

**UNIVERSIDAD NACIONAL INTERCULTURAL  
“FABIOLA SALAZAR LEGUÍA” DE BAGUA**



**FACULTAD DE INGENIERÍAS  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO CIVIL**

**Evaluación del desempeño sísmico del edificio académico de la  
Universidad Nacional Intercultural Fabiola Salazar Leguía de  
Bagua mediante el método Pushover**

**Autor: Bach. Esli Josue Leon Santos**

**Asesor: Mg. Carlos Luis Lapa Zarate**

**Co-Asesor: Mg. Guzman Saucedo Bautista**

**BAGUA – PERÚ**

**2025**

## **DEDICATORIA**

Quiero empezar agradeciendo a Dios, quien me dio la oportunidad de llegar hasta este hito y la fortaleza alcanzar todos mis sueños. También, a mis padres, Temporo y Zoila, por inculcarme esos principios que los hacen únicos y que me mostraron siempre con cariño y su propio actuar. Y, claro, a mis hermanos, cuyo respaldo incondicional ha sido vital en esta trayectoria, siendo clave para que pudiera alcanzar todo lo que me propuse.

## **AGRADECIMIENTO**

En primer lugar agradezco a Dios por brindarme mi salud y la fortaleza necesaria para terminar con éxito mis estudios. A mis queridos padres, por su perseverancia, su esfuerzo y su sacrificio constante. A mis estimados docentes, por compartir generosamente con sus enseñanzas. Y a todas las personas que me creyeron en mí desde un principio y a aquellos que me ayudaron desde los inicios de esta linda carrera, siempre estaré muy agradecido con cada persona que se presenta en mi vida y me brinda su apoyo.

## INDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA .....	ii
AGRADECIMIENTO .....	iii
INDICE DE CONTENIDOS .....	iv
INDICE DE TABLAS .....	v
INDICE DE FIGURAS.....	vi
RESUMEN.....	viii
ABSTRACT .....	ix
INTRODUCCIÓN.....	x
I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	11
1.1. Determinación del problema de investigación.....	11
1.2. Formulación del problema .....	11
1.3. Objetivos: General y específicos.....	11
1.4. Importancia y alcance de la investigación .....	12
1.5. Limitaciones de la investigación.....	12
II. MARCO TEÓRICO .....	13
2.1. Antecedentes del estudio.....	13
2.2. Bases teóricas de la primera y segunda variable .....	22
2.3. Definición de términos básicos .....	57
III. HIPÓTESIS Y VARIABLES .....	59
3.1. Hipótesis.....	59
3.2. Variables.....	59
3.3. Operacionalización de variables .....	59
IV. METODOLOGÍA .....	61
4.1. Enfoque de investigación.....	61
4.2. Tipo de investigación .....	61
4.3. Diseño de investigación .....	61
4.4. Método .....	61
4.5. Población y muestra .....	63
4.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	65
4.7. Validez y confiabilidad de instrumentos .....	66
4.8. Contrastación de hipótesis.....	67
V. RESULTADO .....	70
5.1. Presentación y análisis de resultados .....	70
5.2. Discusión de resultados.....	89
VI. CONCLUSIONES .....	91
VII. RECOMENDACIONES .....	92
VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	93
ANEXOS.....	96

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b>	Estados de daño y niveles de desempeño según el Comité Visión 2000 .....	43
<b>Tabla 2</b>	Niveles de desempeño para componentes estructurales según ATC-40.....	44
<b>Tabla 3</b>	Niveles de desempeño para componentes no estructurales según ATC-40.....	45
<b>Tabla 4</b>	Niveles de desempeño fundamentales para una estructura segun ATC-40.....	47
<b>Tabla 5</b>	Niveles y rangos de desempeño para componentes estructurales según ASCE 41-17.....	48
<b>Tabla 6</b>	Niveles de desempeño para componentes no estructurales segun ASCE 41-17. ...	49
<b>Tabla 7</b>	Niveles de desempeño más comunes de un edificio.....	50
<b>Tabla 8</b>	Objetivos de desempeño en edificaciones nuevas según ASCE 41-17.....	52
<b>Tabla 9</b>	Niveles de amenaza sísmica según comité VISION 2000.....	54
<b>Tabla 10</b>	Niveles de amenaza sísmica según ATC-40.....	54
<b>Tabla 11</b>	Niveles de amenaza sísmico según ASCE 41-17.....	55
<b>Tabla 12</b>	Operacionalización de las variables.....	60
<b>Tabla 13</b>	Puntos de desempeño en el sentido X y Y.....	67
<b>Tabla 14</b>	Especificaciones estructurales del edificio académico de la Unifslb.....	70
<b>Tabla 15</b>	Características de los materiales empleados.....	70
<b>Tabla 16</b>	Desplazamientos relativos en los ejes X e Y.....	74
<b>Tabla 17</b>	Valores de cortante en los ejes X y Y.....	75
<b>Tabla 18</b>	Fuerzas laterales en la dirección X.....	84
<b>Tabla 19</b>	Fuerzas laterales en la direccion Y.....	85
<b>Tabla 20</b>	Curva de capacidad – Ejes X e Y.....	85
<b>Tabla 21</b>	Espectro de capacidad en la dirección X.....	86
<b>Tabla 22</b>	Espectro de capacidad en la dirección Y.....	86
<b>Tabla 23</b>	Puntos de desempeño en la dirección X.....	86
<b>Tabla 24</b>	Puntos de desempeño en la dirección Y.....	86
<b>Tabla 25</b>	Evaluación de los niveles de desempeño sísmico según el ATC – 40.....	89
<b>Tabla 26</b>	Condiciones sísmicas de diseño.....	112
<b>Tabla 27</b>	Peso de la edificación.....	115
<b>Tabla 28</b>	Fuerza cortante sísmica en el sentido X.....	115
<b>Tabla 29</b>	Fuerza cortante sísmica en el sentido Y.....	116
<b>Tabla 30</b>	Periodos y masa participativa de cada modo de vibración.....	117
<b>Tabla 31</b>	Valores de la cortante mínima en los ejes X y Y.....	122
<b>Tabla 32</b>	Valores maximos de deriva por nivel en el eje X.....	122
<b>Tabla 33</b>	Valores maximos de deriva en Y.....	123
<b>Tabla 34</b>	Fuerzas laterales en la direccion X y Y para el Analisis No Lineal Pushover.....	127
<b>Tabla 35</b>	Evaluación de los niveles de desempeño sísmico según el ATC 40.....	138

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b>	Modelos de concreto no confinado.....	23
<b>Figura 2</b>	Modelo de Mander. ....	23
<b>Figura 3</b>	Modelo Elastoplástico Perfecto. ....	24
<b>Figura 4</b>	Modelo Trilineal.....	25
<b>Figura 5</b>	Modelo Elastoplástico con endurecimiento de curva completa.....	25
<b>Figura 6</b>	Modelo momento - curvatura.....	26
<b>Figura 7</b>	Diagrama momento – curvatura. ....	27
<b>Figura 8</b>	Idealización de daño en vigas. ....	28
<b>Figura 9</b>	Idealización de daño equivalente. ....	28
<b>Figura 10</b>	Diagrama momento – giro.....	29
<b>Figura 11</b>	Idealización del diagrama Momento - Giro. ....	30
<b>Figura 12</b>	Idealización nudos rígidos y rótulas.....	31
<b>Figura 13</b>	Tipos de análisis sísmicos.....	34
<b>Figura 14</b>	Secuencia del Pushover.....	35
<b>Figura 15</b>	Esquema del Análisis Pushover. ....	36
<b>Figura 16</b>	Curva de capacidad idealizada. ....	37
<b>Figura 17</b>	Representación de la Curva de Capacidad. ....	37
<b>Figura 18</b>	Transformación de la Curva a Espectro de Capacidad.....	38
<b>Figura 19</b>	Representación Bilineal del Espectro de Capacidad. ....	40
<b>Figura 20</b>	Metodología con enfoque a diseño por desempeño. ....	42
<b>Figura 21</b>	Niveles de desempeño para las estructuras según el ATC-40.....	46
<b>Figura 22</b>	Objetivos del desempeño según comité VISION 2000. ....	51
<b>Figura 23</b>	Objetivos de seguridad básica según ATC-40. ....	52
<b>Figura 24</b>	Método para hallar el punto de desempeño. ....	57
<b>Figura 25</b>	Diagrama de Flujo para el desarrollo del Metodo Pushover. ....	62
<b>Figura 26</b>	Campus universitario de la Unifslb. ....	63
<b>Figura 27</b>	Ubicación del edificio académico de la Unifslb. ....	64
<b>Figura 28</b>	Infraestructura del edificio académico de la Unifslb. ....	65
<b>Figura 29</b>	Plano del planteamiento arquitectónico del edificio académico de la Unifslb. ....	70
<b>Figura 30</b>	Valores máximos de desplazamiento absolutos en los ejes X e Y. ....	71
<b>Figura 31</b>	Desplazamientos relativos en los ejes X e Y.....	73
<b>Figura 32</b>	Representación de la curva de capacidad en el eje X. ....	76
<b>Figura 33</b>	Punto de desempeño en la dirección X para sismo según FEMA 440 AL.....	77
<b>Figura 34</b>	Punto de desempeño en la dirección X, SS. ....	77
<b>Figura 35</b>	Punto de desempeño en la dirección X, SD. ....	78
<b>Figura 36</b>	Punto de desempeño en la dirección X, SM.....	78
<b>Figura 37</b>	Representación de la curva de capacidad en el eje Y.....	79
<b>Figura 38</b>	Punto de desempeño en la dirección Y, para sismo definido por FEMA 440 AL. ....	80
<b>Figura 39</b>	Punto de desempeño en la dirección Y, SS. ....	81
<b>Figura 40</b>	Punto de desempeño en la dirección Y, SD.....	81
<b>Figura 41</b>	Punto de desempeño en la dirección Y, SM. ....	82
<b>Figura 42</b>	Modelo estructural en el que se visualizan los step, en la dirección del eje X. ...	83
<b>Figura 43</b>	Modelo estructural donde se visualizan las rótulas plásticas en el eje Y.....	84
<b>Figura 44</b>	Curva de capacidad del eje X.....	87
<b>Figura 45</b>	Curva de capacidad del eje Y. ....	88
<b>Figura 46</b>	Dimensiones de la estructura a ingresar en el software Etabs. ....	97
<b>Figura 47</b>	Asignación de propiedades del concreto.....	98
<b>Figura 48</b>	Asignación de propiedades de acero. ....	99

<b>Figura 49</b>	Plano estructural de la edificación.....	100
<b>Figura 50</b>	Características de los muros estructurales.....	100
<b>Figura 51</b>	Muro estructural PL-01 de la edificación.....	101
<b>Figura 52</b>	Muro estructural PL-02 de la edificación.....	101
<b>Figura 53</b>	Muro estructural PL-03 de la edificación.....	102
<b>Figura 54</b>	Características de las vigas.....	102
<b>Figura 55</b>	Vigas de la edificación.....	103
<b>Figura 56</b>	Colocación de las losas aligeradas. ....	105
<b>Figura 57</b>	Verificación del modelo. ....	105
<b>Figura 58</b>	Patrones de cargas. ....	106
<b>Figura 59</b>	Cargas uniformes asignadas a la edificación. ....	106
<b>Figura 60</b>	Carga viva y carga muerta asignada. ....	107
<b>Figura 61</b>	Cargas distribuidas asignadas a la edificación. ....	108
<b>Figura 62</b>	Carga muerta distribuida en ambas direcciones en las vigas de la edificación. ....	108
<b>Figura 63</b>	Selección de los apoyos y asignación de las restricciones. ....	109
<b>Figura 64</b>	Generación del brazo rígido en la edificación.....	110
<b>Figura 65</b>	Discretización de las losas aligeradas.....	110
<b>Figura 66</b>	Visualización en planta del primer nivel de la edificación. ....	111
<b>Figura 67</b>	Visualización en 3D de la edificación. ....	111
<b>Figura 68</b>	Asignación del diafragma rígido. ....	113
<b>Figura 69</b>	Definición del sismo estático. ....	113
<b>Figura 70</b>	Definición del Peso de la edificación. ....	114
<b>Figura 71</b>	Modos de vibración de la edificación.....	118
<b>Figura 72</b>	Espectro de diseño en el sentido X en la edificación.....	120
<b>Figura 73</b>	Espectro de diseño en el sentido Y de la edificación.....	121
<b>Figura 74</b>	Definición de las características no lineales del concreto. ....	125
<b>Figura 75</b>	Modelo esfuerzo – deformación del acero según Park.....	126
<b>Figura 76</b>	Determinación de la carga gravitacional no lineal.....	128
<b>Figura 77</b>	Definición del Pushover en el eje X.....	129
<b>Figura 78</b>	Definición del Pushover en el eje Y. ....	129
<b>Figura 79</b>	Asignación de rotulas plásticas en X y Y en la edificación.....	130
<b>Figura 80</b>	Definición de las rotulas plásticas en vigas. ....	130
<b>Figura 81</b>	Repartición de acero en los muros estructurales.....	132
<b>Figura 82</b>	Definición de rotulas plásticas en los muros estructurales.....	133
<b>Figura 83</b>	Indicadores para la definición de rotulas en los muros estructurales.....	133
<b>Figura 84</b>	Representación de la curva de capacidad en el eje X. ....	134
<b>Figura 85</b>	Representación de la curva de capacidad en el eje Y.....	135
<b>Figura 86</b>	Curva de capacidad en el eje X.....	136
<b>Figura 87</b>	Curva de capacidad en el eje Y. ....	137

## RESUMEN

El objetivo principal de la presente tesis fue determinar el nivel de desempeño sísmico del edificio académico de la Universidad Nacional Intercultural Fabiola Salazar Leguía de Bagua, mediante el método Pushover. La investigación se centra en el análisis estructural del mencionado edificio académico, aplicando un método de evaluación rápida y efectiva. La metodología empleada se desarrolló como un estudio de tipo descriptivo, con un enfoque cualitativo y cuantitativo, bajo un diseño no experimental y de corte transversal. Para este análisis se hizo un modelamiento en el programa ETABS 22.4.0, junto con el análisis estático y dinámico, y la utilización de modelos constitutivos no lineales para el concreto y el acero, así como el cálculo de los puntos y niveles de desempeño siguiendo los lineamientos del RNE, FEMA 440 y ATC – 40.

De acuerdo con el procedimiento seguido por las normativas mencionadas, los resultados revelaron que el edificio evaluado tiene un comportamiento estructural acorde a las demandas sísmicas de (SS) y (SD). En la dirección X los desplazamientos han sido 41.5 mm (SS) y 104.5 mm (SD) mientras que para la dirección Y se han obtenido 53.20 mm (SS) y 97.19 mm (SD). Manteniéndose dentro de los límites establecidos para los niveles de (IO) y (LS). No obstante, ante un Sismo Máximo (SM), la estructura evidencia desempeño crítico. En la dirección X, el desplazamiento alcanzó los 142.6 mm, valor que representa un estado de precolapso, ubicado entre los niveles de (LS) y (CP). Aunque la edificación no colapsa, el daño estructural es severo, comprometiendo su integridad y operatividad. En la dirección Y, el desplazamiento fue de 138.4 mm, superando el umbral de desempeño aceptable, y ubicándose en el nivel de Prevención de Colapso (CP), lo que evidencia una condición estructural inaceptable para una edificación destinada a funciones académicas.

Se concluye que el edificio cumple con el nivel de desempeño Seguridad de Vida (LS) para un sismo de diseño (SD), Sin embargo, frente a los siguientes casos de sismo como un sismo máximo (SM) en dirección X, se alcanza un estado cercano a precolapso, pero no se supera el límite estructural, por lo que puede considerarse críticamente aceptable; mientras que en dirección Y, el nivel de daño es mayor y supera los límites de desempeño de Seguridad de Vida, lo que implica colapso parcial o total, invalidando el objetivo de desempeño para esta dirección en este escenario. La implementación de los modelos Mander et al. (1988) y Park y Paulay (1988) en el programa ETABS 22.4.0 permitió capturar con precisión el comportamiento no lineal esperado del concreto armado en el análisis Pushover. Esto se refleja en la forma de la curva de capacidad estructural obtenida.

**Palabras clave:** desplazamientos horizontales, derivas máximas, demanda sísmica, objetivo de desempeño, nivel de desempeño.

## ABSTRACT

The main objective of this thesis was to determine the seismic performance level of the Fabiola Salazar Leguía National Intercultural University of Bagua, through the Pushover method. The research focuses on the structural analysis of the aforementioned academic building, applying a rapid and effective assessment method. The methodology employed was a descriptive study, with a qualitative and quantitative approach, under a non-experimental, cross-sectional design. For this analysis, modeling was performed using the ETABS 22.4.0 software, along with static and dynamic analysis, and the use of nonlinear constitutive models for concrete and steel. Performance points and levels were calculated following the guidelines of the RNE, FEMA 440, and ATC-40.

In accordance with the procedure followed by the aforementioned regulations, the results revealed that the evaluated building exhibits structural behavior consistent with the seismic demands of (SS) and (SD). In the X direction, the displacements were 41.5 mm (SS) and 104.5 mm (SD), while in the Y direction, they were 53.20 mm (SS) and 97.19 mm (SD). These displacements remained within the limits established for the (IO) and (LS) levels. However, in the event of a Maximum Earthquake (SM), the structure showed critical performance. In the X direction, the displacement reached 142.6 mm, a value that represents a pre-collapse state, located between the (LS) and (CP) levels. Although the building did not collapse, the structural damage was severe, compromising its integrity and operability. In the Y direction, the displacement was 138.4 mm, exceeding the acceptable performance threshold and falling within the Collapse Prevention (CP) level, demonstrating an unacceptable structural condition for a building intended for academic functions. It was concluded that the building meets the Life Safety (LS) performance level for a design earthquake (SD). However, in the following earthquake cases, such as a maximum earthquake (SM) in the X direction, a state close to pre-collapse is reached, but the structural limit is not exceeded, so it can be considered critically acceptable; while in the Y direction, the level of damage is greater and exceeds the Life Safety performance limits, implying partial or total collapse, invalidating the performance objective for this direction in this scenario. The implementation of the Mander et al. (1988) and Park and Paulay (1988) models in the ETABS 22.4.0 program made it possible to accurately capture the expected nonlinear behavior of reinforced concrete in the Pushover analysis. This is reflected in the shape of the obtained structural capacity curve.

**Keywords:** horizontal displacements, maximum drifts, seismic demand, performance objective, performance level.

## INTRODUCCIÓN

En Perú el análisis estructural se rige por el “Reglamento Nacional de Edificaciones – RNE”, el cual es la norma técnica de cumplimiento obligatorio con el objetivo de buscar la defensa de la vida de los ciudadanos y del patrimonio del estado. Es por tal motivo que este Reglamento no es solo una guía de diseño sino una directriz imprescindible en el diseño estructural y cada una de las demás etapas del desarrollo de una edificación. Así mismo, es el único marco normativo que establece las pautas y parámetros esenciales de calidad para el diseño, producción y conservación de las edificaciones y habilitaciones urbanas.

En el ámbito de la ingeniería es común realizar análisis de índole lineal para las edificaciones a construir, y esta práctica es adecuada en el marco jurídico Peruano, sin embargo, en ocasiones es fundamental realizar un estudio no lineal a la estructura, dicho análisis se trata de un procedimiento orientado a examinar el comportamiento no lineal que presenta la estructura ante movimientos repentinos del terreno conocido como sismos.

Durante el presente documento se realiza una breve síntesis de la estructura, teniendo en cuenta; su amenaza sísmica, el análisis lineal y el diseño estructural. Con base en la información del diseño estructural se realiza la evaluación para ejecutar un análisis no lineal, es importante considerar tanto la no linealidad inherente a los materiales como aquella asociada a la geometría del sistema.

Como resultado, se obtiene una valoración detallada del desempeño estructural, verificando su comportamiento en consonancia siguiendo los criterios establecidos de aceptabilidad especificados por el ATC 40.

## I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 1.1. Determinación del problema de investigación

Nuestro país está situado dentro del espacio denominado Anillo de Fuego del Pacífico, espacio importante con erupciones volcánicas y sísmicas bastante elevadas, ubicada en los litorales del Océano Pacífico, representa por las subducciones más importantes del mundo, donde dos placas interactúan, la Continental (Sudamericana) y Oceánica (Nazca); esta interacción tiene como efecto una intensa actividad sísmica.

En el mundo los terremotos sucedidos continuamente han ocasionado amplias pérdidas materiales y humanas. Mediante movimientos bruscos del terreno en la litosfera la energía acumulada, las zonas pobladas sufren daños de manera indirecta y directa por parte de los terremotos, ya que estos terremotos se difunden por ondas en el suelo y su grado de daño varía según la localización del epicentro, nuestro país es parte de los espacios que cuentan con una alta actividad sísmica motivo por el cual es fundamental que en nuestra realidad nacional usemos los más actualizados avances de la ingeniería sísmica.

Los sismos son productos de actividad de las placas tectónicas, lo que puede provocar daños significativos en las estructuras. Por lo tanto, para anticipar como se desempeñará una edificación frente a un acontecimiento sísmico es fundamental analizar cómo responden los materiales y elementos de las estructuras para así poder evaluar el rendimiento de la estructura ante tales eventos.

### 1.2. Formulación del problema

#### 1.2.1. *Problema general*

¿Cuál es el nivel desempeño sísmico del edificio académico de la Universidad Nacional Intercultural Fabiola Salazar Leguía de Bagua, a través del Método Pushover?

#### 1.2.2. *Problemas específicos*

¿Cuál es el nivel de desempeño sísmico del edificio académico de la Universidad Nacional Intercultural Fabiola Salazar Leguía de Bagua a través del método Pushover para los distintos niveles de demanda sísmica?

¿Cuáles son los modelos constitutivos de los materiales como el acero y concreto que se usan en una estructura de concreto armado?

### 1.3. Objetivos: General y específicos

#### 1.3.1. *Objetivo general*

Estimar el nivel de desempeño sísmico del edificio académico de la Universidad Nacional Intercultural Fabiola Salazar Leguía de Bagua a través del método Pushover.

### **1.3.2. Objetivos específicos**

- Determinar los niveles de desempeño sísmico del edificio académico de la Universidad Nacional Intercultural Fabiola Salazar Leguía de Bagua para los distintos niveles de demanda sísmica.
- Determinar los modelos constitutivos de los materiales como el acero y concreto que se usan en una estructura de concreto armado.

### **1.4. Importancia y alcance de la investigación**

Nuestro estudio posee una significativa importancia, se justifica en base a que la infraestructura del edificio de la Universidad Nacional Intercultural Fabiola Salazar Leguía, esta posee un cálculo sísmico generalizado mas no tiene un cálculo con un método no lineal que es mucho más preciso, cuando se evalúa el desempeño sísmico. Asimismo, en la ingeniería sísmica esta es un área que se ha encaminado al avance de modernos métodos de diseño sísmico y evaluación, dirigiendo peculiar importancia en los métodos no lineales fundamentados en la capacidad de la curva.

Los errores tienen un alto valor financiero, incluso alcanzan a causar que las construcciones permanezcan sin funcionar, pero monitoreando es posibles reducir el efecto, por esa razón se requiere calcular el desempeño sísmico de las existentes construcciones, dado que, en innumerables investigaciones en últimos decenios, se han sumado los métodos no lineal estáticos, lo que permite alcanzar una definición mejorada sobre la exigencia que imponen los movimientos sísmicos en un edificio, alcanzando una nueva y mejorada definición de los métodos habituales ( análisis lineal).

### **1.5. Limitaciones de la investigación**

El modelo estructural ha sido elaborado tomando como base tanto las observaciones realizadas en campo como la recopilación de datos contenida en los planos proporcionados en la documentación técnica del proyecto. Sin embargo, es importante señalar que no se dispone de datos que confirmen posibles variaciones dentro de la proporción de acero o bien en las dimensiones específicas de los refuerzos longitudinales en los componentes estructurales a lo largo de la etapa de construcción. En este contexto, cualquier alteración que pudiera haber ocurrido en los materiales o en las especificaciones técnicas no puede ser verificada de manera fehaciente, dado que no se cuenta con documentación complementaria que respalde dichas modificaciones. Esta limitación introduce un grado de incertidumbre en el modelo analítico, ya que cualquier discrepancia entre lo proyectado y lo realmente ejecutado podría repercutir en los hallazgos derivados del análisis estructural.

## II. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes del estudio

#### 2.1.1. Antecedentes internacionales

Merchan & Guillén (2023) en su trabajo de investigación titulado “Estudio de desempeño sísmico de una estructura para un parqueadero en el Cantón Santa Elena”, plantearon como objetivo fundamental evaluar cómo se comportaba estructuralmente una edificación destinada a estacionamiento frente a eventos sísmicos, empleando dos perspectivas de evaluación: el Análisis Lineal y el Análisis Pushover. A través del uso de estos métodos, los autores buscaron establecer el potencial de respuesta de la estructura, enfocándose en su capacidad resistente y deformabilidad bajo cargas sísmicas incrementales. Para ello, implementaron el método Pushover, una técnica no lineal que se fundamenta en la implementación gradual de fuerzas laterales, permitiendo identificar el orden de la aparición de las rotulas plásticas en los componentes estructurales críticos, lo cual es fundamental para definir el punto de inicio de fallos locales y el posterior potencial de absorción de energía de la estructura. Esta metodología también facilitó la construcción de la curva de capacidad, un elemento clave que establece el vínculo entre los desplazamientos máximos en el nivel último y la fuerza en la base aplicada, proporcionando así un panorama detallado sobre el comportamiento estructural ante diversos niveles que hay de demanda sísmica.

El estudio del desempeño sísmico de esta edificación permitió evidenciar que ante un evento sísmico correspondiente a un sismo de diseño mediante un intervalo de recurrencia de 1500 años y un factor de importancia de 1.3 en los ejes X e Y, la edificación ingresa en áreas de fallo y pre-fallo, reflejando un comportamiento estructural que, aunque crítico, aún se encuentra dentro de los márgenes considerados aceptables para resistir dicho evento sísmico. Esta situación sugiere que los sistemas estructurales presentan una capacidad de resistencia adecuada ante las exigencias sísmicas asociadas a eventos de diseño de esa magnitud. Sin embargo, al considerar un sismo clasificado como muy raro, la curva de capacidad muestra un descenso hacia la zona de colapso, evidenciando una disminución significativa en la habilidad de captura y liberación de energía sin que se sobrepase el límite de estabilidad de la curva.

A través del Análisis Pushover se determinó que la curva de capacidad la estructura evidencia un comportamiento lineal, lo que permite comprender que la incorporación de paredes de corte contribuye de manera significativa a rigidizar el sistema estructural. Esta rigidez adicional asegura que, incluso ante cargas laterales elevadas, la estructura mantenga una respuesta estable, evitando deformaciones excesivas y retrasando la manifestación de daños significativos en los la manifestación de daños principales.

Castellanos (2021) en su trabajo de titulación denominado “Evaluación de Desempeño Sísmico del Edificio de la Universidad Internacional Sek Ubicado en el Campus Felipe Segovia

Olmo”, se planteó como objetivo fundamental la elaboración de un análisis técnico centrado en el estudio de cómo se desempeñaba sísmicamente la edificación en cuestión. Para llevar a cabo dicho estudio, se empleó un programa matemático fundamentado en el método de elementos finitos, cuya aplicación y finalidad fue establecer la respuesta no lineal de la edificación situado en las instalaciones del campus FELIPE SEGOVIA OLMO pertenecientes a la Universidad Internacional SEK.

El enfoque metodológico adoptado en la investigación se sustentó durante el desarrollo del Método Estático No Lineal Pushover, un método analítico que permitió lograr respuestas estructurales bajo cargas laterales incrementales, facilitando la identificación del comportamiento estructural ante eventos sísmicos severos. Mediante esta metodología, el autor logró abordar las preguntas de investigación y llegar a conclusiones significativas.

Entre los resultados obtenidos, se identificó que el desplazamiento en el sentido X registró un valor máximo de 36 cm, situándose en un rango cercano al límite de colapso de acuerdo con los lineamientos definidos en la reglamentación actual. Sin embargo, a pesar de la magnitud del desplazamiento, no se evidenció un colapso estructural total, aunque sí se registraron niveles considerables de daño que reflejan la vulnerabilidad de la estructura.

En el estudio realizado por (Monroy, 2024) titulado “Diseño y Evaluación Sísmica Mediante un Análisis No Lineal del Edificio en Concreto Reforzado Harmony Hub”, se estableció como objetivo principal presentar un análisis integral que abarca tanto un enfoque lineal como no lineal aplicado a la infraestructura del edificio Harmony Hub, situado en el municipio de Armenia, Colombia.

Para cumplir con dicho objetivo, el estudio fue desarrollado en dos fases diferenciadas. En un inicio, la primera fase implicó un estudio lineal que se llevó a cabo conforme a lo estipulado en el Título A de la NSR-10, abarcando la verificación en los elementos estructurales esenciales de la construcción. En esta fase, se centró en evaluar los componentes estructurales bajo condiciones elásticas, asegurando el cumplimiento de los parámetros normativos.

La segunda fase incluyó una evaluación no lineal de la construcción, incluyendo las repercusiones de la respuesta no lineal del material, la geometría y la plastibilidad de la cimentación. Esta parte del procedimiento fue desarrollada de acuerdo con los lineamientos del documento ASCE41-17, lo que permitió profundizar en la caracterización del desempeño estructural ante cargas sísmicas severas y determinar la respuesta del sistema superando el límite elástico.

En cuanto a los hallazgos resultantes, el análisis no lineal permitió examinar la respuesta estructural a partir de las curvas de capacidad, lo que evidenció que el coeficiente de disipación de energía  $R$  utilizado en el análisis lineal, con un valor de 5.6, resultó ser superior al coeficiente de dispersión de energía derivado del método Pushover. Los valores obtenidos fueron  $R_x = 5.45$  y  $R_y = 5.05$ , lo que indica que las fuerzas de diseño consideradas

en el análisis lineal no alcanzaron a generar el desarrollo de las rotulas plásticas antes de alcanzar la capacidad de la fuerza de corte en la base de la estructura. Esta conclusión refuerza la importancia de una evaluación detallada que contemple como la edificación se comporta tanto lineal como no linealmente para así garantizar un diseño estructural seguro y eficiente.

La correspondencia entre los requerimientos y su resistencia de los componentes estructurales enunciados con respecto a las fuerzas cortantes para estos elementos fue de 0.8, 0.78 y 0.96 para vigas, columnas y muros respectivamente, debido a que estos valores no sobrepasan el valor de la unidad los elementos cumplen con los indicadores de aceptación tanto de la normativa ASCE 41-7 y la NSR-10.

El estudio sustentado en el análisis dinámico no lineal (NDP) implementado en la edificación permitió determinar que la edificación evaluada alcanzó el nivel de desempeño propuesto establecido, cumpliendo satisfactoriamente con los parámetros y requisitos de aceptación estipulados establecidos en la ASCE 41-17 como en la regulación colombiana NSR-10. Dicho análisis proporcionó un enfoque para evaluar la respuesta estructural bajo demandas sísmicas severas, considerando tanto las implicancias de la no linealidad del material tales como los aspectos dinámicos del sistema.

En el estudio desarrollado por Hernández & Cruz (2022) denominada “Evaluación del Nivel de Desempeño Sísmico de la Estructura de Concreto Reforzado del Módulo G de la División Ciencias de la Ingeniería en el Centro Universitario del Occidente de la Universidad de San Carlos de Guatemala Mediante un Análisis Estático No Lineal Push-over”, el propósito central fue determinar el comportamiento sísmico del Módulo “G”, perteneciente a la División Ciencias de la Ingeniería del Centro Universitario de Occidente, Universidad de San Carlos – USAC, situado en Quetzaltenango, Guatemala, a través del empleo del Análisis Estático No Lineal Push-Over.

Antes de proceder con el Método no lineal, se llevó a realizar una evaluación estructural enfocada en un estudio modal espectral. Esta fase inicial tuvo como finalidad identificar las derivas de la estructura y verificar su adherencia según los lineamientos definidos en la regulación sísmica actual en Guatemala, promulgada por la Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica – AGIES.

La aplicación del Análisis Estático No Lineal se basó en el enfoque optimizado del diagrama de demanda-capacidad, el cual incorpora el espectro de diseño de ductilidad constante desarrollado por los autores Anil K. Chopra y Rakesh K. Goel. Este enfoque se basa en el espectro elástico definido por AGIES, correspondiente a la zona de estudio, permitiendo obtener espectros para diferentes niveles de ductilidad.

Tras definir las curvas de demanda y capacidad, los datos son transformados a coordenadas espectrales, permitiendo integrar ambos conjuntos en una única gráfica de

demanda-capacidad, con la finalidad de localizar el nivel de su desempeño de la construcción y evaluar su actuación conforme a los parámetros de aprobación definidos.

En los hallazgos obtenidos, se concluyó que en cuanto a las metas de desempeño estructural permiten anticipar los niveles de afectación en los diseños estructurales, proporcionando una base para establecer estrategias adecuadas de intervención.

En cuanto a la absorción de energía inducida por movimientos del terreno se observó que aproximadamente el 74% del aporte energético es absorbida por la disipación natural de los materiales del sistema estructural E4. Adicionalmente, un 10% corresponde a la energía cinética, un 7.5% a la respuesta elástica del sistema y un 8.5% a la disipación a través del amortiguamiento histerético, que comprende deformaciones, fisuración, generación de calor y otros procesos de disipación.

Finalmente, se comprobó que al utilizar adecuadamente once (11) conjuntos de datos acelerográficos y considerando la reacción media, la relación D/C en los objetivos de desempeño resultó inferior a la reacción más intensa obtenida con tres (3) pares de datos sintéticos. Por ello, el estudio concluyó que es más viable emplear los once (11) conjuntos de datos recomendados por ASCE para un análisis más representativo.

En el trabajo de titulación presentado por (Segura, 2021) titulado “Comparación del Desempeño Sísmico Mediante Análisis Estático No Lineal (PUSHOVER) de dos Edificaciones en Concreto Reforzado Situadas en Zona de Amenaza Sísmica Alta con Grado de Disipación de Energía Des, Diseñadas bajo los Criterios del AIS 114-17 y la Norma NSR-10”, se planteó como objetivo principal realizar un estudio comparativo del comportamiento sísmico entre dos edificaciones localizadas en una región de alta peligrosidad sísmica. Estas estructuras, diseñadas para disipar energía mediante un grado de disipación DES, comparten configuraciones geométricas similares tanto en planta como en elevación, permitiendo así un análisis comparativo más homogéneo al implementar el Método Pushover.

En su parte inicial del estudio, se efectuó un Análisis Estático No Lineal (Pushover), que fue complementado por el Procedimiento de los Desplazamientos Ajustados, según lo indicado en la ASCE/SEI 41-17. Esta metodología permitió establecer una comparación detallada entre ambas estructuras, evaluando no solo los desplazamientos meta alcanzados, sino también la formación y distribución de las zonas de deformación irreversible en los componentes estructurales. Asimismo, se analizó la respuesta estructural frente a grados de demanda sísmica creciente, considerando diferentes grados de disipación de energía.

En cuanto a los hallazgos obtenidos, la Edificación N° 1, diseñada siguiendo los lineamientos del AIS 114-17, presentó un comportamiento estructural satisfactorio bajo un nivel de demanda sísmica correspondiente a una aceleración de 0.65g. Durante el proceso de evaluación, se determinó un desplazamiento meta de 7 cm, lo que permitió mantener la funcionalidad estructural sin registrar zonas plásticas en los elementos principales. Esta respuesta evidencia un adecuado desempeño estructural conforme a las normas de

aceptabilidad propuestos por la normativa ASCE 41-17, destacando la capacidad del sistema para mantener su integridad estructural sin comprometer la protección de los habitantes.

En contraste, la Edificación N° 2, expuesta al mismo nivel de demanda sísmica, presentó un desplazamiento objetivo de 24 cm en ambos sentidos evaluados. A pesar de registrar este incremento en los desplazamientos, el análisis indicó que la construcción se mantuvo en el límite de Ocupación Inmediata (OI), lo que implica que, aunque se detectaron leves afectaciones en las vigas de los primeros tres niveles, estas no comprometen significativamente la capacidad resistente del sistema. Además, la evaluación permitió identificar puntos críticos de aparición de rótulas plásticas, lo que es fundamental para anticipar mecanismos de colapso y planificar intervenciones futuras de refuerzo estructural.

La implementación del Análisis Estático No Lineal, en conjunto con la metodología ASCE/SEI 41-17, permitió no solo pronosticar el nivel de rendimiento de la estructura, sino también proyectar escenarios de comportamiento ante distintos niveles de demanda sísmica. Los datos obtenidos proporcionan información clave para la formulación de decisiones respecto a las estrategias de intervención, permitiendo una mejor planificación de medidas de mitigación que consideren tanto la respuesta general de la edificación, como el desempeño individual de los elementos críticos.

En el artículo científico elaborado por (Intriago et al., 2022) titulado “Análisis no lineal por el Método Pushover del edificio de docentes N°1 de la Universidad Técnica de Manabí”, se planteó como propósito fundamental valorar el rendimiento sísmico del edificio de docentes N°1, considerando su estado actual de construcción. Este estudio se centró en identificar las capacidades estructurales del edificio bajo cargas sísmicas, así como en determinar potenciales deficiencias que pudieran requerir intervenciones estructurales futuras.

Para llevar a cabo el análisis, se implementaron simulaciones numéricas mediante el uso del software Etabs, incorporando tanto la configuración estructural como las características de los elementos utilizados en la edificación de la estructura. Esta metodología permitió obtener información detallada sobre la reacción de la estructura ante cargas incrementales, facilitando la identificación de posibles puntos críticos y el análisis de los componentes estructurales más vulnerables.

El empleo del Método Pushover, basado en un enfoque estático no lineal, proporcionó un análisis más exhaustivo en comparación con los procedimientos lineales tradicionales, los cuales presentan limitaciones significativas al no considerar la degradación progresiva de los componentes estructurales ni la creación de zonas de deformación plástica. Mediante este procedimiento, se pudo establecer no solo la capacidad de carga de la configuración estructural, sino también los elementos que podrían requerir refuerzo para mejorar su rendimiento sísmico.

Respecto a los hallazgos obtenidos, se desarrollaron modelos estructurales con y sin la inclusión de muros. En el modelo sin muros, se identificó una cantidad reducida de rótulas

plásticas, las cuales se localizaron en el rango de Ocupación Inmediata, lo que sugiere que el sistema estructural básico es capaz de mantener su funcionalidad inicial sin comprometer su integridad global. Sin embargo, al incorporar los muros estructurales en el modelo, se evidenció un incremento notable en la resistencia estructural de la construcción, lo cual se reflejó tanto en las curvas de Fuerza Cortante vs Desplazamiento como en la curva de bilineal.

### **2.1.2. Antecedentes nacionales**

Linares (2022) en su investigación titulada “Evaluación del desempeño sísmico mediante el método estático no lineal Pushover en un edificio de 3 niveles ubicado en la ciudad de Cajamarca”, se planteó como propósito principal analizar el comportamiento sísmico en la estructura utilizando el método Pushover. Para ello, se efectuó un estudio sísmico que abarcó tanto el enfoque estático como el dinámico, complementado con una evaluación no lineal Pushover, con el objetivo de estimar la reacción sísmica de la construcción hasta la posición de colapso. A partir de esta estrategia metodológica, se lograron responder las preguntas formuladas en el estudio y se obtuvieron los resultados respectivos.

El análisis evidenció que los patrones de oscilación no satisfacen la proporción mínima de masa involucrada exigida, dado que los valores obtenidos no alcanzan el 90% (modo 1: 65%, modo 2: 86%, modo 3: 60%). En cuanto al desplazamiento lateral, en la dirección “X” se encuentra dentro del límite permitido (menor a 0.007), mientras que en la dirección “Y” se excede dicho valor, lo cual sugiere la incorporación de muros en paralelo a dicha dirección. Las distorsiones dinámicas en el eje “Y” presentan derivas superiores a 0.007 en todos los niveles, acumulando desplazamientos del orden de 384.039 mm, lo que evidencia la necesidad de aplicar refuerzos a la estructura. Los hallazgos encontrados no satisfacen los requerimientos de la estimación estática y dinámica conforme lo indicado en la normativa E-030, siendo este cumplimiento imprescindible previo a la implementación del procedimiento del Metodo Pushover.

En su tesis desarrollada por Pinedo & Taipe (2022) titulada “Evaluación del desempeño sísmico de un edificio de 14 pisos con el Método Pushover en el distrito de Miraflores”, se planteó el propósito principal valorizar el desempeño sísmico de una construcción de catorce niveles ubicada en Miraflores, usando el procedimiento de Analisis No Lineal Pushover. Este enfoque metodológico permitió un análisis detallado del comportamiento estructural bajo cargas sísmicas crecientes, considerando no únicamente la respuesta elástica, sino igualmente el rango no lineal, proporcionando así una visión más integral del desempeño estructural frente a eventos sísmicos severos su consideración de forma progresiva y no inmediata en las normativas locales.

El propósito fundamental del estudio radicó en profundizar en los procedimientos de evaluación de desempeño sísmico existentes, promoviendo su inclusión gradual en las

normativas locales, dado que estas aún no integran plenamente criterios de análisis no lineal. En ese contexto, el estudio buscó evidenciar la eficacia del Método Pushover en la identificación del punto de rendimiento estructural, estableciendo comparaciones con los enfoques tradicionales y enfatizando la importancia de contemplar metodologías avanzadas en las normativas de diseño sísmico.

Con el fin de realizar el análisis, se implementó el Análisis Estático No Lineal (Pushover), lo que posibilitó alcanzar la curva de resistencia estructural de la construcción. Esta curva es importante, al proporcionar información detallada sobre el vínculo entre la demanda y la capacidad de la estructura del sistema en función del aumento de fuerzas horizontales, permitiendo identificar los puntos críticos de creación de zonas de deformación plástica. Además, se aplicó la técnica del espectro de capacidad, ya que facilita la identificación del punto de desempeño, integrando tanto los desplazamientos espectrales como los coeficientes de reducción.

A partir de los resultados, se percibe que la construcción de 14 niveles alcanzó un nivel de rendimiento de la estructura denominado “Resguardo de Vida” con un desplazamiento de 0.23 m, y “Funcional” con un desplazamiento de 0.13 m en ambos ejes X e Y. Estos resultados fueron calculados utilizando los lineamientos definidos por el Comité SEAOC Vision 2000, que proporcionó un marco legal en comprobar el comportamiento estructural a actividades sísmicas raras con un intervalo de recurrencia inusual de 475 años, tal como se señala en la Norma E.030.

En el trabajo realizado por Huayhua (2022) titulada “Evaluación Sísmico Estructural de una Edificación Aplicando el Método Pushover para su Mejoramiento en Ayacucho, 2022”, el propósito primordial fue estimar el rendimiento de la estructura de una construcción existente desde una perspectiva sísmica y diseñar un marco estructural de refuerzo basado en Pushover que mejorara su resistencia. El estudio fue particular en estimar el grado de rendimiento de la construcción dada en relación con diferentes escenarios sísmicos, teniendo en cuenta la condición actual del edificio y el comportamiento esperado tras el refuerzo.

El análisis Pushover permitió analizar la respuesta estructural en los ejes X e Y, determinando que la estructura original solo es capaz de alcanzar un nivel de desempeño sísmico clasificado como Ocupación Inmediata como resultado de las demandas de servicio. Carga Incremental Estructurada. Como tal, esto resalta su vulnerabilidad ante eventos sísmicos significativos. Para abordar esta deficiencia particular, se propuso la técnica de encamisado, permitiendo que el rendimiento a lo largo del eje X resulte UC en ocupación inmediata hacia el servicio y diseño, así como en terremotos máximos. En el eje Y, el encamisado pudo mantener el nivel de Ocupación Inmediata durante terremotos de servicio y diseño, logrando un rendimiento de Seguridad Vital durante los terremotos máximos.

En conclusión, la técnica de encasamiento parece ser una solución viable para aumentar la resistencia de la edificación frente a cargas, así como su rendimiento sísmico, mientras que también reduce significativamente la probabilidad de falla estructural.

En la tesis desarrollada por Chancafe & Gonzales (2021) "Evaluación Del Desempeño Sísmico De Un Edificio Multifamiliar De Concreto Armado De 8 Niveles Mediante Un Analisis Pushover, Distrito De Santiago De Surco" incluye como su propósito principal: analizar el comportamiento sísmico de una construcción residencial de concreto armado de ocho pisos en el distrito de Santiago de Surco. Por ello, se realizó el Análisis Estático No Lineal (Pushover) con la finalidad de generar la curva de capacidad estructural y con ello identificar el desempeño, evaluando así la respuesta a cargas sísmicas crecientes y determinando si sería necesaria una intervención estructural.

Se aplicarán un par de técnicas para establecer la posición de rendimiento durante el análisis: el procedimiento sustentado en el espectro de capacidad y el método de coeficientes. Mientras que ambos métodos permiten una estimación del comportamiento estructural, se notaron discrepancias en la localización del punto de rendimiento. Esta discrepancia es el resultado de diferencias en los parámetros utilizados durante el análisis iterativo. Esta variabilidad es notable ya que podría afectar la interpretación del nivel de rendimiento logrado por la estructura. Independientemente de estos desacuerdos, todos los métodos coincidieron en que la estructura mantendría su integridad con respecto a terremotos severos, confirmando en general los criterios del comité Vision 2000, que es la norma canadiense basada en directrices.

Como sugieren los resultados obtenidos, no hay evidencia de que la estructura esté en riesgo de colapsar bajo los efectos de una intensa actividad sísmica. Sin embargo, las discrepancias existentes en varios umbrales de evaluación de rendimiento indican que se necesita revisar enfoques particulares, ajustar y hacer refinamientos a nivel de aplicación para fomentar criterios más definidos orientados a lograr un rendimiento sísmico óptimo del edificio junto con medidas adecuadas de soporte estructural orientadas a la mitigación de vulnerabilidades.

En la tesis desarrollada por Quispe (2024), titulado 'Estimación del Desempeño Sísmico Mediante Análisis no Lineal de una Vivienda Convencional en la Ciudad de Tacna' se desarrollará como analizar el nivel de grado en el rendimiento sísmico de una casa convencional a lograr utilizando el método de Análisis No Lineal Pushover en el software ETABS. La investigación utilizó el Método del Espectro de Capacidad usando las directrices establece el ATC 40, que permitió la evaluación del estado de rendimiento para la edificación en relación con diversas demandas de actividad sísmica. Durante este proceso, se realizó la calibración de un modelo matemático para las paredes considerando los estados límite de la mampostería confinada con unidades de ladrillo Blocker II, que fueron definidas en función de

pruebas previas para garantizar la precisión en la representación del comportamiento estructural.

Los hallazgos encontrados revelan que hay un comportamiento estructural heterogéneo en todas las direcciones evaluadas. En el eje X correspondiente a la dirección corta del edificio se determina que la edificación no alcanza la categoría de desempeño de Seguridad de Vida frente al evento sísmico de diseño (DE) con una duración de retorno en 450 años, lo cual revela un muy alto potencial de colapso. A diferencia de lo anterior, en el eje Y correspondiente a la dirección larga se determina que la estructura logra la categoría de desempeño de Operación Inmediata en el mismo contexto sísmico, registrando una deriva de 1/710, lo que evidencia que la estructura presenta comportamientos apropiados con respecto a la rigidez y la disipación de energía.

En la tesis presentada por Panduro (2021) titulada "Evaluación del desempeño sísmico mediante el análisis no lineal Pushover y propuesta de reforzamiento estructural del Hotel SuiSui Tarapoto, 2021", se mencionó que el propósito central era evaluar el desempeño sísmico en el Hotel SuiSui utilizando el Análisis No Lineal Pushover y proponer un sistema de reforzamiento estructural para mejorar la resistencia del edificio a eventos sísmicos severos. En este sentido, se aplicó el Método Pushover, que en este caso fue útil para obtener una curva de capacidad en la superestructura y el punto de su desempeño de la edificación, así como en evaluar su respuesta a varios grados de demanda sísmica.

Como resultado de los estudios realizados utilizando el método Pushover adaptativo basado en las directrices de ATC-40, se desarrolló que el grado de rendimiento que llegó la edificación del Hotel SuiSui está dentro de los niveles óptimos de Seguridad de Vida. Lo cual resulta en que, bajo escenarios sísmicos que fueron evaluados, la edificación de la estructura es probable que sufra percances, pero en cuanto a los ocupantes pueden ser evacuados de manera segura. Además, se demuestra que las acciones tomadas, como las configuraciones de refuerzo en secciones críticas, eran aceptables para el nivel esperado de respuesta ante sismos.

El autor concluye que la edificación hotel SuiSui se encuentra alineada con la 'NTP E-030' que busca asegurar niveles de desempeño sísmico que minimicen el riesgo de colapso estructural y protejan la vida de los ocupantes. No obstante, el estudio también enfatiza cómo es necesario incorporar estrategias de refuerzo estructural que aumenten la capacidad resistente a elementos críticos a fin que la construcción no solo satisfaga los requerimientos para un nivel de Seguridad de Vida, sino que supere el desempeño exigido ante sismos  $\alpha$  de diseño, lo que incrementa la resiliencia estructural.

## **2.2. Bases teóricas de la primera y segunda variable**

### **2.2.1. Comportamiento de Edificaciones de concreto armado ante acciones laterales**

El análisis del desempeño y la reacción estructural de construcciones de hormigón reforzados bajo cargas laterales es de suma importancia en la ingeniería civil porque los movimientos sísmicos causan desplazamientos horizontales significativos en las estructuras, poniendo en peligro su integridad y estabilidad. Estos desplazamientos horizontales también crean tensiones adicionales que, en varios casos, pueden resultar en daños estructurales como grietas o, según la magnitud del sismo y las propiedades estructurales del edificio, pueden causar colapsos parciales o totales (Galvan, 2021).

#### **2.2.1.1. Modelo de comportamiento para el concreto armado.**

En el ámbito de estudio estructural de edificaciones de hormigón reforzado, es fundamental utilizar modelos simplificados que permitan representar de manera efectiva las relaciones constitutivas entre el acero y el concreto. Estos modelos constituyen una herramienta importante para comprender el comportamiento conjunto de ambos materiales bajo diversas condiciones de carga, considerando tanto su respuesta elástica como inelástica. Los parámetros de estos modelos se derivan de datos experimentales obtenidos mediante ensayos controlados, los cuales permiten establecer curvas tensión-deformación y definir los límites de resistencia y deformabilidad de los componentes de la edificación. (Choque & Luque, 2019).

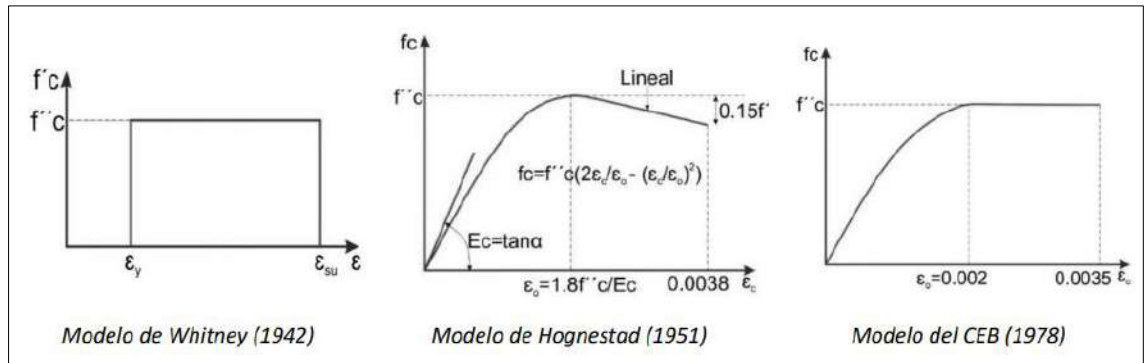
##### **2.2.1.1.1. Modelo esfuerzo - deformación para el concreto.**

###### a) Modelo de concreto no confinado

Según la figura 1, están representados tres enfoques que sirven para modelar el comportamiento del concreto sin confinamiento. El primer enfoque corresponde al modelo de Whitney, igualmente denominado el modelo de bloque rectangular del ACI de 1942, que se utiliza en diseños conservadores y propone la simplificación de los esfuerzos de compresión del concreto mediante un rectángulo equivalente. El modelo intermedio es el de Hognestad, propuesto en 1951, que emplea una función parabólica de segundo grado, donde la deformación del concreto alcanza un valor de  $\epsilon_0=0.002$ , seguida por una sección lineal en la cual la resistencia del concreto disminuye hasta alcanzar una deformación última de entre 0.003 y 0.004. Finalmente, el modelo situado a la derecha corresponde al Comité Europeo de Concreto de 1978, diseñado para el estudio de componentes de hormigón reforzado sometidos a flexión simple (Carrera, 2024).

