
-4.10	4.10	1.5	1.00	1.00	3.88	1.29	
-4.10	4.10	2.0	1.00	1.00	3.94	1.31	
-4.40	4.40	1.0	1.00	1.00	4.06	1.35	
-4.40	4.40	1.5	1.00	1.00	4.12	1.37	
-4.40	4.40	2.0	1.00	1.00	4.18	1.39	
-4.70	4.70	1.0	1.00	1.00	4.30	1.43	
-4.70	4.70	1.5	1.00	1.00	4.36	1.45	
-4.70	4.70	2.0	1.00	1.00	4.41	1.47	

*Nota.* Dato de laboratorio

**Interpretación:** Los factores de corrección por el nivel freático se mantienen constantes en 1.00, indicando que no se ha aplicado ninguna corrección por la presencia de agua freática.  $Q_s$  (kg/cm<sup>2</sup>): Representa la capacidad de carga admisible del suelo en condiciones secas, con valores que oscilan entre 3.35 kg/cm<sup>2</sup> y 4.41 kg/cm<sup>2</sup>. Esta capacidad es esencial para asegurar que el suelo soporte las cargas estructurales en condiciones normales.  $Q_{adm}$  (kg/cm<sup>2</sup>): Indica la capacidad de carga admisible del suelo en condiciones húmedas, variando entre 1.12 kg/cm<sup>2</sup> y 1.47 kg/cm<sup>2</sup>. Estos datos son críticos para el diseño en áreas con presencia de humedad, ya que la capacidad de carga disminuye en tales condiciones.

**Tabla 15**

Capacidad de carga admisible zapata cuadrada calicata 03

Cota Relativa	Desplante Df (m)	Ancho B (m)	W	Factores por N.F.		qd (kg/cm <sup>2</sup> )	qadm (kg/cm <sup>2</sup> )	Detalle
					W'			
-3.50	3.50	1.5		1.00	1.00	5.26	1.75	Zapata Cuadrada
-3.50	3.50	1.8		1.00	1.00	5.30	1.77	
-3.50	3.50	2.1		1.00	1.00	5.34	1.78	
-3.80	3.80	1.5		1.00	1.00	5.69	1.90	
-3.80	3.80	1.8		1.00	1.00	5.73	1.91	
-3.80	3.80	2.1		1.00	1.00	5.77	1.92	
-4.10	4.10	1.5		1.00	1.00	6.13	2.04	
-4.10	4.10	1.8		1.00	1.00	6.16	2.05	
-4.10	4.10	2.1		1.00	1.00	6.20	2.07	
-4.40	4.40	1.5		1.00	1.00	6.56	2.19	
-4.40	4.40	1.8		1.00	1.00	6.60	2.20	
-4.40	4.40	2.1		1.00	1.00	6.63	2.21	
-4.70	4.70	1.5		1.00	1.00	6.99	2.33	
-4.70	4.70	1.8		1.00	1.00	7.03	2.34	
-4.70	4.70	2.1		1.00	1.00	7.07	2.36	

Nota. Dato de laboratorio

**Interpretación:** Los factores de corrección por el nivel freático se mantienen constantes en 1.00, indicando que no se ha aplicado ninguna corrección por la presencia de agua freática en el terreno.  $Qa$  (kg/cm<sup>2</sup>): Representa la capacidad de carga admisible del suelo en condiciones secas, con valores que oscilan entre 5.26 kg/cm<sup>2</sup> y 7.07 kg/cm<sup>2</sup>. Esta capacidad es crucial para asegurar que el suelo soporte las cargas estructurales bajo condiciones normales.  $Qadm$  (kg/cm<sup>2</sup>): Indica la capacidad de carga admisible del suelo en condiciones húmedas, variando entre 1.75 kg/cm<sup>2</sup> y 2.36 kg/cm<sup>2</sup>. Estos datos son importantes para el diseño en áreas con presencia de humedad, ya que la capacidad de carga disminuye en tales condiciones.

**Tabla 16***Capacidad de carga admisible cimientos corridos calicata 03*

Cota Relativa	Desplante Df (m)	Ancho B (m)	Factores por N.F W W'		qd (kg/cm <sup>2</sup> )	qadm (kg/cm <sup>2</sup> )	Detalle
-3.50	3.50	1.0	1.00	1.00	4.15	1.38	Cimientos Corridos
-3.50	3.50	1.5	1.00	1.00	4.25	1.42	
-3.50	3.50	2.0	1.00	1.00	4.36	1.45	
-3.80	3.80	1.0	1.00	1.00	4.49	1.50	
-3.80	3.80	1.5	1.00	1.00	4.59	1.53	
-3.80	3.80	2.0	1.00	1.00	4.69	1.56	
-4.10	4.10	1.0	1.00	1.00	4.82	1.61	
-4.10	4.10	1.5	1.00	1.00	4.93	1.64	
-4.10	4.10	2.0	1.00	1.00	5.03	1.68	
-4.40	4.40	1.0	1.00	1.00	5.16	1.72	
-4.40	4.40	1.5	1.00	1.00	5.26	1.75	
-4.40	4.40	2.0	1.00	1.00	5.37	1.79	
-4.70	4.70	1.0	1.00	1.00	5.49	1.83	
-4.70	4.70	1.5	1.00	1.00	5.60	1.87	
-4.70	4.70	2.0	1.00	1.00	5.70	1.90	

*Nota.* Dato de laboratorio

**Interpretación:** Los factores de corrección por el nivel freático se mantienen constantes en 1.00, indicando que no se ha aplicado ninguna corrección por la presencia de agua freática en el terreno. Qa (kg/cm<sup>2</sup>): Representa la capacidad de carga admisible del suelo en condiciones secas, con valores que oscilan entre 4.15 kg/cm<sup>2</sup> y 5.70 kg/cm<sup>2</sup>. Esta capacidad es crucial para asegurar que el suelo soporte las cargas estructurales bajo condiciones normales. Qadm (kg/cm<sup>2</sup>): Indica la capacidad de carga admisible del suelo en condiciones húmedas, variando entre 1.35 kg/cm<sup>2</sup> y 1.90 kg/cm<sup>2</sup>. Estos datos son importantes para el diseño en áreas con presencia de humedad, ya que la capacidad de carga disminuye en tales condiciones.

**Tabla 17**

Capacidad de carga admisible zapata cuadrada calicata 04

Cota Relativa	Desplante Df (m)	Ancho B (m)	Factores por N.F.		qd (kg/cm <sup>2</sup> )	qadm (kg/cm <sup>2</sup> )	Detalle
			W	W'			
-3.50	3.50	1.5	1.00	1.00	5.11	1.70	Zapata Cuadrada
-3.50	3.50	1.8	1.00	1.00	5.15	1.72	
-3.50	3.50	2.1	1.00	1.00	5.19	1.73	
-3.80	3.80	1.5	1.00	1.00	5.52	1.84	
-3.80	3.80	1.8	1.00	1.00	5.56	1.85	
-3.80	3.80	2.1	1.00	1.00	5.59	1.86	
-4.10	4.10	1.5	1.00	1.00	5.93	1.98	
-4.10	4.10	1.8	1.00	1.00	5.97	1.99	
-4.10	4.10	2.1	1.00	1.00	6.00	2.00	
-4.40	4.40	1.5	1.00	1.00	6.34	2.11	
-4.40	4.40	1.8	1.00	1.00	6.38	2.13	
-4.40	4.40	2.1	1.00	1.00	6.41	2.14	
-4.70	4.70	1.5	1.00	1.00	6.75	2.25	
-4.70	4.70	1.8	1.00	1.00	6.79	2.26	
-4.70	4.70	2.1	1.00	1.00	6.82	2.27	

Nota. Dato de laboratorio

**Interpretación :** Los factores de corrección por el nivel freático se mantienen constantes en 1.00, indicando que no se ha aplicado ninguna corrección por la presencia de agua freática en el terreno.  $Qd$  (kg/cm<sup>2</sup>): Representa la capacidad de carga admisible del suelo en condiciones secas, con valores que oscilan entre 5.11 kg/cm<sup>2</sup> y 6.82 kg/cm<sup>2</sup>. Esta capacidad es crucial para asegurar que el suelo soporte las cargas estructurales bajo condiciones normales.  $Qadm$  (kg/cm<sup>2</sup>): Indica la capacidad de carga admisible del suelo en condiciones húmedas, variando entre 1.70 kg/cm<sup>2</sup> y 2.27 kg/cm<sup>2</sup>. Estos datos son importantes para el diseño en áreas con presencia de humedad, ya que la capacidad de carga disminuye en tales condiciones.

**Tabla 18**

Capacidad de carga admisible cimientos corridos calicata 04

Cota Relativa	Desplante Df (m)	Ancho B (m)	Factores por N.F.		Qd (kg/cm <sup>2</sup> )	Qadm (kg/cm <sup>2</sup> )	Detalle
			W	W'			
-3.50	3.50	1.0	1.00	1.00	4.05	1.35	Cimientos Corridos
-3.50	3.50	1.5	1.00	1.00	4.15	1.38	
-3.50	3.50	2.0	1.00	1.00	4.24	1.41	
-3.80	3.80	1.0	1.00	1.00	4.37	1.46	
-3.80	3.80	1.5	1.00	1.00	4.47	1.49	
-3.80	3.80	2.0	1.00	1.00	4.56	1.52	
-4.10	4.10	1.0	1.00	1.00	4.69	1.56	
-4.10	4.10	1.5	1.00	1.00	4.79	1.60	
-4.10	4.10	2.0	1.00	1.00	4.88	1.63	
-4.40	4.40	1.0	1.00	1.00	5.01	1.67	
-4.40	4.40	1.5	1.00	1.00	5.11	1.70	
-4.40	4.40	2.0	1.00	1.00	5.20	1.73	
-4.70	4.70	1.0	1.00	1.00	5.33	1.78	
-4.70	4.70	1.5	1.00	1.00	5.43	1.81	
-4.70	4.70	2.0	1.00	1.00	5.52	1.84	

Nota. Dato de laboratorio

**Interpretación :** Los factores de corrección por el nivel freático se mantienen constantes en 1.00, indicando que no se ha aplicado ninguna corrección por la presencia de agua freática en el terreno.  $Q_s$  (kg/cm<sup>2</sup>): Representa la capacidad de carga admisible del suelo en condiciones secas, con valores que oscilan entre 4.05 kg/cm<sup>2</sup> y 5.52 kg/cm<sup>2</sup>. Esta capacidad es crucial para asegurar que el suelo soporte las cargas estructurales bajo condiciones normales.  $Q_{adm}$  (kg/cm<sup>2</sup>): Indica la capacidad de carga admisible del suelo en condiciones húmedas, variando entre 1.35 kg/cm<sup>2</sup> y 1.84 kg/cm<sup>2</sup>. Estos datos son importantes para el diseño en áreas con presencia de humedad, ya que la capacidad de carga disminuye en tales condiciones.

**Tabla 19***Coordenadas Geográficas UTM W84*

<b>Punto</b>	<b>Coordenadas UTM</b>		<b>Coordenadas geográficas</b>		<b>Altura</b>
	<b>Este</b>	<b>norte</b>	<b>longitud</b>	<b>Latitud</b>	<b>M.s.n.m.</b>
Local Municipal	746,626.00	8,574,264.00	6°54'29.33"	77°03'24.49"	1,266.00
Abancay					

*Nota.* Dato de laboratorio

**Interpretación:** La tabla 19 presenta datos geográficos y de altitud de dos puntos específicos: "Local Municipal" y "Abancay". A continuación, se detalla la interpretación de cada columna y los valores proporcionados:

1. Punto: Identifica los lugares específicos cuyos datos se están mostrando.
  - Local Municipal
  - Abancay
2. Coordenadas UTM (Universal Transverse Mercator): Estas coordenadas permiten ubicar los puntos en un mapa plano mediante valores de Este y Norte.
  - Local Municipal: Este 746,828.00, Norte 8,574,284.00
  - Abancay: Este 746,828.00, Norte 8,574,284.00
3. Coordenadas geográficas: Proveen la ubicación global en términos de longitud y latitud.
  - Local Municipal: Longitud 6°54'29.33", Latitud 77°03'24.49"
  - Abancay: Longitud 6°54'29.33", Latitud 77°03'24.49"
4. Altura (en metros sobre el nivel del mar, M.s.n.m.): Indica la altitud de los puntos mencionados.
  - Local Municipal: 1,268.00 metros
  - Abancay: 1,268.00 metros

**Tabla 20***Ubicación de Calicatas*

<b>Calicata</b>	<b>Este(x)</b>	<b>Norte(y)</b>	<b>Altura(z)</b>
C-01	729558.11	8,491,376.74	2384.00
C-02	729550.23	8,491,360.23	2383.00
C-03	729556.35	8,491,351.32	2383.00
C-04	729563.77	8,491,360.52	2382.00

*Nota.* Dato de laboratorio

Interpretación: La tabla 20 presenta datos específicos de cuatro calicatas (excavaciones para estudios geotécnicos o geológicos). Aquí se detalla la interpretación de cada columna y los valores proporcionados:

1. **Calicata:** Identificación de los puntos de excavación.

- **C-01**
- **C-02**
- **C-03**
- **C-04**

2. **Este (x):** Coordenada UTM Este que indica la posición en el eje X del sistema de coordenadas.

- **C-01:** 729568.11
- **C-02:** 729550.23
- **C-03:** 729568.35
- **C-04:** 729563.77

3. **Norte (y):** Coordenada UTM Norte que indica la posición en el eje Y del sistema de coordenadas.

- **C-01:** 8,491,378.74
- **C-02:** 8,491,360.23
- **C-03:** 8,491,351.32

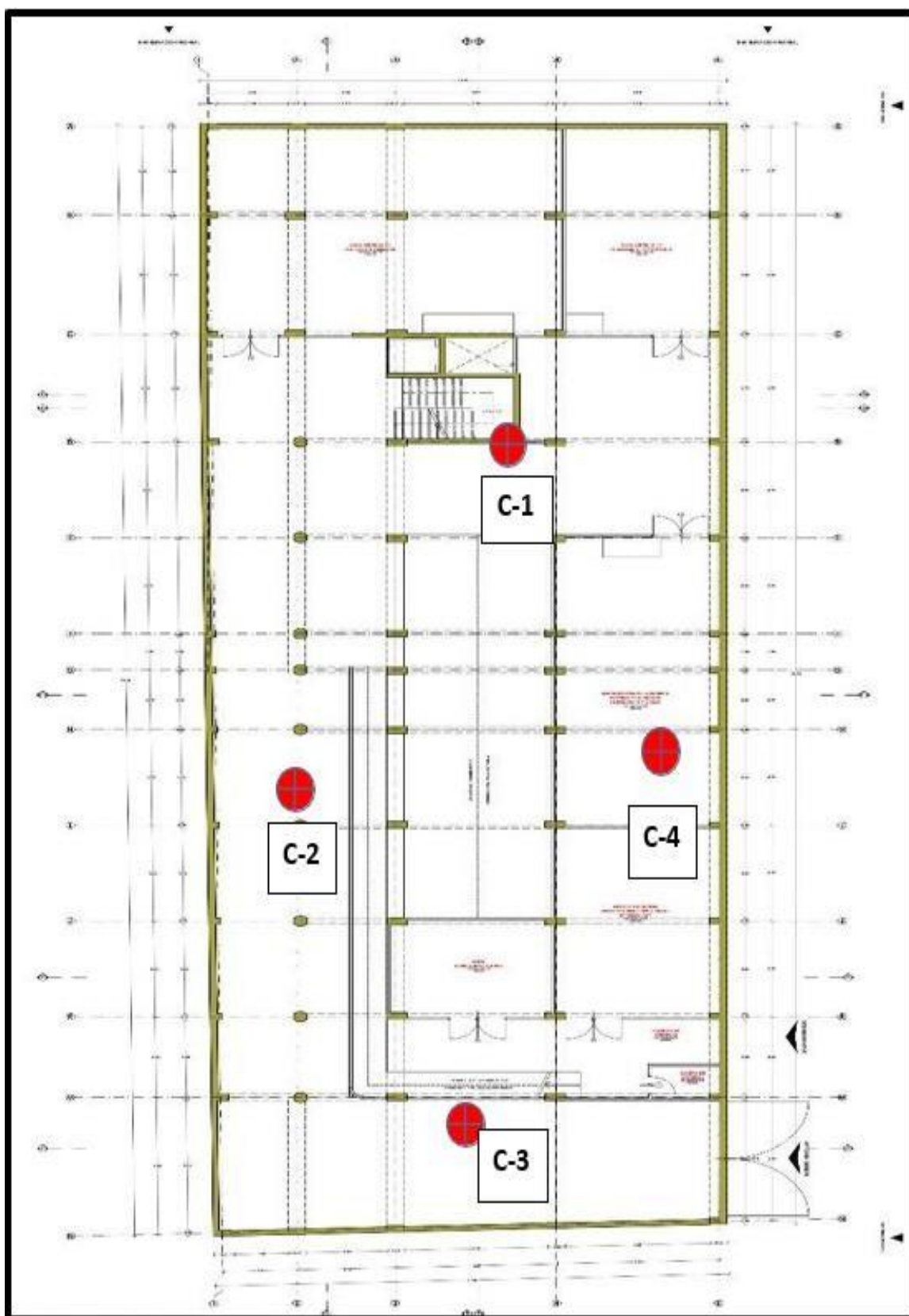
- **C-04:** 8,491,360.52
4. **Altura (z):** Altitud de los puntos en metros sobre el nivel del mar (M.s.n.m.).
- **C-01:** 2384.00 metros
  - **C-02:** 2383.00 metros
  - **C-03:** 2383.00 metros
  - **C-04:** 2382.00 metros

**Figura 17**

*Vista área de la zona de estudio*



*Nota.* Google Earth

**Figura 18***Ubicación de las calicatas*

*Nota.* Elaboración propia

## Sismicidad

**Tabla 21**

*Zonificación Sísmica del Perú*

Factores de zona “z”	
Zona	Z
4	0.45
3	0.35
2	0.25
1	0.10

*Nota.* Dato de laboratorio

**Interpretación:** El territorio nacional se divide en cuatro zonas sísmicas, definidas con base en la sismicidad observada, las características de los movimientos sísmicos, la atenuación con la distancia y la información geotectónica. A cada zona se le asigna un factor Z, el cual representa la aceleración horizontal esperada en suelo rígido, con un 10 % de probabilidad de excedencia en 50 años. Este valor se expresa como una fracción de la gravedad (g).

**Tabla 22**

*Clasificación de los Perfiles del Suelo*

Perfil	V <sub>s</sub>	N <sub>60</sub>	S <sub>u</sub>
S0	>1500 m/s	----	---
S1	500 m/s a 1500 m/s	>50	>100 Kpa
S2	180 m/s a 500 m/s	15 a 50	50 kpa a 100 kpa
S3	<180 m/s	<15	25 kpa a 50 kpa
S4	Clasificación basada en el EMS		

*Nota.* Norma E030 diseño sismorresistente

**Interpretación :** La tabla 22 presenta una clasificación de perfiles de suelo según la Norma E030 de diseño sismorresistente. Los perfiles se clasifican en S0, S1, S2, S3 y S4, y se describen usando tres parámetros principales: la velocidad de ondas de corte (V<sub>s</sub>), el número de golpes de penetración estándar (N<sub>60</sub>), y la resistencia no drenada

( $S_u$ ). Aquí se detallan cada uno de los perfiles:

1. **S0:**

- $V_s$ : >1500 m/s
- $N_{60}$ : No aplicable
- $S_u$ : No aplicable

2. **S1:**

- $V_s$ : 500 m/s a 1500 m/s
- $N_{60}$ : >50
- $S_u$ : >100 kPa

3. **S2:**

- $V_s$ : 180 m/s a 500 m/s
- $N_{60}$ : 15 a 50
- $S_u$ : 50 kPa a 100 kPa

4. **S3:**

- $V_s$ : <180 m/s
- $N_{60}$ : <15
- $S_u$ : 25 kPa a 50 kPa

5. **S4:**

- Clasificación basada en el EMS (Escala Macro sísmica Europea)

### Nomenclatura

$V_s$ = representa la velocidad de las ondas de corte a través del suelo.

$N_{60}$ = es el número de golpes en el ensayo de penetración estándar, que indica la compacidad del suelo.

$S_u$ = es la resistencia no drenada del suelo, que indica la capacidad del suelo para soportar cargas sin drenaje.

### Tabla 23

*Tipo de Perfiles del Suelo*

CALICATA N°		Tipo de Suelo	Factor
1	S2	Suelos Intermedios	2.5

*Nota.* Dato de laboratorio

**Interpretación :** La tabla 23 presenta información sobre una calicata, que es una excavación en el suelo para estudiar sus características. A continuación, se describe la interpretación de cada columna:

**1. Calicata N°:**

- **1:** Indica el número de la calicata específica.

**2. Tipo de Suelo:**

- **S2:** Según la clasificación presentada en la tabla anterior, el tipo de suelo S2 tiene las siguientes características:
  - Velocidad de ondas de corte ( $V_s$ ): 180 m/s a 500 m/s
  - Número de golpes de penetración estándar (N60): 15 a 50
  - Resistencia no drenada ( $S_u$ ): 50 kPa a 100 kPa

**3. Tipo de Suelo (Descripción):**

- **Suelos Intermedios:** Esto indica que el suelo tiene propiedades intermedias en términos de resistencia y compacidad.

**4. Factor:**

- **2.5:** Es un factor que puede estar relacionado con las propiedades del suelo, utilizado en cálculos específicos para diseño o análisis geotécnico.

**Tabla 24**

*Factores de suelo "S"*

Suelo	Zona			
	S0	S1	S2	S3
Z4	0.80	1.00	1.05	1.10
Z3	0.80	1.00	1.15	1.20
Z2	0.80	1.00	1.20	1.40
Z1	0.80	1.00	1.60	2.00

*Nota.* Dato de laboratorio

**Interpretación :** La tabla 24 muestra los valores de un parámetro medido en diferentes tipos de suelo ( $Z_1$ ,  $Z_2$ ,  $Z_3$ ,  $Z_4$ ) y zonas ( $S_0$ ,  $S_1$ ,  $S_2$ ,  $S_3$ ). Aquí está la interpretación de los datos:

1. **Suelo ( $Z_1, Z_2, Z_3, Z_4$ ):** Los distintos tipos de suelo analizados.
2. **Zona ( $S_0, S_1, S_2, S_3$ ):** Diferentes zonas donde se realizaron las mediciones en cada tipo de suelo.

Para cada combinación de suelo y zona, se presenta un valor numérico que probablemente representa una propiedad específica del suelo en esa zona (por ejemplo, densidad, humedad, etc.). Observaciones clave:

- **Constancia en  $S_0$  y  $S_1$ :** En todas las muestras de suelo, los valores en la zona  $S_0$  son constantes (0.80) y los de la zona  $S_1$  también (1.00).
- **Incremento gradual en  $S_2$  y  $S_3$ :** A medida que se avanza a las zonas  $S_2$  y  $S_3$ , los valores aumentan progresivamente, lo cual puede indicar un cambio en las condiciones o propiedades del suelo en estas zonas.

#### Detalle por suelo:

- **$Z_1$ :** Los valores van desde 0.80 en  $S_0$  hasta 2.00 en  $S_3$ , mostrando un aumento significativo.
- **$Z_2$ :** Los valores van desde 0.80 en  $S_0$  hasta 1.40 en  $S_3$ , mostrando un incremento menos pronunciado que  $Z_1$ .
- **$Z_3$ :** Los valores van desde 0.80 en  $S_0$  hasta 1.20 en  $S_3$ .
- **$Z_4$ :** Los valores van desde 0.80 en  $S_0$  hasta 1.10 en  $S_3$ , mostrando el menor incremento.

#### Tabla 25

*Periodos TP y TL*

	<b>S<sub>0</sub></b>	<b>S<sub>1</sub></b>	<b>S<sub>2</sub></b>	<b>S<sub>3</sub></b>
TP (S)	0.3	0.4	0.6	1.0
TL (S)	3.0	2.5	2.0	1.6
	0	1	2	3

*Nota.* Dato de laboratorio

**Interpretación:** La tabla 25 presenta datos de laboratorio relacionados con dos parámetros de suelo: TP (S) y TL (S), medidos en cuatro condiciones diferentes (S0,S1,S2,S3).

### Descripción de la tabla

#### 1. Columnas (Condiciones SS):

- S0
- S1
- S2
- S3

#### Filas (Parámetros de suelo):

- **TP (S):** Un parámetro medido en el suelo.
- **TL (S):** Otro parámetro medido en el suelo.

### Análisis de los datos Interpretación específica

- **TP (S)** parece aumentar a medida que avanzamos de S0 a S3, lo que podría representar una mejora o incremento en una propiedad específica del suelo bajo estas condiciones.
- **TL (S)** muestra una tendencia opuesta, disminuyendo de S0 a S3, lo cual podría indicar una reducción en otra propiedad del suelo bajo las mismas condiciones.

**Tabla 26***Categoría de Edificaciones*

<b>Categoría de las edificaciones y factor “u”</b>		
<b>Categoría</b>	<b>Descripción</b>	<b>Factor u</b>
	<p>A1: Establecimientos del sector salud (públicos y privados) del segundo tercer nivel, según lo normado por el Ministerio de Salud.</p> <p>A2: Edificaciones esenciales para el manejo de las emergencias, el funcionamiento del gobierno y en general aquellas edificaciones que puedan servir de refugio después de un desastre. Se incluyen las siguientes edificaciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- En primer término, establecimientos de salud que no están comprendidos en la categoría A1.</li> <li>- Asimismo, infraestructuras de transporte y logística crítica, como puertos, aeropuertos, estaciones ferroviarias de pasajeros y sistemas masivos de transporte.</li> <li>- Del mismo modo, locales municipales y centrales de comunicaciones, fundamentales para la coordinación en situaciones de crisis.</li> <li>- También se incluyen estaciones de bomberos, cuarteles de las fuerzas armadas y de la policía, por su rol operativo en la respuesta inmediata.</li> </ul>	Ver nota 1
<b>A</b> <b>Edificaciones</b> <b>Esenciales</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Igualmente, se contemplan instalaciones de generación y transformación eléctrica, reservorios y plantas de tratamiento de agua, indispensables para la continuidad de los servicios básicos.</li> <li>- Además, se incorporan instituciones educativas, como colegios, institutos superiores tecnológicos y universidades, por su valor estratégico en la recuperación social.</li> <li>- Finalmente, se incluyen aquellas edificaciones cuyo colapso representaría un riesgo adicional, como grandes hornos, fábricas y depósitos de materiales inflamables o tóxicos, así como edificios que almacenen archivos o información esencial del Estado, dada su relevancia documental y administrativa.</li> </ul>	1.5
<b>B</b> <b>Edificaciones</b> <b>Importantes</b>	<p>Se consideran edificaciones de importancia aquellas que concentran gran cantidad de personas, como cines, teatros, estadios, centros comerciales y terminales de buses, así como penitenciarías. También se incluyen museos, bibliotecas y depósitos estratégicos como almacenes de granos, por su valor patrimonial o función esencial en el abastecimiento durante emergencias.</p>	1.3
<b>C</b> <b>Edificaciones</b> <b>Comunes</b>	<p>Se consideran edificaciones comunes aquellas como viviendas, oficinas, hoteles, restaurantes, depósitos e instalaciones industriales, cuya falla estructural no represente riesgos adicionales significativos.</p>	1.0

*Nota.* Dato de laboratorio

**Tabla 27***Parámetros Sísmicos para la zona de estudio*

	<b>Símbolo</b>	<b>Descripción</b>	<b>Factor</b>
Factor de zona	Z	Zona 2	0.25
Factor de Uso	U	Edificaciones Importantes	1.30
Factor de Suelo	S2	Suelos Intermedios	1.20
Periodo	TP		0.60
Periodo	TL		2.00

*Nota.* Dato de laboratorio

Interpretación: La tabla 27 presenta diferentes factores y sus valores asociados utilizados en un contexto específico de análisis, posiblemente relacionado con la ingeniería civil o la construcción.

**Descripción de la tabla****1. Factor de zona (Z):**

- **Descripción:** Zona 2
- **Factor:** 0.25

**Interpretación:** El valor del factor de zona para la Zona 2 es 0.25, indicando una condición específica de esa zona que afecta el análisis.

**2. Factor de Uso (U):**

- **Descripción:** Edificaciones Importantes
- **Factor:** 1.30

**Interpretación:** Este factor refleja un incremento en la importancia de las edificaciones, asignándole un valor de 1.30, lo que podría indicar una mayor relevancia en el análisis.

**3. Factor de Suelo (S2):**

- **Descripción:** Suelos Intermedios
- **Factor:** 1.20

**Interpretación:** El factor para suelos intermedios es 1.20, probablemente indicando las características y el comportamiento del suelo en la evaluación.

**4. Periodo (TP):**

- **Factor:** 0.60

**Interpretación:** El periodo *TPTP* tiene un valor de 0.60, que podría representar un tiempo o una frecuencia específica relevante en el análisis.

**5. Periodo (TL):**

- **Factor:** 2.00

**Interpretación:** El periodo *TLTL* tiene un valor de 2.00, posiblemente indicando otro intervalo de tiempo o frecuencia de importancia en el estudio.

Figura 19

Cálculo de espectros de pseudoaceleraciones (Norma E 0.30/DS-003-2016)

**ESPECTRO DE SISMO SEGÚN LA NORMA E.030-2016**

**01 Zonificación, Según E.030-2016 (2.1)**

Departamento:   
 Provincia:   
 Distrito:   
 Zona Sísmica:

$Z = 0.25 g$

**02 Parámetros de Sitio, Según E.030-2016 (2.4)**

Perfil de Suelo Tipo:

$S = 1.20$

$T_p = 0.60$   
 $T_L = 2.00$

**03 Categoría del Edificio, Según E.030-2016 (3.1)**

Categoría del Edificio:

$U = 1.5$

**04 Restricciones de Irregularidad, Según E.030-2016 (3.7)**

**05 Coeficiente Básico de Reducción de Fuerzas Sísmicas, Según E.030-2016 (3.4)**

Sistema Estructural:

$R_0 = 6$

**06 Factores de Irregularidad, Según E.030-2016 (3.6)**

Irregularidad en Altura,  $I_a$ :

$I_a = 1.00$

Irregularidad en Planta,  $I_p$ :

$I_p = 1.00$


**07 Coeficiente de Reducción de Fuerzas Sísmicas, Según E.030-2016 (3.8)**

$R = R_0 \times I_a \times I_p = 6$

**08 Cálculo y Gráfico del Espectro de Sismo de Diseño ( $S_a/g$ )**

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

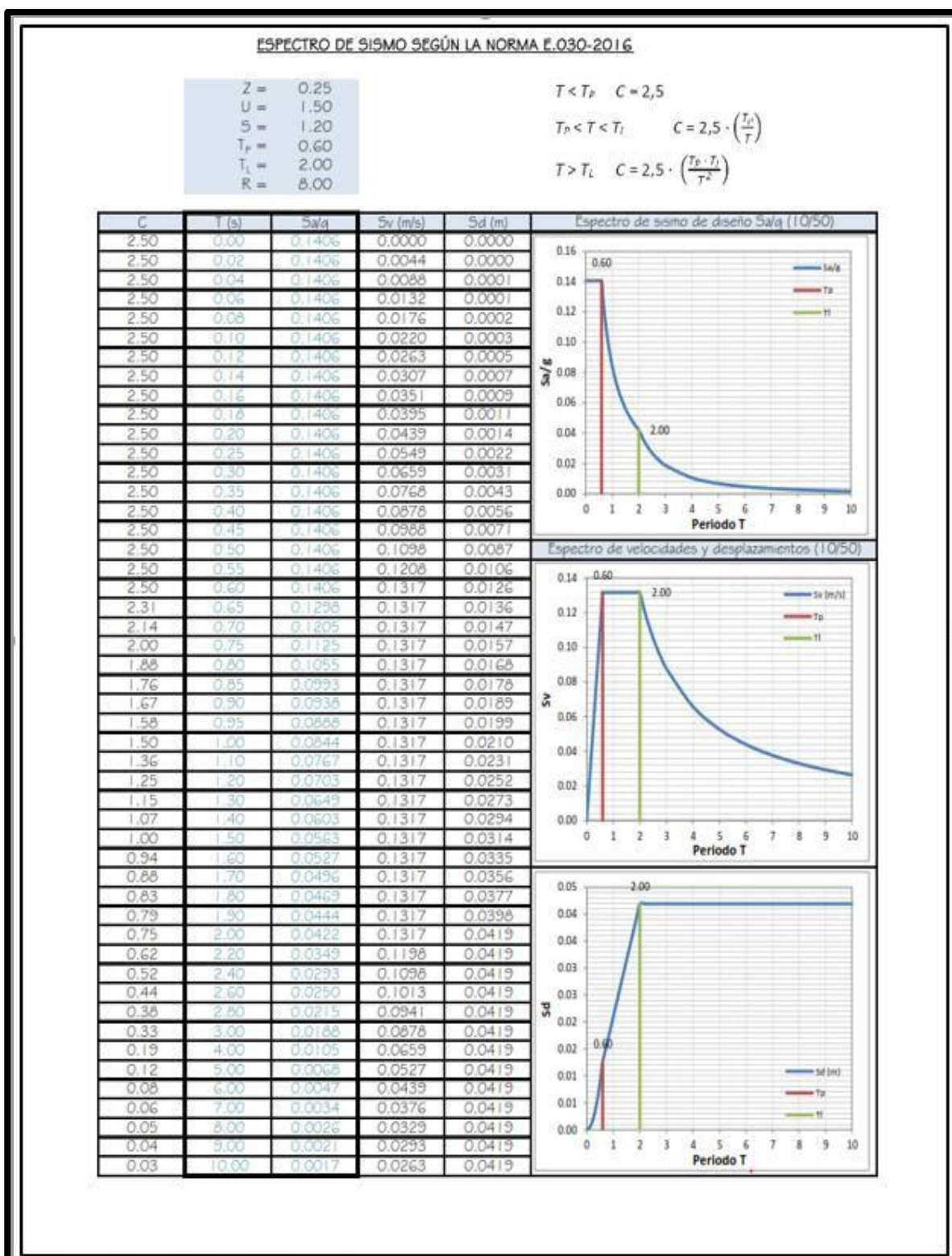
$T < T_p \quad C = 2,5$   
 $T_p < T < T_L \quad C = 2,5 \cdot \left(\frac{T_p}{T}\right)$   
 $T > T_L \quad C = 2,5 \cdot \left(\frac{T_p \cdot T_L}{T^2}\right)$



Nota. Dato de laboratorio

Figura 20

Espectro de sismo según la norma E-0.30-2016



Nota. Dato de laboratorio

**Tabla 28***Número de Puntos de Investigación*

Tipo de edificación	Número de puntos a investigar (n)
Tipo de edificación u obra (tabla 1 )	Número de puntos de exploración (n)
I	Uno por cada 225 m <sup>2</sup> de área techada del primer piso
II	Uno por cada 450 m <sup>2</sup> de área techada del primer piso
III	Uno por cada 900 m <sup>2</sup> de área techada del primer piso*
IV	Uno por cada 100 m de instalaciones sanitarias de agua y Alcantarillado en obras urbanas
Habilitación urbana para vivienda unifamiliares de hasta 3 pisos	3 por cada ha. De terreno habilitado

Dentro de esta categoría, las plantas de tratamiento de agua se consideran según su área en planta, no por su área techada. El valor de **N** (número de usuarios o importancia relativa) nunca debe ser menor de 3. Si se conoce el emplazamiento exacto, **N** se calcula según el área techada del primer piso; si no se conoce, se determina en función del área total del terreno.

