

**UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**TESIS**

**“EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO SÍSMICO DEL MÓDULO “J”  
DE LA I.E. GUILLERMO AUZA ARCE MEDIANTE EL ANÁLISIS  
ESTÁTICO NO LINEAL PUSHOVER, TACNA – 2025”**

**PARA OPTAR:**

**TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL**

**PRESENTADO POR:**

**Bach. ANTHONY MARCO REYNOSO CENTENO**

**Bach. OSCAR CÁCERES MAMANI**

**TACNA – PERÚ**

**2025**

**UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

**TESIS**

**“EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO SÍSMICO DEL MÓDULO “J”  
DE LA I.E. GUILLERMO AUZA ARCE MEDIANTE EL ANÁLISIS  
ESTÁTICO NO LINEAL PUSHOVER, TACNA – 2025”**

Tesis sustentada y aprobada el 20 de diciembre del 2025; estando el jurado calificador integrado por:

**PRESIDENTE : Mtra. DINA MARLENE COTRADO FLORES**

**SECRETARIO : Mag. FREDY RICHARD CODORI GOMEZ**

**VOCAL : Mtro. EDGAR HIPOLITO CHAPARRO QUISPE**

**ASESOR : Mtro. GIANCARLOS JAVIER MACHACA FRIAS**

## DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD

Nosotros, Oscar Cáceres Mamani y Anthony Marco Reynoso Centeno, egresados, de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Privada de Tacna, identificados con DNI 73750844 y 72756708 respectivamente, así como Giancarlo Javier Machaca Frías con DNI 70017976; declaramos en calidad de autores y asesor que:

1. Somos los autores de la tesis titulado: *“Evaluación Del Desempeño Sísmico Del Módulo “J” De La I.E. Guillermo Auza Arce Mediante El Análisis Estático No Lineal Pushover, Tacna – 2025”*, la cual presentamos para optar el *Título Profesional de Ingeniería Civil*.
2. La tesis es completamente original y no ha sido objeto de plagio, total ni parcialmente, habiéndose respetado rigurosamente las normas de citación y referencias para todas las fuentes consultadas.
3. Los datos presentados en los resultados son auténticos y no han sido objeto de manipulación, duplicación ni copia.

En virtud de lo expuesto, asumimos frente a *La Universidad* toda responsabilidad que pudiera derivarse de la autoría, originalidad y veracidad del contenido de la tesis, así como por los derechos asociados a la obra.

En consecuencia, nos comprometemos ante a *La Universidad* y terceros a asumir cualquier perjuicio que pueda surgir como resultado del incumplimiento de lo aquí declarado, o que pudiera ser atribuido al contenido de la Tesis, incluyendo cualquier obligación económica que debiera ser satisfecha a favor de terceros debido a acciones legales, reclamos o disputas resultantes del incumplimiento de esta declaración.

En caso de descubrirse fraude, piratería, plagio, falsificación o la existencia de una publicación previa de la obra, aceptamos todas las consecuencias y sanciones que puedan derivarse de nuestras acciones, acatando plenamente la normatividad vigente.

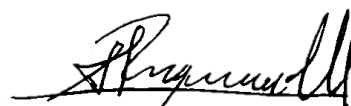


Oscar Cáceres Mamani  
DNI: 73750844



Giancarlo Javier Machaca Frías  
DNI: 70017976

Tacna, 20 de diciembre de 2025



Anthony Marco Reynoso Centeno  
DNI: 72756708

## DEDICATORIA

Esta tesis va dedicada a mi familia, por ser el pilar fundamental en cada etapa de mi vida. A mi madre, Cristina Mamani Loma, por su amor incondicional y por enseñarme el valor del esfuerzo, la constancia y la honestidad. A mi padre, Esteban Cáceres Chambi, por su apoyo y comprensión inquebrantables. A mi abuelo, Pedro Pascual Cáceres López, quien partió al cielo durante el tiempo en que realizábamos esta tesis, pero cuyo recuerdo y ejemplo me inspiran cada día. Y a mi fiel compañero, mi perrito Maycol, por acompañarme en tantas noches de desvelo.

Oscar Cáceres Mamani

Esta investigación va dedicada a mi familia; a mis padres, Marco Reynoso y Janeth Centeno pilares fundamentales en mi vida que, con su amor incondicional y sacrificios silenciosos, depositaron su confianza en mí y me acompañaron en todo este proceso. A mi hermano Álvaro Reynoso, por darme esa alegría que me inspira a seguir adelante, aun en los momentos difíciles. A mi abuelita Esther por haber estado siempre presente, acompañándome y alentándome desde el inicio, sé que estaría mi orgullosa y contenta al ver que todos sus consejos y atenciones me ayudaron a crecer. A mis docentes y amigos, por compartir su conocimiento con generosidad y exigirme siempre lo mejor. Gracias por enseñarme que la ingeniería no solo construye estructuras, sino también esperanza.

Anthony Marco Reynoso Centeno

## AGRADECIMIENTO

Agradezco profundamente a todas las personas e instituciones que contribuyeron al desarrollo de esta tesis. Mi reconocimiento especial a mi asesor, Ing. Mtro. Giancarlo Javier Machaca Frías, cuyo compromiso y orientación fueron esenciales para el adecuado desarrollo de esta investigación. A los docentes de la universidad, gracias por su formación constante y por el conocimiento compartido. A mis compañeros, con quienes compartí aprendizajes, y a cada uno que aportó con sus ideas y colaboración, les expreso también mi sincero agradecimiento. A mis padres, que en todo momento me brindaron su apoyo, y finalmente a mi familia, por ser mi mayor fuente de fuerza. Gracias por su amor, sacrificio y apoyo permanente. Cada logro alcanzado es reflejo de todo lo que han hecho por mí.

Oscar Cáceres Mamani

Agradezco profundamente a Dios, por darme vida y salud, perseverancia, sabiduría, paciencia y fortaleza para culminar esta etapa académica, aun en los momentos más difíciles, él siempre me acompañó a recorrer este camino a mi lado. A mis padres, por ser mi mayor fuente de inspiración. Gracias por su esfuerzo incansable, por enseñarme el valor del trabajo honesto y por acompañarme, en cada paso de este camino, sin ustedes, este logro no habría sido posible. A mis compañeros de carrera, por las horas compartidas entre planos, cálculos y cafés. Gracias por la camaradería, las ideas y el aliento mutuo. Finalmente, agradezco a todos aquellos que, de manera directa o indirecta, contribuyeron a este trabajo. Cada gesto, cada palabra de aliento y cada crítica constructiva han dejado huella en este camino.

Anthony Marco Reynoso Centeno

## ÍNDICE GENERAL

PÁGINA DE JURADOS.....	ii
DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD .....	iii
DEDICATORIA .....	iv
AGRADECIMIENTO .....	v
ÍNDICE DE TABLAS .....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xii
RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT.....	xv
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I: EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN .....	2
1.1. Descripción del problema .....	2
1.2. Formulación del problema .....	4
1.3. Justificación e Importancia .....	4
1.4. Objetivos .....	6
1.5. Hipótesis .....	6
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO .....	8
2.1. Antecedentes de la investigación .....	8
2.2. Bases Teóricas.....	12
2.3. Definición de términos.....	21
CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO .....	24
3.1. Diseño de la investigación.....	24
3.2. Acciones y actividades .....	24
3.3. Materiales y/o instrumentos.....	25
3.4. Población y/o muestra de estudio.....	25
3.5. Operacionalización de variables.....	26
3.6. Procesamiento y análisis de datos .....	27
CAPÍTULO IV: RESULTADOS .....	63
4.1. Curva de capacidad.....	63
4.2. Punto de fluencia efectiva .....	67
4.3. Punto de Desempeño.....	68
4.4. Niveles de desempeño sísmico .....	74
CAPÍTULO V: DISCUSIÓN.....	76
CONCLUSIONES .....	78

RECOMENDACIONES.....	80
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	81

**ÍNDICE DE TABLAS**

Tabla 1. Operacionalización de variables de investigación .....	26
Tabla 2. Peso propio de la losa aligerada .....	44
Tabla 3. Metrado de cargas N°01 .....	45
Tabla 4. Peso de ladrillo .....	45
Tabla 5. Valores de rigidez efectiva .....	49
Tabla 6. Parámetros sísmicos.....	58
Tabla 7. Factores de conversión para cada nivel de sismo.....	58
Tabla 8. Parámetros utilizados para el seccionamiento del espectro de capacidad....	61

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Eventos sísmicos de mayor magnitud en la región del Cinturón de Fuego ....	2
Figura 2. Representación geográfica de los epicentros de los principales terremotos históricos en Perú .....	3
Figura 3. Representacion grafica del proceso metodologico aplicado en el analisis Pushover .....	12
Figura 4. Curva esfuerzo-deformación del concreto a compresión (Hognestad, 1951)	14
Figura 5. Análisis comparativo de las curvas esfuerzo-deformación correspondientes a un concreto sin confinamiento .....	15
Figura 6. Diagrama integral esfuerzo-deformación del acero bajo carga de tracción..	16
Figura 7. Idealización estructural basada en la concentración de bisagras plásticas a lo largo del eje. ....	17
Figura 8. Modelación estructural basada en elementos tipo fibra .....	18
Figura 9. Etapas del procedimiento de análisis pushover .....	19
Figura 10. Definición del concreto $f' c=310 \text{ kg/cm}^2$ en ETABS .....	27
Figura 11. Definición del concreto $f' c=280 \text{ kg/cm}^2$ en ETABS .....	28
Figura 12. Definición del concreto $f' c=210 \text{ kg/cm}^2$ en ETABS .....	28
Figura 13. Asignación del comportamiento no lineal del concreto $f' c=310 \text{ kg/cm}^2$ en ETABS.....	29
Figura 14. Asignación del comportamiento no lineal del concreto $f' c=280 \text{ kg/cm}^2$ en ETABS.....	30
Figura 15. Asignación del comportamiento no lineal del concreto $f' c=210 \text{ kg/cm}^2$ en ETABS.....	30
Figura 16. Configuración del acero de refuerzo en ETABS.....	31
Figura 17. Configuración de los parámetros mecánicos no lineales del acero de refuerzo en ETABS.....	31
Figura 18. Acero de refuerzo: grafico de tensión – deformación en ETABS .....	32
Figura 19. Definición del concreto esperado $f' c=310 \text{ kg/cm}^2$ en ETABS .....	33
Figura 20. Definición del concreto esperado $f' c=280 \text{ kg/cm}^2$ en ETABS .....	33
Figura 21. Definición del concreto esperado $f' c=210 \text{ kg/cm}^2$ en ETABS .....	34
Figura 22. Asignación del comportamiento no lineal del concreto esperado $f' c=310 \text{ kg/cm}^2$ en ETABS .....	34
Figura 23. Asignación del comportamiento no lineal del concreto esperado $f' c=280 \text{ kg/cm}^2$ en ETABS .....	35

Figura 24. Asignación del comportamiento no lineal del concreto esperado $f' c=210$ kg/cm <sup>2</sup> en ETABS .....	35
Figura 25. Configuración del acero de refuerzo en ETABS.....	36
Figura 26. Configuración de los parámetros mecánicos no lineales del acero de refuerzo esperado.....	36
Figura 27. Acero de refuerzo: grafico de tensión – deformación en ETABS .....	37
Figura 28. Sección de la placa PL - 01 en ETABS.....	38
Figura 29. Configuración de la sección transversal de la viga VP-01 en ETABS .....	38
Figura 30 .Datos del acero en la viga principal 01 en ETABS.....	39
Figura 31. Sección de la viga principal 02 en ETABS .....	39
Figura 32. Datos del acero en la viga principal 02 en ETABS.....	40
Figura 33. Sección de la viga secundaria VS-01 en ETABS.....	40
Figura 34. Datos del acero en la viga secundaria 01 en ETABS.....	41
Figura 35. Sección de la viga chata VCH-01 en ETABS.....	41
Figura 36. Datos del acero en la viga chata 01 en ETABS .....	42
Figura 37. Sección de la viga VB-01 en ETABS .....	42
Figura 38. Datos del acero en la viga VB-01 en ETABS .....	43
Figura 39. Propiedades de la losa aligerada en ETABS .....	43
Figura 40. Datos del ladrillo hueco 15.....	45
Figura 41. Determinación de los factores de participación de carga viva en el análisis estructural.....	46
Figura 42. Asignación de carga viva del primer nivel. ....	47
Figura 43. Asignación de carga viva del segundo nivel .....	47
Figura 44. Asignación de carga viva del tercer nivel. ....	48
Figura 45. Cargas distribuidas en ETABS.....	49
Figura 46. Factores de modificación de la propiedad/rigidez en vigas .....	50
Figura 47. Definir las rotulas concentradas en las vigas .....	50
Figura 48. Datos de asignación de bisagras automáticas en sentido Y .....	51
Figura 49. Datos de asignación de bisagras automáticas en sentido X .....	51
Figura 50. Validación de las rótulas plásticas .....	52
Figura 51 Momento de fluencia - vigas .....	52
Figura 52. Rotulas de vigas en el sentido Y.....	53
Figura 53. Rotulas de vigas en el sentido X.....	53
Figura 54. Asignamos las rotulas en placas.....	54
Figura 55. Asignación de fibra para cada placa .....	54
Figura 56. Rotulas en placas en el sentido Y.....	55
Figura 57. Rotulas en placas en el sentido X.....	55

Figura 58. Datos para la carga de gravedad.....	56
Figura 59. Datos para la carga monoticas en X+, X-, Y+ y Y-.....	56
Figura 60. Controles de desplazamientos.....	57
Figura 61. Resultados guardados para el caso estático no lineal .....	57
Figura 62. Sismo raro en ETABS.....	59
Figura 63. Sismo muy raro en ETABS .....	60
Figura 64. Máximo sismo considerado en ETABS .....	60
Figura 65. Proporciones de masas participativas modales .....	61
Figura 66. Sectorización de la curva de capacidad.....	61
Figura 67. Conclusión del proceso de evaluación estructural mediante análisis estático no lineal. ....	63
Figura 68. Formación de rótulas plásticas .....	64
Figura 69. Formación de rótulas plásticas .....	64
Figura 70. La curva de capacidad en dirección al eje X+.....	65
Figura 71. Formación de rótulas plásticas .....	65
Figura 72. Formación de rótulas plásticas .....	66
Figura 73. La curva de capacidad en dirección al eje Y+.....	66
Figura 74. Representación bilineal de la curva de capacidad X+.....	67
Figura 75. Representación bilineal de la curva de capacidad Y+.....	67
Figura 76. Punto de desempeño para un sismo raro en X+.....	68
Figura 77. Linealización equivalente para un sismo raro en X+.....	68
Figura 78. Punto de desempeño para un sismo muy raro en X+ .....	69
Figura 79. Linealización equivalente para un sismo muy raro en X+ .....	69
Figura 80. Punto de desempeño para un máximo sismo considerado en X+ .....	70
Figura 81. Linealización equivalente para un máximo sismo considerado en X+.....	70
Figura 82. Punto de desempeño para un sismo raro en Y+.....	71
Figura 83. Linealización equivalente para un sismo raro en Y+.....	71
Figura 84. Punto de desempeño para un sismo muy raro en Y+ .....	72
Figura 85. Linealización equivalente para un sismo muy raro en Y+ .....	72
Figura 86. Punto de desempeño para un máximo sismo considerado en Y+ .....	73
Figura 87. Linealización equivalente para un máximo sismo considerado en Y+.....	73
Figura 88. Desempeño sísmico X - X .....	74
Figura 89. Desempeño sísmico Y – Y.....	75