**Figura 1**

*Modelos de concreto no confinado.*



*Nota.* La figura ilustra los tres modelos del concreto sin confinamiento. Fuente: adaptado de (Ottazzi, 2015).

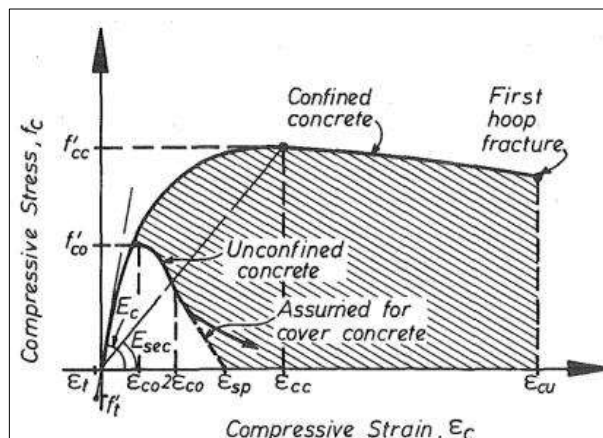
b) Modelos de concreto confinado

Modelo de Mander et al

A medida que el confinamiento aumenta, se aprecia un incremento significativo en la capacidad de resistencia del concreto, así como la deformación unitaria que se puede alcanzar previo al colapso. Esto ocurre gracias al confinamiento lateral que brinda el refuerzo y ayuda a retrasar la aparición de grietas críticas, además de mejorar el aumento de energía que puede ser absorbida por el sistema estructural. No obstante, el modelo establece que el estado de colapso ocurre por la rotura del refuerzo transversal, es decir, el rayo límite de incapacidad del elemento confinado, el cual a partir de allí inicia el proceso de degradación estructural (Carrera, 2024).

**Figura 2**

*Modelo de Mander.*



*Nota.* La figura ilustra el Modelo de Mander, Priestley y Park. Fuente: (Mander et al., 1988)

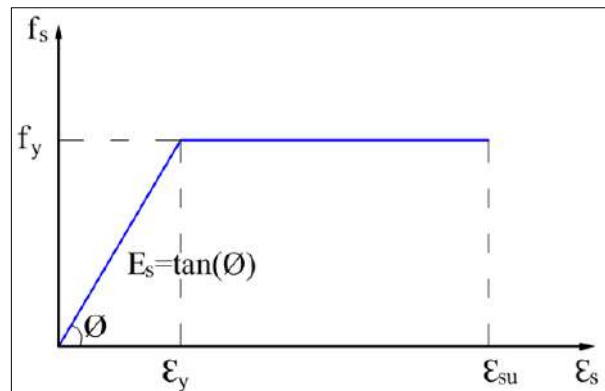
### 2.2.1.1.2. Modelo esfuerzo – deformación para el acero de refuerzo.

#### a) Modelo elastoplástico perfecto

El presente modelo elastoplástico perfecto se caracteriza por asumir que, una vez alcanzado el punto de fluencia, el material mantiene una respuesta constante sin incrementar el esfuerzo, independientemente del aumento en la deformación. Sin embargo, este enfoque presenta limitaciones significativas al aplicarse durante el análisis del desempeño estructural frente a esfuerzos sísmicos, ya que no considera los efectos del endurecimiento producido por deformación ni las variaciones en el esfuerzo cuando las deformaciones son elevadas. (Carrera, 2024).

#### Figura 3

*Modelo Elastoplástico Perfecto.*



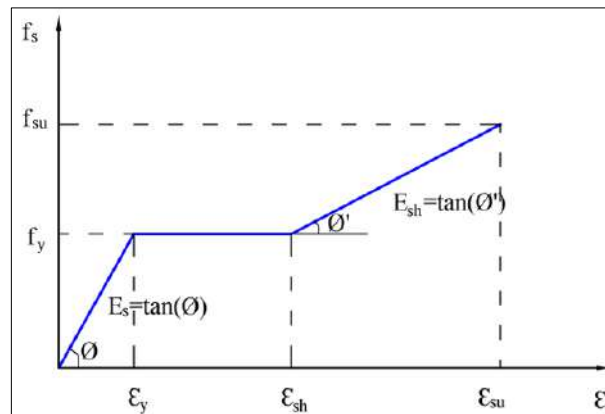
*Nota.* La figura muestra el Modelo Elastoplástico Perfecto para el refuerzo de acero. Fuente: (Ottazzi,2015)

#### b) Modelo Trilineal

El modelo trilineal consiste en tres líneas idealizadas paralelas entre sí. Exhibe comportamientos materiales distintos, tales como: elasticidad lineal, fluencia y endurecimiento por deformación. El presente modelo supone utilidad para aceros que soportan flujos superfluenciales, ya que permite una mejor modelo de la respuesta del acero bajo cargas extremas. La fase elástica lineal describe el comportamiento del acero hasta la fluencia, la línea de fluencia describe el comportamiento cuando el material entra en la fase plástica, y la línea de endurecimiento por deformación captura el comportamiento del acero con una mayor resistencia a medida que se deforma más allá del punto de inflexión. (Carrera, 2024).

## Figura 4

Modelo Trilineal.



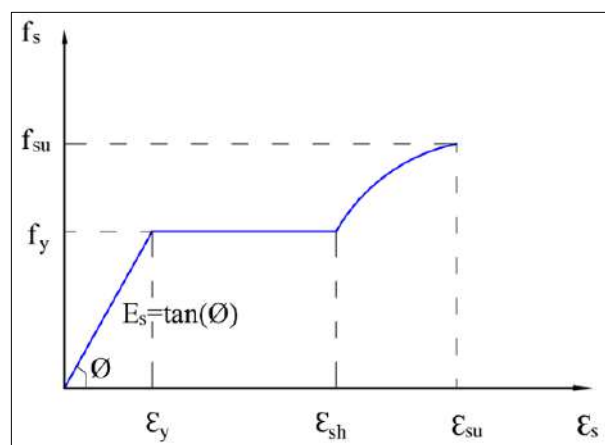
Nota. La figura muestra el Modelo Trilineal con endurecimiento por deformación para el acero de refuerzo. Fuente: (Ottazzi,2015)

### c) Modelo de Park y Paulay

El modelo formulado por Park y Paulay consiste en una presentación de dos segmentos rectos; un modelo que describe la fase elástica y, otro que representa un flujo de fluencia del material, junto a una sección parabólica de segundo o tercer grado que captura el trabajo de endurecimiento del acero. Este modelo captura el comportamiento a altas tensiones del acero con un énfasis particular en la fase de deformación o deformación plástica. El modelo de Park y Paulay, a pesar de no ser tan popular como el modelo trilineal, es capaz de retratar con precisión la transición de la respuesta elástica al endurecimiento post-fluencia y, por lo tanto, la resistencia ofrecida por un elemento estructural en condiciones cíclicas o de sobrecarga extrema (Carrera, 2024).

## Figura 5

Modelo Elastoplástico con endurecimiento de curva completa.



Nota. La figura ilustra el Modelo Elastoplástico con endurecimiento de curva completa usado en el refuerzo de acero. Fuente: (Park y Paulay, 1988)

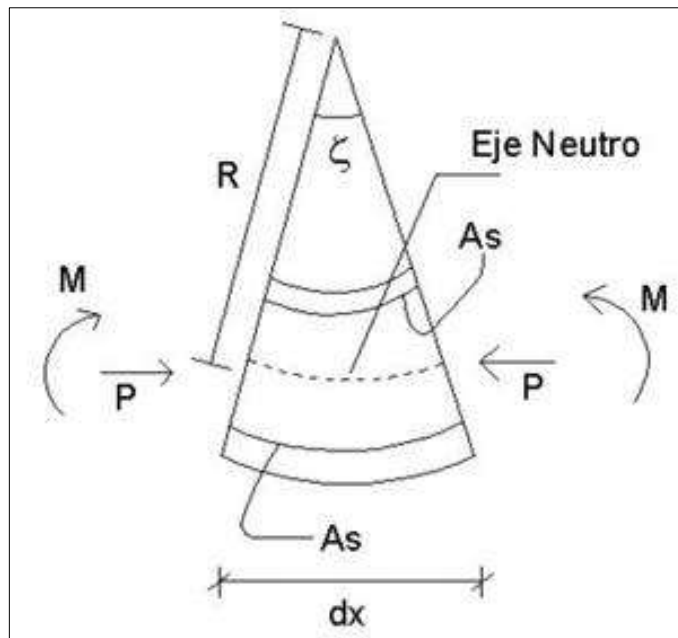
### 2.2.1.1.3. Modelo inelástico para secciones y elementos

#### a) Momento flector y curvatura

La figura 6 ilustra la rodaja diferencial de un componente el cual, a causa de un defecto en el momento flector ( $M$ ), presenta curvatura ( $\zeta$ ). Este comportamiento se produce como resultado de la distribución aplicacional no uniforme de los esfuerzos sometidos al componente. El momento flector resulta en la flexión del elemento; al no estar uniformemente distribuido, puede inducir una deformación que compromete la integridad estructural del componente (Jurado & Mendoza, 2012).

**Figura 6**

*Modelo momento - curvatura.*

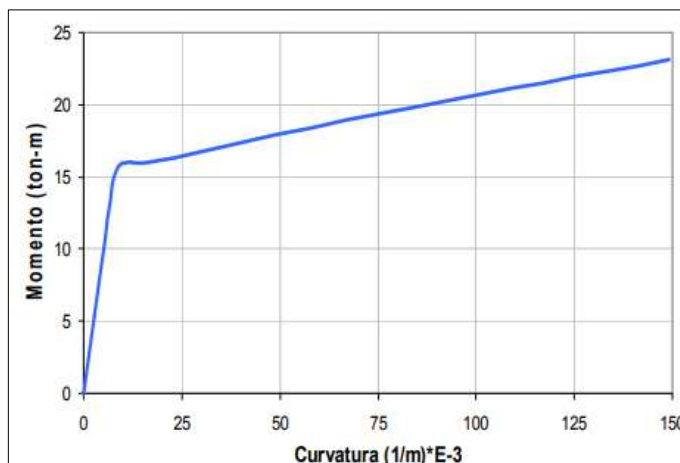


*Nota.* La figura presenta el vínculo entre el momento - curvatura de una sección. *Fuente:* (Fuentes, 2018).

A medida que el momento flector aumenta, la curvatura sigue un aumento similar, permaneciendo proporcionalmente lineal hasta que ocurren las fisuras en el concreto debido a la tensión. Después de la fisura, surge una nueva relación lineal con una pendiente diferente, que progresa hasta alcanzar el momento y la curvatura correspondientes a la tensión de rendimiento del metal. Más allá, a partir de este estado, el aumento de la magnitud del momento se ralentiza hasta llegar a alcanzar el conjunto final de valores de momento y curvatura, el cual llega a establecer el fallo del cemento o la fractura del acero (Ottazzi, 2015).

**Figura 7**

*Diagrama momento – curvatura.*



*Nota.* La figura ilustra el diagrama momento negativo – curvatura para una viga. Fuente: (Fuentes, 2018).

El comportamiento dúctil de las secciones con refuerzo adecuado se observa con la presencia de un comportamiento casi recto en la curva hasta que el acero cede, posteriormente se aprecia un incremento en la curvatura hasta la fractura final (Jurado & Mendoza, 2012).

Por el contrario, en secciones que sufren un exceso de fuerzas aplicadas tendencia a ser frágiles, notándose una desviación de la linealidad en la curva porque los concretos entran en la zona inelástica de la curva esfuerzo-deformación lo que provoca una falla frágil (Jurado & Mendoza, 2012).

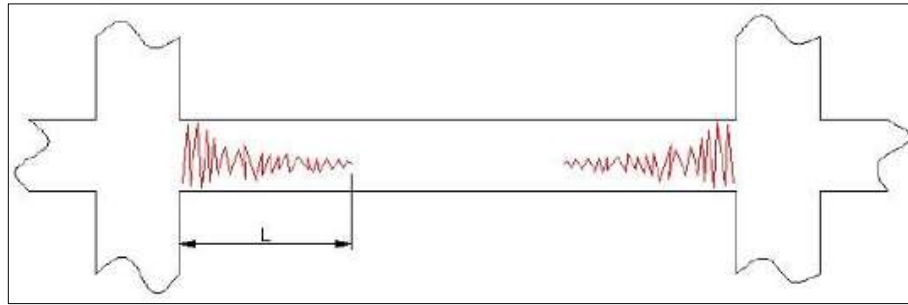
#### **2.2.1.1.4. Modelo Inelástico de Elementos Barra (Vigas – Columnas)**

##### **a) Zonas de comportamiento no – lineal**

Como consecuencia de la carga sísmica de considerable magnitud en el origen de un terremoto, vigas y columnas sufren daños que, para estructuras de ingeniería, son acumulativos en la vecindad de las juntas o nudos estructurales de tal manera que se considera una cierta longitud "L". Esta longitud describe la región donde se desarrollan deformaciones inelásticas significativas, principalmente en los polos de los componentes. En la Figura 8, se visualiza esta repartición en cuanto a daños donde todo el movimiento y daño se concentra en las áreas críticas, así como en otras secciones intermedias que están menos afectadas que los extremos (Jurado & Mendoza, 2012).

## Figura 8

*Idealización de daño en vigas.*

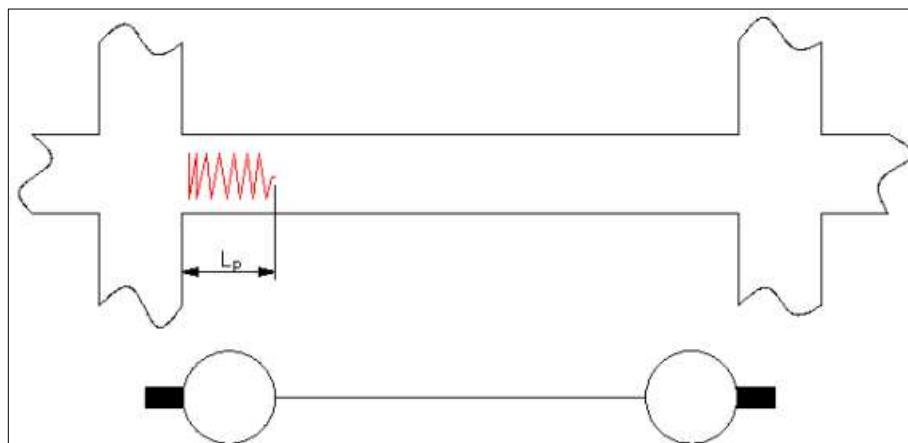


*Nota.* La figura describe la Idealización de daño en vigas. Fuente: (Fuentes, 2018).

En elementos estructurales sometidos a cargas extremas, es frecuente identificar una zona específica en la cual se acumula el principal porcentaje de la deformación inelástica. Esta región, conocida como rótula plástica, permite asumir que tanto el deterioro como la curvatura son mantenidos prácticamente de manera perpetua dentro de su extensión. La distancia de la rótula plástica, denominado ' $L_p$ ', resulta inferior a la extensión total del daño ' $L$ ', lo que indica que la concentración del daño se restringe a una parte específica del componente. La figura 9 presenta esta relación, evidenciando cómo la longitud ' $L_p$ ' se define como un segmento crítico donde se desarrollan las mayores deformaciones. Un valor estimado comúnmente utilizado para ' $L_p$ ' en elementos horizontales y verticales con dimensiones estándar se define como  $L_p = 0.5h$ , en la que ' $h$ ' representa el peralte del objeto (Fuentes, 2018).

## Figura 9

*Idealización de daño equivalente.*



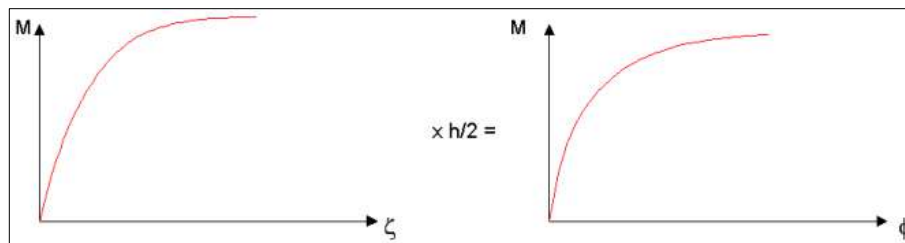
*Nota.* La figura demuestra la idealización de daño equivalente. Fuente: (Fuentes, 2018).

### b) Relaciones Momento – Giro en Rotulas Plásticas

La rotación inelástica en las terminaciones de los componentes estructurales se obtiene del giro creado a lo largo de la longitud inelástica 'L'. Suponiendo curvatura constante en la bisagra plástica, el desplazamiento rotacional puede ser calculado como se describe anteriormente, multiplicando la curvatura uniforme a lo largo de la extensión equivalente de la bisagra plástica 'Lp'. Tal suposición permite establecer una correspondencia directa entre el momento de la sección y el giro inelástico o punto de deformación plástica de la sección, simplificando así el análisis del comportamiento no lineal del elemento (Jurado & Mendoza, 2012). En la Figura 10, el procedimiento para obtener el diagrama Momento - Giro se describe esquemáticamente. La figura ilustra cómo se define la rotación inelástica en términos de curvatura y longitud 'Lp'.

### Figura 10

*Diagrama momento – giro.*



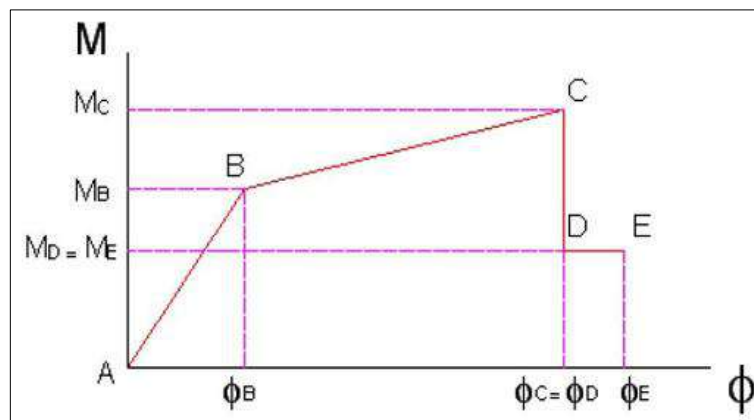
*Nota.* La figura muestra la obtención del diagrama momento – giro. Fuente: (Fuentes, 2018).

### c) Diagrama simplificado

Un diagrama simplificado segmentado de Momento - Rotación se utiliza para ilustrar la capacidad rotacional inelástica de los componentes estructurales. Este enfoque facilita la representación del comportamiento del componente bajo carga extrema utilizando segmentos rectos para aproximar las curvas de momento y rotación. Esto se demuestra gráficamente dentro de la Figura 11, donde la evolución de la respuesta se destaca mediante la segmentación. Este tipo de diagrama permite una comprensión clara de las relaciones del momento aplicado y la rotación del componente, particularmente para efectos no lineales y deformación plástica (Fuentes, 2018).

**Figura 11**

*Idealización del diagrama Momento - Giro.*



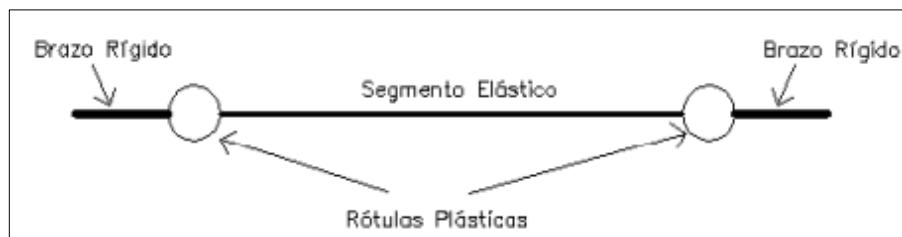
*Nota.* La figura demuestra la Idealización del diagrama Momento – Giro. Fuente: (Jurado & Mendoza, 2012).

El punto B es conocido como el umbral de Fluencia Efectiva del componente estructural, señalando el inicio de la deformación plástica controlada. Por su parte, la ubicación del punto C hace referencia a la resistencia máxima alcanzable que puede alcanzar la rótula antes de que comience la degradación del momento flector; esto es, se mantiene constante inactiva. Luego de esto, una vez que se recoge en el pico el valor de momento, se sufre un descenso extremo de aproximadamente un cuarenta por ciento, lo que marca el punto D. Desde aquí, el momento flector exhibe un comportamiento casi constante durante el 10% de la deformación, que ocurre después del punto C, hasta que finalmente se produce la falla del componente, al punto E. Esto significa que la edificación ha alcanzado el límite de su resistencia (Fuentes, 2018).

Además de lo anterior, para una modelación precisa del comportamiento estructural de vigas y columnas bajo la acción de cargas sísmicas, se implementan bisagras no lineales en las terminaciones de los componentes estructurales para capturar los efectos de la inelasticidad. Por el contrario, la porción media del elemento se modela con propiedades elásticas para ayudar en el análisis del comportamiento global del sistema estructural. Además, las regiones de conexión entre vigas y columnas se modelan como regiones de rigidez infinita, lo que implica la ausencia de deformación relativa dentro de la región (Fuentes, 2018).

**Figura 12**

*Idealización nudos rígidos y rótulas.*



*Nota.* La figura demuestra la Idealización en nudos rígidos y rótulas. Fuente: (Jurado & Mendoza, 2012).

## **2.2.2. Análisis no lineal**

### **2.2.2.1. Generalidades.**

El enfoque no lineal en el ámbito del análisis estructural tiene como objetivo fundamental mostrar una representación más exacta y realista del desempeño de los elementos estructurales, permitiendo considerar los efectos asociados a la reducción gradual de dureza que se manifiesta cuando los componentes de la estructura exceden el límite elástico. En contraste, los análisis lineales simplifican el tratamiento de la dispersión de fuentes de energía mediante el uso del coeficiente de disipación  $R$ , el cual se basa en supuestos de comportamiento elástico lineal y no capta de manera directa los impactos de la disminución de rigidez y resistencia que ocurren durante eventos sísmicos intensos (Monroy, 2024).

El resultado del análisis no lineal se sostiene dentro de directrices establecidas por el documento ASCE 41 – 17 (ASCE 41-17, 2017) el cual proporciona lineamientos esenciales para implementar este tipo de evaluación. Entre los aspectos más significativos se incluyen: la pérdida de rigidez derivada de la fisuración en las secciones, el aumento de la capacidad resistente de los materiales, la no linealidad tanto material tales como la configuración geométrica y la flexibilidad de la base (Monroy, 2024).

En el contexto del diseño estructural, asegurar que las edificaciones permanezcan en el rango elástico ante movimientos sísmicos severos resulta extremadamente costoso y poco viable. Por este motivo, la modelización de los sistemas estructurales frente a fenómenos sísmicos se convierte en un proceso particularmente complejo, lo que contribuye a la ausencia de un procedimiento estandarizado para efectuar sus evaluaciones. Los métodos no lineales de análisis se dividen en dos escalas principales: análisis dinámicos no lineales y análisis estáticos no lineales (Paredes, 2016).

### **2.2.2.2. Métodos de Análisis Sísmico.**

En este punto, aunque la atención se centra en los análisis no lineales, es importante dedicar algunas líneas a los enfoques lineales, ya que, por su simplicidad y facilidad, muchos procedimientos contemporáneos todavía los utilizan (Paredes, 2016).

Así, los métodos lineales son clasificados en dos categorías principales: análisis estático lineal, análisis dinámico lineal, cada uno con sus particularidades y limitaciones. No obstante, dado que en este capítulo estaremos intentando avanzar en los métodos no lineales, comenzaremos explicando las técnicas que buscan representar con mejor exactitud la inelasticidad de los componentes estructurales en acciones sísmicas.

#### **2.2.2.2.1. Análisis Lineal.**

El análisis lineal se distingue por la premisa fundamental de que los parámetros estructurales, como la rigidez y la disipación, se sostienen invariables a lo largo del proceso de evaluación, independientemente del nivel de los esfuerzos aplicados. Este tipo de enfoque, asume una relación lineal entre los desplazamientos, las fuerzas internas y las reacciones generadas, lo que implica que cualquier incremento o disminución en las cargas produce una respuesta estructural proporcional. (Quinteros & Ruiz, 2021).

#### **2.2.2.2.2. Análisis Estático Lineal.**

En situaciones donde la construcción se modela bajo el concepto de un modelo con un solo grado en el punto de libertad y rigidez constante, el movimiento sísmico se simplifica a través la aplicación de un conjunto de cargas equivalentes horizontales. Estas cargas se calcularon a partir del reparto del esfuerzo de base a través de la altura del edificio, lo que permitió evaluar las respuestas estructurales como fuerzas internas y desplazamientos utilizando un procedimiento estático lineal (Paredes, 2016).

Al modelar una estructura, se la considera como una configuración de un solo grado de libertad. La acción de sismo se representa aplicando fuerzas laterales equivalentes, calculadas a partir del cortante basal y verificadas mediante el análisis estático lineal. Este practica se emplea para diversos objetivos de diseño y se aplica principalmente a edificaciones que son regulares, en el que primer modo de vibración resulta ser sobresaliente (Soria Núñez & Murillo Ruiz, 2022).

#### **2.2.2.2.3. Análisis Dinámico Lineal.**

En el análisis dinámico lineal, la edificación se configura con varios grados de libertad, lo que mejora la evaluación de las respuestas dinámicas debido a las acciones sísmicas. En este tipo de modelo, se utiliza una matriz de elasticidad lineal de cuerpo rígido junto con la

matriz de amortiguamiento. Se puede evaluar una acción sísmica de dos maneras principalmente distintas: a través del análisis espectral modal, que subdivide las respuestas estructurales en modos de vibración fundamentales, y mediante el análisis de historia de tiempo, que permite el estudio del comportamiento estructural bajo registros sísmicos específicos. (Paredes, 2016).

El modelado considera a las estructuras como sistemas con varios grados de libertad, a partir de la formulación de la matriz de rigidez elástica lineal y del amortiguamiento. Para la acción sísmica, se recurre a un análisis modal espectral. En ambos casos, los desplazamientos y las fuerzas internas de la estructura se determinan mediante análisis dinámicos lineales (Soria Núñez & Murillo Ruiz, 2022).

#### **2.2.2.2.4. Análisis No Lineal.**

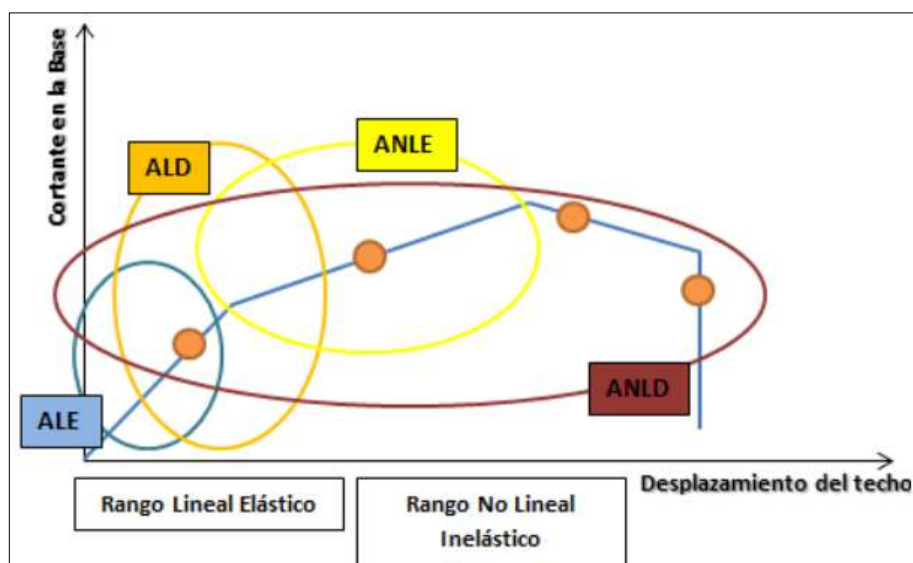
La estructura exhibe una respuesta no lineal que se define por deformaciones permanentes, degradación progresiva de la rigidez y disminución de las reservas de resistencia. Estos factores contribuyen al desarrollo de daños en los componentes estructurales y cambian su respuesta a cargas subsecuentes. A diferencia del análisis inelástico, en este enfoque, se permite que las propiedades estructurales, como la rigidez, la resistencia y ductilidad cambien con la magnitud y duración de las cargas, capturando los efectos acumulativos de las acciones sísmicas impuestas. (Chuquicahua, 2020, como se citó en Andrade, 2024).

Con respecto a los métodos utilizados en la no linealidad, dos que son muy comunes son: el Estático No Lineal, (Pushover) y el Análisis Dinámico No Lineal (Tiempo Historia). El Pushover analiza la respuesta estructural por medio de carga lateral progresiva, permitiendo un mejor diagnóstico para los mecanismos de colapso y las concentraciones de deterioro. En cambio, el Análisis Dinámico No Lineal aplica la acción sísmica utilizando acelerogramas reales, lo que posibilita un análisis detallado del comportamiento estructural en la dimensión temporal. Ambos métodos, por más que los dos tengan principios conceptuales en común, en el primero dinámico hay que notar que la respuesta del sistema presenta un mayor grado de sofisticación por los efectos considerables de inercia y la variación de tiempo de respuesta (Paredes, 2016).

En seguida, se muestra un gráfico en donde se observan las diferencias tanto en los métodos como en los rangos lineales y no lineales.

**Figura 13**

*Tipos de análisis sísmicos.*



*Nota.* La figura muestra la ilustración de las clases de análisis sísmicos. Fuente: Elaboración propia.

### **2.2.2.3. Análisis Estático No Lineal Pushover.**

El análisis estático no lineal, comúnmente conocido como pushover, se basa en el enfoque incremental que hace posible conseguir la curva de capacidad de alguna estructura o un componente de una estructura. Esta curva define el vínculo del desplazamiento máximo alcanzado con la fuerza cortante basal, y describe datos relevantes sobre el desempeño estructural durante las etapas inelásticas. El procedimiento consiste en aplicar una distribución de cargas horizontales que se incrementan de manera monótona hasta llegar a un momento crítico, ya sea un punto de fluencia o un colapso total (Quispe, 2024).

Dependiendo del tipo de falla esperada, los componentes estructurales se idealizan mediante bisagras plásticas, cuyo desarrollo se activa a medida que la estructura experimenta niveles crecientes de carga. En términos de análisis, las cargas gravitacionales se tratan como no lineales y constantes, mientras que los esfuerzos horizontales aumentan de forma controlada para evaluar la respuesta estructural. Durante la fase inicial, la respuesta de la edificación es esencialmente elástica por naturaleza y está gobernado por su rigidez inicial. Sin embargo, una vez que se supera el límite elástico, los controles de rigidez y resistencia de la estructura, que han sido constantes, comienzan a comprometerse, permitiendo la evaluación de la transición a un régimen de inelasticidad gobernado por la ductilidad del sistema (Quispe, 2024).

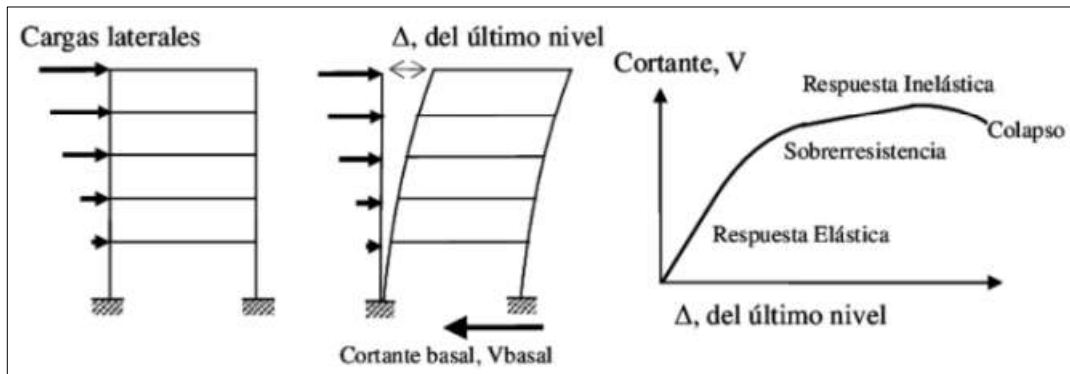
En el modelado se consideran las propiedades de los materiales dentro del rango no lineal de deformación frente a las cargas. Se evalúa la respuesta inelástica de los elementos

y se emplea el análisis de capacidad “Pushover”, el cual establece una relación directa entre el cortante basal y la deformación global de la estructura (Soria Núñez & Murillo Ruiz, 2022).

A lo largo del proceso, el desarrollo gradual de bisagras plásticas en los componentes estructurales permite identificar regiones críticas en la estructura donde se acumulan deformaciones inelásticas a medida que se aumentan los esfuerzos horizontales.

**Figura 14**

*Secuencia del Pushover.*



*Nota.* La figura muestra la secuencia del análisis pushover, donde la curva de capacidad se deriva del empuje lateral monótono y la formación de bisagras plásticas.

Fuente:(Quispe, 2024).

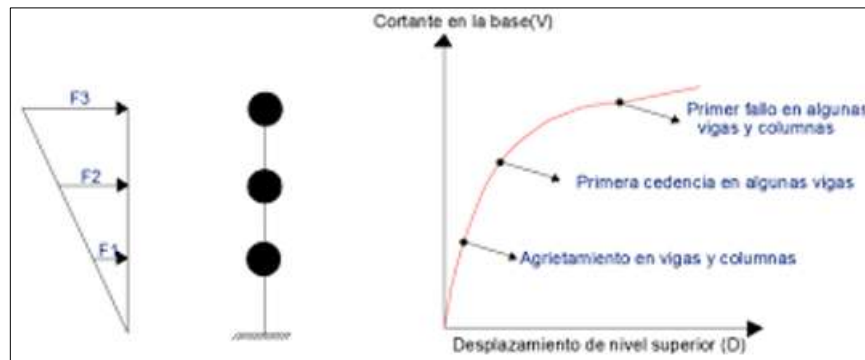
#### **2.2.2.4. Procedimiento de análisis del Pushover.**

El Análisis por Pushover constituye una de las técnicas que sirve para estimar el mecanismo de colapso y la resistencia de una edificación aplicando cargas horizontales que aumentan de manera monótona hasta alcanzar el fallo estructural (Carrera, 2024).

Con este método, es posible simular el comportamiento de una edificación a cargas incrementales con respecto a la deformación y modos de fallo progresivo. Además, el análisis por pushover facilita la expansión del sistema estructural al simplificar una estructura de multi-grados de libertad a un esquema con un único grado de libertad, algo que concede una evaluación más precisa de la ductilidad estructural e información importante respecto al comportamiento no lineal del edificio durante terremotos o cargas extremas (Carrera, 2024).

## Figura 15

### Esquema del Análisis Pushover.



*Nota.* La figura muestra el diagrama del proceso empleado para el Análisis Pushover.

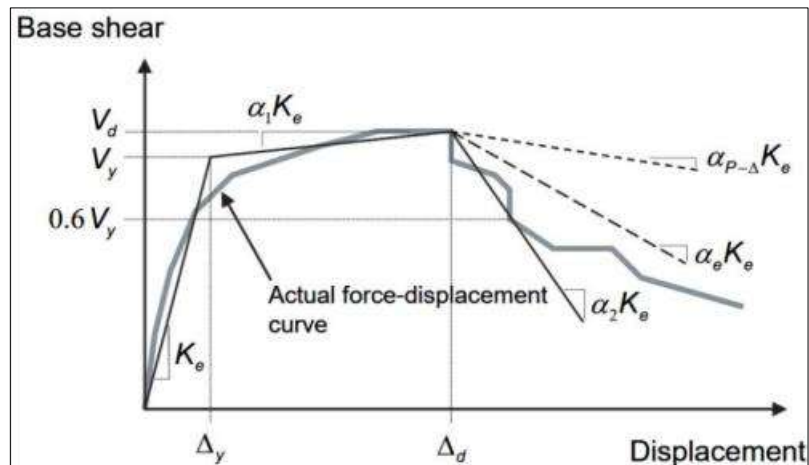
Fuente: (Bonett, 2003, como se citó en Carrera, 2024).

En la formulación que establece la curva de resistencia estructural, dentro de la metodología descrita por (Quispe, 2024) el proceso puede sintetizarse en las etapas siguientes:

1. Se puede construir un modelo analítico que capture de forma realista la reacción de la edificación del edificio, teniendo en cuenta las propiedades no lineales de sus elementos constructivos. Para que el modelo describa la respuesta de los elementos estructurales mediante fuerzas individuales, la preparación debe cumplir con los estándares listados en las directrices ASCE/SEI, Tablas 41-13.
2. Nombrar el punto de control situado en el centro de masa del nivel superior, un punto estratégico para evaluar los desplazamientos globales.
3. Aplicar carga lateral del primer modo del primer movimiento de flexión de la construcción y aumentarla gradualmente para observar la evolución en la respuesta estructural.
4. Registrar la curva de capacidad para el desplazamiento del nodo de control mientras monitorea los esfuerzos cortantes en la base de la estructura y mientras monitorea y compara las fuerzas cortantes y las deformaciones en los componentes de la estructura con las gráficas ( $M - \Theta$ ).
5. Realizar un análisis distinto para cada incremento de la carga mientras se combinan todos los resultados anteriores de cargas, rotaciones y desplazamientos para representar el comportamiento estructural total integrad.
6. Describir en detalle cómo se pueden utilizar los datos recopilados para definir la curva de capacidad de una estructura.

**Figura 16**

*Curva de capacidad idealizada.*



*Nota.* La figura demuestra la curva de capacidad idealizada. Fuente: (ASCE 41-17, 2017).

### 2.2.2.5. Curva de capacidad.

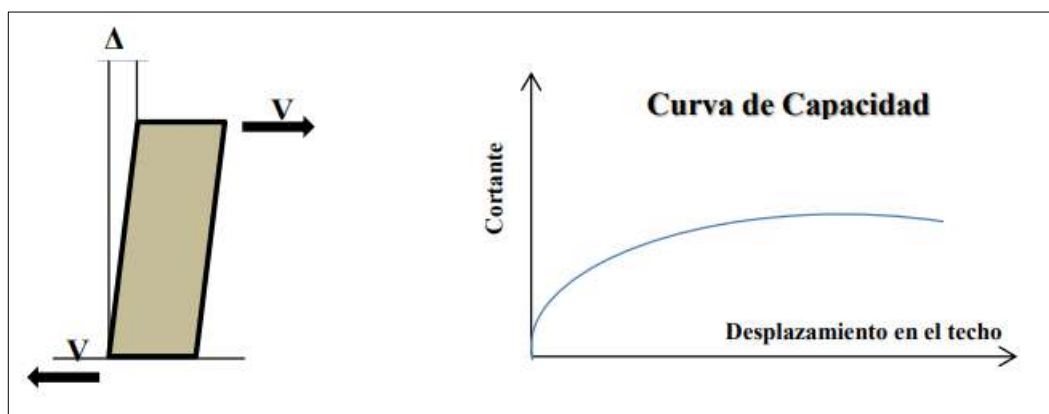
#### 2.2.2.5.1. Generalidades.

La carga monótonica por inercia a la estructura y el desplazamiento a un nivel por encima del promedio se define por la llamada curva de capacidad. La elucidación de la curva es crucial con el fin de evaluar la respuesta sísmica estructural del sistema y diagnosticar puntos preocupantes que generan mecanismos de rotación plástica (Quinteros & Ruiz, 2021).

La Curva de Capacidad muestra el diagrama que precisa cómo varía en la resistencia estructural frente a fuerzas laterales con el desplazamiento lateral alcanzado, como se presenta en la figura a continuación (Paredes, 2016).

**Figura 17**

*Representación de la Curva de Capacidad.*



*Nota.* La figura muestra el grafico de la curva de capacidad. Fuente: (Paredes, 2016).

Las curvas de capacidad son de gran importancia para estimar el comportamiento estructural desde un enfoque no lineal, ya que representan los procesos de dissipación de energía que ocurren durante los límites no elásticos de deformación, lo que aumenta la fiabilidad del análisis de la edificación en escenarios críticos (Monroy, 2024).

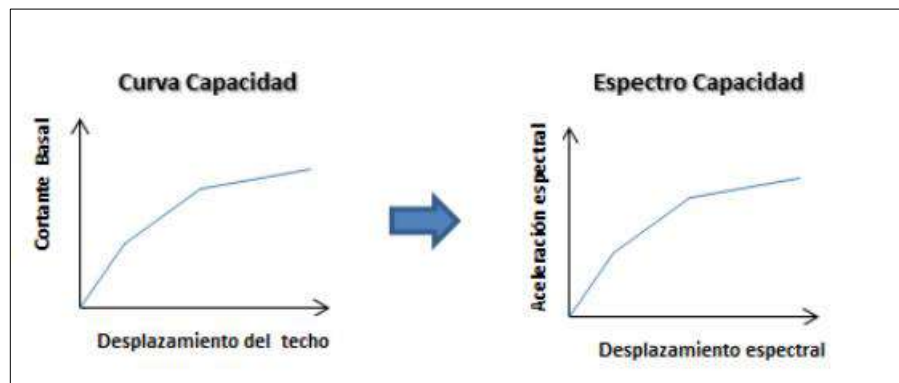
Asimismo, se deben investigar técnicas más avanzadas de análisis no lineal con el objetivo de analizar el rango más allá de los límites elásticos del comportamiento estructural. Esto es para estudiar la propiedad global de la edificación frente a esfuerzos extremos, teniendo en cuenta las deformaciones plásticas y la evolución de la rigidez con cambios de carga no lineales (Paredes, 2016).

### 2.2.2.6. Conversión de la Curva de Capacidad a Espectro de Capacidad

La adaptación de la curva de capacidad a un espectro de capacidad configurado previamente, adaptado a la metodología, es un algoritmo que forma parte integral de la culminación del trabajo que ATC-40 y FEMA realizan, pues ambos sistemas diseñados requieren pasar las curvas de capacidad en funciones de la cortante basal con el desplazamiento a un formato donde la aceleración espectral se relacione con el desplazamiento espectral (Paredes, 2016):

**Figura 18**

*Transformación de la Curva a Espectro de Capacidad.*



*Nota.* La figura ilustra el proceso de conversión de la curva de capacidad a un espectro de capacidad. Fuente: (Paredes, 2016).

Las ecuaciones requeridas con el objetivo de efectuar esta conversión, se presentan a continuación:

$$PF_1 = \frac{\sum_i^N = 1(W_i\phi_{i1})/g}{\sum_i^N = 1(W_i\phi_{i1}^2)/g} \quad (1)$$

$$a_1 = \frac{[\sum_{i=1}^N (W_i \phi_{i1}) / g]^2}{[\sum_{i=1}^N W_i / g][\sum_{i=1}^N (W_i \phi_{i1}^2) / g]} \quad (2)$$

$$S_{ai} = \frac{V_i / w}{a_1} \quad (3)$$

$$S_{di} = \frac{\Delta_{techo}}{PF_1 \phi_{techo,1}} \quad (4)$$

Donde se tiene que:

PF1 = Factor de participación modal para el primer modo natural.

$\alpha_1$  = Coeficiente modal de masa para el primer modo natural.

$W_i/g$  = Masa asignada al nivel i.

$\phi_{i1}$  = Amplitud del modo 1 en el nivel i.

N = Nivel N, el nivel mas alto de la estructura.

V = Cortante en la base.

W = Peso del edificación.

$\Delta_{techo}$  = Desplazamiento del ultimo nivel.

$S_a$  = Aceleración espectral.

$S_d$  = Desplazamiento espectral.

La transformación de la Curva de Capacidad a un Espectro de Capacidad se desarrolla aplicando las fórmulas del 1 al 4, siguiendo una secuencia de pasos específicos. En primer lugar, se procede a la determinación del coeficiente de conversión modal (PF1) y del parámetro modal de la masa ( $\alpha_1$ ). los cuales permiten ajustar los valores obtenidos con respecto a cortante basal (V) y  $\Delta_{techo}$  (desplazamiento del techo) para llevarlos al formato espectral. Posteriormente, utilizando las ecuaciones previamente establecidas, se determinan los cálculos de  $S_a$  (aceleración espectral) y  $S_d$  (desplazamiento espectral) utilizando las ecuaciones proporcionadas previamente (Paredes, 2016).

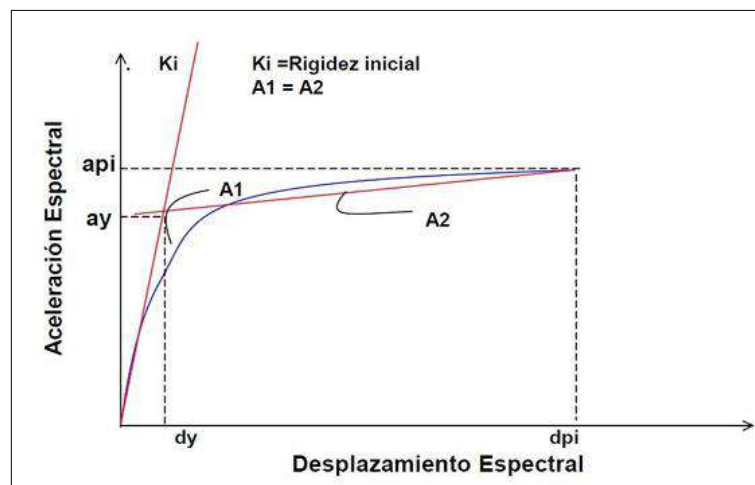
Representando así la correspondencia entre las dos variables en el espectro. Es interesante destacar a este proceso descrito pues se orienta principalmente en la forma en que la estructura oscila, considerando que dicha oscilación es la principal frente a acciones sísmicas. Sin embargo, en edificaciones esbeltas o con características modales complejas, es aconsejable considerar otros modos de vibración para un análisis más integral del comportamiento estructural. La aplicación de estas etapas se facilita significativamente mediante el uso de programas especializados, permitiendo un procesamiento más eficiente de los datos estructurales (Paredes, 2016).

### 2.2.2.7. Representación Bilineal del Espectro de Capacidad

Representar de manera bilineal el espectro de capacidad es fundamental con el fin de determinar una disipación de energía adecuada y proceder con la disminución correspondiente de la Demanda Espectral. Esta representación facilita un enfoque más exacto de la respuesta estructural esperado ante una acción sísmica específica. Para ello, el proceso inicia estableciendo un punto preliminar designado como  $(a_{pi}, d_{pi})$  el cual constituye una estimación inicial del desempeño estructural realizada por el diseñador. A partir de este punto, se define un espectro de demanda reducido, cuya intersección exacta mediante el espectro de capacidad está dentro de el Punto de Desempeño. Dado que este proceso es con carácter iterativo, es posible que se requieran ajustes adicionales para alcanzar resultados más precisos y coherentes. En estos casos, cada nueva cálculo de la posición de desempeño se denota de forma secuencial, por ejemplo  $(a_{p2}, d_{p2})$ , para la segunda aproximación y así sucesivamente, permitiendo un ajuste progresivo del espectro hasta lograr una representación óptima del comportamiento estructural (Fuentes, 2018).

**Figura 19**

*Representación Bilineal del Espectro de Capacidad.*



*Nota.* La figura demuestra una Representación Bilineal del Espectro de Capacidad. Fuente: (Fuentes, 2018).

Este proceso para definir la representación bilineal inicia con el trazado de una línea que simboliza la resistencia inicial de la edificación en su estado elástico, partiendo desde el origen. Seguidamente, se establece una línea adicional que emerge desde la posición preliminar de desempeño  $(a_{pi}, d_{pi})$ , y desciende llegando a interceptar la línea inicial en los puntos  $a_y, d_y$ . Esta segunda línea debe ajustarse de manera que las áreas  $A_1$  y  $A_2$  resulten prácticamente iguales. La intención de igualar ambas áreas radica en garantizar que la energía representada bajo el Espectro de Capacidad y la correspondiente al modelo bilineal

se mantenga proporcional, asegurando así una interpretación coherente del comportamiento energético del sistema estructural (Fuentes, 2018).

### **2.2.3. Desempeño sísmico estructural**

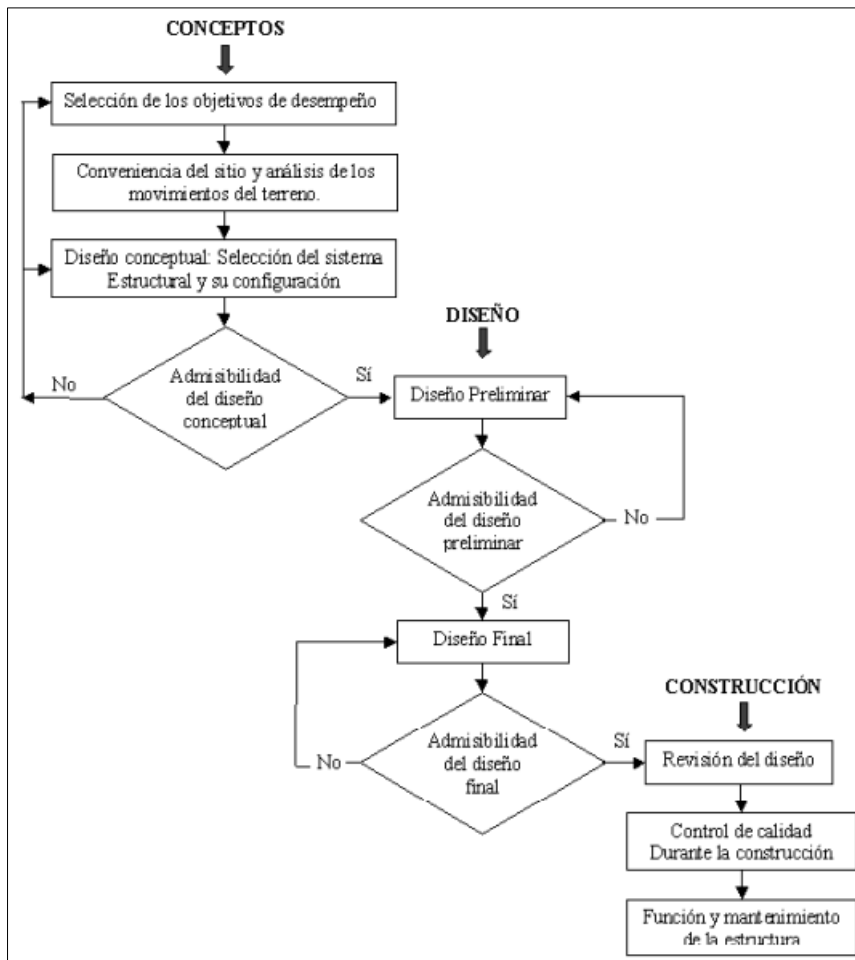
El propósito diseño sísmico orientado al comportamiento esperado es proporcionar directrices para la creación de edificaciones cuyo comportamiento ante la acción sísmica sea predecible, asegurando que los daños que sufran no superen ciertos límites establecidos (Carrera, 2024).

Las normativas nacionales de diseño no abordan el comportamiento estructural posterior al daño, por lo que esta metodología representa una ventaja al permitir la identificación del grado de deterioro en los elementos estructurales que puedan presentar fallas, lo que a su vez facilita la optimización de los recursos durante la construcción (Carrera, 2024).

La figura 20 ilustra el enfoque de proyecto orientado al comportamiento sugerido por el Comité Visión 2000, destacando que esta metodología no se limita únicamente al diseño, sino que también abarca etapas posteriores como la supervisión de calidad y la conservación de las estructuras.

**Figura 20**

*Metodología con enfoque a diseño por desempeño.*



*Nota.* La figura ilustra el enfoque para el diseño sísmico orientado al desempeño, formulado por el Comité Vision 2000. Fuente: (SEAO Vision 2000 Committee, 1995).