Dentro de esta categoría, las plantas de tratamiento de agua se consideran según su área en planta, no por su área techada. El valor de **N** (número de usuarios o importancia relativa) nunca debe ser menor de 3. Si se conoce el emplazamiento exacto, **N** se calcula según el área techada del primer piso; si no se conoce, se determina en función del área total del terreno.

**Nota. Dato de laboratorio****Tabla 29***Número de Puntos de Investigación*

Tipo de prospección	Coordenadas geográficas			Tipo de Muestra	PROF. (m)	Nivel Freático
	UTM					
	Este	Norte	Altitud (msnm)			
Calicata c-1	729558.11	8,491,376.74	2384.00	Mab	2.80	No
Calicata c-2	729550.23	8,491,360.23	2383.00	Mab	4.00	No
Calicata c-3	729556.35	8,491,351.32	2383.00	Mab	4.00	No
Calicata c-4	729563.77	8,491,360.52	2382.00	Mab	4.00	No

**Nota. Dato de laboratorio**

**Interpretación:** La tabla 29 proporciona información detallada sobre diferentes calicatas, que son perforaciones o excavaciones en el suelo con el objetivo de realizar estudios geotécnicos. A continuación, se presenta una interpretación detallada de cada columna de la tabla:

**Tipo de prospección:** Identifica cada calicata con un código específico

(Calicata c-1, Calicata c-2, Calicata c-3 y Calicata c-4).

**Coordenadas geográficas UTM (Este, Norte):** Proporciona las coordenadas

UTM (Universal Transverse Mercator) para cada calicata, indicando su

ubicación exacta en términos de longitud (Este) y latitud (Norte).

- **Calicata c-1:** Este: 729558.11, Norte: 8,491,376.74

- **Calicata c-2:** Este: 729550.23, Norte: 8,491,360.23

- **Calicata c-3:** Este: 729556.35, Norte: 8,491,351.32

- **Calicata c-4:** Este: 729563.77, Norte: 8,491,360.52

**Altitud (msnm):** Muestra la altitud de cada calicata en metros sobre el nivel del

mar (msnm).

- **Calicata c-1:** 2384.00 msnm

- **Calicata c-2:** 2383.00 msnm

- **Calicata c-3:** 2383.00 msnm

- **Calicata c-4:** 2382.00 msnm

**Tipo de Muestra:** Indica el tipo de muestra tomada en cada calicata. En este

caso, todas las muestras son del tipo "Mab" (puede referirse a un tipo

específico de muestreo utilizado en geología).

**PROF. (m):** Indica la profundidad en metros a la que se realizaron las

excavaciones de cada calicata.

- **Calicata c-1:** 2.80 metros

- **Calicata c-2:** 4.00 metros

- **Calicata c-3:** 4.00 metros

- **Calicata c-4:** 4.00 metros

**Nivel Freático:** Indica si se encontró el nivel freático (la superficie en la cual

la presión del agua es igual a la presión atmosférica) durante la excavación. En

todas las calicatas, el nivel freático no se encontró)

**Tabla 30***Excavación de calicata*

Tipo de prospección	Ensayo	Prof. (m)	Densidad húmeda (gr/cm <sup>3</sup> )
Calicata c-1	Densidad de campo	2.80	1.881
Calicata c-2	Densidad de campo	4.00	1.88
Calicata c-3	Densidad de campo	4.00	2.088
Calicata c-4	Densidad de campo	4.00	1.997

*Nota.* Dato de laboratorio

**Interpretación:** La tabla 30 proporciona información detallada sobre el ensayo de densidad de campo en varias calicatas, que son excavaciones o perforaciones realizadas en el suelo para estudiar sus características.

**Tipo de prospección:** Esta columna identifica las diferentes calicatas, enumeradas como CALICATA C-1, CALICATA C-2, CALICATA C-3 y CALICATA C-4.

**Ensayo:** Describe el tipo de prueba realizada en cada calicata. En este caso, todas las calicatas fueron sometidas a un ensayo de "Densidad de campo".

**Prof. (m):** Indica la profundidad en metros a la que se realizaron las mediciones en cada calicata. La profundidad varía entre 2.80 y 4.00 metros.

**Densidad húmeda (gr/cm<sup>3</sup>):** Proporciona la densidad húmeda del suelo en cada calicata, medida en gramos por centímetro cúbico (gr/cm<sup>3</sup>).

**Análisis detallado:****CALICATA C-1:**

- **Profundidad:** 2.80 metros.
- **Densidad húmeda:** 1.881 gr/cm<sup>3</sup>.

**CALICATA C-2:**

- **Profundidad:** 4.00 metros.
- **Densidad húmeda:** 1.88 gr/cm<sup>3</sup>.

**CALICATA C-3:**

- **Profundidad:** 4.00 metros.
- **Densidad húmeda:** 2.088 gr/cm<sup>3</sup>.

**CALICATA C-4:**

- **Profundidad:** 4.00 metros.
- **Densidad húmeda:** 1.997 gr/cm<sup>3</sup>.

**Interpretación:**

- La **CALICATA C-1** presenta una densidad húmeda ligeramente menor (1.881 gr/cm<sup>3</sup>) a una menor profundidad (2.80 metros).
- Las calicatas **C-2, C-3, y C-4** fueron muestreadas a una profundidad de 4.00 metros, con densidades húmedas que varían. La **CALICATA C-3** tiene la mayor densidad húmeda (2.088 gr/cm<sup>3</sup>), mientras que la **CALICATA C-2** tiene la menor densidad húmeda a esta profundidad (1.88 gr/cm<sup>3</sup>).

**Tabla 31**

*Ensayos de laboratorio de mecánica de suelos*

<b>Norma</b>	<b>Denominación</b>
NTP 339.127	SUELOS. Método de ensayo para determinar el contenido de Humedad de un suelo
NTP 339.128	SUELOS. Método de ensayo para el análisis granulométrico
NTP 339.129	SUELOS. Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico, e índice de plasticidad de suelos
NTP 339.131	SUELOS. Método de ensayo para determinar el peso específico relativo de los sólidos
NTP 339.134	SUELOS. Método para la clasificación de suelos con propósitos de ingeniería
NTP 339.150	S.U.C.S. SUELOS. Descripción e identificación de suelos. Procedimiento visual - manual
NTP 339.171	SUELOS. Método de ensayo normalizado para el ensayo de corte directo en suelos

*Nota.* Norma E050 Reglamento Nacional de Edificaciones

**Tabla 32***Parámetros Físicos y mecánicos de los suelos de fundación*

Calicata N°	Humedad (%)	Granulometría			Limite Líquido	Limite Plástico	Índice de Plasticidad	Clasificación	
		Gravas	Arenas	Finos				SUCS	ASHTOO
C-1; E-2	8.34	20.29	15.11	64.61	51.53	24.98	26.55	Ch	A-7-6 (14)
C-1; E-3	8.83	36.37	27.67	35.96	36.19	23.88	12.31	Gc	A-6 (1)1
C-1; E-4	9.09	61.14	24.00	14.86	27.97	14.86	13.11	Gc	A-2-6 (0)
C-2; E-2	8.95	24.17	20.32	55.51	38.40	20.42	17.98	Cl	A-6 (7)
C-2; E-3	13.85	70.73	19.88	9.39	21.10	11.58	9.52	Gp gc	A-2-4 (0)
C-2; E-4	14.83	12.10	24.46	63.44	21.86	12.86	9.01	Cl	A-4 (6)
C-3; E-1	7.41	69.76	26.55	3.69	17.97	12.15	5.82	Gw	A-1 (0)
C-3; E-2	8.08	15.73	28.40	55.87	35.38	17.72	17.66	Cl	A-6 (7)
C-3; E-3	8.90	63.57	24.99	12.34	23.44	15.32	8.12	Gc	A-2-4 (0)
C-4; E-4	10.82	59.89	22.41	17.70	20.70	12.04	8.66	Gc	A-2-4 (0)

*Nota.* Dato de laboratorio

**Interpretación:** La tabla 32 proporciona información detallada sobre diferentes muestras de suelo (calicatas) en términos de humedad, granulometría, límites de consistencia, índice de plasticidad y clasificación según SUCS y AASHTO.:

Calicata N°: Identificación de la muestra de suelo ( C-1: E-2).

Humedad (%): Contenido de humedad del suelo.

Granulometría: Distribución del tamaño de las partículas del suelo en:

- Gravas: Porcentaje de partículas de grava.
- Arenas: Porcentaje de partículas de arena
- Finos: Porcentaje de partículas finas (arcillas y limos).

Límite Líquido: Porcentaje de humedad a la cual el suelo cambia de estado plástico a líquido.

Límite Plástico: Porcentaje de humedad a la cual el suelo pasa de estado semisólido a plástico.

Índice de Plasticidad: Diferencia entre el límite líquido y el límite plástico, indicando la plasticidad del suelo.

Clasificación:

- SUCS: Clasificación del suelo según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (e.g., GC, CL).
- AASHTO: Clasificación según la American Association of State Highway and Transportation Officials (e.g., A-7-6 (14), A-6 (1)).

Interpretación detallada de las calicatas:

C-1: E-2:

- Humedad: 8.34%
- Granulometría: 20.29% gravas, 15.11% arenas, 64.61% finos.
- Límite Líquido: 51.53%, Límite Plástico: 24.98%, Índice de Plasticidad: 26.55.
- Clasificación: CH (SUCS), A-7-6 (14) (AASHTO).

C-1: E-3:

- Humedad: 8.83%
- Granulometría: 36.37% gravas, 27.67% arenas, 35.96% finos.
- Límite Líquido: 36.19%, Límite Plástico: 23.88%, Índice de Plasticidad: 12.31.
- Clasificación: GC (SUCS), A-6 (1) (AASHTO).

C-1: E-4:

- Humedad: 9.09%
- Granulometría: 61.14% gravas, 24.00% arenas, 14.86% finos.
- Límite Líquido: 27.97%, Límite Plástico: 14.86%, Índice de Plasticidad: 13.11.
- Clasificación: A-2-6 (0) (AASHTO).

## C-2: E-2:

- Humedad: 8.95%
- Granulometría: 24.17% gravas, 20.32% arenas, 55.51% finos.
- Límite Líquido: 30.84%, Límite Plástico: 20.42%, Índice de Plasticidad: 17.98.
- Clasificación: CL (SUCS), A-6 (7) (AASHTO).

## C-2: E-3:

- Humedad: 13.86%
- Granulometría: 70.73% gravas, 18.98% arenas, 10.39% finos.
- Límite Líquido: 21.10%, Límite Plástico: 11.58%, Índice de Plasticidad: 9.52.
- Clasificación: GC (SUCS), A-2-4 (0) (AASHTO).

## C-2: E-4:

- Humedad: 14.83%
- Granulometría: 12.10% gravas, 24.46% arenas, 63.44% finos.
- Límite Líquido: 21.86%, Límite Plástico: 12.85%, Índice de Plasticidad: 9.01.
- Clasificación: CL (SUCS), A-4 (6) (AASHTO).

## C-3: E-1:

- Humedad: 7.41%
- Granulometría: 69.78% gravas, 26.55% arenas, 3.67% finos.
- Límite Líquido: 31.46%, Límite Plástico: 12.30%, Índice de Plasticidad: 19.16.
- Clasificación: GC (SUCS), A-2-6 (1) (AASHTO).

## C-3: E-2:

- Humedad: 8.08%

- Granulometría: 15.73% gravas, 28.40% arenas, 55.87% finos.
- Límite Líquido: 35.38%, Límite Plástico:

17.72%, Índice de Plasticidad: 17.66

- Clasificación: CL (SUCS), A-6 (7) (AASHTO).

C-3: E-3:

- Humedad: 8.80%
- Granulometría: 63.57% gravas, 24.99% arenas, 12.34% finos.
- Límite Líquido: 23.44%, Límite Plástico: 15.32%, Índice de Plasticidad: 8.12.
- Clasificación: A-4 (0) (AASHTO).

C-4: E-4:

- Humedad: 10.82%
- Granulometría: 59.89% gravas, 22.41% arenas, 17.70% finos.
- Límite Líquido: 20.70%, Límite Plástico: 12.04%, Índice de Plasticidad: 8.66.
- Clasificación: A-2-4 (0) (AASHTO).

**Tabla 33** *Parámetros mecánicos de Corte directo*

CALICATA	SUCS	AASHTOO	$\emptyset$	$\emptyset'$	$\frac{C'}{(\text{Kg/cm}^2)}$	$\frac{c}{(\text{Kg/cm}^2)}$	$\frac{\gamma \text{ nat.}}{\text{gr/cm}^3}$	$\frac{\text{Módulo de Poisson}}{(u)}$	$\frac{\text{Módulo de Deformación}}{(\text{Es}) \text{ Kg/cm}^2}$
C-1; E-4	GC	A-2-6 (0)	26°.02	18°.0	0.04	0.03	2.01	0.30	300
C-2; E-4	CL	A-4 (6)	15.4°	10.4°	0.40	0.27	1.88	0.30	300
C-3; E-3	GC	A-2-4 (0)	26.10°	18.1°	0.03	0.02	2.044	0.30	300
C-4; E-4	GC	A-2-4 (0)	25.40°	17.6°	0.14	0.09	2.054	0.30	300

*Nota.* Dato de laboratorio

**Interpretación:** La tabla proporciona datos de laboratorio sobre distintas calicatas, clasificadas según los sistemas SUCS y AASHTO, y presenta propiedades mecánicas y físicas del suelo.

Columnas de la tabla:

CALICATA: Identificación de la muestra de suelo (e.g., C-1; E-4).

SUCS: Clasificación del suelo según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (e.g., GC, CL).

AASHTO: Clasificación según la American Association of State Highway and Transportation Officials (e.g., A-2-6 (0), A-4 (6)).  $\emptyset$ : Ángulo de fricción interna del suelo en condiciones naturales.

$\emptyset'$ : Ángulo de fricción interna del suelo en condiciones drenadas.

$C'$ : Cohesión efectiva del suelo (en  $\text{Kg/cm}^2$ ) en condiciones drenadas.  $c$ : Cohesión del suelo (en  $\text{Kg/cm}^2$ ) en condiciones naturales.

$\gamma$  nat.: Peso unitario del suelo en su estado natural (en  $\text{gr}/\text{cm}^3$ ).

Módulo de Poisson ( $u$ ): Coeficiente que mide la deformación transversal relativa a la deformación longitudinal.

Módulo de Deformación ( $E_s$ ): Módulo de elasticidad o módulo de Young del suelo (en  $\text{Kg}/\text{cm}^2$ ).

Interpretación detallada de las calicatas:

C-1; E-4:

- Clasificación: GC (SUCS), A-2-6 (0) (AASHTO).
- Ángulos de fricción interna:  $\emptyset = 26^\circ$ ,  $\emptyset' = 18^\circ$ .
- Cohesión:  $C' = 0.04 \text{ Kg}/\text{cm}^2$ ,  $c = 0.03 \text{ Kg}/\text{cm}^2$ .
- Peso unitario:  $\gamma$  nat. =  $2.01 \text{ gr}/\text{cm}^3$ .
- Módulo de Poisson:  $u = 0.30$ .
- Módulo de Deformación:  $E_s = 300 \text{ Kg}/\text{cm}^2$ .

C-2; E-4:

- Clasificación: CL (SUCS), A-4 (6) (AASHTO).
- Ángulos de fricción interna:  $\emptyset = 15.4^\circ$ ,  $\emptyset' = 10.4^\circ$ .
- Cohesión:  $C' = 0.40 \text{ Kg}/\text{cm}^2$ ,  $c = 0.27 \text{ Kg}/\text{cm}^2$ .
- Peso unitario:  $\gamma$  nat. =  $1.88 \text{ gr}/\text{cm}^3$ .
- Módulo de Poisson:  $u = 0.30$ .
- Módulo de Deformación:  $E_s = 300 \text{ Kg}/\text{cm}^2$ .

C-3; E-3:

- Clasificación: GC (SUCS), A-2-4 (0) (AASHTO).
- Ángulos de fricción interna:  $\emptyset = 26.10^\circ$ ,  $\emptyset' = 18.1^\circ$ .
- Cohesión:  $C' = 0.03 \text{ Kg}/\text{cm}^2$ ,  $c = 0.02 \text{ Kg}/\text{cm}^2$ .
- Peso unitario:  $\gamma$  nat. =  $2.044 \text{ gr}/\text{cm}^3$ .
- Módulo de Poisson:  $u = 0.30$ .
- Módulo de Deformación:  $E_s = 300 \text{ Kg}/\text{cm}^2$ .

C-4; E-4:

- Clasificación: GC (SUCS), A-2-4 (0) (AASHTO).
- Ángulos de fricción interna:  $\phi = 25.40^\circ$ ,  $\phi' = 17.6^\circ$ .
- Cohesión:  $C' = 0.14 \text{ Kg/cm}^2$ ,  $c = 0.09 \text{ Kg/cm}^2$ .
- Peso unitario:  $\gamma \text{ nat.} = 2.054 \text{ gr/cm}^3$ .
- Módulo de Poisson:  $\nu = 0.30$ .  
Módulo de Deformación:  $E_s = 300 \text{ Kg/cm}^2$ .

**Tabla 34***Consolidado de resultados de la calicata*

Calicata N°	Humedad		Granulometría		Limite Líquido	Limite Plástico	Índice de Plasticidad	Clasificación	
	(%)	Gravas	Arenas	Finos				SUCS	ASHTOO
C-1; E-2	8.34	20.29	15.11	64.61	51.53	24.98	26.55	Ch	A-7-6 (14)
C-1; E-3	8.83	36.37	27.67	35.96	36.19	23.88	12.31	Gc	A-6 (1)
C-1; E-4	9.09	61.14	24.00	14.86	27.97	14.86	13.11	Gc	A-2-6 (0)
C-2; E-2	8.95	24.17	20.32	55.51	38.40	20.42	17.98	Cl	A-6 (7)
C-2; E-3	13.85	70.73	19.88	9.39	21.10	11.58	9.52	Gp gc	A-2-4 (0)
C-2; E-4	14.83	12.10	24.46	63.44	21.86	12.86	9.01	Cl	A-4 (6)
C-3; E-1	7.41	69.76	26.55	3.69	17.97	12.15	5.82	Gw	A-1 (0)
C-3; E-2	8.08	15.73	28.40	55.87	35.38	17.72	17.66	Cl	A-6 (7)
C-3; E-3	8.90	63.57	24.99	12.34	23.44	15.32	8.12	Gc	A-2-4 (0)
C-4; E-4	10.82	59.89	22.41	17.70	20.70	12.04	8.66	Gc	A-2-4 (0)

*Nota.* Dato de laboratorio

Interpretación: La tabla proporciona datos de laboratorio sobre diferentes muestras de suelo (calicatas) y contiene información sobre la humedad, granulometría, límites de consistencia, índice de plasticidad y clasificaciones SUCS y AASHTO.

Calicata N°: Identificación de la muestra de suelo (e.g., C-1: E-2).

Humedad (%): Contenido de humedad del suelo.

Granulometría: Distribución de tamaño de partículas del suelo, desglosada en:

- Gravas: Porcentaje de partículas de grava.
- Arenas: Porcentaje de partículas de arena.
- Finos: Porcentaje de partículas finas (arcillas y limos).

Límite Líquido: Porcentaje de humedad a la cual el suelo pasa de estado plástico a líquido.

Límite Plástico: Porcentaje de humedad a la cual el suelo pasa de estado semisólido a plástico.

Índice de Plasticidad: Diferencia entre el límite líquido y el límite plástico, indicando la plasticidad del suelo.

Clasificación:

- SUCS: Clasificación del suelo según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (e.g., GC, CL).
- AASHTO: Clasificación según la American Association of State Highway and Transportation Officials (e.g., A-7-6 (14), A-6 (1)).

Interpretación detallada de las calicatas:

C-1: E-2:

- Humedad: 8.34%
- Granulometría: 20.29% gravas, 15.11% arenas, 64.61% finos.
- Límite Líquido: 51.53%, Límite Plástico: 24.98%, Índice de Plasticidad: 26.55.
- Clasificación: CH (SUCS), A-7-6 (14) (AASHTO).

C-1: E-3:

- Humedad: 8.83%

- Límite Líquido: 36.19%, Límite Plástico: 23.88%, Índice de Plasticidad: 12.31.
- Clasificación: GC (SUCS), A-6 (1) (AASHTO).

## C-1: E-4:

- Humedad: 9.09%
- Granulometría: 61.14% gravas, 24.00% arenas, 14.86% finos.
- Límite Líquido: 27.97%, Límite Plástico: 14.86%, Índice de Plasticidad: 13.11.
- Clasificación: A-2-6 (0) (AASHTO).

## C-2: E-2:

- Humedad: 8.95%
- Granulometría: 24.17% gravas, 20.32% arenas, 55.51% finos.
- Límite Líquido: 30.84%, Límite Plástico: 20.42%, Índice de Plasticidad: 17.98.
- Clasificación: CL (SUCS), A-6 (7) (AASHTO).

## C-2: E-3:

- Humedad: 13.85%
- Granulometría: 70.73% gravas, 18.98% arenas, 10.39% finos.
- Límite Líquido: 21.10%, Límite Plástico: 11.58%, Índice de Plasticidad: 9.52.
- Clasificación: GC (SUCS), A-2-4 (0) (AASHTO).

## C-2: E-4:

- Humedad: 14.83%

- Límite Líquido: 21.86%, Límite Plástico: 12.85%, Índice de Plasticidad: 9.01.
- Clasificación: CL (SUCS), A-4 (6) (AASHTO).

## C-3: E-1:

- Humedad: 7.41%
- Granulometría: 69.78% gravas, 26.55% arenas, 3.67% finos.
- Límite Líquido: 31.46%, Límite Plástico: 12.30%, Índice de Plasticidad: 19.16.
- Clasificación: GC (SUCS), A-2-6 (1) (AASHTO).

## C-3: E-2:

- Humedad: 8.08%
- Granulometría: 15.73% gravas, 28.40% arenas, 55.87% finos.
- Límite Líquido: 35.38%, Límite Plástico: 17.72%, Índice de Plasticidad: 17.66.
- Clasificación: CL (SUCS), A-6 (7) (AASHTO).

## C-3: E-3:

- Humedad: 8.80%
- Granulometría: 63.57% gravas, 24.99% arenas, 12.34% finos.
- Límite Líquido: 23.44%, Límite Plástico: 15.32%, Índice de Plasticidad: 8.12.
- Clasificación: A-4 (0) (AASHTO).

## C-4: E-4:

- Humedad: 10.82%

- Límite Líquido: 20.70%, Límite Plástico: 12.04%, Índice de Plasticidad: 8.66.
- Clasificación: A-2-4 (0) (AASHTO).

**Tabla 35**

*Asentamiento con  $Q_{adm}$  superiores a  $1.50 \text{ Kg/cm}^2$*

CALICATA	Dimensiones B x L	Df	Qadm	Mod. Elast.	u	i (mm)	$\delta = 0.75*Si$
			(Kg/cm <sup>2</sup> )				
C-1	1.50 x 1.50	3.10	1.53	300	0.30	9.1	6.825
C-2	1.50 x 1.50	4.10	1.58	300	0.30	9.1	6.825
C-3	1.50 x 1.50	4.10	2.04	300	0.30	9.1	6.825
C-4	1.50 x 1.50	4.10	1.98	300	0.30	9.1	6.825

*Nota.* Datos de laboratorio

**Interpretación :** La tabla proporciona datos de laboratorio sobre varias calicatas, detallando dimensiones, densidad y propiedades mecánicas del suelo.

Columnas de la tabla:

CALICATA: Identificación de la muestra de suelo (e.g., C-1, C-2, C-3, C-4).

Dimensiones B x L: Dimensiones de la muestra en metros (ancho x largo).

Dr: Densidad relativa del suelo.

Qadm: Carga admisible del suelo en Kg/cm<sup>2</sup>.

Mod. Elast.: Módulo de elasticidad del suelo en

Kg/cm<sup>2</sup>. u: Módulo de Poisson.

i (mm): Deformación inicial en milímetros.

$\delta = 0.75*Si$ : Asentamiento permisible, calculado como el 75% del asentamiento máximo.

Interpretación detallada de las calicatas:

C-1:

- Dimensiones: 1.50 x 1.50 m
- Densidad relativa (Dr): 3.10
- Carga admisible (Qadm): 1.53 Kg/cm<sup>2</sup>
- Módulo de elasticidad (Mod. Elast.): 300 Kg/cm<sup>2</sup>
- Módulo de Poisson (u): 0.30
- Deformación inicial (i): 9.1 mm
- Asentamiento permisible ( $\delta$ ): 8.825

C-2:

- Dimensiones: 1.50 x 1.50 m
- Densidad relativa (Dr): 4.10
- Carga admisible (Qadm): 1.58 Kg/cm<sup>2</sup>
- Módulo de elasticidad (Mod. Elast.): 300 Kg/cm<sup>2</sup>
- Módulo de Poisson (u): 0.30
- Deformación inicial (i): 9.1 mm
- Asentamiento permisible ( $\delta$ ): 8.825

C-3:

- Dimensiones: 1.50 x 1.50 m
- Densidad relativa (Dr): 4.10
- Carga admisible (Qadm): 2.04 Kg/cm<sup>2</sup>
- Módulo de elasticidad (Mod. Elast.): 300 Kg/cm<sup>2</sup>
- Módulo de Poisson (u): 0.30
- Deformación inicial (i): 9.1 mm
- Asentamiento permisible ( $\delta$ ): 8.825

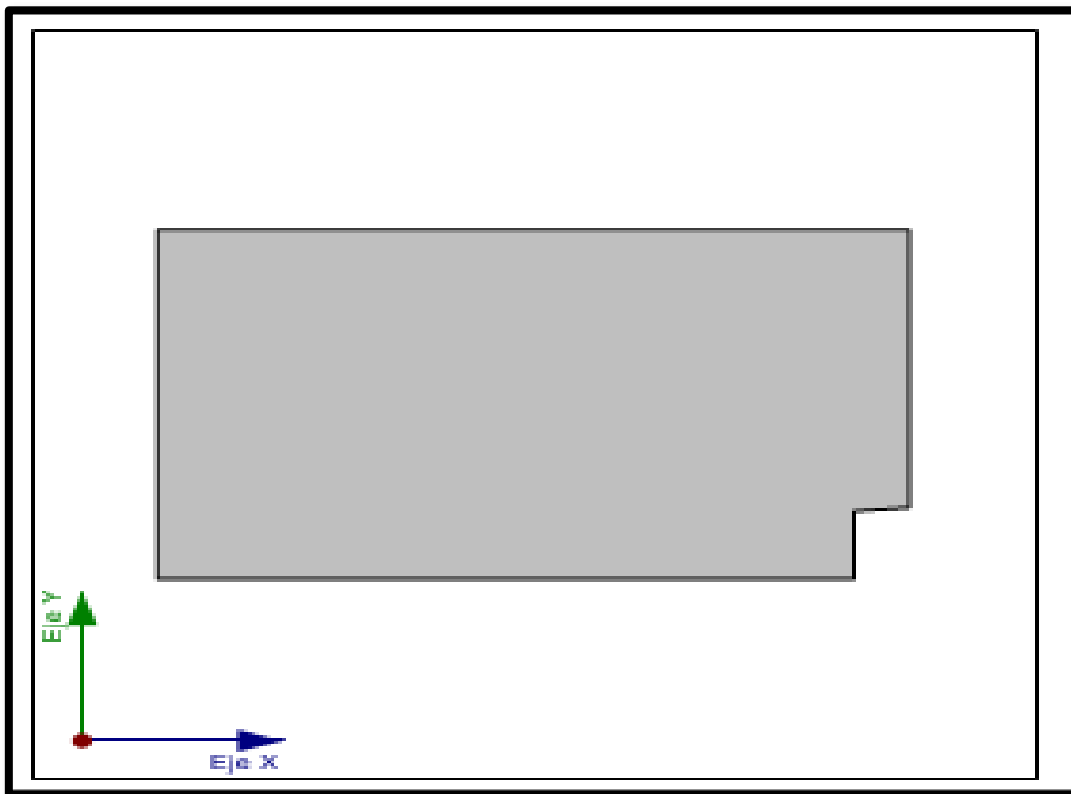
C-4:

- Dimensiones: 1.50 x 1.50 m
- Densidad relativa ( $D_r$ ): 4.10
- Carga admisible ( $Q_{adm}$ ): 1.88 Kg/cm<sup>2</sup>
- Módulo de elasticidad (Mod. Elast.): 300 Kg/cm<sup>2</sup>
- Módulo de Poisson ( $\nu$ ): 0.30
- Deformación inicial ( $i$ ): 9.1 mm
- Asentamiento permisible ( $\delta$ ): 8.825

#### 4.1.2. Resultados de la Acción sísmica

**Figura 21**

*Direcciones de análisis*

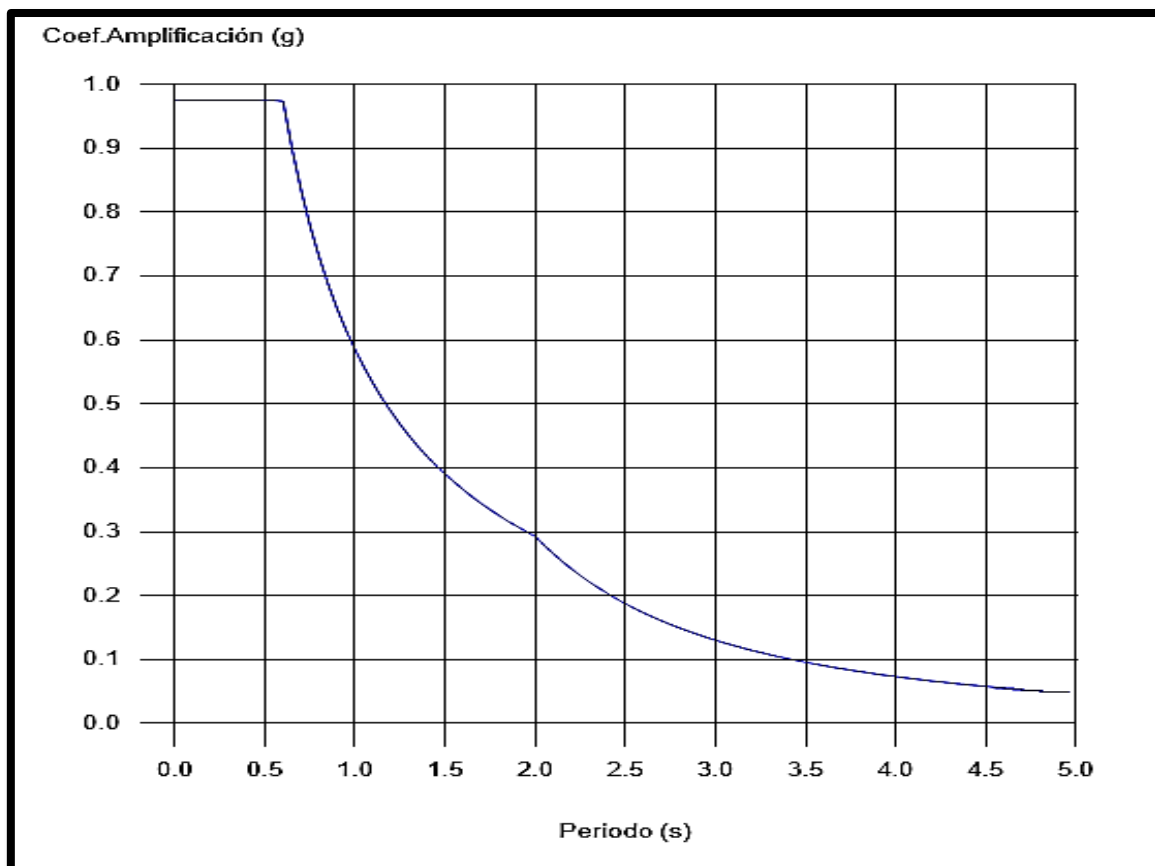


*Nota.* Elaboración propia

## Espectro de calculo

Figura 22

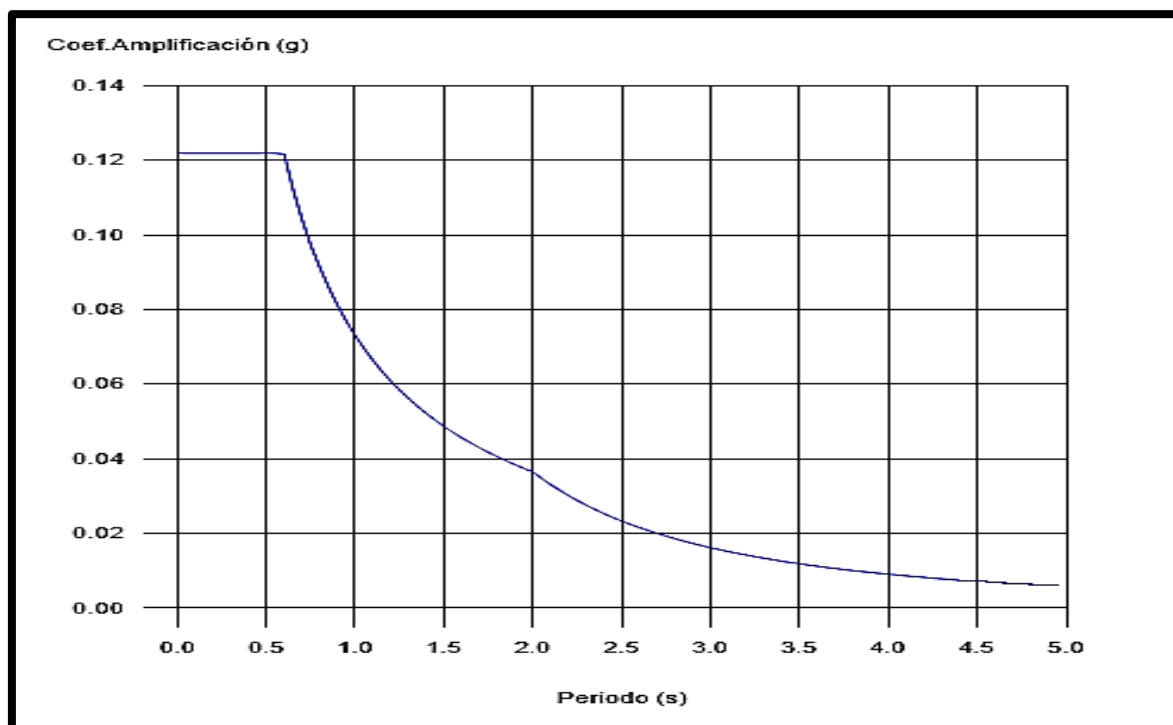
*Espectro elástico de aceleración*



*Nota.* Elaboración propia

**Interpretación:** El Coeficiente de amplificación: Indica cómo se amplifica la respuesta del sistema en función del período. Un valor de 1.0 g implica que no hay amplificación, mientras que valores menores indican una reducción en la amplificación y el Período: Representa el tiempo en segundos del ciclo de oscilación del sistema.