**ÍNDICE DE ANEXOS**

Anexo 1.	Matriz de consistencia .....	86
Anexo 2.	Plano del primer piso de la I.E. Guillermo Auza Arce.....	88
Anexo 3.	Plano del segundo piso de la I.E. Guillermo Auza Arce .....	89
Anexo 4.	Plano del tercer piso de la I.E. Guillermo Auza Arce.....	90

## RESUMEN

La presente investigación, titulada “Evaluación del desempeño sísmico del Módulo ‘J’ de la I.E. Guillermo Auza Arce mediante el análisis estático no lineal Pushover, Tacna – 2025”, tuvo como objetivo general evaluar el desempeño sísmico del módulo “J” frente a sollicitaciones laterales mediante el análisis estático no lineal Pushover. Los objetivos específicos incluyeron: determinar la curva de capacidad del módulo integrando el modelo estructural y la caracterización de materiales; identificar el punto de fluencia efectiva frente a cargas laterales considerando diversos patrones de carga; y obtener el punto de desempeño sísmico para estimar la demanda sísmica a partir de los resultados del análisis. El alcance de la investigación se centró en el módulo “J” de la institución educativa Guillermo Auza Arce, considerando las condiciones de amenaza sísmica definidas por la Norma Técnica Peruana E.030 y los parámetros internacionales de la ASCE/SEI 41-17. El estudio se limitó a la caracterización estructural del módulo y a la evaluación de su respuesta frente a distintos niveles de peligro sísmico: frecuente, ocasional, raro y muy raro. La metodología empleada corresponde a un diseño de tipo no experimental y transversal, en el cual las variables se observaron tal como se presentan en su entorno, sin manipulación deliberada. El procedimiento incluyó la recolección y organización de la información técnica, el modelado estructural con bisagras plásticas concentradas en vigas y fibras distribuidas en columnas, el ajuste de rótulas de corte conforme a la ASCE/SEI 41-17, y la aplicación de cargas gravitacionales no lineales seguidas del análisis Pushover en las direcciones  $X^+$ ,  $X^-$ ,  $Y^+$  y  $Y^-$ . Los resultados obtenidos muestran que las direcciones  $X^+$  y  $Y^+$  evidencian un comportamiento más crítico. En la dirección  $X^+$ , la estructura presentó un desplazamiento máximo de 0,16 m acompañado de una fuerza cortante basal de 775,61 tonf; mientras que en la dirección  $Y^+$ , el desplazamiento alcanzado fue de 0,082 m con una cortante de 2202,25 tonf. Asimismo, se identificaron los puntos de fluencia efectiva: en  $X^+$ , 0,0013 m y 338,62 tonf; en  $Y^+$ , 0,0007 m y 268,20 tonf. Los puntos de desempeño estructural frente a distintos niveles de amenaza sísmica evidenciaron limitaciones de ductilidad y resistencia en la dirección  $X^+$ , y un comportamiento más favorable en la dirección  $Y^+$ . En conclusión, el módulo “J” presenta vulnerabilidades significativas en la dirección  $X^+$ , donde la estructura se aproxima al sector cerca al colapso bajo un máximo sismo considerado y no alcanza el desempeño requerido frente a eventos de esta magnitud. En contraste, la dirección  $Y^+$  muestra mayor rigidez y capacidad, ubicándose en rangos de desempeño operacional

y funcional según el nivel de amenaza sísmica. En conjunto, los resultados evidencian que la edificación requiere medidas de reforzamiento para garantizar un nivel adecuado de seguridad estructural frente a sismos de gran intensidad.

**Palabras clave:** Desempeño sísmico, análisis estático no lineal Pushover, curva de capacidad, punto de fluencia efectiva, punto de desempeño estructural, Norma Técnica Peruana E.030, ASCE/SEI 41-17, amenaza sísmica, vulnerabilidad sísmica, reforzamiento estructural.

## ABSTRACT

The present research, entitled “Seismic Performance Evaluation of Module ‘J’ of the Guillermo Auza Arce School through Nonlinear Static Pushover Analysis, Tacna – 2025”, had as its general objective to evaluate the seismic performance of Module “J” under lateral loads using the nonlinear static Pushover analysis. The specific objectives included: determining the capacity curve of the module by integrating the structural model and material characterization; identifying the effective yield point under lateral loads considering different loading patterns; and obtaining the seismic performance point to estimate seismic demand based on the analysis results. The scope of the research focused on Module “J” of the Guillermo Auza Arce School, considering the seismic hazard conditions defined by the Peruvian Technical Standard E.030 and the international parameters of ASCE/SEI 41-17. The study was limited to the structural characterization of the module and the evaluation of its response under different seismic hazard levels: frequent, occasional, rare, and very rare. The methodology corresponded to a non-experimental and cross-sectional design, in which the variables were observed as they occur in their environment, without deliberate manipulation. The procedure included the collection and organization of technical information, structural modeling with concentrated plastic hinges in beams and distributed fiber modeling in columns, adjustment of shear hinges according to ASCE/SEI 41-17, and the application of nonlinear gravitational loads followed by Pushover analysis in the  $X^+$ ,  $X^-$ ,  $Y^+$ , and  $Y^-$  directions. The results showed that the  $X^+$  and  $Y^+$  directions exhibited more critical behavior. In the  $X^+$  direction, the structure presented a maximum displacement of 0,16 m with a base shear of 775,61 tonf; while in the  $Y^+$  direction, the displacement reached 0,082 m with a base shear of 2202,25 tonf. The effective yield points were identified as 0,013 m and 338,62 tonf in  $X^+$ , and 0,0007 m and 268,20 tonf in  $Y^+$ . The performance points under different seismic hazard levels revealed limitations in ductility and resistance in the  $X^+$  direction, and a more favorable behavior in the  $Y^+$  direction. In conclusion, module “J” exhibits significant vulnerabilities in the  $X^+$  direction, where the structure approaches a near-collapse state under the maximum considered earthquake and fails to achieve the required performance against events of this magnitude. In contrast, the  $Y^+$  direction demonstrates greater stiffness and capacity, falling within operational and functional performance ranges according to the seismic hazard level. Overall, the results indicate that the building requires strengthening measures to ensure an adequate level of structural safety against high-intensity earthquakes.

**Keywords:** Seismic performance, nonlinear static Pushover análisis, capacity curve, effective yield point, structural performance point, Peruvian Technical Standard E.030, ASCE/SEI 41-17, seismic hazard, Seismic vulnerability, Structural strengthening.

## INTRODUCCIÓN

Esta investigación tiene como propósito central evaluar la respuesta estructural del Módulo “J” de la I.E. Guillermo Auza Arce, ubicada en la ciudad de Tacna, Perú, ante sollicitaciones sísmicas. Para ello, el estudio contempla la ejecución de un análisis Pushover, caracterizado por su enfoque estático no lineal para simular el comportamiento sísmico progresivo., siguiendo los lineamientos del diseño basado en desempeño establecidos por la normativa ASCE/SEI 41-17.

El análisis del desempeño sísmico busca comprobar que los niveles de daño estructural, frente a diversas intensidades de amenaza sísmica, se mantengan dentro de parámetros aceptables, asegurando así la funcionalidad y seguridad de la edificación según su categoría de uso.

Aunque la zona sur del Perú es identificada como una región de silencio sísmico, su ubicación en la zona de subducción entre las placas Sudamericana y de Nazca le confiere un elevado riesgo sísmico. La ausencia de eventos sísmicos significativos recientes no elimina la posibilidad de futuros sismos de gran magnitud, lo que justifica el análisis del comportamiento del Módulo “J”, considerado una estructura esencial. El trabajo se organiza en seis capítulos.

El primer capítulo expone el planteamiento del problema, su relevancia, los objetivos y las hipótesis de estudio.

En el segundo capítulo se presenta el marco teórico, donde se revisan estudios previos y se abordan conceptos fundamentales como la vulnerabilidad sísmica, el peligro sísmico, la capacidad estructural y el análisis Pushover.

El tercer capítulo detalla la metodología empleada, incluyendo la definición de la muestra, las variables analizadas y los métodos de recolección y análisis de datos.

El cuarto capítulo muestra los resultados obtenidos a partir del análisis estructural lineal y del análisis estático no lineal.

Finalmente, el quinto capítulo interpreta los resultados a la luz de los objetivos propuestos, las hipótesis formuladas y los antecedentes teóricos.

## CAPÍTULO I: EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

### 1.1. Descripción del problema

El territorio peruano se encuentra ubicado en una zona de intensa actividad sísmica a nivel mundial, al formar parte del cinturón de fuego del Pacífico (Alva, 1988). En la franja costera de Sudamérica, la convergencia entre la placa de Nazca y la placa Sudamericana configura uno de los bordes tectónicos más activos y significativos a nivel mundial, concentrando una significativa proporción de la actividad geodinámica global (Alva, 1988).

**Figura 1**

*Eventos sísmicos de mayor magnitud en la región del Cinturón de Fuego*



*Fuente adaptada de: MAPFRE RE. (2010). Revista Trébol, N.º 55.*

A lo largo de los últimos cuatro siglos, el departamento de Tacna ha experimentado eventos sísmicos con intensidades que alcanzaron el nivel IX en la escala de Mercalli modificada. Uno de los más significativos fue el terremoto de Arica, ocurrido el 13 de agosto de 1868, con una magnitud de momento sísmico de  $M_w=9$ ; de acuerdo con IGP, (Instituto Geofísico del Perú; 2002), este evento provocó daños que se extendieron desde Ica, en Perú, hasta Tarapacá, en Chile, y tuvo una duración aproximada de cinco minutos. Asimismo, el 12 de noviembre de 1996 se registró un

sismo de magnitud  $M_w = 7.7$  en la zona de Nasca-Acarí, ubicada a 450 km al sur de Lima. De acuerdo con Alva, J. et al. (1999), en la zona epicentral se registró el colapso de cerca de 4,000 viviendas, además de daños parciales en unas 11,000 edificaciones residenciales, incluyendo repercusiones en 91 planteles escolares y 100 establecimientos del sector salud. En el transcurso del día 23 de junio de 2001, se produjo un fuerte movimiento telúrico en la ciudad de Arequipa, alcanzando una magnitud de 8.4 según la escala de momento sísmico, considerado de intensidad moderada. El último gran evento sísmico asociado al proceso de convergencia tectónica entre la placa de Nazca y la placa Sudamericana ocurrió el 15 de agosto de 2007, con una magnitud de 7.9, conocido como “El terremoto de Pisco” (Tavera et al., 2007). Estos eventos históricos en el sur del Perú, vinculados a la zona de convergencia de la placa de Nazca, se representan en el mapa epicentral mostrado en la Figura 2.

## Figura 2

*Representación geográfica de los epicentros de los principales terremotos históricos en Perú*



*Nota. Basado en el análisis de riesgos asociados a sismos*

[https://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/storage/biblioteca/7031\\_informe-de-evaluacion-de-riesgo-por-sismos-en-el-asentamiento-humano-los-girasoles-sector-pachacutec-districto-de-ventanilla-provincia-constitucional-d.pdf](https://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/storage/biblioteca/7031_informe-de-evaluacion-de-riesgo-por-sismos-en-el-asentamiento-humano-los-girasoles-sector-pachacutec-districto-de-ventanilla-provincia-constitucional-d.pdf)

## **1.2. Formulación del problema**

### **1.2.1. Problema general**

¿Cómo evaluar el desempeño sísmico del módulo “J” de la I.E. Guillermo Auza Arce mediante el análisis estático no lineal Pushover, Tacna – 2025?

### **1.2.2. Problemas específicos**

- a. ¿Cómo se puede determinar la curva de capacidad del módulo “J” de la Institución Educativa Guillermo Auza Arce a través del análisis Pushover, integrando el modelo estructural, la caracterización de los materiales y la inclusión de rótulas plásticas en los componentes estructurales?
- b. ¿Cómo identificar el punto de fluencia efectiva del módulo “J” de la I.E. Guillermo Auza Arce frente a cargas laterales, aplicando el análisis Pushover no lineal y tomando en cuenta los diversos patrones de carga y los métodos de control por desplazamiento y fuerza?
- c. ¿Cómo obtener el punto de desempeño sísmico del módulo “J” de la I.E. Guillermo Auza Arce para estimar la demanda sísmica a partir de los resultados obtenidos mediante el análisis estático no lineal Pushover?

## **1.3. Justificación e Importancia**

*Desde el punto de vista científico:*

En ingeniería civil persisten deficiencias en la aplicación de tecnologías y normas modernas, especialmente en zonas sísmicas. Esto exige adoptar métodos más avanzados, como el análisis por desempeño, que permiten evaluar el comportamiento estructural y mejorar la seguridad de las edificaciones ante sismos.

Según Terán (2010) en su investigación “El futuro del diseño sismorresistente de las edificaciones de concreto reforzado” subraya cómo, a pesar de la aplicación de reglamentos modernos en algunas estructuras, estas no demostraron un desempeño satisfactorio durante eventos sísmicos significativos en otras partes del mundo México 1985; Loma Prieta 1989; Northridge 1994; Kobe 1995; Chile 2010.

Esto revela que existe una brecha entre el diseño teórico y el comportamiento real de las edificaciones ante sismos. El análisis Pushover se destaca como una herramienta que permite visualizar esas fallas potenciales antes de que ocurran.

La presente investigación, al aplicar el método Pushover al módulo “J” de la IE Guillermo Auza Arce, busca generar un modelo estructural que represente fielmente su comportamiento ante sismos, permitiendo identificar zonas críticas y niveles de daño potencial.

*Desde el punto de vista social:*

La evaluación sísmica del módulo “J” de la I.E. Guillermo Auza Arce mediante el análisis Pushover busca garantizar la seguridad de estudiantes y docentes en Tacna, una zona de alta peligrosidad sísmica. Este enfoque técnico no solo responde a criterios estructurales, sino también a una responsabilidad social de la ingeniería civil, al priorizar el bienestar humano en espacios que funcionan como centros educativos y, en casos de emergencia, como refugios temporales.

Además, el estudio promueve una cultura preventiva y conciencia ciudadana sobre la importancia de construir con criterios sísmicos. Al presentar de forma accesible el proceso de evaluación estructural, se fomenta el empoderamiento comunitario y el compromiso con la seguridad colectiva, otorgando a esta investigación un valor académico, profesional y profundamente humanitario.