### **2.2.3.1. Nivel de desempeño.**

Este se concibe como una condición umbral asociado al nivel de deterioro que puede experimentar una construcción bajo condiciones sísmicas específicas. Este criterio se establece evaluando las afectaciones estructurales potenciales en la construcción, la categoría de peligro que dichos daños implican para la integridad de los ocupantes y la funcionalidad del sistema estructural para conservar su funcionamiento después del evento sísmico (ATC, 1996).

Un nivel de desempeño representa el estado límite de daño que puede alcanzar una edificación frente a un sismo específico. Dicho límite se caracteriza por el grado de afectación física en la estructura, el riesgo que implica para la seguridad de los ocupantes y la capacidad de la edificación para seguir operativa tras el evento sísmico (Quinto Quinto & Chaverra Mora, 2022).

En función de estos parámetros, se definen distintos niveles de desempeño, los cuales se consideran en normativas internacionales clave dentro del enfoque del proyecto orientado al comportamiento, como se detalla a continuación.

### **2.2.3.1.1. Propuesta del comité VISION 2000.**

Podemos indicar en la tabla 1 donde se encuentran los cuatro niveles de desempeño determinados por el comité denominado VISION 2000 junto con la explicación pormenorizada con los daños posibles en la estructura a cada uno de estos niveles. Estos niveles de desempeño descritos se orientan en el nivel de deterioro al que una estructura puede percibir en un sismo, en términos de daño, tanto daños estructurales como no extensivos.

**Tabla 1**

*Estados de daño y niveles de desempeño según el Comité Visión 2000*

<b>Estado de daño</b>	<b>Nivel de desempeño</b>	<b>Descripción de los daños</b>
<b>Despreciable</b>	Totalmente Operacional	Los efectos perjudiciales en los componentes estructurales y en los no estructurales son insignificantes o inexistentes. Los sistemas destinados a la evacuación, así como las infraestructuras asociadas, mantienen su operatividad sin alteraciones.
<b>Leve</b>	Operacional	Los daños en contenidos y elementos arquitectónicos son menores y de grado leve a moderado. Sin embargo, los sistemas de seguridad mantienen su funcionalidad sin interrupciones, aunque podrían presentarse daños leves en componentes y contenidos.
<b>Moderado</b>	Seguridad	Se observa una disminución en la propiedad estructural para soportar esfuerzos horizontales. No obstante, el sistema mantiene su operatividad. Ciertos componentes no estructurales y elementos contenidos podrían presentar deterioros, lo que podría requerir un cierre temporal del edificio para su evaluación.
<b>Severo</b>	Pre – Colapso	Se evidencian daños considerables en los componentes estructurales. Elementos secundarios podrían colapsar, comprometiendo la estabilidad del edificio, lo que podría llevar a la necesidad de demolición.

<b>Completo</b>	Colapso	Se presenta un colapso parcial o total de la capacidad estructural, lo que puede resultar en una pérdida total de la edificación. La reparación no es viable.
-----------------	---------	---

*Nota.* La tabla presenta los distintos grados de desempeño, acompañados con un informe minucioso de los efectos perjudiciales que impactan la estructura. Fuente: (SEAO Vision 2000 Committee, 1995).

**2.2.3.1.2. Propuesta del ATC – 40.**

La iniciativa establecida por la normativa ATC-40 distingue de forma específica los grados de desempeño correspondientes a los componentes estructurales y no estructurales. La asociación de estos dos elementos es fundamental al determinar el grado de desempeño global de la edificación, dado que este comportamiento conjunto influye significativamente en cómo se comporta sísmicamente de manera general (Carrera, 2024).

- a) Niveles de desempeño para componentes estructurales

**Tabla 2**

*Niveles de desempeño para componentes estructurales según ATC-40.*

<b>Abreviatura</b>	<b>Nivel de desempeño</b>	<b>Descripción</b>
<b>SP-1</b>	Ocupación inmediata	El deterioro presentado es prácticamente insignificante, sin afectar la integridad estructural ni comprometer la protección de los usuarios. No se registran pérdidas humanas y la estructura mantiene su operatividad habitual sin interrupciones.
<b>SP-2</b>	Daño controlado	Los efectos adversos son leves. No se reportan fallecimientos y el sistema mantiene su operatividad sin interrupciones.
<b>SP-3</b>	Seguridad de vida	Se reportan daños notables y posibles lesionados, aunque el riesgo de fallecimientos por colapso estructural es bajo. La estructura podría necesitar reparaciones antes de ser reocupada.
<b>SP-4</b>	Seguridad limitada	Es posible que ciertas secciones de la estructura necesiten ser reforzadas para asegurar el mantenimiento del nivel de seguridad requerido.

<b>SP-5</b>	Estabilidad estructural	La estructura está en una condición grave, próxima a un fallo parcial o completo, con afectaciones significativas y disminución de capacidad estructural y firmeza en sus componentes. En edificaciones antiguas, los deterioros son inviables de recuperar técnica y de manera financiera.
<b>SP-6</b>	No considerado	Resulta especialmente útil en contextos donde se requiere evaluar el impacto de daños sísmicos en componentes no estructurales o cuando se plantea la ejecución de medidas de reforzamiento, permitiendo una evaluación más precisa del comportamiento estructural y no estructural.

*Nota.* La tabla muestra los niveles de desempeño para componentes estructurales propuesto por la norma ATC-40. Fuente: (ATC, 1996).

b) Niveles de desempeño para elementos no estructurales

**Tabla 3**

*Niveles de desempeño para componentes no estructurales según ATC-40.*

<b>Abreviatura</b>	<b>Nivel de desempeño</b>	<b>Descripción</b>
<b>NP-A</b>	Operacional	Los componentes no estructurales se mantienen operativos y en posición tras el sismo.
<b>NP-B</b>	Ocupación inmediata	Los componentes no estructurales conservan su posición, pero pueden surgir restricciones en la operatividad de ciertos equipos y servicios externos, sin comprometer la habitabilidad del edificio.
<b>NP-C</b>	Seguridad de vida	Deterioros significativos en ciertos elementos no estructurales, no llegando al colapso ni comprometiendo la protección de los usuarios. Los sistemas, equipos y maquinarias podrían sufrir afectaciones severas, requiriendo reparaciones o, en el peor escenario, sustituciones.
		Deterioros importantes en componentes no estructurales, sin el fallo de componentes

<b>NP-D</b>	Peligro reducido	mayores, pero con riesgo de lesiones por daños en barandillas y muros de albañilería.
<b>NP-E</b>	No considerado	Indica que los elementos no estructurales no han sido evaluados, salvo cuando afectan directamente la respuesta estructural.

*Nota.* La tabla presenta los niveles de desempeño para componentes no estructurales propuesto por la norma ATC-40. Fuente: (ATC, 1996).

c) Niveles de desempeño para las estructuras




En la siguiente figura 21 presenta las configuraciones entre los grados de rendimiento estructural y no estructural integrando el comportamiento del edificio. Esta ilustración muestra cómo se comporta la estructura del edificio, tanto los componentes primarios como los secundarios, bajo diferentes magnitudes de cargas sísmicas (Carrera, 2024).

**Figura 21**

*Niveles de desempeño para las estructuras según el ATC-40.*

Niveles de Desempeño No Estructural	Niveles de Desempeño Estructural					
	SP-1 Ocupación Inmediata	SP-2 Control de daño	SP-3 Seguridad de Vida	SP-4 Seguridad Limitada	SP-5 Estabilidad Estructural	SP-6 No Considerado
<b>NP-A Operacional</b>	1-A Operacional	2-A	NR	NR	NR	NR
<b>NP-B Ocupación Inmediata</b>	1-B Ocupación inmediata	2-B	3-B	NR	NR	NR
<b>NP-C Seguridad de Vida</b>	1-C	2-C	3-C Seguridad de Vida	4-C	5-C	6-C
<b>NP-D Peligro Reducido</b>	NR	2-D	3-D	4-D	5-D	6-D
<b>NP-E No Considerado</b>	NR	NR	3-E	4-E	5-E Estabilidad Estructural	No Aplicable

	Niveles de desempeño comúnmente utilizados
	Otras posibles combinaciones de SP-NP
	Combinaciones No Recomendadas de SP-NP

*Nota.* La figura representa los distintos niveles de desempeño para estructuras propuesto por el ATC-40. Fuente: (ATC, 1996).

Según el ATC (1996), de las combinaciones anteriores, cuatro grados de desempeño son esenciales para una edificación:

**Tabla 4**

*Niveles de desempeño fundamentales para una estructura según ATC-40.*

<b>Nivel de desempeño</b>	<b>Descripción</b>
<b>Operacional 1-A</b>	El grado del desempeño asociado a la condición de operatividad se define por la restricción de los daños estructurales a un grado menor, permitiendo que la edificación mantenga su funcionamiento habitual tras la ocurrencia ante una acción sísmica, sin que las afectaciones en los elementos no estructurales interfieran significativamente con su operación.
<b>Operacional inmediata 1-B</b>	Este nivel de desempeño es el más empleado en edificaciones críticas, dado que establece los parámetros necesarios para asegurar su operatividad en condiciones sísmicas.
<b>Seguridad de Vida 3-C</b>	Consiste en una condición de daño en la que el riesgo de comprometer la integridad de las personas es prácticamente inexistente.
<b>Estabilidad estructural 5-E</b>	La seguridad de los usuarios y transeúntes no se encuentra plenamente asegurada, por lo que se recomienda evacuar la edificación e incluso considerar su demolición en determinados escenarios.

*Nota.* La tabla demuestra los niveles de desempeño fundamentales propuesto por la norma ATC-40. Fuente: (ATC, 1996).

#### **2.2.3.1.3. Propuesta del ASCE 41-17.**

En la norma ASCE 41-17 (2017), se establece una perspectiva integral para el establecimiento de los grados de respuesta de una construcción. Esta metodología incluye tanto la respuesta en los componentes estructurales como el de los componentes no estructurales, integrando ambos aspectos para evaluar de modo global su respuesta de la estructura frente a condiciones sísmicas.

- a) Niveles y rangos de desempeño para componentes estructurales

**Tabla 5**

*Niveles y rangos de desempeño para componentes estructurales según ASCE 41-17.*

<b>Abreviatura</b>	<b>Nivel de desempeño</b>	<b>Descripción</b>
<b>S-1</b>	Ocupación inmediata	Condición donde la integridad estructural tras un evento sísmico en la que la edificación sigue siendo habitable y mantiene tanto su capacidad resistente como su rigidez original.
<b>S-2</b>	Rango de Seguridad Mejorado Control de daño	Rango de daño estructural que se extiende desde el grado de seguridad de vida (S-3) hasta el rango de ocupación inmediata (S-1). Nivel de deterioro estructural post-sismo ubicado dentro de los niveles de seguridad de vida (S-3) y ocupación inmediata (S-1).
<b>S-3</b>	Seguridad de vida	Daño en la estructura post-sismo con afectaciones en componentes, pero con un nivel de protección que evita el fallo parcial o completo.
<b>S-4</b>	Rango de Seguridad Reducida Seguridad Limitada	Rango de daño estructural que abarca desde el grado de seguridad de vida (S-3) hasta el rango de prevención de colapso (S-5). Estado de daño estructural post-sismo situado entre los grados de seguridad de vida (S-3) y prevención del colapso (S-5).
<b>S-5</b>	Prevención de colapso	La estructura presenta daños en sus componentes; aunque aún soporta cargas gravitacionales, ha perdido el nivel de protección frente al colapso.
<b>S-6</b>	No considerado	Cuando un análisis sísmico no incluya la estructura.

*Nota.* La tabla demuestra las categorías y rangos de desempeño para elementos estructurales. Fuente: (ASCE 41-17, 2017).

b) Niveles de desempeño para elementos no estructurales

**Tabla 6**

*Niveles de desempeño para componentes no estructurales según ASCE 41-17.*

<b>Abreviatura</b>	<b>Nivel de desempeño</b>	<b>Descripción</b>
<b>N-A</b>	Operacional	Estos componentes no estructurales mantienen las funciones asignadas al edificio previo a la ocurrencia del sismo.
<b>N-B</b>	Retención de posición	Estado de deterioro post-sismo donde los componentes no estructurales pueden presentar afectaciones, aunque permanecen en su sitio para prevenir daños derivados de desprendimientos, vuelcos o fallas en las conexiones de servicios esenciales.
<b>N-C</b>	Seguridad de vida	Afectación posterior al sismo en componentes no estructurales sin riesgo para la integridad de las personas.
<b>N-D</b>	Peligro reducido	Cuando un análisis sísmico no tome en cuenta los componentes no estructurales en alguno de los grados previamente definidos.

*Nota.* La tabla muestra los niveles de desempeño para los elementos no estructurales.

Fuente: (ASCE 41-17, 2017).

c) Niveles de desempeño objetivo

La séptima tabla presenta los niveles de rendimiento que se identifican típicamente en los edificios, los cuales se clasifican por un sistema dual. Este sistema utiliza una letra para designar el nivel de rendimiento no estructural y el dígito para especificar el nivel estructural correspondiente. Este sistema de clasificación facilita la evaluación integral del edificio en cuanto al alcance de la inspección, los componentes estructurales y la visión integradora general respecto al rendimiento sísmico del edificio (Carrera, 2024).

**Tabla 7**

*Niveles de desempeño más comunes de un edificio.*

<b>Nivel de desempeño</b>	<b>Descripción</b>
<b>Operacional 1-A</b>	Los sistemas de respaldo conservan su operatividad, presentando un nivel mínimo de afectación. (S1+NA)
<b>Operacional inmediata 1-B</b>	La estructura continúa siendo habitable y solo requiere reparaciones menores (S1 + NB).
<b>Seguridad de Vida 3-C</b>	La edificación permanece estable con una capacidad de reserva considerable y el riesgo por daños no estructurales ha sido mitigado (S3 + NC).
<b>Versión resumida:</b>	
<b>Prevención de Colapso 5-E</b>	La estructura sigue en pie, cerca del colapso, y cualquier daño adicional se considera aceptable (S5 + NE).

*Nota.* La tabla demuestra los niveles de desempeño más frecuentes de una construcción.

Fuente: (ASCE 41-17, 2017).

### **2.2.3.2. Objetivos de desempeño.**

Estos se definen como el resultado del acoplamiento entre las categorías exigidas de resistencia ya sea en los elementos estructurales como en los no estructurales, así como estos grados anticipados de actividad sísmica. En este contexto, la selección del objetivo de desempeño es un proceso que debe considerar diversos factores, incluyendo las expectativas del proyectista, el grado de amenaza sísmica que enfrenta la edificación, las restricciones y prioridades económicas, así como la relevancia funcional y operativa de la edificación (Carrera, 2024).

Un objetivo de desempeño describe la reacción esperada de esta edificación frente a los movimientos sísmicos. Este es determinado al establecer un grado máximo de daño aceptable (nivel de desempeño) ante una amenaza de sismo determinada (nivel de amenaza sísmica) (Quinto Quinto & Chaverra Mora, 2022).

#### **2.2.3.2.1. Propuesta del comité VISION 2000.**

La propuesta del comité VISION 2000 categoriza las edificaciones en tres categorías principales, cada una definida según su nivel de importancia y función en un contexto sísmico,

en primer lugar, se consideran las edificaciones críticas, aquellas que albergan materiales peligrosos. En segundo lugar, se encuentran las estructuras esenciales, concebidas para mantener su operatividad tras un terremoto. Finalmente, se agrupan las edificaciones esenciales, que no encajan en los dos grupos mencionados anteriormente y cuya importancia funcional es menor en términos de respuesta post-sísmica.(Carrera , 2024).

## Figura 22

*Objetivos del desempeño según comité VISION 2000.*

Movimiento sísmico de diseño	Nivel de desempeño de la estructura			
	Totalmente Operacional	Operacional	Seguridad	Próximo Colapso
Frecuente (43 años)	1	0	0	0
Ocasional (72 años)	2	1	0	0
Raro (475 años)	3	2	1	0
Muy raro (970 años)	-	3	2	1
0. Desempeño inaceptable				
1. Estructuras básicas				
2. Estructuras esenciales / riesgosas				
3. Estructuras de seguridad crítica				

*Nota.* La figura demuestra los objetivos del desempeño sísmico para estructuras. Fuente: (SEAOC Vision 2000 Committee, 1995).

### 2.2.3.2.2. Propuesta del ATC-40.

La iniciativa presentada por el ATC-40 establece los propósitos de desempeño de una edificación mediante la integración de los escenarios sísmicos contemplados dentro del procedimiento de diseño con los diversos niveles de desempeño esperados. Esta metodología permite evaluar cómo responderá la estructura ante diferentes intensidades sísmicas. Un ejemplo concreto de esta aplicación se presenta en la figura 23, donde se expone la meta de desempeño orientada a la Seguridad Básica para construcciones estándar (Carrera, 2024).

**Figura 23**

*Objetivos de seguridad básica según ATC-40.*

Movimiento sísmico de diseño	Nivel de desempeño del edificio			
	Operacional	Ocupación Inmediata	Seguridad	Estabilidad Estructural
Sismo de Servicio, SE	-	-	-	-
Sismo de Diseño, DE	-	-	√	-
Sismo Máximo, ME	-	-	-	√

*Nota.* La figura demuestra los objetivos de desempeño de Seguridad Básica para edificaciones normales. Fuente: (ATC, 1996).

### **2.2.3.2.3. Propuesta del ASCE 41-17.**

En la propuesta del ASCE 41-17, la elección de la meta de desempeño en el proceso de diseño de edificaciones contribuye directamente en los costos del proyecto y en la capacidad de la edificación para reducir las afectaciones y los gastos de restauración tras un sismo. En este contexto, el cuadro 8 muestra los objetivos de desempeño básico equivalentes para construcciones nuevas (BPON), definidos según la clasificación de riesgo, brindando un marco utilizado como base para estimar el nivel de desempeño que esperamos según los estándares actuales (Carrera, 2024).

**Tabla 8**

*Objetivos de desempeño en edificaciones nuevas según ASCE 41-17.*

Categoría de Riesgo	Nivel de amenaza sísmica	
	BSE-1N	BSE-2N
I y II	Seguridad de vida	Prevención al colapso
	Desempeño Estructural	Desempeño Estructural
	+	+
	Retención de Posición	Peligro Reducido
	Desempeño No estructural (3-B)	Desempeño No estructural (5-D)
	Control de Daño	Seguridad Limitada
	Desempeño Estructural	Desempeño Estructural

III	+	+
	Retención de Posición Desempeño No estructural (2-B)	Peligro Reducido Desempeño No estructural (4-D)
IV	+	+
	Operacional Desempeño No estructural (1-A)	Seguridad Limitada Desempeño Estructural Peligro Reducido Desempeño No estructural (3-D)

*Nota.* La tabla presenta los objetivos de desempeño para edificaciones recientes BPON.

Fuente: (ASCE 41-17, 2017).

### 2.2.3.3. Niveles de amenaza sísmica.

Para refinar este enfoque basado en el rendimiento, es necesario seleccionar terremotos potenciales que sean relevantes para el comportamiento particular esperado del edificio; estos son fundamentales para el análisis estructural. Se conocen como niveles de amenaza o terremotos de diseño estos fenómenos sísmicos. Estos fenómenos sirven para determinar las características de los terremotos que se espera que la estructura soporte, mientras se logra un enfoque a medida para las condiciones sísmicas locales. Así, se asegura que el rendimiento del edificio esté optimizado en relación con los escenarios sísmicos más probables en el contexto de su ubicación (Carrera, 2024).

#### 2.2.3.3.1. Propuesta del comité VISION 2000

La idea desarrollada por el comité VISION 2000 establece que el período de recurrencia indica la duración esperada transcurrida entre ocurrencias sísmicas que generan efectos de magnitud comparable. En contraposición, la posibilidad de excedencia se define como un indicador estadístico que expresa la posibilidad de que los efectos producidos por un sismo superen un umbral específico de impacto dentro de un período específico. Esta relación facilita la evaluación de la frecuencia con la que un sismo de ciertas características podría ocurrir dentro de un período específico (Carrera, 2024).

En este contexto, el período de retorno ( $T_R$ ) a lo largo de un intervalo específico de  $t$  años, lo cual se expresa mediante una fórmula específica que facilita el análisis cuantitativo del riesgo sísmico:

$$T_R = - \frac{t}{\ln(1-pe)} \quad (5)$$

La Tabla 9 expone la correlación relación entre el intervalo de recurrencia y la posibilidad de excedencia correspondiente a los 4 escenarios de diseño sísmico definidos en el comité VISION 2000.

**Tabla 9**

*Niveles de amenaza sísmica según comité VISION 2000.*

<b>Sismo</b>	<b>Periodo de Retorno</b>	<b>Probabilidad de excedencia</b>
<b>Frecuente</b>	43 años	50% en un periodo de 30 años.
<b>Ocasional</b>	72 años	50% en un periodo de 50 años.
<b>Raro</b>	475 años	10% en un periodo de 50 años.
<b>Muy Raro</b>	970 años	10% en un periodo de 100 años.

*Nota.* La tabla muestra los niveles de amenaza sísmica según el comité VISION 2000.

Fuente: (SEAOC Vision 2000 Committee, 1995).

#### **2.2.3.3.2. Propuesta del ATC-40**

Presenta tres grados de amenaza sísmica, según lo especificado en la siguiente tabla.

**Tabla 10**

*Niveles de amenaza sísmica según ATC-40.*

<b>Sismo</b>	<b>Periodo de Retorno</b>	<b>Probabilidad de excedencia</b>
<b>Servicio (SE)</b>	75 años	50% en un periodo de 50 años
<b>Diseño (DE)</b>	500 años	10% en un periodo de 50 años
<b>Máximo (ME)</b>	1000 años	5% en un intervalo de 50 años

*Nota.* La tabla representa la propuesta de 3 niveles de amenaza sísmica. Fuente: (ATC, 1996).

### 2.2.3.3.3. Propuesta del ASCE 41-17

Las pautas internacionales ASCE 41-17 proponen, además, cinco niveles de amenaza sísmica BSE (Basic Safety Earthquake), que intentan mitigar las referencias para asegurar la integridad y operatividad de la edificación bajo varios niveles de estrés. Estos niveles se describen en detalle en la tabla 11, y cada uno de ellos representa una condición específica bajo la cual la estructura debe soportar el evento sísmico sin sufrir daños.

**Tabla 11**

*Niveles de amenaza sísmico según ASCE 41-17.*

<b>Sismo</b>	<b>Periodo de Retorno</b>	<b>Probabilidad de excedencia</b>	<b>Descripción</b>
<b>S/N</b>	72 años	50% en un periodo de 50 años	Equivalente al sismo ocasional.
<b>BSE-1E</b>	225 años	20% en un intervalo de 50 años	No es obligatorio que supere al sismo BSE-1N.
<b>BSE-2E</b>	975 años	5% en un periodo de 50 años	No es imprescindible que exceda al sismo BSE-2N.
<b>BSE-1N</b>	475 año	10% en un periodo de 50 años	2/3 del BSE-2N, lo que corresponde al diseño de sismo definido por el ATC-40 o a un evento sísmico no muy frecuente.
<b>BSE-D</b>	2475 años	2% en 50 años	1.5 veces la intensidad del sismo de referencia conceptualizado en la sección 11.4 del ASCE 7-16, sismo considerado de riesgo máximo ( $MCE_R$ )

*Nota.* La tabla presenta los niveles de amenaza sísmica. Fuente: (ASCE 41-17, 2017).

### 2.2.3.4. Punto de desempeño.

El principal propósito de este estudio es establecer la posición de desempeño, concepto que se establece teóricamente como la posición de convergencia entre los denominado Espectro de Capacidad y el Espectro de Demanda, acorde a lo especificado por las Normas Peruanas (E-030). La identificación precisa de esta posición resulta fundamental, ya que permite evaluar el grado estimado de cómo se comporta la edificación ante una demanda sísmica particular. Este enfoque metodológico se fundamenta en los lineamientos técnicos desarrollados por organizaciones especializadas tales como SEAOC, ATC-40 y FEMA 356, los cuales dan criterios detallados para el análisis del desempeño estructura (Paredes, 2016).

En cuanto al procedimiento descrito en el FEMA 356 con el objetivo de establecer el estado de desempeño, este se desarrolla a través de varias etapas clave:

En primer lugar, se dispone la interacción entre el cortante basal y el desplazamiento del grado superior, generando una curva Pushover, la cual refleja la capacidad estructural frente a cargas incrementales

A continuación, dicha curva se convierte en un diagrama de capacidad. En este contexto  $m_j$  denota la masa en el grado  $j$ ;  $\phi_{jl}$  denota el componente correspondiente al nivel  $j$  del modo fundamental  $\phi_1$ ;  $n$  indica la cantidad total de niveles y  $M_1^*$  se refiere en la masa modal efectiva vinculada al primer tipo de vibración (Paredes, 2016).

$$r_1 = \frac{\sum_{j=1}^n m_j \phi_{j1}}{\sum_{j=1}^n m_j \phi_{j1}^2} \quad (6)$$

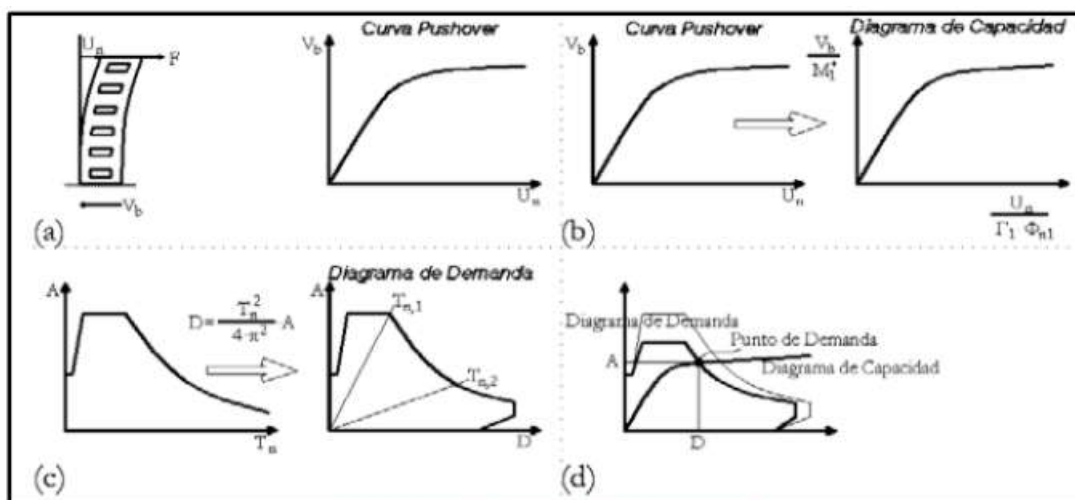
$$M_1^* = \frac{(\sum_{j=1}^n m_j \phi_{j1})^2}{\sum_{j=1}^n m_j \phi_{j1}^2} \quad (7)$$

El procedimiento de transformación del espectro de respuesta o demanda del formato de pseudoaceleración frente al período propio al formato de pseudoaceleración frente a deformación espectral constituye un paso clave en el estudio del desempeño estructural (Paredes, 2016).

Una vez realizada esta transformación, el siguiente paso es identificar el factor de convergencia tanto del gráfico de demanda como el de gráfico de capacidad. Este factor simboliza el desplazamiento demandado, el cual debe ser posteriormente convertido en desplazamiento global para cada nivel estructural, además de determinar la contribución específica de deformación correspondiente a cada elemento. Finalmente, estos valores se contrastan con los límites previamente establecidos para el desempeño objetivo, garantizando que estas lleguen a cumplir con las normas de seguridad y funcionalidad estructural definidos dentro del proyecto (Paredes, 2016).

**Figura 24**

*Método para hallar el punto de desempeño.*



*Nota.* El grafico muestra el método para hallar el punto de desempeño. Fuente: (Chopra, 2000, tal como se indicó en Paredes, 2016).

### 2.3. Definición de términos básicos

#### 2.3.1. Rigidez

Dentro del rubro de la ingeniería civil, la rigidez se conceptualiza como la habilidad de determinado componente estructural o elemento sólido para soportar los cambios producidos debido a la influencia de esfuerzos externos. La presente propiedad estructural se cuantifica a través de la conexión directa entre esta magnitud de la fuerza que es aplicada y el desplazamiento resultante, proporcionando un indicador fundamental para analizar la respuesta mecánica de los elementos ante cargas específicas. (Quispe, 2024).

#### 2.3.2. Método Pushover

El método Pushover se compone de la integración progresiva de una fuerza que aumenta sobre la estructura, registrando los desplazamientos correspondientes a cada incremento de fuerza. Este procedimiento permite evaluar la respuesta estructural ante condiciones de carga no lineal, donde los componentes estructurales experimentan como se forman las rótulas plásticas y en consecuencia la reducción en la rigidez. Conforme avanza el desarrollo, se construye la curva de capacidad, lo cual constituye una herramienta fundamental con el fin de analizar tanto el desempeño global de la construcción como su propiedad de ductilidad frente a demandas sísmicas (Castillo, 2024).

### **2.3.3. Resistencia**

La resistencia en ingeniería de estructuras se vincula con la propiedad de un elemento con el propósito de resistir esfuerzos aplicados sin tener daños significativos ni fracturas que comprometan su integridad. Esta característica obedece a las propiedades del material como del diseño de la estructura, permitiendo que los elementos resistan fuerzas externas sin fallar o deformarse de manera irreversible. (Quispe, 2024).

### **2.3.4. Ductilidad**

La ductilidad se entiende como la resistencia de un componente estructural destinado a soportar deformaciones plásticas sin perder su capacidad resistente, manteniendo su integridad frente a cargas aplicadas. Esta propiedad se mide a través de la agrupación entre la deformación máxima y la deformación correspondiente al inicio de la fluencia. En el contexto del diseño antisísmico, se da prioridad a la resistencia de la construcción para experimentar deformaciones controladas al alcanzar su esfuerzo máximo, lo que aporta a disminuir el riesgo de fallas frágiles y prevenir colapsos abruptos que podrían comprometer la integridad general del conjunto estructural (Yaipen, 2024).

### **2.3.5. Demanda sísmica**

La demanda sísmica se relaciona a la evaluación en la respuesta proyectada que una edificación debe exhibir ante un nivel específico de actividad sísmica, considerando los parámetros de desempeño establecidos. Esta respuesta esperada se representa a través del espectro de respuesta elástica, el cual se expresa bajo el formato ADRS (Espectro de Respuesta Aceleración-Desplazamiento). Dicho formato permite analizar de manera conjunta las respuestas con respecto a aceleración y desplazamiento, facilitando la interpretación de la respuesta estructural ante diversos grados de exigencia sísmica (Quispe, 2024).

### **2.3.6. Punto de desempeño**

Este se conceptualiza como el desplazamiento superior anticipado en el grado máximo de una construcción, determinado en base a un terremoto de referencia específica. Este valor constituye un parámetro importante para evaluar el grado de deterioro potencial que podría experimentar la construcción, permitiendo contrastar dicho comportamiento junto al propósito de desempeño previamente indicado. A través de la comparación entre ambos, es posible identificar áreas críticas o deficiencias estructurales que podrían requerir medidas correctivas, (Quispe, 2024).

### III. HIPÓTESIS Y VARIABLES

#### 3.1. Hipótesis

##### 3.1.1. *Hipótesis Principal*

El nivel de desempeño sísmico del edificio académico de la Universidad Nacional Intercultural Fabiola Salazar Leguía a través del método Pushover es de seguridad de vida.

##### 3.1.2. *Hipótesis Secundarias*

- Los niveles de desempeño sísmico del edificio académico de la Universidad Nacional Intercultural Fabiola Salazar Leguía a través del método Pushover cumplen los distintos niveles de demanda sísmica.
- Los modelos constitutivos de los materiales como el acero y concreto que se usan en una estructura de concreto armado son acordes a su comportamiento estructural real.

#### 3.2. Variables

##### 3.2.1. *Desempeño sísmico*

Corresponde a la resistencia de una edificación destinada a soportar las acciones sísmicas sin alcanzar un estado de colapso estructural, manteniendo su funcionalidad, seguridad y estabilidad estructural, de acuerdo con niveles de demanda sísmica establecidos por normativas técnicas. (Quinteros & Ruiz, 2021).

#### 3.3. Operacionalización de variables

##### 3.3.1. *Desempeño sísmico de la infraestructura*

Se determinará mediante el análisis no lineal estático (Pushover), empleando el software ETABS y aplicando las recomendaciones del ATC-40. Se analizarán los niveles de desempeño estructural según la reacción de la estructura frente a distintos grados de actividad sísmica: de servicio, diseño y máximo.

**Tabla 12**

*Operacionalización de las variables.*

Variables	Definición operacional	Indicadores	Medición	Unidad de medida
V1: Desempeño sísmico	Es el comportamiento estructural de un edificio ante la acción de un sismo, evaluado en función de su curva de capacidad (relación fuerza-desplazamiento) y comparado con la demanda sísmica esperada, generalmente representada mediante espectros de respuesta. Esta evaluación permite estimar el nivel de daño, la seguridad estructural y la funcionalidad posterior al evento sísmico, en base a metodologías como el análisis estático no lineal (pushover), considerando criterios de desempeño previamente establecidos.	Curva de capacidad	Cortante basal y desplazamiento en el último nivel	Ton-m
		Espectro de capacidad	Aceleración espectral desplazamiento espectral	g - m
		Espectro de Demanda (Formato ADRS)	Aceleración espectral desplazamiento espectral	g - m
		Punto de desempeño	Intersección del espectro de demanda (formato ADRS) y espectro de capacidad.  Intersección al igualar áreas entre curva de capacidad y representación bilineal	g – m ton - m

*Nota.* Fuente: Elaboración propia.

## **IV. METODOLOGÍA**

### **4.1. Enfoque de investigación**

Este estudio tiene como objetivo establecer el desempeño sísmico del edificio académico de la Universidad Nacional Intercultural Fabiola Salazar Leguía, aplicando el Método no lineal Pushover.

Debido a su enfoque, es un estudio de naturaleza cualitativa y cuantitativa, ya que las variables son medidas numéricamente mediante cálculos técnicos y se evalúan a través de análisis interpretativo de los resultados con base a criterios normativos, parámetros de desempeño estructural y juicios técnicos especializados.

### **4.2. Tipo de investigación**

El tipo de investigación es Descriptiva, ya que se enfoca en detallar el desempeño sísmico del edificio académico de la Universidad Nacional Intercultural Fabiola Salazar Leguía de Bagua. Este estudio no busca establecer relaciones causales ni correlaciones entre variables, sino describir de manera técnica y estructural el comportamiento del edificio frente a una carga sísmica, utilizando el Método No Lineal Pushover y criterios normativos de evaluación de desempeño.

### **4.3. Diseño de investigación**

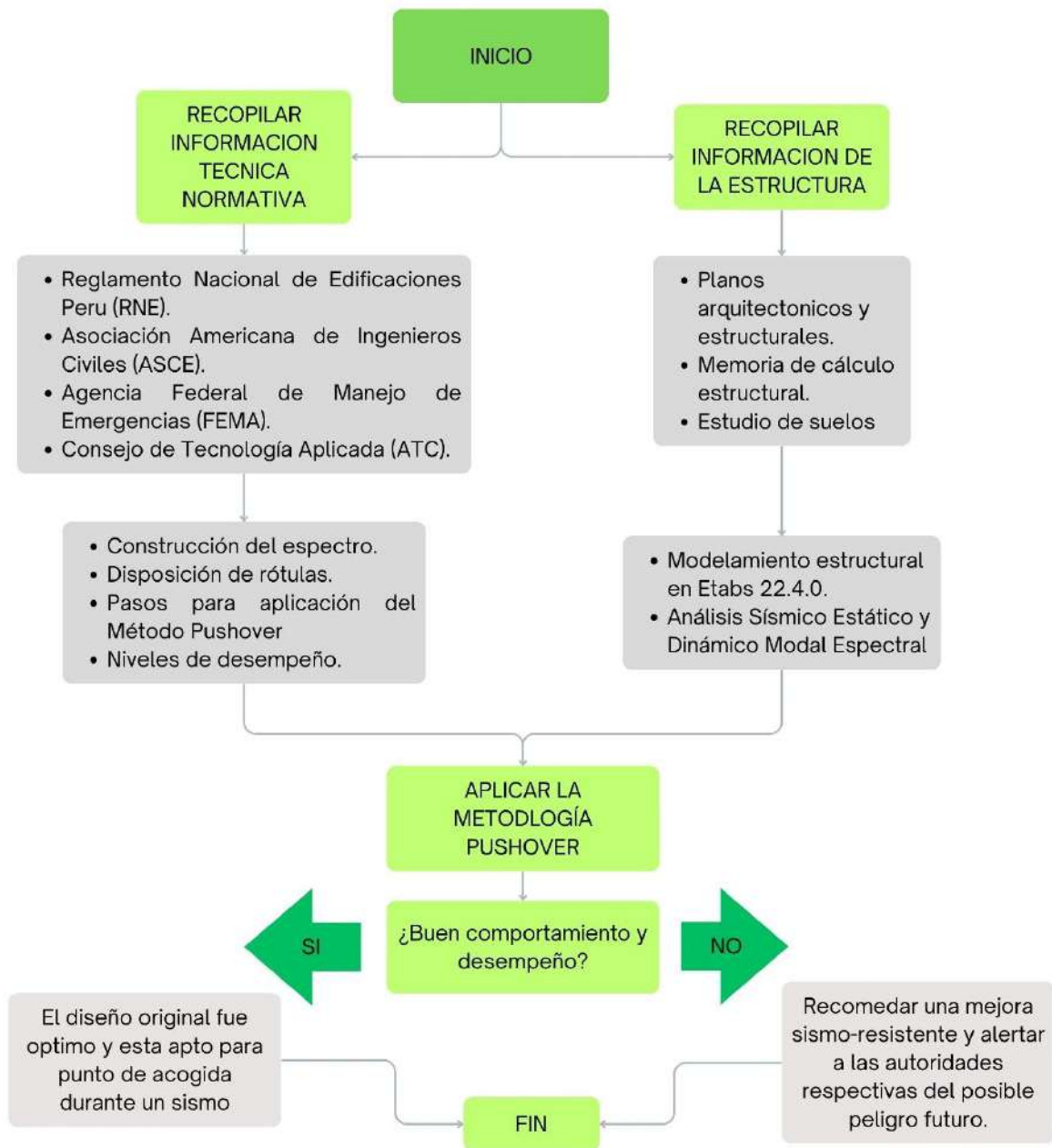
El diseño de esta investigación es NO EXPERIMENTAL, al no realizarse ninguna manipulación deliberada de la variable estudiada; en cambio, se observará e interpretará una condición previamente establecida, sin intervención alguna, puesto que los hechos y variables se han presentado de manera natural. Asimismo, es de tipo TRANSVERSAL, dado que la obtención de datos se realizará en una única instancia, permitiendo explicar la variable y examinar su relación en esa misma instancia.

### **4.4. Método**

Se empleará el método sintético analítico para analizar el sistema estructural en su totalidad, estudiándolo en capas para aplicar cargas y definir secciones. Asimismo, se examinará cada elemento estructural de forma individual para determinar sus propiedades resistentes, dividiéndolos en secciones. Posteriormente, se volverá a analizar el edificio en conjunto para evaluar su modo de actuar ante un acontecimiento sísmico.

**Figura 25**

*Diagrama de Flujo para el desarrollo del Metodo Pushover.*



*Nota.* La figura muestra la secuencia utilizada para efectuar el Analisis Pushover. Fuente:

Elaboración propia.

## 4.5. Población y muestra

### 4.5.1. Población

La población de estudio estuvo conformada por la estructura física del edificio académico principal de la UNIFSLB. Esta edificación, destinada al desarrollo de actividades académicas, representa una construcción de cuatro niveles ejecutada en concreto armado, cuyo comportamiento estructural frente a eventos sísmicos constituye un punto de interés técnico y científico.

#### Figura 26

*Campus universitario de la Unifslb.*



*Nota.* La figura demuestra la localización del campus universitario de la Unifslb. Fuente: Google earth.

#### 4.5.2. Muestra

En esta investigación, la unidad de análisis seleccionada fue el edificio académico principal de la UNIFSLB. Dado que el estudio se centró exclusivamente en esta edificación, la muestra coincidió plenamente con la población, por lo que se consideró una muestra censal. Al no haberse aplicado un proceso de selección aleatoria ni criterios de muestreo probabilístico, se clasifica como una muestra de tipo no probabilístico.

##### 4.5.2.1. Criterios de inclusión

- ✓ Todos los elementos estructurales principales y secundarios (como muros estructurales, vigas principales y secundarias, losas aligeradas)

##### 4.5.2.2. Criterios de exclusión

- Tabiquerías
- Barandas metálicas
- Ventanas metálicas
- Puertas de madera
- Cobertura móvil

#### Figura 27

*Ubicación del edificio académico de la Unifslb.*



*Nota.* La figura demuestra la ubicación del edificio académico de la Unifslb. Fuente: Google earth.

## Figura 28

*Infraestructura del edificio académico de la Unifslb.*



*Nota.* La figura presenta el edificio académico donde se lleva la realización de las labores académicas. Fuente: Leon, 2024, capturada por el autor.

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

#### **4.6.1. Técnicas**

La toma de datos para este estudio se ha realizado a través de la observación, que ha facilitado la identificación del estado físico presente donde se ubica la construcción, tales como: método constructivo, componentes, condición de preservación, funciones de los espacios, entre otros. Igualmente se realizó revisión bibliográfica sobre trabajos que han sido desarrollados a nivel regional, nacional, así como el documento del expediente final del proyecto.

#### **4.6.2. Instrumentos**

Con el cumplimiento de la propuesta y objetivo de esta investigación, los principales datos han sido recopilados con el uso de hojas de cálculo, que han sido proporcionados en base al procesamiento de la información por los estudios básicos donde se establecen las propiedades físicas y mecánicas del suelo, así como del concreto, y mediante el software de análisis estructural y diseño de edificios, ETABS 22.4.0.

#### **4.7. Validez y confiabilidad de instrumentos**

Para llevar a cabo esta investigación, se emplearon principalmente los programas ETABS 22.4.0 y Microsoft Excel, que fueron herramientas clave para la interpretación y procesamiento de la información. La validez de estos instrumentos se apoya en el uso generalizado de ETABS en la ingeniería estructural a nivel mundial, donde es reconocido por su precisión en el modelado y análisis de estructuras bajo normativas sísmicas como el ACI, ASCE o la E.030 – 2018 en Perú.

Por otro lado, Excel se utilizó para organizar datos, realizar cálculos auxiliares y crear gráficos, lo que ayuda en el control y verificación de los resultados. En términos de confiabilidad, ambos instrumentos aseguran resultados reproducibles, siempre que se mantengan las mismas condiciones de entrada y parámetros de diseño. ETABS permite modelar y simular cargas sísmicas de manera coherente con los criterios normativos, mientras que Excel facilita la verificación cruzada de cálculos, lo que refuerza la confianza en la consistencia de los datos obtenidos.

#### 4.8. Contrastación de hipótesis

Hipótesis principal, Hipótesis secundaria 1

Se desarrolló el análisis estático no lineal con ETABS 22.4.0, obteniendo las curvas de capacidad en ambas direcciones del edificio (X e Y), y se identificaron los puntos de desempeño estructural frente a tres niveles de demanda sísmica:

- Sismo de Servicio (SS)
- Sismo de Diseño (SD)
- Sismo Máximo Esperado (SM)

Los resultados obtenidos se muestran a continuación:

**Tabla 13**

*Puntos de desempeño en el sentido X y Y*

<b>Sentido X</b>	<b>Cortante basal (ton)</b>	<b>Desplazamiento en el techo (mm)</b>
<b>SS (sismo de servicio)</b>	641.33	41.50
<b>SD (sismo de diseño)</b>	997.52	104.50
<b>SM (sismo máximo)</b>	1112.35	142.60

<b>Sentido Y</b>	<b>Cortante basal (ton)</b>	<b>Desplazamiento en el techo (mm)</b>
<b>SS (sismo de servicio)</b>	394.11	53.20
<b>SD (sismo de diseño)</b>	525.00	97.19
<b>SM (sismo máximo)</b>	544.06	138.40

Fuente: Etabs 22.4.0.

De acuerdo con el ATC-40, los niveles de desempeño estructural se establecen evaluando el desplazamiento objetivo (punto de desempeño) comparado con los límites de daño permisibles:

- Ocupación Inmediata (IO): desplazamientos muy bajos, sin daño estructural.
- Seguridad de Vida (LS): daño estructural moderado, la vida de los ocupantes no está en riesgo.
- Prevención de Colapso (CP): daño severo, estructura no funcional, pero aún estable.

Siguiendo el procedimiento de la normativa FEMA 440, se tiene lo siguiente:

En la dirección X, la estructura llega a su máxima capacidad cuando soporta una cortante basal de 1233.47 toneladas. Por lo tanto, según el procedimiento, para encontrarse en un nivel de desempeño operacional (O), la estructura debe presentar un desplazamiento

de 9 mm; para ocupación inmediata (IO), 61 mm; para seguridad de vida (LS), 132 mm; para precolapso (CP), 146 mm; y para colapso, superior a los 180 mm.

Asimismo, en la dirección Y, la estructura alcanza su capacidad máxima al soportar una cortante basal de 553.22 toneladas. En consecuencia, según el procedimiento, para ubicarse en un nivel de desempeño operacional (O), el desplazamiento debe ser de 25 mm; para ocupación inmediata (IO), 60 mm; para seguridad de vida (LS), 96 mm; para precolapso (CP), 120 mm; y para colapso, superior a los 135 mm.

Por lo que se tiene el siguiente análisis:

*Dirección X:*

En SS y SD, los desplazamientos de 41.5 mm y 104.5 mm se mantienen dentro de límites tolerables, indicando un comportamiento adecuado.

En SM (142.6 mm) se alcanza un estado de precolapso; el edificio aún no colapsa, pero presenta daño severo. Este valor puede ubicarse entre los límites de Seguridad de Vida y Prevención de Colapso, por lo que el desempeño es marginalmente aceptable, dependiendo de la ductilidad y capacidad de disipación de energía del sistema.

*Dirección Y:*

En SS y SD (53.20 mm y 97.19 mm) el comportamiento también es aceptable y se mantiene dentro del rango de Ocupación Inmediata y Seguridad de Vida.

En SM (138.4 mm), el desplazamiento es considerable y excede los valores esperados para Seguridad de Vida, indicando un estado de colapso inminente, lo que ubica este desempeño en el rango de Prevención de Colapso (CP), lo cual no es aceptable para estructuras críticas como edificaciones académicas.

## Hipótesis secundaria 2

Durante el desarrollo del Análisis no lineal Pushover, se definieron las propiedades del concreto armado considerando el comportamiento no lineal inelástico de los elementos estructurales (vigas, columnas y muros estructurales). Para tal fin, se utilizaron modelos constitutivos basados en:

Mander et al. (1988) para la curva tensión-deformación del concreto confinado y no confinado. Este modelo es ampliamente aceptado por su capacidad de representar el efecto del confinamiento generado por los estribos transversales, proporcionando un aumento en la ductilidad y resistencia del concreto en zonas críticas.

Park y Paulay (1988), quienes desarrollaron modelos de comportamiento para elementos de concreto armado en condiciones de carga cíclica, integrando mecanismos de degradación de rigidez y resistencia, esenciales en análisis sísmico.

Ambos enfoques están integrados en software de análisis estructural avanzado como ETABS y son respaldados por normativas internacionales, incluyendo el ASCE/SEI 41-17, que recomienda expresamente el uso de estos modelos en simulaciones no lineales para evaluación sísmica.

Conclusión:

Se confirma la hipótesis principal:

El edificio sí cumple con el nivel de desempeño Seguridad de Vida (LS) para un sismo de diseño (SD), tal como lo establece el ATC-40, lo cual valida la hipótesis en condiciones de demanda sísmica habitual.

Sin embargo, para la hipótesis secundaria 1, frente a los siguientes casos de sismo como un sismo máximo esperado (SM):

En dirección X, se alcanza un estado cercano a precolapso, pero no se supera el límite estructural, por lo que puede considerarse críticamente aceptable.

En dirección Y, el nivel de daño es mayor y supera los límites de desempeño de Seguridad de Vida, lo que implica colapso parcial o total, invalidando el objetivo de desempeño para esta dirección en este escenario.

En relación a la hipótesis secundaria 2, se concluye que:

La implementación de los modelos Mander et al. (1988) y Park y Paulay (1988) en el programa ETABS permitió capturar con precisión el comportamiento no lineal esperado del concreto armado en el análisis pushover. Esto se refleja en la forma de la curva de capacidad estructural obtenida, la cual exhibe los siguientes comportamientos esperados:

- Respuesta elástica inicial coherente con la rigidez estructural analítica.
- Punto de fluencia razonable en términos de cortante basal y desplazamiento.
- Rango pos-elástico con pérdida progresiva de rigidez, indicando correcta representación del daño.
- Capacidad de capturar la degradación y el colapso estructural en escenarios extremos (como en la dirección Y para el sismo máximo).

## V. RESULTADO

### 5.1. Presentación y análisis de resultados

#### 5.1.1. Presentación de resultados

El edificio académico de la Unifslb, está destinado a la enseñanza universitaria, cuenta con cuatro niveles y dispone de dos accesos mediante escaleras, los cuales corresponden a estructuras independientes.

**Tabla 14**

*Especificaciones estructurales del edificio académico de la Unifslb.*

Eje	Edificio Académico
Eje X - X	Muros estructurales
Eje Y - Y	Muros estructurales

Fuente: Planos estructurales del expediente técnico.

**Tabla 15**

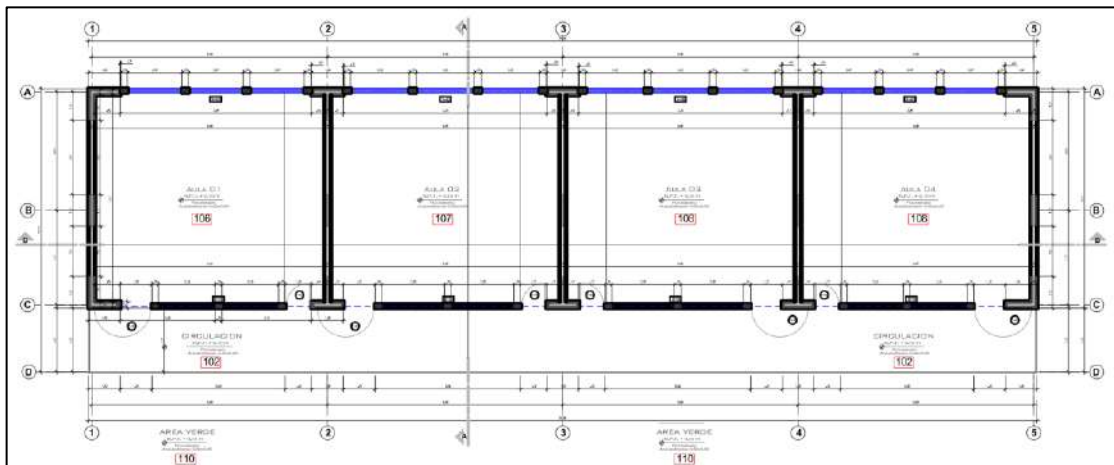
*Características de los materiales empleados.*

Características de materiales	Concreto	Acero
Resistencia	210 kg/cm <sup>2</sup>	4200 kg/cm <sup>2</sup>
Peso específico	2400 kg/m <sup>3</sup>	1850 kg/m <sup>3</sup>
Módulo de elasticidad	15000*(210) <sup>0.5</sup> kg/cm <sup>2</sup>	500*45 kg/cm <sup>2</sup>
Módulo de poisson	0.20	
Fluencia (fu)		

Fuente: Planos estructurales del expediente técnico.