El gráfico muestra que a medida que aumenta el período, el coeficiente de amplificación disminuye. Inicialmente, hay una rápida caída en la amplificación (de 0 a 1.0 s), seguida de un descenso más gradual. Este comportamiento es típico en sistemas donde la resonancia afecta la amplificación a ciertos períodos específicos.

**Figura 23***Espectro de diseño según X*

*Nota.* Elaboración propia

**Interpretación:** La curva comienza en un valor máximo de aproximadamente 0.12 g cuando el periodo es cercano a 0 segundos, conforme el periodo aumenta, el coeficiente de amplificación disminuye rápidamente. Esto indica que las señales con periodos cortos (alta frecuencia) tienen una mayor amplificación y después de un periodo de aproximadamente

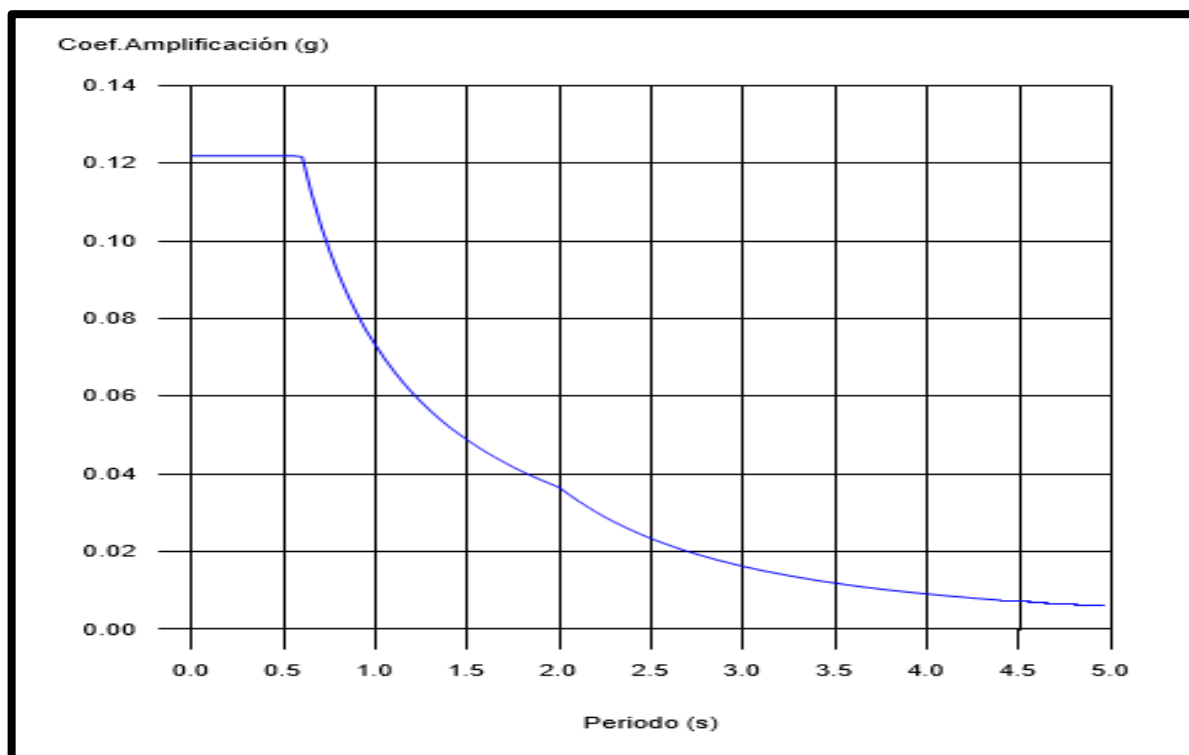
1.0 segundos, la disminución del coeficiente de amplificación se vuelve más gradual y tiende hacia valores cercanos a 0.01 g para periodos superiores a 4.5 segundos.

La gráfica puede representar la respuesta de un sistema ante distintas frecuencias de entrada. Por ejemplo, en el contexto de ingeniería civil, podría representar la respuesta de un edificio a diferentes frecuencias sísmicas. La alta amplificación en periodos cortos sugiere que el sistema es más susceptible a vibraciones de alta frecuencia. A medida que el periodo aumenta (frecuencia disminuye), la

amplificación se reduce, lo que indica que el sistema es menos susceptible a vibraciones de baja frecuencia.

**Figura 24**

*Espectro de diseño según Y*



*Nota.* Elaboración propia

**Interpretación:** Al inicio, para periodos muy cortos (cercanos a 0 segundos), el coeficiente de amplificación es alto, aproximadamente 0.12 g. A medida que el periodo aumenta de 0 a 1 segundo, el coeficiente de amplificación disminuye rápidamente. Después de 1 segundo, la curva muestra una disminución más gradual del coeficiente de amplificación. Para periodos mayores a 4 segundos, la curva tiende a estabilizarse cerca de 0 g.

La curva sugiere que el sistema tiene una alta respuesta a frecuencias altas (periodos cortos) y una menor respuesta a frecuencias bajas (periodos largos). Este tipo de comportamiento es típico en sistemas resonantes donde las frecuencias altas son amplificadas más que las frecuencias bajas.

Este tipo de análisis es común en la ingeniería sísmica, donde se estudia la respuesta de estructuras a diferentes frecuencias de vibración. También se puede aplicar en el diseño de sistemas mecánicos y electrónicos que deben minimizar la resonancia en ciertas frecuencias para evitar daños o mal funcionamiento.

**Tabla 36***Coefficiente de participación*

Modo	T	L <sub>x</sub>	L <sub>y</sub>	L <sub>gz</sub>	M <sub>x</sub>	M <sub>y</sub>	Hipótesis X(1)	Hipótesis Y(1)
Modo 1	0.672	0.9972	0.011	0.0738	93.52 %	0.01 %	R = 8 A = 1.069 m/s <sup>2</sup> D = 12.2209 mm	R = 8 A = 1.069 m/s <sup>2</sup> D = 12.2209 mm
Modo 2	0.562	0.0033	0.2901	0.957	0.01 %	70.63 %	R = 8 A = 1.195 m/s <sup>2</sup> D = 9.56836 mm	R = 8 A = 1.195 m/s <sup>2</sup> D = 9.56836 mm
Modo 3	0.307	0.0157	0.074	0.9973	0.01 %	18.61 %	R = 8 A = 1.196 m/s <sup>2</sup> D = 2.85673 mm	R = 8 A = 1.196 m/s <sup>2</sup> D = 2.85673 mm
Modo 4	0.198	0.9295	0.0007	0.3688	5.99 %	0 %	R = 8 A = 1.196 m/s <sup>2</sup> D = 1.18692 mm	R = 8 A = 1.196 m/s <sup>2</sup> D = 1.18692 mm
Modo 5	0.166	0.0258	0.8095	0.5865	0 %	5.21 %	R = 8 A = 1.196 m/s <sup>2</sup> D = 0.83007 mm	R = 8 A = 1.196 m/s <sup>2</sup> D = 0.83007 mm
Total					99.53 %	94.46 %		

*Nota.* Datos recopilados en obra

**T:** Período de vibración de la estructura, expresado en segundos.

**L<sub>x</sub>, L<sub>y</sub>:** Coeficientes de participación normalizados en las direcciones X e Y.

**L<sub>gz</sub>:** Coeficiente de participación normalizado para el grado de libertad

rotacional. **M<sub>x</sub>, M<sub>y</sub>:** Porcentaje de masa que participa en cada modo en las

direcciones X e Y. **R:** Relación entre la aceleración considerando ductilidad y

la obtenida sin ductilidad. **A:** Aceleración de cálculo que incorpora la

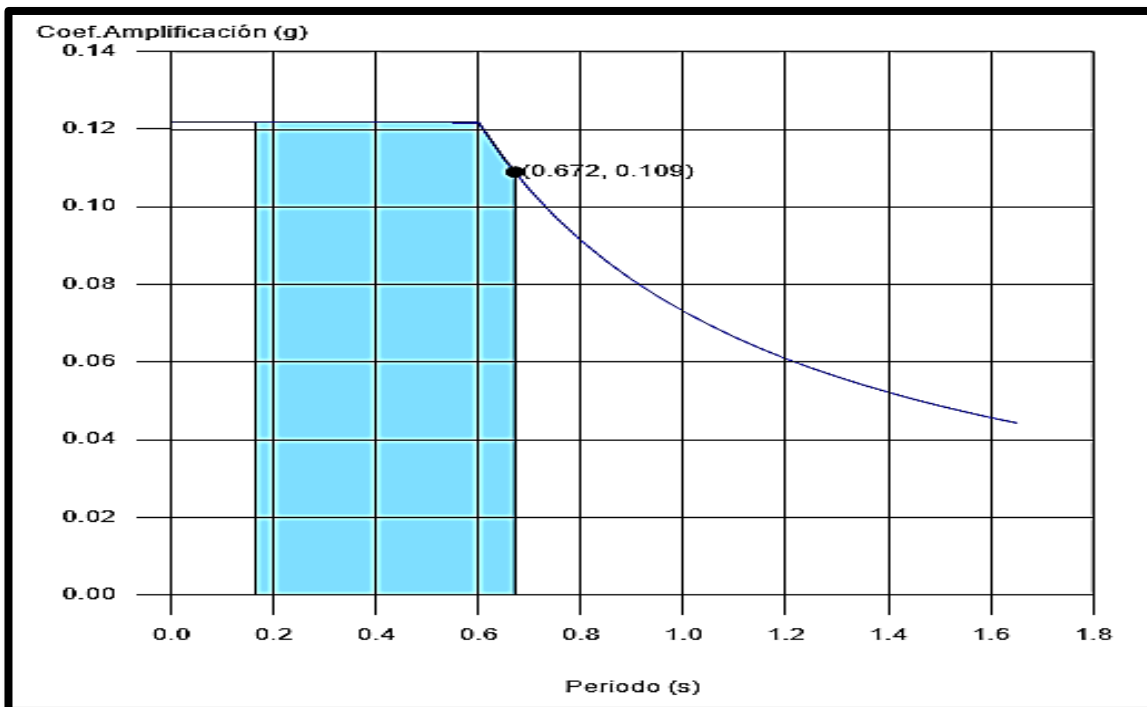
ductilidad estructural.

**D:** Coeficiente del modo, representa el desplazamiento máximo del grado de libertad dinámico.

## Representación de los periodos modales

**Figura 25**

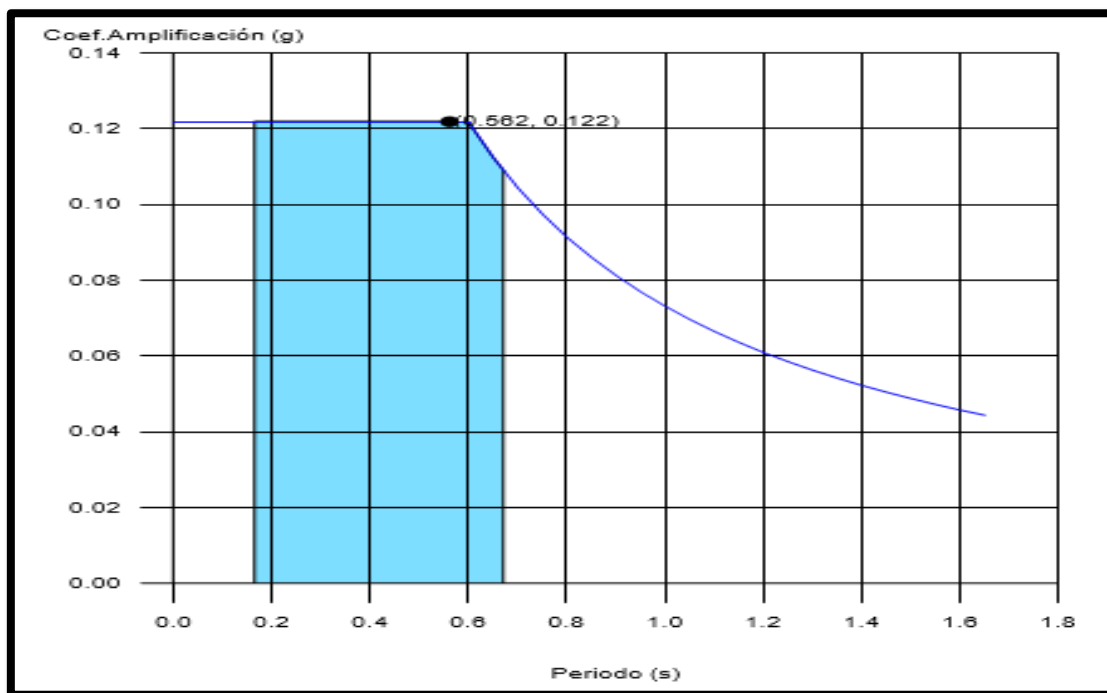
*Espectro de diseño según X*



*Nota. Elaboración propia*

**Interpretación:** La figura 25 indica que el sistema tiene una alta amplificación para frecuencias altas (periodos cortos), lo que significa que responde más intensamente a vibraciones rápidas. La región azul resalta el intervalo de periodos donde la amplificación es máxima y constante, sugiriendo una mayor sensibilidad a esas frecuencias específicas. A medida que el periodo aumenta, la amplificación disminuye, lo que sugiere que el sistema es menos sensible a las vibraciones más lentas.

Este tipo de análisis es común en la ingeniería estructural, especialmente en el diseño de edificios y puentes para resistir vibraciones sísmicas. También es útil en el diseño de sistemas mecánicos y electrónicos que deben evitar resonancias dañinas en ciertas frecuencias.

**Figura 26***Espectro de diseño según Y**Nota. Elaboración propia*

**Interpretación:** La figura 26 indica que el sistema tiene una alta amplificación para frecuencias altas (periodos cortos), lo que significa que responde más intensamente a vibraciones rápidas. La región azul resalta el intervalo de periodos donde la amplificación es máxima y constante, sugiriendo una mayor sensibilidad a esas frecuencias específicas. A medida que el periodo aumenta, la amplificación disminuye, lo que sugiere que el sistema es menos sensible a las vibraciones más lentas.

Este tipo de análisis es común en la ingeniería estructural, especialmente en el diseño de edificios y puentes para resistir vibraciones sísmicas. También es útil en el diseño de sistemas mecánicos y electrónicos que deben evitar resonancias dañinas en ciertas frecuencias.

**Tabla 37***Centro de masas, centro de rigidez y excentricidad de cada planta*

Planta	c.d.m. (m)	c.d.r.(m)	e X (m)	e Y (m)
Sexto nivel	(18.80, 34.50)	(17.16, 34.44)	1.64	0.06
Quinto nivel	(18.75, 34.47)	(17.16, 34.44)	1.59	0.03
Cuarto nivel	(18.76, 34.48)	(17.16, 34.44)	1.60	0.03
Tercer nivel	(18.76, 34.48)	(17.16, 34.44)	1.60	0.03
Segundo nivel	(18.76, 34.48)	(17.16, 34.44)	1.60	0.03
Primer nivel	(18.14, 34.44)	(15.45, 34.44)	2.69	0.00
Sótano 1	(18.71, 34.08)	(13.19, 34.35)	5.52	-0.26
Sótano 2	(10.31, 34.15)	(10.42, 34.22)	-0.12	-0.08

*Nota.* Datos recopilados en obra

**c.d.m.:** Coordenadas del centro de masas de la planta en los ejes X e Y.

**c.d.r.:** Coordenadas del centro de rigidez de la planta en los ejes X e Y.

**eX:** Excentricidad en la dirección X, es la distancia entre el centro de masas y el centro de rigidez.

**eY:** Excentricidad en la dirección Y, es la distancia entre el centro de masas y el centro de rigidez.

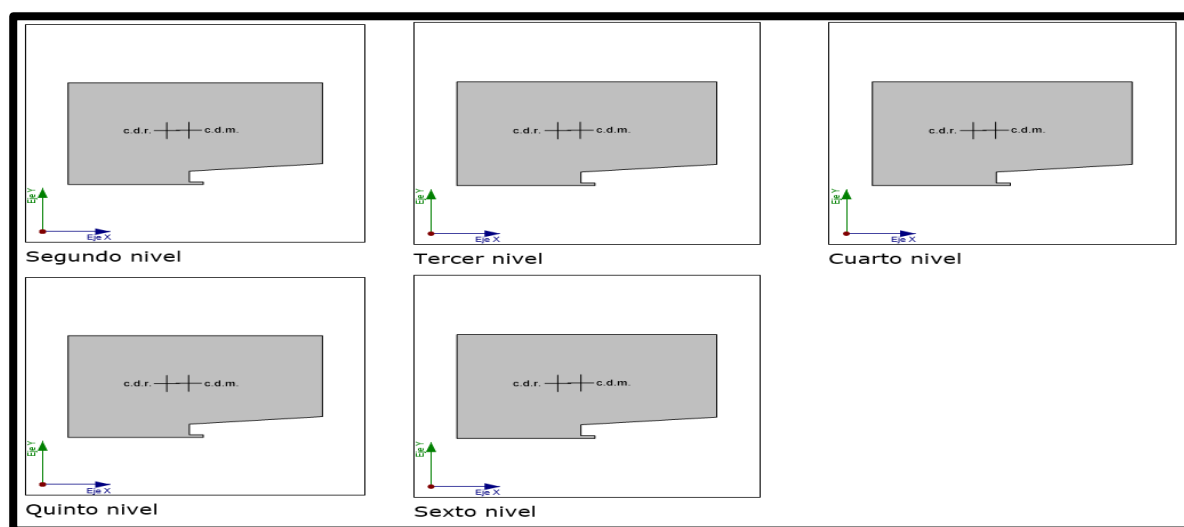
**Figura 27***Representación gráfica del centro de masas y del centro de rigidez por planta**Nota.* Elaboración propia

Figura 28

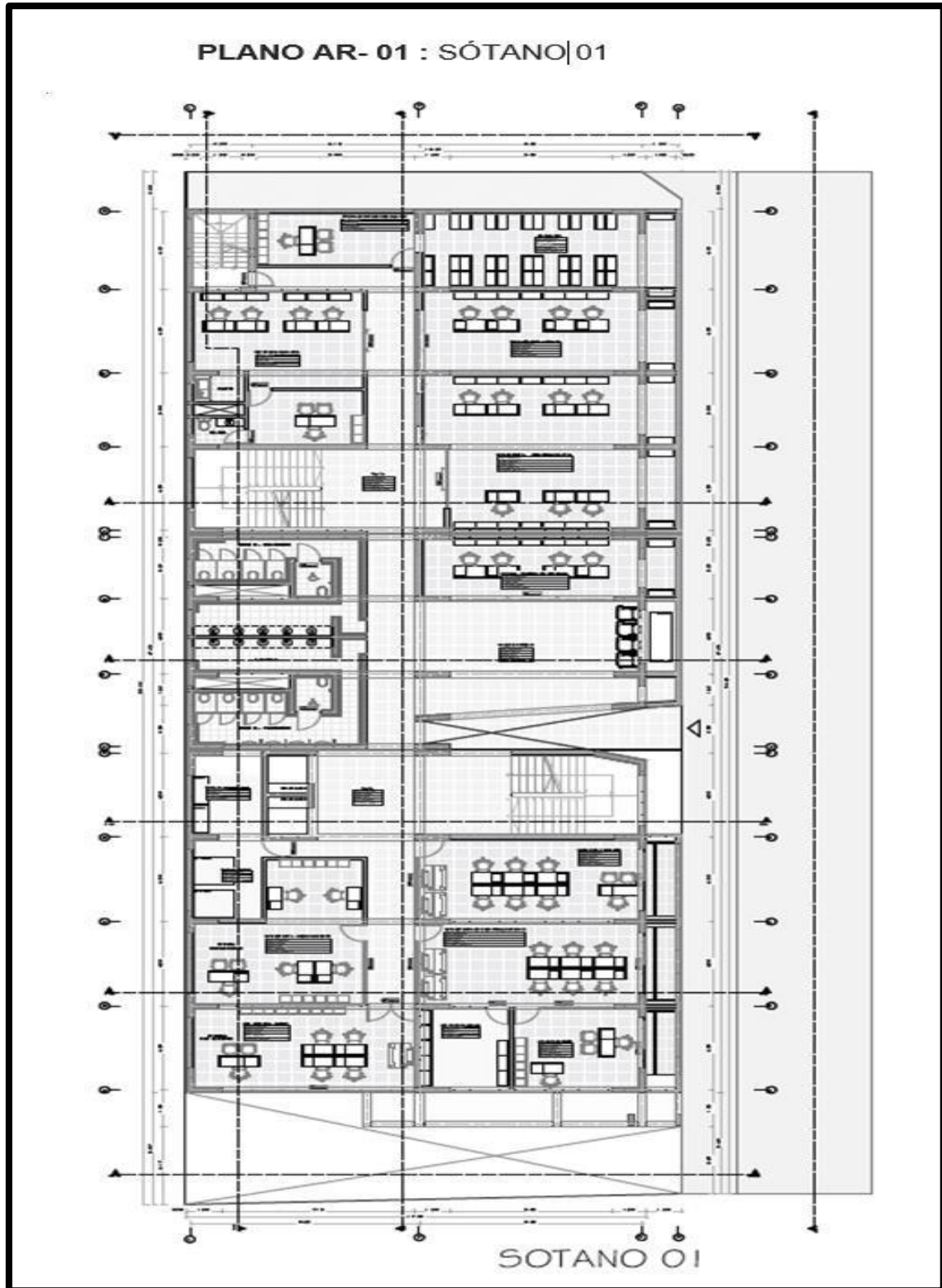
*Plano sótano 01**Nota. Elaboración propia*

Figura 29

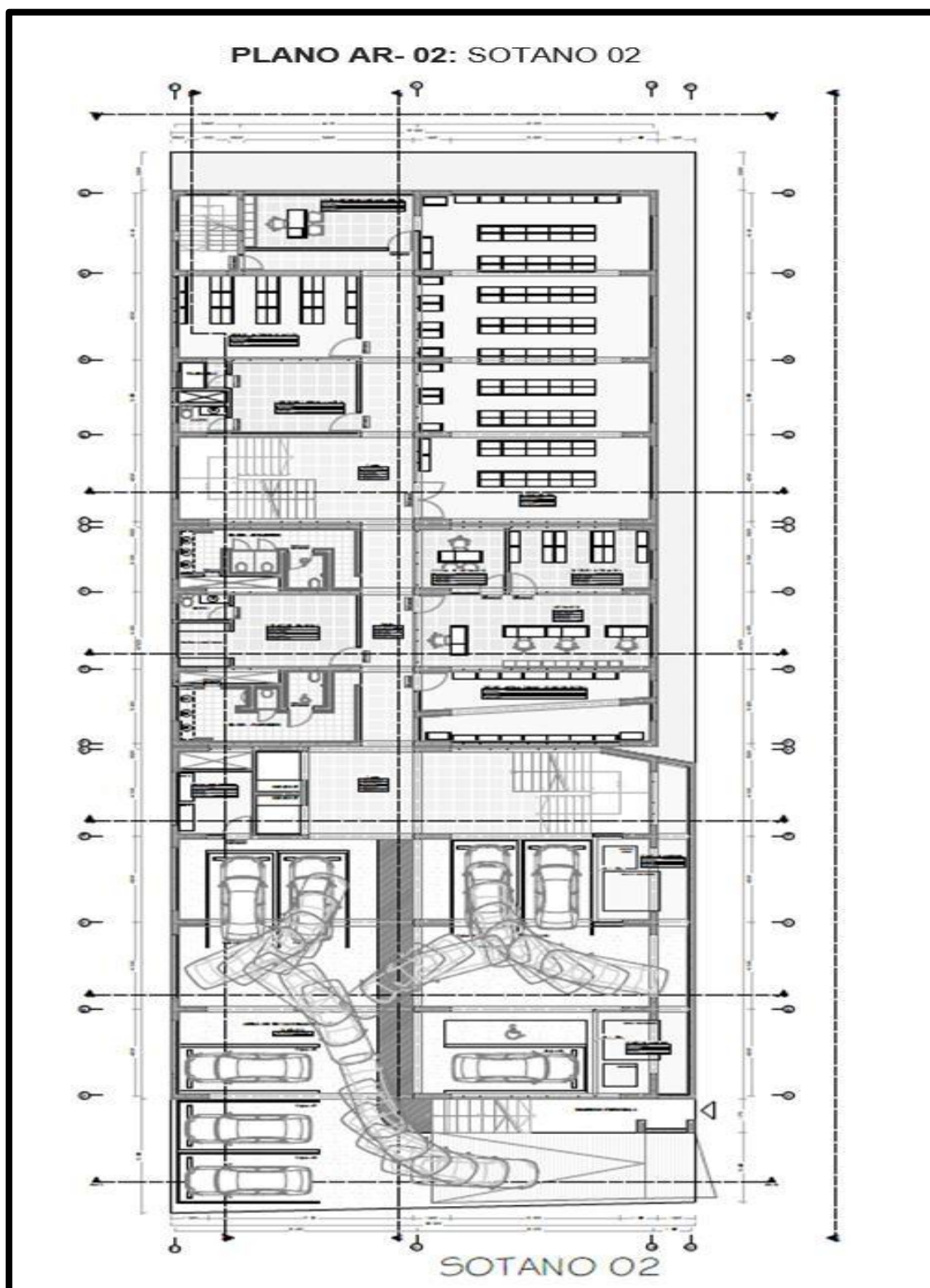
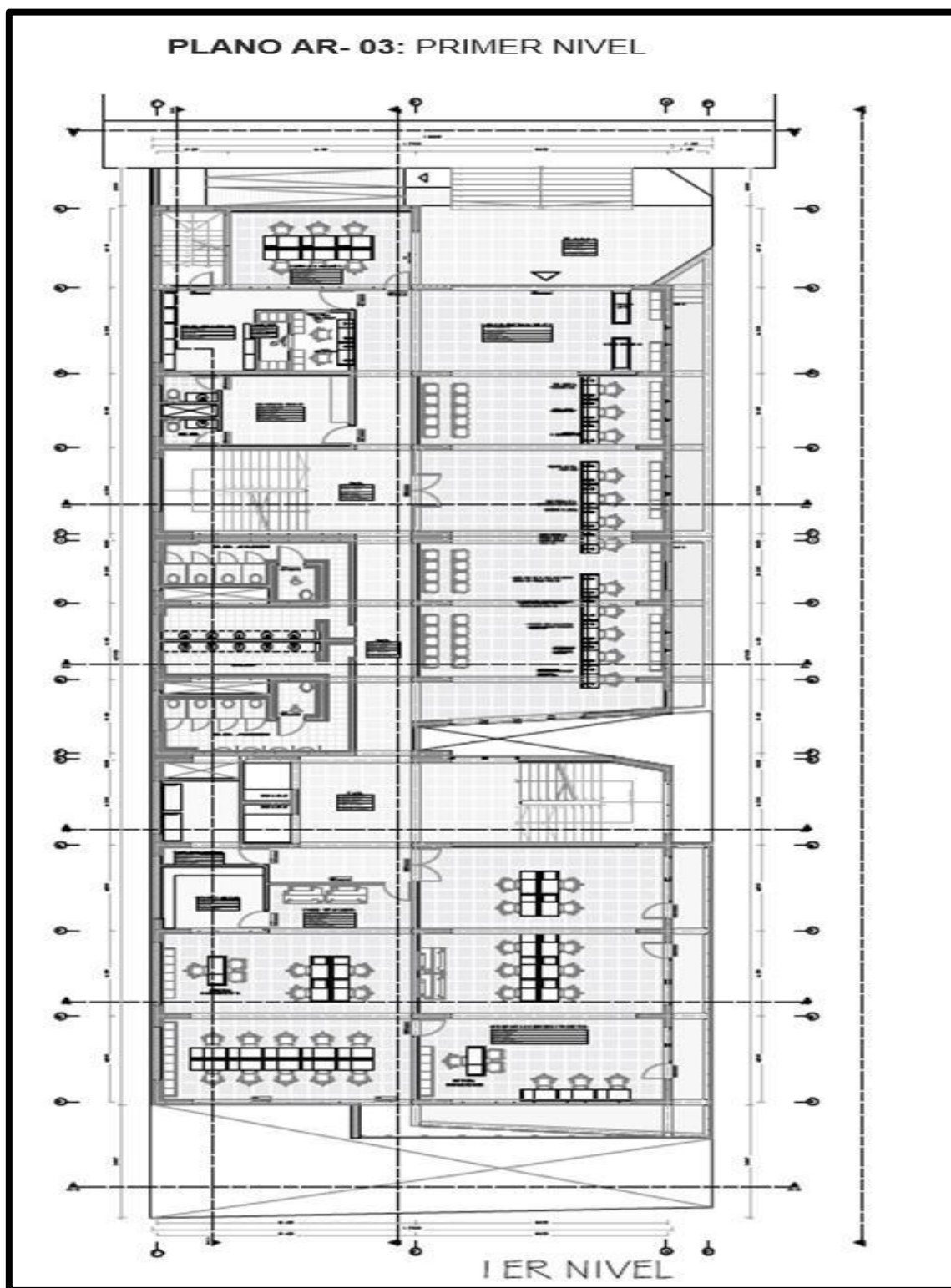
*Plano sótano 02**Nota. Elaboración propia*