*Desde el punto de vista económico:*

La evaluación mediante el análisis estático no lineal Pushover representa una estrategia rentable para la gestión de riesgos estructurales, pues permite simular el comportamiento sísmico de la edificación sin necesidad de realizar ensayos destructivos ni intervenciones costosas, optimizando los recursos técnicos y financieros disponibles.

Una evaluación precisa del desempeño permite tomar decisiones fundamentadas sobre la necesidad o no de reforzamiento estructural, evitando inversiones innecesarias en edificaciones que aún pueden cumplir su función sin riesgo para sus ocupantes.

Además, invertir en estudios preventivos como estos genera un retorno económico indirecto al proteger vidas humanas, preservar infraestructura estratégica y garantizar la continuidad de los servicios educativos.

## **1.4. Objetivos**

### **1.4.1. Objetivo General**

Evaluar del desempeño sísmico del módulo "J" de la I.E. Guillermo Auza Arce mediante el análisis estático no lineal pushover, Tacna – 2025.

### **1.4.2. Objetivos Específicos**

- a. Determinar la curva de capacidad del módulo "J" de la I.E. Guillermo Auza Arce a través del análisis Pushover, integrando el modelo estructural, la caracterización de los materiales y la inclusión de rótulas plásticas en los componentes estructurales.
- b. Identificar el punto de fluencia efectiva del módulo "J" de la I.E. Guillermo Auza Arce frente a cargas laterales, aplicando el análisis Pushover no lineal y tomando en cuenta los diversos patrones de carga y los métodos de control por desplazamiento y fuerza.
- c. Obtener el punto de desempeño sísmico del módulo "J" de la I.E. Guillermo Auza Arce para estimar la demanda sísmica a partir de los resultados obtenidos mediante el análisis estático no lineal Pushover.

## **1.5. Hipótesis**

### **1.5.1. Hipótesis General**

El módulo "J" de la I.E. Guillermo Auza Arce, presenta un desempeño sísmico deficiente cuando se someta a un análisis estático no lineal pushover, evidenciando su vulnerabilidad ante posibles eventos sísmicos.

### **1.5.2. Hipótesis Específicas**

- a. La curva de capacidad a través del análisis Pushover, integrando el modelo estructural, la caracterización de los materiales y la inclusión de rótulas plásticas en los componentes estructurales, representa de manera precisa la respuesta fuerza - desplazamiento del módulo "J" de la I.E. Guillermo Auza Arce.
- b. La aplicación del análisis estático no lineal Pushover, considerando diversos esquemas de carga lateral y métodos de control por desplazamiento y fuerza,

facilita la identificación precisa del punto de fluencia efectivo del módulo “J” de la I.E. Guillermo Auza Arce.

- c. El punto de desempeño sísmico derivado del análisis estático no lineal tipo Pushover permite representar de forma confiable la demanda sísmica que enfrentará el módulo “J” de la Institución Educativa Guillermo Auza Arce.

## CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes de la investigación

#### 2.1.1. Antecedentes Internacionales

Según Muñoz et al. (2004), los sismos registrados en Perú antes de 1997 provocaron daños considerables en las edificaciones escolares construidas antes de esa fecha. Sin embargo, las estructuras diseñadas conforme al código sísmico peruano de 1997 mostraron una notable resistencia durante el terremoto de Atico en 2001, de magnitud Mw 8.4, sin evidencias significativas de afectación. El estudio también evalúa el comportamiento estructural de estas edificaciones frente a tres niveles de amenaza sísmica, aplicando métodos espectrales y analizando el comportamiento estructural a partir del contraste entre la demanda sísmica esperada y la capacidad resistente obtenida del modelo. Los hallazgos indican que las construcciones tradicionales anteriores a 1997 están expuestas a elevadas exigencias inelásticas ante sismos recurrentes, con riesgo de colapso en eventos de mayor magnitud. En contraste, las edificaciones modernas presentan un desempeño estructural más favorable incluso ante movimientos telúricos intensos, atribuible al aumento en los requisitos de rigidez establecidos por la normativa sísmica de 1997.

Por su parte, Gonzales et al. (2020), en el artículo “Incremental Dynamic Analysis of a 60 Year Old Hospital with Handmade Brick Masonry Walls”, diversos estudios señalan que numerosos establecimientos hospitalarios construidos en décadas pasadas, tanto en el ámbito global como regional, no incorporaron parámetros estructurales orientados a la resistencia sísmica., pese a que deben mantenerse operativos durante y después de un sismo, debido a su rol esencial en la sociedad. Por ello, subrayan la importancia de implementar modelos no lineales que representen de forma precisa el comportamiento estructural, así como la necesidad de realizar análisis sísmicos capaces de estimar de manera más realista la respuesta de estas construcciones ante eventos sísmicos.

Asimismo, Tarque (2017), en su publicación “Development of fragility curves for confined masonry buildings of Lima”, sostiene: El crecimiento urbano informal en Lima, especialmente en zonas periféricas, ha impulsado la construcción de edificaciones con mampostería confinada, el sistema estructural más habitual en el país. Estas construcciones presentan vulnerabilidades estructurales ante sismos de intensidad moderada o alta, por lo que es esencial comprender su comportamiento ante dichos

eventos. El estudio desarrolla curvas de fragilidad, las cuales permiten estimar la probabilidad de que una estructura exceda un determinado estado límite en función del movimiento sísmico. Para este propósito, se emplea la metodología SP-BELA (Simplified Pushover-based Earthquake Loss Assessment), adaptada específicamente para el análisis de estructuras de mampostería confinada. Utilizando datos estadísticos obtenidos de investigaciones previas realizadas por la PUCP, se construye una base de datos estructural que, mediante la aplicación de simulaciones tipo Montecarlo, permite generar una muestra aleatoria de edificaciones junto con sus respectivas curvas de capacidad. La estimación de la demanda sísmica se lleva a cabo utilizando registros de aceleración del terreno seleccionados según las características sismológicas particulares de la ciudad de Lima, los cuales se aplican a sistemas SDOF para calcular las demandas de desplazamiento. La comparación entre capacidad y demanda permite obtener matrices de probabilidad de daño, de las cuales se derivan las curvas de fragilidad. Los hallazgos evidencian una necesidad crítica de intervención estructural en las edificaciones de mampostería confinada ubicadas en Lima, ya que, bajo un escenario de amenaza sísmica con una probabilidad de excedencia del 10 % en un horizonte de 50 años (equivalente a un periodo de retorno de 475 años), se estima que entre el 12 % de las construcciones de un piso y el 57 % de las de dos pisos podrían sufrir colapsos.

### **2.1.2. Antecedentes Nacionales**

En el estudio realizado por Astorga et al. (2006), titulado “Evaluación del riesgo sísmico de edificaciones educativas peruanas”, Se implementaron instrumentos analíticos orientados a evaluar el comportamiento estructural ante sismos y estimar las pérdidas potenciales en edificaciones escolares a nivel nacional. La investigación identificó cinco tipologías estructurales representativas: una corresponde a edificaciones de concreto y albañilería con elevada robustez construidas a partir de 1997; otra, a edificaciones de adobe; y las tres restantes, a estructuras de concreto y albañilerías erigidas antes de ese año. Con el propósito de cuantificar las pérdidas asociadas, Se definieron curvas de daño estructural para distintos niveles de amenaza sísmica, con el fin de estimar impactos potenciales, en base en dichas funciones, se elaboraron matrices de probabilidad de daño y se obtuvieron las curvas de fragilidad estructural. Debido a la limitada disponibilidad de datos estadísticos en Perú sobre las características constructivas y los efectos de los sismos en edificaciones escolares, se recurrió al juicio de expertos para proyectar el comportamiento estructural ante eventos sísmicos. Se observa que las construcciones de concreto y albañilerías anteriores a 1997 presentan

características particulares en su comportamiento estructural, como aquellas más recientes pueden sufrir daños irreparables cuando se enfrentan a sismos de gran magnitud.

Por otro lado, Santana (2012), en su investigación “Diseño sísmico por desempeño de estructuras de albañilería confinada”, señala que este enfoque de diseño exige establecer tres objetivos de desempeño para ambas direcciones principales de análisis estructural, conforme a los lineamientos del ATC-40 para edificaciones convencionales. Antes de aplicar métodos no lineales, es necesario contar con un análisis lineal del edificio, el cual fue realizado utilizando un software que cumple con las normativas E-030 (sismorresistencia) y E-070 (albañilería) del RNE. La metodología de diseño sísmico orientada al desempeño se desarrolla a través de tres etapas principales que guían la caracterización, análisis y verificación del comportamiento estructural, iniciando con la evaluación de la demanda sísmica, siendo cuantificada a través del parámetro de aceleración máxima del suelo, comúnmente utilizado en estudios sísmicos, calculada mediante enfoques deterministas y/o probabilistas. El análisis incorporó seis registros de aceleración vinculados a tres terremotos históricos acontecidos en territorio peruano durante los años 1966, 1970 y 1974. La segunda fase se enfoca en evaluar la capacidad estructural del edificio, derivada del espectro de capacidad estructural obtenido a través del procedimiento Pushover, en el marco de un análisis estático no lineal o, en su defecto, empleando la metodología de análisis dinámico incremental, que permite evaluar el desempeño estructural frente a múltiples niveles de demanda sísmica. En la tercera etapa, se identifican los puntos de desempeño estructural aplicando ambos enfoques no lineales y se comparan con los umbrales definidos por los objetivos del diseño. La aplicación de este enfoque posibilita la proyección de estructuras más seguras, resilientes y costo-efectivas ante la ocurrencia de eventos sísmicos.

### **2.1.3. Antecedentes Locales**

Pérez (2023), en su estudio titulado “Evaluación del desempeño sísmico mediante análisis no lineal estático y dinámico de la institución educativa pública N°22459, en el distrito de Pisco – Ica”, según lo indicado, el análisis no lineal consideró el comportamiento inelástico de los muros de albañilería mediante la inclusión de rótulas plásticas en elementos diagonales idealizados como puntales, simulando la formación de mecanismos de falla, previamente calibradas con ensayos experimentales realizados en el Perú. La población considerada fueron las instituciones educativas del

modelo 780 - actual, tomando como muestra la I.E. N°22459. La metodología empleada consistió en una observación estructurada, utilizando fichas de registro como herramienta principal. Los hallazgos revelaron que, en ambas direcciones evaluadas, la estructura logró un nivel de desempeño compatible con los criterios de protección de vidas frente a un evento sísmico de máxima intensidad prevista.

Por su parte, Vilca y Collao (2018), en la investigación “Evaluación estructural y propuesta de reforzamiento de la institución educativa inicial 336 Virgen de la Natividad, Tacna”, diversos estudios destacan que la ciudad de Tacna se mantiene como una zona de elevada sismicidad, habiendo sido impactada por movimientos telúricos significativos como el registrado en 2001., que comprometió muchas construcciones informales, algunas de las cuales continúan en uso, poniendo en riesgo la integridad de los estudiantes. El objetivo fue evaluar la condición estructural del pabellón más antiguo (bloque 1) de la I.E.I. N°336 y plantear medidas de reforzamiento. Se recopilaron datos mediante ensayos destructivos y no destructivos, y posteriormente se realizó un análisis detallado del pabellón con el software ETABS. La simulación bajo cargas de diseño permitió evaluar la capacidad estructural, comparándola con los requerimientos del Reglamento Nacional de Edificaciones. Los ensayos de compresión en testigos extraídos mostraron baja resistencia del concreto, y el modelo estructural evidenció que la edificación no cumple con la norma E.030, este resultado respalda la necesidad de implementar medidas de reforzamiento en las columnas de concreto.

Asimismo, Aguilar y Aguilar (2017), en su trabajo “Evaluación y reforzamiento estructural del edificio de la escuela profesional de obstetricia – UNJBG – Tacna”, Se ha señalado, en años recientes, que la región ha sido afectada por sismos de gran magnitud que han generado pérdidas humanas y materiales. En particular, el evento sísmico del año 2001 provocó daños estructurales significativos en la ciudad de Tacna, afectando también al edificio de la escuela profesional de obstetricia de la Universidad Jorge Basadre Grohmann, los cuales aún son visibles. Por tal motivo, la investigación centró sus esfuerzos en evaluar las condiciones estructurales vigentes del inmueble y plantear alternativas de intervención que mejoren su capacidad sísmica. Se plantearon dos alternativas que permitieron limitar las derivas a menos del 5 %, asegurando que, ante un evento sísmico, los daños estructurales sean moderados y se mantenga la funcionalidad inmediata del edificio.

## 2.2. Bases Teóricas

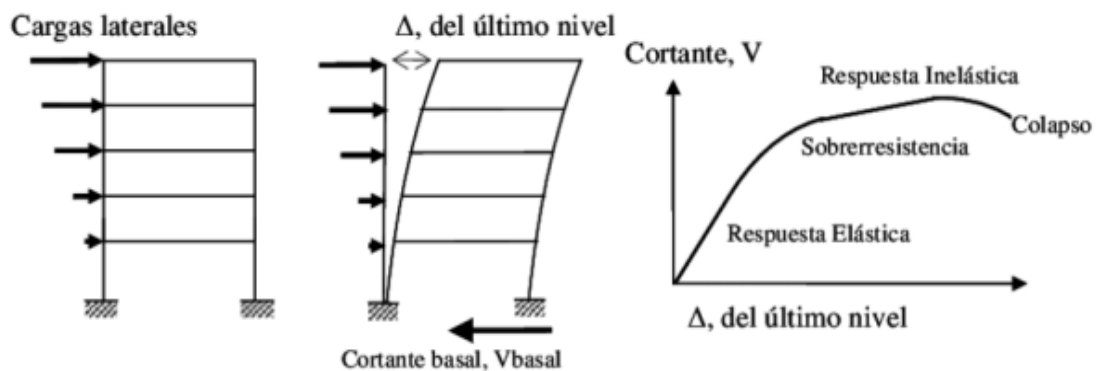
### 2.2.1. Análisis Pushover

De acuerdo con Arévalo y Bermúdez (2007), el análisis pushover consiste en aplicar cargas laterales de manera progresiva sobre una estructura previamente diseñada, manteniendo constantes las cargas gravitacionales, con el objetivo de inducir un colapso controlado. Esta técnica permite examinar la secuencia de aparición de fisuras, el inicio de la cedencia y el fallo de los componentes estructurales, además de identificar los estados límite de servicio, el desarrollo de las deformaciones y los esfuerzos cortantes, lo que facilita la obtención de la curva de capacidad del sistema estructural.

La Figura 3 presenta un flujograma que ilustra la secuencia del análisis pushover. Este proceso inicia con la elaboración de un modelo estructural, seguido de la asignación de cargas gravitacionales y laterales. Posteriormente, se introduce un registro sísmico representativo con el fin de evaluar la respuesta inelástica de la estructura frente a dicha solicitud.