**Figura 29**

*Plano del planteamiento arquitectónico del edificio académico de la Unifslb.*



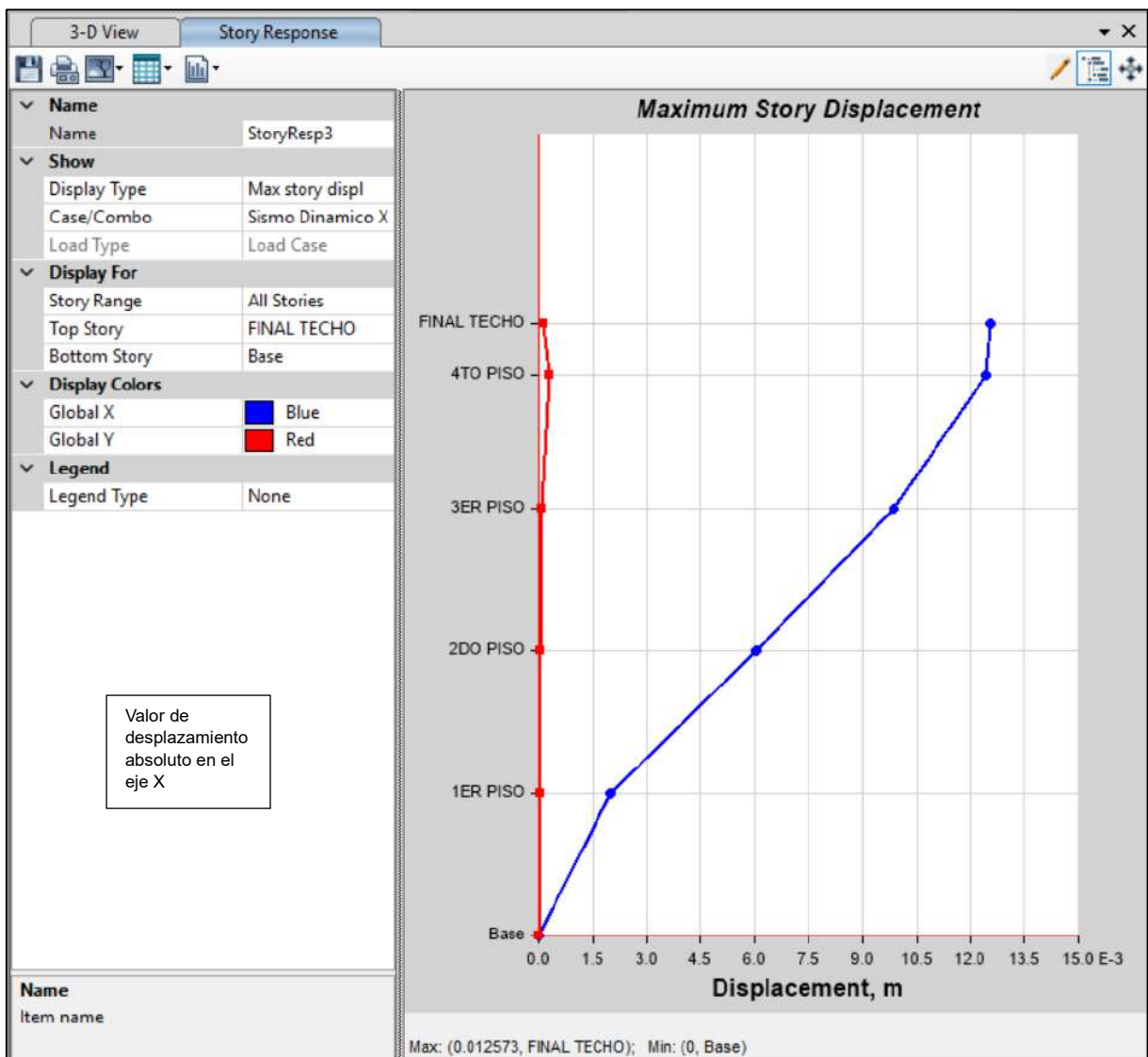
Fuente: Planos arquitectónicos del expediente técnico.

### 5.1.1.1. Desplazamientos máximos absolutos y relativos

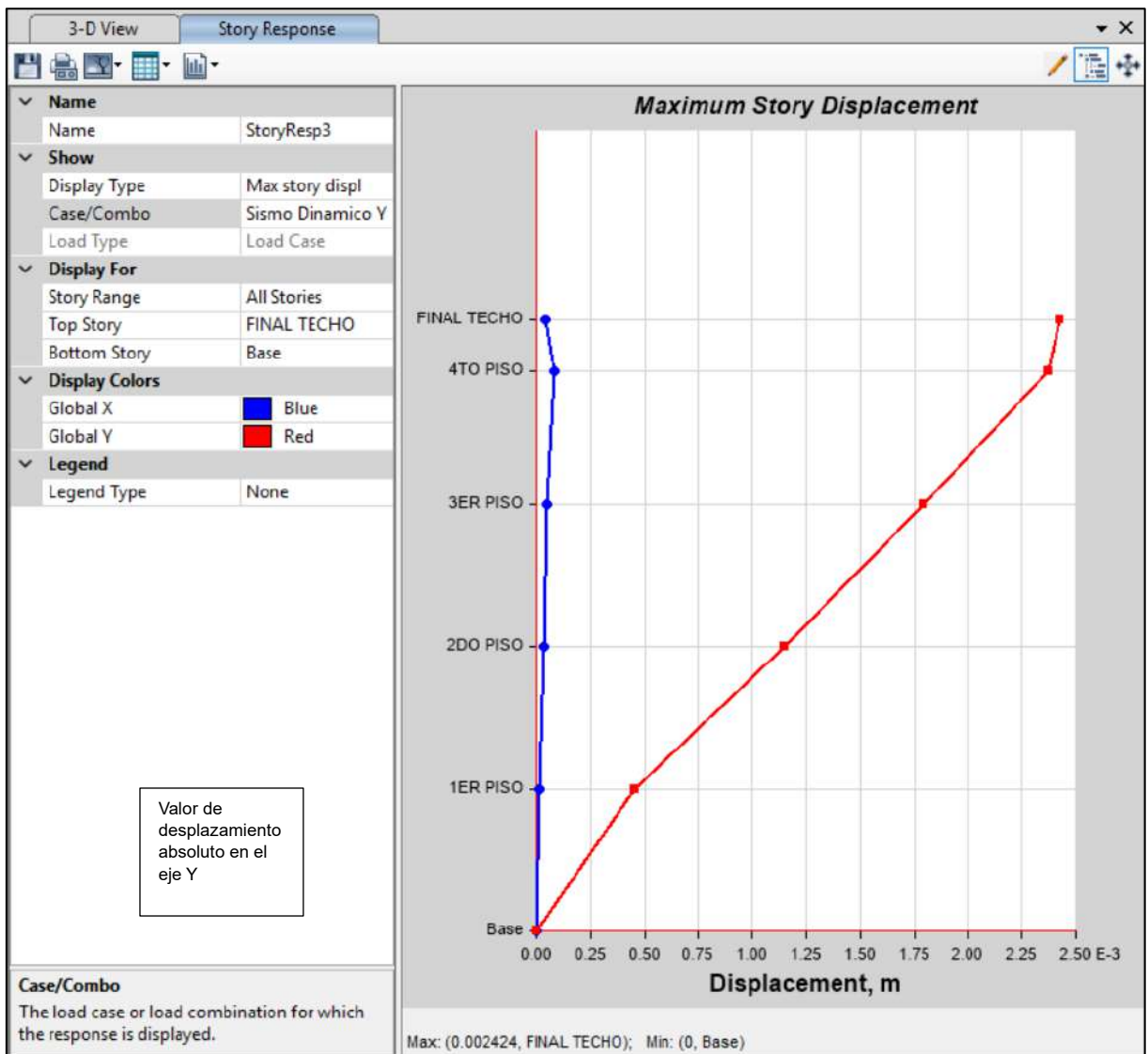
En el contexto del análisis sísmico que se dio para el edificio académico, se realizaron desplazamientos máximos absolutos y relativos que se muestran en las figuras 30 y 31. Como vimos según la norma E. 030, el desplazamiento total en el eje X resulta en 17.89 mm y en el eje Y se queda en 6.44 mm. También, las derivas máximas por nivel en ambos sentidos son menores que 0.007, así confirmando el cumplimiento de la normativa E. 030.

**Figura 30**

*Valores máximos de desplazamiento absolutos en los ejes X e Y.*



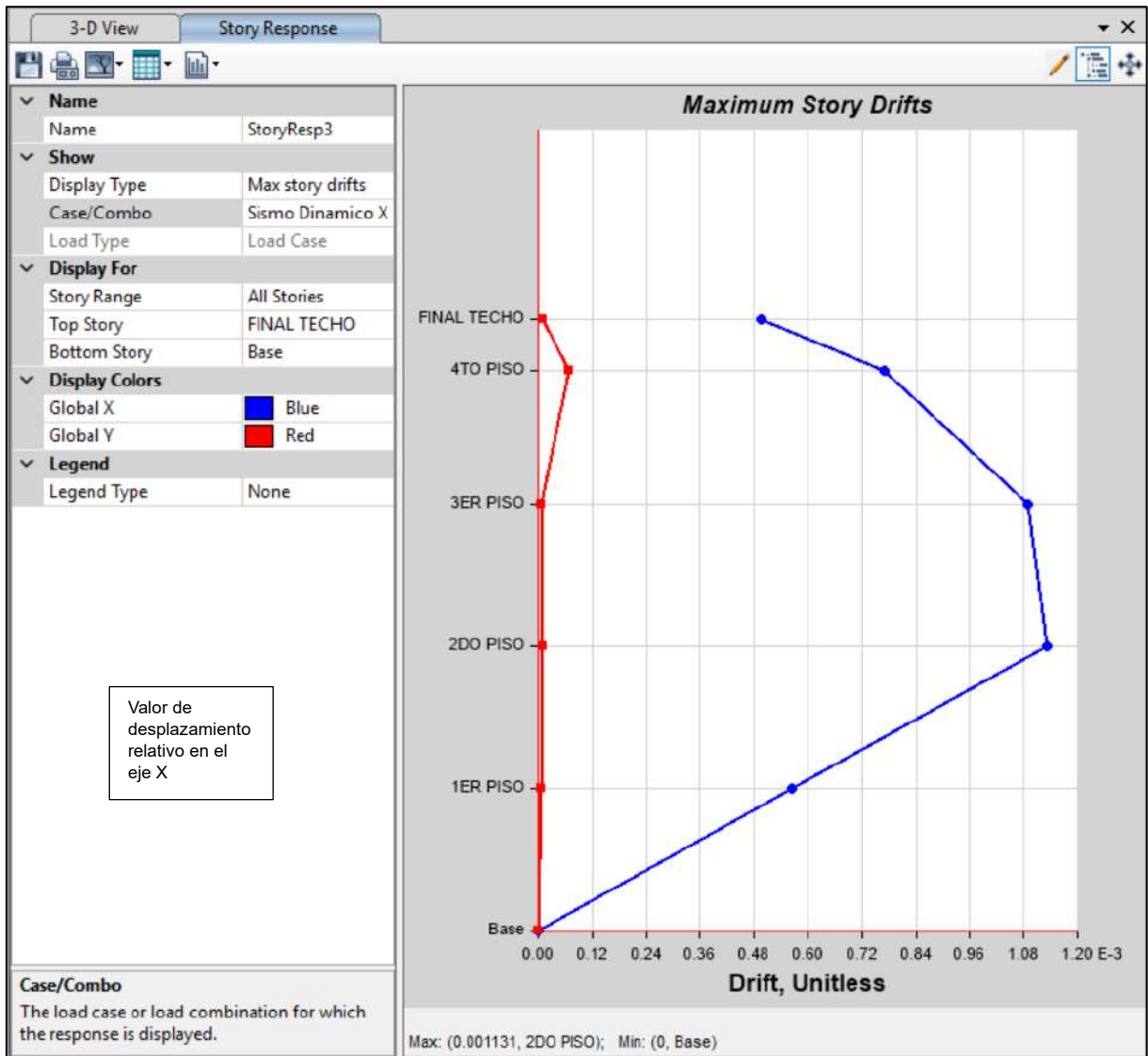
Fuente: Etabs 22.4.0.



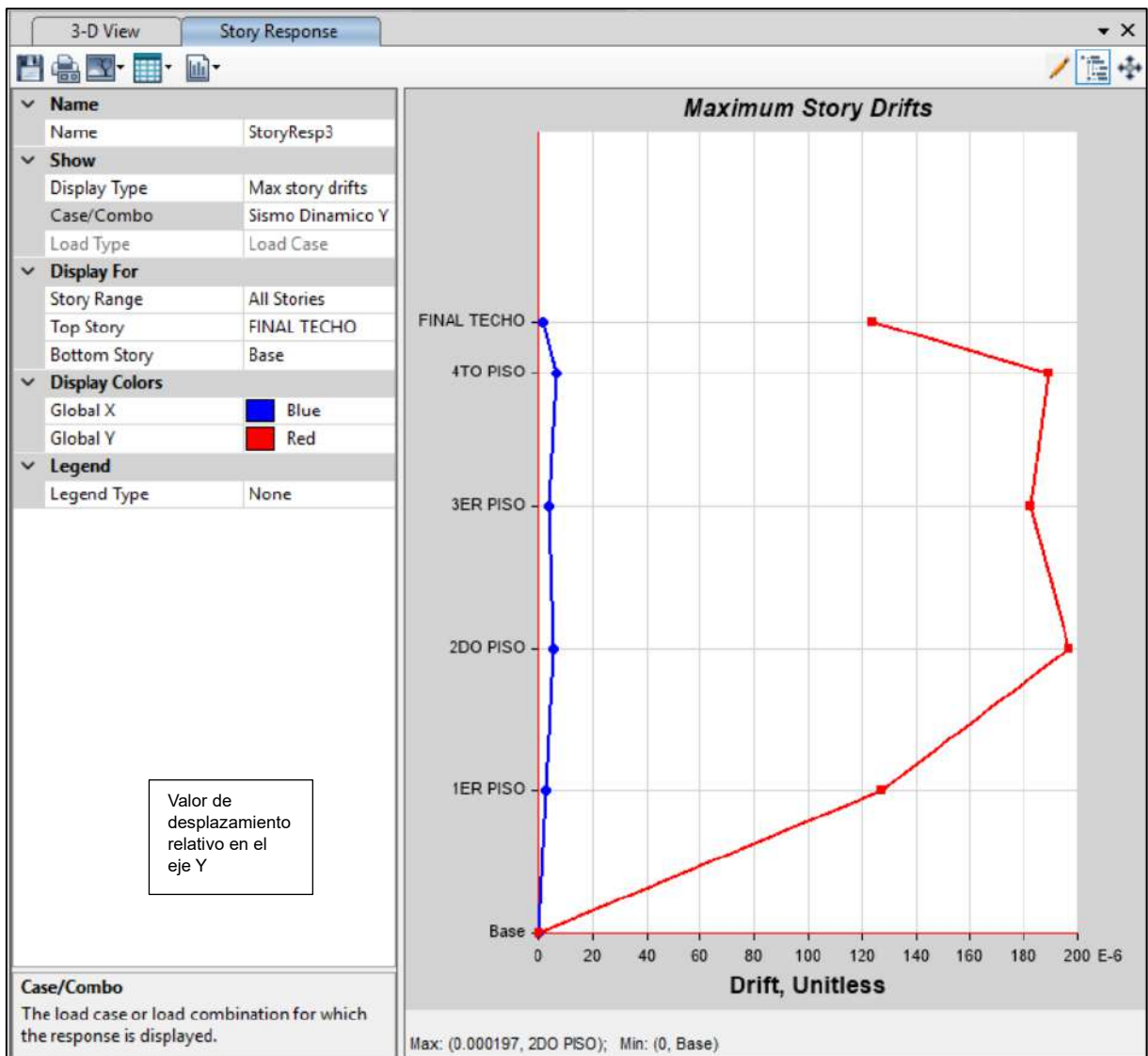
Fuente: Etabs 22.4.0.

Figura 31

Desplazamientos relativos en los ejes X e Y.



Fuente: Etabs 22.4.0.



Fuente: Etabs 22.4.0.

Tabla 16

Desplazamientos relativos en los ejes X e Y.

Niveles	Caso de carga	Sentido	Deriva	Rx = 6	Deriva*0.75*R<0.007
<b>Valores máximos de deriva por nivel en el eje X</b>					
<b>Final</b>	Sismo Dinámico X	X	0.000495	0.002228	Si cumple
<b>4to piso</b>	Sismo Dinámico X	X	0.000771	0.003470	Si cumple
<b>3er piso</b>	Sismo Dinámico X	X	0.00109	0.004905	Si cumple
<b>2do piso</b>	Sismo Dinámico X	X	0.001131	0.005090	Si cumple
<b>1er piso</b>	Sismo Dinámico X	X	0.000565	0.002543	Si cumple

<b>Valores máximos de deriva por nivel en el eje Y</b>					
<b>Final</b>	Sismo Dinámico Y	Y	0.000124	0.000558	Si cumple
<b>techo</b>					
<b>4to piso</b>	Sismo Dinámico Y	Y	0.000189	0.000851	Si cumple
<b>3er piso</b>	Sismo Dinámico Y	Y	0.000183	0.000824	Si cumple
<b>2do piso</b>	Sismo Dinámico Y	Y	0.000197	0.000887	Si cumple
<b>1er piso</b>	Sismo Dinámico Y	Y	0.000127	0.000572	Si cumple

Fuente: Etabs 22.4.0.

#### 5.1.1.2. Cortante estática y dinámica

Según la NTP E.030, el esfuerzo cortante dinámico en edificaciones regulares debe representar al menos el 80 % del esfuerzo cortante estático, mientras que en construcciones irregulares este valor debe alcanzar como mínimo el 90 %. En el presente caso, el esfuerzo cortante dinámico en el eje X alcanza 215.965 Tonf, lo que equivale al 80.51 % de la cortante estática de 270.502 Tonf, cumpliendo así con el requisito normativo. En la dirección Y, la cortante dinámica alcanza un valor de 218.030 Tonf, correspondiente al 81.99 % de la cortante estática, lo que también satisface el criterio normativo. De este modo, se verifica la adhesión a los parámetros exigidos por la norma peruana en ambas direcciones, asegurando la conformidad estructural en términos de cortante dinámica.

**Tabla 17**

*Valores de cortante en los ejes X y Y.*

<b>Ejes</b>	<b>Cortante</b>	<b>F</b>	<b>V.din. ≥ 80% V.est.</b>	
<b>En X</b>	Estática	270.502 Tonf	80.51 %	Si cumple
<b>En X</b>	Dinámica	215.965 Tonf		
<b>En Y</b>	Estática	270.502 Tonf	81.99 %	Si cumple
<b>En Y</b>	Dinámica	218.030 Tonf		

Fuente: Etabs 22.4.0.

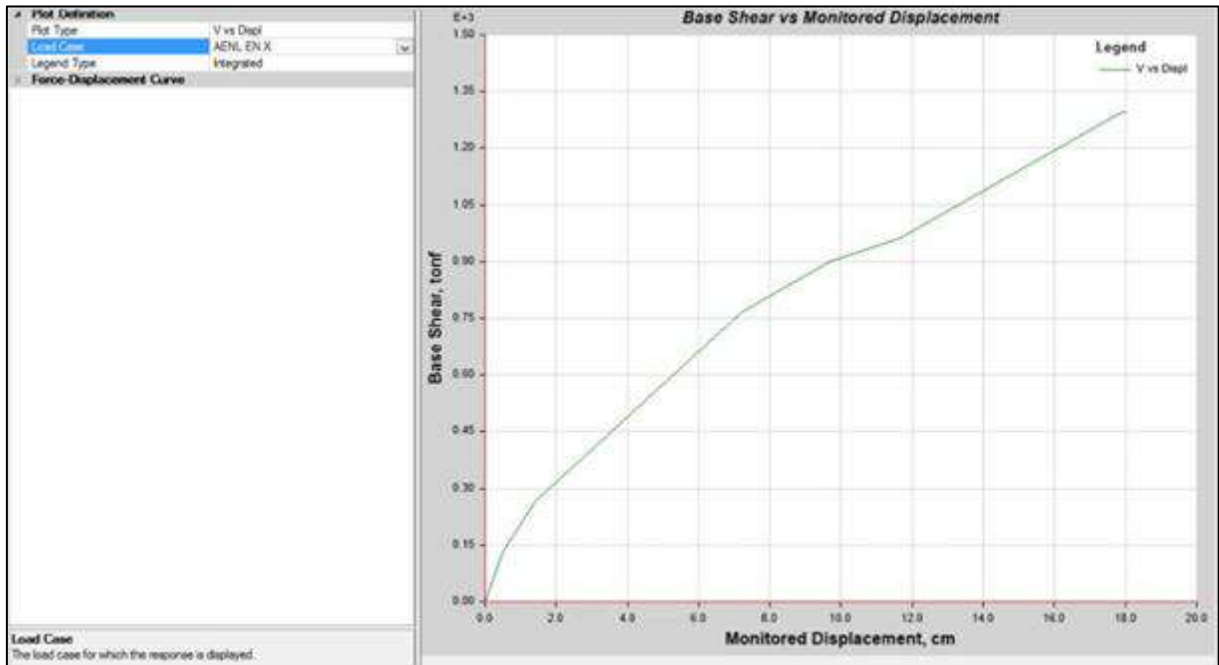
#### 5.1.1.3. Punto de desempeño

Para el sentido en x, la edificación llega a su resistencia máxima a una fuerza de corte en la base registrada de 1233.47 ton y un desplazamiento de 16.75 centímetros. La edificación ha alcanzado su capacidad máxima de carga, lo que constituye una condición de fallo estructural. Este comportamiento sugiere que el edificio no puede soportar cargas adicionales sin fallar. La figura correspondiente ilustra este momento crítico, mostrando la estructura

alcanzando su límite de rendimiento mientras destaca el cambio entre la etapa funcional y la etapa de fallo estructural.

**Figura 32**

*Representación de la curva de capacidad en el eje X.*



Fuente: Etabs 22.4.0.

Después de definir la curva de capacidad y el espectro de demanda, es posible establecer el punto de rendimiento utilizando los enfoques FEMA 440 y ATC 40, aplicables en los niveles SS, SD y SM.

A lo largo del eje X, considerando un evento sísmico FEMA 440 AL con un 5% de amortiguamiento de inicio, la edificación posee una capacidad de resistencia de 933.21 toneladas, logrando un desplazamiento espectral de 7.64 cm, como se ilustra en la Figura 33.

Para este escenario SS, con el amortiguamiento mantenido en un 5%, la propiedad de resistencia de la edificación se reduce a 641.33 toneladas con un desplazamiento espectral de 4.25 cm (ver Fig. 34). Esta es la reacción de la edificación con respecto a una demanda sísmica menor.

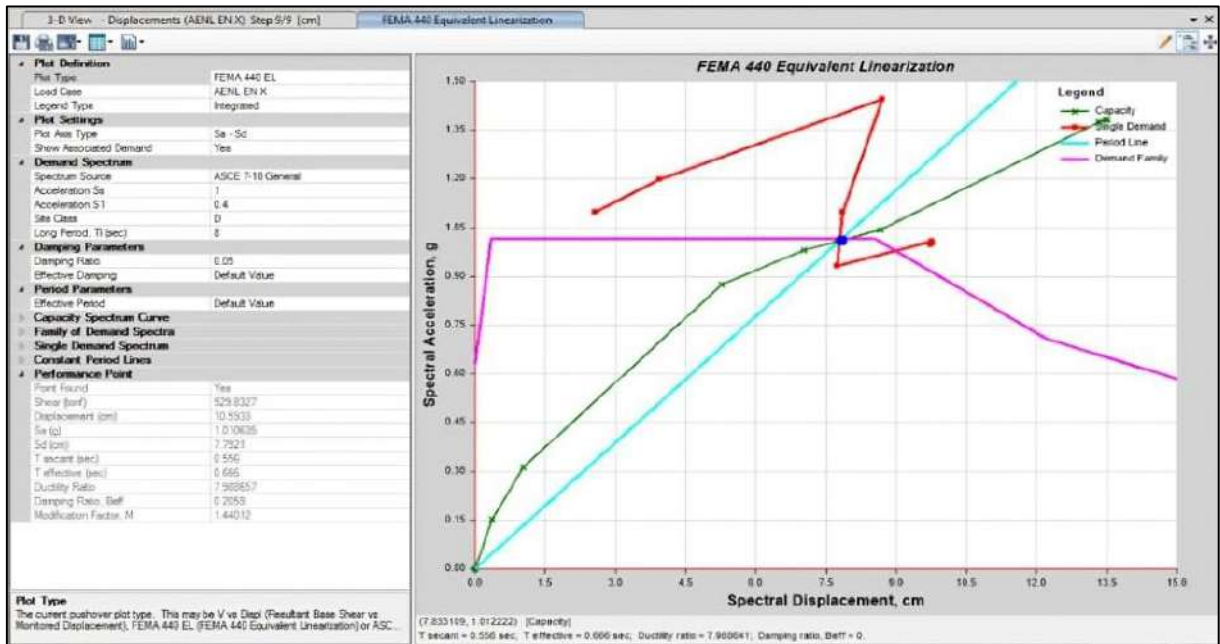
Para un escenario SD, la estructura exhibe una capacidad de cortante de 997.52 toneladas, con un desplazamiento espectral asociado de 7.82 cm como se ve en la Figura 35. Este nivel demuestra una condición intermedia de carga sísmica, que todavía es una resistencia considerable para soportar cargas significativas.

Finalmente, para el escenario SM, la capacidad estructural para soportar una fuerza de cortante máxima alcanza 1112.35 toneladas, con un desplazamiento espectral de 10.73 cm (Figura 36). Este escenario captura la respuesta estructural a un terremoto de alta

intensidad donde tanto la capacidad máxima de carga como el desplazamiento espectral aumentan.

**Figura 33**

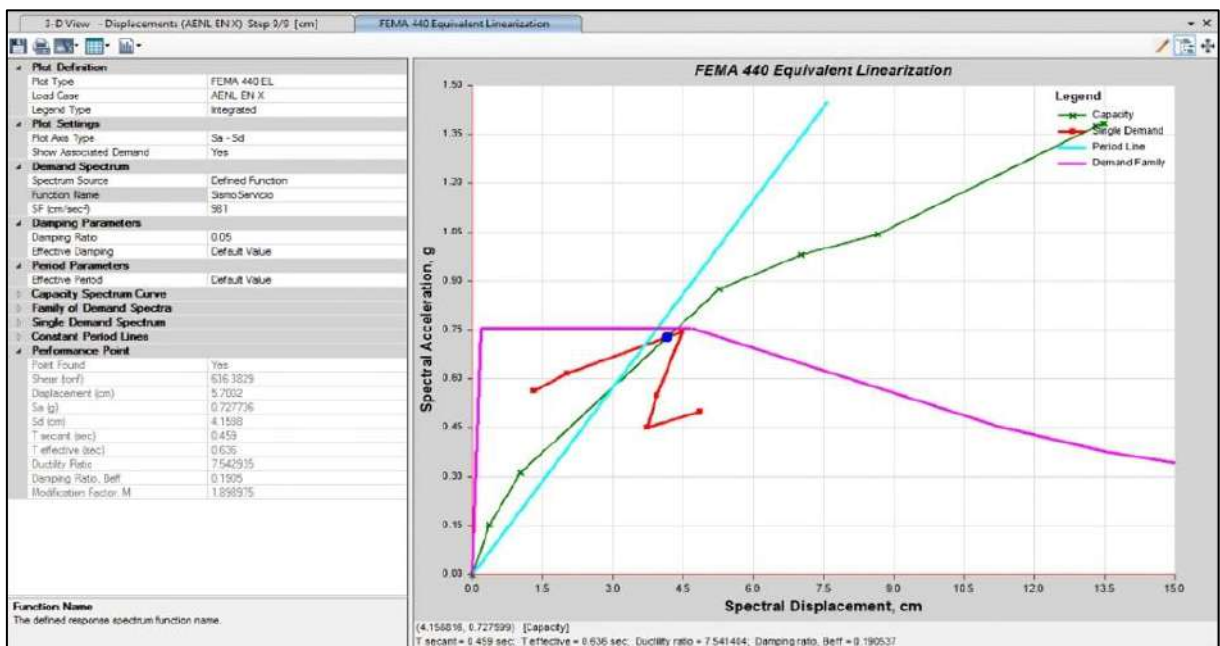
*Punto de desempeño en la dirección X para sismo según FEMA 440 AL.*



Fuente: Etabs 22.4.0.

**Figura 34**

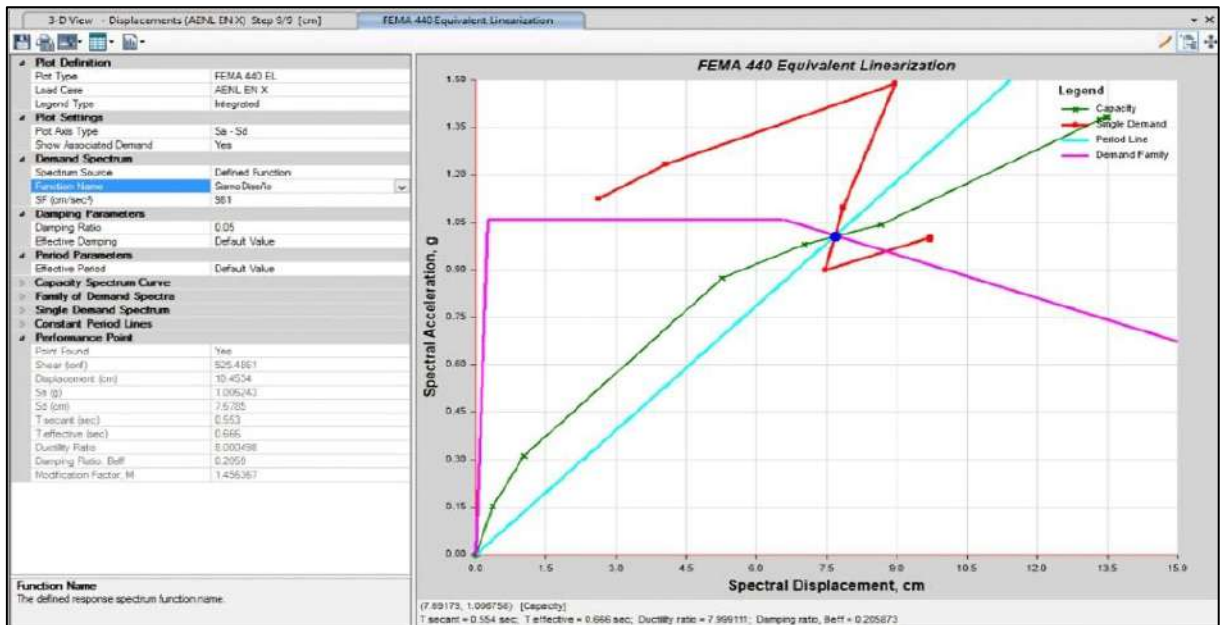
*Punto de desempeño en la dirección X, SS.*



Fuente: Etabs 22.4.0.

**Figura 35**

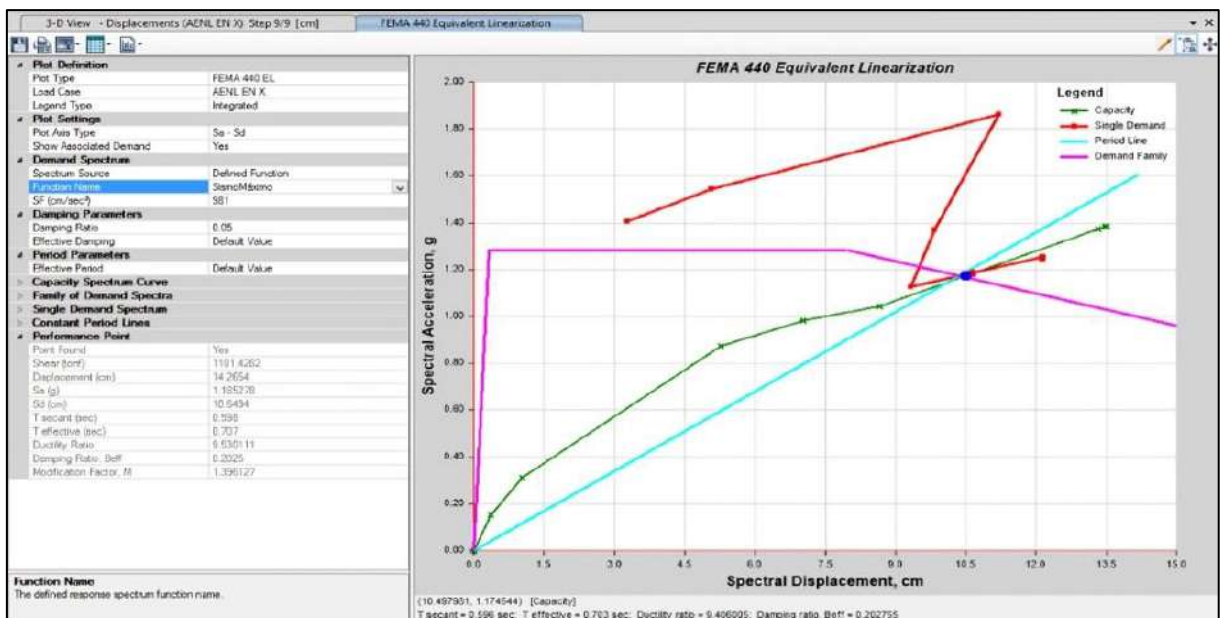
*Punto de desempeño en la dirección X, SD.*



Fuente: Etabs 22.4.0.

**Figura 36**

*Punto de desempeño en la dirección X, SM.*

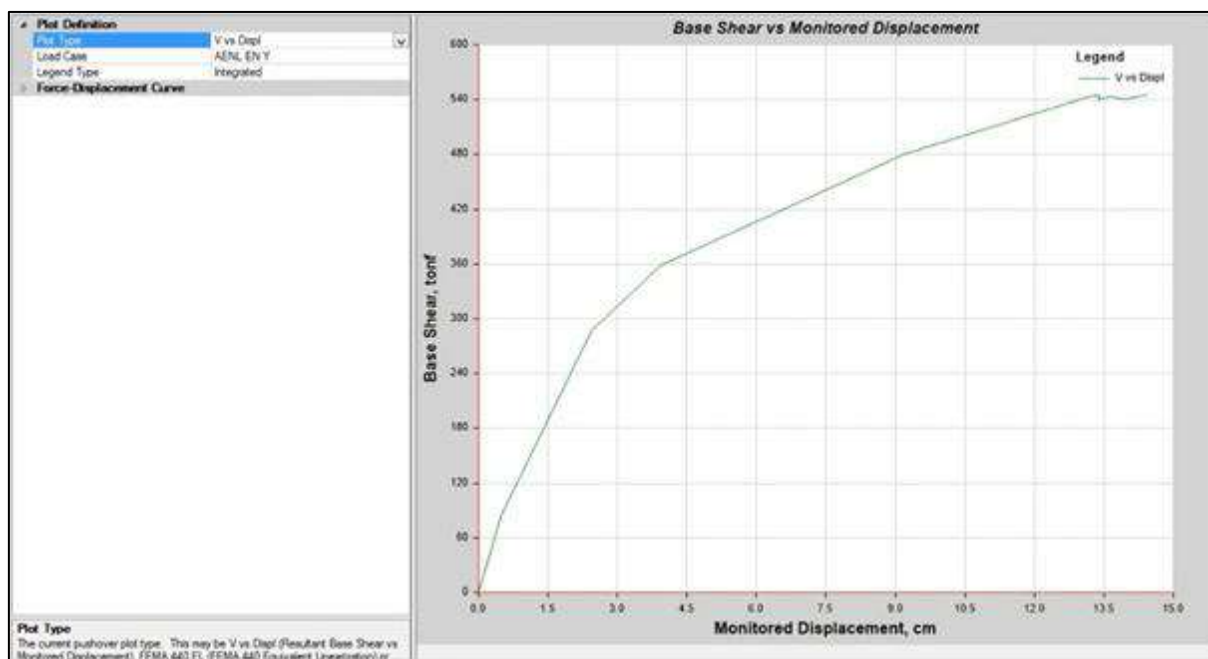


Fuente: Etabs 22.4.0.

En el eje Y, la edificación alcanza su resistencia límite al registrar una fuerza cortante en la base de 553.22 ton y un desplazamiento de 14.08 centímetros. En este estado crítico, la edificación alcanza a su resistencia máxima, evidenciando un colapso estructural. Esta respuesta se ilustra de manera clara en la figura correspondiente, en donde se observa el nivel de carga y desplazamiento en el que se produce la falla.

**Figura 37**

*Representación de la curva de capacidad en el eje Y.*



Fuente: Etabs 22.4.0.

Al ser establecida la curva de capacidad y el espectro de demanda, es posible determinar el punto de desempeño mediante la aplicación de los métodos descritos dentro de las normas FEMA 440 y ATC 40, las cuales corresponden a los niveles de seguridad estructural SS, SD y SM.

En la ubicación Y, para un evento sísmico tipo FEMA 440 AL, con un amortiguamiento de inicio del 5%, la edificación presenta una capacidad de resistencia de 510.6 toneladas, alcanzando un desplazamiento espectral de 8.12 cm, tal como se ilustra en la Figura 33.

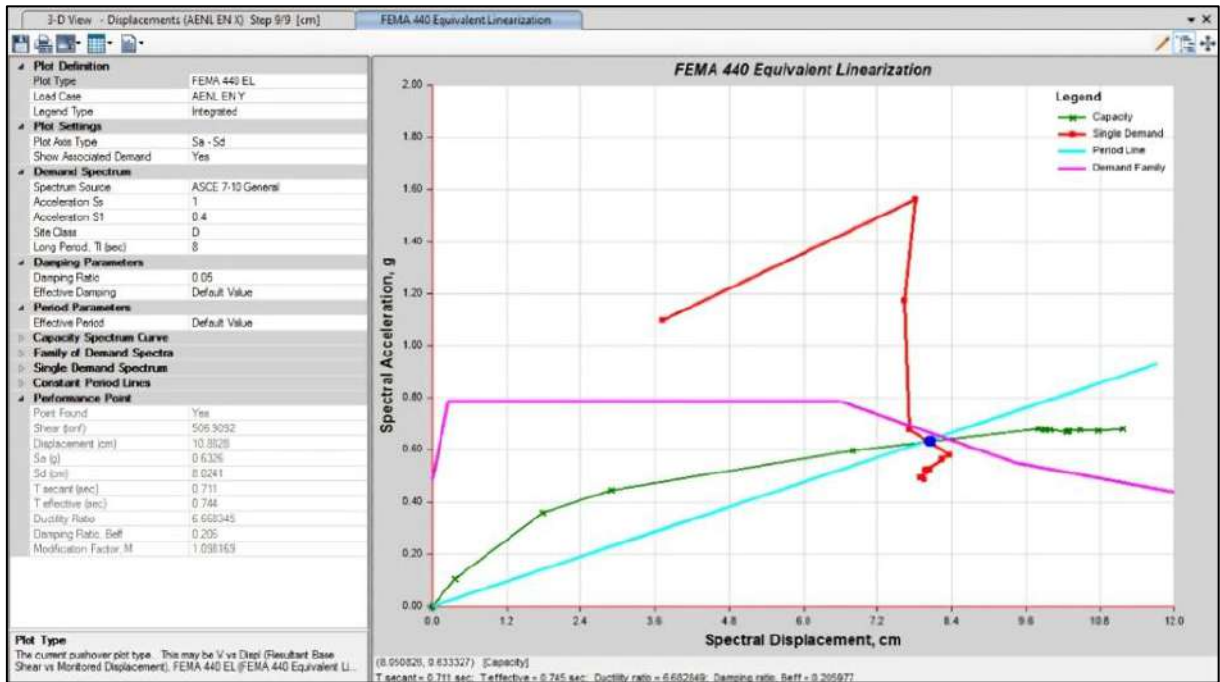
En el nivel SS, manteniendo el mismo amortiguamiento del 5%, se observa que la estructura registra una cortante máxima de 394.11 toneladas, con un desplazamiento espectral de 3.95 cm, como se refleja en la Figura 39.

Para el nivel SD, la capacidad cortante aumenta a 525.00 toneladas, alcanzando un desplazamiento espectral de 8.61 cm, lo que se muestra en la Figura 40. Estos valores evidencian cómo el comportamiento estructural varía en función de los grados de desempeño y algunas características del sismo analizado.

Finalmente, en el nivel SM, la construcción demuestra su propiedad para soportar la cortante de 544.06 toneladas, lo que indica una respuesta robusta frente a un sismo de mayor intensidad. Este grado de desempeño se caracteriza por un desplazamiento espectral de 10.77 cm, lo cual se contrasta claramente en la Figura 41.

**Figura 38**

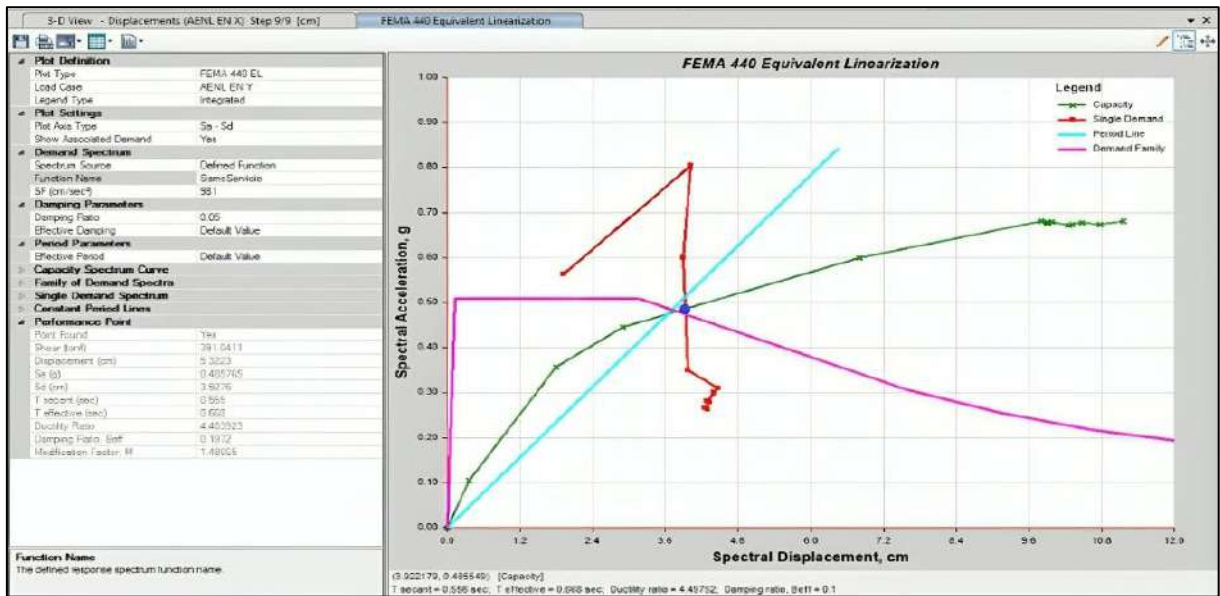
*Punto de desempeño en la dirección Y, para sismo definido por FEMA 440 AL.*



Fuente: Etabs 22.4.0.

**Figura 39**

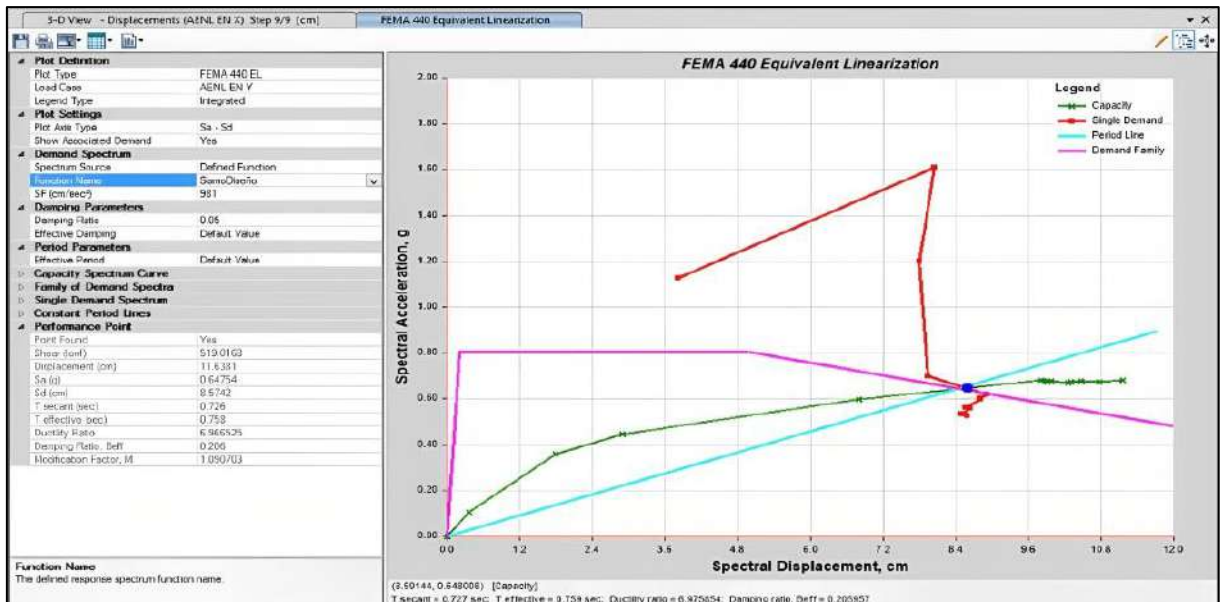
*Punto de desempeño en la dirección Y, SS.*



Fuente: Etabs 22.4.0.

**Figura 40**

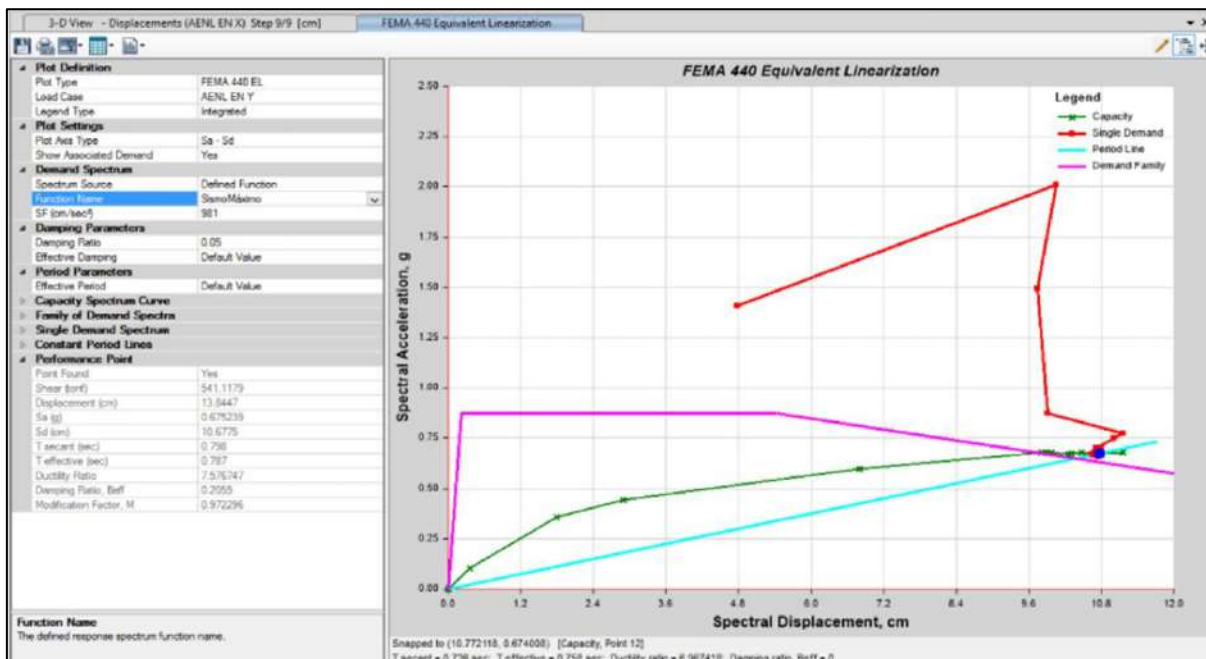
*Punto de desempeño en la dirección Y, SD.*



Fuente: Etabs 22.4.0.

**Figura 41**

*Punto de desempeño en la dirección Y, SM.*



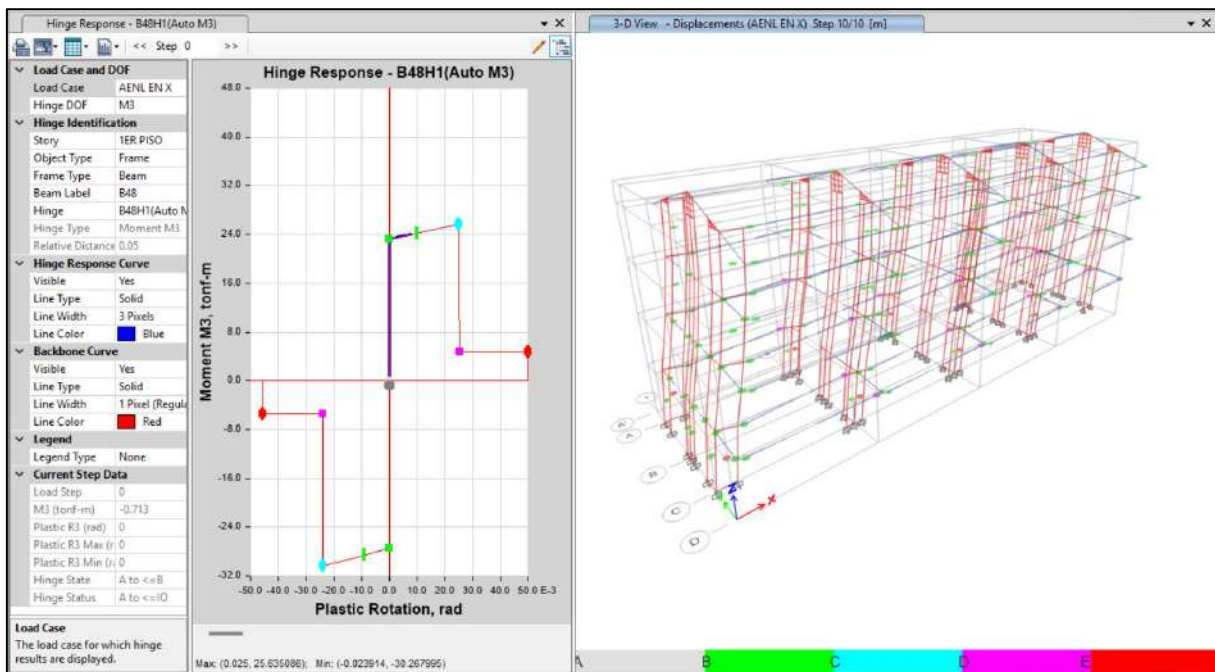
Fuente: Etabs 22.4.0.

#### 5.1.1.4. Localización de las rotulas plásticas o puntos iniciales de colapso ante una acción sísmica

En el eje X, las iniciales articulaciones plásticas se manifiestan durante el segundo nivel, particularmente en la viga VP 102 (25 x 55), situada entre los ejes 2-2 y 4-4. Durante el segundo y tercer incremento de carga, se detectan articulaciones tanto en las vigas como en los muros estructurales del nivel inferior. En el cuarto incremento, emergen las primeras articulaciones plásticas en estado cercano al colapso, localizadas en el primer piso a lo largo de los ejes 2-2, 3-3 y 4-4. Finalmente, en el quinto incremento, se evidencia la formación de todas las articulaciones plásticas a lo largo de la infraestructura.