Figura 30

*Plano primer nivel**Nota. Elaboración propia*

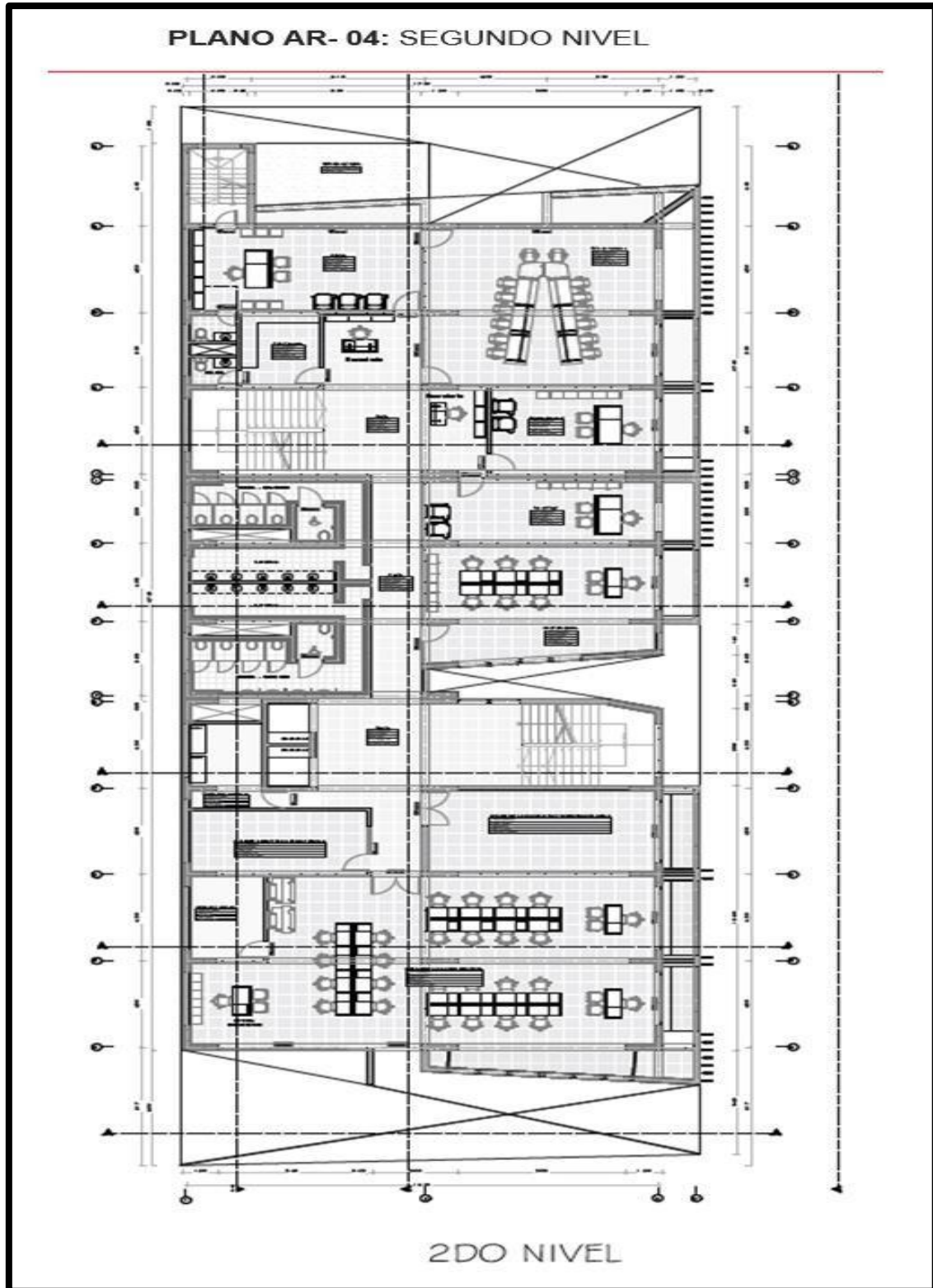
**Figura 31***Plano segundo nivel**Nota. Elaboración propia*

Figura 32

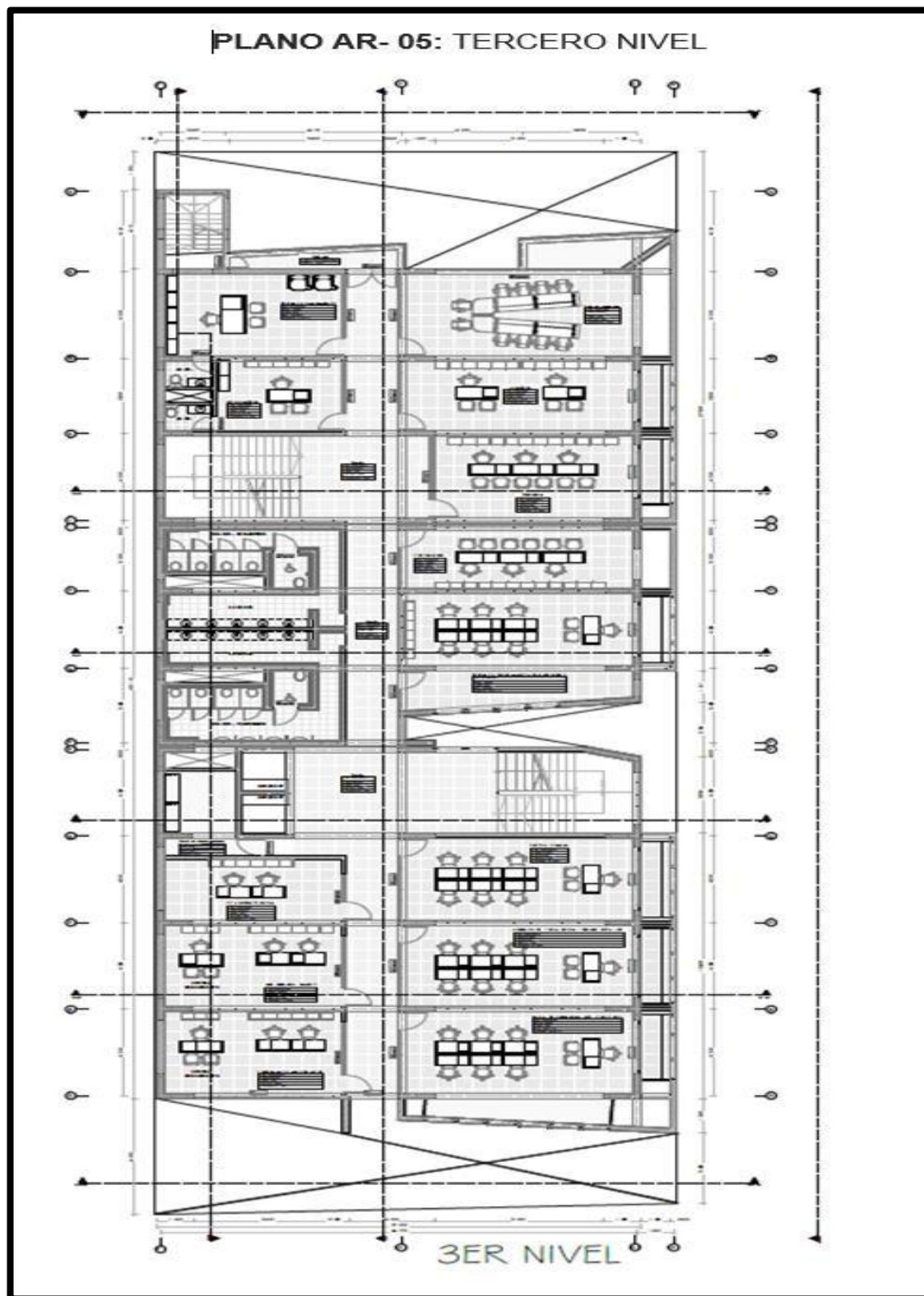
*Plano tercer nivel**Nota. Elaboración propia*

Figura 33

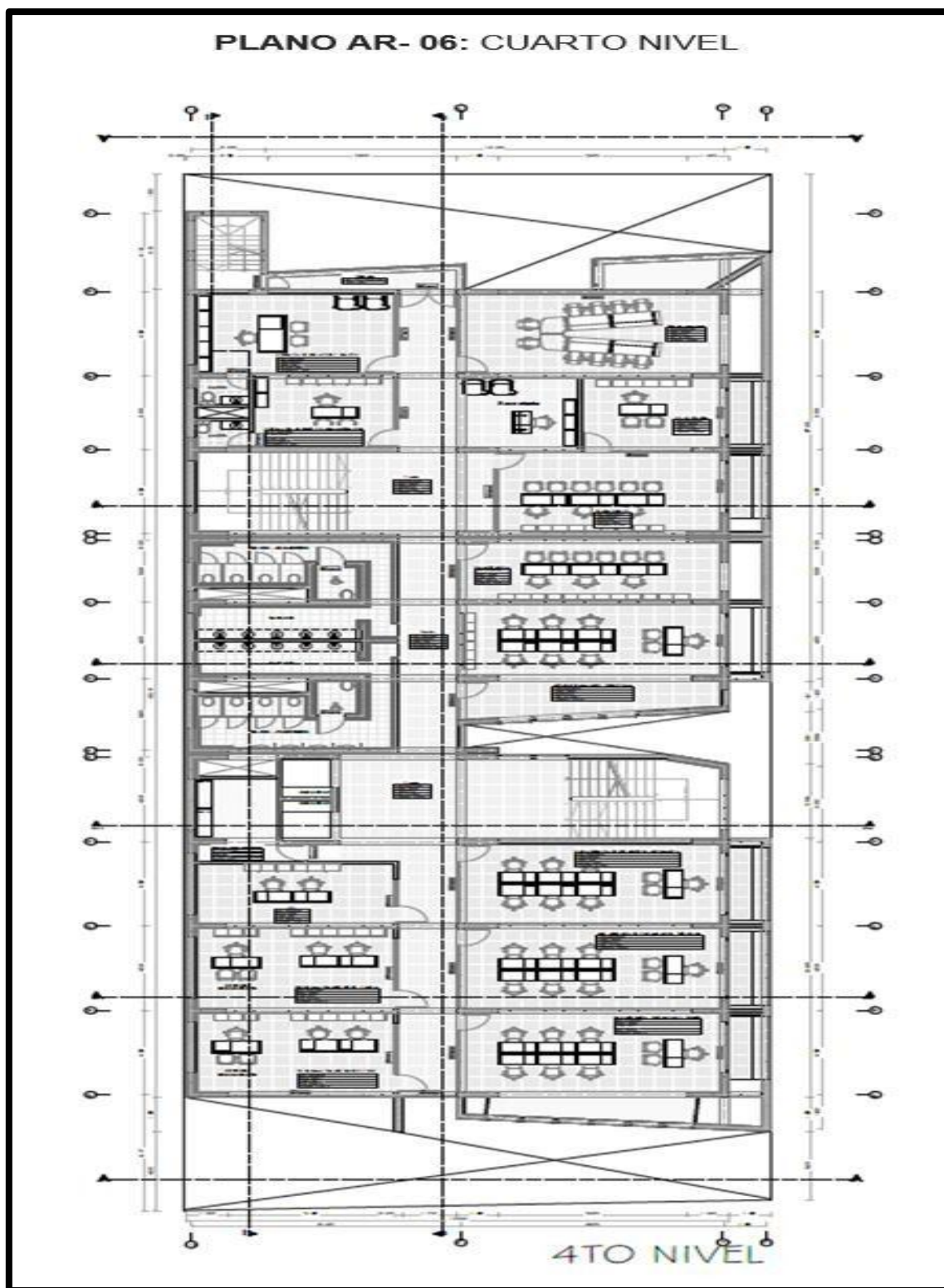
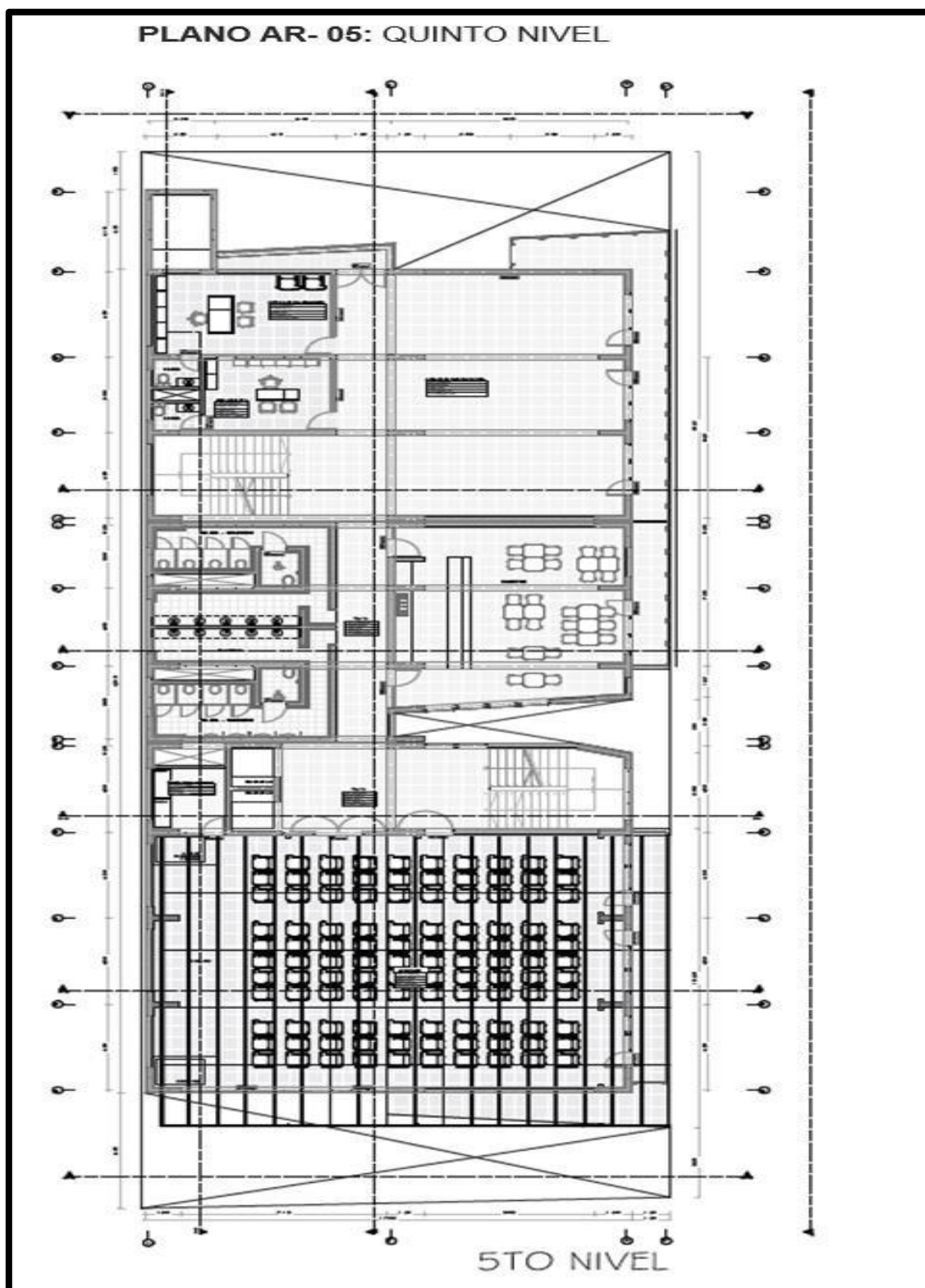
*Plano cuarto nivel**Nota. Elaboración propia*

Figura 34

*Plano quinto nivel**Nota. Elaboración propia*

**Vistas en 3D****Figura 35***VISTA 3D-PERSPECTIVA**Nota. Elaboración Consorcio Frontera***Figura 36***VISTA 3D-FRONTAL – INGRESO PRINCIPAL**Nota. Elaboración Consorcio Frontera*

**Figura 37***VISTA 3D- LATERAL IZQUIERDO**Nota. Elaboración Consorcio Frontera***Figura 38***VISTA 3D- POSTERIOR**Nota. Elaboración Consorcio Frontera*

### Corrección por cortante basal

#### Cortante dinámico CQC

El cortante basal dinámico (Vd) en cada dirección y para cada hipótesis sísmica se determina aplicando el método de combinación cuadrática completa (CQC), el cual permite integrar los efectos de los diferentes modos de vibración, sumando los cortantes en la base generados por cada modo de análisis modal.

**Tabla 38**

*Vd,X: Cortante basal dinámico en dirección X, por hipótesis sísmica*

Hipótesis sísmica (X)	Hipótesis modal	VX (t)	Vd,X (t)
Sismo X1	Modo 1	118.8030	119.1547
	Modo 2	0.0121	
	Modo 3	0.1357	
	Modo 4	8.5082	
	Modo 5	0.0070	

*Nota.* Datos recopilados en obra

**Interpretación:** La tabla 38 presenta los resultados de un análisis modal bajo la hipótesis sísmica X1. Aquí se muestra cómo interpretar los datos:

- **Hipótesis sísmica (X):** Indica el tipo de sismo considerado en el análisis, en este caso, "Sismo X1".
- **Hipótesis modal:** Se refiere a los diferentes modos de vibración de la estructura. Los modos se numeran del 1 al 5.
- **VX (t):** Representa el valor en toneladas del esfuerzo o respuesta modal en la dirección X para cada modo de vibración.
- **V0X (t):** Representa el valor acumulado en toneladas de la respuesta modal en la dirección X hasta el modo considerado.
- **Modo 1:** Para el primer modo de vibración, el valor VX es 118.8030 toneladas, y el valor acumulado V0X es 118.1647 toneladas.

- **Modo 2:** El segundo modo tiene un valor VX de 0.0121 toneladas y un VOX acumulado de 0.0121 toneladas.
- **Modo 3:** El tercer modo muestra un VX de 0.1357 toneladas y un VOX de 0.1357 toneladas.
- **Modo 4:** En el cuarto modo, VX es 8.5082 toneladas y VOX es 8.5082 toneladas.
- **Modo 5:** El quinto modo tiene un VX de 0.0070 toneladas y un VOX de 0.0070 toneladas.

### **Análisis**

- **Modo 1** domina la respuesta modal de la estructura bajo la hipótesis sísmica X1, con valores significativamente mayores que los otros modos.
- **Modos 2, 3, 4 y 5** tienen contribuciones mucho menores comparadas con el Modo 1. Esto sugiere que la mayor parte de la respuesta estructural está gobernada por el primer modo de vibración.
- **Valores acumulados (VOX)** reflejan la suma de los efectos modales hasta el modo considerado. Esto es útil para entender cómo se distribuye la energía sísmica en la estructura a través de los diferentes modos de vibración.

### **Conclusión:**

- La tabla sugiere que el primer modo es crucial en el diseño sísmico de la estructura, y los diseñadores deben enfocarse en la respuesta del primer modo para asegurar la estabilidad y resistencia de la estructura.
- Los modos superiores (2 a 5) tienen una influencia menor, pero aun así son importantes para un análisis detallado y completo de la respuesta sísmica.

**Tabla 39**

*V<sub>d,Y</sub>: Cortante basal dinámico en dirección Y, por hipótesis sísmica*

Hipótesis sísmica (Y)	Hipótesis modal	V <sub>Y</sub> (t)	V <sub>d,Y</sub> (t)
Sismo Y1	Modo 1	0.0145	97.5936
	Modo 2	93.4894	
	Modo 3	24.6498	
	Modo 4	0.0000	
	Modo 5	6.9029	

*Nota.* Datos recopilados en obra

**Interpretación:** La tabla 39 presenta los resultados de un análisis modal bajo la hipótesis sísmica Y1. Aquí se muestra cómo interpretar los datos:

- **Hipótesis sísmica (Y):** Indica el tipo de sismo considerado en el análisis, en este caso, "Sismo Y1".
- **Hipótesis modal:** Se refiere a los diferentes modos de vibración de la estructura. Los modos se numeran del 1 al 5.
- **V<sub>Y</sub> (t):** Representa el valor en toneladas del esfuerzo o respuesta modal en la dirección Y para cada modo de vibración.
- **V<sub>d Y</sub> (t):** Representa el valor acumulado en toneladas de la respuesta modal en la dirección Y hasta el modo considerado.
- **Modo 1:** Para el primer modo de vibración, el valor V<sub>Y</sub> es 0.0145 toneladas, y el valor acumulado V<sub>d Y</sub> es 0.0145 toneladas.
- **Modo 2:** El segundo modo tiene un valor V<sub>Y</sub> de 93.4894 toneladas y un V<sub>d Y</sub> acumulado de 93.4894 toneladas.
- **Modo 3:** El tercer modo muestra un V<sub>Y</sub> de 24.6498 toneladas y un V<sub>d Y</sub> de 24.6498 toneladas.
- **Modo 4:** En el cuarto modo, V<sub>Y</sub> es 0.0000 toneladas y V<sub>d Y</sub> es 0.0000 toneladas.
- **Modo 5:** El quinto modo tiene un V<sub>Y</sub> de 6.9029 toneladas y un

Vd Y de 6.9029 toneladas.

### **Análisis**

- **Modo 2** domina la respuesta modal de la estructura bajo la hipótesis sísmica Y1, con valores significativamente mayores que los otros modos.
- **Modos 1, 3 y 5** tienen contribuciones menores comparadas con el Modo 2.  
Esto sugiere que la mayor parte de la respuesta estructural está gobernada por el segundo modo de vibración.
- **Modo 4** no contribuye a la respuesta modal en este análisis específico.
- **Valores acumulados (Vd Y)** reflejan la suma de los efectos modales hasta el modo considerado. Esto es útil para entender cómo se distribuye la energía sísmica en la estructura a través de los diferentes modos de vibración.

### **Conclusión:**

- La tabla sugiere que el segundo modo es crucial en el diseño sísmico de la estructura, y los diseñadores deben enfocarse en la respuesta del segundo modo para asegurar la estabilidad y resistencia de la estructura.
- Los modos superiores (1, 3 y 5) tienen una influencia menor, pero aun así son importantes para un análisis detallado y completo de la respuesta sísmica.

**Tabla 40***Cortante basal estático*

Planta	$p_i$ (t)
Sexto nivel	173.8887
Quinto nivel	198.4478
Cuarto nivel	208.2363
Tercer nivel	208.2363
Segundo nivel	208.2363
<b>P= <math>p_i</math></b>	<b>997.0455</b>

*Nota.* Datos recopilados  
en obra

**Interpretación:** La tabla presenta 40 los valores de  $p_i$  (en toneladas, t) para diferentes plantas (niveles) de una estructura.

- **Planta:** Indica los diferentes niveles de la estructura, desde el "Sexto nivel" hasta el "Segundo nivel".
- **$p_i$  (t):** Representa un valor específico (probablemente de carga, peso, o esfuerzo) en toneladas para cada nivel de la estructura.
- **Sexto nivel:** Tiene un valor de  $p_i$  de 173.8887 toneladas.
- **Quinto nivel:** Tiene un valor de  $p_i$  de 198.4478 toneladas.
- **Cuarto nivel:** Tiene un valor de  $p_i$  de 208.2363 toneladas.
- **Tercer nivel:** Tiene un valor de  $p_i$  de 208.2363 toneladas.
- **Segundo nivel:** Tiene un valor de  $p_i$  de 208.2363 toneladas.

**Suma total (P):**

- La última fila muestra la suma total de todos los  $p_i$  de los niveles indicados.

La suma total es  $P=997.0455$  toneladas.

**Análisis :**

- La tabla indica los valores de  $p_i$  para cada nivel, que pueden representar cargas distribuidas, pesos, o esfuerzos a los que cada planta está sometida.
- Los valores de  $p_i$  son más bajos en el "Sexto nivel" y aumentan hasta el "Segundo nivel", con valores iguales para los niveles desde el "Cuarto" hasta el "Segundo".
- La suma total ( $P$ ) representa la acumulación de estos valores a través de los niveles especificados.

**Conclusión:**

- Los datos sugieren que la distribución de cargas, pesos o esfuerzos varía entre los niveles, con una carga total significativa en la estructura.
- Estos valores son cruciales para el diseño estructural, ya que ayudan a determinar la capacidad de carga y la resistencia de la estructura en cada nivel.
- La igualdad de valores  $p_i$  en los niveles "Cuarto", "Tercer" y "Segundo" podría indicar una uniformidad en la distribución de cargas en esos niveles específicos.

## Verificación de la condición de cortante basal

Cuando el cortante basal dinámico total ( $V_d$ ) obtenido tras la combinación modal es menor al 80 % del cortante basal sísmico estático ( $V_s$ ) en alguna dirección de análisis, todos los parámetros de respuesta dinámica (como desplazamientos, derivas, fuerzas internas, etc.) deben ser ajustados mediante un factor de modificación. Este factor se calcula como:  $\text{Factor de modificación} = (0.80 \cdot V_s) / V_d$ .

Este procedimiento garantiza que la respuesta dinámica no subestime la demanda sísmica establecida por el análisis estático, proporcionando una estimación más conservadora y segura del comportamiento estructural.

**Tabla 41**

*Hipótesis sísmica*

Hipótesis sísmica	Condición de cortante basal mínimo			Factor de modificación
Sismo X1	$V_{d,X1}$	$0.80 \cdot V_{s,X}$	119.1547 t 97.2119 t	N.P.
Sismo Y1	$V_{d,Y1}$	$0.80 \cdot V_{s,Y}$	97.5936 t 97.2119 t	N.P.

*Nota.* Datos recopilados en obra

**Interpretación:** La tabla muestra las condiciones de cortante basal mínimo y los factores de modificación para diferentes hipótesis sísmicas. Aquí se detalla la interpretación de los datos:

- **Hipótesis sísmica:** Indica el tipo de sismo considerado en el análisis, en este caso, "Sismo X1" y "Sismo Y1".
- **Condición de cortante basal mínimo:** Presenta la condición mínima de cortante basal que debe cumplirse para cada hipótesis sísmica.
- **Factor de modificación:** Indica si se ha aplicado algún factor de modificación a los resultados. En esta tabla, se muestra "N.P." (No

Procede) para ambos sismos.

- **Sismo X1:**
- **Condición de cortante basal mínimo:**
  - $Vd,X1 \geq 0.80 \cdot Vs,X$  y  $Vd,X1 \geq 0.80 \cdot Vs,X$  y  $\geq 119.1547t$
  - $\geq 97.2119t$
  - $\geq 97.5936t$
- **Factor de modificación: "N.P."**
- **Sismo Y1:**
- **Condición de cortante basal mínimo:**
  - $Vd,Y1 \geq 0.80 \cdot Vs,Y$  y  $Vd,Y1 \geq 0.80 \cdot Vs,Y$  y  $\geq 119.1547t$
  - $\geq 97.2119t$
- **Factor de modificación: "N.P."**

#### **Interpretación de las Condiciones de Cortante Basal Mínimo:**

- La condición  $Vd,X1 \geq 0.80 \cdot Vs,X$  y  $Vd,X1 \geq 0.80 \cdot Vs,X$  para el "Sismo X1" significa que la demanda de cortante basal  $Vd$  en la dirección X debe ser al menos el 80% del cortante basal de diseño  $Vs$  en la dirección X.
- Los valores específicos de cortante basal mínimo para el "Sismo X1" son 119.1547 toneladas, 97.2119 toneladas, y 97.5936 toneladas.
- De manera similar, para el "Sismo Y1", la demanda de cortante basal  $Vd$  en la dirección Y debe ser al menos el 80% del cortante basal de diseño  $Vs$  en la dirección Y, con valores específicos de 119.1547 toneladas y 97.2119 toneladas.

#### **Factor de Modificación:**

- La tabla indica "N.P." (No Procede) en la columna del factor de modificación para ambas hipótesis sísmicas, lo que significa que no se han aplicado factores de modificación adicionales a los resultados presentados.

### **Análisis**

- La tabla es útil para verificar si las demandas de cortante basal en una estructura cumplen con las condiciones mínimas requeridas bajo diferentes escenarios sísmicos.
- La ausencia de factores de modificación ("N.P.") sugiere que los valores presentados son los resultados directos del análisis sin ajustes adicionales.

### **Cortante sísmico combinado por planta**

En ese contexto, se establece que el cortante máximo por planta, correspondiente a una hipótesis sísmica específica, se determina mediante la Combinación Cuadrática Completa (CQC) de los cortantes modales, lo cual permite una integración adecuada de la respuesta estructural considerando la contribución de los distintos modos de vibración.

Asimismo, se indica que en estructuras que incluyen vigas con vinculación exterior o sistemas tridimensionales integrados, los esfuerzos generados en estos elementos no se reflejan en el listado que acompaña esta información, por lo que se deben considerar en análisis complementarios si resultan estructuralmente relevantes.

Por otro lado, se advierte que los valores de cortante sísmico combinado y fuerza sísmica equivalente por planta, presentados en las tablas siguientes, aún no han sido ajustados con el factor de modificación derivado del análisis de cortante

basal dinámico versus estático. Este ajuste debe aplicarse posteriormente, conforme a lo establecido en el apartado de “Corrección por cortante basal”, para garantizar que la respuesta dinámica cumpla con los requisitos mínimos normativos.

**Tabla 42**

*Hipótesis sísmica: Sismo XI*

<b>Planta</b>	<b>QX (t)</b>	<b>F<sub>eq,X</sub> (t)</b>	<b>QY (t)</b>	<b>F<sub>eq,Y</sub> (t)</b>
Sexto nivel	25.4216	25.4216	1.9101	1.9101
Quinto nivel	50.6604	25.3514	3.6747	1.7658
Cuarto nivel	75.3006	25.4604	4.9748	1.3137
Tercer nivel	87.3463	12.1643	5.7502	0.8178
Segundo nivel	119.1547	36.7843	5.6153	0.7619
Primer nivel	119.1547	0.0000	5.6153	0.0000
Sótano 1	119.1547	0.0000	5.6153	0.0000
Sótano 2	119.1547	0.0000	5.6153	0.0000

*Nota.* Datos recopilados en obra

**Interpretación:** La tabla 42 presenta datos relacionados con diferentes plantas (niveles) de una estructura, y los puntos se dividen en cuatro columnas principales: QX, F<sub>eq,X</sub>, QY y F<sub>eq,Y</sub>. Aquí se muestra cómo interpretar los datos:

- **Planta:** Indica los diferentes niveles de la estructura, desde el "Sexto nivel" hasta "Sótano 2".
- **QX (t):** Representa la carga horizontal en la dirección X en toneladas.
- **F<sub>eq,X</sub> (t):** Representa la fuerza equivalente en la dirección X en toneladas.
- **QY (t):** Representa la carga horizontal en la dirección Y en toneladas.
- **F<sub>eq,Y</sub> (t):** Representa la fuerza equivalente en la dirección Y en toneladas.

**Sexto nivel:**

- **QX (t):** 25.4216 toneladas.
  - **F<sub>eq,X</sub> (t):** 25.4216 toneladas.
  - **QY (t):** 1.9101 toneladas.

- $F_{eq,Y}(t)$ : 1.9101 toneladas.
- Quinto nivel:**

- $QX(t)$ : 50.6604 toneladas.
- $F_{eq,X}(t)$ : 25.3514 toneladas.
- $QY(t)$ : 3.6747 toneladas.
- $F_{eq,Y}(t)$ : 1.7658 toneladas.

**Cuarto nivel:**

- $QX(t)$ : 75.3006 toneladas.
- $F_{eq,X}(t)$ : 25.4604 toneladas.
- $QY(t)$ : 4.9748 toneladas.
- $F_{eq,Y}(t)$ : 1.3137 toneladas.

**Tercer nivel:**

$QX(t)$ : 87.3463 toneladas.

- $F_{eq,X}(t)$ : 12.1643 toneladas.
- $QY(t)$ : 5.7502 toneladas.
- $F_{eq,Y}(t)$ : 0.8178 toneladas.

**Segundo nivel:**

- $QX(t)$ : 119.1547 toneladas.
- $F_{eq,X}(t)$ : 36.7843 toneladas.
- $QY(t)$ : 5.6153 toneladas.
- $F_{eq,Y}(t)$ : 0.7619 toneladas.

**Primer nivel:**

- $QX(t)$ : 119.1547 toneladas.
- $F_{eq,X}(t)$ : 0.0000 toneladas.
- $QY(t)$ : 5.6153 toneladas.
- $F_{eq,Y}(t)$ : 0.0000 toneladas.

**Sótano 1:**

- **QX (t):** 119.1547 toneladas.
- **F\_eq,X (t):** 0.0000 toneladas.
- **QY (t):** 5.6153 toneladas.
- **F\_eq,Y (t):** 0.0000 toneladas.

**Sótano 2:**

- **QX (t):** 119.1547 toneladas.
- **F\_eq,X (t):** 0.0000 toneladas.
- **QY (t):** 5.6153 toneladas.
- **F\_eq,Y (t):** 0.0000 toneladas.

**Análisis:**

**QX (t) y F\_eq,X (t):** Estos valores muestran la carga horizontal y la fuerza equivalente en la dirección X, respectivamente. Por ejemplo, en el "Sexto nivel", tanto la carga como la fuerza equivalente son 25.4216 toneladas.