**Figura 3**

*Representación grafica del proceso metodológico aplicado en el análisis Pushover*



*Nota. Tomado de la propuesta metodológica orientada a la evaluación del desempeño estructural de una estantería metálica*

### 2.2.2. Propiedades de Materiales

#### 2.2.2.1. Modelos de comportamiento de los materiales

El concreto se caracteriza por su elevada resistencia a los esfuerzos de compresión, lo que lo convierte en el principal material para soportar este tipo de sollicitaciones en elementos estructurales. No obstante, su limitada capacidad para resistir tracción requiere la incorporación de acero de refuerzo, cuya función es absorber las fuerzas de tracción presentes en la estructura.

Para realizar un análisis y diseño estructural riguroso, es esencial considerar no solo la resistencia del concreto a la compresión, sino también otras propiedades mecánicas relevantes, como los esfuerzos y deformaciones unitarias máximas y últimas, además del módulo de elasticidad. Estas características se representan a través de modelos esfuerzo-deformación, los cuales permiten comprender con mayor precisión el comportamiento del material frente a cargas aplicadas.

#### **a. Concreto**

##### *- Concreto no confinado*

Comprender el comportamiento esfuerzo-deformación del concreto es fundamental, puesto que este material presenta un comportamiento lineal inicial hasta alcanzar cerca del 50 % de su resistencia máxima a compresión. A partir de ese punto, la curva se torna más plana, evidenciando un comportamiento no lineal que culmina en el valor máximo de resistencia, lo que refleja la pérdida progresiva de rigidez conforme el concreto se aproxima a su estado de falla.

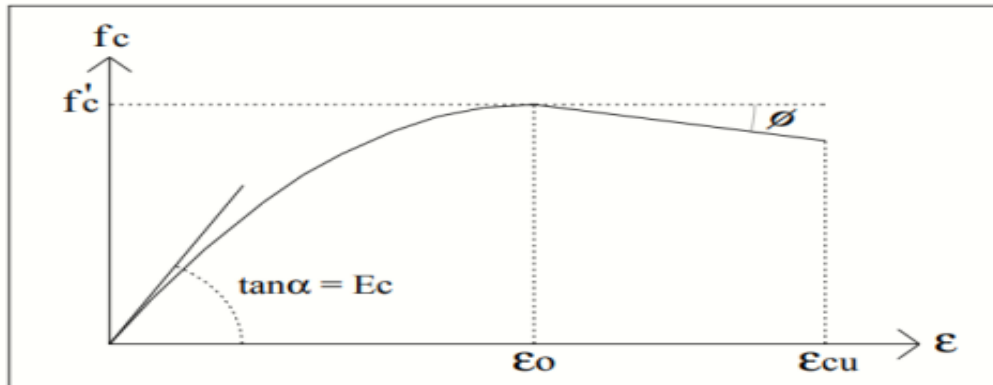
##### *- Modelo de Hognestad*

El modelo propuesto por Hognestad es uno de los más reconocidos y utilizados para representar el comportamiento mecánico del concreto, debido a su capacidad para describir con mayor precisión la respuesta del material. Este modelo contempla una primera etapa definida por una curva parabólica invertida, seguida de una fase de comportamiento lineal descendente. Su uso resulta pertinente en componentes estructurales que presentan secciones transversales de forma circular, cuadrada o rectangular

Como se puede observar en la Figura 4, el modelo esfuerzo-deformación del concreto no confinado inicialmente, la respuesta del material sigue una trayectoria parabólica de segundo orden hasta alcanzar su resistencia máxima a compresión, tras lo cual la curva evoluciona hacia un tramo lineal decreciente que representa la degradación post-pico, reflejando la pérdida progresiva de capacidad resistente. El valor máximo de resistencia se alcanza con una deformación unitaria aproximada de  $\epsilon_0 = 0,002$ , mientras que la fase descendente se prolonga hasta la deformación última de rotura, establecida en  $\epsilon_{cu} = 0,0038$ .

**Figura 4**

*Curva esfuerzo-deformación del concreto a compresión (Hognestad, 1951)*



*Nota. Procedente de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México.*

#### - Concreto Confinado

El confinamiento del concreto se logra mediante la inclusión de elementos de refuerzo transversal que limitan su expansión lateral, el cual está presente en prácticamente todas las estructuras reales.

Diversos estudios experimentales han demostrado que un confinamiento adecuado aumenta la capacidad de deformación y mejora el comportamiento estructural del elemento, haciendo que el concreto exhiba un comportamiento más dúctil.

#### - Modelo de Mander

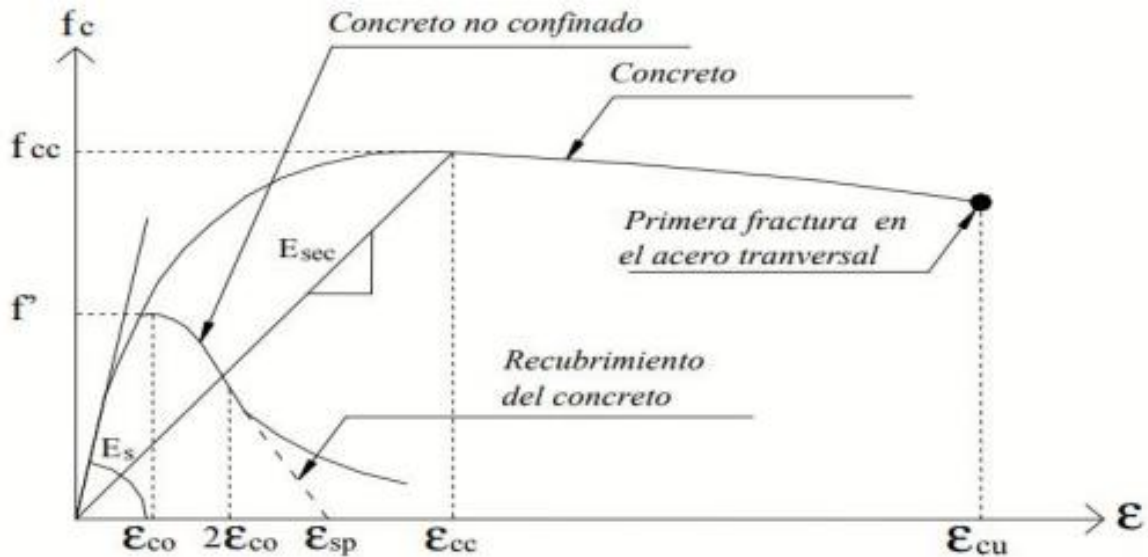
La formulación del modelo incluye una curva continua que refleja el impacto del confinamiento sobre el comportamiento mecánico del concreto, el cual no solo incrementa la resistencia a compresión del concreto, sino que también mejora significativamente su capacidad de deformación.

En este enfoque, la deformación unitaria última se alcanza cuando el refuerzo transversal se fractura, perdiendo su capacidad de mantener el confinamiento del núcleo de concreto. Como resultado, se produce un aumento considerable en las deformaciones transversales del núcleo.

La Figura 5 representa según el modelo propuesto por Mander, la deformación última del concreto confinado se produce en el instante en que el refuerzo transversal pierde su capacidad resistente, lo que conlleva la pérdida del confinamiento y genera grandes deformaciones laterales en el núcleo del concreto.

Figura 5

Análisis comparativo de las curvas esfuerzo-deformación correspondientes a un concreto sin confinamiento



Nota. Extraído de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México.

### b. Acero de refuerzo en estructuras de concreto

El acero utilizado como elemento de refuerzo estructural, se emplea en los elementos de concreto reforzado debido a su elevada resistencia a la tracción, permitiéndole absorber los esfuerzos de tensión que el concreto por sí solo no puede soportar de manera eficiente.

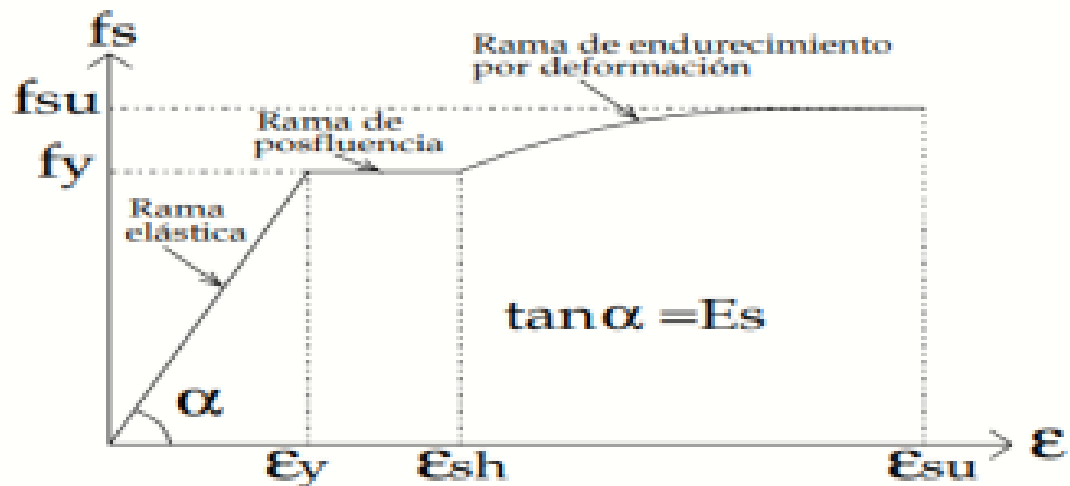
#### - Modelo de Park y Paulay

En la Figura 6 se ilustra el comportamiento típico del acero de refuerzo sometido a esfuerzos de tracción, representado mediante su diagrama esfuerzo-deformación, el cual se divide en tres etapas claramente diferenciadas. En primer lugar, se presenta la fase elástica, donde la relación entre esfuerzo y deformación es lineal y reversible; el acero responde de forma proporcional hasta alcanzar el límite elástico. A continuación, se desarrolla la fase de fluencia, en la que el esfuerzo se mantiene prácticamente constante mientras la deformación continúa aumentando, lo que indica que el material ha cedido, pero aún no ha fallado. Finalmente, se alcanza la fase de endurecimiento por deformación, caracterizada por un nuevo incremento en el esfuerzo debido al reordenamiento interno de la estructura metálica, hasta llegar al punto de rotura. Este

comportamiento confiere al acero una alta ductilidad, lo que lo convierte en un material ideal para absorber energía en estructuras sometidas a cargas sísmicas.

**Figura 6**

*Diagrama integral esfuerzo-deformación del acero bajo carga de tracción.*



*Nota. Extraído de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México*

### 2.2.3. Descripción general de las Idealización

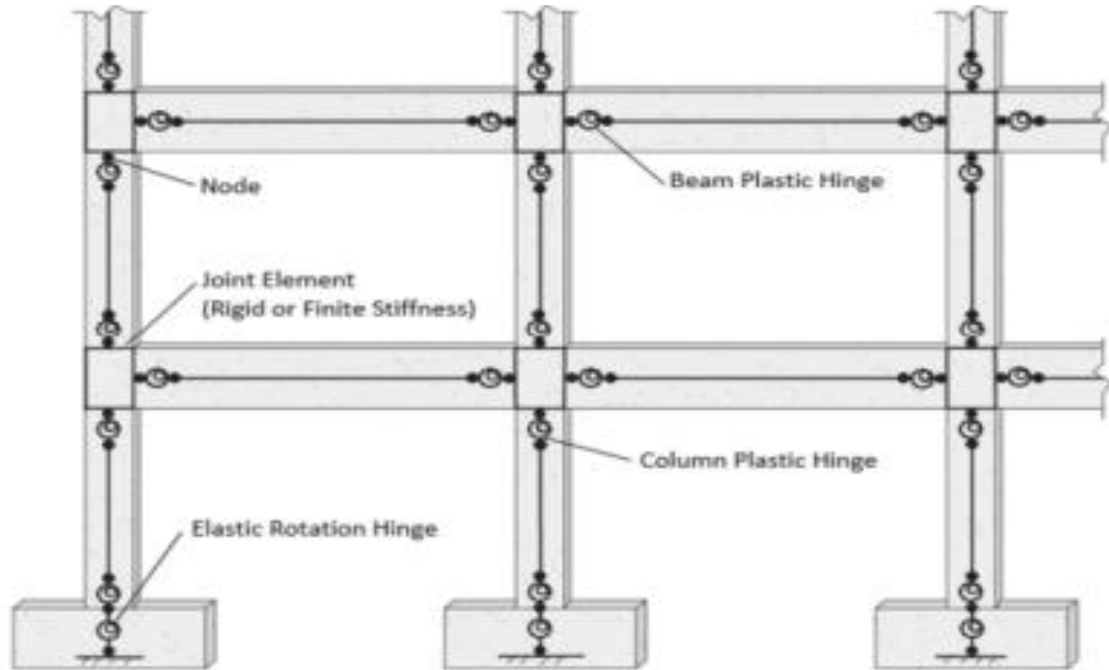
#### 2.2.3.1. Modelos de componentes de bisagras concentrados

La representación de la respuesta estructural del concreto armado, que suele realizarse mediante modelos de articulación plástica concentrada, dada su eficacia en capturar el comportamiento global, especialmente en marcos, debido a su simplicidad conceptual y facilidad de calibración. Estos modelos permiten reproducir de manera eficiente el comportamiento no lineal de los elementos estructurales, abarca desde la aparición de la fluencia hasta la pérdida gradual de capacidad resistente y rigidez estructural, pudiendo además considerar fenómenos locales como el pandeo de las armaduras longitudinales, lo que los convierte en herramientas útiles para simulaciones sísmicas y análisis por desempeño.