**Figura 42**

*Modelo estructural en el que se visualizan los step, en la dirección del eje X.*



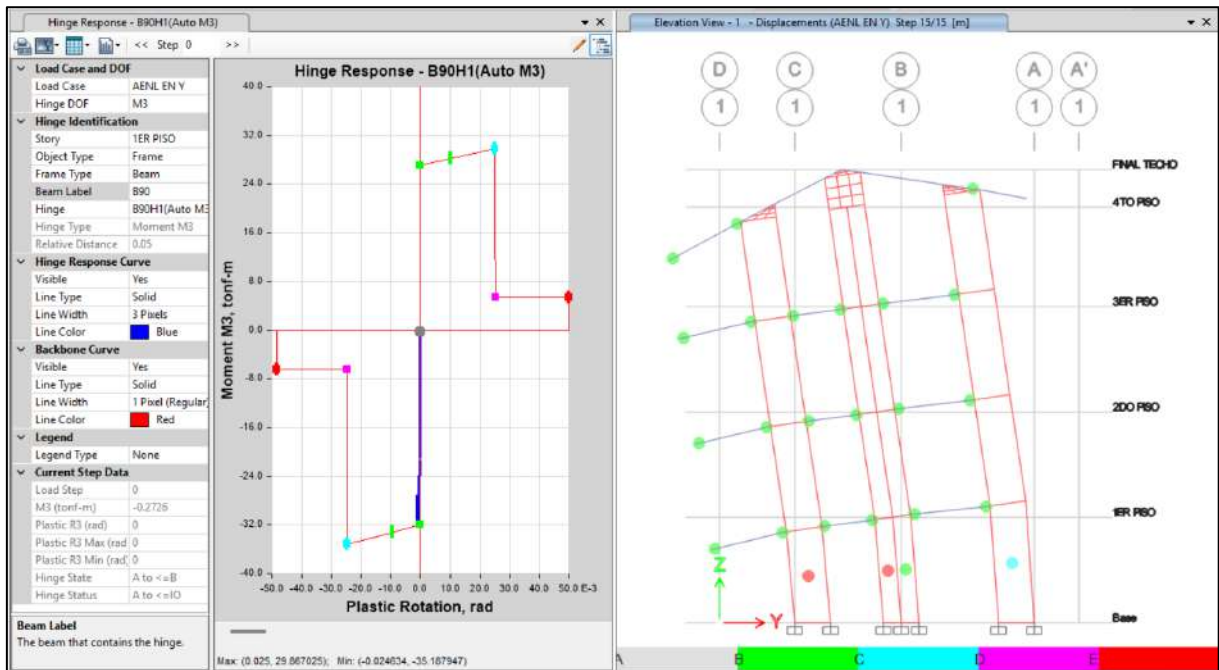
Fuente: Etabs 22.4.0.

En el eje Y, las iniciales articulaciones plásticas generadas en la edificación se localizan en el segundo nivel, específicamente en las vigas VP 10 (30 x 80), situadas entre los ejes 1-1 y 5-5. Durante el segundo incremento de carga, se desarrollan nuevas articulaciones plásticas en las vigas ubicadas a lo largo de esos mismos ejes, evidenciando un progresivo aumento en las zonas de deformación.

En cuanto a los muros estructurales, las primeras fallas se registran en el primer nivel durante el tercer incremento de carga, indicando el comienzo de la degradación en los componentes de soporte vertical. Finalmente, en el cuarto incremento, se detectan articulaciones plásticas en condición cercana al colapso, marcando un estado crítico en el comportamiento estructural y evidenciando la pérdida significativa de capacidad resistente.

**Figura 43**

Modelo estructural donde se visualizan las rótulas plásticas en el eje Y.



Fuente: Etabs 22.4.0.

### 5.1.2. Análisis de los resultados

Durante el transcurso del análisis estático no lineal mediante el método Pushover, se impusieron fuerzas laterales distribuidas de acuerdo con el peso de la edificación, alineadas con los ejes X o Y según la dirección evaluada. Estas cargas se incrementaron de manera progresiva, de manera gradual, hasta llegar al punto de colapso estructural, lo que permitió simular el comportamiento de la estructura bajo cargas crecientes. Este procedimiento es crítico en la estimación de la resistencia de la edificación, detectando de antemano los riesgos en la edificación y brindando información para el diseño y adicionando la estructura en los casos de evento sísmico

**Tabla 18**

Fuerzas laterales en la dirección X.

Fuerzas laterales (ton) por nivel	
1 nivel	97.51 ton
2 nivel	88.69 ton
3 nivel	56.21 ton
4 nivel	28.10 ton

Fuente: Etabs 22.4.0.

**Tabla 19***Fuerzas laterales en la dirección Y.*

<b>Fuerzas laterales (ton) por nivel</b>	
<b>1 nivel</b>	97.51 ton
<b>2 nivel</b>	88.69 ton
<b>3 nivel</b>	56.21 ton
<b>4 nivel</b>	28.10 ton

Fuente: Etabs 22.4.0.

Después de procesar las cargas utilizando el software ETABS 22.4.0, se obtuvieron los resultados de cortante basal (ton) y los desplazamientos necesarios para la construcción de la curva de capacidad en la dirección X e Y del edificio. El cortante basal es la máxima fuerza estructural que un edificio puede soportar y es capaz de resistir antes de alcanzar un colapso, mientras que el desplazamiento es el valor máximo esperado para un momento sísmico fuerte que permite evaluar la respuesta estructural a cargas extremas.

**Tabla 20***Curva de capacidad – Ejes X e Y*

<b>Curva de capacidad</b>		
	Desplazamiento (cm)	Cortante basal (ton)
<b>En X</b>	16.75	1233.47 ton
<b>EN y</b>	14.08	553.22 ton

Fuente: Etabs 22.4.0.

Las Tablas 20 y 21 ilustran los puntos de rendimiento para las direcciones de los ejes X e Y, teniendo en cuenta la aceleración espectral ( $S_a$ ) y el desplazamiento espectral ( $S_d$ ), ya que son fundamentales para definir el resultante dinámico de la estructura con respecto al movimiento sísmico.

Además, las Tablas 22 y 23 describen los puntos de rendimiento en función de esfuerzo cortante basal (ton) y el desplazamiento en el nivel del techo (mm). Estos puntos son fundamentales para segmentar la curva de capacidad y determinar el grado de rendimiento estructural, permitiendo un mejor análisis de la interacción entre las acciones sísmicas y la respuesta del edificio.

**Tabla 21***Espectro de capacidad en la dirección X.*

	<b>“Sa” (g)</b>	<b>“Sd” (cm)</b>
<b>SS (sismo de servicio)</b>	0.7277	4.25
<b>SD (sismo de diseño)</b>	1.00624	7.82
<b>SM (sismo máximo)</b>	1.1852	10.73

Fuente: Etabs 22.4.0.

**Tabla 22***Espectro de capacidad en la dirección Y.*

	<b>“Sa” (g)</b>	<b>“Sd” (cm)</b>
<b>SS (sismo de servicio)</b>	0.4857	3.95
<b>SD (sismo de diseño)</b>	0.64754	8.61
<b>SM (sismo máximo)</b>	0.6752	10.77

Fuente: Etabs 22.4.0.

**Tabla 23***Puntos de desempeño en la dirección X.*

	<b>Cortante basal (ton)</b>	<b>Desplazamiento ultimo nivel (mm)</b>
<b>SS (sismo de servicio)</b>	641.33	41.50
<b>SD (sismo de diseño)</b>	997.52	104.50
<b>SM (sismo máximo)</b>	1112.35	142.60

Fuente: Etabs 22.4.0.

**Tabla 24***Puntos de desempeño en la dirección Y.*

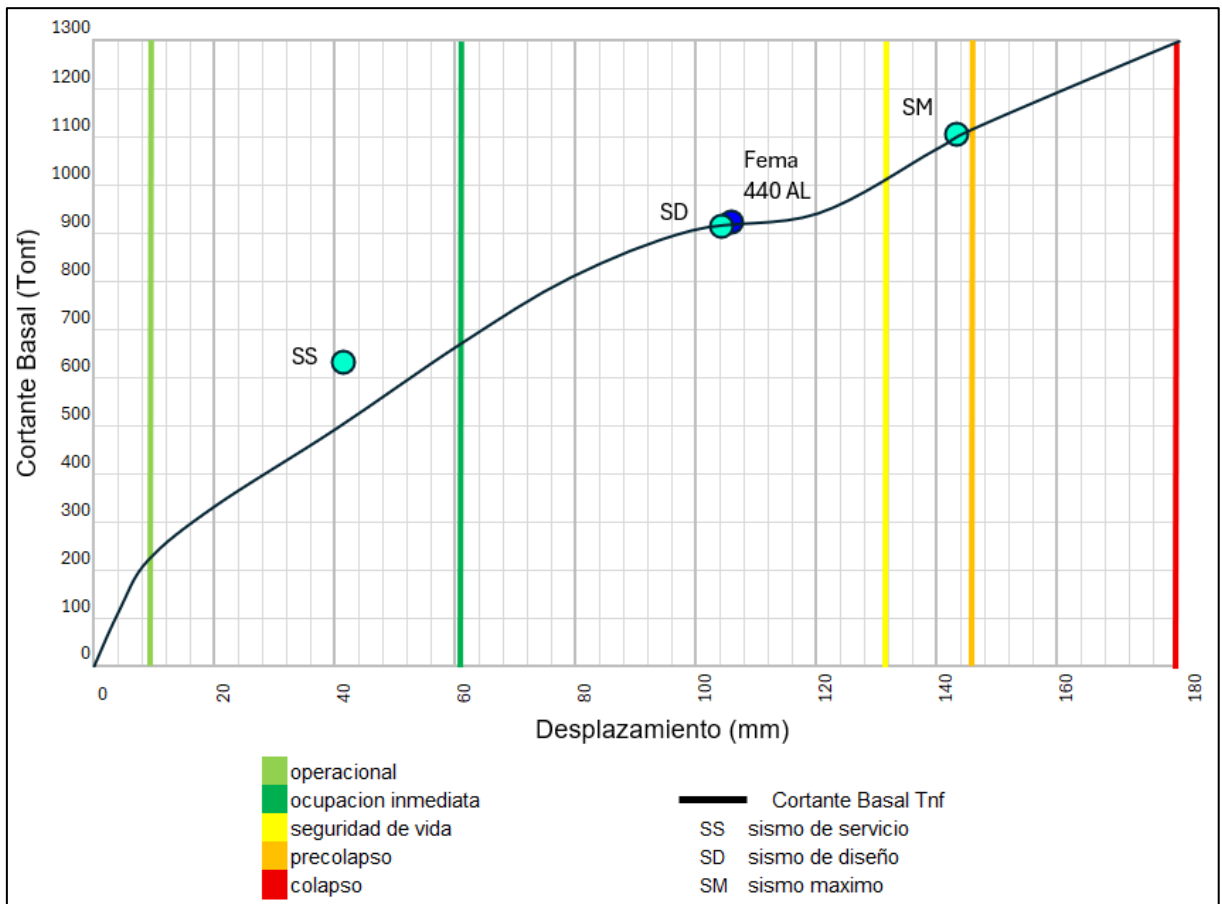
	<b>Cortante basal (ton)</b>	<b>Desplazamiento ultimo nivel (mm)</b>
<b>SS (sismo de servicio)</b>	394.11	53.20
<b>SD (sismo de diseño)</b>	525.00	97.19
<b>SM (sismo máximo)</b>	544.06	138.40

Fuente: Etabs 22.4.0.

La edificación satisface los objetivos de rendimiento definidos para algún terremoto de servicio (SS) y diseño (SD) en ambas direccionales, X e Y, mostrando un comportamiento estructural adecuado en estos escenarios. Sin embargo, bajo el terremoto máximo (SM) hay una observación comportamental crítica; en la dirección del eje X, la edificación se acerca a un colapso inminente, por otro lado, en la dirección del eje Y se exhibe un estado de colapso, indicando una grave pérdida de capacidad y una respuesta crítica comprometida a las fuerzas sísmicas extremas.

**Figura 44**

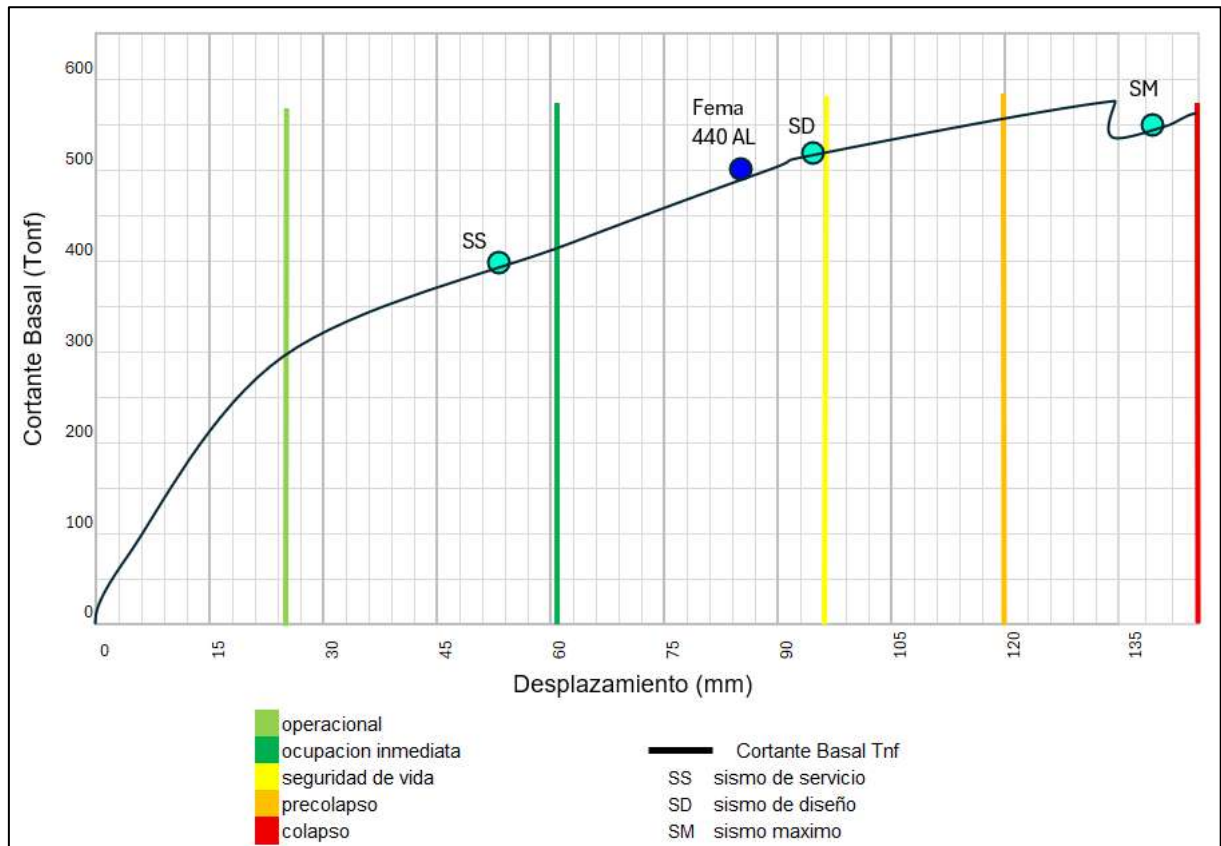
*Curva de capacidad del eje X.*



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 45**

*Curva de capacidad del eje Y.*



Fuente: Elaboración propia.

La edificación ha sido evaluada bajo los criterios del ATC-40, cumpliendo con el grado de desempeño estructural requerido ante sismos de Servicio (SS) y de Diseño (SD). Aun así, cuando se enfrenta a un sismo máximo (SM), el comportamiento estructural alcanza un estado de precolapso, lo que sugiere la necesidad de considerar medidas correctivas para mantener la funcionalidad estructural.

En escenarios de sismos menores, la estructura no presenta indicios de daños significativos, manteniendo su integridad sin comprometer las condiciones de seguridad. No obstante, el estado de precolapso identificado en un SM destaca la vulnerabilidad de ciertas zonas, las cuales podrían requerir refuerzo estructural.

El posicionamiento de las rótulas plásticas resulta esencial para establecer estrategias de evacuación seguras, dado que su identificación permite trazar rutas efectivas en caso de emergencia. Además, el análisis estructural facilita la detección de zonas críticas, donde podrían implementarse medidas de reforzamiento para minimizar riesgos de colapso.

**Tabla 25**

*Evaluación de los niveles de desempeño sísmico según el ATC – 40.*

Dirección	NIVEL DE SISMO	O	OI	SV	PC	¿cumple con el objetivo de desempeño?
X	Sismo de Servicio (SE)	-	*	-	-	si
	Sismo de Diseño (DE)	-	-	*	-	si
	Sismo Máximo (ME)	-	-	-	*	no
Y	Sismo de Servicio (SE)	-	*	-	-	si
	Sismo de Diseño (DE)	-	-	*	-	si
	Sismo Máximo (ME)	-	-	-	-	no

Fuente: Elaboración propia.

## 5.2. Discusión de resultados

### 5.2.1. Discusión hipótesis principal

A partir del análisis efectuado al edificio académico de la Universidad Nacional Intercultural Fabiola Salazar Leguía usando el programa Etabs 22.4.0. a través de un análisis no lineal Pushover aplicando los procedimientos de la normativa FEMA 440 y por el ATC 40 se logró concluir que el desempeño sísmico efectivamente coincide con el nivel de seguridad de vida conforme a los objetivos definidos por el ATC 40, teniendo para un SD, los desplazamientos de 41.5 mm y 104.5 mm, los que se mantienen dentro de límites tolerables, indicando un comportamiento adecuado. por lo que se cumple la Hipótesis principal.

### 5.2.2. Discusión hipótesis secundarias

En relación con la hipótesis 1, se consideraron tres niveles de demanda sísmica: Servicio (SE), Diseño (DE) y Máximo (ME), con el objetivo de evaluar la adherencia a los respectivos niveles de desempeño estructural.

Los resultados que se obtuvieron nos permiten afirmar que, en los niveles SS y SD, la edificación presenta un comportamiento estructural aceptable en ambas direcciones principales (X e Y). En la dirección X, los desplazamientos de 41.5 mm (SS) y 104.5 mm (SD) se ubican dentro de los límites establecidos por la normativa, lo que indica un estado compatible con los niveles de desempeño de Ocupación Inmediata (IO) y Seguridad de Vida (LS), sin evidencia de daños estructurales significativos. En la dirección Y, se observaron desplazamientos de 53.20 mm (SS) y 97.19 mm (SD), igualmente dentro de márgenes

tolerables, lo que sugiere un adecuado desempeño estructural bajo eventos sísmicos de baja a moderada intensidad.

No obstante, ante el escenario de Sismo Máximo (SM), el comportamiento de la edificación evidencia deficiencias estructurales importantes. En la dirección X, el desplazamiento alcanza los 142.6 mm, lo que representa un estado de precolapso, situado entre los niveles de Seguridad de Vida y Prevención de Colapso. Aunque la edificación no colapsa, el daño es severo y compromete su funcionalidad estructural, requiriendo intervención técnica para su recuperación. Por otro lado, en la dirección Y, el desplazamiento registrado de 138.4 mm excede ampliamente los valores esperados para el nivel de Seguridad de Vida, ubicándose dentro del rango de Prevención de Colapso (CP), lo cual indica un estado de colapso inminente y, por tanto, un desempeño estructural inaceptable para una infraestructura crítica como lo es un edificio académico. Lo que evidencia que la estructura no cumple con los objetivos de desempeño establecidos para dicho escenario.

En cuanto a la hipótesis 2, los modelos constitutivos empleados para representar el comportamiento del concreto armado se diseñó tomando como referencia los parámetros establecidos por Mander et al. (1988) y Park y Paulay (1988), los cuales son actualmente utilizados en normativas internacionales como las del comité ASCE (2017). Estos modelos ofrecen una representación adecuada del comportamiento real del concreto armado. Por tanto, se concluye que los materiales considerados en el modelo estructural están debidamente respaldados y son coherentes con el comportamiento estructural esperado en la realidad.

## VI. CONCLUSIONES

Tras llevar a cabo el análisis no lineal Pushover empleando el software ETABS 22.4.0, cumpliendo lo estipulado en el FEMA 440 y el ATC 40, se establece que el edificio académico de la Universidad Nacional Intercultural Fabiola Salazar Leguía cumple con el objetivo de desempeño de seguridad de vida, bajo los criterios establecidos en el ATC 40, validando la hipótesis principal.

El edificio académico evaluado tiene un comportamiento estructural acorde a las demandas sísmicas de (SS) y (SD). En la dirección X los desplazamientos obtenidos han sido 41.5 mm (SS) y 104.5 mm (SD) mientras que para la dirección Y se han obtenido 53.20 mm (SS) y 97.19 mm (SD). Éstos se mantienen dentro de los límites que establece la norma para los niveles de (IO) y (LS) y va en un sentido acorde a un comportamiento estructural satisfactorio y sin evidencia de daño ni funcionalidad afectada de la estructura ante un evento de sísmico de baja o moderada intensidad.

No obstante, bajo el escenario de Sismo Máximo (SM), la estructura evidencia desempeño crítico. En la dirección X, el desplazamiento alcanzó los 142.6 mm, valor que representa un estado de precolapso, ubicado entre los niveles de Seguridad de Vida y Prevención de Colapso. Si bien la edificación no colapsa, el daño estructural es severo, comprometiendo su integridad y operatividad. En la dirección Y, el desplazamiento fue de 138.4 mm, superando el umbral de desempeño aceptable, y ubicándose en el rango de Prevención de Colapso (CP), lo que evidencia una condición estructural inaceptable para una edificación destinada a funciones académicas.

Finalmente se confirma que los modelos constitutivos utilizados para representar el concreto armado, cuya definición se dicta según los parámetros de (Mander et al., 1988) y (Park y Paulay, 1988) y se validan con bases normativas internacionales como es (ASCE committe, 2017), son correctos y fidedignos al comportamiento real del material, validando así el hecho de usar el modelo estructural para el análisis.

## VII. RECOMENDACIONES

Considerando que la edificación está en una situación de precolapso en el eje X y colapso en el eje Y ante una demanda sísmica máxima (ME), es crucial elaborar y poner en marcha un programa de refuerzo estructural hecho a la medida para las partes más débiles, sobre todo en el eje Y. Esto contribuirá a que soporte mejor los temblores y a evitar que se desplome por completo.

Si llegara a ocurrir un sismo máximo, lo mejor sería restringir el uso del edificio de inmediato hasta que se pueda realizar una inspección detallada por los expertos. Únicamente después de que un profesional lo evalúe y si es necesario una intervención estructural, se podría volver a usarse para las clases y demás actividades.

Si bien la edificación cumple con lo esperado en caso demandas de Servicio (SE) y Diseño (DE), no ocurre lo mismo ante un sismo máximo (ME). Por consiguiente, se propone que la universidad prepare un plan para manejar el riesgo sísmico, que contemple desde medidas para prevenir daños hasta qué hacer según la magnitud del evento sísmico.

Para los edificios nuevos que se hagan en la universidad, sería bueno usar diseños basados en cómo se espera que se comporten ante los sismos e incluir sistemas que absorban la energía del temblor o aisladores sísmicos, para mejorar la capacidad de respuesta ante sismos extremos.

A pesar de que los modelos que se usaron, basados en (Mander et al., 1988) y (Park y Paulay, 1988), son buenos y se usan en todo el mundo, convendría seguir poniéndolos a prueba con experimentos o calibración con estructuras existentes para estar seguros de que los análisis reflejan fielmente cómo se comportan en la vida real.

## VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andrade Figueroa, M. S. (2024). "Comparación entre el análisis estático y dinámico no lineal de un edificio de hormigón armado en el cantón Jipijapa". [bachelorThesis, Jipijapa-Unesum]. <http://repositorio.unesum.edu.ec/handle/53000/6545>
- Apuntes Del Curso Concreto Armado 1 Gianfranco Ottazzi Pasino | PDF. (s. f.). Recuperado 16 de noviembre de 2024, de <https://es.scribd.com/document/603775560/Apuntes-Del-Curso-Concreto-Armado-1-Gianfranco-Ottazzi-Pasino>
- ASCE 41-17. (2017). *Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings (41-17)*. <https://sp360.asce.org/personifyebusiness/Merchandise/Product-Details/productId/233163464>
- Carrera Gil, A. (2024). *Diseño estructural por desempeño sísmico de un edificio multifamiliar de 5 pisos de muros de ductilidad limitada*. <https://hdl.handle.net/20.500.12773/17536>
- Castellanos Guzmán., S. P. (2021). *Evaluación de desempeño sísmico del edificio de la Universidad Internacional SEK ubicado en el Campus Felipe Segovia Olmo*. <http://localhost:8080/xmlui/handle/123456789/4516>
- Castillo Leon, E. R. (2024). *Evaluación de la respuesta sísmica no lineal de estructuras aporticadas paramétricas de concreto armado con irregularidad vertical de piso blando*. <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/27904>
- Chancafe Vela, B. S., & Gonzales Coronel, C. (2021). *Evaluación del desempeño sísmico de un edificio multifamiliar de concreto armado de 8 pisos mediante un Análisis Pushover, distrito de Santiago de Surco*. <https://hdl.handle.net/20.500.14138/4721>
- Choque Sucasaca, J. F., & Luque Solis, E. D. (2019). *Análisis estático no lineal y evaluación del desempeño sísmico de un edificio de 8 niveles diseñado con la norma E.030*. <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/8866>
- Fuentes Rivera Silva, N. F. (2018). *Desempeño sísmico de un edificio de cinco niveles de concreto armado mediante el análisis estático no lineal PUSHOVER*. <http://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/2191>
- Galvan Avila, M. (2021). *Diseño estructural de un edificio de vivienda multifamiliar de concreto armado de 15 pisos y 3 sótanos*. Universidad Peruana del Centro. <http://repositorio.upecen.edu.pe/handle/20.500.14127/252>
- Huayhua Quispe, C. A. (2022). *Evaluación sísmico estructural de una edificación aplicando el método Pushover para su mejoramiento en Ayacucho, 2022. Repositorio Institucional - UCV*. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/97322>
- Ing, L. (2017, octubre 15). *Estructuras de Concreto Reforzado—Park Paulay*. La Librería del Ingeniero. <https://www.libreriaingeniero.com/2017/10/estructuras-de-concreto-reforzado-park-paulay.html>
- Intriago, A. S. M., Manrique, D. G. M., & Vincas, L. J. G. (2022). *Análisis no lineal por el método Pushover del edificio de docentes n°1 de la Universidad Técnica de Manabí*. Dominio de las Ciencias, 8(4), Article 4. <https://doi.org/10.23857/dc.v8i4.3038>
- Jorge Mynor Hernández Monzón & Miguel F. Cruz Azofeifa. (2022). *Evaluación del Nivel de Desempeño Sísmico de la Estructura de Concreto Reforzado del Módulo G de la División Ciencias de la Ingeniería en el Centro Universitario de Occidente de la Universidad de San Carlos de Guatemala, Mediante un Análisis Estático No Lineal Push-Over*.

<https://www.glifos.biblioteca.cunoc.edu.gt/library/index.php?title=28240&lang=en&query=@title=Special:GSMSearchPage@process=@field1=encabezamiento@value1=D ESEMPENO%20SISMICO%20@mode=advanced&recnum=3&mode=advanced>

JURADO\_CARLOS\_Y\_MENDOZA\_MIJAIL\_EDIFICIO\_APORTICADO\_5\_PISOS.pdf. (s. f.). Recuperado 16 de noviembre de 2024, de [https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/1260/JURADO\\_CARLOS\\_Y\\_MENDOZA\\_MIJAIL\\_EDIFICIO\\_APORTICADO\\_5\\_PISOS.pdf?sequence=1](https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/1260/JURADO_CARLOS_Y_MENDOZA_MIJAIL_EDIFICIO_APORTICADO_5_PISOS.pdf?sequence=1)

Linares Zelada, J. F. (2022). *Evaluación del desempeño sísmico con el método estático no lineal pushover de un edificio de 3 niveles en la ciudad de Cajamarca. Repositorio Institucional - UCV*. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/107851>

Mander, J. B., Priestley, M. J. N., & Park, R. (1988). *Theoretical Stress-Strain Model for Confined Concrete. Journal of Structural Engineering*, 114(8), 1804-1826. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9445\(1988\)114:8\(1804\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9445(1988)114:8(1804))

Merchan Chancay, D. R., & Guillén Suárez, J. D. (2023). *Estudio de desempeño sísmico de una estructura para un parqueadero en el cantón Santa Elena*. [masterThesis, La Libertad: Universidad Estatal Península de Santa Elena. 2023]. <https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/10581>

Monroy Sarmiento, I. L. (2024). *Diseño y evaluación sísmica mediante un análisis no lineal del edificio en concreto reforzado "Harmony Hub"*. <https://hdl.handle.net/1992/74523>

Panduro Saavedra, C. N. (2021). *Evaluación del desempeño sísmico mediante el análisis no lineal Pushover y propuesta de reforzamiento estructural del Hotel SuiSui Tarapoto, 2021*. Repositorio Institucional - UCV. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/66552>

Paredes Azaña, M. Á. (2016). *Evaluación del desempeño sismorresistente de un edificio destinado a vivienda en la ciudad de Lima aplicando el análisis estático no lineal pushover*. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC). <https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/620673>

Pinedo Mori, L. G., & Taipe Osaita, A. R. (2022). *Evaluación del desempeño sísmico de un edificio de 14 pisos con el método Pushover en el distrito de Miraflores*. <https://hdl.handle.net/20.500.14138/5916>

*Publications: Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings—Applied Technology Council Online Store*. (1996). [https://store.atcouncil.org/index.php?dispatch=products.view&product\\_id=65](https://store.atcouncil.org/index.php?dispatch=products.view&product_id=65)

Quinteros Torres, F. E., & Ruiz Ysuiza, D. V. (2021). *Estudio del nivel de desempeño sísmico mediante el análisis no lineal pushover de la infraestructura del hotel río, distrito de la banda de shilcayo, San Martín 2020*. <http://hdl.handle.net/20.500.14503/1266>

Quinto Quinto, W., & Chaverra Mora, E. (2022). *ANÁLISIS ESTÁTICO NO LINEAL (PUSHOVER) Y PUNTO DE DESEMPEÑO SÍSMICO EN UNA EDIFICACIÓN DE TRES PISOS EXISTENTE – REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA Y CASO EJEMPLO*. Obtenido de <https://bibliotecadigital.udea.edu.co/server/api/core/bitstreams/a1d58b60-df61-4084-8198-9843963c5e3c/content>

- Quispe Ramos, W. J. (2024). *Estimación del desempeño sísmico mediante análisis no lineal de una vivienda convencional en la ciudad de Tacna*. <https://repositorio.unjbg.edu.pe/handle/20.500.12510/3965>
- Soria Núñez, L., & Murillo Ruiz, M. (2022). *Determinación del nivel de vulnerabilidad sísmica en la ciudadela La Politécnica de la ciudad de Riobamba, aplicando el método de análisis lineal y no lineal Pushover*. Obtenido de <https://repositorio.uisek.edu.ec/handle/123456789/4763>
- Segura Hernández, O. I. (2021). *Comparación del desempeño sísmico mediante Análisis Estático No Lineal (Pushover) de dos edificaciones en concreto reforzado situadas en zona de amenaza sísmica alta con grado de disipación de energía DES, diseñadas bajo los criterios del AIS 114-17 y la norma NSR-10*. <https://repository.unimilitar.edu.co/items/4d32bc0c-3cb5-4a18-a590-11ac03609d7b>
- Structural Engineers Association of California Vision 2000 Committee. (1995). *Performance Based Seismic Engineering of Buildings: Pt. 1. Interim recommendations. pt. 2. Conceptual framework*. Structural Engineers Association of California. [https://books.google.com.pe/books/about/Performance\\_Based\\_Seismic\\_Engineering\\_of.html?id=h7VTAAAAAYAAJ&redir\\_esc=y](https://books.google.com.pe/books/about/Performance_Based_Seismic_Engineering_of.html?id=h7VTAAAAAYAAJ&redir_esc=y)
- Yaipen Chafloque, A. A. (2024). *Evaluación del desempeño sísmico mediante análisis dinámico no lineal de la Institución Educativa Miguel Muro Zapata, Lambayeque, 2022*. Repositorio Institucional - UPT. <http://repositorio.upt.edu.pe/handle/20.500.12969/3367>

## ANEXOS

### Anexo 1. Matriz de consistencia

Formulación Del problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Metodología
<p><b>Problema General</b> ¿Cuál es el nivel de desempeño sísmico del edificio académico de la Universidad Nacional Intercultural Fabiola Salazar Leguía de Bagua, a través del Método Pushover?</p> <p><b>Problemas específicos</b> ¿Cuál es el nivel de desempeño sísmico del edificio académico de la Universidad Nacional Intercultural Fabiola Salazar Leguía de Bagua a través del método Pushover para los distintos niveles de demanda sísmica?</p> <p>¿Cuáles son los modelos constitutivos de los materiales como el acero y concreto que se usan en una estructura de concreto armado?</p>	<p><b>Objetivo general:</b> Estimar el nivel de desempeño sísmico del edificio académico de la Universidad Nacional Intercultural Fabiola Salazar Leguía de Bagua a través del método Pushover.</p> <p><b>Objetivos específicos</b> •Determinar los niveles de desempeño sísmico del edificio académico de la Universidad Nacional Intercultural Fabiola Salazar Leguía de Bagua para los distintos niveles de demanda sísmica. •Determinar los modelos constitutivos de los materiales como el acero y concreto que se usan en una estructura de concreto armado.</p>	<p><b>H.P:</b> El nivel de desempeño sísmico del edificio académico de la Universidad Nacional Intercultural Fabiola Salazar Leguía a través del método Pushover es de seguridad de vida.</p> <p><b>H.S1:</b> Los niveles de desempeño sísmico del edificio académico de la Universidad Nacional Intercultural Fabiola Salazar Leguía a través del método Pushover cumplen los distintos niveles de demanda sísmica.</p> <p><b>HS2:</b> Los modelos constitutivos de los materiales como el acero y concreto que se usan en una estructura de concreto armado son acordes a su comportamiento estructural real.</p>	<p><b>V1.</b> Desempeño sísmico</p>	<p><b>Enfoque:</b> Cualitativo y Cuantitativo</p> <p><b>Tipo de investigación:</b> Descriptiva</p> <p><b>Diseño de investigación:</b> No experimental</p> <p><b>Muestra:</b> Edificio académico de la UNIFSLB</p>

## Anexo 2. Procedimiento de análisis de datos.

El modo de procesamiento de datos comenzó con el desarrollo de un modelo estructural del edificio utilizando el software ETABS versión 22.4.0. Inicialmente, se realizaron análisis sísmicos estáticos y dinámicos de acuerdo con las directrices NTP E.030 - 2018, evaluando cómo se comporta la estructura ante cargas sísmicas estándar.

A continuación, se efectuó un análisis estático no lineal o Análisis Pushover, en el que se aplicaron cargas laterales monótonicamente crecientes al modelo estructural. Este análisis se realizó hasta el colapso de la edificación con el fin de evaluar su desempeño posterior al colapso de la estructura, con el objetivo de estimar los grados de demanda crítica de ciertos elementos estructurales y, así, identificar los niveles de desplazamiento crítico y los mecanismos de rotula plástica que se transforman en sistemas articulados.

### 1. Configuración inicial de parámetros en el programa Etabs

Se realizó la configuración del modelo con los valores extraídos del expediente técnico ejecutado.

**Figura 46**

*Dimensiones de la estructura a ingresar en el software Etabs.*

Grid System Data

Grid System Name: G1

System Origin: Global X: 0 m, Global Y: 0 m, Rotation: 0 deg

Story Range Option:  Default - All Stories,  User Specified

Click to Modify/Show: Reference Points..., Reference Planes...

Options: Bubble Size: 1.25 m, Grid Color: [Dark Gray]

Rectangular Grids:  Display Grid Data as Ordinates,  Display Grid Data as Spacing

X Grid Data:

Grid ID	X Spacing (m)	Visible	Bubble Loc
1	8.93	Yes	End
2	8.9	Yes	End
3	8.9	Yes	End
4	8.93	Yes	End
5	0	Yes	End

Y Grid Data:

Grid ID	Y Spacing (m)	Visible	Bubble Loc
D	2.53	Yes	Start
C	3.58	Yes	Start
B	4.48	Yes	Start
A	1.5	Yes	Start
A'	0	Yes	Start

General Grids:

Grid ID	X1 (m)	Y1 (m)	X2 (m)	Y2 (m)	Visible	Bubble Loc
---------	--------	--------	--------	--------	---------	------------

OK Cancel

Fuente: Etabs 22.4.0.

Los materiales asignados en el modelo estructural fueron establecidos, considerando concreto y acero como los principales componentes. Se detallaron las características de ambos elementos, y además se establecieron los elementos correspondientes para los muros estructurales y las vigas, incluyendo sus respectivos refuerzos.

**Figura 47**

*Asignación de propiedades del concreto.*

**Material Property Data**

**General Data**

Material Name:

Material Type:

Directional Symmetry Type:

Material Display Color:

Material Notes:

**Material Weight and Mass**

Specify Weight Density  Specify Mass Density

Weight per Unit Volume:  tonf/m<sup>3</sup>

Mass per Unit Volume:  tonf-s<sup>2</sup>/m<sup>4</sup>

**Mechanical Property Data**

Modulus of Elasticity, E:  tonf/m<sup>2</sup>

Poisson's Ratio, U:

Coefficient of Thermal Expansion, A:  1/C

Shear Modulus, G:  tonf/m<sup>2</sup>

**Design Property Data**

**Advanced Material Property Data**

**Modulus of Rupture for Cracked Deflections**

Program Default (Based on Concrete Slab Design Code)

User Specified

Fuente: Etabs 22.4.0.

**Figura 48**

*Asignación de propiedades de acero.*

**Material Property Data**

**General Data**

Material Name: Acero fy=4200 kg/cm2

Material Type: Rebar

Directional Symmetry Type: Uniaxial

Material Display Color:  Change...

Material Notes: Modify/Show Notes...

**Material Weight and Mass**

Specify Weight Density  Specify Mass Density

Weight per Unit Volume: 7.8 tonf/m<sup>3</sup>

Mass per Unit Volume: 0.795379 tonf-s<sup>2</sup>/m<sup>4</sup>

**Mechanical Property Data**

Modulus of Elasticity, E: 20000000 tonf/m<sup>2</sup>

Coefficient of Thermal Expansion, A: 0.0000117 1/C

**Design Property Data**

Modify/Show Material Property Design Data...

**Advanced Material Property Data**

Nonlinear Material Data... Material Damping Properties... Time Dependent Properties...

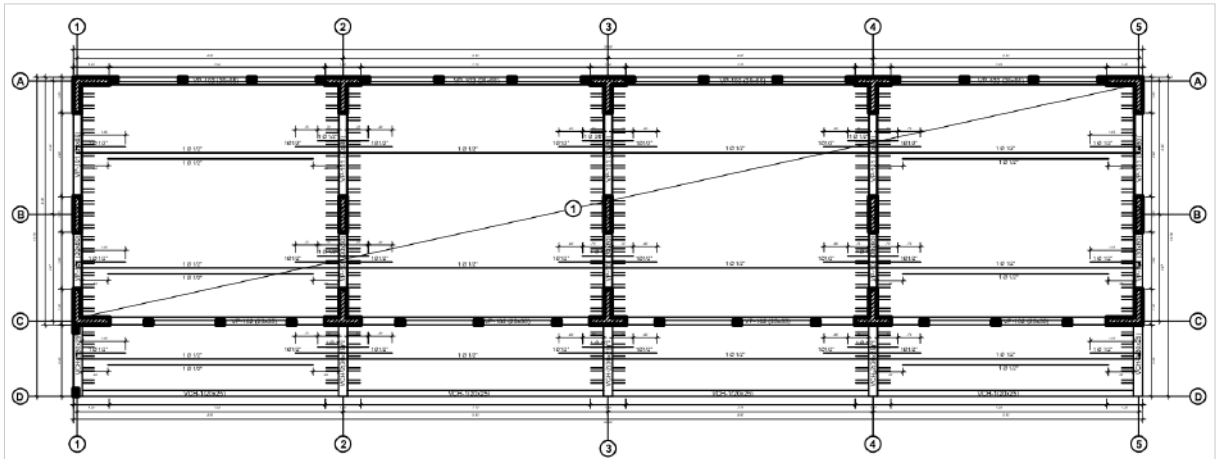
OK Cancel

Fuente: Etabs 22.4.0.

Se procede a definir nuestros elementos estructurales de la manera que se llega a visualizar en la siguiente figura:

**Figura 49**

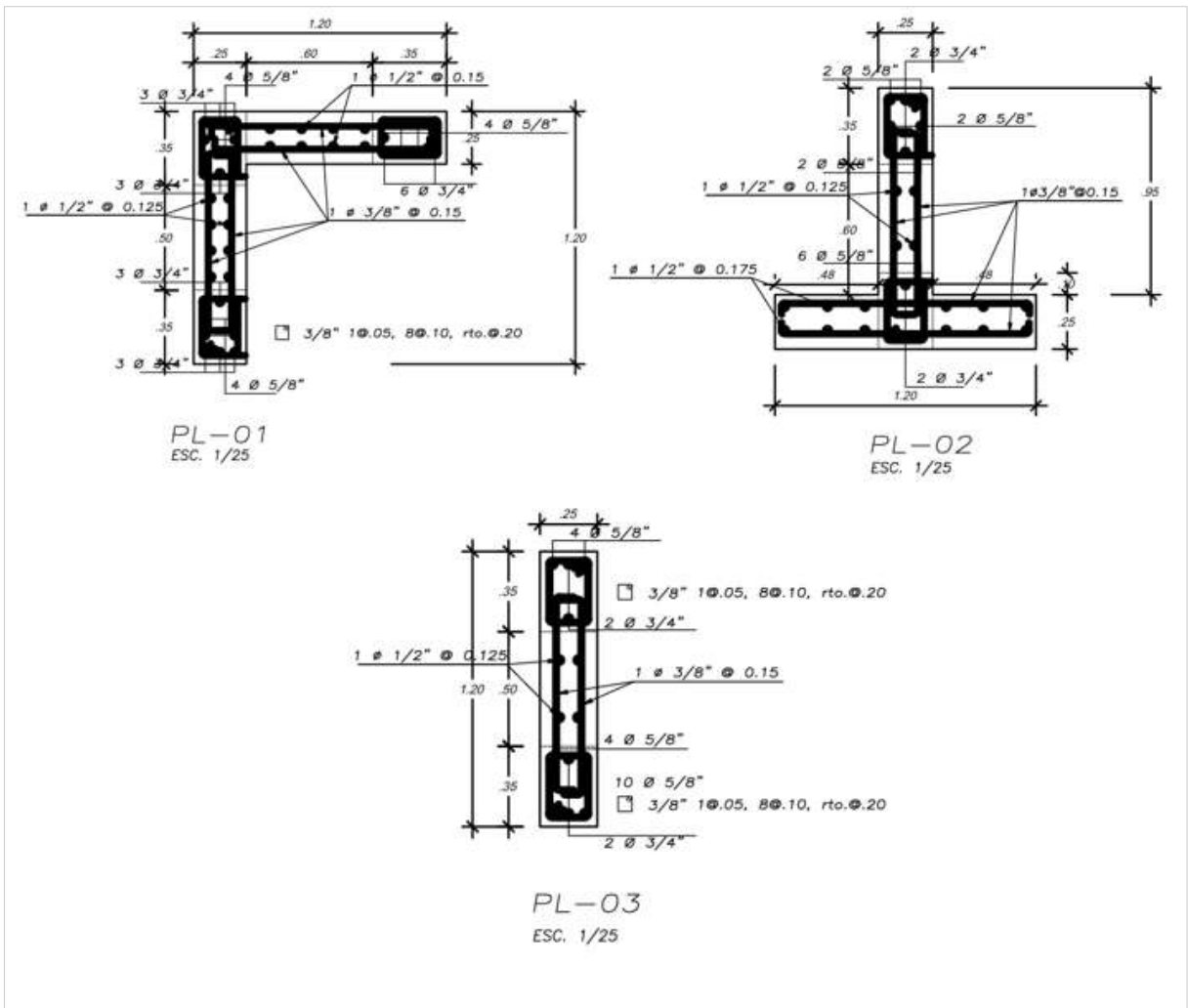
*Plano estructural de la edificación.*



Fuente: Documentación técnica – planos estructurales del expediente técnico.

**Figura 50**

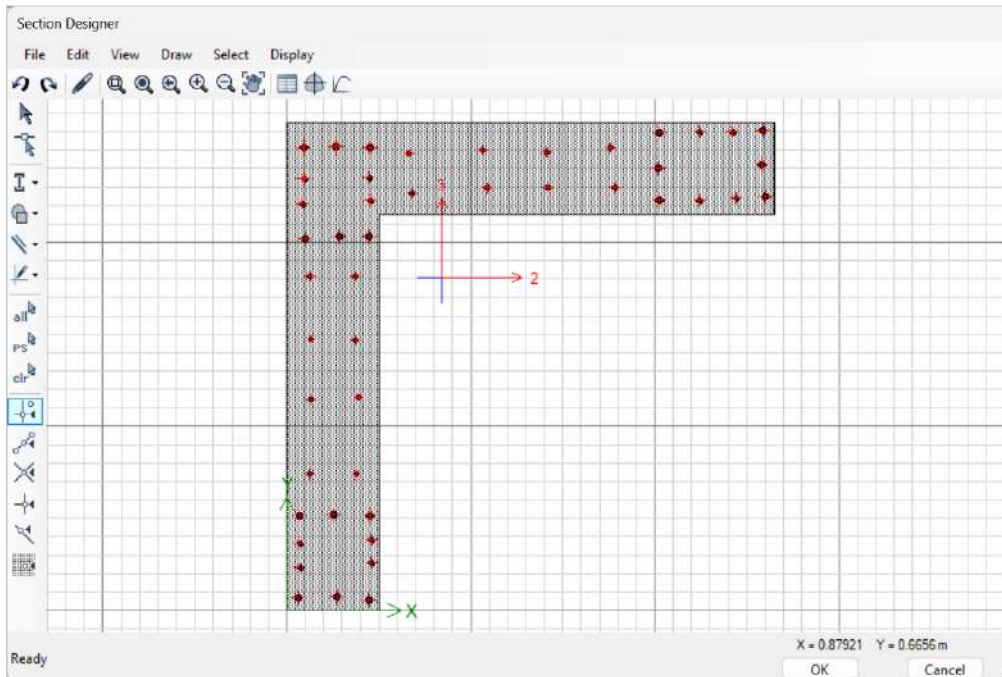
*Características de los muros estructurales.*



Fuente: Documentación técnica – planos estructurales del expediente técnico.

**Figura 51**

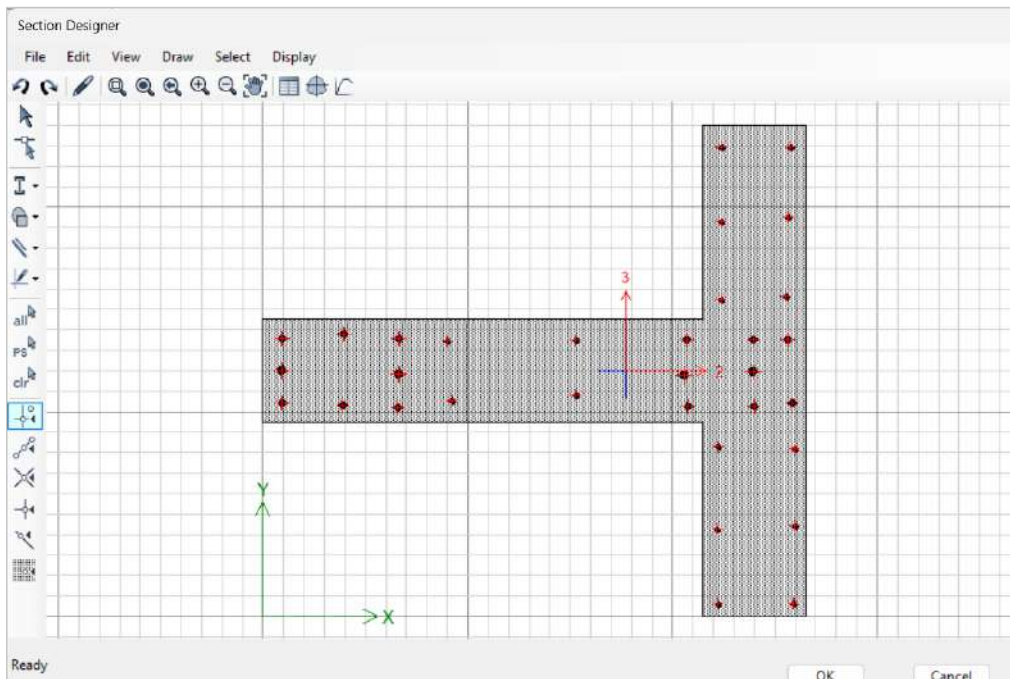
*Muro estructural PL-01 de la edificación.*



*Nota.* Se ha colocado 16 barras de acero de 1/2", 18 barras de acero de 3/4", 12 barras de acero de 5/8". Fuente: Documentación técnica – planos estructurales del expediente técnico.

**Figura 52**

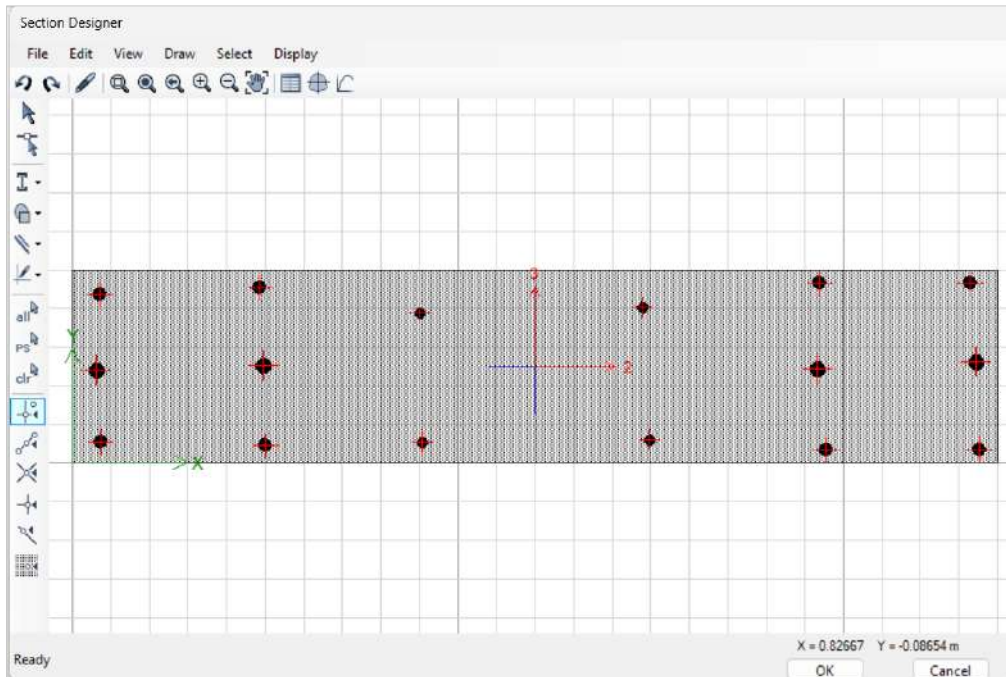
*Muro estructural PL-02 de la edificación.*



*Nota.* Se ha colocado 16 barras de acero de 1/2", 4 barras de acero de 3/4", 12 barras de acero de 5/8". Fuente: Documentación técnica – planos estructurales del expediente técnico.

**Figura 53**

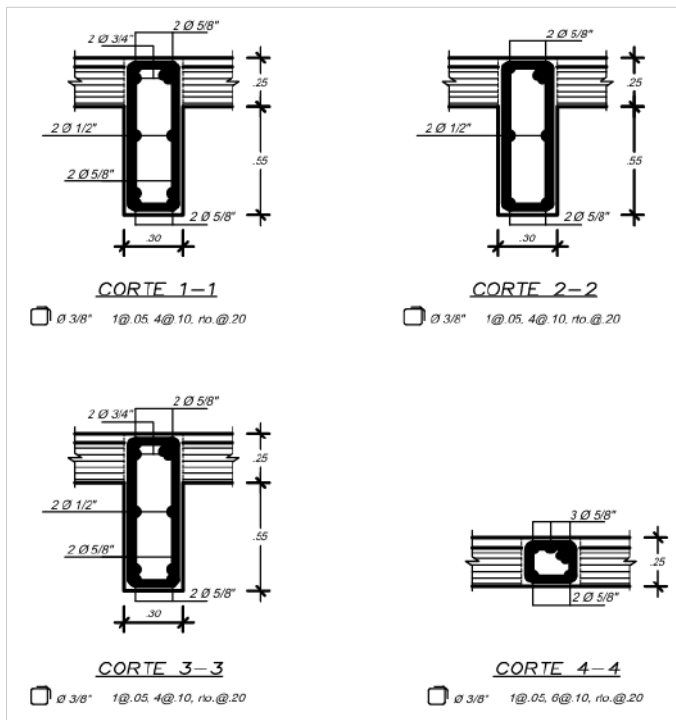
*Muro estructural PL-03 de la edificación.*



Nota. Se ha colocado 4 barras de acero de 1/2", 4 barras de acero de 3/4", 8 barras de acero de 5/8". Fuente: Documentación técnica – planos estructurales del expediente técnico.