- **QY (t) y F\_eq,Y (t):** Estos valores muestran la carga horizontal y la fuerza equivalente en la dirección Y, respectivamente. Por ejemplo, en el "Sexto nivel", tanto la carga como la fuerza equivalente son 1.9101 toneladas.
- Los valores de **QX** y **QY** aumentan en los niveles superiores, alcanzando un máximo de 119.1547 toneladas en los niveles inferiores (Primer nivel, Sótano 1, y Sótano 2).
- Los valores de **F\_eq,X** y **F\_eq,Y** varían más y no siempre corresponden directamente con los valores de **QX** y **QY**.

**Conclusión:**

- La tabla sugiere que las cargas horizontales **QX** y **QY** aumentan

hacia los niveles inferiores de la estructura.

- La fuerza equivalente  $F_{eq,X}$  es cero en los niveles inferiores, pero tiene valores significativos en los niveles superiores, lo cual indica que los esfuerzos y las fuerzas distribuidas varían a lo largo de la estructura.
- La fuerza equivalente  $F_{eq,Y}$  es significativamente menor en todos los niveles, indicando que la estructura está más cargada en la dirección X que en la dirección Y.

**Tabla 43**

*Hipótesis sísmica: Sismo YI*

Planta	QX (t)	Feq,X (t)	QY (t)	Feq,Y (t)
Sexto nivel	0.4241	0.4241	22.0461	22.0461
Quinto nivel	0.7708	0.3683	43.8030	21.8386
Cuarto nivel	1.1537	0.4558	63.5769	20.2810
Tercer nivel	1.2933	0.1818	76.3609	13.2623
Segundo nivel	2.0133	0.9008	97.5936	25.2803
Primer nivel	2.0133	0.0000	97.5936	0.0000
Sótano 1	2.0133	0.0000	97.5936	0.0000
Sótano 2	2.0133	0.0000	97.5936	0.0000

*Nota.* Datos recopilados en obra

**Interpretación :** La tabla 43 presenta datos relacionados con diferentes plantas (niveles) de una estructura, y los puntos se dividen en cuatro columnas principales: QX,  $F_{eq,X}$ , QY y  $F_{eq,Y}$ . Aquí se muestra cómo interpretar los datos:

- **Planta:** Indica los diferentes niveles de la estructura, desde el "Sexto nivel" hasta "Sótano 2".
- **QX (t):** Representa la carga horizontal en la dirección X en toneladas.
- **$F_{eq,X}$  (t):** Representa la fuerza equivalente en la dirección X en toneladas.
- **QY (t):** Representa la carga horizontal en la dirección Y en toneladas.
- **$F_{eq,Y}$  (t):** Representa la fuerza equivalente en la dirección Y en

toneladas.

**Sexto nivel:**

- **QX (t):** 0.4241 toneladas.
- **F<sub>eq,X</sub> (t):** 0.4241 toneladas.
- **QY (t):** 22.0461 toneladas.
- **F<sub>eq,Y</sub> (t):** 22.0461 toneladas.

**Quinto nivel:**

- **QX (t):** 0.7708 toneladas.
- **F<sub>eq,X</sub> (t):** 0.3683 toneladas.
- **QY (t):** 43.8030 toneladas.
- **F<sub>eq,Y</sub> (t):** 21.8386 toneladas.

**Cuarto nivel:**

- **QX (t):** 1.1537 toneladas
- **QY (t):** 63.5769 toneladas.
- **F<sub>eq,Y</sub> (t):** 20.2810 toneladas.

**Tercer nivel:**

- **QX (t):** 1.2933 toneladas.
- **F<sub>eq,X</sub> (t):** 0.1818 toneladas.
- **QY (t):** 76.3609 toneladas.
- **F<sub>eq,Y</sub> (t):** 13.2623 toneladas.

**Segundo nivel:**

- **QX (t):** 2.0133 toneladas.
- **F<sub>eq,X</sub> (t):** 0.9008 toneladas.
- **QY (t):** 97.5936 toneladas.
- **F<sub>eq,Y</sub> (t):** 25.2803 toneladas.

**Primer nivel:**

- **QX (t):** 2.0133 toneladas.
- **F\_eq,X (t):** 0.0000 toneladas.
- **QY (t):** 97.5936 toneladas.
- **F\_eq,Y (t):** 0.0000 toneladas.

**Sótano 1:**

- **QX (t):** 2.0133 toneladas.
- **F\_eq,X (t):** 0.0000 toneladas.
- **QY (t):** 97.5936 toneladas.
- **F\_eq,Y (t):** 0.0000 toneladas.

**Sótano 2:**

- **QX (t):** 2.0133 toneladas.
- **QY (t):** 97.5936 toneladas.
- **F\_eq,Y (t):** 0.0000 toneladas.

**Análisis:**

- **QX (t) y F\_eq,X (t):** Estos valores muestran la carga horizontal y la fuerza equivalente en la dirección X, respectivamente. Por ejemplo, en el "Sexto nivel", tanto la carga como la fuerza equivalente son 0.4241 toneladas.
- **QY (t) y F\_eq,Y (t):** Estos valores muestran la carga horizontal y la fuerza equivalente en la dirección Y, respectivamente. Por ejemplo, en el "Sexto nivel", tanto la carga como la fuerza equivalente son 22.0461 toneladas.
- Los valores de **QX** aumentan a medida que se desciende en los niveles, alcanzando un máximo de 2.0133 toneladas en los niveles

inferiores (Segundo nivel, Primer nivel, Sótano 1 y Sótano 2).

- Los valores de  $F_{eq,X}$  son menores que los de  $QX$  y varían en cada nivel, indicando que las fuerzas equivalentes en X no siempre corresponden directamente con las cargas en X.
- Los valores de  $QY$  son mayores que los de  $QX$ , con un máximo de 97.5936 toneladas en los niveles inferiores.
- Los valores de  $F_{eq,Y}$  son generalmente menores que los de  $QY$ , y en algunos niveles (Primer nivel, Sótano 1, Sótano 2) son cero, indicando que no hay fuerza equivalente en la dirección Y en esos niveles.

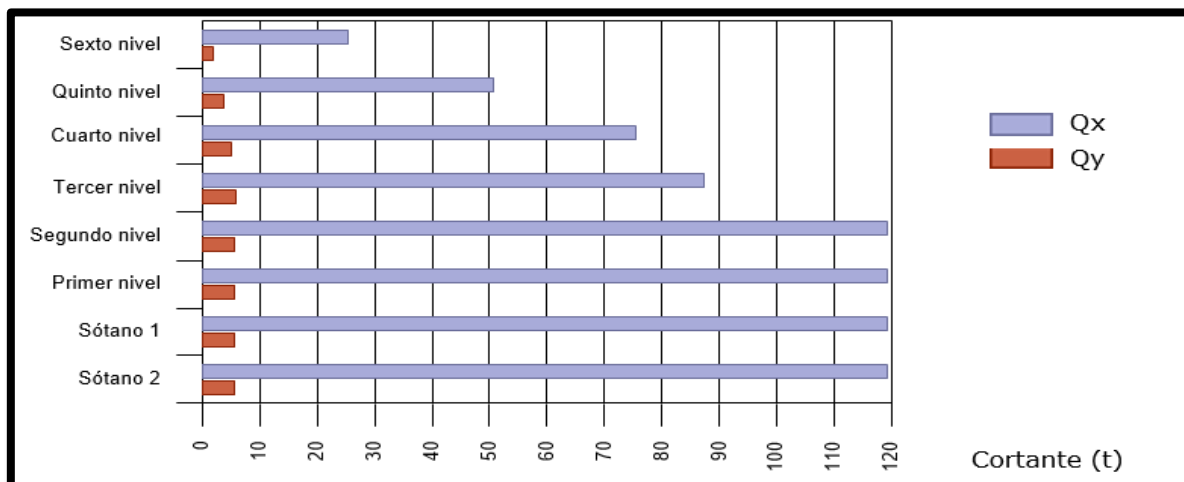
#### **Conclusión:**

- La tabla sugiere que las cargas horizontales  $QX$  y  $QY$  aumentan hacia los niveles inferiores de la estructura.
- Las fuerzas equivalentes  $F_{eq,X}$  y  $F_{eq,Y}$  varían en cada nivel y no siempre corresponden directamente con las cargas en X y Y, indicando una distribución compleja de esfuerzos en la estructura.
- La presencia de valores cero en las fuerzas equivalentes en algunos niveles sugiere que no se han considerado fuerzas equivalentes en esos niveles específicos.

## Cortantes sísmicos máximos por planta

**Figura 39**

*Hipótesis sísmica: Sismo XI*



*Nota.* Elaboración propia

**Interpretación:** El siguiente gráfico de barras horizontales que representa los esfuerzos cortantes (t) en dos direcciones (Qx y Qy) para diferentes niveles de una estructura durante un evento sísmico identificado como "Sismo XI".

### Interpretación detallada:

#### Ejes y Niveles:

- El eje vertical enumera los diferentes niveles de la estructura, desde "Sótano 2" hasta "Sexto nivel".
- El eje horizontal muestra los esfuerzos cortantes en toneladas (t).
- **Colores y Variables:**
  - Las barras en color azul representan los esfuerzos cortantes en la dirección X (Qx).
  - Las barras en color rojo representan los esfuerzos cortantes en la dirección Y (Qy).

**Observaciones:****Distribución de Esfuerzos Cortantes ( $Q_x$ ):**

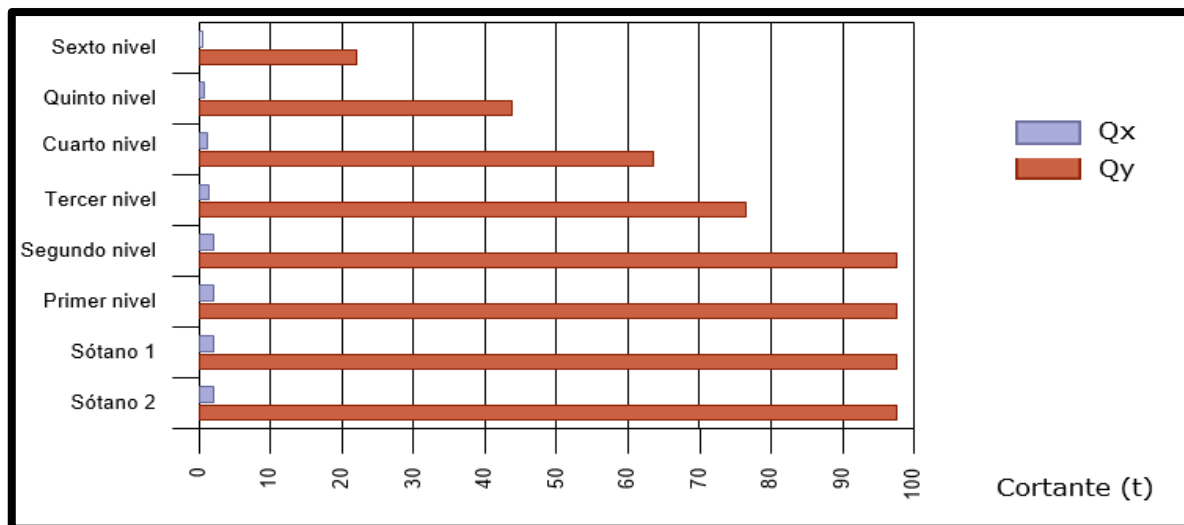
- Los niveles inferiores (Sótano 1 y Sótano 2) presentan bajos valores de  $Q_x$ , incrementándose progresivamente en niveles superiores.
- El mayor valor de  $Q_x$  se observa en el Segundo nivel y el Tercer nivel, con aproximadamente 100 t.
- A partir del Tercer nivel, los valores de  $Q_x$  disminuyen gradualmente hasta el Sexto nivel, donde es mínimo.

**Distribución de Esfuerzos Cortantes ( $Q_y$ ):**

- Los esfuerzos cortantes en la dirección Y ( $Q_y$ ) son significativamente menores en comparación con  $Q_x$ .
- Los valores de  $Q_y$  son relativamente constantes a lo largo de todos los niveles, siendo siempre inferiores a 10 t.

**Conclusiones:**

- La estructura experimenta mayores esfuerzos cortantes en la dirección X ( $Q_x$ ) comparado con la dirección Y ( $Q_y$ ).
- Los niveles intermedios (Segundo y Tercer nivel) soportan la mayor carga cortante en la dirección X.
- Los sótanos tienen cargas cortantes bajas en ambas direcciones, posiblemente debido a la influencia del suelo circundante.

**Figura 40***Hipótesis sísmica: Sismo Y1**Nota.* Elaboración propia

**Interpretación:** La figura 40 presenta un diagrama de barras horizontales que representa los esfuerzos cortantes (en toneladas) en dos direcciones (Qx y Qy) para diferentes niveles de una estructura durante un evento sísmico identificado como "Sismo Y1".

Interpretación detallada:

**Ejes y Niveles:**

- El eje vertical enumera los diferentes niveles de la estructura, desde "Sótano 2" hasta "Sexto nivel".
- El eje horizontal muestra los esfuerzos cortantes en toneladas (t).

**Colores y Variables:**

- Las barras en color azul representan los esfuerzos cortantes en la dirección X (Qx).
- Las barras en color rojo representan los esfuerzos cortantes en la dirección Y (Qy).

- **Observaciones:**

**Distribución de Esfuerzos Cortantes ( $Q_x$ ):**

- Los valores de  $Q_x$  son relativamente bajos en todos los niveles, alcanzando un máximo de aproximadamente 10 t en el Cuarto y Quinto nivel.

**Distribución de Esfuerzos Cortantes ( $Q_y$ ):**

- Los esfuerzos cortantes en la dirección Y ( $Q_y$ ) son significativamente mayores en comparación con  $Q_x$ .
- Todos los niveles, desde "Sótano 2" hasta el "Segundo nivel", presentan esfuerzos cortantes en  $Q_y$  cercanos a 100 t.
- A partir del Tercer nivel, los valores de  $Q_y$  disminuyen gradualmente hasta el Sexto nivel, donde el valor de  $Q_y$  es aproximadamente 20 t.

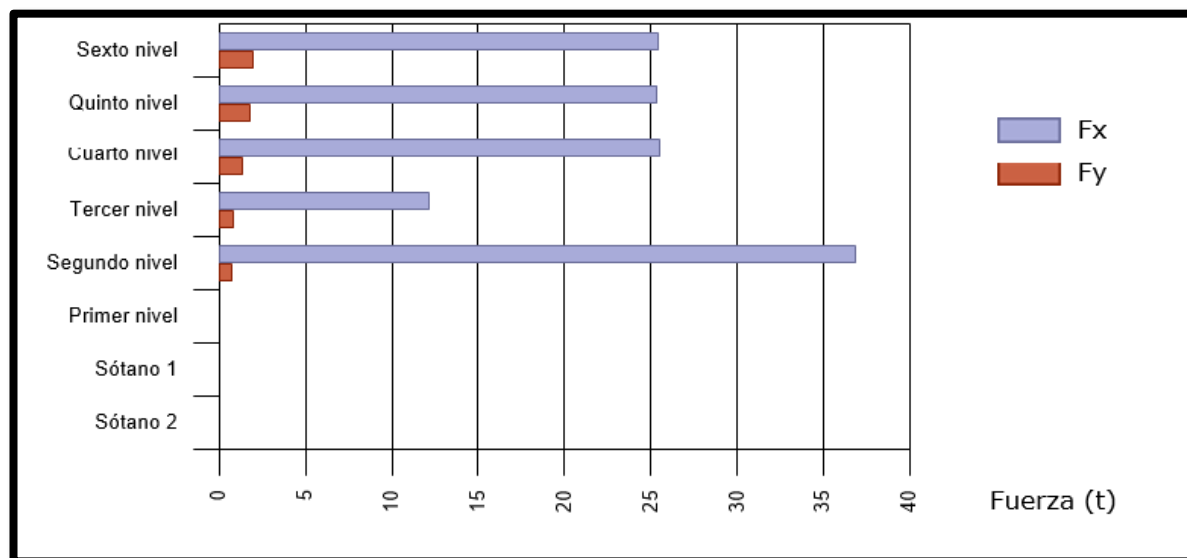
**Conclusiones:**

- La estructura experimenta mayores esfuerzos cortantes en la dirección Y ( $Q_y$ ) comparado con la dirección X ( $Q_x$ ).
- Los niveles inferiores (hasta el Segundo nivel) soportan la mayor carga cortante en la dirección Y.
- Los niveles superiores muestran una reducción en los esfuerzos cortantes en la dirección Y, mientras que los esfuerzos en la dirección X permanecen bajos a lo largo de todos los niveles.

## Fuerzas sísmicas equivalentes por planta

**Figura 41**

*Hipótesis sísmica: Sismo X1*



*Nota.* Elaboración propia

**Interpretación:** La figura presenta un diagrama de barras horizontales que representa las fuerzas sísmicas equivalentes (en toneladas) en dos direcciones (Fx y Fy) para diferentes niveles de una estructura durante un evento sísmico identificado como "Sismo X1".

**Interpretación detallada: Ejes y Niveles:**

- El eje vertical enumera los diferentes niveles de la estructura, desde "Sótano 2" hasta "Sexto nivel".
- El eje horizontal muestra las fuerzas sísmicas equivalentes en toneladas (t).

**Colores y Variables:**

- Las barras en color azul representan las fuerzas sísmicas en la dirección X (Fx).
  - Las barras en color rojo representan las fuerzas sísmicas en la dirección Y (Fy).

- **Observaciones:**

### 1. Distribución de Fuerzas Sísmicas (F<sub>x</sub>):

- Los valores de F<sub>x</sub> son mayores en los niveles superiores, con un valor máximo de aproximadamente 40 t en el Segundo nivel.
- A partir del Segundo nivel, los valores de F<sub>x</sub> disminuyen progresivamente hasta el Sexto nivel, donde son menores.

### 2. Distribución de Fuerzas Sísmicas (F<sub>y</sub>):

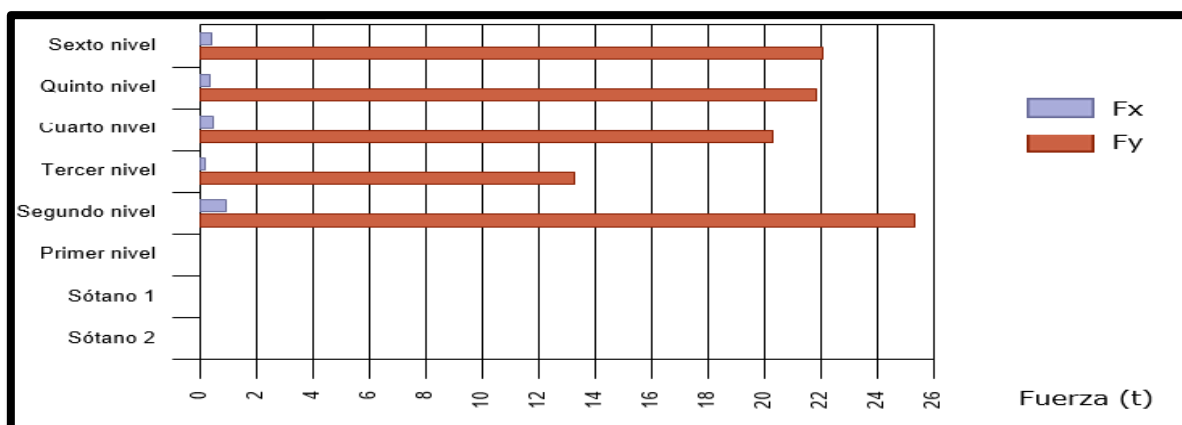
- Las fuerzas sísmicas en la dirección Y (F<sub>y</sub>) son considerablemente menores en comparación con F<sub>x</sub>.
- Todos los niveles presentan fuerzas sísmicas en F<sub>y</sub> por debajo de 5 t.

### Conclusiones:

- La estructura experimenta mayores fuerzas sísmicas en la dirección X (F<sub>x</sub>) comparado con la dirección Y (F<sub>y</sub>).
- El Segundo nivel soporta la mayor carga sísmica en la dirección X.
- Las fuerzas sísmicas en la dirección Y son constantes y bajas en todos los niveles, indicando una menor influencia en esta dirección.

**Figura 42**

*Hipótesis sísmica: Sismo YI*



*Nota.* Elaboración propia

**Interpretación:** La figura 42 presenta un diagrama de barras horizontales que muestra las fuerzas sísmicas equivalentes (en toneladas) en dos direcciones ( $F_x$  y  $F_y$ ) para diferentes niveles de una estructura durante un evento sísmico identificado como "Sismo Y1".

- **Interpretación detallada:**
- **Ejes y Niveles:**
- El eje vertical enumera los diferentes niveles de la estructura, desde "Sótano 2" hasta "Sexto nivel".
- El eje horizontal muestra las fuerzas sísmicas equivalentes en toneladas (t).
- **Colores y Variables:**
- Las barras en color azul representan las fuerzas sísmicas en la dirección X ( $F_x$ ).
- Las barras en color rojo representan las fuerzas sísmicas en la dirección Y ( $F_y$ ).
- **Observaciones:**

**Distribución de Fuerzas Sísmicas ( $F_x$ ):**

Los valores de  $F_x$  son bajos en todos los niveles, con un valor máximo de aproximadamente 2 t en el Primer nivel.

- **Distribución de Fuerzas Sísmicas ( $F_y$ ):**
- Las fuerzas sísmicas en la dirección Y ( $F_y$ ) son considerablemente mayores en comparación con  $F_x$ .
- Los niveles superiores (Primer nivel, Segundo nivel, Cuarto nivel y Sexto nivel) presentan fuerzas sísmicas en  $F_y$  cercanas a 24 t.
- El Tercer nivel muestra una fuerza sísmica en  $F_y$  de aproximadamente 12 t.

- **Conclusiones:**
- La estructura experimenta mayores fuerzas sísmicas en la dirección Y ( $F_y$ ) comparado con la dirección X ( $F_x$ ).
- Los niveles superiores soportan la mayor carga sísmica en la dirección Y.
- Las fuerzas sísmicas en la dirección X son constantes y bajas en todos los niveles, indicando una menor influencia en esta dirección.
- **Porcentaje de cortante sísmico resistido por tipo de soporte y por planta**

El porcentaje de cortante sísmico de la columna 'Muros' incluye el cortante resistido por muros, pantallas y elementos de arriostramiento.

**Tabla 44**

*Hipótesis sísmica: Sismo X1*

Planta	%QX		%QY	
	Pilares	Muros	Pilares	Muros
Sexto nivel	100.00	0.00	100.00	0.00
Quinto nivel	100.00	0.00	100.00	0.00
Cuarto nivel	100.00	0.00	100.00	0.00
Tercer nivel	100.00	0.00	100.00	0.00
Segundo nivel	100.00	0.00	100.00	0.00
Primer nivel	97.06	2.94	18.80	81.20
Sótano 1	97.58	2.42	43.25	56.75
Sótano 2	94.48	5.52	49.21	50.79

*Nota.* Datos recopilados en obra

**Interpretación:** La tabla 44 presenta los porcentajes de fuerzas sísmicas en las direcciones X (QX) e Y (QY) distribuidas entre pilares y muros para diferentes niveles de una estructura durante un evento sísmico identificado como "Sismo X1".

- **Interpretación detallada:**

1. **Columnas y Variables:**

- **Planta:** Niveles de la estructura desde "Sótano 2" hasta "Sexto nivel".
- **%QX Pilares:** Porcentaje de la fuerza sísmica en la dirección X soportada por los pilares.

- **%QX Muros:** Porcentaje de la fuerza sísmica en la dirección X soportada por los muros.
- **%QY Pilares:** Porcentaje de la fuerza sísmica en la dirección Y soportada por los pilares.
- **%QY Muros:** Porcentaje de la fuerza sísmica en la dirección Y soportada por los muros.
- **Distribución de %QX:**
  - En los niveles desde el Segundo nivel hasta el Sexto nivel, el 100% de la fuerza sísmica en la dirección X es soportada por los pilares, y 0% por los muros.
  - En el Primer nivel, el 97.06% de la fuerza sísmica en la dirección X es soportada por los pilares y 2.94% por los muros.
  - En el Sótano 1, el 97.58% de la fuerza sísmica en la dirección X es soportada por los pilares y 2.42% por los muros.
  - En el Sótano 2, el 94.48% de la fuerza sísmica en la dirección X es soportada por los pilares y 5.52% por los muros.
- **Distribución de %QY:**
  - En los niveles desde el Segundo nivel hasta el Sexto nivel, el 100% de la fuerza sísmica en la dirección Y es soportada por los pilares, y 0% por los muros.
  - En el Primer nivel, el 18.80% de la fuerza sísmica en la dirección Y es soportada por los pilares y 81.20% por los muros.
  - En el Sótano 1, el 43.25% de la fuerza sísmica en la dirección Y es soportada por los pilares y 56.75% por los muros.
  - En el Sótano 2, el 49.21% de la fuerza sísmica en la dirección Y es

soportada por los pilares y 50.79% por los muros.

- **Conclusiones:**

- Los niveles superiores (desde el Segundo nivel hasta el Sexto nivel) dependen completamente de los pilares para resistir las fuerzas sísmicas en ambas direcciones (QX y QY).
- En el Primer nivel, los muros juegan un papel significativo en la resistencia a las fuerzas sísmicas en la dirección Y (81.20%).
- En los sótanos, hay una distribución más equilibrada entre pilares y muros para soportar las fuerzas sísmicas en ambas direcciones.

**Tabla 45**

*Hipótesis sísmica: Sismo Y1*

Planta	%QX		%QY	
	Pilares	Muros	Pilares	Muros
Sexto nivel	100.00	0.00	100.00	0.00
Quinto nivel	100.00	0.00	100.00	0.00
Cuarto nivel	100.00	0.00	100.00	0.00
Tercer nivel	100.00	0.00	100.00	0.00
Segundo nivel	100.00	0.00	100.00	0.00
Primer nivel	89.31	10.69	70.46	29.54
Sótano 1	79.91	20.09	69.72	30.28
Sótano 2	74.90	25.10	76.12	23.88

*Nota.* Datos recopilados en obra **Interpretación:** La tabla 45 presenta los porcentajes de fuerzas sísmicas en las direcciones X (QX) e Y (QY) distribuidas entre pilares y muros para diferentes niveles de una estructura durante un evento sísmico identificado como "Sismo Y1".

**Interpretación detallada:**

**Columnas y Variables:**

- **Planta:** Niveles de la estructura desde "Sótano 2" hasta "Sexto nivel".
- **%QX Pilares:** Porcentaje de la fuerza sísmica en la dirección X soportada por los pilares.

- **%QX Muros:** Porcentaje de la fuerza sísmica en la dirección X soportada por los muros.
- **%QY Pilares:** Porcentaje de la fuerza sísmica en la dirección Y soportada por los pilares.
- **%QY Muros:** Porcentaje de la fuerza sísmica en la dirección Y soportada por los muros.

**Distribución de %QX:**

- En los niveles desde el Segundo nivel hasta el Sexto nivel, el 100% de la fuerza sísmica en la dirección X es soportada por los pilares, y 0% por los muros.
- En el Primer nivel, el 89.31% de la fuerza sísmica en la dirección X es soportada por los pilares y 10.69% por los muros.
- En el Sótano 1, el 79.91% de la fuerza sísmica en la dirección X es soportada por los pilares y 20.09% por los muros.
- En el Sótano 2, el 74.90% de la fuerza sísmica en la dirección X es soportada por los pilares y 25.10% por los muros.

**Distribución de %QY:** En los niveles desde el Segundo nivel hasta el Sexto nivel, el 100% de la fuerza sísmica en la dirección Y es soportada por los pilares, y 0% por los muros.

- En el Primer nivel, el 70.46% de la fuerza sísmica en la dirección Y es soportada por los pilares y 29.54% por los muros.
- En el Sótano 1, el 69.72% de la fuerza sísmica en la dirección Y es soportada por los pilares y 30.28% por los muros.
- En el Sótano 2, el 76.12% de la fuerza sísmica en la dirección Y es soportada por los pilares y 23.88% por los muros.

### Conclusiones:

- Los niveles superiores (desde el Segundo nivel hasta el Sexto nivel) dependen completamente de los pilares para resistir las fuerzas sísmicas en ambas direcciones (QX y QY).
- En el Primer nivel, hay una contribución significativa de los muros en la resistencia a las fuerzas sísmicas, especialmente en la dirección Y (29.54%).
- En los sótanos, los muros contribuyen de manera más significativa a la resistencia a las fuerzas sísmicas, con una participación notable tanto en la dirección X como en la dirección Y.

### Porcentaje de cortante sísmico resistido por tipo de soporte en arranques

El porcentaje de cortante sísmico de la columna 'Muros' incluye el cortante resistido por muros, pantallas y elementos de arriostramiento.

**Tabla 46**

*Hipótesis sísmica XI*

Hipótesis sísmica	%QX		%QY	
	Pilares	Muros	Pilares	Muros
Sismo X1	94.48	5.52	49.21	50.79

*Nota.* Datos recopilados en obra **Interpretación:** La tabla 46 presenta los porcentajes de fuerzas sísmicas en las direcciones X (QX) e Y (QY) distribuidas entre pilares y muros para un nivel de una estructura durante un evento sísmico identificado como "Sismo X1".

### Interpretación detallada: Columnas y Variables:

- **%QX Pilares:** Porcentaje de la fuerza sísmica en la dirección X soportada por los pilares.
- **%QX Muros:** Porcentaje de la fuerza sísmica en la dirección X soportada por los muros.
- **%QY Pilares:** Porcentaje de la fuerza sísmica en la dirección Y soportada por los pilares.

- **%QY Muros:** Porcentaje de la fuerza sísmica en la dirección Y soportada por los muros.

**Observaciones:**

**Distribución de %QX:**

- El 94.48% de la fuerza sísmica en la dirección X es soportada por los pilares.
- El 5.52% de la fuerza sísmica en la dirección X es soportada por los muros.

**Distribución de %QY:**

- El 49.21% de la fuerza sísmica en la dirección Y es soportada por los pilares.
- El 50.79% de la fuerza sísmica en la dirección Y es soportada por los muros.

**Conclusiones:**

- La mayoría de la fuerza sísmica en la dirección X es soportada por los pilares (94.48%), con una contribución menor de los muros (5.52%).
- En la dirección Y, la distribución de las fuerzas sísmicas es casi equilibrada entre pilares (49.21%) y muros (50.79%), indicando una participación significativa de ambos elementos estructurales en la resistencia a las fuerzas sísmicas.

**Tabla 47**

*Hipótesis sísmica Y1*

Hipótesis sísmica	%QX		%QY	
	Pilares	Muros	Pilares	Muros
Sismo Y1	74.90	25.10	76.12	23.88

*Nota.* Datos recopilados en obra

**Interpretación:** La tabla 47 presenta los porcentajes de fuerzas sísmicas en las

direcciones X (QX) e Y (QY) distribuidas entre pilares y muros para un nivel de una estructura durante un evento sísmico identificado como "Sismo Y1".

#### **Interpretación detallada:**

##### **Columnas y Variables:**

- **%QX Pilares:** Porcentaje de la fuerza sísmica en la dirección X soportada por los pilares.
- **%QX Muros:** Porcentaje de la fuerza sísmica en la dirección X soportada por los muros.
- **%QY Pilares:** Porcentaje de la fuerza sísmica en la dirección Y soportada por los pilares.
- **%QY Muros:** Porcentaje de la fuerza sísmica en la dirección Y soportada por los muros.

##### **Observaciones: Distribución de %QX:**

- El 74.90% de la fuerza sísmica en la dirección X es soportada por los pilares.
- El 25.10% de la fuerza sísmica en la dirección X es soportada por los muros.

##### **Distribución de %QY:**

- El 76.12% de la fuerza sísmica en la dirección Y es soportada por los pilares.
- El 23.88% de la fuerza sísmica en la dirección Y es soportada por los muros.

##### **Conclusiones:**

- La mayoría de la fuerza sísmica en ambas direcciones (X y Y) es soportada por los pilares, con 74.90% en la dirección X y 76.12% en la dirección Y.
- Los muros también juegan un papel significativo, soportando el 25.10% de la fuerza sísmica en la dirección X y el 23.88% en la dirección Y.
- La distribución de las fuerzas sísmicas entre pilares y muros es bastante

equilibrada en ambas direcciones, aunque los pilares soportan una mayor proporción de la carga sísmica.

### Valores máximos

**Tabla 48**

*Desplome local máximo de los pilares*

Planta	Desplome local máximo de los pilares (d / h)			
	Situaciones persistentes o transitorias		Situaciones sísmicas <sup>(1)</sup>	
	Dirección X	Dirección Y	Dirección X	Dirección Y
Sexto nivel	----	----	1 / 487 (C1, ...)	1 / 514 (C6, C7)
Quinto nivel	----	----	1 / 370 (C1, ...)	1 / 426 (C3, ...)
Cuarto nivel	----	----	1 / 296 (C1, ...)	1 / 353 (C3, ...)
Tercer nivel	----	----	1 / 252 (C1, ...)	1 / 306 (C3, ...)
Segundo nivel	----	----	1 / 227 (C1, ...)	1 / 271 (C3, ...)
Primer nivel	----	----	1 / 233 (C2, ...)	1 / 263 (C3, ...)
Sótano 1	----	----	1 / 231 (C5)	1 / 208 (C3)
Sótano 2	----	----	1 / 500 (C8)	1 / 259 (C14)

*Nota.* Datos recopilados en obra

Interpretación: La tabla 48 presenta el desplome local máximo de los pilares (d/h) para diferentes niveles de una estructura en diversas situaciones, incluyendo situaciones sísmicas. Los desplomes se dan en términos de la relación desplazamiento/altura (d/h) y se especifican para las direcciones X e Y.