La Figura 7 muestra una representación idealizada de un marco estructural, en el cual se ubican articulaciones concentradas en las zonas donde se prevé la aparición de comportamiento inelástico durante el análisis. Los elementos del marco susceptibles de experimentar deformaciones inelásticas deben ser modelados adecuadamente, e incluyen los siguientes componentes:

**Figura 7**

*Idealización estructural basada en la concentración de bisagras plásticas a lo largo del eje.*



*Nota. Publicado en Guidelines for Nonlinear Structural Analysis for Design of Buildings*

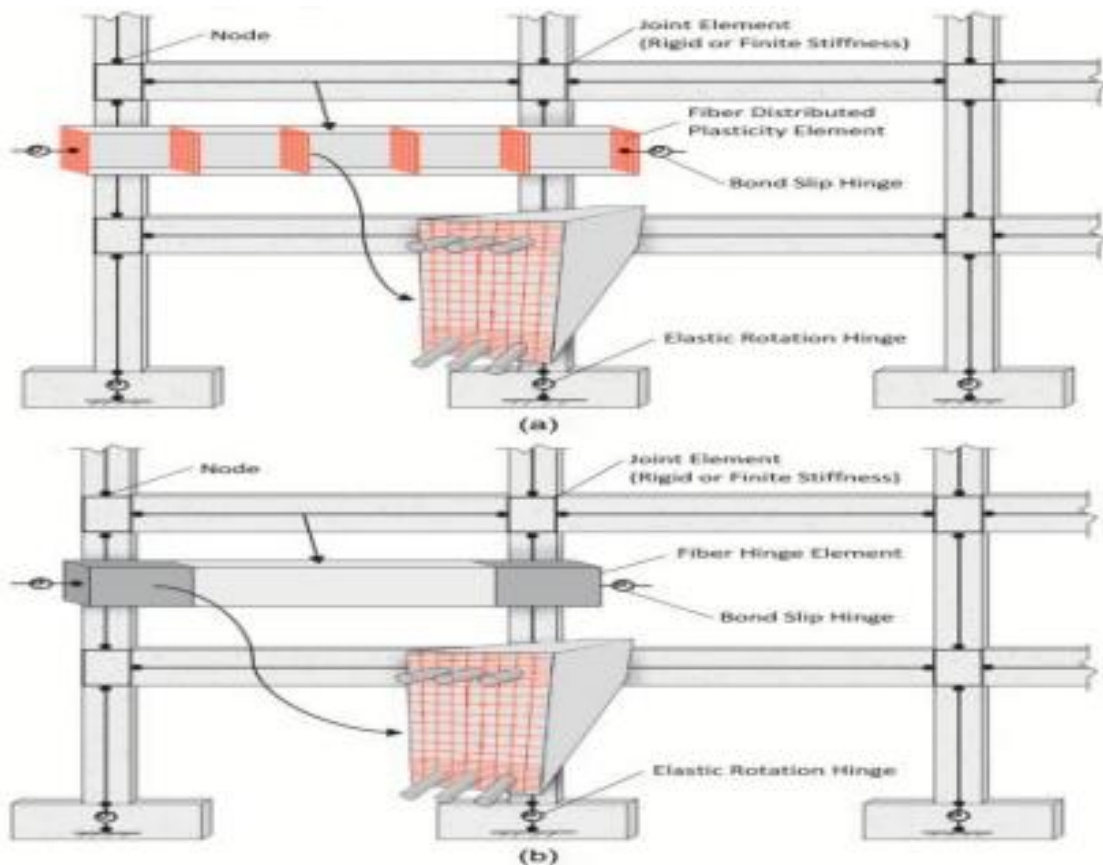
### 2.2.3.2. Modelos de componentes de tipo fibra

Permite representar de manera precisa el comportamiento flexural de los componentes estructurales, incluyendo aquellos que forman parte de las losas. La utilización de elementos tipo fibra facilita una modelación detallada de zonas críticas como las conexiones viga-columna y losa-columna, además de permitir la incorporación de efectos locales como el deslizamiento de las barras de refuerzo. Este enfoque ofrece una capacidad de simulación comparable a la de los modelos de articulación plástica concentrada, pero con mayor resolución en la distribución interna de esfuerzos y deformaciones.

La Figura 8 muestra la idealización basada en el modelo de fibras, lo que permite representar con mayor exactitud el patrón interno de esfuerzos y deformaciones que se desarrolla dentro del sistema estructural bajo carga.

**Figura 8**

*Modelación estructural basada en elementos tipo fibra*



*Nota.* La Figura ilustra dos enfoques distintos para el modelado no lineal de elementos estructurales. Bajo el criterio de plasticidad distribuida, el comportamiento no lineal del elemento se representa mediante la asignación de secciones inelásticas en varios puntos de integración, permitiendo capturar la distribución progresiva de la respuesta plástica a lo largo de su longitud, lo que permite capturar con mayor precisión la distribución de deformaciones y daños. Por otro lado, el criterio de bisagra de fibra concentra las zonas inelásticas únicamente en los extremos del elemento, donde se define una longitud de bisagra plástica predeterminedada. Este último método simplifica el análisis al asumir que la no linealidad se localiza en regiones críticas, como las conexiones viga-columna.

#### **2.2.4. Curva de capacidad**

La curva de capacidad representa gráficamente el desplazamiento horizontal de una estructura sometida a una carga lateral creciente. En su etapa inicial, la curva es lineal, lo que indica un comportamiento elástico de la estructura. A medida que algunos elementos comienzan a ceder, la curva adopta una forma no lineal, reflejando la degradación progresiva de rigidez (ATC-40, 1996).

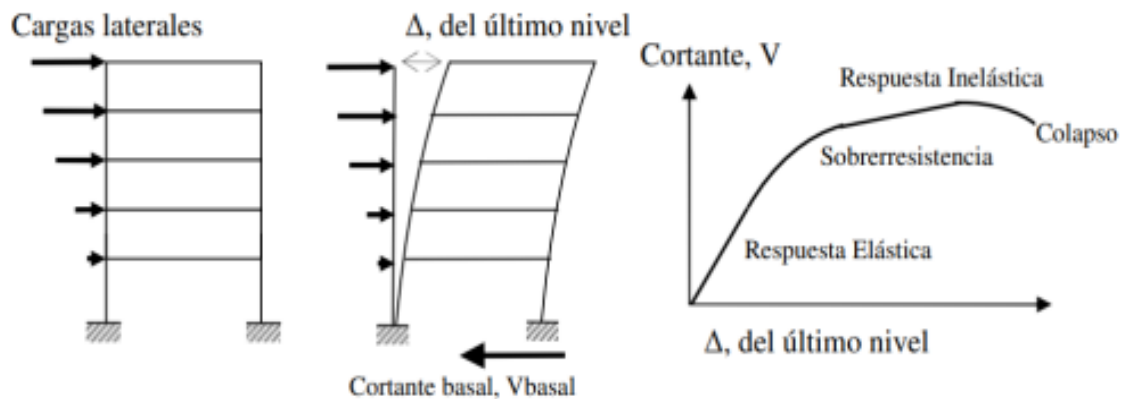
Esta curva se construye a partir de los valores máximos de cortante basal y desplazamiento en el último nivel de la estructura. El procedimiento consiste en aplicar

cargas laterales monotónicas de manera incremental hasta inducir el colapso de la estructura (Mora et al., 2006).

La Figura 9 ilustra el procedimiento de análisis pushover aplicado al modelo estructural, donde se imponen cargas laterales que generan desplazamientos horizontales y esfuerzos cortantes en la base de la estructura. A partir de esta información, se genera una curva que relaciona ambos parámetros, permitiendo evaluar la capacidad sísmica de la estructura hasta el punto de colapso.

**Figura 9**

*Etapas del procedimiento de análisis pushover*



*Nota.* La imagen representa el procedimiento del análisis pushover, en el cual se aplican cargas laterales incrementales sobre la estructura, generando desplazamientos y fuerzas cortantes en la base. A partir de estos resultados, se construye una curva que relaciona el desplazamiento lateral con el cortante basal, la cual se extiende hasta alcanzar el colapso. Esta curva permite evaluar la capacidad sísmica de la estructura, identificando su resistencia, rigidez y ductilidad ante sollicitaciones laterales.

### 2.2.5. Punto de desempeño

Al comparar el espectro de capacidad de la estructura con el espectro de demanda sísmica, la respuesta máxima esperada se identifica en el punto de intersección entre ambas curvas. Este punto, conocido como punto de desempeño (PD), representa el desplazamiento máximo que se anticipa para la edificación ante el sismo considerado como escenario de demanda, y constituye un parámetro clave en la evaluación del comportamiento estructural bajo sollicitaciones sísmicas.

### *Métodos para determinar el punto de desempeño*

#### *- Método del Coeficiente de Desplazamiento (MCD)*

A través de este enfoque numérico, se estima la demanda de desplazamiento estructural aplicando una idealización bilineal de la curva de capacidad, lo que permite simplificar el análisis no lineal. El método incorpora una serie de coeficientes de corrección que ajustan la respuesta estructural, considerando los efectos no lineales del comportamiento. Esta técnica fue introducida en la normativa FEMA 273 (1997) como parte de las directrices para la rehabilitación sísmica de edificaciones.

#### *- Método del Espectro de Capacidad (MEC)*

Este método se basa en una aproximación no lineal, cuyo punto de partida es la evaluación de la demanda sísmica a partir de un espectro elástico, considerando un amortiguamiento convencional del 5 %. Posteriormente, dicho espectro se ajusta para incorporar un amortiguamiento efectivo superior, el cual refleja la energía disipada por el sistema estructural durante la respuesta sísmica. Esta metodología fue desarrollada por Chiroiu y colaboradores en 2005, como parte de los esfuerzos por mejorar la estimación de la demanda en estructuras sometidas a cargas dinámicas.

### **2.2.6. Nivel de desempeño**

De acuerdo con los lineamientos establecidos en la propuesta VISION 2000, la categorización del comportamiento estructural de una edificación se establece conforme a los niveles que se detallan a continuación:

- *Totalmente Operacional*: Corresponde al nivel en el que la estructura no presenta daños. Las afectaciones para los ocupantes son insignificantes, la edificación permanece completamente funcional y no requiere intervenciones ni reparaciones.
- *Operacional (Funcional)*: En esta etapa se presentan daños moderados, predominando en componentes no estructurales, con afectación limitada en los elementos resistentes. No obstante, la seguridad y funcionalidad básica del edificio permanecen intactas.
- *Seguridad de Vida*: Se presentan daños de mayor consideración, incluyendo componentes estructurales. Pueden ocurrir interrupciones en servicios básicos como sistemas eléctricos o mecánicos, y es necesario realizar reparaciones

inmediatas. Aun así, se conserva la integridad mínima para la evacuación segura de los ocupantes.

*mmmmmm*En este nivel, la estructura presenta un deterioro severo que compromete su estabilidad, acercándose al colapso. La edificación es insegura para su ocupación y representa un riesgo crítico para la vida de sus usuarios.

## **2.3. Definición de términos**

### **2.3.1. Análisis lineal**

El análisis se fundamenta en la hipótesis de que los materiales presentan una respuesta elástico-lineal, y que el equilibrio se evalúa sobre la geometría no deformada de la estructura (Villamil & Tarquino, 2018).

### **2.3.2. Análisis no lineal - Pushover**

El análisis pushover constituye una metodología de evaluación estructural que aplica un patrón de cargas laterales crecientes en sucesivas etapas, con el objetivo de inducir una respuesta no lineal en la estructura, llevándola más allá de su comportamiento elástico hasta alcanzar el colapso o una deformación límite (Moreno, 2006).

### **2.3.3. Capacidad estructural**

Corresponde a la evaluación de la capacidad de la estructura frente a la demanda sísmica, en función del comportamiento resistente y deformabilidad de sus elementos (ATC, 1996).

### **2.3.4. Curva de capacidad**

La curva de capacidad de carga de una estructura se representa mediante un diagrama que relaciona la fuerza basal ( $V$ ) con el desplazamiento superior ( $D$ ) de la edificación. Este enfoque se basa en la suposición de que el comportamiento dinámico de la edificación se encuentra gobernado por el modo fundamental de vibración, el cual concentra la mayor parte de la energía modal, por lo que las curvas de capacidad suelen construirse considerando únicamente dicho modo. No obstante, en el caso de estructuras más flexibles o irregulares, es necesario incorporar la influencia de modos

superiores para obtener una representación más precisa del comportamiento dinámico (Hibbeler, 2012).

### **2.3.5. Estructura**

La estructura es un conjunto de elementos estructurales con la finalidad de soportar cargas y transmitir las al suelo, garantizando la función estático-resistente de la edificación (Gonzales, 2020).

### **2.3.6. Desempeño estructural**

El desempeño estructural caracteriza la capacidad de una edificación para responder ante eventos sísmicos de distinta magnitud, de acuerdo con su función, relevancia y categoría definida por el reglamento NTE E.030 (Ramírez, 2014).

### **2.3.7. Desempeño sísmico**

Este enfoque permite diseñar edificaciones con un comportamiento sísmico controlado, en el que se puede anticipar el nivel de daño y la degradación de los elementos estructurales más críticos frente a eventos sísmicos definidos (Tunque & Colos, 2020).

### **2.3.8. Modos naturales de vibración**

Es la frecuencia natural a la que un objeto seguirá vibrando después de golpearlo. Todos los objetos y sistemas mecánicos tienen una frecuencia natural, y pueden presentar múltiples frecuencias dependiendo de su geometría, masa y rigidez. Estos modos naturales definen cómo se comporta un sistema ante excitaciones externas y son fundamentales en el análisis estructural y mecánico (Gonzales, 2019).

### **2.3.9. Niveles de desempeño**

El nivel de desempeño corresponde a una condición estructural límite, definida como tolerable según los lineamientos del diseño sismorresistente, y determinada por tres aspectos esenciales: seguridad, integridad estructural y funcionalidad (ATC, 1996).

### **2.3.10. Punto de desempeño**

En el método del espectro de capacidad, el punto de desempeño se determina como la intersección entre la curva de capacidad estructural y el espectro de demanda. Este desplazamiento corresponde a la deriva máxima determinada mediante el método del coeficiente (ATC 40, 1996).

### **2.3.11. Rótula plástica**

La zona de formación de rótula plástica se define como el segmento del elemento estructural en el cual se concentra la deformación inelástica. De acuerdo con Park et al. (1992), su longitud estimada,  $L_p$  corresponde a un rango de 0,4 a 0,5 veces el peralte de la sección.

### **2.3.12. Sismo**

Los sismos se generan por la liberación repentina de energía acumulada en el interior de la Tierra, la cual se propaga en todas las direcciones mediante ondas sísmicas. Estos eventos pueden presentar una amplia variedad de magnitudes y ubicaciones de foco, dependiendo de la profundidad a la que se originen dentro de la corteza terrestre (Tavera Huarache, 2014).

## CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO

### 3.1. Diseño de la investigación

El presente trabajo desarrolla un diseño de tipo no experimental, ya que las variables que se analizan son tal y como se encuentran en su entorno, de forma directa, no manipulada, ni hay intención de conducta deliberada. Se puede observar, describir y analizar la realidad de forma objetiva, ya que sólo se esperan los datos de interés y no se introducirán condiciones manipuladas que puedan alterar el fenómeno de estudio.

Asimismo, se trata de un diseño de tipo transversal, ya que hay una recogida de datos temporales, evitando introducir condiciones y observando así el estado de un grupo o de un conjunto de variables de interés.

### 3.2. Acciones y actividades

Se llevará a cabo una revisión crítica de la información relacionada con el análisis estático no lineal Pushover y el desempeño sísmico, con el fin de establecer una base teórica sólida. Posteriormente, se aplicará el método en un caso práctico mediante modelado estructural, obteniendo resultados que serán graficados para facilitar su interpretación. Esta evaluación permitirá determinar el comportamiento sísmico de la estructura y verificar si cumple con los niveles de seguridad establecidos, contribuyendo al cumplimiento de los objetivos del estudio.

Actividades a realizar:

- Analizar el diseño de la estructura.
- Estimar las cantidades de acero de refuerzo requeridas en columnas, vigas y muros.
- En el modelo estructural implementado en ETABS se asignan rótulas plásticas, con el fin de simular el comportamiento inelástico de los elementos durante el análisis pushover.
- Como resultado del análisis pushover, se construirá la representación gráfica del comportamiento no lineal del edificio, que correlaciona la fuerza basal aplicada con el desplazamiento global en el punto más alto de la estructura.
- Establecer las demandas sísmicas a la que estará sometida la edificación.