**Figura 54**

*Características de las vigas.*



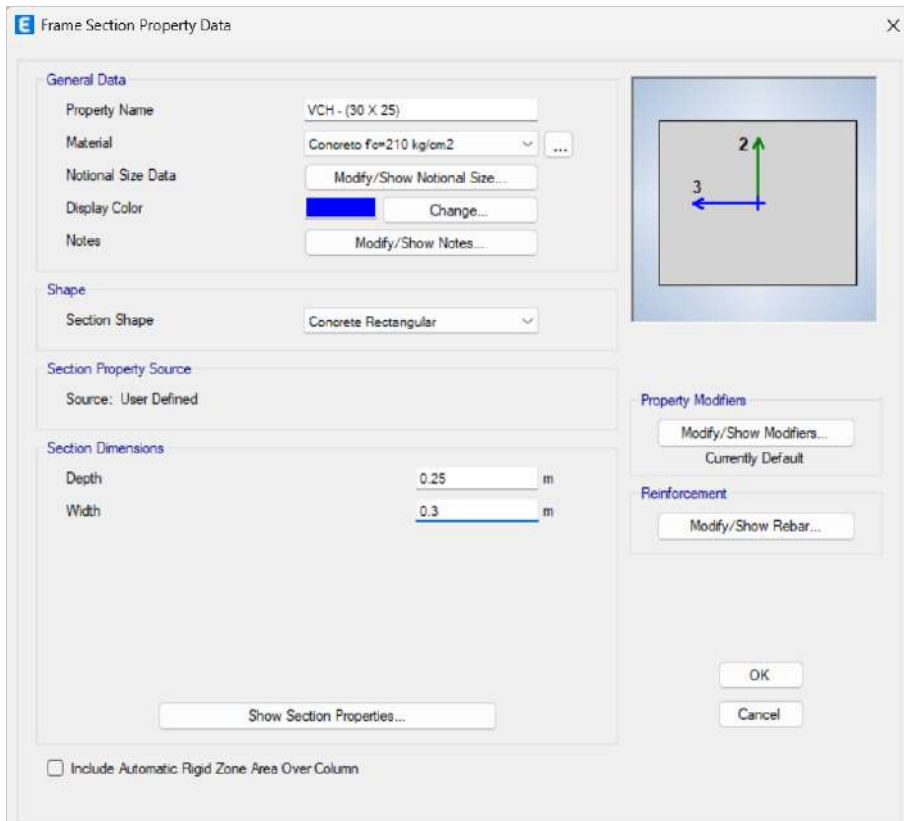
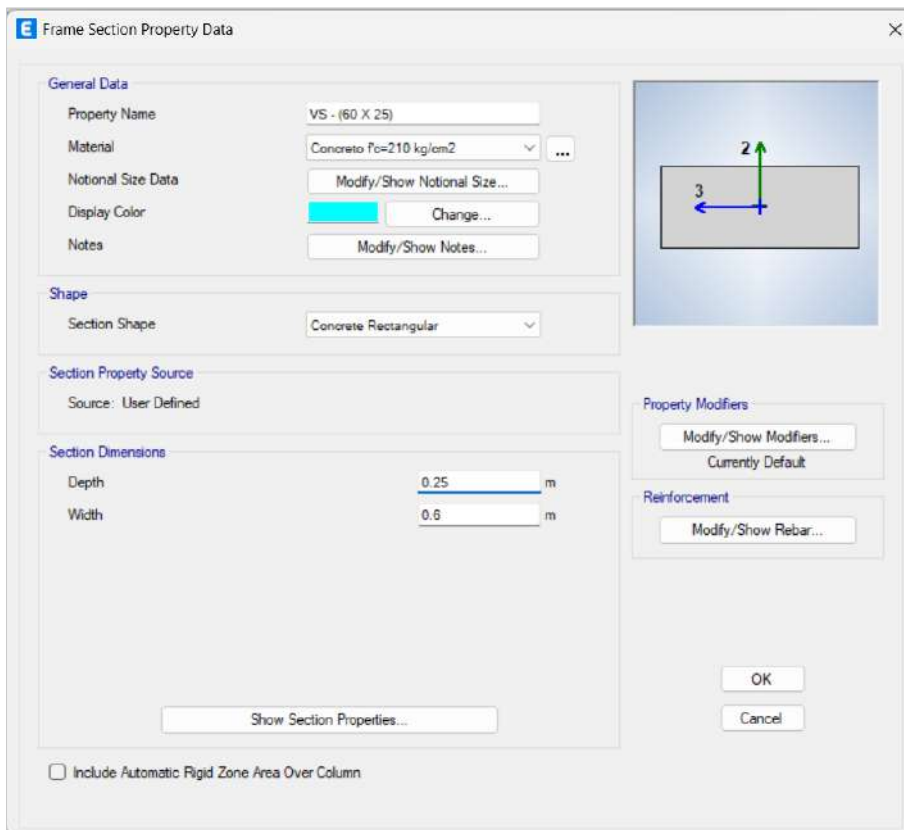
Fuente: Documentación técnica – planos estructurales del expediente técnico.

**Figura 55**

*Vigas de la edificación.*

The screenshot shows the 'Frame Section Property Data' dialog box for a beam. The 'General Data' section includes: Property Name: VP - 101 (30 X 80); Material: Concreto  $f_c=210$  kg/cm<sup>2</sup>; Notional Size Data: Modify/Show Notional Size...; Display Color: Green; Notes: Modify/Show Notes... The 'Shape' section shows Section Shape: Concrete Rectangular. The 'Section Property Source' is User Defined. The 'Section Dimensions' are: Depth: 0.8 m; Width: 0.3 m. The 'Property Modifiers' section is Currently Default. The 'Reinforcement' section has Modify/Show Rebar... The 'Include Automatic Rigid Zone Area Over Column' checkbox is unchecked. A diagram on the right shows a vertical rectangular section with a green arrow labeled '2' pointing up and a blue arrow labeled '3' pointing left.

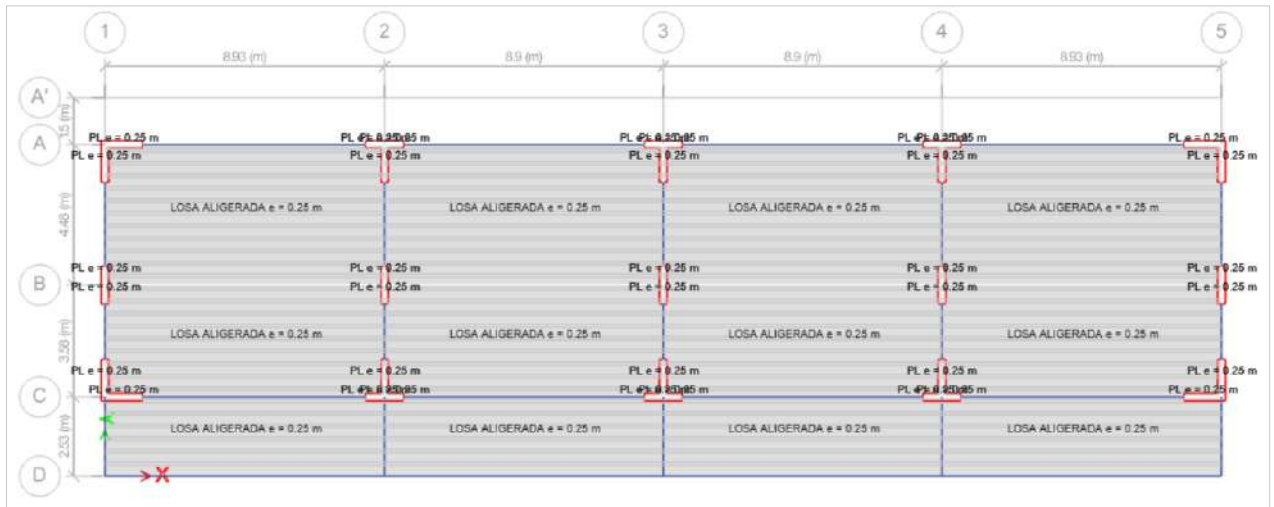
The screenshot shows the 'Frame Section Property Data' dialog box for a beam. The 'General Data' section includes: Property Name: VP - 102 (25 X 55); Material: Concreto  $f_c=210$  kg/cm<sup>2</sup>; Notional Size Data: Modify/Show Notional Size...; Display Color: Blue; Notes: Modify/Show Notes... The 'Shape' section shows Section Shape: Concrete Rectangular. The 'Section Property Source' is User Defined. The 'Section Dimensions' are: Depth: 0.55 m; Width: 0.25 m. The 'Property Modifiers' section is Currently Default. The 'Reinforcement' section has Modify/Show Rebar... The 'Include Automatic Rigid Zone Area Over Column' checkbox is unchecked. A diagram on the right shows a vertical rectangular section with a green arrow labeled '2' pointing up and a blue arrow labeled '3' pointing left.



*Nota.* Igualmente se agregó las secciones de vigas y sus respectivas áreas de acero conforme a los planos de la especialidad de estructuras. Fuente: Etabs 22.4.0.

**Figura 56**

*Colocación de las losas aligeradas.*

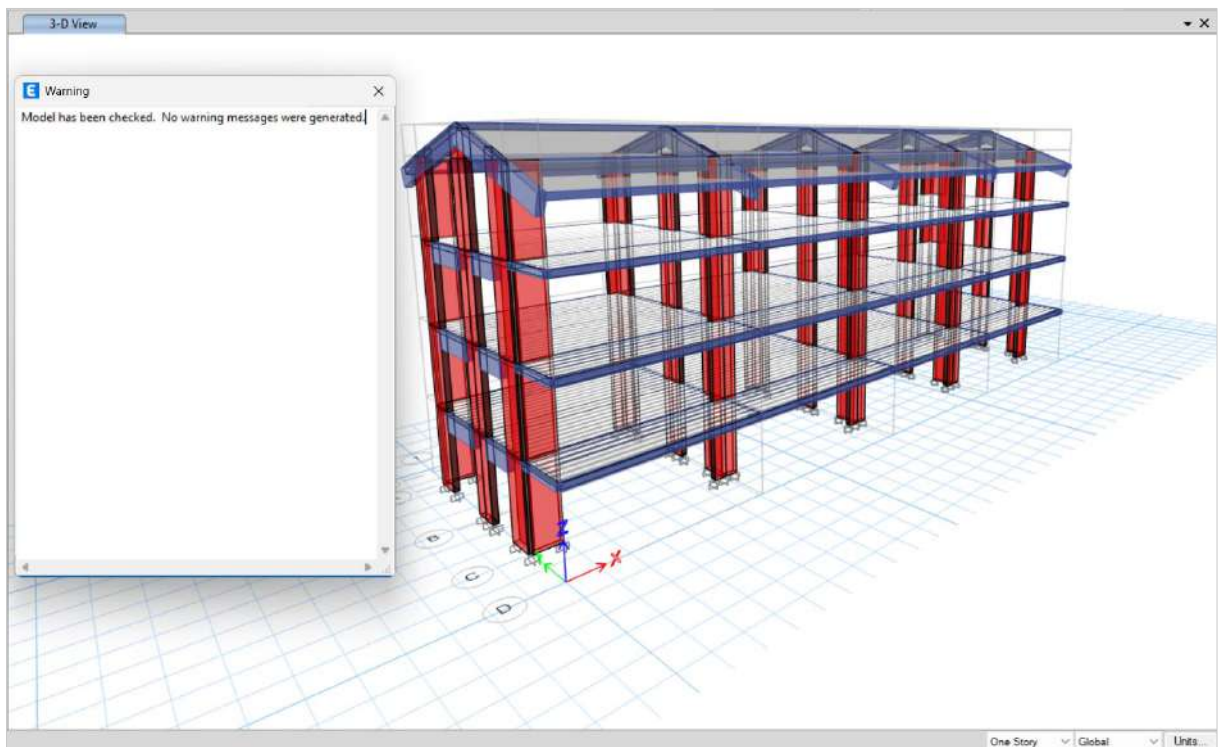


*Nota.* Se agrego la losa aligerada de espesor 0.25 m, conforme a los planos de la especialidad de estructuras. Fuente: Etabs 22.4.0.

En seguida se hizo un chequeo con el programa con el propósito de no tener errores al momento de analizar el modelado.

**Figura 57**

*Verificación del modelo.*

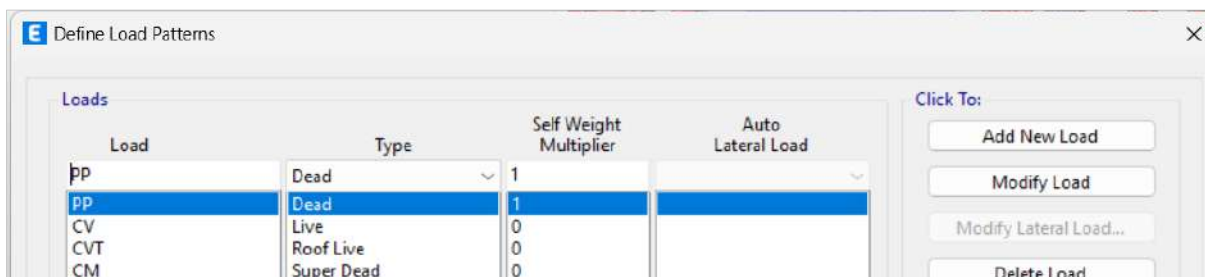


*Nota.* Al aparecer esta imagen (model has been checked. No warning messages were generated) nos dice que no presenta algún problema nuestro modelo. Fuente: Etabs 22.4.0.

En seguida definiremos nuestros patrones de carga y asignaremos a la estructura según lo indicado en nuestra norma E.020 Cargas, para centros de educación.

**Figura 58**

*Patrones de cargas.*



Fuente: Etabs 22.4.0.

**Figura 59**

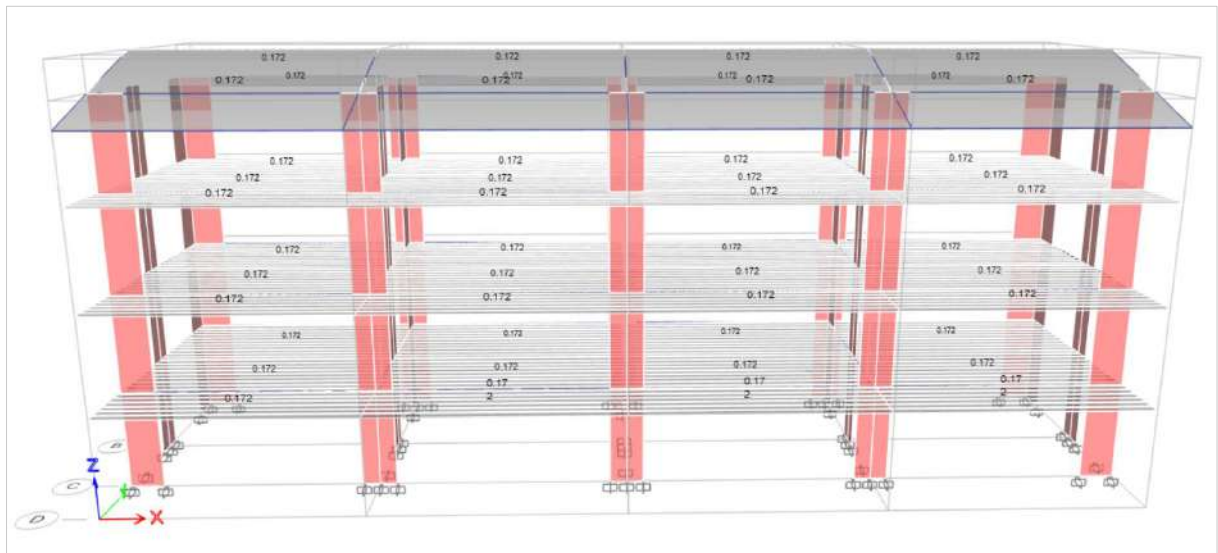
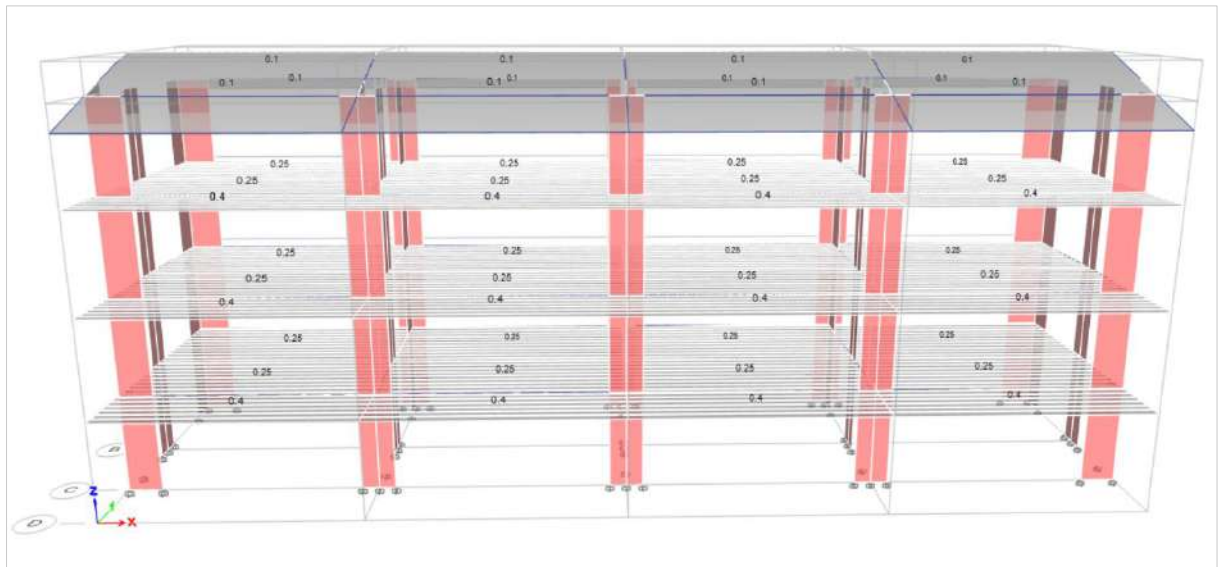
*Cargas uniformes asignadas a la edificación.*

PISO TIPICO	
<b>Carga Muerta</b>	<b>322 kg/m2</b>
Peso ladrillo	72 kg/m2
Piso Terminado	100 kg/m2
tabiqueria	150
<b>Carga Viva en Aulas</b>	<b>250 kg/m2</b>
Sobrecarga	250 kg/m2
<b>Carga Viva en Corredores y Escaleras</b>	<b>400 kg/m2</b>
Sobrecarga	400 kg/m2
AZOTEA	
<b>Carga Muerta</b>	<b>172 kg/m2</b>
Peso ladrillo	72 kg/m2
Piso Terminado	100 kg/m2
<b>Carga Viva</b>	<b>100 kg/m2</b>
Sobrecarga	100 kg/m2

*Nota.* Asignación de cargas en cumplimiento al capítulo 3 de nuestra norma técnica de cargas. Fuente: adaptado de la norma NTP E.020.

**Figura 60**

*Carga viva y carga muerta asignada.*



*Nota.* Asignación de cargas en cumplimiento al capítulo 3 de nuestra norma técnica de cargas. Fuente: Etabs 22.4.0.

**Figura 61**

*Cargas distribuidas asignadas a la edificación.*

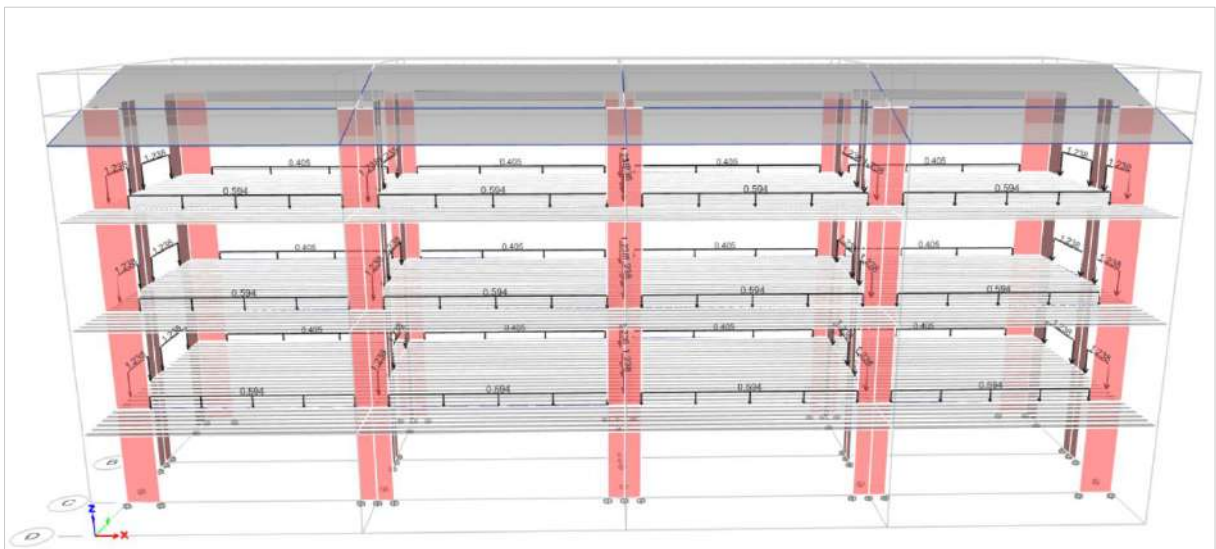
Ejes	espesor	altura	peso esp. Albañilería	carga distrb. Kg/m	carga distrb. Ton/m
EJE 1	0.25	2.75	1800	1237.5	<b>1.2375</b>
EJE 2	0.25	2.75	1800	1237.5	<b>1.2375</b>
EJE 3	0.25	2.75	1800	1237.5	<b>1.2375</b>
EJE 4	0.25	2.75	1800	1237.5	<b>1.2375</b>
EJE 5	0.25	2.75	1800	1237.5	<b>1.2375</b>
EJE A (1-2)	0.15	1.5	1800	405	<b>0.405</b>
EJE A (2-3)	0.15	1.5	1800	405	<b>0.405</b>
EJE A (3-4)	0.15	1.5	1800	405	<b>0.405</b>
EJE A (4-5)	0.15	1.5	1800	405	<b>0.405</b>
EJE C (1-2)	0.15	2.2	1800	594	<b>0.594</b>
EJE C (2-3)	0.15	2.2	1800	594	<b>0.594</b>
EJE C (3-4)	0.15	2.2	1800	594	<b>0.594</b>
EJE C (4-5)	0.15	2.2	1800	594	<b>0.594</b>

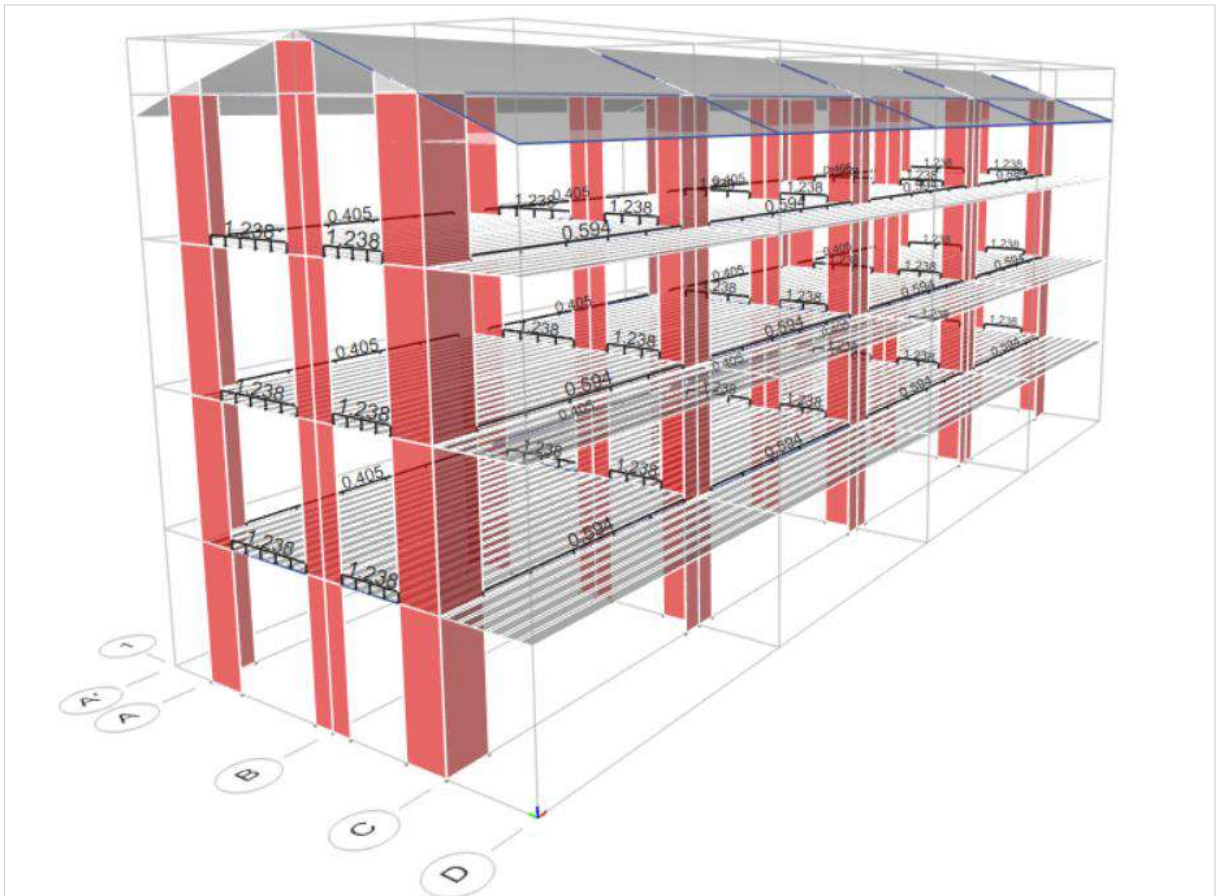
*Nota.* Asignación de cargas en cumplimiento al capítulo 3 de nuestra norma técnica de cargas y teniendo en cuenta las longitudes establecidas los planos del expediente técnico.

Fuente: adaptado de la norma NTP E.020.

**Figura 62**

*Carga muerta distribuida en ambas direcciones en las vigas de la edificación.*



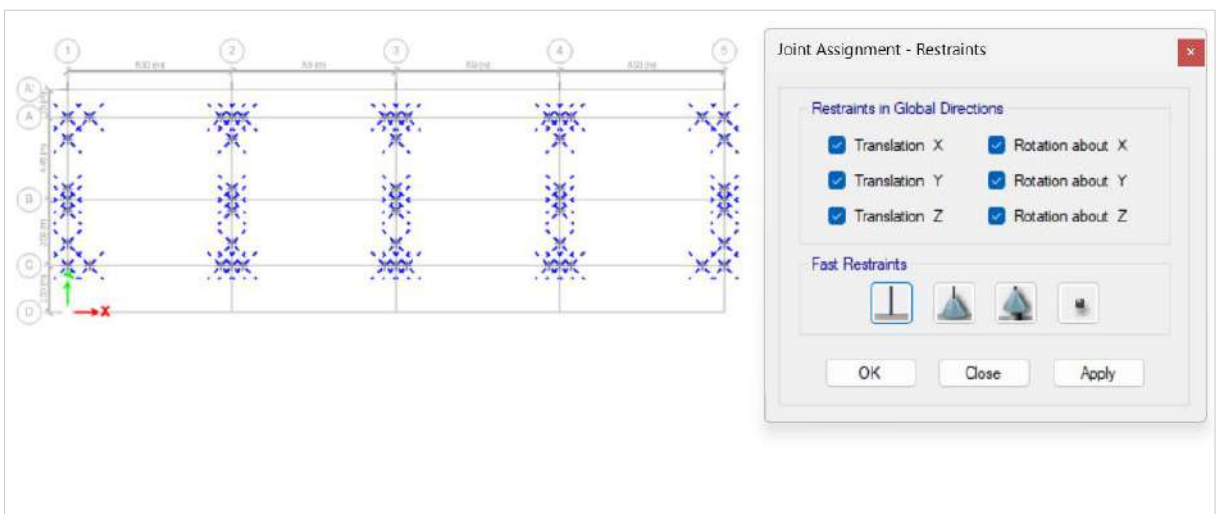


Fuente: Etabs 22.4.0.

Luego configuramos las restricciones en la base, y empotramos los elementos estructurales. En seguida crearemos el brazo rígido para los elementos frame.

**Figura 63**

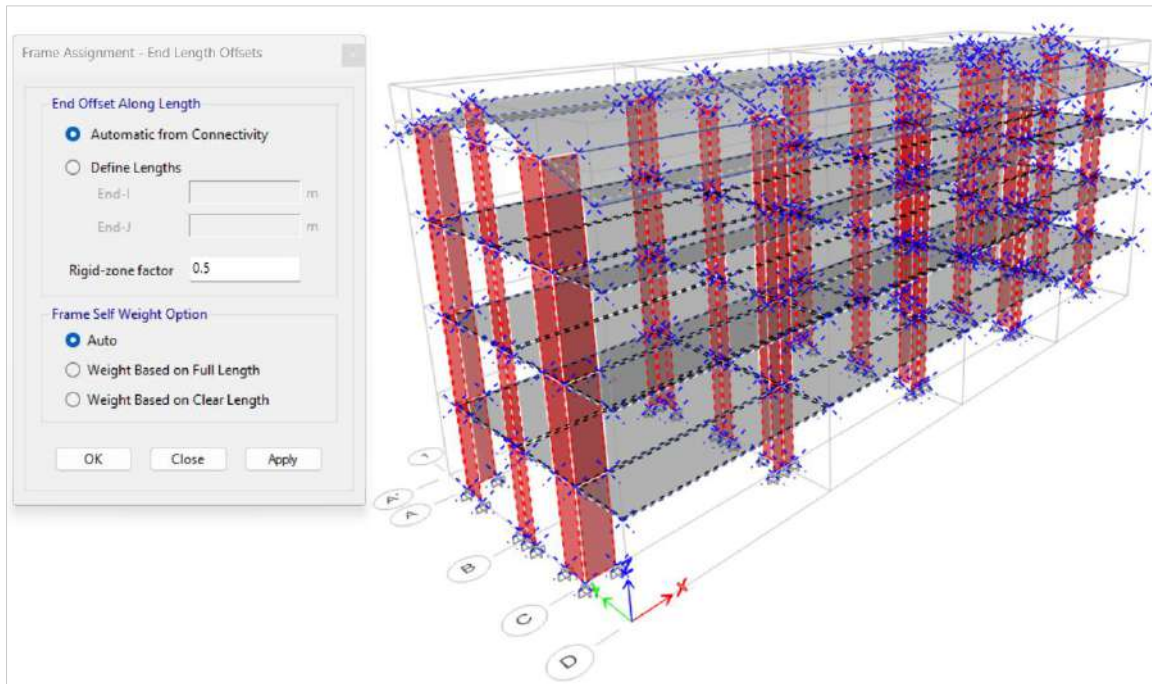
*Selección de los apoyos y asignación de las restricciones.*



Fuente: Etabs 22.4.0.

**Figura 64**

*Generación del brazo rígido en la edificación.*

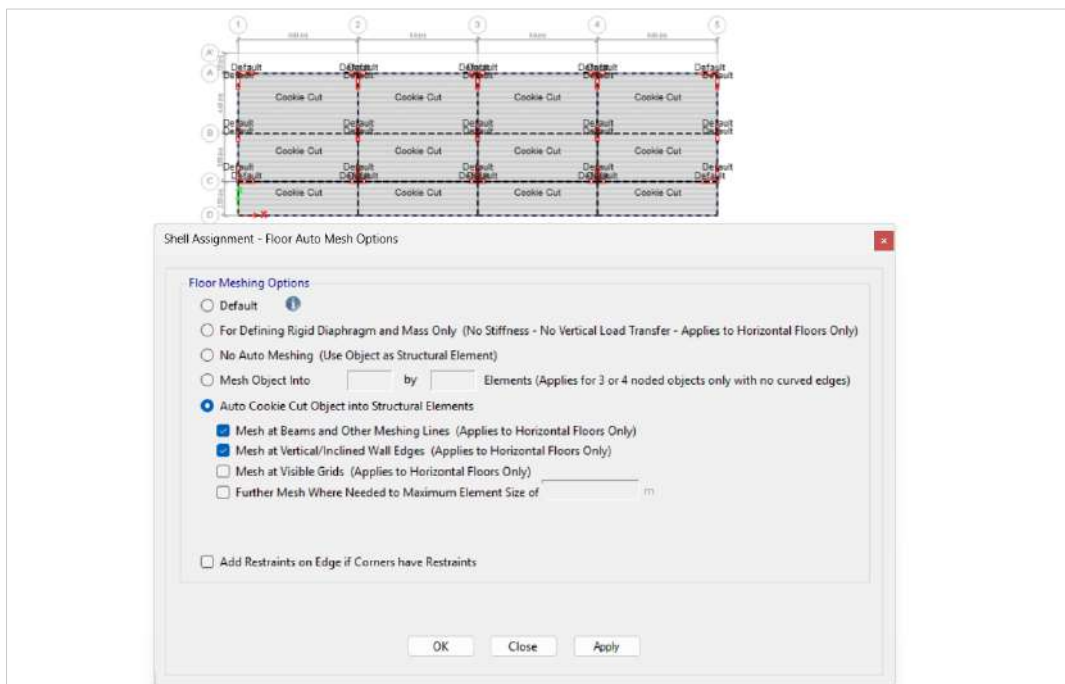


Fuente: Etabs 22.4.0.

Luego hacemos la discretización de las losas para tener una mejor precisión al momento de interpretar nuestros resultados del programa.

**Figura 65**

*Discretización de las losas aligeradas.*



Fuente: Etabs 22.4.0.

**Figura 66**

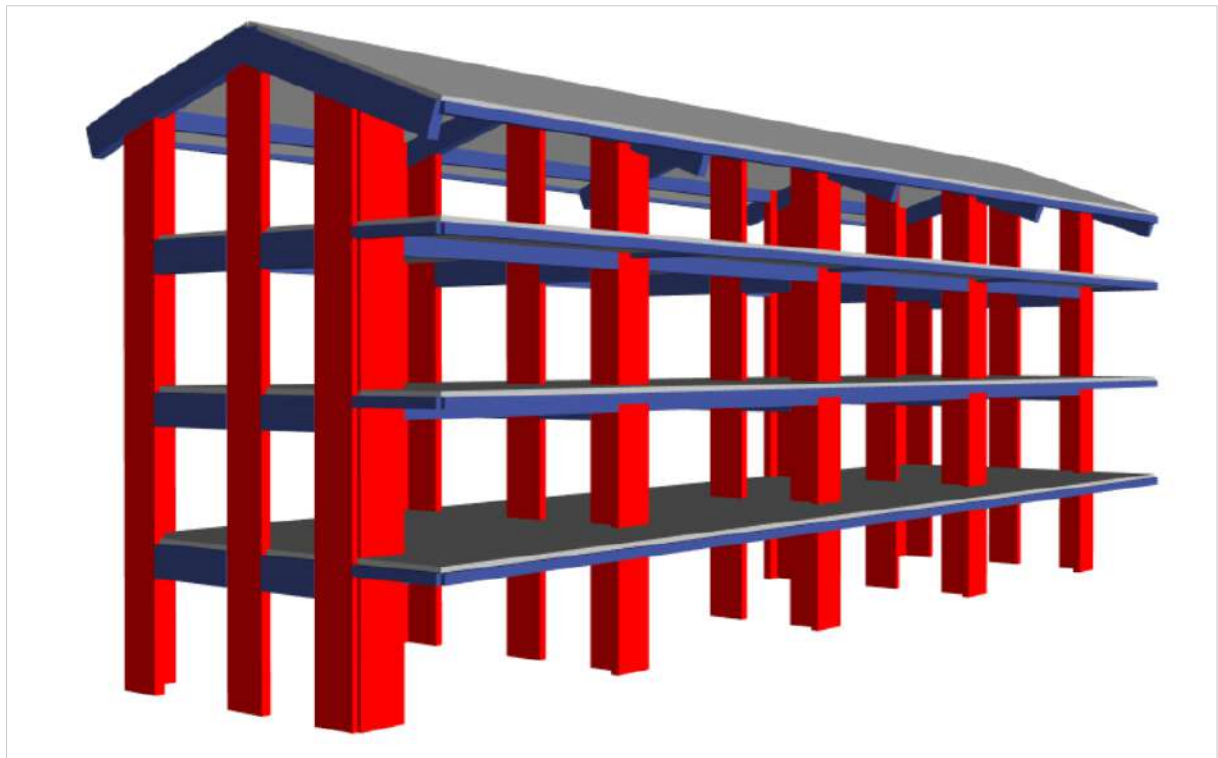
*Visualización en planta del primer nivel de la edificación.*



Fuente: Etabs 22.4.0.

**Figura 67**

*Visualización en 3D de la edificación.*



Fuente: Etabs 22.4.0.

## 2. Análisis sísmico estático

El análisis estático se efectuó siguiendo los protocolos descritos en la regulación técnica peruana E.030– 2018. Este enfoque se basó en los datos proporcionados en los planos estructurales asociados con la documentación técnica del proyecto.

Para las dos direcciones (X y Y), se eligió un parámetro de reducción de terremotos  $R=6$  que corresponde al tipo de estructura analizada. Sin embargo, debido a que la disposición de los pisos es uniforme, este coeficiente fue disminuido mediante el uso de un número primo de 0.75, de acuerdo a la legislación en vigor, esto hizo posible que el cálculo se adaptara a las particularidades del modelo de estructura.

**Tabla 26**

*Condiciones sísmicas de diseño.*

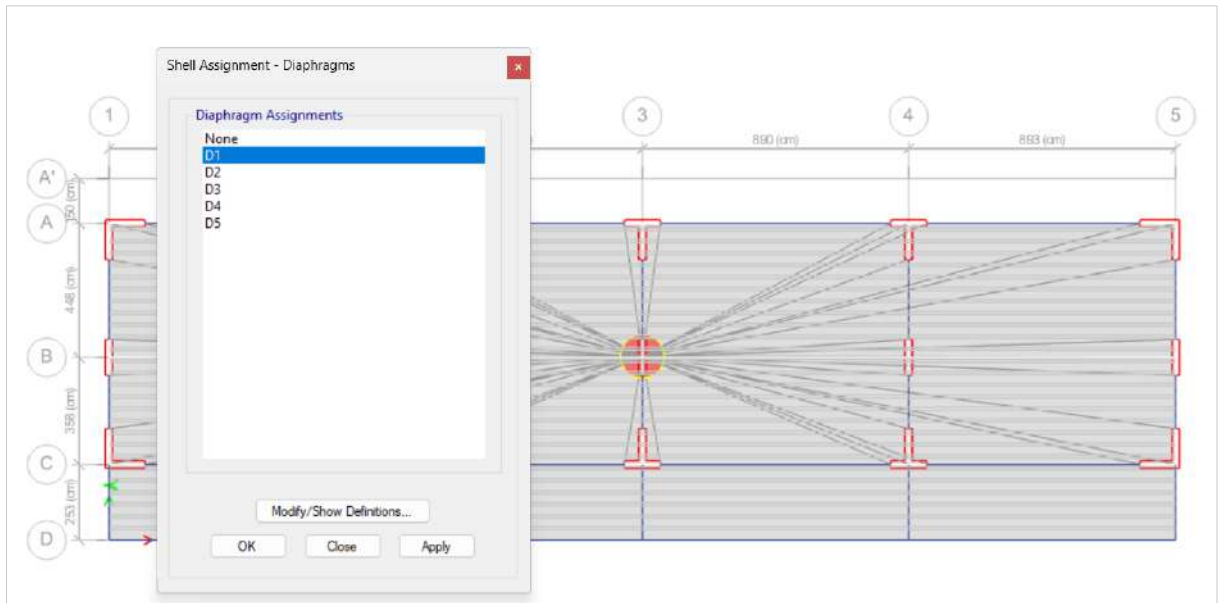
Factor	Símbolo	Parámetros	
		Clasificación/categoría/tipo	Valor
Zona	Z	2	0.25 g
Uso	U	A2	1.5
Coeficiente de amplificación sísmica	C	C	2.5
Factor por tipo de suelo	S	S2	1.20
		Tp(S)	0.60
		TL(S)	2.00
Coeficiente de reducción sísmica en X	Rx	Muros estructurales	6
Coeficiente de reducción sísmica en Y	Ry	Muros estructurales	6

Fuente: NTP E.30 – 2018.

Luego procedemos a asignar los diafragmas rígidos a los entrepisos tal cual lo indica nuestra norma técnica peruana E.030.

**Figura 68**

*Asignación del diafragma rígido.*

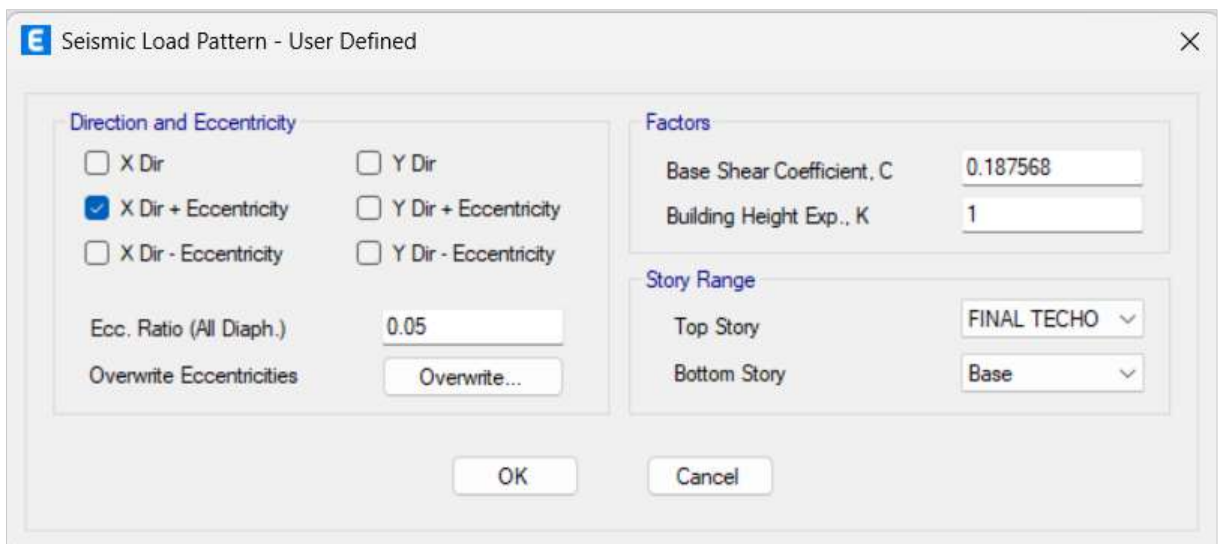
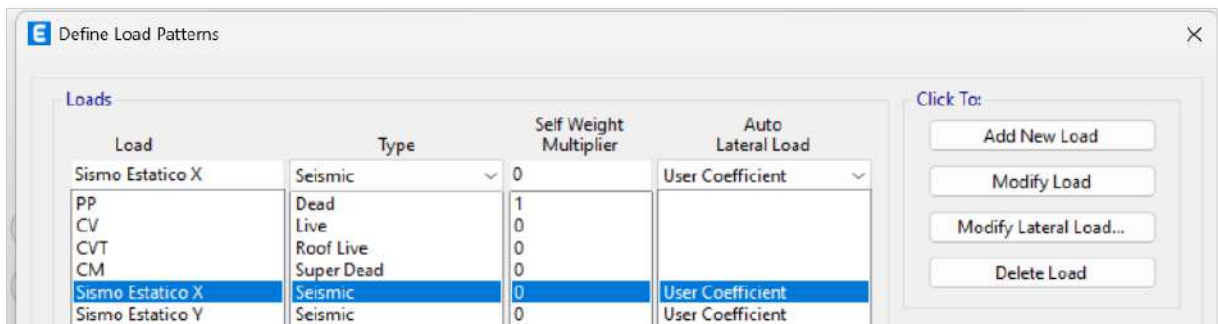


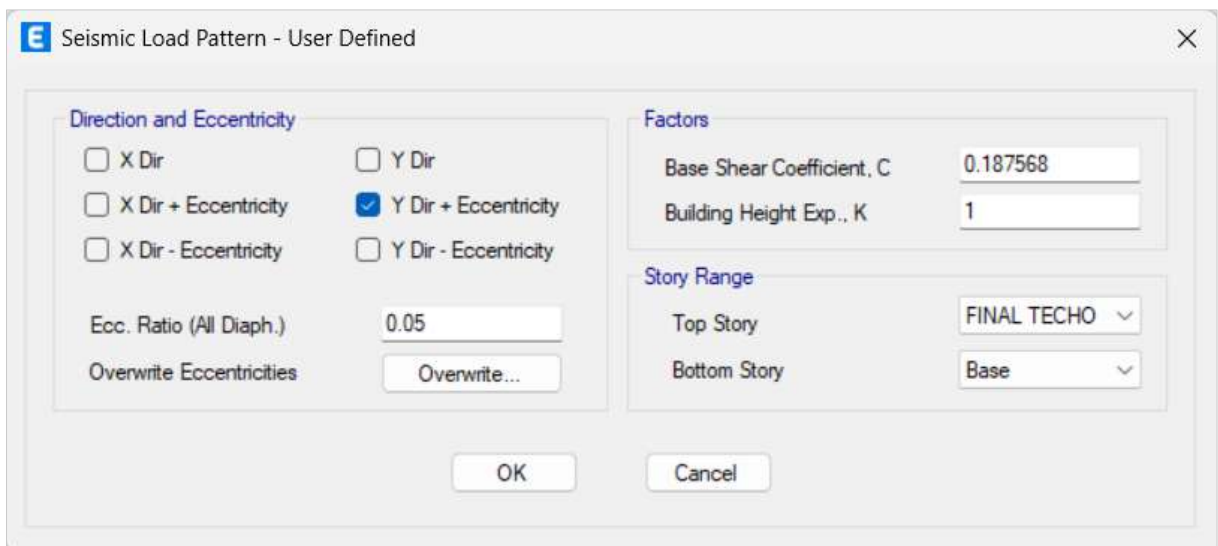
Fuente: Etabs 22.4.0.

Luego procedemos a definir nuestro sismo estático en el sentido X y Y.

**Figura 69**

*Definición del sismo estático.*





*Nota.* Se ha asignado el coeficiente de cortante en la base en los dos sentidos, con un valor de excentricidad del 5%. Fuente: Etabs 22.4.0.

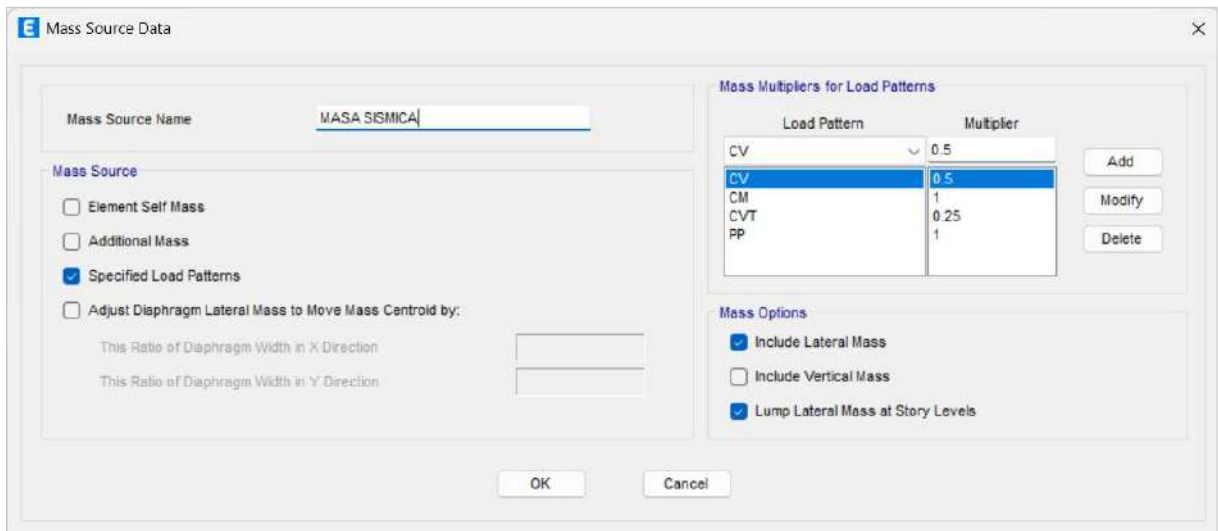
En seguida procederemos a la configuración del peso, que según nuestra norma E.30, en el capítulo IV, artículo 26, sería de la siguiente manera:

Se adicionará a la carga permanente y adicional de la edificación el:

- a) Para las edificaciones de categoría A y B, se toma el 0.5 CV de carga viva.
- b) Para azoteas y todos los techos en general se toma el 0.25CV de la carga viva.

**Figura 70**

*Definición del Peso de la edificación.*



Fuente: Etabs 22.4.0.

Luego procedemos a correr el programa para obtener nuestros valores del análisis estático.

**Tabla 27**

*Peso de la edificación.*

Story	Output Case	Case Type	Location	P tonf
<b>FINAL TECHO</b>	PESO DE LA EDIFICACION	Combination	Bottom	213.6176
<b>4TO PISO</b>	PESO DE LA EDIFICACION	Combination	Bottom	365.1281
<b>3ER PISO</b>	PESO DE LA EDIFICACION	Combination	Bottom	734.7901
<b>2DO PISO</b>	PESO DE LA EDIFICACION	Combination	Bottom	1104.4522
<b>1ER PISO</b>	PESO DE LA EDIFICACION	Combination	Bottom	1474.1142

Fuente: Etabs 22.4.0.

La fuerza cortante se ha determinado mediante la siguiente expresión:

Cortante basal en la dirección X – X:

$$V_x = \frac{Z.U.C.S}{R} * P$$

Cortante basal en la dirección Y – Y:

$$V_y = \frac{Z.U.C.S}{R} * P$$

**Tabla 28**

*Fuerza cortante sísmica en el sentido X.*

Story	Output Case	Location	VX tonf
<b>FINAL TECHO</b>	Sismo estatico en X	Bottom	21.8333
<b>4TO PISO</b>	Sismo estatico en X	Bottom	97.5072
<b>3ER PISO</b>	Sismo estatico en X	Bottom	186.193
<b>2DO PISO</b>	Sismo estatico en X	Bottom	242.399
<b>1ER PISO</b>	Sismo estatico en X	Bottom	270.502

Fuente: Etabs 22.4.0.

**Tabla 29***Fuerza cortante sísmica en el sentido Y.*

<b>Story</b>	<b>Output Case</b>	<b>Location</b>	<b>VY</b> tonf
<b>FINAL TECHO</b>	Sismo estatico en Y	Bottom	45.609
<b>4TO PISO</b>	Sismo estatico en Y	Bottom	97.5071
<b>3ER PISO</b>	Sismo estatico en Y	Bottom	186.193
<b>2DO PISO</b>	Sismo estatico en Y	Bottom	242.3991
<b>1ER PISO</b>	Sismo estatico en Y	Bottom	270.5021

Fuente: Etabs 22.4.0.

### 3. Análisis sísmico dinámico

El análisis sísmico dinámico se llevó a cabo cumpliendo con los parámetros estipulados en la Norma Técnica Peruana E.030 – 2018. Para el modelo estructural, se consideraron diafragmas rígidos y se evaluaron tres modos de vibración para cada nivel, lo que dio como resultado un total de 12 modos para una edificación de cuatro niveles. Esta metodología permite registrar la respuesta dinámica de la construcción considerando los modos más representativos.