#### Observaciones:

- **Desplomes en Situaciones Sísmicas:**
- **Dirección X:**
- Los valores varían significativamente a través de los niveles. Por ejemplo, el "Sexto nivel" tiene un desplome de 1/487 (C1, ...), mientras que el "Sótano 2" tiene un desplome mucho mayor de 1/500 (C8).
- El "Segundo nivel" tiene uno de los menores desplomes con 1/227 (C1, ...).
- **Dirección Y:**

- Los valores también varían considerablemente. Por ejemplo, el "Sexto nivel" tiene un desplome de 1/514 (C6, C7), mientras que el "Sótano 2" tiene un desplome de 1/259 (C14).
- El "Sótano 1" tiene un desplome relativamente bajo de 1/208 (C3).
- Los niveles inferiores (sótanos) tienden a tener mayores desplomes en comparación con los niveles superiores, indicando una mayor deformación bajo situaciones sísmicas.
- La variabilidad en los valores de desplome entre diferentes niveles y direcciones sugiere diferencias en la rigidez y ductilidad de los pilares.
- Los valores entre paréntesis (C1, C3, etc.) posiblemente se refieren a clasificaciones o categorías específicas que podrían indicar el tipo de pilar o material utilizado, aunque esto no se especifica en la tabla.

**Tabla 49**

*Desplome total máximo de los pilares (D/H)*

<b>Desplome total máximo de los pilares (D / H)</b>			
Situaciones persistentes o transitorias		Situaciones sísmicas <sup>(1)</sup>	
Dirección X	Dirección Y	Dirección X	Dirección Y
----	----	1 / 298 (C1, C11)	1 / 277 (C12)

*Nota.* Datos recopilados en obra

**Interpretación:** La tabla 49 presenta el desplome total máximo de los pilares (D/H) para una estructura bajo diferentes situaciones, incluyendo situaciones sísmicas. Los desplomes se expresan en términos de la relación desplazamiento/altura (D/H) y se especifican para las direcciones X e Y.

### **Interpretación detallada:**

#### **Columnas y**

#### **Variables:**

- **Situaciones persistentes o transitorias (Dirección X e Y):** No se proporcionan datos para estas situaciones en ninguna dirección.
- **Situaciones sísmicas (Dirección X e Y):** Proporcionan la relación D/H para los desplomes totales máximos en situaciones sísmicas, con valores específicos para las direcciones X e Y.

#### **Observaciones:**

##### **Desplomes en Situaciones Sísmicas:**

- **Dirección X:**
  - El desplome en situaciones sísmicas en la dirección X es de 1/298 (C1, C11). Esto significa que por cada 298 unidades de altura, hay 1 unidad de desplazamiento en la dirección X.
- **Dirección Y:**
  - El desplome en situaciones sísmicas en la dirección Y es de 1/277 (C12). Esto significa que por cada 277 unidades de altura, hay 1 unidad de desplazamiento en la dirección Y.

##### **Conclusiones:**

- Los valores de desplome indican la deformación máxima permitida en las direcciones X e Y durante situaciones sísmicas.
- La menor relación D/H en la dirección Y (1/277) sugiere que la estructura puede deformarse más en esta dirección en comparación con la dirección X (1/298).

- Los códigos entre paréntesis (C1, C11, C12) posiblemente se refieren a categorías específicas o clasificaciones del tipo de pilar o material utilizado, aunque esto no se especifica en la tabla.

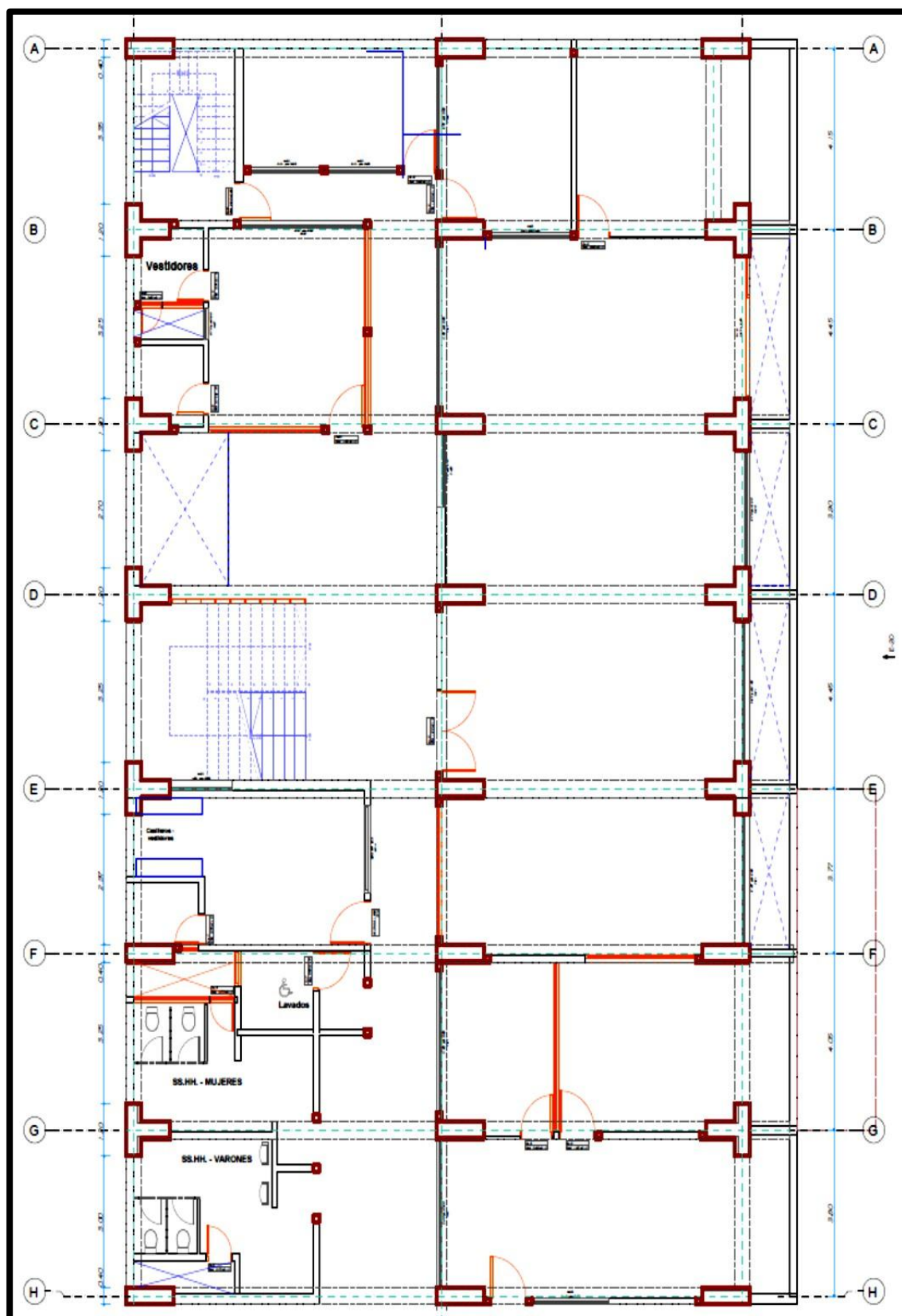
### **Modelamiento con ETABS**

#### **Descripción del sistema estructural**

El proyecto “Mejoramiento de la gestión municipal y servicio administrativo de la municipalidad provincial de Abancay” comprende la construcción de 02 Bloques de Edificación de 05 niveles, 01 semisótano y 01 sótano en un área de 867.24 m<sup>2</sup>, la cual se encuentra ubicada en la Intersección de Jr. Lima y el Jr. Huancavelica de la ciudad de Abancay del departamento de Apurímac. El sistema estructural predominante en la dirección “X” e “Y” es de pórticos de concreto armado.

Se han incluido columnas: rectangulares de 1.30x0.40m y sección “T” 1.20x1.20x0.40; las vigas son de: 0.40x0.75m en la dirección “X” y 0.40x0.60m en la dirección del eje “Y”. Las losas aligeradas se han dimensionado con 25cm de espesor orientadas en la dirección “Y”. Todo el concreto de los elementos estructurales es de 280 kg/cm<sup>2</sup>.

**Figura 43**  
*Esquema de estructura de planta*



*Nota. Elaboración propia*

## Condiciones geotécnicas

Las condiciones geotécnicas se relacionan con los perfiles del suelo según la velocidad de propagación de ondas sísmicas. En este contexto, se clasificó el terreno como suelo tipo “S2”, el cual se considera un suelo de características intermedias.

## Modelamiento numérico de la edificación

Se elaboró el modelo numérico utilizando el software ETABS ULTIMATE 19.1.1, empleando datos estructurales verificados en campo. Las propiedades de los materiales se definieron conforme al expediente técnico, considerando una resistencia del concreto de  $f'_c = 280 \text{ kg/cm}^2$  y un acero de refuerzo con esfuerzo a la fluencia de  $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$ . Durante el modelamiento, se asignaron secciones agrietadas y se aplicaron los valores de rigidez efectiva establecidos en la Tabla 2.2 de la norma ASCE/SEI 41-13.

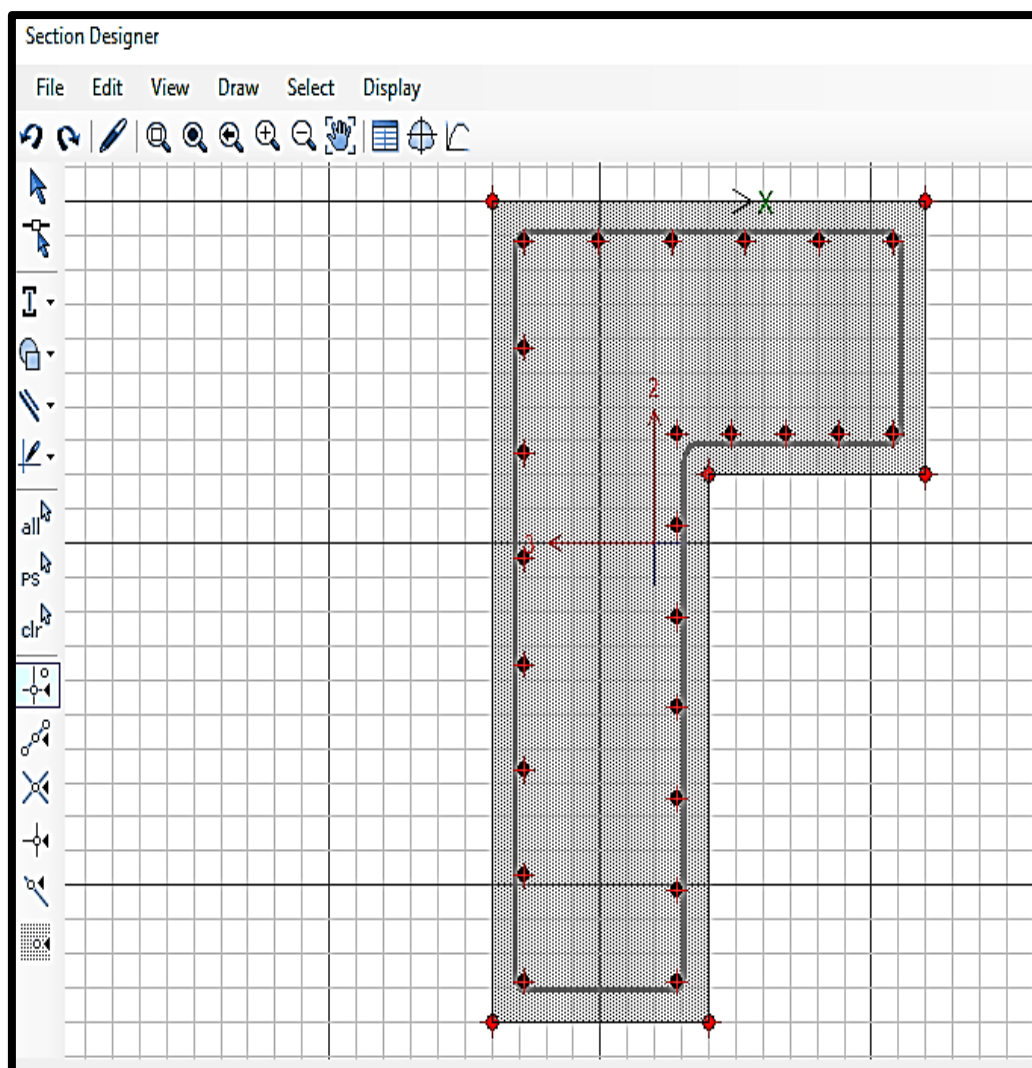
### Figura 44

*Asignación de propiedades del material*

*Nota.* Elaboración propia

**Figura 45**

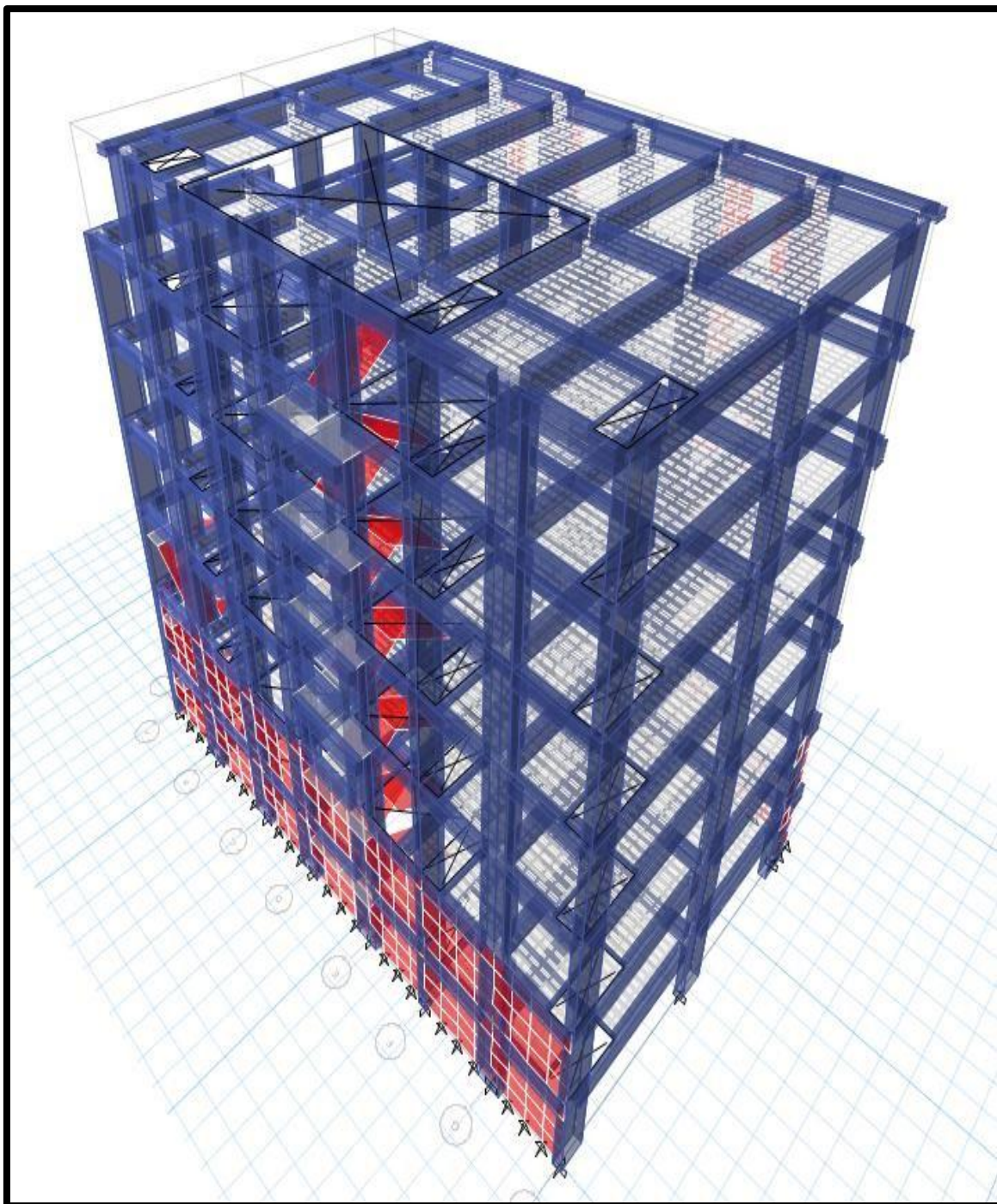
*Secciones de los elementos estructurales*



*Nota. Elaboración propia*

**Figura 46**

*Modelo en 3D de la estructura*



*Nota.* Elaboración propia

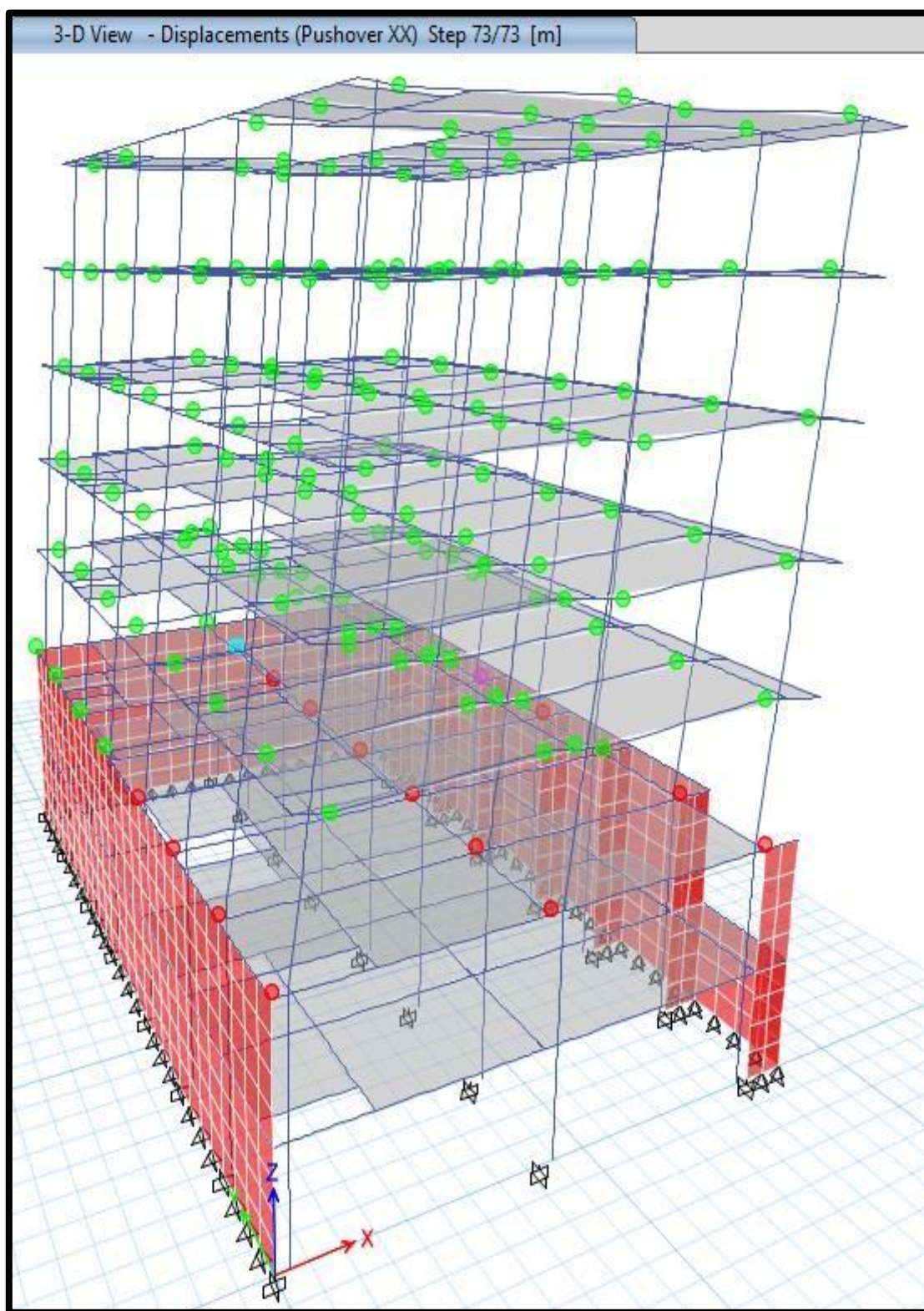
**Interpretación:** El modelo tridimensional de la edificación, representado en la figura 43, fue desarrollado con el objetivo exclusivo de verificar su comportamiento

estructural mediante un análisis inelástico. Para ello, se aplicó un análisis estático no lineal (Pushover), calculando el punto de desempeño en las direcciones XX y YY con base en los desplazamientos en la azotea y la cortante en la base. Dicho punto fue ubicado en la curva de capacidad, utilizando los rangos de desempeño definidos por el SEAOC – Comité Visión 2000.

Durante el análisis, se asignaron rótulas plásticas y secciones agrietadas a los elementos estructurales, permitiendo observar el mecanismo de formación de rótulas. La figura 44 muestra que algunas secciones ya han alcanzado el estado de falla, indicando zonas críticas en el comportamiento estructural ante eventos sísmicos severos.

**Figura 47**

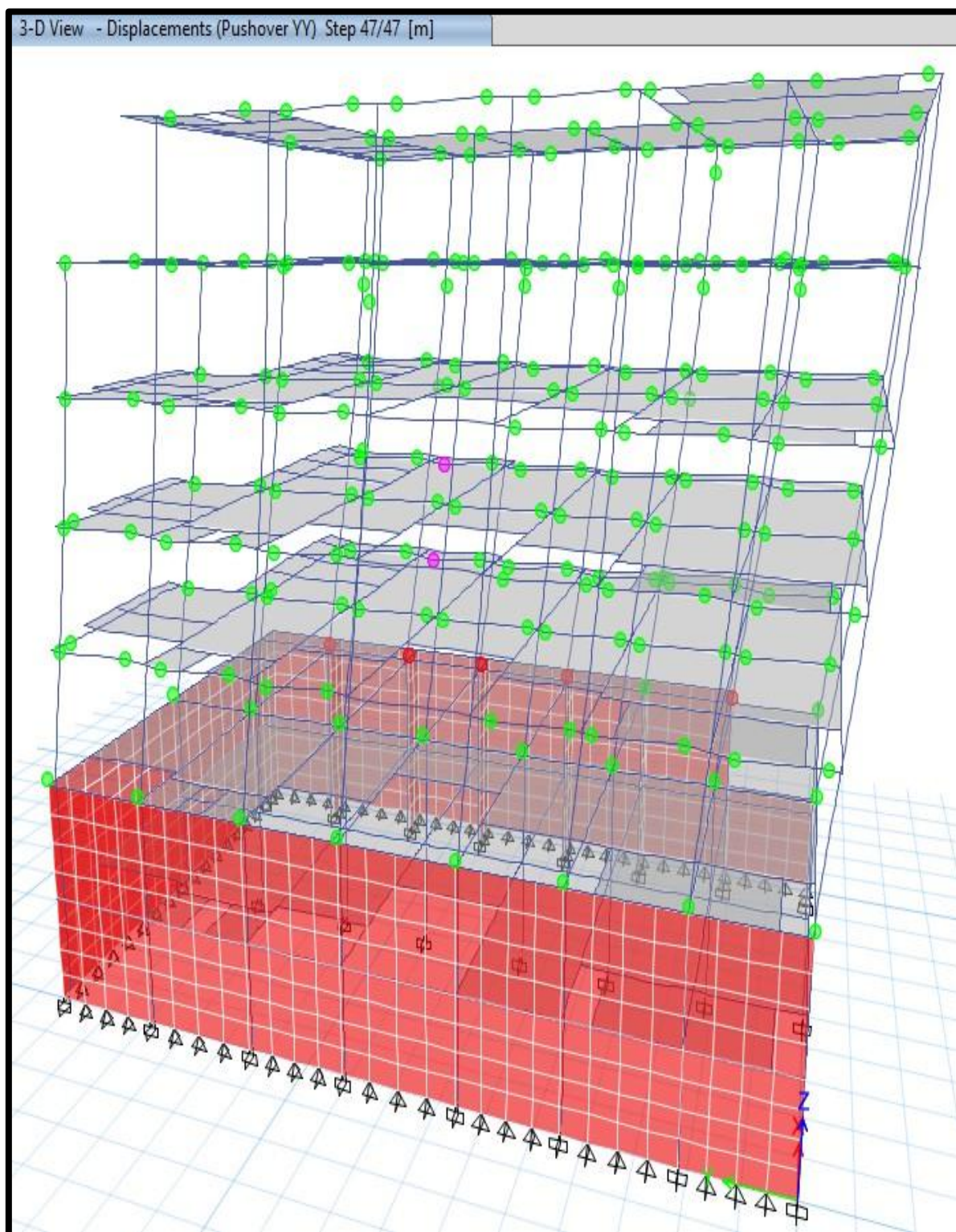
*Mecanismo de formación de rotulas plásticas en la dirección XX*



*Nota.* Elaboración propia

**Figura 48**

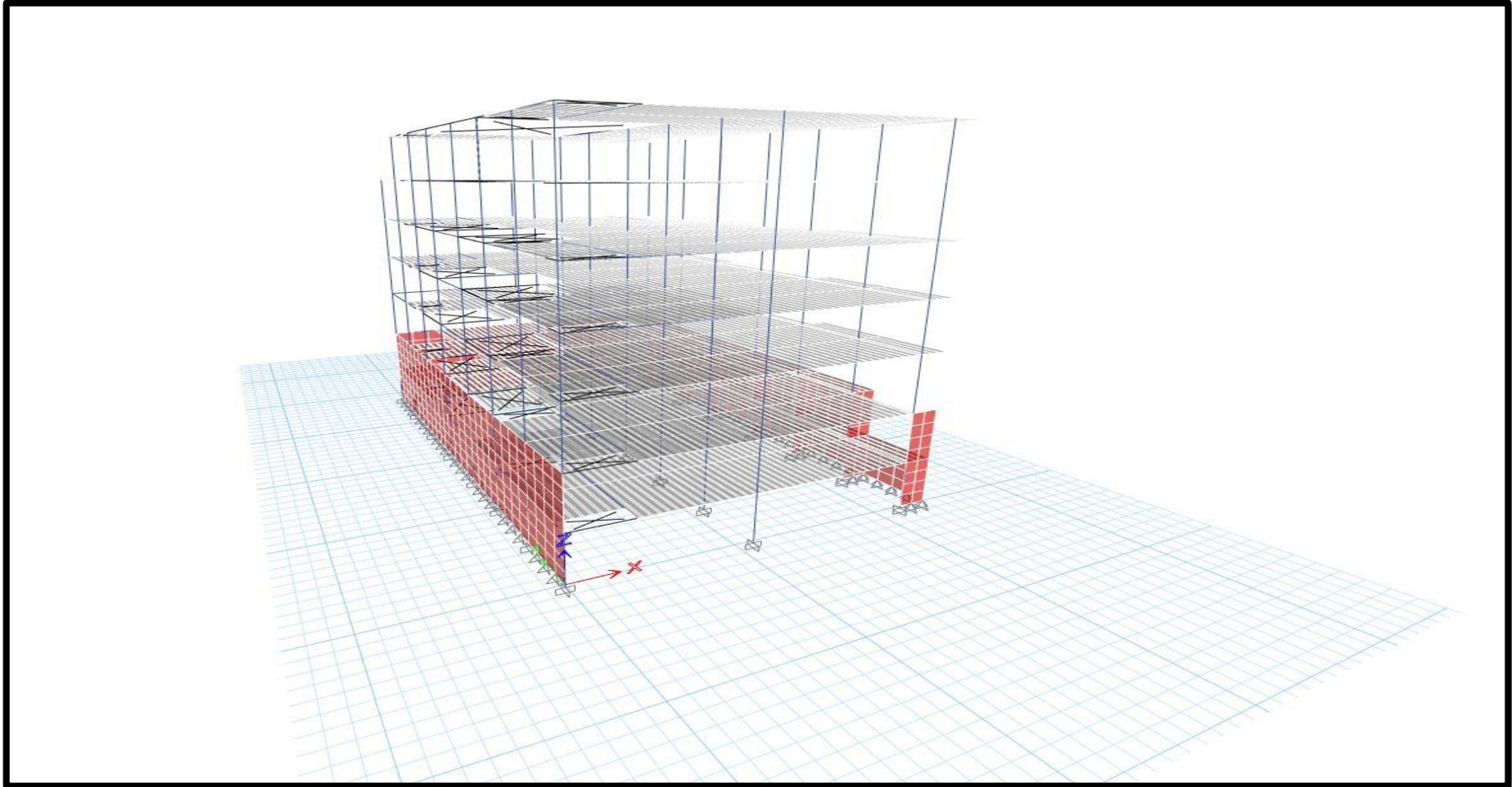
*Mecanismo de formación de rotulas plásticas en la dirección YY*



*Nota.* Elaboración propia

**Figura 49**

*Diseño del modelamiento*



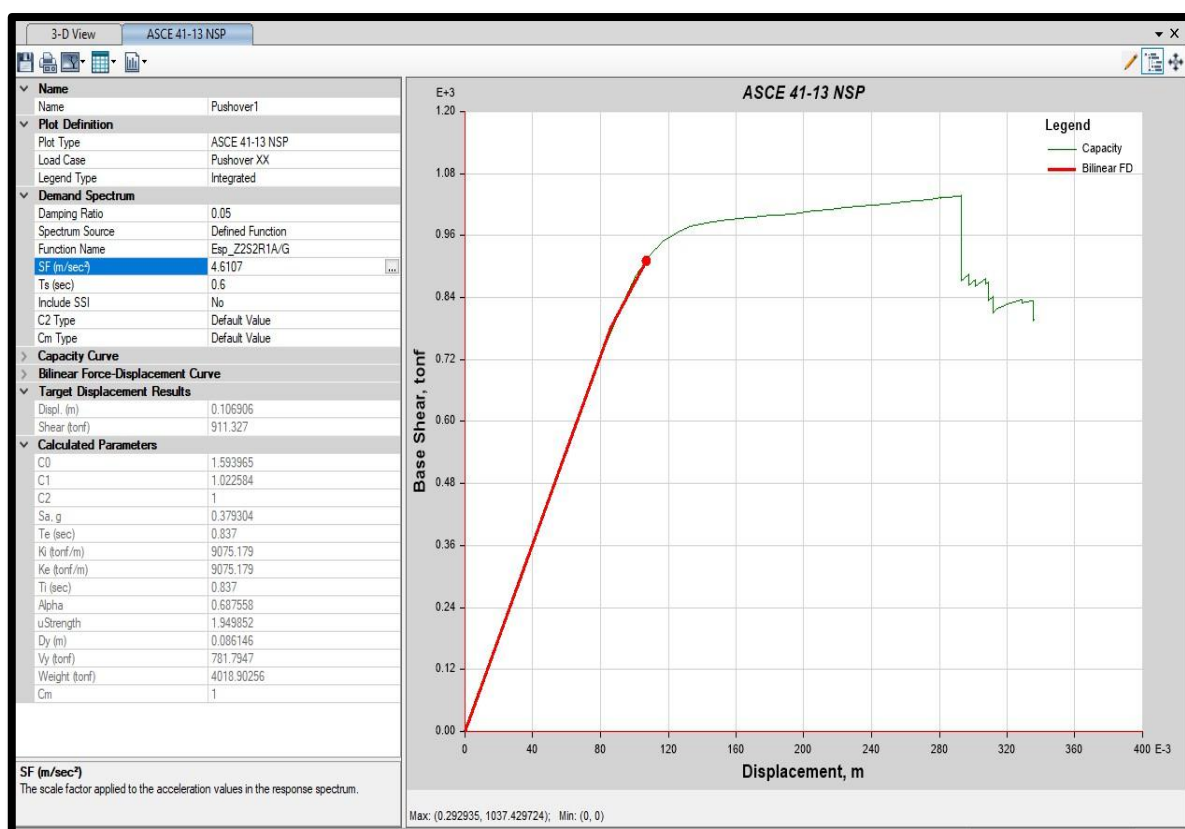
*Nota.* Elaboración propia

## Cálculo de la curva de capacidad y puntos de desempeño

Se calculó la curva de capacidad en las direcciones XX e YY usando patrones modales, y se determinó el punto de desempeño sísmico para tres niveles de demanda (ocasional, raro y muy raro) según el ASCE 41-13. El análisis se realizó en ETABS, mostrando los desplazamientos estructurales esperados ante cada escenario sísmico.