- Determinar los espectros de capacidad y demanda con el fin de comparar los desplazamientos máximos y establecer el punto de desempeño estructural.
- A partir de los datos obtenidos, se efectuará su análisis e interpretación, con el fin de verificar la hipótesis de investigación y establecer conclusiones y recomendaciones que contribuyan al desarrollo del estudio.

### **3.3. Materiales e instrumentos**

#### **3.3.1. Planos**

Como parte del proceso de inspección, se realizarán mediciones detalladas de la estructura con el objetivo de elaborar los planos en planta. La información obtenida resulta esencial para establecer con precisión las dimensiones del elemento estructural del Módulo “J” dentro del modelo estructural. Contar con esta base geométrica proporcionará los fundamentos necesarios para validar el análisis técnico, en coherencia con la variable independiente seleccionada como eje del estudio.

#### **3.3.2. Softwares**

- ETABS es un software especializado en análisis y diseño estructural. Para este estudio se empleará la versión 22 del programa, con el objetivo de modelar la estructura y obtener mediciones precisas de la variable independiente considerada en el análisis.
- Microsoft Excel es un software de hoja de cálculo desarrollado por la empresa Microsoft. En este estudio, se empleará como herramienta para el registro y organización de la información obtenida durante las inspecciones visuales. A través del llenado sistemático de fichas de evaluación en este entorno, se podrá cuantificar y analizar la variable dependiente definida en la investigación.
- AUTOCAD, software de la empresa Autodesk, el cual tiene como función el dibujo y desarrollo de planos arquitectónicos, estructurales, etc; en donde podremos visualizar los planos de las distintas especialidades.

### **3.4. Población y muestra de estudio**

#### **3.4.1. Población**

La población de estudio es la I.E. Guillermo Auza Arce; ubicado en el distrito Alto de la Alianza del departamento de Tacna.

### 3.4.2. Muestra

La muestra seleccionada para el desarrollo de la investigación corresponde al módulo “J” de la I.E. Guillermo Auza Arce, con el fin de evaluar su grado de vulnerabilidad estructural y determinar si existe la necesidad de implementar medidas de reforzamiento estructural.

### 3.5. Operacionalización de variables

En la tabla 1 se presenta Operacionalización de variables de investigación, también en el anexo 1 se muestra la matriz de consistencia que complementa las variables.

**Tabla 1**

Operacionalización de variables de investigación

Variable	Definición conceptual	Dimensiones	Indicador
Variable Independiente:  Análisis no lineal Pushover	El análisis pushover consiste en aplicar cargas laterales incrementales hasta inducir el colapso de la estructura, permitiendo evaluar su capacidad sísmica y determinar el punto de desempeño, que refleja el nivel máximo de respuesta frente al sismo considerado (ARGA, 2024).	Modelado estructural	Definición de propiedades de materiales (concreto y acero de refuerzo)  Asignación de rotulas prácticas y definición de curva de comportamiento.
		Aplicación de cargas laterales	Patrones de carga laterales  Control de desplazamientos
Variable Dependiente:  Evaluación del desempeño sísmico	Corresponde a la respuesta estructural frente a diferentes niveles de sollicitación sísmica. (Gazzani, 2019)	Capacidad estructural	Curva de capacidad (fuerza - desplazamiento)  Punto de fluencia efectiva y desempeño esperado
		Demanda sísmica	Espectro de respuestas elástico e inelástico  Niveles de desempeño sísmico

### 3.6. Procesamiento y análisis de datos

#### 3.6.1. Modelamiento Estructural en el software ETABS versión 22.0.0.

##### a. Propiedad de los materiales

- Concreto

Para la modelación estructural se definen materiales de concreto con resistencias a la compresión de  $f'c = 310,280$  y  $210 \text{ kg/cm}^2$ , según lo indicado en la memoria descriptiva y en concordancia con los estudios de mecánica de suelos. El diseño considera un peso unitario de  $2400 \text{ kg/cm}^3$ , conforme a la Norma Técnica E.020. De acuerdo con la Norma E.060 (punto 8.5), el módulo de elasticidad se calcula mediante la expresión  $E_c = 15000 \sqrt{f'c} \text{ kg/cm}^2$  para concretos de peso normal, y se adopta un coeficiente de Poisson de  $\mu = 0,15$ .

La Figura 10 presenta las propiedades del material definidas en el software ETABS, donde se ha ingresado un concreto con resistencia a la compresión de  $f'c = 310 \text{ kg/cm}^2$ , conforme a los parámetros establecidos en la memoria descriptiva y en concordancia con los criterios normativos aplicables.

**Figura 10**

*Definición del concreto  $f'c = 310 \text{ kg/cm}^2$  en ETABS*

**E** Material Property Data

General Data	
Material Name	CONCRETO $f_c=310$
Material Type	Concrete
Directional Symmetry Type	Isotropic
Material Display Color	<span style="background-color: #00FF00; display: inline-block; width: 20px; height: 10px;"></span> Change...
Material Notes	Modify/Show Notes...
Material Weight and Mass	
<input checked="" type="radio"/> Specify Weight Density	<input type="radio"/> Specify Mass Density
Weight per Unit Volume	2402.77 kgf./m <sup>3</sup>
Mass per Unit Volume	245.014 kgf-s <sup>2</sup> /m <sup>4</sup>
Mechanical Property Data	
Modulus of Elasticity, E	2641022529 kgf./m <sup>2</sup>
Poisson's Ratio, U	0.25
Coefficient of Thermal Expansion, A	0.0000099 1/C
Shear Modulus, G	1056409012 kgf./m <sup>2</sup>
Design Property Data	
Modify/Show Material Property Design Data...	
Advanced Material Property Data	
<input type="button" value="Nonlinear Material Data..."/> <input type="button" value="Material Damping Properties..."/>	
<input type="button" value="Time Dependent Properties..."/>	
Modulus of Rupture for Cracked Deflections	
<input checked="" type="radio"/> Program Default (Based on Concrete Slab Design Code)	
<input type="radio"/> User Specified	

Nota. Extraído del programa ETABS v.22.0.0

## Figura 11

Definición del concreto  $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$  en ETABS

**E** Material Property Data

**General Data**

Material Name: CONCRETO  $f_c=280$

Material Type: Concrete

Directional Symmetry Type: Isotropic

Material Display Color:  Change...

Material Notes: Modify/Show Notes...

**Material Weight and Mass**

Specify Weight Density  Specify Mass Density

Weight per Unit Volume: 2402.77 kgf/m<sup>3</sup>

Mass per Unit Volume: 245.014 kgf-s<sup>2</sup>/m<sup>4</sup>

**Mechanical Property Data**

Modulus of Elasticity, E: 2509980080 kgf/m<sup>2</sup>

Poisson's Ratio, U: 0.25

Coefficient of Thermal Expansion, A: 0.0000099 1/C

Shear Modulus, G: 1003992032 kgf/m<sup>2</sup>

**Design Property Data**

Modify/Show Material Property Design Data...

**Advanced Material Property Data**

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

**Modulus of Rupture for Cracked Deflections**

Program Default (Based on Concrete Slab Design Code)  User Specified

Nota. Extraído del programa ETABS v.22.0.0

## Figura 12

Definición del concreto  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  en ETABS

**E** Material Property Data

**General Data**

Material Name: CONCRETO  $f_c=210$

Material Type: Concrete

Directional Symmetry Type: Isotropic

Material Display Color:  Change...

Material Notes: Modify/Show Notes...

**Material Weight and Mass**

Specify Weight Density  Specify Mass Density

Weight per Unit Volume: 2402.77 kgf/m<sup>3</sup>

Mass per Unit Volume: 245.014 kgf-s<sup>2</sup>/m<sup>4</sup>

**Mechanical Property Data**

Modulus of Elasticity, E: 2173706512 kgf/m<sup>2</sup>

Poisson's Ratio, U: 0.25

Coefficient of Thermal Expansion, A: 0.0000099 1/C

Shear Modulus, G: 869482604.77 kgf/m<sup>2</sup>

**Design Property Data**

Modify/Show Material Property Design Data...

**Advanced Material Property Data**

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

**Modulus of Rupture for Cracked Deflections**

Program Default (Based on Concrete Slab Design Code)  User Specified

*Nota. Extraído del programa ETABS v.22.0.0*

Para definir las propiedades no lineales del concreto confinado, se adopta el modelo propuesto por Mander, Priestley y Park (1988), el cual describe la relación tensión-deformación considerando los efectos del confinamiento proporcionado por los elementos transversales.

En la Figura 13 se presenta la curva tensión-deformación no lineal correspondiente al concreto con resistencia  $f'c = 310 \text{ kg/cm}^2$ , modelada según el enfoque propuesto por Park y colaboradores.

**Figura 13**

*Asignación del comportamiento no lineal del concreto  $f'c=310 \text{ kg/cm}^2$  en ETABS*

**E** Nonlinear Material Data

The screenshot shows the 'Nonlinear Material Data' dialog box in ETABS. It is divided into several sections:

- Material Name and Type:** Material Name is 'CONCRETO f'c=310' and Material Type is 'Concrete, Isotropic'.
- Miscellaneous Parameters:** Hysteresis Type is 'Concrete'. There is a button 'Modify/Show Hysteresis Parameters...'. Drucker-Prager Parameters include Friction Angle (0 deg) and Dilatational Angle (0 deg).
- Acceptance Criteria Strains:** A table with columns for Tension and Compression, and rows for IO, LS, and CP. Values are in m/m.
 

	Tension	Compression	Unit
IO	0.01	-0.003	m/m
LS	0.02	-0.006	m/m
CP	0.05	-0.015	m/m

 There is a checked box for 'Ignore Tension Acceptance Criteria'.
- Stress Strain Curve Definition Options:** 'Parametric' is selected with 'Mander' as the model. There is a button 'Convert to User Defined' and an unselected 'User Defined' option.
- Parametric Strain Data:** Three input fields: 'Strain at Unconfined Compressive Strength, f'c' (0.002219), 'Ultimate Unconfined Strain Capacity' (0.005), and 'Final Compression Slope (Multiplier on E)' (-0.1).

*Nota. Extraído del programa ETABS v.22.0.0*

En la Figura 14 se presenta la curva tensión-deformación no lineal correspondiente al concreto con resistencia  $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ , modelada según el enfoque propuesto por Park y colaboradores.

Figura 14

Asignación del comportamiento no lineal del concreto  $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$  en ETABS

**E** Nonlinear Material Data

Material Name and Type		Miscellaneous Parameters	
Material Name	CONCRETO $f'c=280$	Hysteresis Type	Concrete
Material Type	Concrete, Isotropic	Modify/Show Hysteresis Parameters...	
Acceptance Criteria Strains		Drucker-Prager Parameters	
	Tension	Friction Angle	0 deg
	Compression	Dilatational Angle	0 deg
IO	0.01	-0.003	m/m
LS	0.02	-0.006	m/m
CP	0.05	-0.015	m/m
<input checked="" type="checkbox"/> Ignore Tension Acceptance Criteria			
Parametric Strain Data		Stress Strain Curve Definition Options	
Strain at Unconfined Compressive Strength, $f'c$		<input type="radio"/> Parametric Mander	
Ultimate Unconfined Strain Capacity		<input type="radio"/> User Defined	
Final Compression Slope (Multiplier on E)		Convert to User Defined	
		0.002219	
		0.005	
		-0.1	

Nota. Extraído del programa ETABS v.22.0.0

En la Figura 15 se presenta la curva tensión-deformación no lineal correspondiente al concreto con resistencia  $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ , modelada según el enfoque propuesto por Park y colaboradores.

Figura 15

Asignación del comportamiento no lineal del concreto  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  en ETABS

**E** Nonlinear Material Data

Material Name and Type		Miscellaneous Parameters	
Material Name	CONCRETO $f'c=210$	Hysteresis Type	Concrete
Material Type	Concrete, Isotropic	Modify/Show Hysteresis Parameters...	
Acceptance Criteria Strains		Drucker-Prager Parameters	
	Tension	Friction Angle	0 deg
	Compression	Dilatational Angle	0 deg
IO	0.01	-0.003	m/m
LS	0.02	-0.006	m/m
CP	0.05	-0.015	m/m
<input checked="" type="checkbox"/> Ignore Tension Acceptance Criteria			
Parametric Strain Data		Stress Strain Curve Definition Options	
Strain at Unconfined Compressive Strength, $f'c$		<input type="radio"/> Parametric Mander	
Ultimate Unconfined Strain Capacity		<input type="radio"/> User Defined	
Final Compression Slope (Multiplier on E)		Convert to User Defined	
		0.002219	
		0.005	
		-0.1	

Nota. Extraído del programa ETABS v.22.0.0

- Acero de refuerzo

En la Figura 16 se especifican las propiedades del acero estructural utilizado, el cual posee un esfuerzo de fluencia de  $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$ , un peso unitario de  $7850 \text{ kg/cm}^2$  conforme a la Norma Técnica E.020, y un módulo de elasticidad de  $20\,000\,000 \text{ kg/cm}^2$ , valor típico para acero de construcción.

**Figura 16**

*Configuración del acero de refuerzo en ETABS*

**E** Material Property Data

**General Data**

Material Name: ACERO Fy=4200

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: 7849.05 kgf/m<sup>3</sup>

Mass per Unit Volume: 800.38 kgf-s<sup>2</sup>/m<sup>4</sup>

**Mechanical Property Data**

Modulus of Elasticity, E: 20389019281 kgf/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...

Nota. Extraído del programa ETABS v.22.0.0

La Figura 17 ilustra el comportamiento no lineal del acero de refuerzo con una resistencia de fluencia de  $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$ , modelado según el enfoque propuesto por Park.