En la tabla correspondiente, se detallan los modos analizados acompañado con sus períodos asociados. El modo inicial, vinculado a la dirección del eje X, tiene un período de 0.524 segundos y una participación de masa efectiva del 79%. El segundo modo, relacionado con la dirección del eje Y, presenta un período de 0.3 segundos y una contribución de masa efectiva del 80.73%. Y por último el tercer modo presenta un comportamiento rotacional, con un período de 0.234 segundos, lo que permite capturar los efectos torsionales en la respuesta estructural.

**Tabla 30**

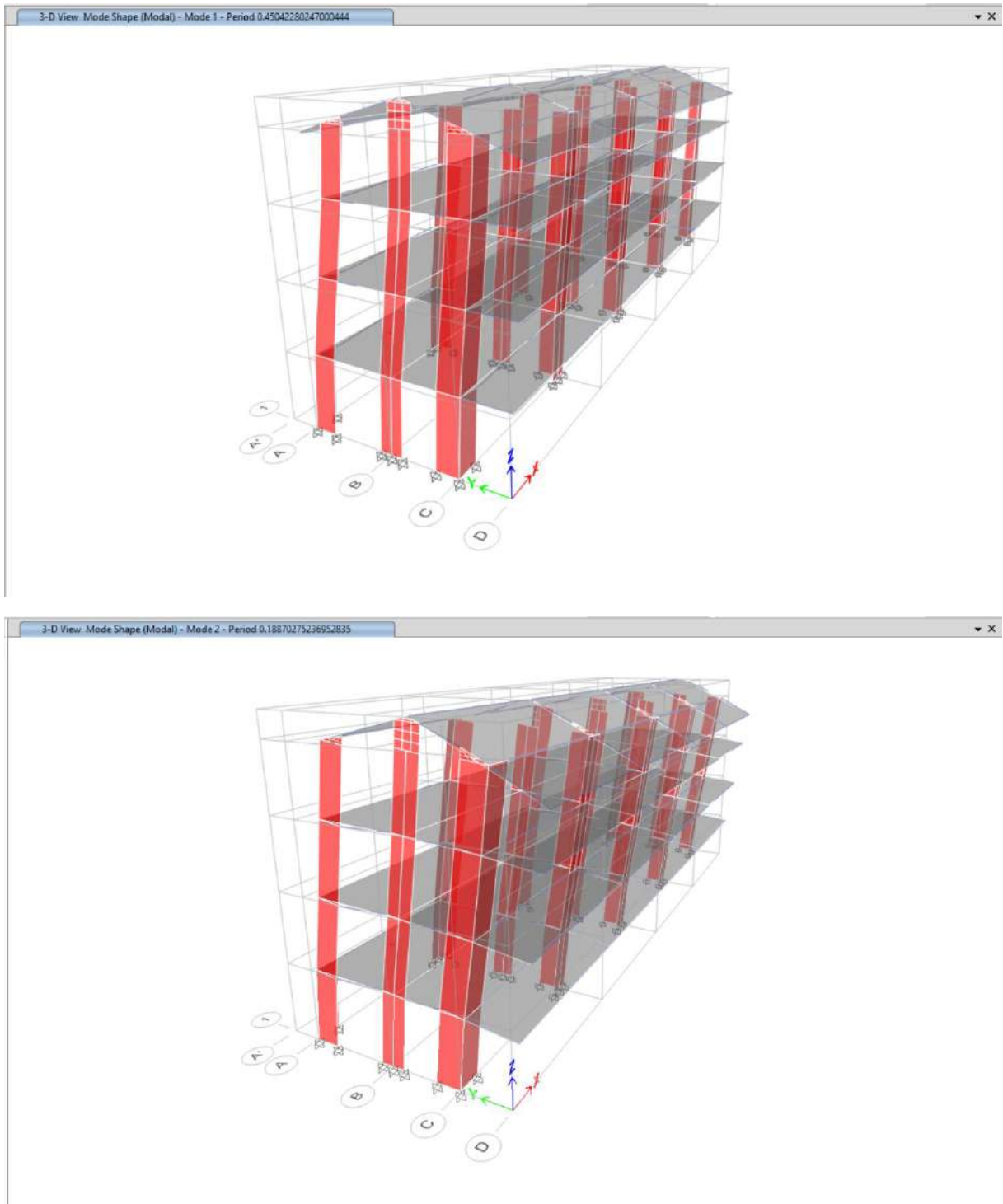
*Períodos y masa participativa de cada modo de vibración.*

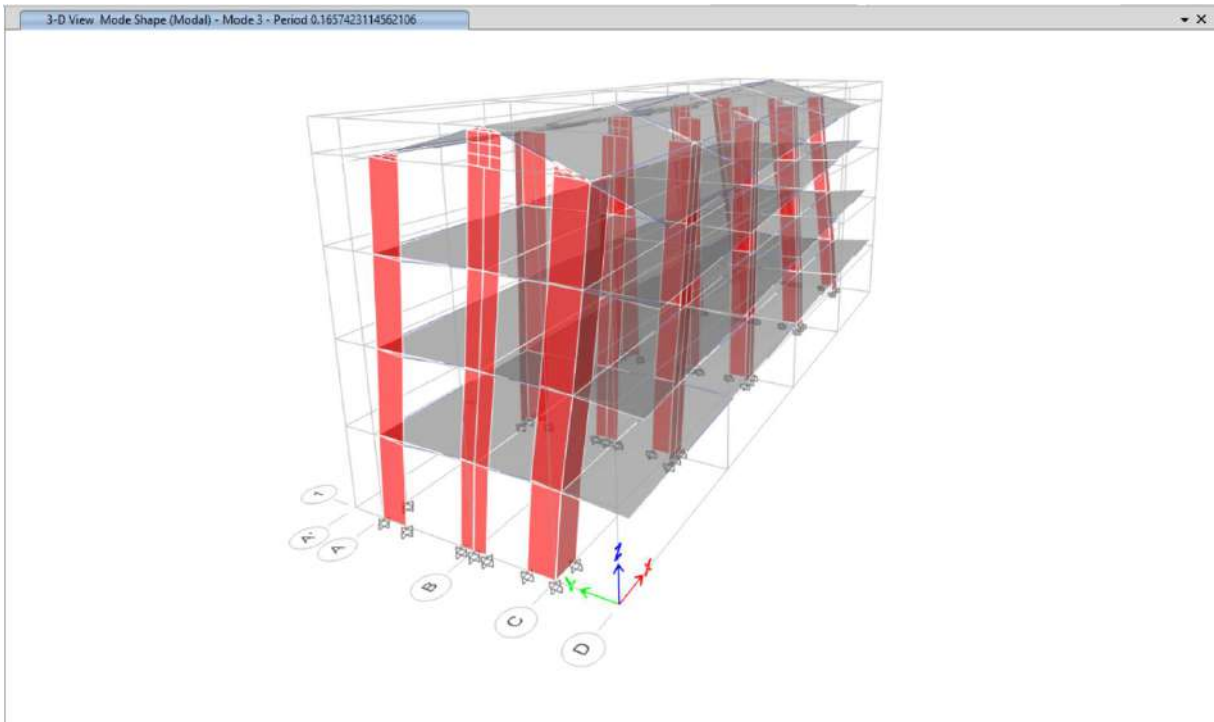
Case	Mode	Period	UX	UY	SumUX	SumUY	RZ	SumRZ
		sec						
Modal	1	0.45	0.7672	0	0.7672	0	0.0001	0.0001
Modal	2	0.189	0	0.7743	0.7672	0.7743	0	0.0001
Modal	3	0.166	0.0004	0	0.7676	0.7743	0.7819	0.7819
Modal	4	0.112	0.1309	0	0.8985	0.7743	0.0005	0.7824
Modal	5	0.062	0	0.132	0.8985	0.9063	0	0.7824
Modal	6	0.055	0.00004788	0	0.8986	0.9063	0.1224	0.9049
Modal	7	0.05	0.0539	0	0.9524	0.9063	0.00000255	0.9049
Modal	8	0.045	0	0.0044	0.9524	0.9108	0	0.9049
Modal	9	0.037	0.00002037	0	0.9524	0.9108	0.006	0.9108
Modal	10	0.034	0	0.0004	0.9524	0.9111	0	0.9108
Modal	11	0.033	0	0.0447	0.9524	0.9559	0	0.9108
Modal	12	0.031	0	0.0041	0.9524	0.96	0	0.9108

Fuente: Etabs 22.4.0.

**Figura 71**

*Modos de vibración de la edificación.*



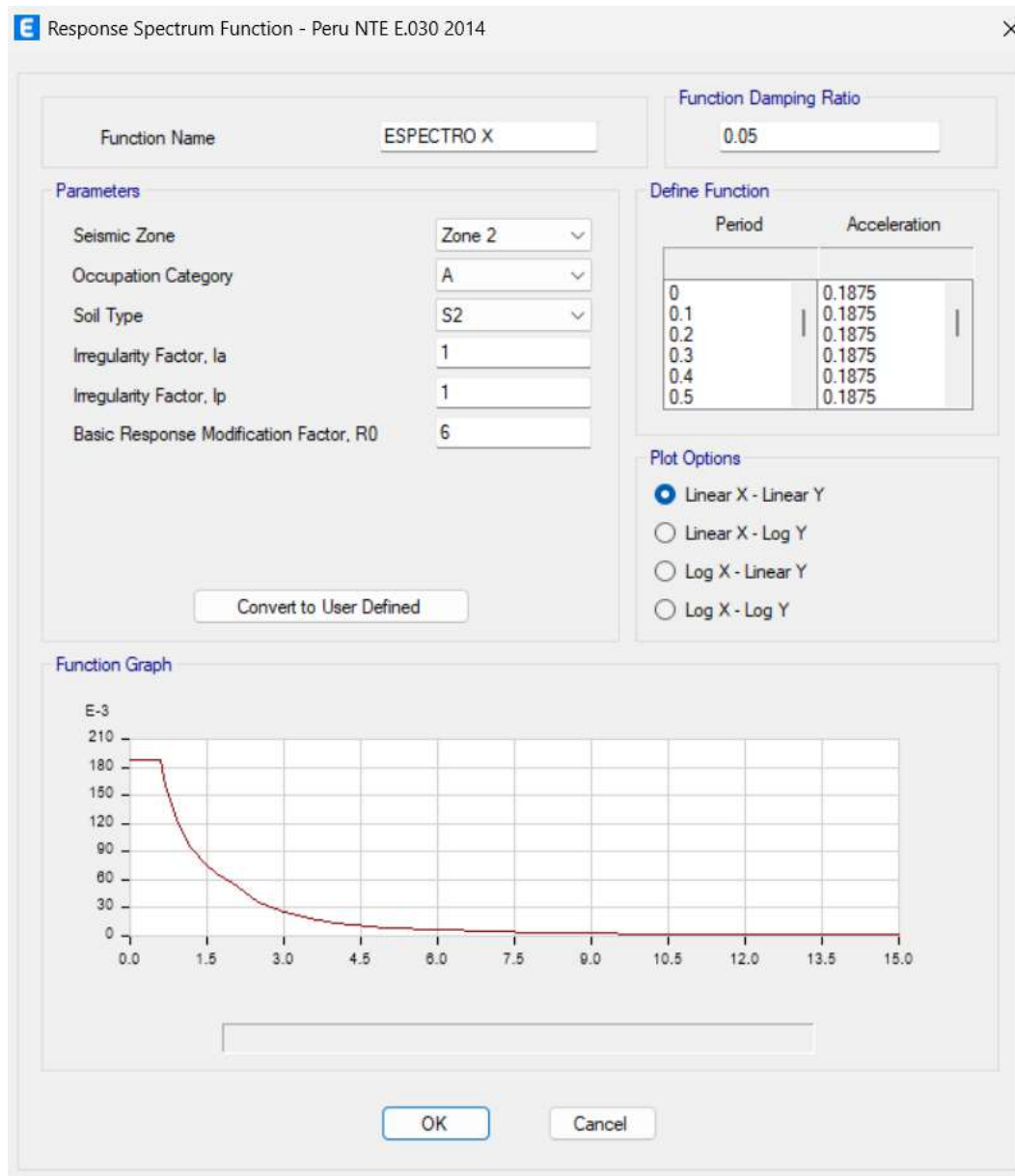


*Nota.* Las figuras muestran los 3 primeros modos de vibración de la edificación, los dos traslacionales y un rotacional, con lo cual se cumple con lo indicado en nuestra normativa respecto al diseño estructural. Fuente: Etabs 22.4.0.

Se conceptualizó el espectro de respuesta para ambos sentidos de los ejes X e Y, teniendo en cuenta los parámetros establecidos para el diseño. En el análisis sísmico dinámico, se utilizó el método de superposición espectral, adoptando la combinación cuadrática completa (CQC) como criterio para integrar los efectos asociados a cada modo de vibración. Adicionalmente, se incorporó un amortiguamiento del 5 % para reflejar las pérdidas de energía durante la vibración, y se consideró una excentricidad del diafragma con el mismo porcentaje.

**Figura 72**

*Espectro de diseño en el sentido X en la edificación.*



Fuente: Etabs 22.4.0.

**Figura 73**

*Espectro de diseño en el sentido Y de la edificación.*



Fuente: Etabs 22.4.0.

Luego de definir los espectros de diseño, se establecieron las situaciones de análisis dinámico en ambos sentidos, X e Y. En este proceso, se incluyó una excentricidad accidental del 5% para considerar los efectos torsionales y se mantuvo un coeficiente de amortiguamiento crítico fijo del 5% en todos los modos de vibración. Posteriormente, se determinaron las fuerzas cortantes correspondientes para cada contexto de análisis, cuyos valores están presentados a continuación.

**Tabla 31**

Valores de la cortante mínima en los ejes X y Y.

Ejes	Cortante	F	V.din. $\geq$ 80% V.est.	
En X	Estática	270.502 Tonf	80.51 %	cumple
En X	Dinámica	215.965 Tonf		
En Y	Estática	270.502 Tonf	81.99 %	cumple
En Y	Dinámica	218.030 Tonf		

Fuente: Etabs 22.4.0.

### Desplazamientos relativos admisibles en la dirección X – X.

**Tabla 32**

Valores máximos de deriva por nivel en el eje X.

Niveles	Caso de carga	Sentido	Deriva	Rx = 6	Deriva*0.75*R<0.007
<b>Valores máximos de desplazamiento por nivel en el eje X</b>					
<b>Final</b>	Sismo Dinámico X	X	0.000495	0.002228	Si cumple
<b>techo</b>					
<b>4to piso</b>	Sismo Dinámico X	X	0.000771	0.003470	Si cumple
<b>3er piso</b>	Sismo Dinámico X	X	0.00109	0.004905	Si cumple
<b>2do piso</b>	Sismo Dinámico X	X	0.001131	0.005090	Si cumple
<b>1er piso</b>	Sismo Dinámico X	X	0.000565	0.002543	Si cumple

Fuente: Etabs 22.4.0.

La tabla anterior muestra los resultados obtenidos en la constatación de los desplazamientos admisibles en la dirección X–X. En este eje, la configuración estructural se encuentra compuesto por muros estructurales, cuyo límite máximo de deriva, de acuerdo con lo establecido en la Norma Técnica Peruana E.030 – 2018, se fija en 0.007. Los valores calculados revelan que las derivas registradas están dentro del límite establecido por la normativa, indicando un comportamiento estructural adecuado frente a las demandas sísmicas evaluadas.

## Desplazamientos relativos admisibles en la dirección Y – Y.

**Tabla 33**

*Valores máximos de deriva en Y.*

<b>Niveles</b>	<b>Caso de carga</b>	<b>Sentido</b>	<b>Deriva</b>	<b>Rx = 6</b>	
<b>Deriva*0.75*R&lt;0.007</b>					
<b>Valores máximos de desplazamiento por nivel en el eje Y</b>					
<b>Final</b>	Sismo Dinámico Y	Y	0.000124	0.000558	Si cumple
<b>techo</b>					
<b>4to piso</b>	Sismo Dinámico Y	Y	0.000189	0.000851	Si cumple
<b>3er piso</b>	Sismo Dinámico Y	Y	0.000183	0.000824	Si cumple
<b>2do piso</b>	Sismo Dinámico Y	Y	0.000197	0.000887	Si cumple
<b>1er piso</b>	Sismo Dinámico Y	Y	0.000127	0.000572	Si cumple

Fuente: Etabs 22.4.0.

La tabla mostrada anteriormente ilustra la evaluación de los desplazamientos de pisos en la dirección Y–Y. En este caso, la disposición estructural consiste en muros estructurales cuya capacidad y comportamiento se ha venido cumpliendo conforme la Norma Técnica Peruana E.030. Esta norma define un límite máximo para el desplazamiento establecido en 0.007 con el propósito de asegurar la estabilidad y operatividad de la edificación durante y después de un sismo. Al analizar los resultados obtenidos, se visualiza que los desplazamientos de los pisos se mantienen dentro del límite permitido por las regulaciones. Este comportamiento indica que no hay un buen control del movimiento lateral de la edificación, lo que implica que la estructura tiene una capacidad razonable para soportar los efectos de las fuerzas sísmicas y preservar su integridad estructural frente a un evento, cumpliendo con las normas de seguridad.

#### **4. Análisis estático no lineal – PUSHOVER**

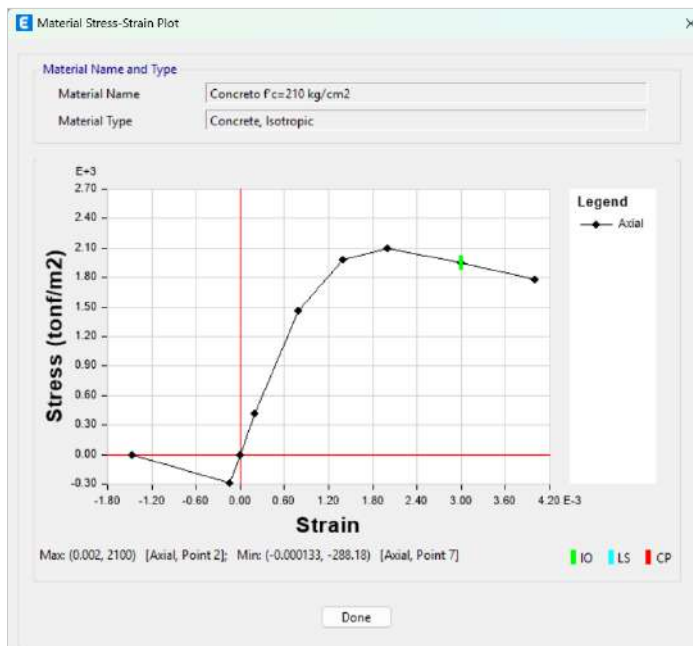
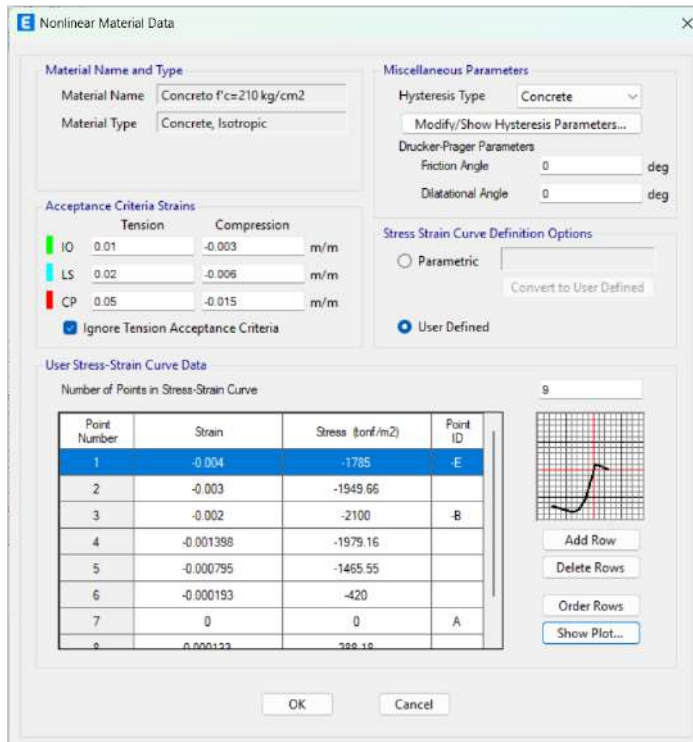
Durante el análisis estático no lineal del edificio, se revisaron las cuatro direcciones principales: X++, X--, Y++ y Y--. La decisión de no incluir el efecto P-Delta durante el análisis se justificó por la pequeña altura del edificio; esto permite la simplificación del modelo, la cual, en este caso, no afecta significativamente la precisión de los resultados. La respuesta no lineal principal de los elementos estructurales, como las vigas, se modeló con rotulas plásticas en zonas críticas donde se espera que se formen mecanismos de plasticidad. Para los muros de estructurales, se utilizaron rotulas con modelos de fibra porque proporcionan una representación de una manera más precisa de cómo se comportan no linealmente estos componentes ante cargas severas.

#### **Modelos de comportamiento no lineal del material**

Para simular la actuación de la no linealidad tanto confinado como no confinado del concreto dentro de elementos de una estructura, se seleccionó el modelo dominante propuesto por Mander, ya que es bien conocido por representar con precisión la respuesta del concreto bajo carga cíclica. Este modelo fue implementado en ETABS al establecer parámetros no lineales específicos que permiten simular el material en detalle a lo largo del ciclo de carga. En la modelación, algunas de las características más destacadas del comportamiento del concreto fueron el límite elástico, el punto de fluencia y la post-fluencia; todas fueron cruciales para la caracterización de la transición de la deformación elástica del concreto a la deformación plástica y el fallo último. La disposición de estos parámetros, como se detalla en la figura siguiente, permite la simulación precisa sobre la resistencia portante y la capacidad de deformación de cada uno de los componentes de la estructura, mejorando así la evaluación del rendimiento sísmico del edificio en condiciones extremas.

**Figura 74**

*Definición de las características no lineales del concreto.*



Fuente: Etabs 22.4.0.

El límite de capacidad para soportar la deformación plástica establecido para el acero del refuerzo es  $f_y = 4200 \text{ kgf/cm}^2$ , un valor aplicable al refuerzo longitudinal y transversal por igual. Con el fin de modelar la respuesta no lineal del acero, se adoptó el enfoque de Park, ya que es muy eficiente en la representación del endurecimiento posterior a la fluencia. Ese modelo es mejor para estimar el rendimiento del acero bajo condiciones de carga extremas y

proporciona una evaluación más precisa de su capacidad de resistencia durante la etapa posterior a la fluencia. El rendimiento del acero en condiciones no lineales se mejora al incorporar este efecto de endurecimiento, lo cual es importante para pronosticar el comportamiento de la edificación ante un escenario de un terremoto u otros incidentes de alta demanda.

**Figura 75**

*Modelo esfuerzo – deformación del acero según Park.*



*Nota.* La magnitud de la deformación específica correspondiente al comienzo del proceso de fluencia es de 0.0021. Fuente: Etabs 22.4.0.

### **Análisis de la estructura**

El método Pushover es un método mediante el cual interactúan las cargas por gravedad en conjunto con las fuerzas laterales, las cuales se van aumentando de manera monótona hasta que la edificación llegue a la fase de colpaso. Primeramente, se hizo el análisis estático con el objetivo de sacar las características del comportamiento estático de la edificación para después continuar con el procedimiento definido por el FEMA 356.

En la siguiente figura se visualizan los valores de las cargas laterales en ambas direcciones las cuales se añadieron a la estructura para la aplicación del Análisis Estático no Lineal Pushover.

**Tabla 34**

*Fuerzas laterales en la dirección X y Y para el Análisis No Lineal Pushover*

<b>Story</b>	<b>Fi - X</b>
	tonf
4TO PISO	97.5072
3ER PISO	88.6858
2DO PISO	56.206
1ER PISO	28.103
<b>Story</b>	<b>Fi - Y</b>
	tonf
4TO PISO	97.5071
3ER PISO	88.6859
2DO PISO	56.2061
1ER PISO	28.103

Fuente: Etabs 22.4.0.

Para el AENL se establecen dos casos de Carga No Lineal: Carga Gravitacional No Lineal y el Análisis Estoico No Lineal.

Al crear estos dos casos de carga se origina una secuencia de aplicación de estas cargas, las cuales primero se aplican las CGNL y luego el AENL, por lo tanto, se estaría cumpliendo con lo que nos indica el método Pushover al aplicar cargas laterales monotónicas hasta lograr el desplazamiento máximo de un punto situado en el último nivel de la estructura y llegando a colapsar.

**Figura 76**

*Determinacion de la carga gravitacional no lineal.*

**Load Case Data**

**General**

Load Case Name: CGNL [Design...]

Load Case Type: Nonlinear Static [Notes...]

Mass Source: Previous

Analysis Model: Default

**Initial Conditions**

Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State

Continue from State at End of Nonlinear Case (Loads at End of Case ARE Included)

Nonlinear Case: [ ]

**Loads Applied**

Load Type	Load Name	Scale Factor
Load Pattern	PP	1
Load Pattern	CM	1
Load Pattern	CV	0.5

[Add] [Delete]

**Other Parameters**

Modal Load Case: Modal

Geometric Nonlinearity Option: None

Load Application: Full Load [Modify/Show...]

Results Saved: Final State Only [Modify/Show...]

Floor Cracking Analysis: No Cracked Analysis [Modify/Show...]

Nonlinear Parameters: Default - Iterative Event-to-Event [Modify/Show...]

[OK] [Cancel]

Fuente: Etabs 22.4.0.

**Figura 77**

*Definición del Pushover en el eje X.*

**E** Load Case Data

**General**

Load Case Name: AENL EN X [Design...]

Load Case Type: Nonlinear Static [Notes...]

Mass Source: MASA SISMICA

Analysis Model: Default

**Initial Conditions**

Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State

Continue from State at End of Nonlinear Case (Loads at End of Case ARE Included)

Nonlinear Case: CGNL

**Loads Applied**

Load Type	Load Name	Scale Factor
Load Pattern	CARGA LATERAL X	1

[Add]

Fuente: Etabs 22.4.0.

**Figura 78**

*Definición del Pushover en el eje Y.*

**E** Load Case Data

**General**

Load Case Name: AENL EN Y [Design...]

Load Case Type: Nonlinear Static [Notes...]

Mass Source: MASA SISMICA

Analysis Model: Default

**Initial Conditions**

Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State

Continue from State at End of Nonlinear Case (Loads at End of Case ARE Included)

Nonlinear Case: CGNL

**Loads Applied**

Load Type	Load Name	Scale Factor
Load Pattern	CARGA LATERAL Y	1

[Add]

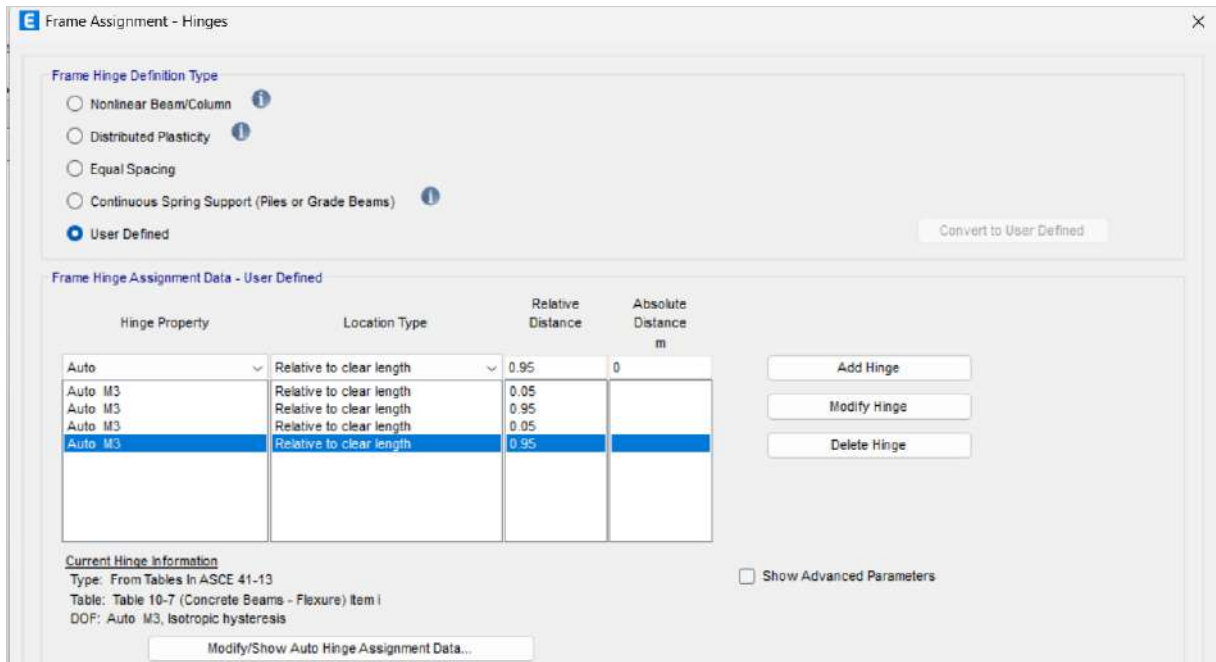
Fuente: Etabs 22.4.0.

El caso de la no linealidad pasa en puntos que ya se encuentran predefinidos al momento que asignamos rotulas (hinges) a las estructuras.

Se han asignado rotulas en las vigas a una distancia del 5% y 95% del tamaño de cada extremo de la viga, con el objetivo de lograr que la formación de las rotulas no se den en las uniones, si no en una longitud cercana a la columna o muro estructural.

**Figura 79**

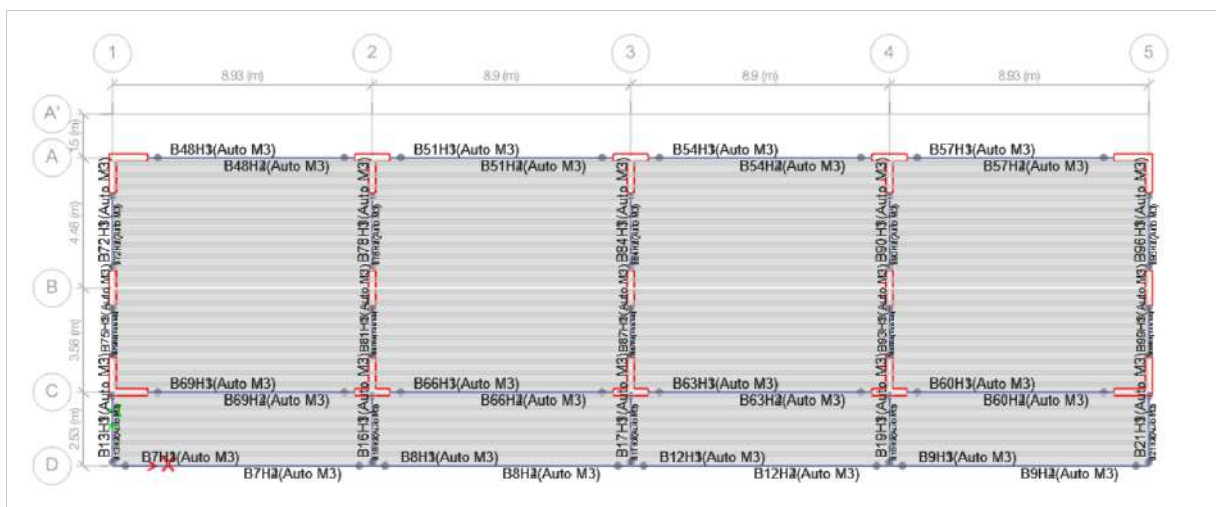
*Asignacion de rotulas plasticas en X y Y en la edificacion.*

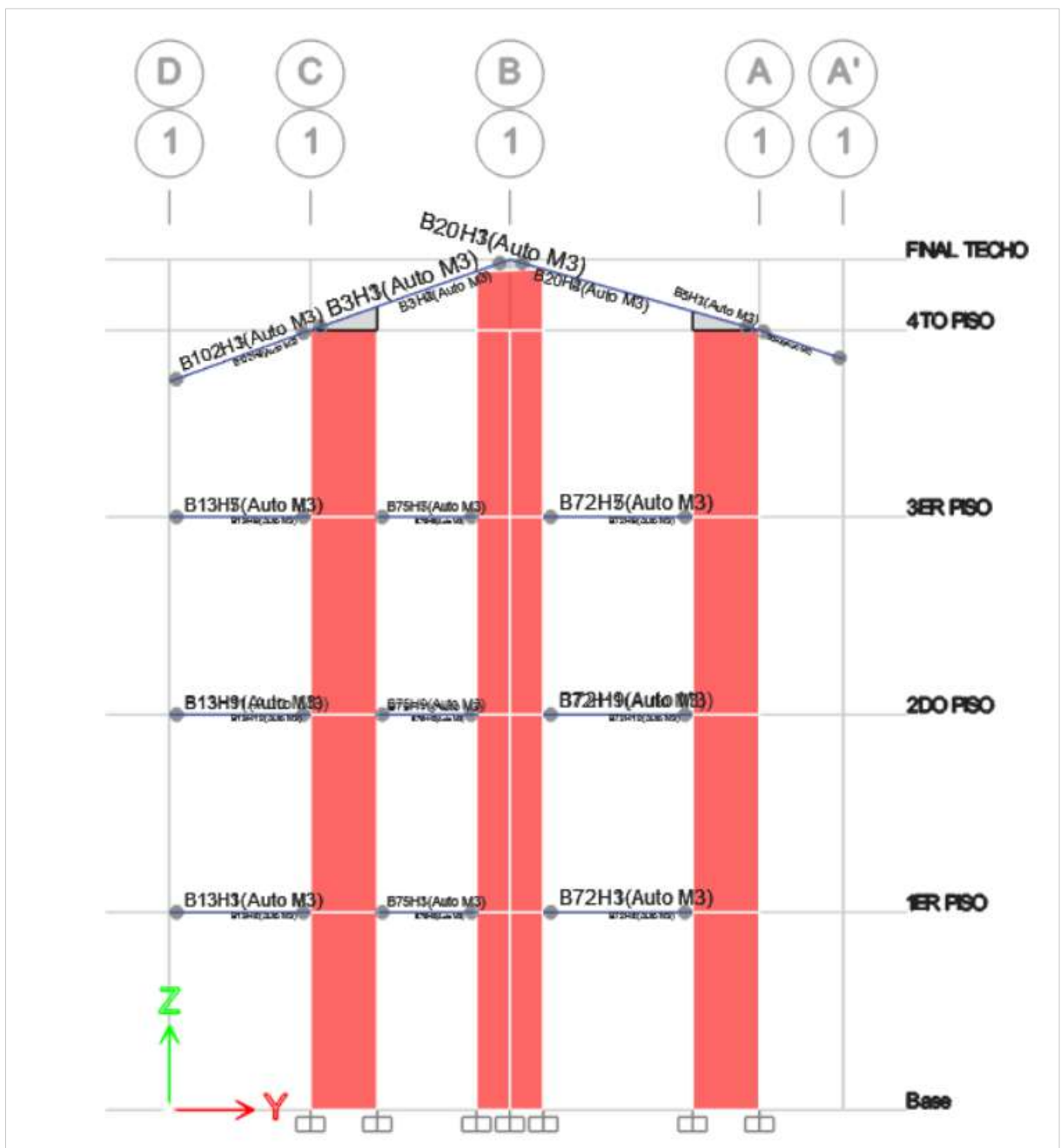


Fuente: Etabs 22.4.0.

**Figura 80**

*Definicion de las rotulas plásticas en vigas.*





*Nota.* Se ha establecido un rango del 5% al 95% de la longitud de la viga, conforme a la normativa internacional. Fuente: Etabs 22.4.0.

Se ha establecido las rotulas plásticas en los muros estructurales y se ha distribuido el acero, el cual tiene un recubrimiento de concreto equivalente a 4 cm tal como lo indica nuestra norma E.060 de concreto armado.

**Figura 81**

*Repartición de acero en los muros estructurales.*

**Wall Design Type**

Pier  
 Spandrel

**Rebar Material and Clear Cover**

Material Flexure: Acero fy=4200 kg/c  
Material Shear: Acero fy=4200 kg/c  
Bar Clear Cover: 0.04 m

**Rebar Layout**

**Geometry**

Start X (m)	Start Y (m)	End X (m)	End Y (m)	Length (m)	Thickness (m)	Start Zone Size (m)	End Zone Size (m)
0	10.59	1.2	10.59	1.2	0.25	1.2	0

**Reinforcement**

**Flexural Detail - Each Face**

Station	Bar Size	Bar Spacing (m)	Number of Bars
Start	1"		9
Center	5/8"	0.3	0
End	1"		0

**Flexural Detail (Additional Individual Bars)**

Material	Distance (m)	Area (m2)
	0	0.000001

**Shear/Confinement Detail**

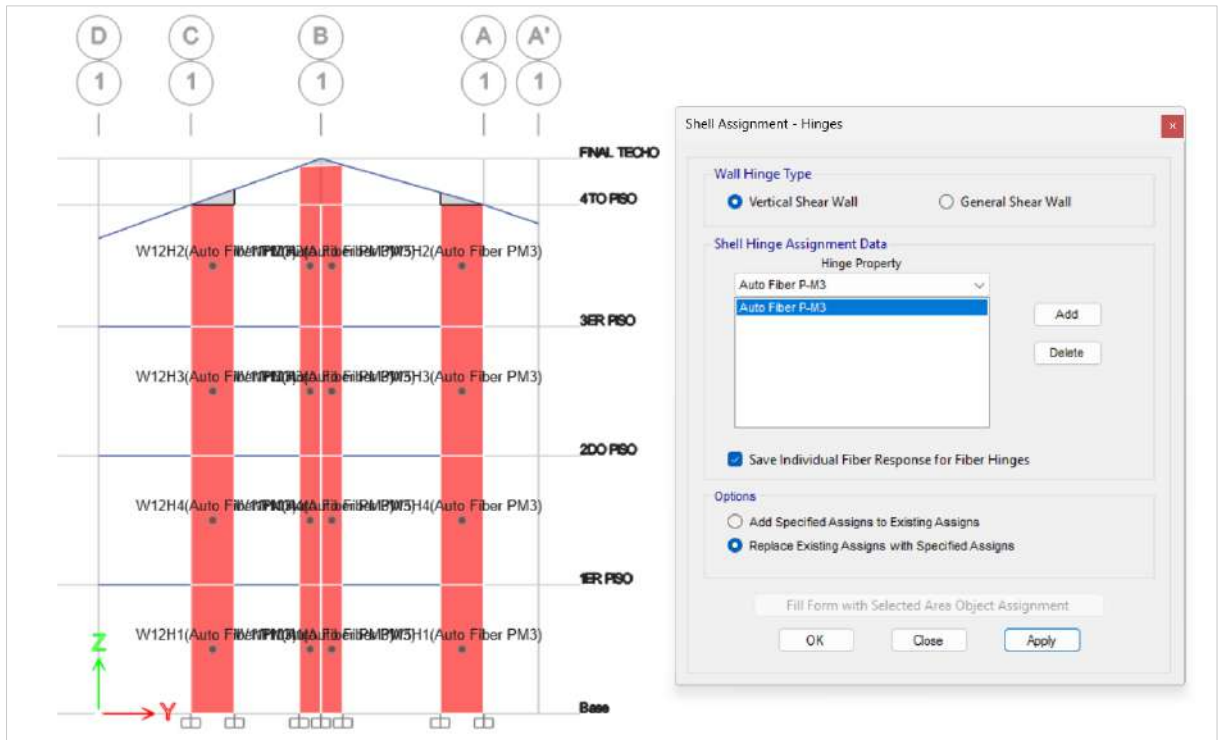
Station	Bar Size	Bar Spacing (m)	Confined
Start	5/8"	0.15	Yes
Center	5/8"	0.3	No
End	5/8"	0.15	Yes

OK Cancel

Fuente: Etabs 22.4.0.

**Figura 82**

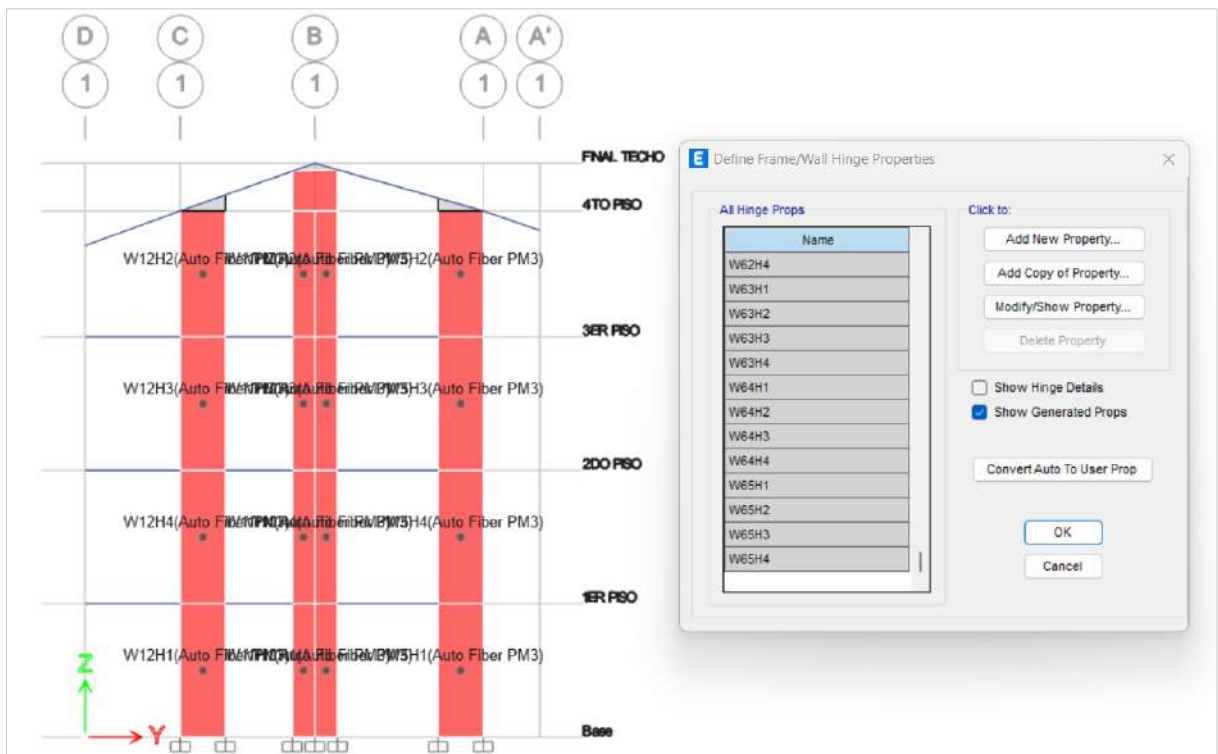
*Definición de rotulas plasticas en los muros estructurales.*



Fuente: Etabs 22.4.0.

**Figura 83**

*Indicadores para la definición de rotulas en los muros estructurales.*



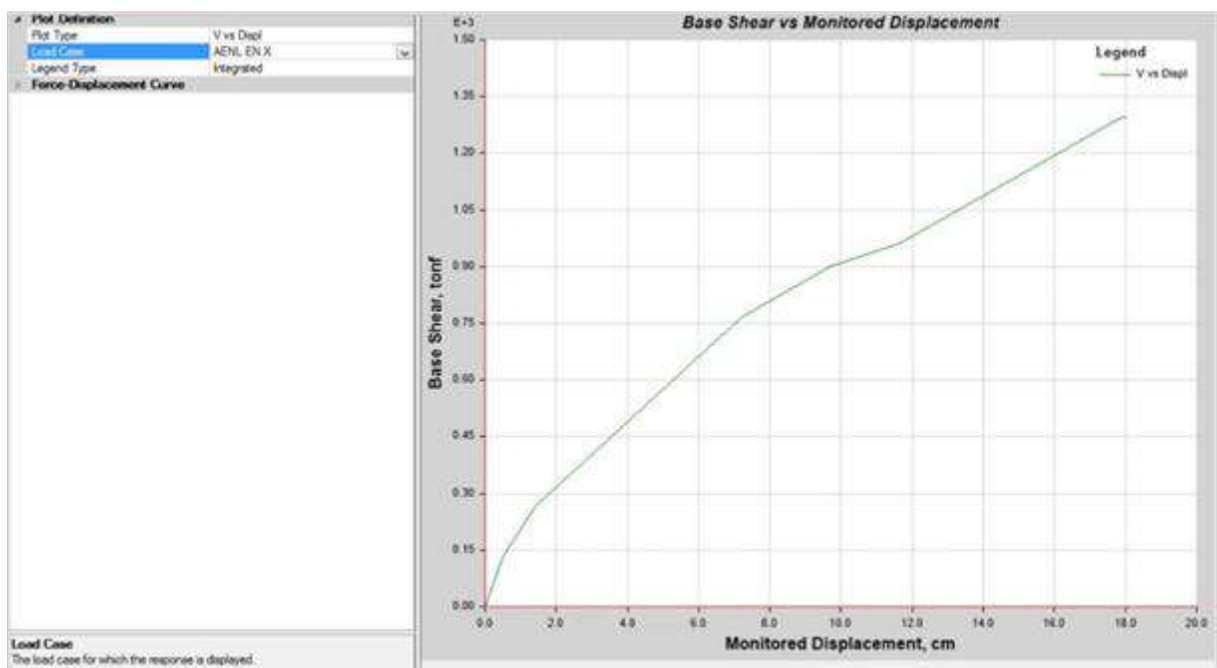
Fuente: Etabs 22.4.0.

Enseguida después de haber definido nuestros casos de carga no lineales y nuestros patrones de cargas laterales, procederemos a correr el modelo para así poder generar y ver la curva de capacidad de la edificación en los dos sentidos, lo cual está definido por los valores obtenidos de la fuerza cortante basal máxima y el desplazamiento máximo de la edificación.

Para el sentido en x, la estructura logra su máxima resistencia a una fuerza de corte en la base registrada de 1233.47 ton y alcanza un desplazamiento de 16.75 centímetros. La edificación ha alcanzado su capacidad máxima de carga, lo que constituye una condición de fallo estructural. Este comportamiento sugiere que el edificio no puede soportar cargas adicionales sin fallar. La figura correspondiente ilustra este momento crítico, mostrando la estructura alcanzando su límite de rendimiento mientras destaca el cambio entre la etapa funcional y la etapa de fallo estructural.

### Figura 84

*Representacion de la curva de capacidad en el eje X.*

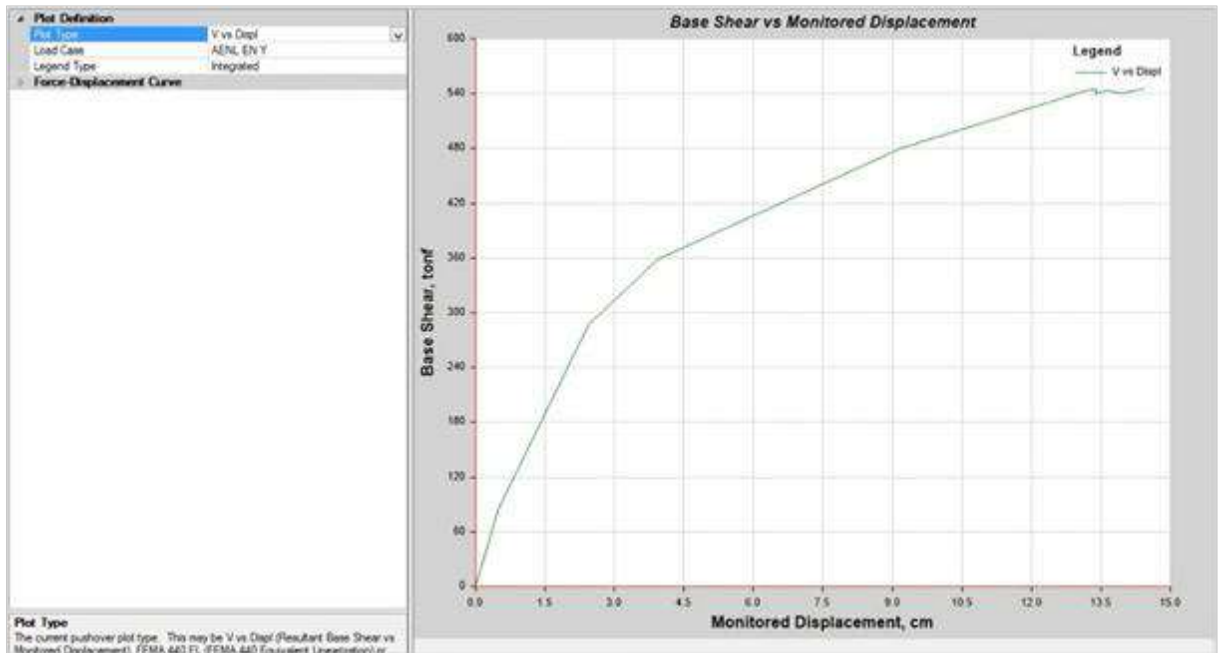


Fuente: Etabs 22.4.0.

En el eje Y, la edificación alcanza su resistencia límite al registrar una fuerza de corte en la base de 553.22 ton y un desplazamiento de 14.08 centímetros. En este estado crítico, la edificación alcanza a su resistencia máxima, evidenciando un colapso estructural. Esta respuesta se ilustra de manera clara en la figura correspondiente, en donde se observa el nivel de carga en la base y el desplazamiento producido hasta que se produce la falla.

**Figura 85**

*Representación de la curva de capacidad en el eje Y.*



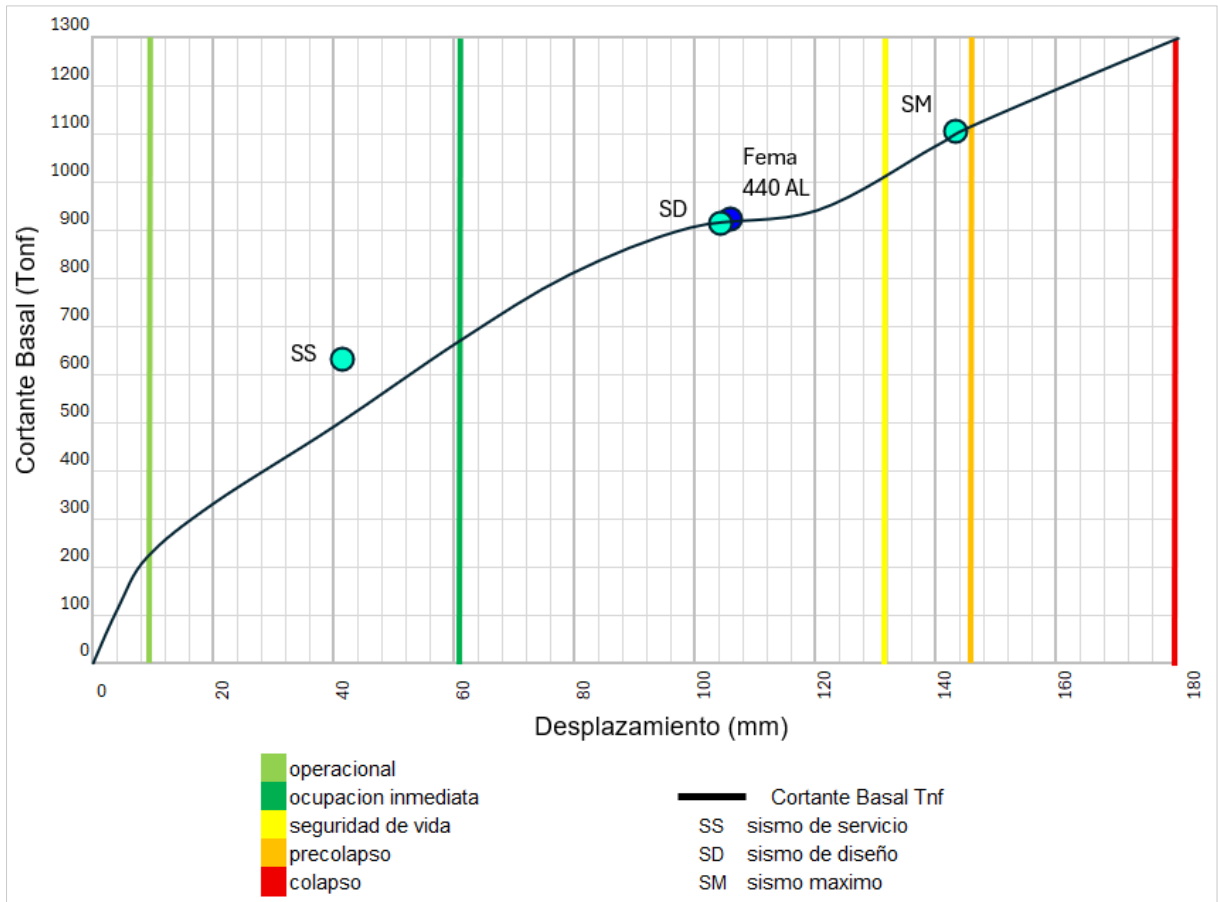
Fuente: Etabs 22.4.0.