**Figura 50**

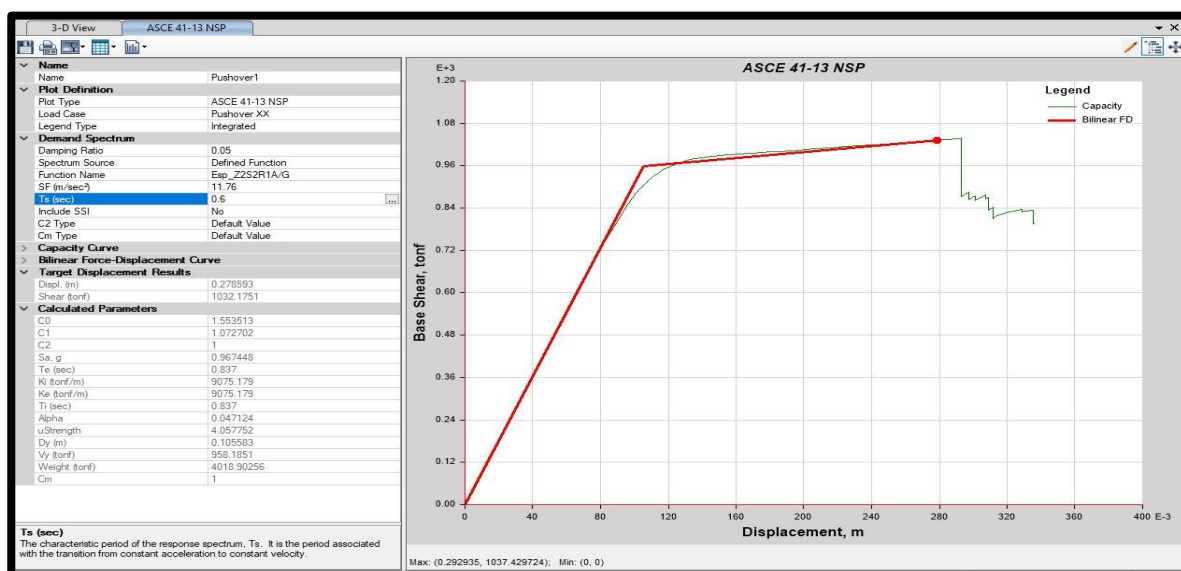
*Punto de desempeño sismo ocasional en XX*



*Nota.* Elaboración propia

Figura 51

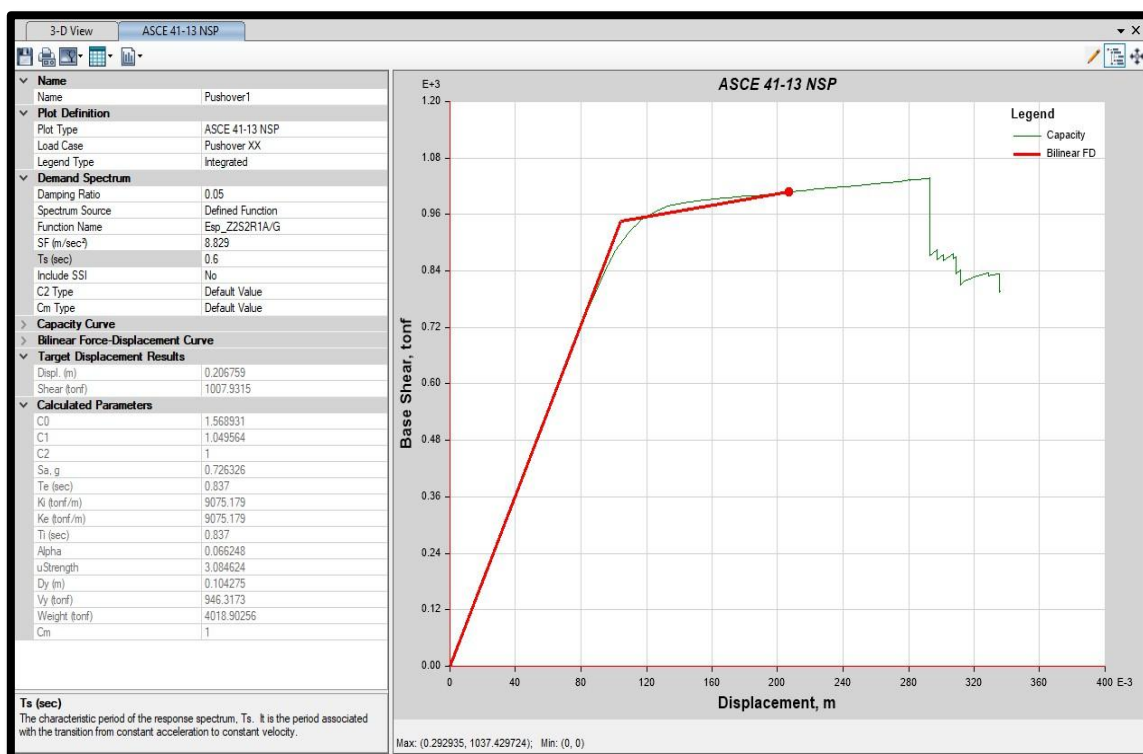
Punto de desempeño sismo raro en XX.



Nota. Elaboración propia

Figura 52

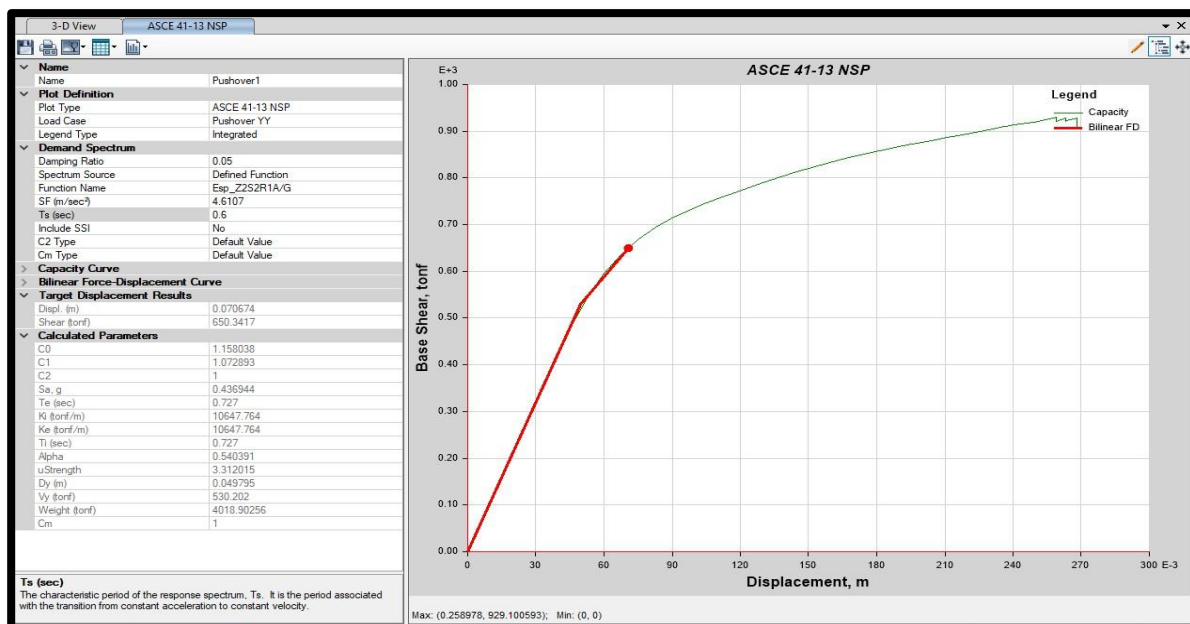
Punto de desempeño sismo muy raro en XX



Nota. Elaboración propia

Figura 53

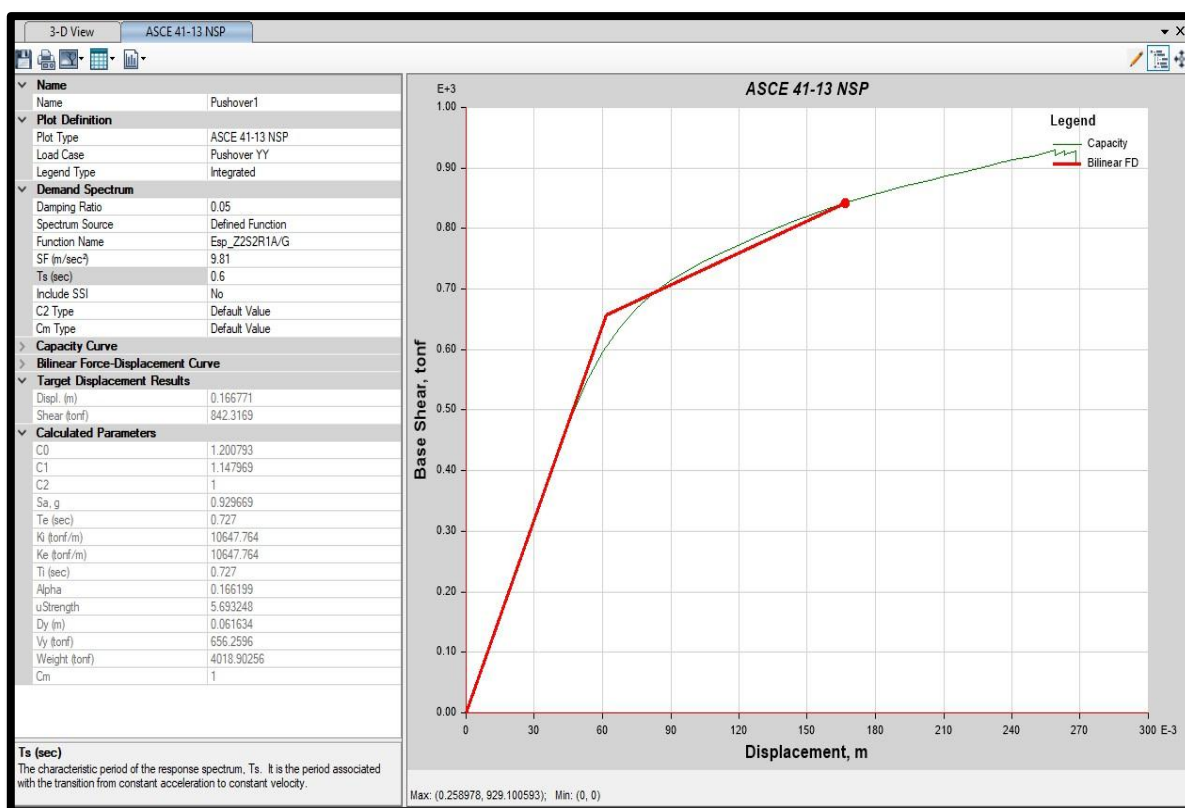
*Punto de desempeño sismo ocasional en YY*



*Nota. Elaboración propia*

Figura 54

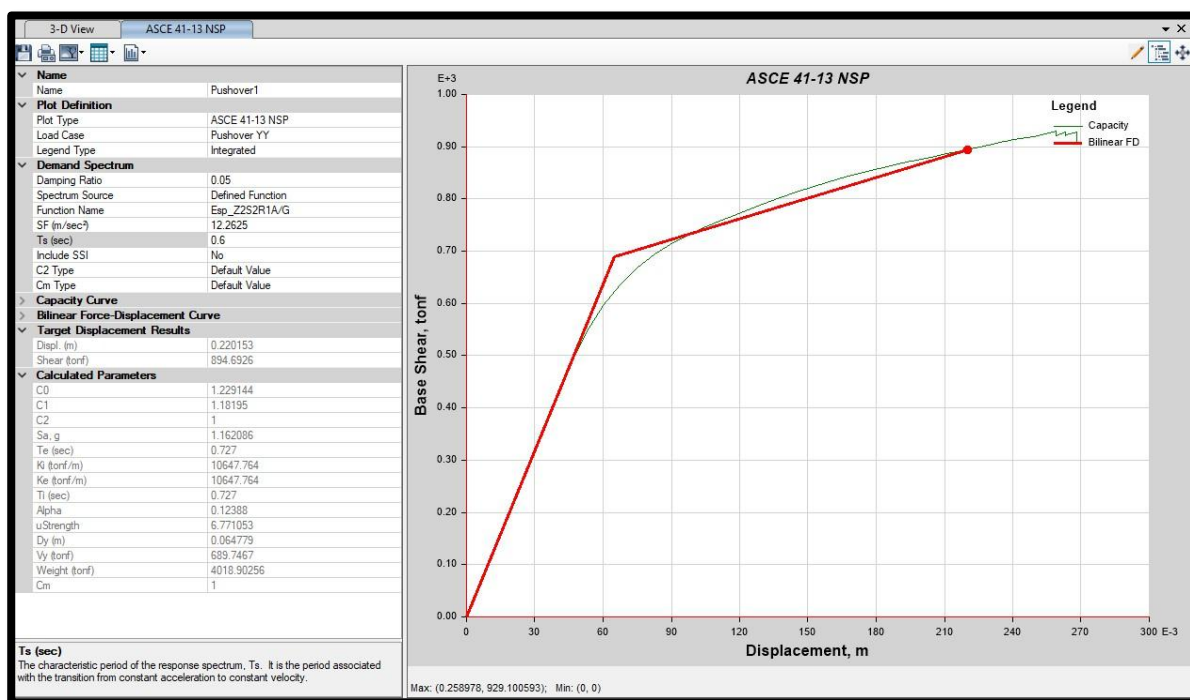
*Punto de desempeño sismo raro en YY*



*Nota. Elaboración propia*

Figura 55

*Punto de desempeño sismo muy raro en YY*



*Nota. Elaboración propia*

### 5.1.4. Resultados Consolidados

Los resultados se muestran en el orden de los objetivos.

### Determinación del punto de desempeño mediante el análisis no lineal (Pushover)

Tabla 50

*Coordenadas de la curva de capacidad en la dirección XX*

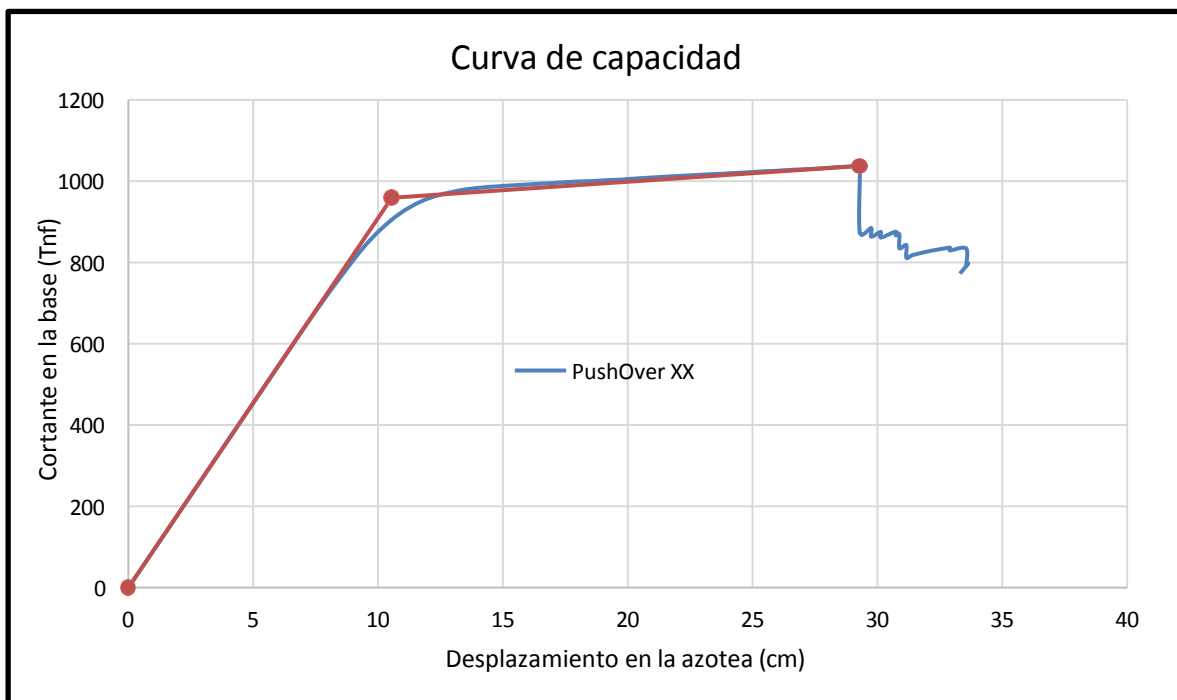
Desplazamiento	Cortante en la Base
cm	tonf
0.00	0.00
0.67	60.50
1.33	121.00
2.00	181.50
2.67	242.00
3.33	302.51
4.00	363.01
4.67	423.51
5.33	484.01

6.00	544.51
6.67	605.01
7.02	636.70
7.92	715.80
8.66	777.56
9.42	837.57
10.12	882.33
10.88	920.81
11.70	949.87
12.45	966.01
13.28	977.61
13.92	983.02
14.63	986.76
15.55	990.35
16.30	993.06
16.63	994.36
16.97	995.21
17.51	997.67
17.72	998.19
17.82	998.72
18.54	1,000.28
19.21	1,002.58
19.88	1,004.32
20.04	1,005.44
20.71	1,008.07
21.54	1,011.24
22.46	1,014.23
23.29	1,016.99
23.96	1,018.86
24.13	1,019.68
24.79	1,021.80
25.46	1,024.40
25.88	1,025.37
26.63	1,028.15
27.46	1,030.53
28.09	1,033.12
28.10	1,033.04
28.10	1,033.07
28.11	1,033.03
28.16	1,033.33

28.17	1,033.33
28.38	1,034.40
29.17	1,036.98
29.29	1,037.43
29.29	871.57
29.75	885.28
29.75	863.31
30.13	875.46
30.13	861.13
30.73	876.06
30.73	866.65
30.88	870.01
30.88	834.66
31.16	843.22
31.16	811.05
31.41	818.18
32.15	828.93
32.85	836.15
32.90	836.62
32.90	829.49
33.02	831.11
33.56	834.71
33.56	794.65
33.62	796.39
33.30	772.78

*Nota.* Elaboración propia

**Interpretación:** En la tabla 50 se muestra los resultados del análisis estático no lineal en la dirección X, y en la figura 53 se observa el gráfico de la curva de capacidad y la representación bilineal.

**Figura 56***Curva de capacidad en la dirección XX**Nota.* Elaboración propia

**Interpretación:** En la figura 56 se observa que el desplazamiento para el punto de fluencia efectiva es de 10.55cm, de esta forma el desplazamiento en el régimen inelástico es de 18.74cm ( $29.29\text{cm} - 10.55\text{cm}$ ), el mismo que se utilizó para la sectorización de la curva de capacidad.

### Interpretación del Gráfico

El gráfico presentado es una **curva de capacidad** en la dirección XX, que muestra la relación entre el desplazamiento en la azotea (en centímetros) y la cortante en la base (en toneladas fuerza). Esta curva se utiliza comúnmente en el análisis Pushover para evaluar la capacidad sísmica de una estructura.

### Componentes del Gráfico:

**Eje Horizontal (X):** Representa el desplazamiento en la azotea de la estructura, medido en centímetros.

**Eje Vertical (Y):** Representa la cortante en la base de la estructura, medida en toneladas fuerza (Tf).

#### **Análisis de la Curva:**

- **Inicio de la Curva:** La curva comienza en el origen (0,0), lo que indica que inicialmente no hay desplazamiento ni fuerza aplicada.
- **Fase Inicial (0-10 cm):** La curva asciende de manera pronunciada, indicando un aumento rápido en la cortante en la base a medida que el desplazamiento en la azotea aumenta. Esta parte de la curva representa el comportamiento elástico de la estructura.
- **Punto de Inflexión (~10 cm):** A partir de aquí, la pendiente de la curva disminuye, indicando que la estructura está entrando en el rango inelástico. La cortante en la base sigue aumentando, pero a un ritmo más lento.
- **Plataforma (10-25 cm):** La curva se estabiliza, mostrando que la estructura ha alcanzado su capacidad máxima de carga lateral. En esta fase, cualquier incremento en el desplazamiento resulta en pequeños incrementos en la cortante.
- **Descenso (>25 cm):** La curva desciende abruptamente, lo que indica una pérdida significativa de capacidad de carga debido a daños estructurales o fallas en componentes críticos.

#### **Conclusión:**

La curva de capacidad en la dirección XX indica que la estructura tiene una capacidad considerable de carga lateral hasta un desplazamiento de aproximadamente 25 cm en la azotea. Después de este punto, la capacidad de carga disminuye drásticamente, sugiriendo que la estructura ha alcanzado su límite de comportamiento inelástico y ha experimentado fallas significativas.

**Tabla 51**

*Desplazamientos y fuerzas cortante para cada nivel de demanda sísmica en XX*

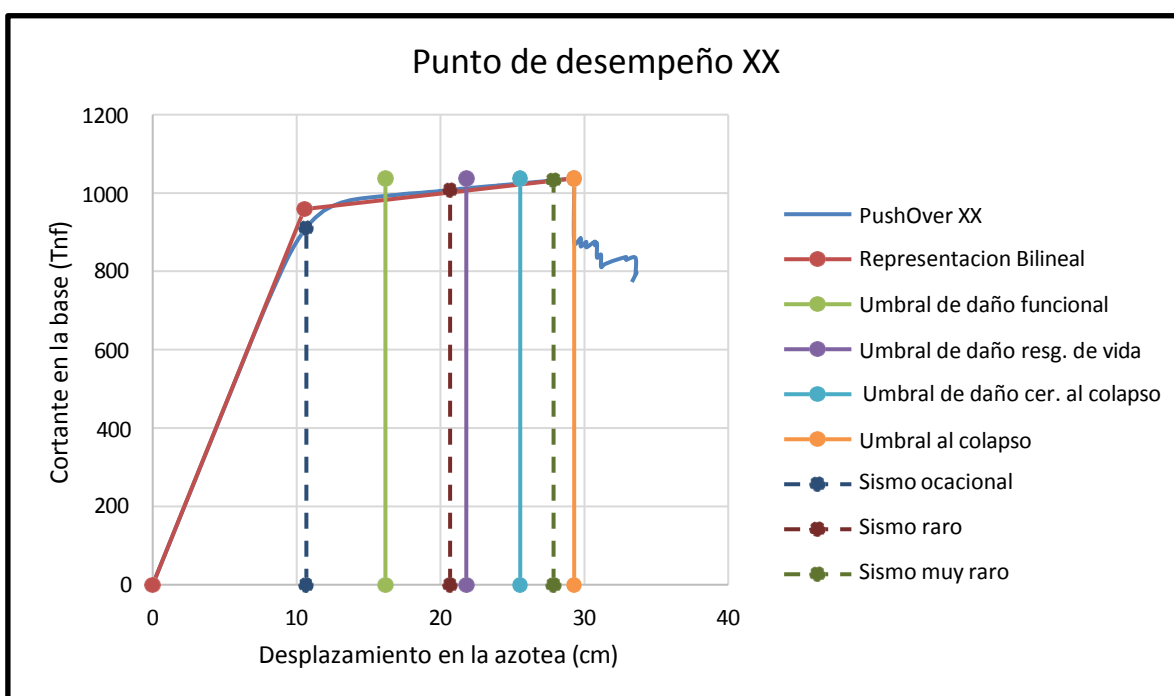
Nivel de demandas sísmicas	Desplazamiento (cm)	Cortante (Tnf)
Ocasional	10.68	910.76
Raro (diseño)	20.67	1,007.93
Muy Raro	27.86	1,032.13

*Nota.* Elaboración propia

**Interpretación:** En la tabla 51, se muestra los desplazamientos y fuerzas cortantes para los diferentes niveles de demanda sísmica; mientras que, en la figura 54 se aprecia la gráfica del desempeño sísmico de la estructura en la dirección X para los diferentes sismos.

**Figura 57**

*Punto de desempeño en la dirección XX*



*Nota.* Elaboración propia

### Interpretación del Gráfico

El gráfico presentado es una **curva de capacidad** que incluye múltiples puntos de desempeño en la dirección XX, mostrando la relación entre el desplazamiento en la azotea

(en centímetros) y la cortante en la base (en toneladas fuerza). Este tipo de gráfico se utiliza en el análisis Pushover para evaluar el desempeño sísmico de una estructura.

#### **Componentes del Gráfico:**

**Eje Horizontal (X):** Representa el desplazamiento en la azotea de la estructura, medido en centímetros.

**Eje Vertical (Y):** Representa la cortante en la base de la estructura, medida en toneladas fuerza (Tf).

#### **Curvas y Líneas del Gráfico:**

- **PushOver XX (Línea Azul):** Muestra la curva de capacidad de la estructura en la dirección XX.
- **Representación Bilineal (Línea Roja):** Simplificación de la curva de capacidad para facilitar el análisis.
- **Umbral de Daño Funcional (Línea Verde Claro):** Indica el desplazamiento máximo antes de que la estructura comience a experimentar daños que afecten su funcionalidad.
- **Umbral de Daño Reg. de Vida (Línea Amarilla):** Desplazamiento a partir del cual los daños estructurales ponen en riesgo la vida de los ocupantes.
- **Umbral de Daño Cercano al Colapso (Línea Celeste):** Desplazamiento a partir del cual la estructura está cerca de colapsar.
- **Umbral al Colapso (Línea Naranja):** Desplazamiento máximo antes de que la estructura colapse.
- **Sismos Ocasional, Raro y Muy Raro (Líneas Discontinuas):** Representan diferentes niveles de demanda sísmica que la estructura puede experimentar.

**Análisis de la Curva:**

- **Fase Inicial (0-5 cm):** La curva PushOver XX asciende rápidamente, indicando un aumento significativo en la cortante en la base con el desplazamiento. Esto representa el comportamiento elástico de la estructura.
- **Fase de Deformación Inelástica (5-25 cm):** La curva se estabiliza y se vuelve casi horizontal, mostrando que la estructura ha alcanzado su capacidad máxima de carga lateral. Durante esta fase, cualquier incremento en el desplazamiento resulta en pequeños incrementos en la cortante. Este comportamiento indica que la estructura está experimentando deformaciones significativas pero todavía no ha fallado catastróficamente.
- **Descenso (>25 cm):** La curva desciende abruptamente después del punto de máxima capacidad, lo que indica una pérdida significativa de capacidad de carga debido a daños estructurales o fallas en componentes críticos. Este descenso muestra que la estructura ha sobrepasado su capacidad límite y ha comenzado a fallar.

**Umbrales de Daño y Niveles de Sismo:**

- **Umbral de Daño Funcional:** Indica el desplazamiento donde la estructura comienza a perder su funcionalidad pero aún no representa un riesgo significativo para la vida.
- **Umbral de Daño Reg. de Vida:** Indica el desplazamiento donde la estructura representa un riesgo para la vida de los ocupantes.
- **Umbral de Daño Cercano al Colapso:** Marca el desplazamiento donde la estructura está en riesgo inminente de colapso.
- **Umbral al Colapso:** El desplazamiento máximo que la estructura puede soportar antes de colapsar.

**Conclusión:** La curva de capacidad en la dirección XX junto con los umbrales de desempeño y los diferentes niveles de demanda sísmica proporciona una evaluación clara de cómo la estructura respondería bajo diferentes escenarios sísmicos. La estructura tiene una capacidad considerable de carga lateral hasta un desplazamiento de aproximadamente 25 cm en la azotea, después del cual la capacidad de carga disminuye drásticamente debido a fallas significativas. Este análisis es crucial para la evaluación del desempeño sísmico y la implementación de medidas de refuerzo estructural para mejorar la resiliencia de la edificación frente a eventos sísmicos.

**Tabla 52**

*Coordenadas de la curva de capacidad en la dirección YY*

<b>Desplazamiento</b>	<b>Cortante en la Base</b>
<b>cm</b>	<b>tonf</b>
0.00	0.00
0.67	70.99
1.33	141.97
2.00	212.96
2.67	283.94
3.33	354.93
3.83	407.40
4.55	481.59
5.27	544.62
6.01	595.41
6.73	635.76
7.48	668.47
8.26	694.36
8.94	712.06
9.64	728.26
10.50	746.04
11.21	759.11
11.94	772.72
12.98	789.67
13.66	800.86
14.50	813.69
15.28	824.02
15.95	833.22

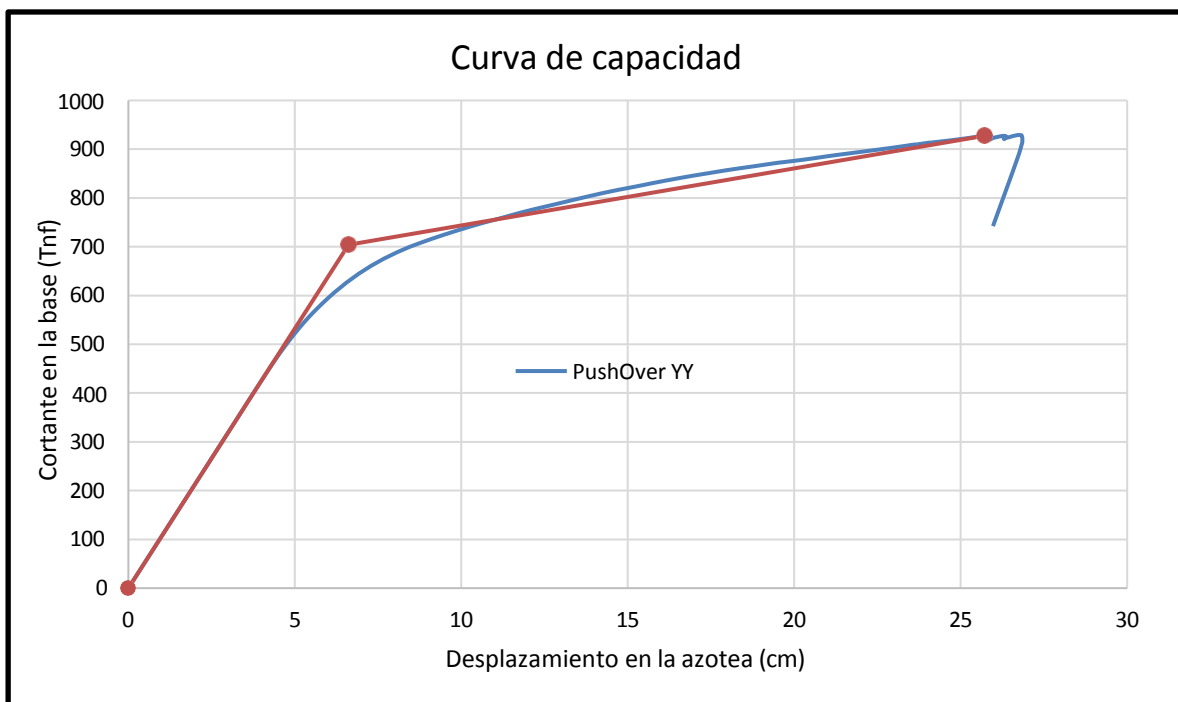
16.76	843.39
17.43	851.02
18.12	858.51
18.80	865.11
19.54	872.46
19.59	872.73
20.42	879.81
21.09	886.44
21.75	892.36
22.92	902.76
23.59	909.35
23.67	909.66
24.03	913.28
24.04	913.12
24.91	919.96
25.58	926.33
25.90	929.10
25.90	920.76
25.98	923.22
26.30	927.41
26.30	920.90
26.37	923.24
26.82	928.77
26.83	905.87
25.97	742.29

*Nota.* Elaboración propia

**Interpretación:** De igual manera se muestra en la tabla 52 para la dirección en YY, los valores de desplazamiento lateral y cortantes, en la figura 55 se observa el grafico respectivo para estos valores, que representan la curva de capacidad y la representación bilineal.

**Figura 58**

*Curva de capacidad en la dirección YY*



*Nota.* Elaboración propia

**Interpretación:** En la figura 58 se aprecia que el desplazamiento para la fluencia efectiva es de 6.61cm, de esta forma el desplazamiento en el régimen inelástico es de 19.11cm ( $25.72\text{cm} - 6.61\text{cm}$ ), el mismo que se utilizó para la sectorización de la curva de capacidad.

### **Intepretación del Gráfico**

El gráfico presentado es una **curva de capacidad** en la dirección YY, que muestra la relación entre el desplazamiento en la azotea (en centímetros) y la cortante en la base (en toneladas fuerza). Este tipo de gráfico es fundamental en el análisis Pushover para evaluar la capacidad sísmica de una estructura.

#### **Componentes del Gráfico:**

**Eje Horizontal (X):** Representa el desplazamiento en la azotea de la estructura, medido en centímetros.

**Eje Vertical (Y):** Representa la cortante en la base de la estructura, medida en toneladas fuerza (Tf).

**Análisis de la Curva:**

- **Inicio de la Curva (0-5 cm):** La curva comienza en el origen (0,0) y asciende rápidamente, indicando un aumento significativo en la cortante en la base a medida que el desplazamiento en la azotea aumenta. Esta parte de la curva representa el comportamiento elástico de la estructura.
- **Punto de Inflexión (~5 cm):** Se observa un cambio en la pendiente de la curva, indicando que la estructura está comenzando a entrar en el rango inelástico. La pendiente de la curva disminuye, lo que sugiere que la estructura está absorbiendo energía y experimentando deformaciones plásticas.
- **Fase de Deformación Inelástica (5-25 cm):** La curva se estabiliza y se vuelve casi horizontal, mostrando que la estructura ha alcanzado su capacidad máxima de carga lateral. Durante esta fase, cualquier incremento en el desplazamiento resulta en pequeños incrementos en la cortante. Este comportamiento indica que la estructura está experimentando deformaciones significativas pero todavía no ha fallado catastróficamente.
- **Capacidad Máxima (~25 cm):** La curva alcanza un punto máximo, indicando la capacidad última de la estructura antes de experimentar una falla significativa.
- **Descenso (>25 cm):** La curva desciende abruptamente después del punto de máxima capacidad, lo que indica una pérdida significativa de capacidad de carga debido a daños estructurales o fallas en componentes críticos. Este descenso muestra que la estructura ha sobrepasado su capacidad límite y ha comenzado a fallar.