**Figura 17**

*Configuración de los parámetros mecánicos no lineales del acero de refuerzo en ETABS*

**Material Name and Type**

Material Name: ACERO Fy=4200

Material Type: Rebar, Uniaxial

**Miscellaneous Parameters**

Hysteresis Type: Kinematic

**Acceptance Criteria Strains**

	Tension	Compression	
IO	0.01	-0.005	cm/cm
LS	0.02	-0.01	cm/cm
CP	0.05	-0.02	cm/cm

**Stress Strain Curve Definition Options**

Parametric: Simple  User Defined

**Parametric Strain Data**

Strain at Onset of Strain Hardening: 0.01

Ultimate Strain Capacity: 0.09

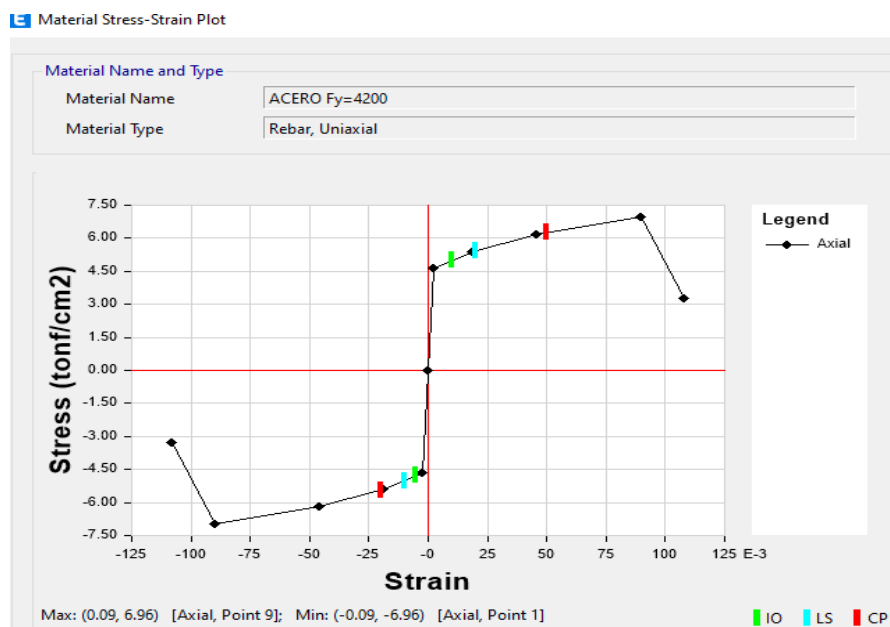
Final Slope (Multiplier on E): -0.1

Nota. Extraído del programa ETABS v.22.0.0

En la Figura 18 se representa el modelo no lineal del acero de refuerzo con  $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$ , empleando el enfoque metodológico desarrollado por Park para simular su comportamiento plástico.

**Figura 18**

Acero de refuerzo: grafico de tensión – deformación en ETABS



Nota. Extraído del programa ETABS v.22.0.0

- Concreto esperado

Para la modelación estructural se empleó también un concreto esperado, definido a partir de las propiedades teóricas y normativas consideradas en el modelo matemático. Este enfoque permite establecer un parámetro de referencia que, al ser contrastado con la práctica constructiva real, puede evidenciar diferencias significativas en cuanto a resistencia, rigidez y ductilidad. En efecto, el concreto utilizado en obra, bajo condiciones adecuadas de dosificación, curado y control de calidad, puede llegar a presentar mejores cualidades mecánicas que las asumidas en el modelo analítico, incrementando su capacidad de absorción de energía y su desempeño frente a solicitaciones sísmicas.

La Figura 19 presenta las propiedades del material definidas en el software ETABS, donde se ha ingresado un concreto esperado con resistencia a la compresión de  $f'c = 310 \text{ kg/cm}^2$ .

**Figura 19**

*Definición del concreto esperado  $f'c=310 \text{ kg/cm}^2$  en ETABS*

**E** Material Property Data

**General Data**

Material Name: C 310 (Esperado)

Material Type: Concrete

Directional Symmetry Type: Isotropic

Material Display Color:  Change...

Material Notes: Modify/Show Notes...

**Material Weight and Mass**

Specify Weight Density  Specify Mass Density

Weight per Unit Volume: 2402.77 kgf/m<sup>3</sup>

Mass per Unit Volume: 245.014 kgf-s<sup>2</sup>/m<sup>4</sup>

**Mechanical Property Data**

Modulus of Elasticity, E: 3011228985 kgf/m<sup>2</sup>

Poisson's Ratio, U: 0.25

Coefficient of Thermal Expansion, A: 0.0000099 1/C

Shear Modulus, G: 1204491594 kgf/m<sup>2</sup>

**Design Property Data**

Modify/Show Material Property Design Data...

**Advanced Material Property Data**

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

**Modulus of Rupture for Cracked Deflections**

Program Default (Based on Concrete Slab Design Code)

User Specified

Nota. Extraído del programa ETABS v.22.0.0

**Figura 20**

*Definición del concreto esperado  $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$  en ETABS*

**E** Material Property Data

**General Data**

Material Name: C 280 (Esperado)

Material Type: Concrete

Directional Symmetry Type: Isotropic

Material Display Color:  Change...

Material Notes: Modify/Show Notes...

**Material Weight and Mass**

Specify Weight Density  Specify Mass Density

Weight per Unit Volume: 2402.77 kgf/m<sup>3</sup>

Mass per Unit Volume: 245.014 kgf-s<sup>2</sup>/m<sup>4</sup>

**Mechanical Property Data**

Modulus of Elasticity, E: 2861817604 kgf/m<sup>2</sup>

Poisson's Ratio, U: 0.25

Coefficient of Thermal Expansion, A: 0.0000099 1/C

Shear Modulus, G: 1144727042 kgf/m<sup>2</sup>

**Design Property Data**

Modify/Show Material Property Design Data...

**Advanced Material Property Data**

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

**Modulus of Rupture for Cracked Deflections**

Program Default (Based on Concrete Slab Design Code)

User Specified

Nota. Extraído del programa ETABS v.22.0.0

## Figura 21

Definición del concreto esperado  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  en ETABS

**E** Material Property Data

**General Data**

Material Name: C 210 (Esperado)

Material Type: Concrete

Directional Symmetry Type: Isotropic

Material Display Color:   Change...

Material Notes: Modify/Show Notes...

**Material Weight and Mass**

Specify Weight Density  Specify Mass Density

Weight per Unit Volume: 2402.77 kgf/m<sup>3</sup>

Mass per Unit Volume: 245.014 kgf-s<sup>2</sup>/m<sup>4</sup>

**Mechanical Property Data**

Modulus of Elasticity, E: 2478406746 kgf/m<sup>2</sup>

Poisson's Ratio, U: 0.25

Coefficient of Thermal Expansion, A: 0.0000099 1/C

Shear Modulus, G: 991362698.51 kgf/m<sup>2</sup>

**Design Property Data**

Modify/Show Material Property Design Data...

**Advanced Material Property Data**

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

**Modulus of Rupture for Cracked Deflections**

Program Default (Based on Concrete Slab Design Code)  User Specified

Nota. Extraído del programa ETABS v.22.0.0

La Figura 22 se presenta la curva tensión-deformación no lineal correspondiente al concreto esperado con resistencia  $f'c = 310 \text{ kg/cm}^2$ .

## Figura 22

Asignación del comportamiento no lineal del concreto esperado  $f'c=310 \text{ kg/cm}^2$  en ETABS

**E** Nonlinear Material Data

**Material Name and Type**

Material Name: C 310 (Esperado)

Material Type: Concrete, Isotropic

**Miscellaneous Parameters**

Hysteresis Type: Takeda

Drucker-Prager Parameters

Friction Angle: 0 deg

Dilatational Angle: 0 deg

**Acceptance Criteria Strains**

	Tension	Compression	
IO	0.01	-0.003	m/m
LS	0.02	-0.006	m/m
CP	0.05	-0.015	m/m

Ignore Tension Acceptance Criteria

**Stress Strain Curve Definition Options**

Parametric: Mander  User Defined

Convert to User Defined

**Parametric Strain Data**

Strain at Unconfined Compressive Strength,  $f'c$ : 0.002

Ultimate Unconfined Strain Capacity: 0.005

Final Compression Slope (Multiplier on E): -0.1

Nota. Extraído del programa ETABS v.22.0.0

En la Figura 23 se presenta la curva tensión-deformación no lineal correspondiente al concreto esperado con resistencia  $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ .

### Figura 23

Asignación del comportamiento no lineal del concreto esperado  $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$  en ETABS

**E Nonlinear Material Data**

Material Name and Type		Miscellaneous Parameters	
Material Name	C 280 (Esperado)	Hysteresis Type	Takeda
Material Type	Concrete, Isotropic	Drucker-Prager Parameters	
		Friction Angle	0 deg
		Dilatational Angle	0 deg
Acceptance Criteria Strains		Stress Strain Curve Definition Options	
	Tension	Compression	
IO	0.01	-0.003	cm/cm
LS	0.02	-0.006	cm/cm
CP	0.05	-0.015	cm/cm
<input checked="" type="checkbox"/> Ignore Tension Acceptance Criteria			
Parametric Strain Data		<input checked="" type="radio"/> Parametric <span style="margin-left: 20px;">Mander</span> <input type="radio"/> User Defined	
Strain at Unconfined Compressive Strength, $f'c$		0.002	
Ultimate Unconfined Strain Capacity		0.005	
Final Compression Slope (Multiplier on E)		-0.1	

Nota. Extraído del programa ETABS v.22.0.0

En la Figura 24 se presenta la curva tensión-deformación no lineal correspondiente al concreto esperado con resistencia  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ .

### Figura 24

Asignación del comportamiento no lineal del concreto esperado  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  en ETABS

**E Nonlinear Material Data**

Material Name and Type		Miscellaneous Parameters	
Material Name	C 210 (Esperado)	Hysteresis Type	Takeda
Material Type	Concrete, Isotropic	Drucker-Prager Parameters	
		Friction Angle	0 deg
		Dilatational Angle	0 deg
Acceptance Criteria Strains		Stress Strain Curve Definition Options	
	Tension	Compression	
IO	0.01	-0.003	m/m
LS	0.02	-0.006	m/m
CP	0.05	-0.015	m/m
<input checked="" type="checkbox"/> Ignore Tension Acceptance Criteria			
Parametric Strain Data		<input checked="" type="radio"/> Parametric <span style="margin-left: 20px;">Mander</span> <input type="radio"/> User Defined	
Strain at Unconfined Compressive Strength, $f'c$		0.002	
Ultimate Unconfined Strain Capacity		0.005	
Final Compression Slope (Multiplier on E)		-0.1	

Nota. Extraído del programa ETABS v.22.0.0

- Acero de refuerzo esperado

En la Figura 25 se especifican las propiedades del acero estructural esperado utilizado, el cual posee un esfuerzo de fluencia de  $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$ , un peso unitario de  $7850 \text{ kg/cm}^3$  conforme a la Norma Técnica E.020, y un módulo de elasticidad de  $20\,000\,000 \text{ kg/cm}^2$ , valor típico para acero de construcción.

**Figura 25**

*Configuración del acero de refuerzo en ETABS*

The screenshot shows the 'Material Property Data' dialog box in ETABS. The 'General Data' section includes: Material Name: Fy=4200 (Esperado); Material Type: Rebar; Directional Symmetry Type: Uniaxial; Material Display Color: (highlighted in cyan); Material Notes: (empty). The 'Material Weight and Mass' section has: Specify Weight Density selected; Weight per Unit Volume: 7849.05 kgf/m³; Mass per Unit Volume: 800.38 kgf-s²/m⁴. The 'Mechanical Property Data' section has: Modulus of Elasticity, E: 20389019281 kgf/m²; Coefficient of Thermal Expansion, A: 0.0000117 1/C. The 'Design Property Data' section has a button 'Modify/Show Material Property Design Data...'. The 'Advanced Material Property Data' section has buttons for 'Nonlinear Material Data...', 'Material Damping Properties...', and 'Time Dependent Properties...'.

Nota. Extraído del programa ETABS v.22.0.0

La Figura 26 ilustra el comportamiento no lineal del acero de refuerzo esperado con una resistencia de fluencia de  $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$ .

**Figura 26**

*Configuración de los parámetros mecánicos no lineales del acero de refuerzo esperado*

The screenshot shows the dialog box for nonlinear mechanical parameters. The 'Material Name and Type' section has: Material Name: ACERO Fy=4200; Material Type: Rebar, Uniaxial. The 'Miscellaneous Parameters' section has: Hysteresis Type: Kinematic. The 'Acceptance Criteria Strains' section has a table:

	Tension	Compression	
IO	0.01	-0.005	cm/cm
LS	0.02	-0.01	cm/cm
CP	0.05	-0.02	cm/cm

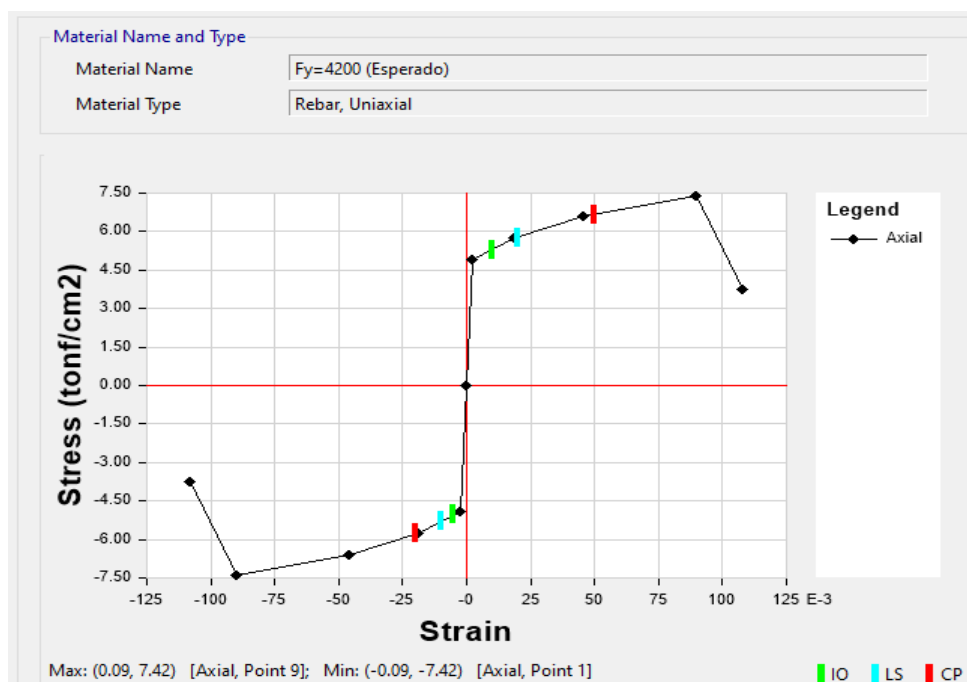
The 'Stress Strain Curve Definition Options' section has: Parametric selected; Simple selected; Convert to User Defined button. The 'User Defined' option is unselected. The 'Parametric Strain Data' section has: Strain at Onset of Strain Hardening: 0.01; Ultimate Strain Capacity: 0.09; Final Slope (Multiplier on E): -0.1.

*Nota. Extraído del programa ETABS v.22.0.0*

En la Figura 27 se representa el modelo no lineal del acero de refuerzo con  $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$ , empleando el enfoque metodológico desarrollado por Park para simular su comportamiento plástico.

**Figura 27**

*Acero de refuerzo: grafico de tensión – deformación en ETABS*



*Nota. Extraído del programa ETABS v.22.0.0*

## b. Elementos estructurales

Los elementos estructurales considerados en el análisis fueron definidos con base en el plano adjunto en el Anexo 2.