### **Curva de capacidad para los SS, SD, SM**

La plataforma "ETABS" se utiliza para generar la curva de capacidad usando el método del Analisis No Lineal Pushover para ambas direcciones, x e y. Esta curva es crítica para analizar la capacidad de deformación y la resiliencia estructural con respecto a las cargas sísmicas aplicadas de manera incremental. Es posible evaluar la respuesta no lineal de la estructura y su comportamiento de acuerdo a los patrones de carga no lineales. Con esto, es posible analizar las deformaciones inelásticas que la estructura sufriría en relación con las demandas sísmicas impuestas, mostrando el nivel de rendimiento del sistema estructural durante un evento sísmico. La curva de capacidad sirve no solo para el análisis de la capacidad resistiva de la estructura ante cargas severas, sino también para el nivel de rendimiento del sistema con parámetros críticos como los movimientos y deformaciones para cada escenario basado en los terremotos calculados y reales que determinan la funcionalidad del edificio bajo un entorno sísmico hostil.

**Figura 86**

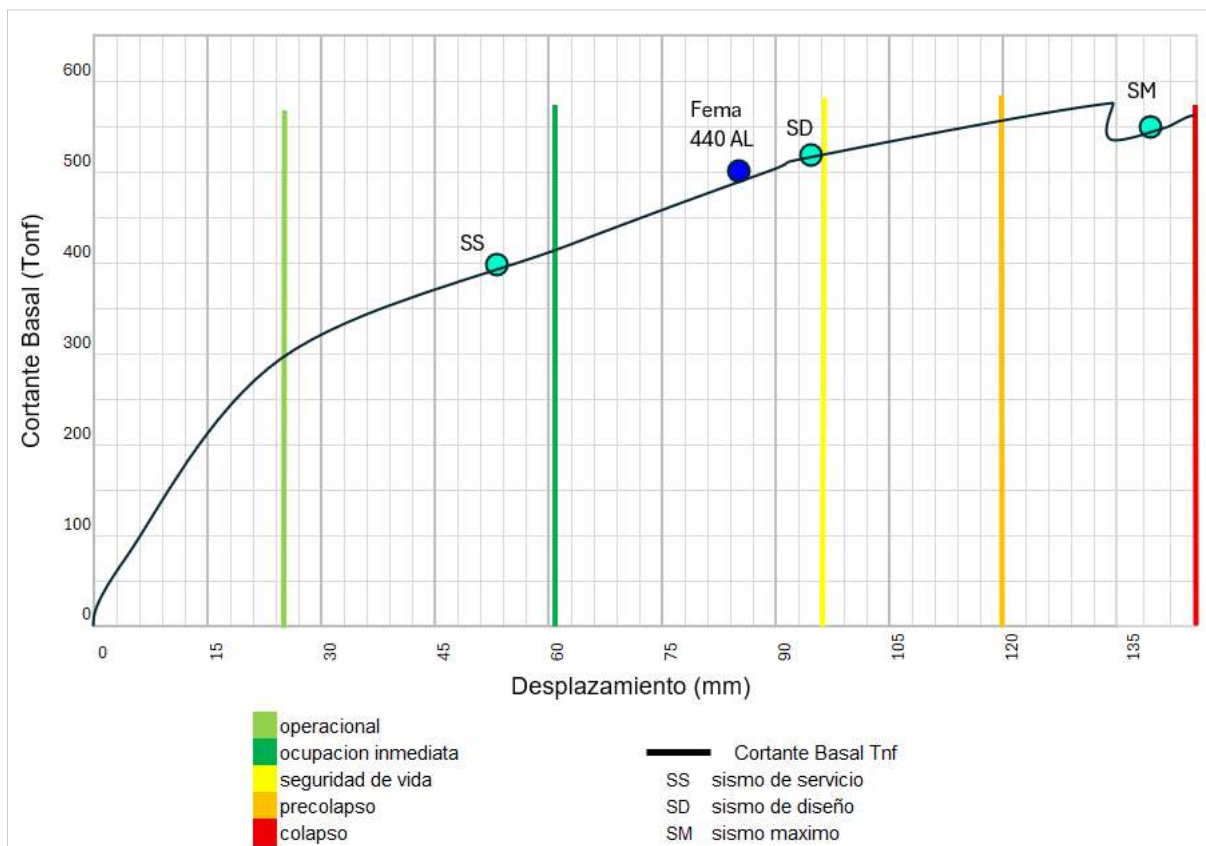
*Curva de capacidad en el eje X.*



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 87**

*Curva de capacidad en el eje Y.*



Fuente: Elaboración propia.

### Nivel de desempeño

Con respecto al desempeño estructural, la construcción en cuestión se encuentra en cumplimiento con los parámetros definidos en el ATC-40 para los estados límites de Servicio (SS) y Diseño (SD), lo que indica que, bajo condiciones sísmicas moderadas, la estructura es capaz de mantener un comportamiento aceptable sin daño significativo y en términos de su desplazamiento. Asimismo, cuando se somete a la acción sísmica máxima (SM), el comportamiento de la estructura evidencia un acercamiento a un estado de casi precolapso. Esto indica que, bajo un evento sísmico de alta complejidad, la funcionalidad de la estructura queda en jaque en gran parte. El marco de intervención requerido variaría con el daño acumulado; habría que implementar medidas de refuerzo o de reconstrucción en términos de la reactivación poblacional a la que surta dicho evento. Llevado a cabo un evento sísmico de baja a media complejidad, no se anticipan daños de consideración a nivel estructural los cuales comprometan la integridad de la estructura.

**Tabla 35***Evaluación de los niveles de desempeño sísmico según el ATC 40.*

Dirección	NIVEL DE SISMO	O	OI	SV	PC	¿cumple con el objetivo de desempeño?
X	Sismo de Servicio (SE)	-	*	-	-	si
	Sismo de Diseño (DE)	-	-	*	-	si
	Sismo Máximo (ME)	-	-	-	*	no
Y	Sismo de Servicio (SE)	-	*	-	-	si
	Sismo de Diseño (DE)	-	-	*	-	si
	Sismo Máximo (ME)	-	-	-	-	no

Fuente: Elaboración propia.

**Anexo 3. Documentos que sustentan el trámite de la obtención de la información del expediente técnico.**

"AÑO DEL BICENTENARIO, DE LA CONSOLIDACIÓN DE NUESTRA INDEPENDENCIA, Y DE LA CONMEMORACIÓN DE LAS HEROICAS BATALLAS DE JUNÍN Y AYACUCHO"

Bagua, 14 de Junio del 2024

**CARTA N° 003-2024-EJLS-B-IC**

**DE:** **ESLI JOSUE LEON SANTOS**  
Tesisista de proyecto de investigación - UNIFSLB

Recibido  
15/06/24 8:30 am  
CONSTRUCTORA Y CONSULTORA AG&G E.I.R.L.  
Ing. Tomas Ayala Sanchez  
ESTRUCTURISTA

**PARA:** **CONSTRUCTORA Y CONSULTORA AG&G E.I.R.L (RUC 206003446025)**  
**INTEGRANTE DEL CONSORCIO CONSTRUCTORES II (RUC 20605075747)**  
Empresa encargada de la ejecución del proyecto de construcción

**ASUNTO:** Solicito Información con fines de estudio (para mi proyecto de tesis) acerca del expediente técnico de la construcción del edificio académico de la UNIFSLB que se encuentran contemplados en el proyecto "CREACION DE LOS SERVICIOS DE SANEAMIENTO, ENERGIA ELECTRICA, COMUNICACIONES, SISTEMA DE INFORMACION, TRANSITABILIDAD URBANA Y SEGURIDAD, EN EL CAMPUS DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL INTERCULTURAL FABIOLA SALAZAR LEGUIA - LOCALIDAD DE TOMAQUE DISTRITO Y PROVINCIA DE BAGUA - REGION AMAZONAS"

**REFERENCIA:** RESOLUCION DE FACULTAD N° 026-2024-UNIFSLB-VPA/FI

De mi mayor consideración:

Por medio de la presente tengo el agrado de dirigirme para saludarle y a la vez presentarle la solicitud de información con fines de estudio, la cual es de interés para el desarrollo del proyecto de investigación titulado "Evaluación del desempeño sísmico del edificio académico de la Universidad Nacional Intercultural Fabiola Salazar Leguía de Bagua mediante el método PushOver", inscrito mediante resolución de Facultad N°026-2024-UNIFSLB-VPA/FI.

La información será utilizada exclusivamente con fines académicos y de investigación, respetando los lineamientos éticos y de confidencialidad establecidos por nuestra institución.

Agradezco de antemano su colaboración y quedo atento a cualquier requerimiento adicional que se necesite para este fin,

Sin otro particular, me despido cordialmente,

Atentamente,



ESLI JOSUE LEON SANTOS  
DNI: 75843113  
CODIGO UNIVERSITARIO: 1913010315

eleon@unibagua.edu.pe



**“AÑO DEL BICENTENARIO, DE LA CONSOLIDACIÓN DE NUESTRA INDEPENDENCIA, Y DE LA CONMEMORACIÓN  
DE LAS HEROICAS BATALLAS DE JUNÍN Y AYACUCHO”**

Bagua, 30 de junio del 2024

Carta 035-2024/AGYG/ADM

PARA : ESLE JOSUE LEON SANTOS

DE : CONSTRUCTORA Y CONSULTORA AG & G E.I.R.L.

ASUNTO: REMITO INFORMACION DEL EXPEDIENTE DE LA CONSTRUCCIÓN DEL EDIFICIO ACADÉMICO DE LA UNIBSLB QUE SE ENCUENTRAN CONTEMPLADOS EN EL PROYECTO “CREACION DE LOS SERVICIOS DE SANEAMIENTO, ENERGIA ELECTRICA, COMUNICACIONES, SISTEMA DE INFORMACION, TRANSITABILIDAD URBANA Y SEGURIDAD, EN EL CAMPUS DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL INTERCULTURAL FABIOLA SALAZAR LEGUIA – LOCALIDAD DE TOMAQUE DISTRITO Y PROVINCIA DE BAGUA – REGION AMAZONAS” CON CUI N° 2322202

Ref : LP-SM-1-2019-UNIFSL-B/CS-1  
CARTA N° 003-2024-EJLS-B-IC

**Presente. -**

Tengo el agrado de dirigirme a usted para expresarle mi cordial saludo y, a su vez, hacerle la entrega de información correspondiente al expediente técnico de ejecución del proyecto denominado “**CREACION DE LOS SERVICIOS DE SANEAMIENTO, ENERGIA ELECTRICA, COMUNICACIONES, SISTEMA DE INFORMACION, TRANSITABILIDAD URBANA Y SEGURIDAD, EN EL CAMPUS DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL INTERCULTURAL FABIOLA SALAZAR LEGUIA – LOCALIDAD DE TOMAQUE DISTRITO Y PROVINCIA DE BAGUA – REGION AMAZONAS**”. Con código CUI N° 2322202

Remitiendo la información para los fines estrictamente académicos solicitados, sin otro particular me despido

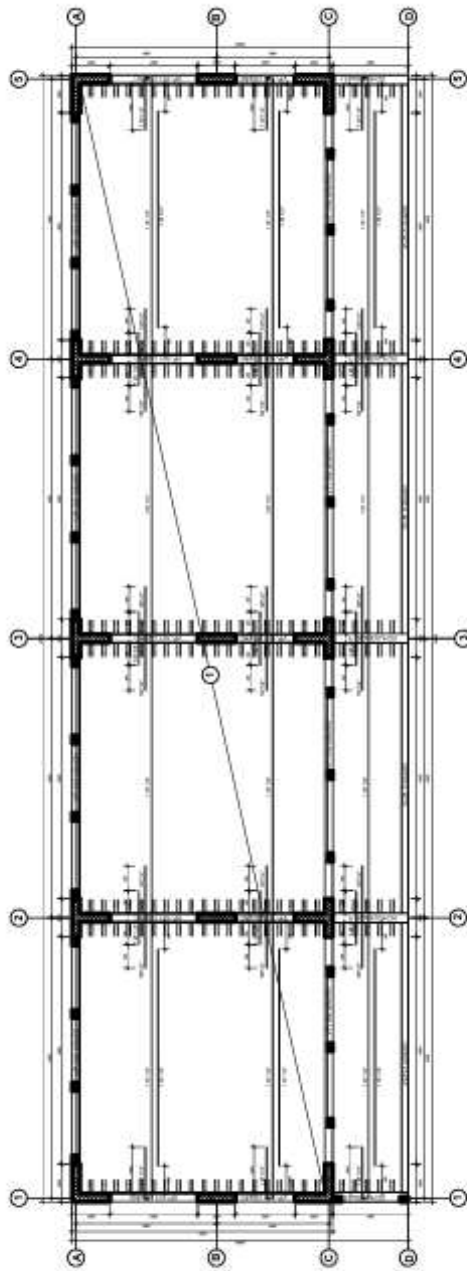
Adjunto:

- 01 CD.

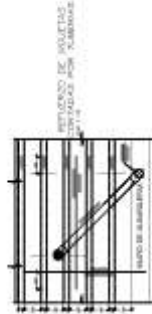
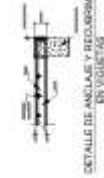
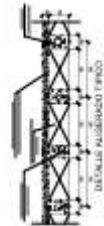
Atentamente

CONSTRUCTORA Y CONSULTORA AG & G E.I.R.L.  
  
Rolindo Tomas Aylas Sancho  
GERENTE

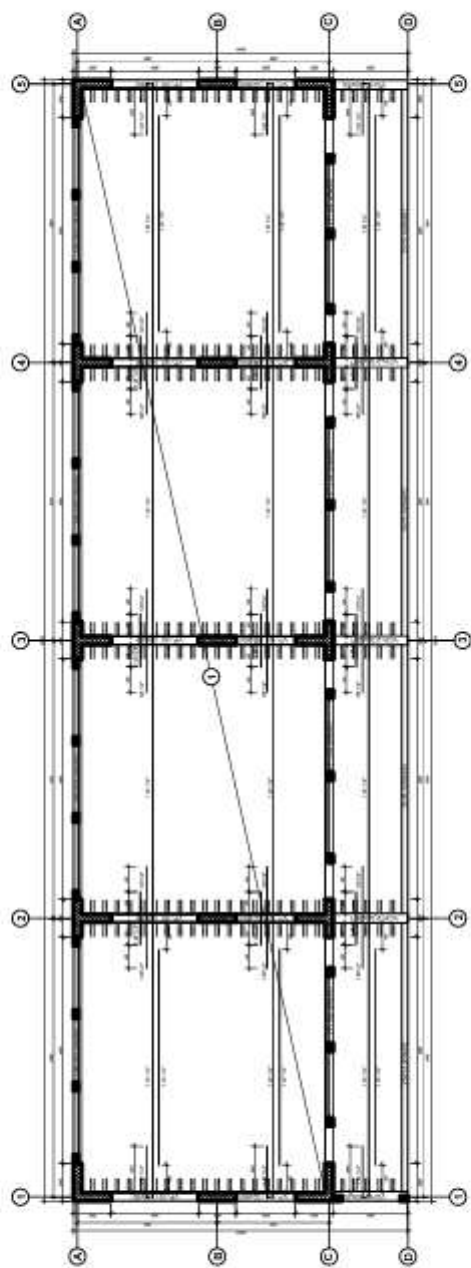




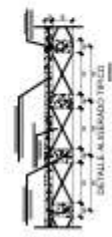
Aligerado 1x1/2/3/4  
 50 = 200 kg/m<sup>3</sup> (hacha)  
 50 = 400 kg/m<sup>3</sup> (barras)



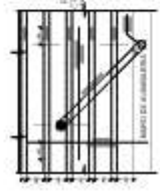
**PLANTA DE ALIGERADO 1° Y 2° NIVEL**



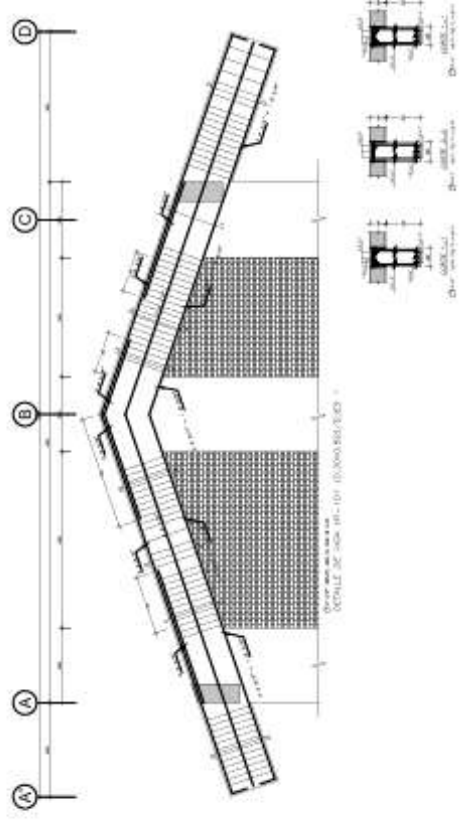
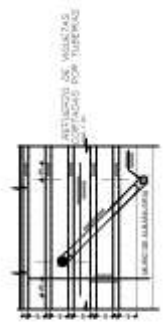
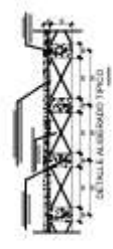
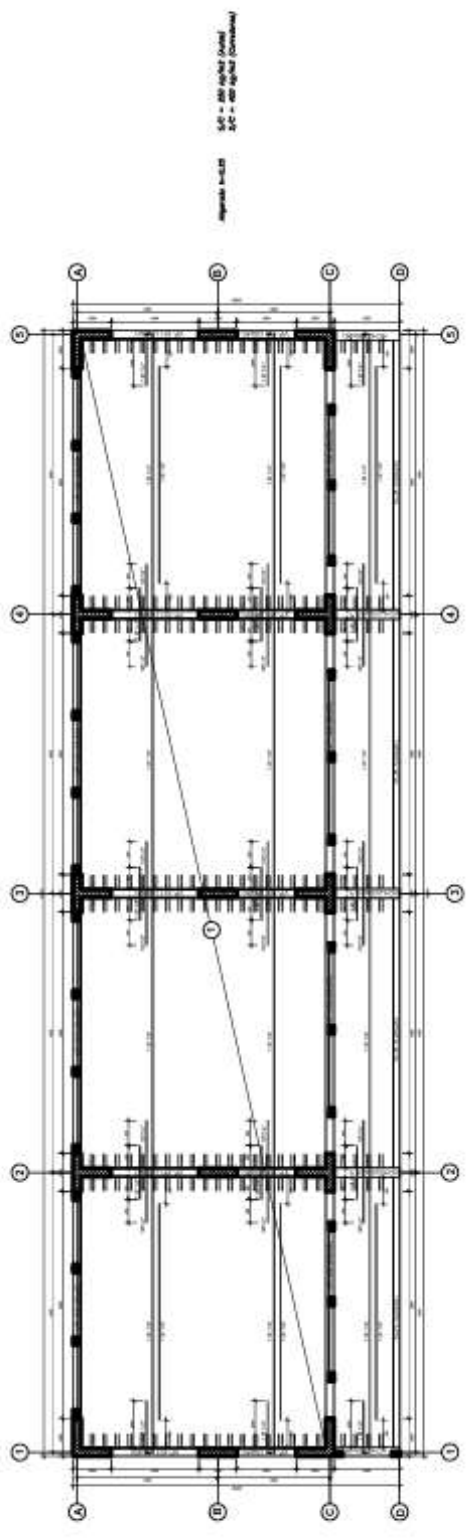
Aligerado 3<sup>er</sup> Nivel  
 5.00 = 20' 0" (6.10m)  
 5.00 = 20' 0" (6.10m)



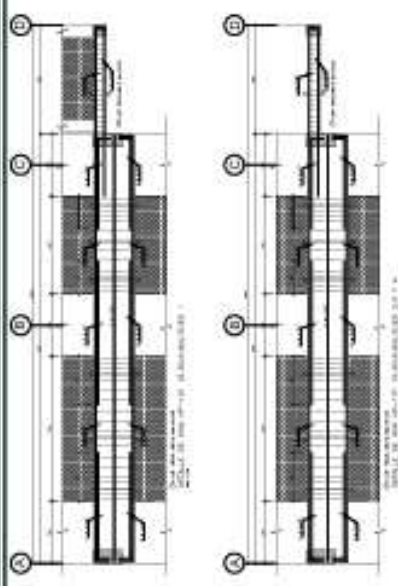
DETALLE DE ANCLAJE Y RECUBRIMIENTO  
 DE BARRAS DE ACERO  
 EN COLUMNAS



**PLANTA DE ALIGERADO 3° NIVEL**

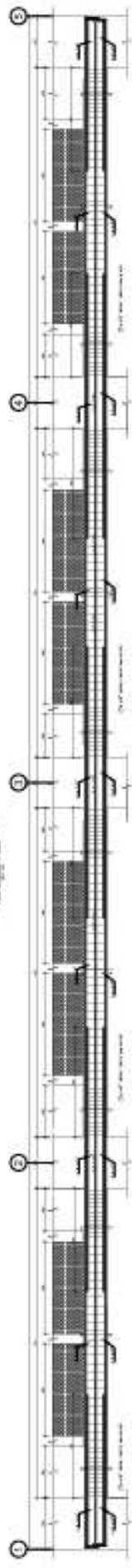
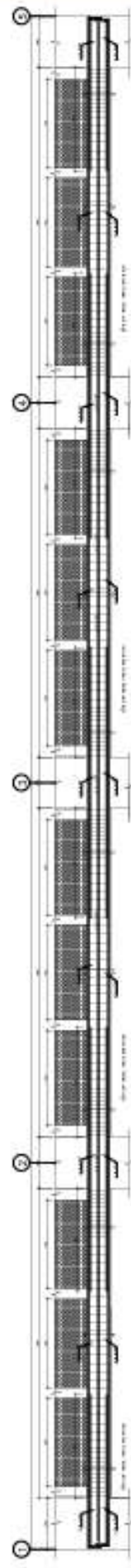
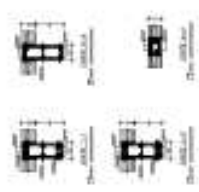
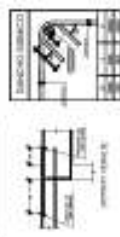
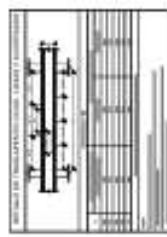


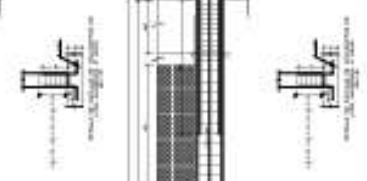
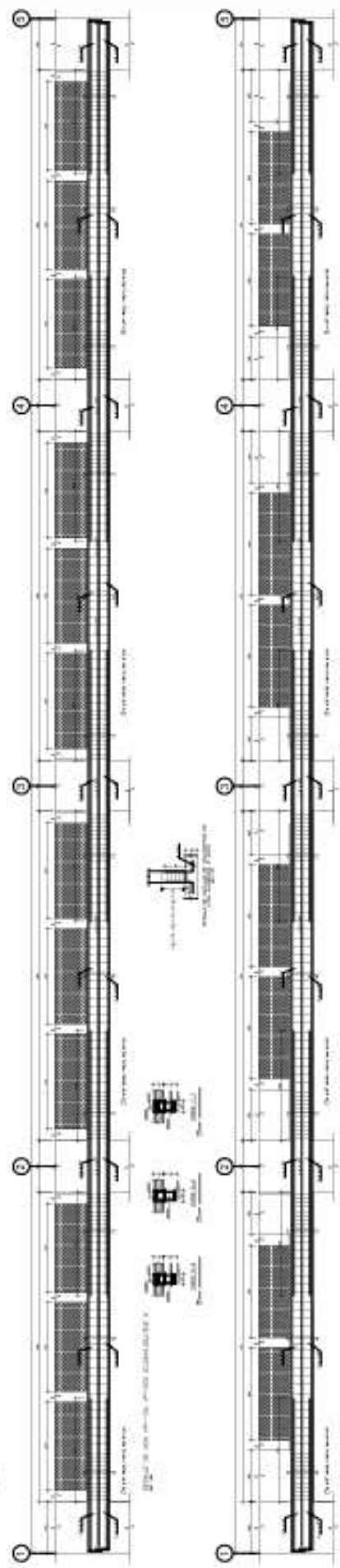
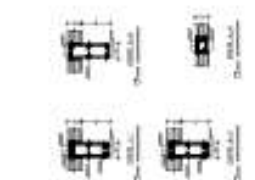
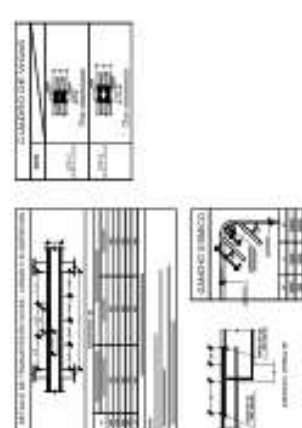
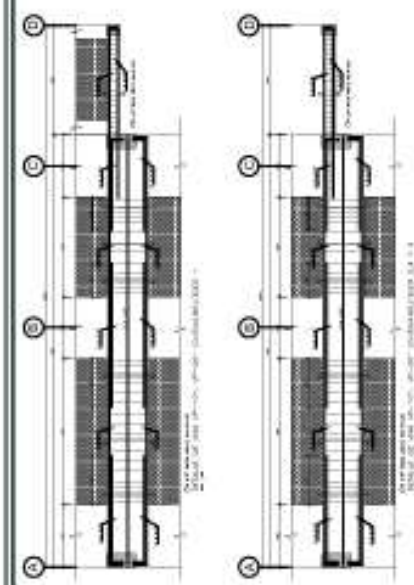
### PLANTA DE ALGERADO 4° NIVEL



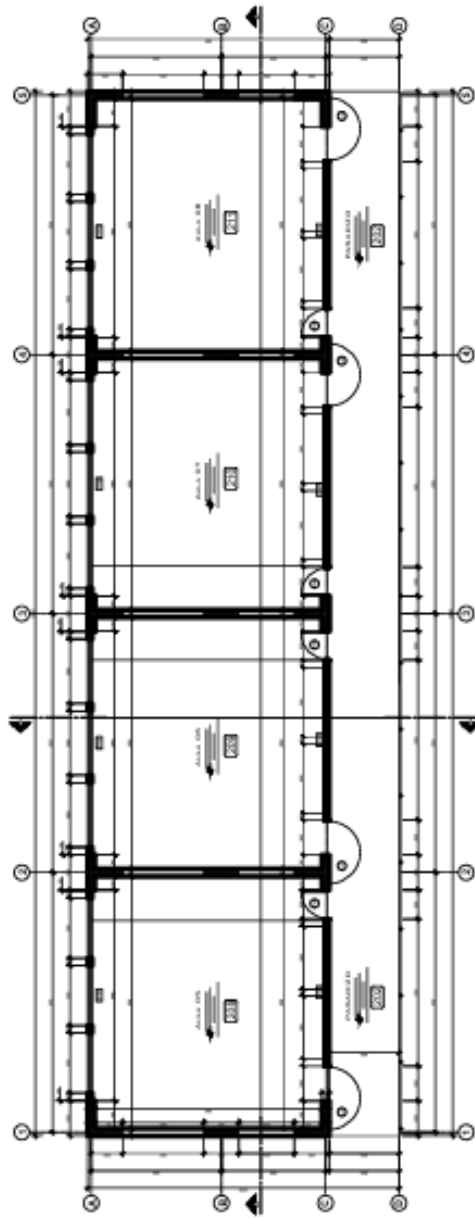
CONDICIONES DE BARRAS

CONDICION	TIPO DE BARRA	DIAMETRO	ESPESOR DE LA CAPA DE PROTECCION
1	AS	10	20
2	AS	10	20
3	AS	10	20
4	AS	10	20
5	AS	10	20
6	AS	10	20







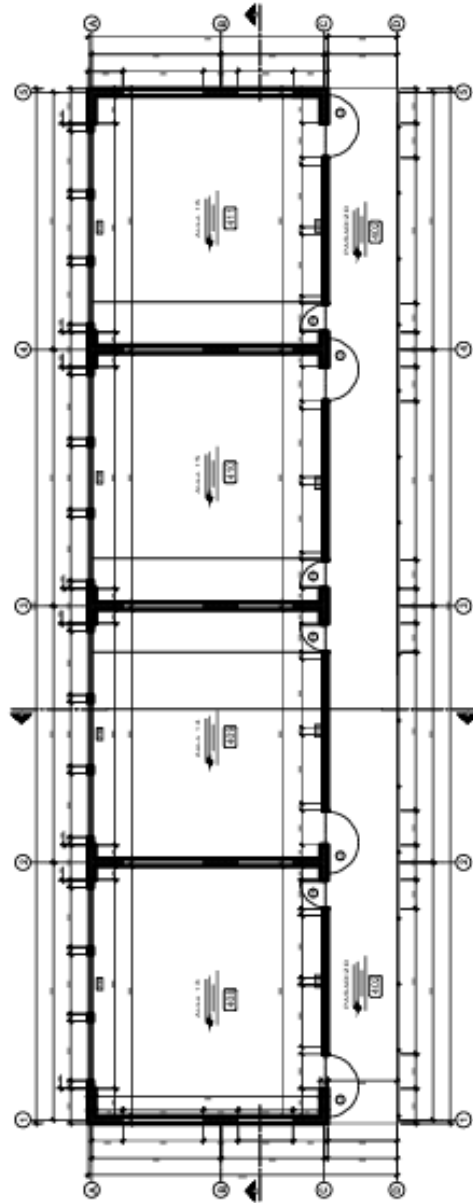


**SEGUNDO NIVEL - EDIFICIO ACADÉMICO**

INDICADOR	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	VALOR	VALOR OBJETIVO	VALOR REAL	VALOR RELATIVO
INDICADORES DE CALIDAD DE VIVIENDA	Área construida	m <sup>2</sup>	1000	1000	1000	100%
	Área cubierta	m <sup>2</sup>	1000	1000	1000	100%
	Área libre	m <sup>2</sup>	1000	1000	1000	100%
	Área total	m <sup>2</sup>	1000	1000	1000	100%
	Área útil	m <sup>2</sup>	1000	1000	1000	100%
	Área de circulación	m <sup>2</sup>	1000	1000	1000	100%
	Área de estacionamiento	m <sup>2</sup>	1000	1000	1000	100%
	Área de almacenamiento	m <sup>2</sup>	1000	1000	1000	100%
	Área de servicios	m <sup>2</sup>	1000	1000	1000	100%
	Área de mantenimiento	m <sup>2</sup>	1000	1000	1000	100%

INDICADOR	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	VALOR	VALOR OBJETIVO	VALOR REAL	VALOR RELATIVO
INDICADORES DE CALIDAD DE VIVIENDA	Área construida	m <sup>2</sup>	1000	1000	1000	100%
	Área cubierta	m <sup>2</sup>	1000	1000	1000	100%
	Área libre	m <sup>2</sup>	1000	1000	1000	100%
	Área total	m <sup>2</sup>	1000	1000	1000	100%
	Área útil	m <sup>2</sup>	1000	1000	1000	100%
	Área de circulación	m <sup>2</sup>	1000	1000	1000	100%
	Área de estacionamiento	m <sup>2</sup>	1000	1000	1000	100%
	Área de almacenamiento	m <sup>2</sup>	1000	1000	1000	100%
	Área de servicios	m <sup>2</sup>	1000	1000	1000	100%
	Área de mantenimiento	m <sup>2</sup>	1000	1000	1000	100%

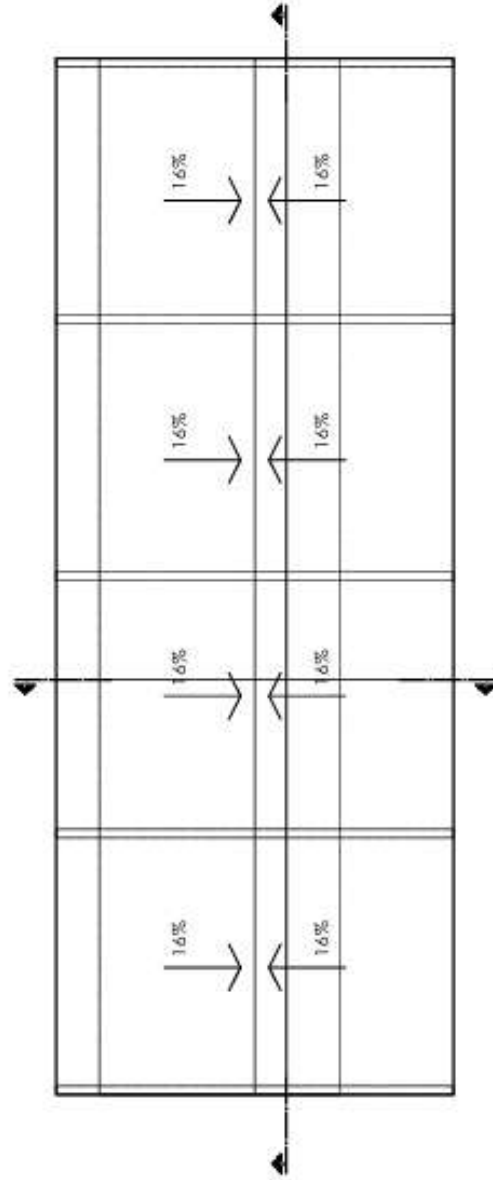




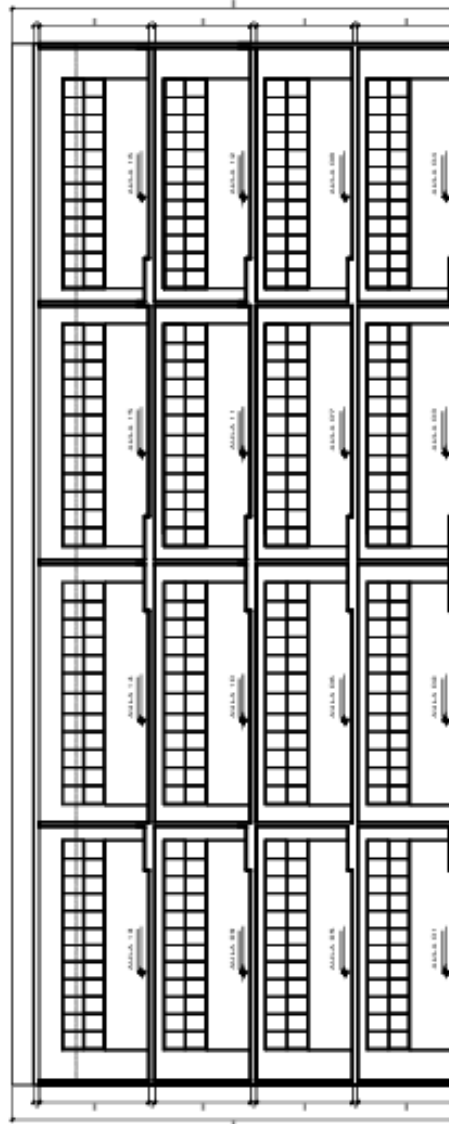
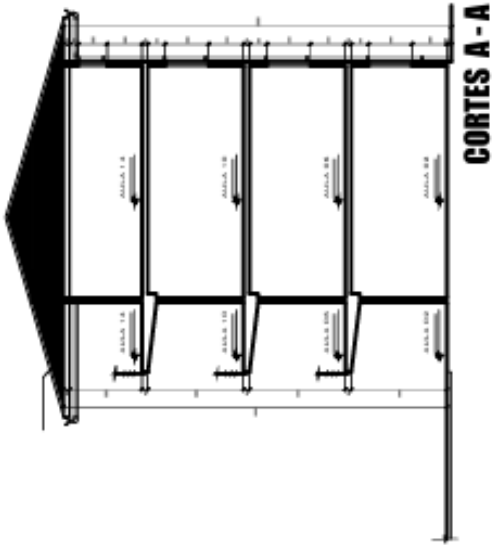
**CUARTO NIVEL - EDIFICIO ACADÉMICO**

ÁREA	AREA	AREA	AREA
ÁREA 1.0	ÁREA 2.0	ÁREA 3.0	ÁREA 4.0
100.00	100.00	100.00	100.00

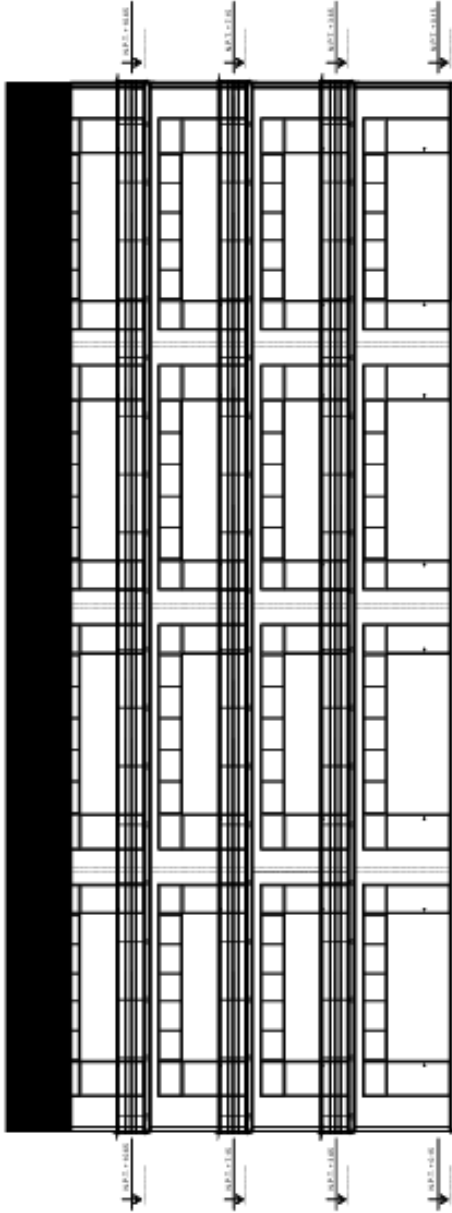
INDICADOR	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	VALOR
1	ÁREA CONSTRUIDA	m <sup>2</sup>	400.00
2	ÁREA ÚTIL	m <sup>2</sup>	300.00
3	ÁREA DE PASADIZOS	m <sup>2</sup>	100.00
4	ÁREA DE SERVIDORES	m <sup>2</sup>	100.00
5	ÁREA DE ESTACIONAMIENTO	m <sup>2</sup>	100.00
6	ÁREA DE ALMACÉN	m <sup>2</sup>	100.00
7	ÁREA DE OFICINA	m <sup>2</sup>	100.00
8	ÁREA DE LABORATORIO	m <sup>2</sup>	100.00
9	ÁREA DE SALA DE CLASES	m <sup>2</sup>	100.00
10	ÁREA DE BIBLIOTECA	m <sup>2</sup>	100.00
11	ÁREA DE REPOSICIÓN	m <sup>2</sup>	100.00
12	ÁREA DE SERVIDORES	m <sup>2</sup>	100.00
13	ÁREA DE ESTACIONAMIENTO	m <sup>2</sup>	100.00
14	ÁREA DE ALMACÉN	m <sup>2</sup>	100.00
15	ÁREA DE OFICINA	m <sup>2</sup>	100.00
16	ÁREA DE LABORATORIO	m <sup>2</sup>	100.00
17	ÁREA DE SALA DE CLASES	m <sup>2</sup>	100.00
18	ÁREA DE BIBLIOTECA	m <sup>2</sup>	100.00
19	ÁREA DE REPOSICIÓN	m <sup>2</sup>	100.00
20	ÁREA DE SERVIDORES	m <sup>2</sup>	100.00
21	ÁREA DE ESTACIONAMIENTO	m <sup>2</sup>	100.00
22	ÁREA DE ALMACÉN	m <sup>2</sup>	100.00
23	ÁREA DE OFICINA	m <sup>2</sup>	100.00
24	ÁREA DE LABORATORIO	m <sup>2</sup>	100.00
25	ÁREA DE SALA DE CLASES	m <sup>2</sup>	100.00
26	ÁREA DE BIBLIOTECA	m <sup>2</sup>	100.00
27	ÁREA DE REPOSICIÓN	m <sup>2</sup>	100.00
28	ÁREA DE SERVIDORES	m <sup>2</sup>	100.00
29	ÁREA DE ESTACIONAMIENTO	m <sup>2</sup>	100.00
30	ÁREA DE ALMACÉN	m <sup>2</sup>	100.00
31	ÁREA DE OFICINA	m <sup>2</sup>	100.00
32	ÁREA DE LABORATORIO	m <sup>2</sup>	100.00
33	ÁREA DE SALA DE CLASES	m <sup>2</sup>	100.00
34	ÁREA DE BIBLIOTECA	m <sup>2</sup>	100.00
35	ÁREA DE REPOSICIÓN	m <sup>2</sup>	100.00
36	ÁREA DE SERVIDORES	m <sup>2</sup>	100.00
37	ÁREA DE ESTACIONAMIENTO	m <sup>2</sup>	100.00
38	ÁREA DE ALMACÉN	m <sup>2</sup>	100.00
39	ÁREA DE OFICINA	m <sup>2</sup>	100.00
40	ÁREA DE LABORATORIO	m <sup>2</sup>	100.00
41	ÁREA DE SALA DE CLASES	m <sup>2</sup>	100.00
42	ÁREA DE BIBLIOTECA	m <sup>2</sup>	100.00
43	ÁREA DE REPOSICIÓN	m <sup>2</sup>	100.00
44	ÁREA DE SERVIDORES	m <sup>2</sup>	100.00
45	ÁREA DE ESTACIONAMIENTO	m <sup>2</sup>	100.00
46	ÁREA DE ALMACÉN	m <sup>2</sup>	100.00
47	ÁREA DE OFICINA	m <sup>2</sup>	100.00
48	ÁREA DE LABORATORIO	m <sup>2</sup>	100.00
49	ÁREA DE SALA DE CLASES	m <sup>2</sup>	100.00
50	ÁREA DE BIBLIOTECA	m <sup>2</sup>	100.00



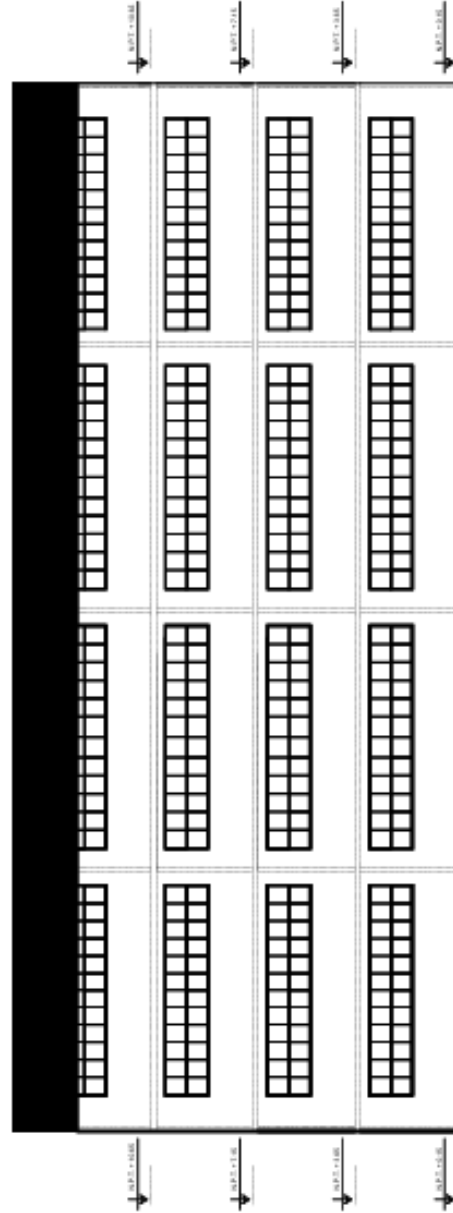
**PLANTA TECHO - EDIFICIO ACADÉMICO**



**CORTES B - B**



**ELEVACION FRONTAL**



**ELEVACION POSTERIOR**

# Esli Leon Santos

## Evaluación del desempeño sísmico del edificio académico

 Quick Submit

 Quick Submit

 Universidad Nacional Intercultural Fabiola Salazar Leguía de Bagua

---

### Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::1:3373661201

Fecha de entrega

14 oct 2025, 11:09 p.m. GMT-5

Fecha de descarga

14 oct 2025, 11:18 p.m. GMT-5

Nombre del archivo

Leon\_SEJ\_4.docx

Tamaño del archivo

28.3 MB

153 páginas

27.217 palabras

152.868 caracteres




# 23% Similitud general

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

## Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía

## Fuentes principales

- 22%  Fuentes de Internet
- 3%  Publicaciones
- 9%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

## Marcas de integridad

### N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

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.

## Fuentes principales

- 22% Fuentes de Internet
- 3% Publicaciones
- 9% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

## Fuentes principales

Las fuentes con el mayor número de coincidencias dentro de la entrega. Las fuentes superpuestas no se mostrarán.

<b>1</b>	Internet	
hdl.handle.net		7%
<b>2</b>	Internet	
repositorio.unjbg.edu.pe		1%
<b>3</b>	Trabajos del estudiante	
Universidad Nacional Autonoma de Chota		<1%
<b>4</b>	Internet	
repositorio.une.edu.pe		<1%
<b>5</b>	Internet	
repositorio.unj.edu.pe		<1%
<b>6</b>	Internet	
repositorioacademico.upc.edu.pe		<1%
<b>7</b>	Internet	
www.postgrados.cunoc.edu.gt		<1%
<b>8</b>	Internet	
repositorio.ucv.edu.pe		<1%
<b>9</b>	Internet	
repositorio.unc.edu.pe		<1%
<b>10</b>	Internet	
www.unibagua.edu.pe		<1%
<b>11</b>	Internet	
repositorio.upt.edu.pe		<1%

12	Internet	repositorio.utea.edu.pe	<1%
13	Internet	repositorio.urp.edu.pe	<1%
14	Trabajos del estudiante	Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga	<1%
15	Internet	suryabinayakmun.gov.np	<1%
16	Internet	repositorio.upn.edu.pe	<1%
17	Trabajos del estudiante	Universidad Cesar Vallejo	<1%
18	Internet	repositorio.udh.edu.pe	<1%
19	Internet	repositorio.unfv.edu.pe	<1%
20	Internet	vsip.info	<1%
21	Internet	repositorio.ucp.edu.pe	<1%
22	Trabajos del estudiante	Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez	<1%
23	Trabajos del estudiante	uncedu	<1%
24	Internet	repositorio.ug.edu.ec	<1%
25	Internet	repositorio.upse.edu.ec	<1%

26	Internet	alicia.concytec.gob.pe	<1%
27	Internet	repositorio.uisek.edu.ec	<1%
28	Internet	www.revistadelaconstruccion.uc.cl	<1%
29	Trabajos del estudiante	Universidad Internacional SEK	<1%
30	Internet	repositorio.upla.edu.pe	<1%
31	Internet	qdoc.tips	<1%
32	Trabajos del estudiante	Universidad Rey Juan Carlos	<1%
33	Internet	bibdigital.epn.edu.ec	<1%
34	Trabajos del estudiante	Universidad Nacional de Educacion Enrique Guzman y Valle	<1%
35	Internet	1library.co	<1%
36	Internet	repositorio.ucsm.edu.pe	<1%
37	Internet	tesis.unsm.edu.pe	<1%
38	Internet	www.coursehero.com	<1%
39	Internet	dominiodelasciencias.com	<1%

40	Internet	repositorio.unprg.edu.pe	<1%
41	Trabajos del estudiante	Universidad Católica San Pablo	<1%
42	Internet	repositorio.uns.edu.pe	<1%
43	Internet	zaloamati.azc.uam.mx	<1%
44	Trabajos del estudiante	Instituto de Educación Superior Tecnológico Privado de la Construcción CAPECO S...	<1%
45	Trabajos del estudiante	Universidad Católica De Cuenca	<1%
46	Internet	www.dspace.uce.edu.ec	<1%
47	Internet	repositorio.uwiener.edu.pe	<1%
48	Internet	www.researchgate.net	<1%
49	Internet	core.ac.uk	<1%
50	Internet	repositorio.uandina.edu.pe	<1%
51	Internet	repositorio.upao.edu.pe	<1%
52	Internet	unibagua.edu.pe	<1%
53	Trabajos del estudiante	Universidad de La Laguna	<1%

54	Internet	tesis.ucsm.edu.pe	<1%
55	Internet	www.monstersjournal.net	<1%
56	Trabajos del estudiante	Pontificia Universidad Catolica del Peru	<1%
57	Trabajos del estudiante	Universidad Da Vinci de Guatemala	<1%
58	Internet	repositorio.continental.edu.pe	<1%
59	Internet	repositorio.unu.edu.pe	<1%
60	Internet	repositorio.uta.edu.ec	<1%
61	Trabajos del estudiante	Universidad Tecnologica del Peru	<1%
62	Trabajos del estudiante	Universidad Técnica de Machala	<1%
63	Internet	repositorio.unesum.edu.ec	<1%
64	Trabajos del estudiante	Universidad Andina del Cusco	<1%
65	Trabajos del estudiante	Universidad Católica de Santa María	<1%
66	Internet	repositorio.uladech.edu.pe	<1%
67	Internet	repository.unimilitar.edu.co	<1%

68	Internet	idoc.pub	<1%
69	Internet	repositorio.uigv.edu.pe	<1%
70	Internet	dspace.uazuay.edu.ec	<1%
71	Internet	store.atcouncil.org	<1%
72	Trabajos del estudiante	uni	<1%
73	Internet	upc.aws.openrepository.com	<1%
74	Internet	www.nursinghero.com	<1%
75	Internet	www.scribd.com	<1%
76	Internet	docplayer.es	<1%
77	Internet	repositorio.unan.edu.ni	<1%
78	Internet	bibliotecadigital.udea.edu.co	<1%
79	Internet	profonanpe.org.pe	<1%
80	Internet	repositorio.uct.edu.pe	<1%
81	Internet	repositorio.unheval.edu.pe	<1%

82	Trabajos del estudiante	Universidad San Ignacio de Loyola	<1%
83	Internet	es.slideshare.net	<1%
84	Internet	pemex.com	<1%
85	Internet	pesquisa.bvsalud.org	<1%
86	Internet	pt.scribd.com	<1%
87	Internet	repositorio.unasam.edu.pe	<1%
88	Internet	tesis.usat.edu.pe	<1%
89	Publicación	"Análisis no lineal de edificios de muros de hormigón armado mediante beam-tru...	<1%
90	Internet	carrerasuniversitarias.pe	<1%
91	Internet	ciencia.lasalle.edu.co	<1%
92	Internet	docs.google.com	<1%
93	Internet	dspace.ups.edu.ec	<1%
94	Internet	fondoeditorial.unat.edu.pe	<1%
95	Internet	orbi.uliege.be	<1%

96	Internet	pirhua.udep.edu.pe	<1%
97	Internet	repositorio.espe.edu.ec	<1%
98	Internet	repositorio.ucss.edu.pe	<1%
99	Internet	repositorio.ufmg.br	<1%
100	Internet	repositorio.unsaac.edu.pe	<1%
101	Internet	repositorio.upecen.edu.pe	<1%
102	Internet	tesis.pucp.edu.pe	<1%
103	Publicación	José Miguel Molines Cano. "LA REAL PARROQUIA DE LOS SANTOS JUANES: ANÁLIS...	<1%