- **Conclusión:**

La curva de capacidad en la dirección YY revela que la estructura tiene una capacidad considerable de carga lateral hasta un desplazamiento de aproximadamente 25 cm en la azotea. Después de este punto, la capacidad de carga disminuye drásticamente, sugiriendo que la estructura ha alcanzado su límite de comportamiento inelástico y ha experimentado fallas significativas. Este análisis es crucial para la evaluación del desempeño sísmico y la implementación de medidas de refuerzo estructural para mejorar la resiliencia de la edificación frente a eventos sísmicos.

**Tabla 53**

*Desplazamientos y fuerzas cortante para cada nivel de demanda sísmica en YY*

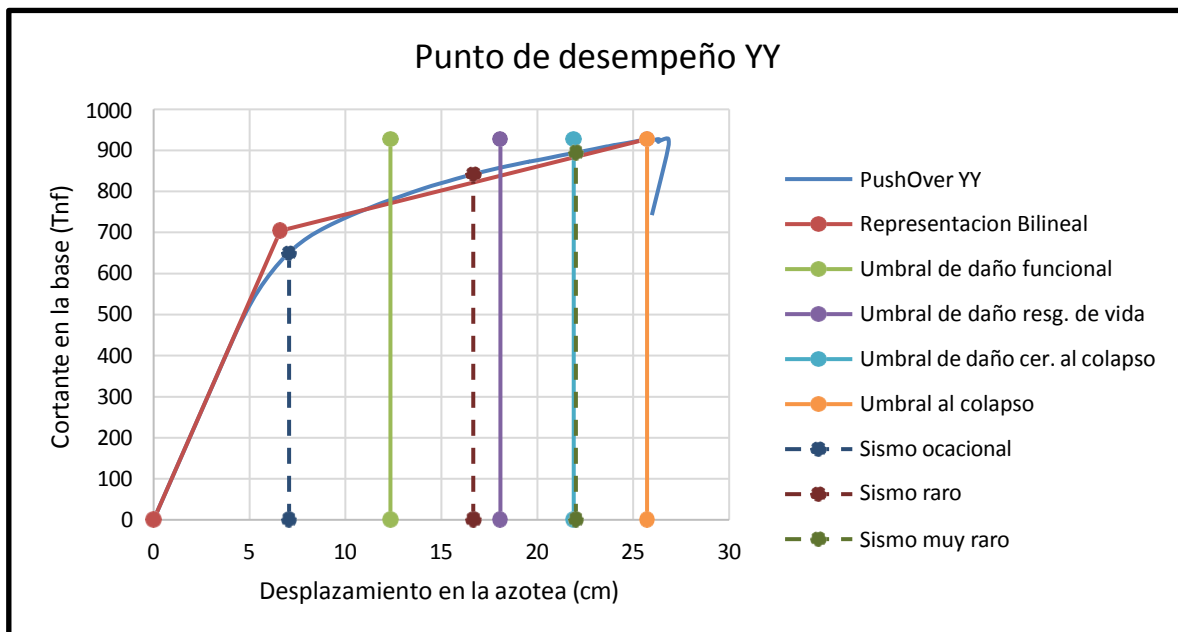
Nivel de demandas sísmica	Desplazamiento (cm)	Cortante (Tnf)
Ocasional	7.06	650.00
Raro (diseño)	16.66	842.06
Muy Raro	22.01	894.69

*Nota.* Elaboración propia

**Interpretación:** En la tabla 53, se muestra los desplazamientos y fuerzas cortantes para los diferentes niveles de demanda sísmica en la dirección YY; mientras que, en la figura 56, se aprecia la gráfica del desempeño sísmico de la estructura en la dirección YY para los distintos sismos.

**Figura 59**

*Punto de desempeño en la dirección YY*



*Nota.* Elaboración propia

### Interpretación del Gráfico

El gráfico presentado es una **curva de capacidad** que incluye múltiples puntos de desempeño en la dirección YY, mostrando la relación entre el desplazamiento en la azotea (en centímetros) y la cortante en la base (en toneladas fuerza). Este tipo de gráfico se utiliza en el análisis Pushover para evaluar el desempeño sísmico de una estructura.

### Componentes del Gráfico:

**Eje Horizontal (X):** Representa el desplazamiento en la azotea de la estructura, medido en centímetros.

**Eje Vertical (Y):** Representa la cortante en la base de la estructura, medida en toneladas fuerza (Tf).

### Curvas y Líneas del Gráfico:

- **PushOver YY (Línea Azul):** Muestra la curva de capacidad de la estructura en la dirección YY.

- **Representación Bilineal (Línea Roja):** Simplificación de la curva de capacidad para facilitar el análisis.
- **Umbral de Daño Funcional (Línea Verde Claro):** Indica el desplazamiento máximo antes de que la estructura comience a experimentar daños que afecten su funcionalidad.
- **Umbral de Daño Reg. de Vida (Línea Amarilla):** Desplazamiento a partir del cual los daños estructurales ponen en riesgo la vida de los ocupantes.
- **Umbral de Daño Cercano al Colapso (Línea Celeste):** Desplazamiento a partir del cual la estructura está cerca de colapsar.
- **Umbral al Colapso (Línea Naranja):** Desplazamiento máximo antes de que la estructura colapse.
- **Sismos Ocasional, Raro y Muy Raro (Líneas Discontinuas):** Representan diferentes niveles de demanda sísmica que la estructura puede experimentar.

#### **Análisis de la Curva:**

- **Fase Inicial (0-5 cm):** La curva PushOver YY asciende rápidamente, indicando un aumento significativo en la cortante en la base con el desplazamiento. Esto representa el comportamiento elástico de la estructura.
- **Fase de Deformación Inelástica (5-25 cm):** La curva se estabiliza y se vuelve casi horizontal, mostrando que la estructura ha alcanzado su capacidad máxima de carga lateral. Durante esta fase, cualquier incremento en el desplazamiento resulta en pequeños incrementos en la cortante. Este comportamiento indica que la estructura está experimentando deformaciones significativas pero todavía no ha fallado catastróficamente.
- **Descenso (>25 cm):** La curva desciende abruptamente después del punto de máxima capacidad, lo que indica una pérdida significativa de capacidad de

carga debido a daños estructurales o fallas en componentes críticos. Este descenso muestra que la estructura ha sobrepasado su capacidad límite y ha comenzado a fallar.

#### **Umbral de Daño y Niveles de Sismo:**

- **Umbral de Daño Funcional:** Indica el desplazamiento donde la estructura comienza a perder su funcionalidad pero aún no representa un riesgo significativo para la vida.
- **Umbral de Daño Reg. de Vida:** Indica el desplazamiento donde la estructura representa un riesgo para la vida de los ocupantes.
- **Umbral de Daño Cercano al Colapso:** Marca el desplazamiento donde la estructura está en riesgo inminente de colapso.
- **Umbral al Colapso:** El desplazamiento máximo que la estructura puede soportar antes de colapsar.

#### **Conclusión:**

La curva de capacidad en la dirección YY junto con los umbrales de desempeño y los diferentes niveles de demanda sísmica proporciona una evaluación clara de cómo la estructura respondería bajo diferentes escenarios sísmicos. La estructura tiene una capacidad considerable de carga lateral hasta un desplazamiento de aproximadamente 25 cm en la azotea, después del cual la capacidad de carga disminuye drásticamente debido a fallas significativas. Este análisis es crucial para la evaluación del desempeño sísmico y la implementación de medidas de refuerzo estructural para mejorar la resiliencia de la edificación frente a eventos sísmicos.

## **5.2. Contrastación de hipótesis**

### **Hipótesis General**

Al analizar el desempeño sísmico del bloque B del nuevo Palacio Municipal de Abancay mediante el análisis no lineal tipo Pushover, se validó la hipótesis que planteaba que dicho bloque alcanzaría el nivel de *resguardo de vida* frente a un sismo

raro. La obtención de las curvas de capacidad en ambas direcciones permitió aplicar los métodos de evaluación estructural conforme a la Norma Técnica E.030 y al enfoque del Comité Visión 2000. Como resultado, se evidenció que la edificación no sufriría daños estructurales significativos y mantendría su funcionalidad de acuerdo con el diseño, ya que los puntos de desempeño se encontraron dentro de los rangos admitidos. En consecuencia, se confirma el cumplimiento de los criterios de seguridad estructural establecidos, ratificando la hipótesis inicial.

### **Hipótesis específicas**

El cortante de fluencia efectiva será del 15% del peso del bloque B del nuevo Palacio Municipal de la provincia de Abancay, la cortante fue de 910.76 toneladas fuerza considerando que el peso total de la estructura del bloque B es de 997.0455 toneladas esto confirma que es mayor al 15%

La ductilidad del bloque B del nuevo Palacio Municipal de la provincia de Abancay fue para la dirección XX es 18.74 cm y para la dirección YY es 19.11cm estos valores se refiere a la capacidad de un material para deformarse plásticamente antes de fracturarse estos valores están por encima de es de 2.5, aceptando la hipótesis de estudio

El desplazamiento máximo del bloque B del nuevo Palacio Municipal de la provincia de Abancay es de 20 cm, el desplazamiento máximo se dio en la dirección XX 29.29 cm estos valores se refiere a la máxima distancia que el bloque B puede desplazarse debido a las cargas aplicadas antes de alcanzar un estado de fallo o deformación crítica, determinando que el desplazamiento fue mayor a 20 cm.

### **5.3. Discusión de Resultados**

El análisis Pushover aplicado al bloque B del nuevo Palacio Municipal de la provincia de Abancay permitió obtener una comprensión detallada del comportamiento estructural de dicha edificación frente a distintos niveles de sollicitación sísmica. A través de esta

evaluación, se identificó que la estructura posee una notable capacidad de deformación antes de alcanzar su punto de colapso, lo cual constituye un aspecto esencial para garantizar la estabilidad y seguridad estructural durante un evento sísmico.

Para llevar a cabo este tipo de análisis, es imprescindible recurrir a fundamentos teóricos relevantes en el ámbito de la ingeniería estructural. En primer lugar, la teoría de la capacidad de resistencia establece el límite máximo de carga que una estructura puede soportar antes de fallar, siendo una base fundamental del análisis Pushover. Asimismo, la teoría de la ductilidad permite comprender la habilidad de una edificación para absorber energía mediante deformaciones plásticas, evitando fallas súbitas. De igual manera, la teoría del espectro de capacidad facilita la comparación entre la demanda sísmica y la resistencia estructural, utilizando gráficos que relacionan desplazamientos y fuerzas.

Por otro lado, la teoría del comportamiento no lineal se encarga de describir el comportamiento estructural más allá del rango elástico, incluyendo las deformaciones plásticas y efectos secundarios como el P-Delta. A su vez, el análisis modal descompone la respuesta dinámica de la estructura en modos de vibración individuales, simplificando la evaluación sísmica. En paralelo, la mecánica de fractura se enfoca en la propagación de grietas, permitiendo prever fallas locales, mientras que la teoría del espectro de respuesta compara cómo distintas estructuras reaccionan frente a diversas frecuencias de movimiento sísmico.

Los resultados obtenidos en el bloque B fueron reveladores. Por un lado, los desplazamientos registrados en la dirección X fueron: 10.68 cm para sismo ocasional, 20.67 cm para sismo raro y 27.86 cm para sismo muy raro; mientras que en la dirección Y, los valores fueron 7.06 cm, 16.66 cm y 22.01 cm respectivamente. Estos resultados reflejan una adecuada capacidad de desplazamiento, incluso ante demandas sísmicas

severas. Por otro lado, los puntos de fluencia efectiva fueron de 10.55 cm en la dirección X y 6.61 cm en la dirección Y, indicando los niveles de esfuerzo en los que la estructura entra en el régimen inelástico.

En cuanto a la ductilidad, se registraron valores de 18.74 cm (X) y 19.11 cm (Y), lo que demuestra la capacidad del bloque B para absorber energía sísmica antes de fracturarse. Además, los desplazamientos máximos alcanzaron 29.29 cm en la dirección X y 25.72 cm en la Y, lo que reafirma la necesidad de considerar estos valores en los procesos de diseño y refuerzo estructural.

Con el fin de validar estos resultados, se realizó una comparación con estudios previos. Por ejemplo, Montero y Paredes (2023) evaluaron un edificio comercial con desplazamientos máximos de 26.45 cm (X) y 24.78 cm (Y), valores muy similares a los del presente estudio. En contraste, Jaramillo (2022) analizó una edificación de tres niveles con desplazamientos significativamente menores (14.71 cm), debido a su menor altura y rigidez.

Respecto a los puntos de fluencia, Galindo et al. (2022) encontraron valores de 9.8 cm (X) y 7.2 cm (Y), similares a los hallados en el bloque B, mientras que Flores (2020) identificó menores valores en una estructura sin diseño sismorresistente. En cuanto a la ductilidad, Carmelo (2022) reportó una mayor capacidad de deformación en la dirección Y (36.79 %) y Bravo (2021) encontró ductilidades de 20.1 cm (X) y 18.3 cm (Y), comparables a las obtenidas en el bloque B.

Finalmente, en términos de resistencia, el bloque B alcanzó valores de 910.76 Tnf para un sismo ocasional, 1007.93 Tnf para un sismo raro y 1032.13 Tnf para un sismo muy raro. Comparativamente, Medina y Galarza (2020) reportaron 850 Tnf y 1020 Tnf para sismos ocasional y raro respectivamente, mientras que Muñoz (2018) encontró una capacidad de 950 Tnf en hospitales.

## VI. Conclusiones

### Conclusión general

El nivel de desempeño sísmico del bloque B del nuevo Palacio Municipal de Abancay fue determinado en función de los distintos niveles de amenaza establecidos por el Comité Visión 2000, mediante el análisis no lineal estático (*Pushover*). En primer lugar, frente a un sismo ocasional (75 años de periodo de retorno), se registraron desplazamientos de 10.68 cm en la dirección XX y 7.06 cm en la YY, clasificando a la estructura en el nivel de desempeño Funcional, lo cual implica que puede continuar operando con daños mínimos y fácilmente reparables. En segundo lugar, ante un sismo raro (475 años), los desplazamientos fueron de 20.67 cm (XX) y 16.66 cm (YY), ubicándose en el nivel de desempeño Resguardo de Vida, es decir, si bien la edificación sufriría daños, estos no comprometerían la integridad estructural ni la seguridad de los ocupantes. Finalmente, frente a un sismo muy raro (970 años), se obtuvieron desplazamientos de 27.86 cm (XX) y 22.01 cm (YY), alcanzando el nivel de desempeño Colapso, situación en la cual la estructura presentaría daños severos, posiblemente irreparables, con riesgo de pérdida de estabilidad. Así, se evidencia un comportamiento estructural progresivo ante distintos niveles de exigencia sísmica, acorde a los criterios normativos.

### Conclusiones específicos

- ✓ La cortante de fluencia efectiva del bloque B del nuevo palacio municipal de la provincia de Abancay se determinó utilizando el análisis estático no lineal (*Pushover*). En la dirección XX, el desplazamiento para el punto de fluencia efectiva fue de 10.55 cm, resultando en una cortante de 910.76 toneladas fuerza (Tnf) para un sismo ocasional, 1007.93 Tnf para un sismo raro y 1032.13 Tnf para

un sismo muy raro. En la dirección YY, el desplazamiento para la fluencia efectiva fue de 6.61 cm, con una cortante de 650.00 Tnf para un sismo ocasional, 842.06 Tnf para un sismo raro y 894.69 Tnf para un sismo muy raro. Los puntos de fluencia efectiva para la dirección XX y para la dirección YY fueron 10.55 cm y 6.61 cm respectivamente estos valores se refiere a la tensión cortante máxima que un material puede soportar antes de experimentar deformación plástica. Este valor es crucial en la evaluación de la resistencia de materiales y estructuras frente a cargas cortantes. Es especialmente importante en el diseño de estructuras para asegurarse de que los materiales utilizados puedan soportar las cargas sin fallar.

- ✓ Los resultados del análisis mostraron que la estructura presenta distintos niveles de ductilidad dependiendo de la dirección del análisis y la magnitud del sismo. La ductilidad, para la dirección XX es 18.74 cm y para la dirección YY es 19.11cm estos valores se refiere a la capacidad de un material para deformarse plásticamente antes de fracturarse. En términos de un bloque específico, como el bloque B, la ductilidad es una medida de cuánto puede deformarse el bloque bajo cargas antes de alcanzar su punto de ruptura. Es una propiedad importante en el diseño estructural porque materiales más dúctiles pueden absorber más energía y deformarse más sin fallar catastróficamente, lo cual es deseable en situaciones de cargas sísmicas u otras condiciones dinámicas.
- ✓ El desplazamiento máximo del bloque B del nuevo palacio municipal evaluado mediante el análisis estático no lineal (Pushover), indicaron los siguientes desplazamientos máximos en la dirección XX 29.29 cm y en la dirección YY 25.72 cm estos valores se refiere a la máxima distancia que el bloque B puede desplazarse debido a las cargas aplicadas antes de alcanzar un estado de fallo o deformación crítica. Este valor es fundamental para el análisis de estabilidad y para diseñar medidas de control.

## VII. Recomendaciones

- ✓ Para mejorar el desempeño sísmico del bloque B del Nuevo Palacio Municipal de Abancay y asegurar la seguridad de sus ocupantes durante eventos sísmicos, se recomienda implementar un plan integral de fortalecimiento estructural y mantenimiento, que incluya refuerzos adecuados, inspecciones periódicas, actualización de normas de construcción, capacitación continua y la instalación de sistemas de monitoreo sísmico.
- ✓ Implementar refuerzos adicionales en las direcciones XX y YY para aumentar la capacidad de carga cortante y reducir los desplazamientos. Esto puede incluir el uso de materiales más resistentes o la adición de elementos estructurales como muros de corte.
- ✓ Incorporar dispositivos de disipación de energía, como amortiguadores sísmicos, que pueden ayudar a reducir las fuerzas sísmicas transmitidas a la estructura y mejorar la capacidad de la misma para absorber energía sin fallar.
- ✓ Establecer un sistema de monitoreo continuo para evaluar el comportamiento de la estructura durante eventos sísmicos. Esto permitirá detectar cualquier desviación de los parámetros de diseño y tomar medidas correctivas oportunas.

### VIII. Referencias

- Aguilar, R., Mora, D., & Tipanluisa, E. (2016). El método del espectro de capacidad en estructuras con aisladores FPT con CEINCI-LAB. *CIENCIA*, 18(1), 21-45. <https://journal.espe.edu.ec/ojs/index.php/ciencia/article/view/189>
- Arco, B. R., Morejón, G., & Vidaud, I. N. (2021). Evaluación del desempeño sísmico de la variante 3 modificada del Sistema constructiva. *CIGET*, 1(1), 99-115.
- Baeskhyroun, S., Navabian, N., Wotherspoon, L., & Ma, Q. (2020). Dynamic behaviour of a 13-story reinforced concrete building under ambient vibration forced vibration, and earthquake excitation. *Journal of Building Engineering*, 28.
- Bautista, H., & Paucca, Y. (2021). *Evaluación sísmica con métodos análisis dinámico modal espectral y tiempo historia en institución educativa 9 de diciembre - La Mar - Ayacucho*. Informe de investigación, Universidad Cesar Vallejo, Trujillo.
- Bergöing, J. P. (2015). Geomorfología estructural. En J. P. Bergöing, *Geomorfología de Centroamérica*.
- Betti, M., Galanoy, L., & Vignoli, A. (2015). Time-History Seismic Analysis of Masonry Buildings: A Comparison between Two Non-Linear Modelling Approaches. *Buildings*, 5(2), 597-621.
- Bhardwaj, S., Singh, P., & Dixit, S. (2022). Linear dynamic analysis of high-rise irregular structures with or without LFRS & frictional damper. *Materials Today: Proceedings*, 69, 499-507.
- Bravo, H. A. (2021). *Evaluación del desempeño sísmico de un edificio de concreto armado considerando los efectos de la interacción suelo-estructura, Lima, 2021*. Tesis de pregrado, Universidad Cesar Vallejo, Lima. [https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/77251/Bravo\\_MHA-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/77251/Bravo_MHA-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Calciña, R. M. (2017). *Evaluación del desempeño sísmico de un edificio de once pisos utilizando análisis estático y dinámico no lineal*. Informe de investigación, Universidad Privada de Tacna, Tacna.
- Carmelo, O. G. (2022). *Evaluación del desempeño sísmico de un edificio de concreto armado diseñado con la norma E.030 del 2003 mediante un Análisis No Lineal Estático*. Tesis de pregrado, Universidad Ricardo Palma, Lima.
- Chancafe, B. S., & Gonzales, C. (2021). *Evaluación del desempeño sísmico de un edificio multifamiliar de concreto armado de 8 pisos mediante un análisis Pushover, distrito de Santiago de Surco*. Tesis de pregrado, Universidad Ricardo Palma, Lima.
- Cienfuegos, M. L. (2022). *Evaluación del desempeño estructural utilizando el análisis no lineal de la I.E. 10202 "Virgen de la Paz" - Pacora*. Informe de investigación, Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, Chiclayo.
- Claros, R., Canedo, J. P., & Jaldín, L. A. (202). Avaliação dos objetivos de desempenho sísmico alcançados sob as exigências do guia de projeto sísmico boliviano 2020, no projeto de edifícios de concreto armado para o departamento de Cochabamba, Bolivia. *Brazilian Journal of Development*, 8(9).
- Colonia, L. A. (2017). *Análisis por desempeño sísmico de un edificio comercial de la ciudad de Carhuaz, Ancash, 2017*. Universidad Cesar Vallejo. [https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/13352/colonia\\_vl.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/13352/colonia_vl.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Contreras, D. J. (2023). *Evaluación del desempeño sísmico y propuesta de reforzamiento para una edificación escolar típica basada en el módulo 780 Pre NDSR-1997*. Pontificia Universidad Católica del Perú.

- <http://hdl.handle.net/20.500.12404/24459>
- Dos Santos, D. J., Carastan, D. J., Tavares, L. B., & Batalha, G. F. (2014). Polymeric Materials Characterization and Modeling. En *Comprehensive Materials Processing* (Vol. 2, págs. 37-63).
- El Peruano. (24 de enero de 2016). Decreto Supremo que modifica la Norma Técnica E.030 "Diseño sismorresistente" del reglamento nacional de edificaciones, aprobada por decreto supremo N! 011-2006-vivienda, modificada con decreto supremo n°002-2014-vivienda. *El Peruano*. <https://museos.cultura.pe/sites/default/files/item/archivo/Norma%20t%C3%A9cnica%20E.030%20Dise%C3%B1o%20sismorresistente.pdf>
- Escobar, a. a. (2018). *metodologia de la investigacion cientifica* .
- Esteva, J. A. (2020). (Secretaría de Obras y Servicios) <http://www3.contraloriadf.gob.mx/prontuario/resources/normatividad/67229.pdf>
- Farinango, L., Herrera, H., Correa, M., Hernández, L., & Parra, G. (enero-junio de 2022). Evaluación sísmica y rehabilitación de una edificación universitaria construida hace más de 40 años. *Ciencia, Ingeniería y Aplicaciones*, 5(1).
- Fernandez, W. (2018). *Análisis Pushover para evaluar el desempeño sísmico de una institución educativa en el Centro Poblado Yungasuyo, provincia Utcubamba- Amazonas*. Tesis de posgrado, Universidad Cesar Vallejo, Chiclayo.
- Flores, E. M. (2021). Evaluación del desempeño sismorresistente de una edificación mediante análisis estático no lineal Pushover: Estudio de caso. *Journal Boliviano de Ciencias*, 17(50).
- G., V. J., García, A. D., & Jaimes, M. Á. (2021). Impact of the Vertical Component of Earthquake Ground Motion in the Performance Level of Steel Buildings. *Applied Sciences*, 11(4).
- Galindo, D. L., Castro, M. M., Gaxiola, R., & Reyes, A. (2022). Evaluación del desempeño sísmico y de la confiabilidad de edificios de concreto reforzado diseñados en zonas de alta sismicidad.
- Gálvez, G. S., De la Colina, J., & Valdés, J. (2020). Estimación de los efectos de torsión accidental sísmica a partir de la amplificación de la respuesta de un modelo torsionalmente balanceado. (103), 56-76.
- Guanuchi, L. M., Carrasco, E. K., & Vaquez, A. A. (2023). Valoración del factor estructural y la vulnerabilidad sísmica de la construcción de viviendas ubicadas en talud a orilla del río Mariño en la ciudad de Abancay. *Revista de Investigación - UNAMBA*, 4.
- Guendelman, T. (2014). *Análisis estático y dinámico de estructuras* (segunda ed.). Universidad de La Serena.
- Guerrero, D. P. (2019). Análisis técnico y económico del diseño por desempeño de edificios con estructura de acero utilizando arriostramientos concéntricos. *Revista Gaceta Técnica*, 20(1), 4159. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.20052.86409>
- He, Z., Xu, H., Gardoni, P., Zhou, Y., Wnag, Y., & Zhao, Z. (2022). Seismic demand and capacity models, and fragility estimates for underground structures considering spatially varying soil properties. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 119.
- Hoyos, F. (2018). *Análisis Pushover para evaluar el desempeño sísmico de una institución educativa en el centro poblado Yungasuyo, provincia Utcubamba- Amazonas*. Informe de investigación, Universidad Cesar Vallejo, Chiclayo.
- Huanca, J. E., & Meléndez, M. A. (2016). *Análisis dinámico modal espectral de una edificación convencional y otra con aisladores sísmicos a nivel intermedio de la*

- estructura en la ciudad de Tacna*. Informe de investigación, Universidad Privada de Tacna.
- Huashua, M., & Sánchez, A. (2017). *Análisis de la vulnerabilidad sísmica de las viviendas autoconstruidas de la urbanización bellavista de la ciudad de Abancay-Apurímac*. Informe de investigación, Universidad Tecnológica de los Andes, Abancay.
- Instituto Geofísico del Perú. (enero-junio de 2011). *El Geofísico*(3).
- Izquierdo, R. J., & Mendoza, J. O. (2022). *Evaluación del desempeño sísmico en una edificación de dos niveles ubicada en el departamento de Lambayeque, aplicando el procedimiento no lineal elástico*. Universidad de Piura. [https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/5776/ICI\\_2225.pdf?sequence=1 &isAllowed=y](https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/5776/ICI_2225.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Jaramillo, J. A. (2022). *Evaluación del desempeño sísmico de una estructura aporticada en hormigón armado de tres niveles utilizando el análisis estático no lineal Pushover, Cantón Sanborondón*. Tesis de pregrado, Universidad de Guayaquil, Guayaquil.
- Kristombu, S., Mendis, P. T., & Sofi, M. (2019). Ductility Design of Reinforced Very-High Strength Concrete Columns (100–150 MPa) Using Curvature and Energy-Based Ductility Indices. *International Journal of Concrete Structures and Materials*, 13, 1- 23.
- Lago, A., Trabucco, D., & Wood, A. (2018). *Damping Technologies for Tall Buildings*.
- Lamsal, H., Arunkumar, C., & Umamaheswari, N. (agosto de 2022). Non-linear static and dynamic analysis of in-plane and out of plane discontinuity in vertical lateral force resisting elements. *AIP Conference Proceedings*, 2460(1).
- Llocle, A. (2021). *Evaluación de desempeño estructural utilizando análisis estático no lineal (Pushover) del bloque del nivel secundario del Colegio Emblemático Ladislao Espinar ubicado en la ciudad de Espinar - Cusco*. Informe de investigación, Universidad Peuana Unión, Juliaca.
- Lourenço, P. B. (2011). Types of analysis: Linear static, linear dynamic and non linear static. Portugal.
- Luna, J. P. (2021). *Diseño y evaluación del desempeño didmorresistente de un edificio porticado de concreto armado de diez pisos, Abancay, Apurímac-2021*. Tesis de pregrado, Universidad Cesar Vallejo, Lima.
- Maraboto, L. E. (2018). Peligro, vulnerabilidad y riesgo sísmico. *Ciencia*, 69(3), 30-35.
- martin, a. b. (2022). *Innovación Docente e Investigación en Ciencias, Ingeniería y Arquitectura: Experiencias de cambio en la Metodología Docente*.
- Medina, C., & Galarza, D. (2020). Análisis sísmico comparativo de una estructura irregular torsionalmente flexible aplicando NSP, MPA, NLRHA. *Revista Ingeniería de Construcción RIC*, 35(3), 257-274.
- Medina, R., & Music, J. (junio de 2018). Determinación del nivel de desempeño de un edificio habitacional estructurado en base a muros de hormigón armado y diseñado según normativa chilena. *Obras y proyectos*(23), 63-77.
- Mendoza, M., & Ayala, G. (2013). Procedimiento de evaluación de eificios de concreto reforzado basado en desempeño: desarrollo y validación. *Revista de Ingeniería sísmica*(88), 23-41.
- Menjivar, M. A., De Paz, J. H., & Sunley, S. (2020). *Lineamientos para la evaluación de la vulnerabilidad y readecuación estructural*.
- Meza, M. (2020). *Desempeño sísmico de una edificación esencial mediante métodos de análisis sísmico no lineal-Institución Educativa Santa Rosa, Abancay, Apurímac 2020*. Tesis de pregrado, Universidad Cesar Vallejo, Lima.

- Montero López, k. M., & paredes martínez, y. L. (2023). *Evaluación del desempeño sísmico del edificio comercial castro ubicado en la ciudad de quevedo, aplicando el análisis modal espectral y análisis estático no lineal (pushover)*.
- Moposita, E., Guaranga, C., Mas, M., & Noboa, G. (enero-junio de 2021). Vulnerabilidad sísmica del edificio ciencias de la salud y del ser humano. Universidad Estatal de Bolívar-2019. *Revista de Investigación Talentos*, 8(1).
- Mora, M. A., Villalba, J. D., & Maldonado, E. (julio-diciembre de 2006). Deficiencias, limitaciones, ventajas y desventajas de las metodologías de análisis sísmico no lineal. *Revista Ingeniería Universidad de Medellín*, 5(9), 59-74.
- Moreno, R., & Bairán, J. M. (diciembre de 2010). Curvas de fragilidad para evaluar el daño sísmico en edificios de concreto armado con losas reticulares. *Revista de la Facultad de Ingeniería Universidad Central de Venezuela*, 25(4).
- Mucha, J. (2019). *Evaluación del comportamiento sismorresistente de un centro educativo empleando la norma técnica E.0.30, anterior y la actual vigente*. Informe de investigación, Universidad Continental, Huancayo.
- Muñoz, A. (2020). *Comentarios a la norma peruana E.030 diseño sismorresistente*. Informe de revisión, Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción, Lima.
- Núñez, A. J. (2023). Metodologías de evaluación estructural por desempeño sísmico en edificaciones de concreto reforzado: estado del arte. *15(2)*, 256-264.
- Ocaña, A. P. (2016). *Análisis no lineal de un marco de un edificio de concreto reforzado, diseñado a ejes y con una excentricidad entre ejes*. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.
- Paredes, M. Á. (2023). *Evaluación del desempeño sismorresistente de un edificio destinado a vivienda en la ciudad de Lima aplicando el análisis estático no lineal pushover*. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. <https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/620673/?sequence=1paz>, g. b. (2014). *metodologia de la investigacion*. patria .
- Perez, A. (2019). *Evaluación del desempeño sísmico en edificaciones esenciales mediante la aplicación del análisis inelástico por desplazamiento*. Universidad Cesar Vallejo. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/31511>
- Pierre, A. J., & Hidayat, I. (2020). Seismic performance of reinforced concrete structures with pushover analysis. *IOP Publishing*, 426(1). <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/426/1/012045/pdf>
- Ponnada, M. R., & Reddi, P. (2020). Linear static analysis of multi storey building with horizontally asymmetric architectures. *Journal of Building Pathology and Rehabilitation*, 5(25), 1-10.
- Puican, W. M. (2019). *Desempeño sísmico de un edificio de 6 pisos, para identificar niveles de seguridad frente a movimientos sísmicos, Lima-2019*. Universidad CesarVallejo. [https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/39829/Puican\\_RWM.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/39829/Puican_RWM.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Pujol, S., & Rodríguez, M. E. (2019). Evaluación del comportamiento de muros no estructurales en edificios de la Ciudad de México en el terremoto del 19 de septiembre 2017. *Ingeniería sísmica*(101), 53-66.
- Quizanga, D. M., Viera, L. P., & Andino, J. L. (2020). Análisis estático no lineal de edificios aporticados de hormigón armado aplicando normativa ecuatoriana, colombiana y peruana. *FIGEMPA: Investigación y Desarrollo*, 1(1), 72-78.
- Rivera, K. A. (2018). *Estudio comparativo entre el análisis sísmico estático y dinámico para nuestra estructura regular mayor de 30m de altura en la ciudad de Huancayo*. Informe de investigación, Universidad Continental, Huancayo.