- Placas

El modelo estructural incorpora tres tipos distintos de placas. La PL - 01 (1.20 X 0.60 X 0.25), es una placa tipo "T" forman el pórtico principal; PL - 07 (8.50 X 0.25 X 1.00), placa de tipo "C" y PL - 09 (8.50 X 0.25 X 1.00), placa de tipo "I"; aportan rigidez lateral y forman el pórtico principal

La Figura 28 ilustra las propiedades para el modelado de las placas PL – 01, PL – 07 y PL - 09. Utilizando concreto confinado con resistencias a la compresión de  $f'c = 310, 280$  y  $210 \text{ kg/cm}^2$ , según los criterios establecidos en el diseño estructural.

**Figura 28**

*Sección de la placa PL - 01 en ETABS*

*Nota. Extraído del programa ETABS v.22.0.0*

- Vigas

El sistema estructural se compone por dos tipos de vigas: las VP-01 y VP-02, que integran el pórtico principal, y las VS-01, VCH-01 y VB-01, que cumplen la función de vigas secundarias de enlace entre los demás componentes.

La Figura 29 ilustra la configuración de la viga VP-01, diseñada para utilizar concreto de resistencias  $f'c = 280$  y  $210 \text{ kg/cm}^2$ , y cuyas dimensiones de  $0.25 \text{ m} \times 0.70 \text{ m}$ .

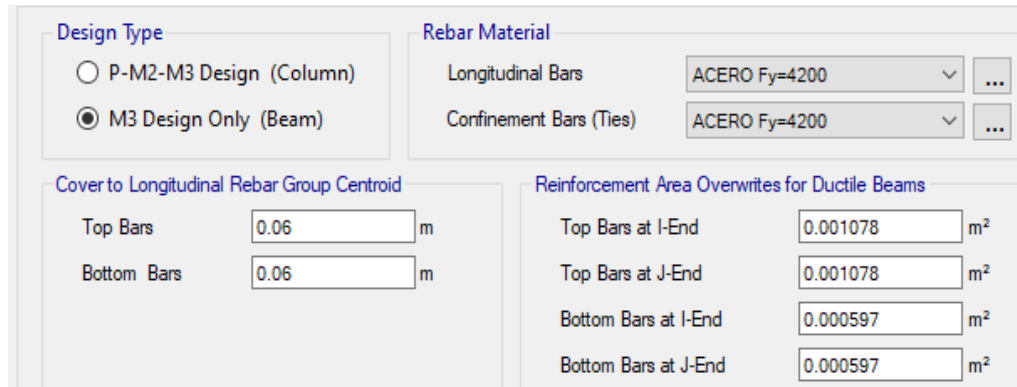
**Figura 29**

*Configuración de la sección transversal de la viga VP-01 en ETABS*

En la Figura 30 se detalla la disposición del acero de refuerzo para la viga VP-01 (0.25 m X 0.70 m), el cual presenta una resistencia de fluencia de  $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$ .

**Figura 30**

*Datos del acero en la viga principal 01 en ETABS*



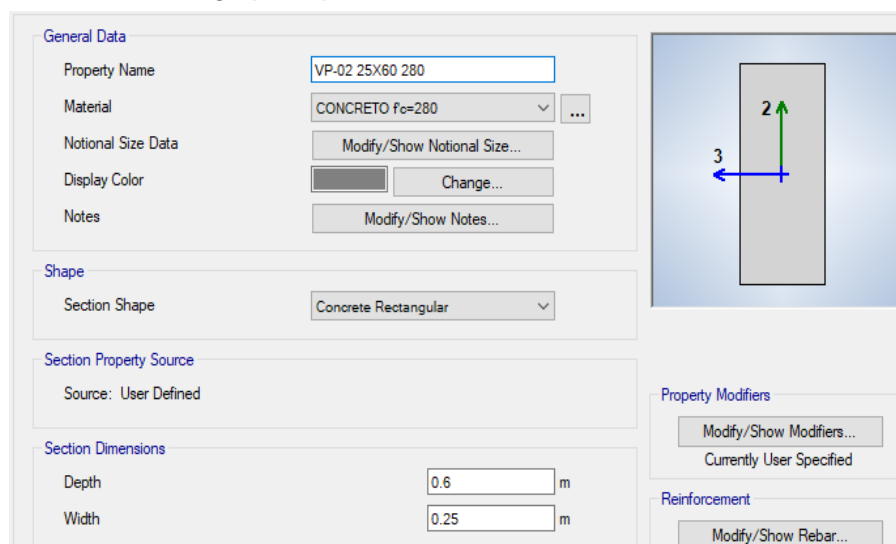
Design Type		Rebar Material	
<input type="radio"/>	P-M2-M3 Design (Column)	Longitudinal Bars	ACERO Fy=4200
<input checked="" type="radio"/>	M3 Design Only (Beam)	Confinement Bars (Ties)	ACERO Fy=4200
Cover to Longitudinal Rebar Group Centroid		Reinforcement Area Overwrites for Ductile Beams	
Top Bars	0.06 m	Top Bars at I-End	0.001078 m <sup>2</sup>
Bottom Bars	0.06 m	Top Bars at J-End	0.001078 m <sup>2</sup>
		Bottom Bars at I-End	0.000597 m <sup>2</sup>
		Bottom Bars at J-End	0.000597 m <sup>2</sup>

*Nota. Extraído del programa ETABS v.22.0.0*

La Figura 31 muestra la viga principal VP-02 (0.25 × 0.60), definida con un concreto de resistencia  $f'_c = 280 \text{ kg/cm}^2$  y  $210 \text{ kg/cm}^2$ .

**Figura 31**

*Sección de la viga principal 02 en ETABS*



General Data	
Property Name	VP-02 25X60 280
Material	CONCRETO fc=280
Notional Size Data	Modify/Show Notional Size...
Display Color	Change...
Notes	Modify/Show Notes...
Shape	
Section Shape	Concrete Rectangular
Section Property Source	
Source	User Defined
Section Dimensions	
Depth	0.6 m
Width	0.25 m

*Nota. Extraído del programa ETABS v.22.0.0*

En la Figura 32 se detalla la configuración del acero de refuerzo para la viga VP-02 (0.25 m X 0.60 m), el cual presenta una resistencia de fluencia de  $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$ .

**Figura 32**

Datos del acero en la viga principal 02 en ETABS

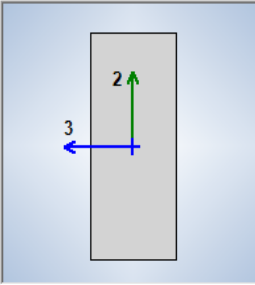
Design Type		Rebar Material	
<input type="radio"/>	P-M2-M3 Design (Column)	Longitudinal Bars	ACERO Fy=4200
<input checked="" type="radio"/>	M3 Design Only (Beam)	Confinement Bars (Ties)	ACERO Fy=4200
Cover to Longitudinal Rebar Group Centroid		Reinforcement Area Overwrites for Ductile Beams	
Top Bars	0.06 m	Top Bars at I-End	0.000682 m <sup>2</sup>
Bottom Bars	0.06 m	Top Bars at J-End	0.000682 m <sup>2</sup>
		Bottom Bars at I-End	0.000682 m <sup>2</sup>
		Bottom Bars at J-End	0.000682 m <sup>2</sup>

Nota. Extraído del programa ETABS v.22.0.0

En la Figura 33, se muestra la viga secundaria VS - 01 (0.25 X 0.60), definida con un concreto de resistencia  $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$  y  $210 \text{ kg/cm}^2$ .

**Figura 33**

Sección de la viga secundaria VS-01 en ETABS

General Data	
Property Name	VS-01 25X60 280 (N1 y N2)
Material	CONCRETO $f_c=280$
Notional Size Data	Modify/Show Notional Size...
Display Color	Change...
Notes	Modify/Show Notes...
Shape	
Section Shape	Concrete Rectangular
Section Property Source	
Source:	User Defined
Section Dimensions	
Depth	0.6 m
Width	0.25 m
	
Property Modifiers	
Modify/Show Modifiers...	
Currently User Specified	
Reinforcement	
Modify/Show Rebar...	

Nota. Extraído del programa ETABS v.22.0.0

En la Figura 34 se detalla la configuración del acero de refuerzo correspondiente a la viga VS-01 (0.25 m x 0.60 m), el cual ha sido definido con un esfuerzo de fluencia acorde a los parámetros de diseño  $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$

**Figura 34**

Datos del acero en la viga secundaria 01 en ETABS

Design Type		Rebar Material	
<input type="radio"/>	P-M2-M3 Design (Column)	Longitudinal Bars	ACERO Fy=4200
<input checked="" type="radio"/>	M3 Design Only (Beam)	Confinement Bars (Ties)	ACERO Fy=4200
Cover to Longitudinal Rebar Group Centroid		Reinforcement Area Overwrites for Ductile Beams	
Top Bars	0.06 m	Top Bars at I-End	0.000682 m <sup>2</sup>
Bottom Bars	0.06 m	Top Bars at J-End	0.000682 m <sup>2</sup>
		Bottom Bars at I-End	0.000682 m <sup>2</sup>
		Bottom Bars at J-End	0.000682 m <sup>2</sup>

Nota. Extraído del programa ETABS v.22.0.0

En la Figura 35, se muestra la viga chata VCH - 01 (0.25 X 0.20), definida con un concreto de resistencia  $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$  y  $210 \text{ kg/cm}^2$ .

**Figura 35**

Sección de la viga chata VCH-01 en ETABS

General Data	
Property Name	VCH-01 25X20 280
Material	CONCRETO Fc=280
Notional Size Data	Modify/Show Notional Size...
Display Color	Change...
Notes	Modify/Show Notes...
Shape	
Section Shape	Concrete Rectangular
Section Property Source	
Source:	User Defined
Section Dimensions	
Depth	0.2 m
Width	0.25 m

Nota. Extraído del programa ETABS v.22.0.0

En la Figura 36 se detalla la configuración del acero de refuerzo correspondiente a la viga VCH-01 (0.25 m x 0.20 m), el cual ha sido definido con un esfuerzo de fluencia acorde a los parámetros de diseño  $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$ .

**Figura 36**

*Datos del acero en la viga chata 01 en ETABS*

The screenshot shows the 'Rebar Material' and 'Reinforcement Area Overwrites for Ductile Beams' settings in ETABS. The 'Design Type' is set to 'M3 Design Only (Beam)'. The 'Rebar Material' is set to 'ACERO Fy=4200' for both 'Longitudinal Bars' and 'Confinement Bars (Ties)'. The 'Cover to Longitudinal Rebar Group Centroid' is set to 0.06 m for both 'Top Bars' and 'Bottom Bars'. The 'Reinforcement Area Overwrites for Ductile Beams' are set to 0 m² for 'Top Bars at I-End', 'Top Bars at J-End', 'Bottom Bars at I-End', and 'Bottom Bars at J-End'.

*Nota. Extraído del programa ETABS v.22.0.0*

En la Figura 37, se muestra la viga VB - 01 (0.25 X 0.60), definida con un concreto de resistencia  $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$  y  $210 \text{ kg/cm}^2$ .

**Figura 37**

*Sección de la viga VB-01 en ETABS*

The screenshot shows the 'General Data' and 'Section Dimensions' for the beam VB-01 in ETABS. The 'Property Name' is 'VB-01 20X60 280'. The 'Material' is 'CONCRETO Fc=280'. The 'Section Shape' is 'Concrete Rectangular'. The 'Section Dimensions' are 'Depth' 0.6 m and 'Width' 0.2 m. A diagram on the right shows the beam section with a vertical axis labeled '2' and a horizontal axis labeled '3'.

*Nota. Extraído del programa ETABS v.22.0.0*

En la Figura 38 se detalla la configuración del acero de refuerzo correspondiente a la viga VB-01 (0.25 m x 0.60 m), el cual ha sido definido con un esfuerzo de fluencia acorde a los parámetros de diseño  $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$ .

**Figura 38**

*Datos del acero en la viga VB-01 en ETABS*

*Nota. Extraído del programa ETABS v.22.0.0*

- Losa aligerada

En el modelo estructural, la losa aligerada se definirá como un slab tipo membrana de espesor reducido, ya que las cargas serán aplicadas uniformemente mediante el metrado de cargas.

La Figura 39 muestra la definición de la losa hecha de concreto  $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$  y  $210 \text{ kg/cm}^2$ , modelada como membrana tipo slab.

**Figura 39**

*Propiedades de la losa aligerada en ETABS*

*Nota. Extraído del programa ETABS v.22.0.0*

### c. Análisis de cargas por gravedad

De acuerdo con la Norma Técnica E.020, las cargas sobre las losas aligeradas se establecen según el tipo de edificación. Para el presente caso, al tratarse de una institución educativa, se aplican las cargas normativas correspondientes a dicha categoría funcional.

- Carga Muerta
  - Peso de acabado de techo =  $100 \text{ kg/m}^2$
  - Peso del aligerado

A partir del análisis de los planos, se determina que el sistema de aligerado emplea bloquetas como material de relleno. Por ello, el cálculo de la carga superficial en  $\text{kg/m}^2$  se efectuará siguiendo los criterios definidos en la Norma E.020.

**Tabla 2**

*Peso propio de la losa aligerada*

<b>Losa aligerada armada en una dirección</b>	<b>Con viguetas de 0.10 m de ancho y 0.40 m entre ejes</b>	
<b>Espesor del aligerado (m)</b>	<b>Espesor de la losa superior en metros</b>	<b>Peso propio kPa (<math>\text{kgf/m}^2</math>)</b>
0,17	0.05	2.8(280)
0,2	0.06	3.0(300)
0,25	0.07	3.5 (350)
0,30	0.08	4.2(420)

Considerando los datos iniciales, se introducirá un factor de corrección con el fin de determinar el peso unitario ( $\text{kg/m}^2$ ) correspondiente al sistema de losa aligerada con bloquetas.

En la Figura 34 se detallan las características físicas del ladrillo hueco N°15, tales como su masa y dimensiones. Este tipo de ladrillo se utiliza como componente de relleno en losas aligeradas de 20 cm de altura.

**Figura 40***Datos del ladrillo hueco 15***LADRILLO TECHO 15**

**Nombre Comercial**  
TECHO 15

**Denominación Técnica**  
LADRILLO TECHO 15

**Uso**  
Lozas aligeradas de 15 cm. de alto

**Dimensiones**  
15 x 30 x 30 cm.

**Peso**  
7.7 kg. (Promedio)

**Unidad por m2**  
09

*Nota. Extraído de la página de ladrillos MAXX.*

**Tabla 3***Metrado de cargas N°01*

<b>Para viguetas de 0.10 m de ancho y 0.40 m entre ejes – Losa Aligerada h=0.20 m</b>					
	<b>Largo</b>	<b>Ancho</b>	<b>Alto</b>	<b>Densidad</b>	<b>Peso (Kg)</b>
Losa de Concreto	0.3	0.4	0.05	2400	14.4
Vigüeta	0.3	0.1	0.15	2400	10.8
Ladrillo	Und	-	-	Peso/und	Peso (Kg)
	1	-	-	7.8	7.8
Total (kg)					33
Área (m2)					0.12
Calculo (kg/m2)					275
Norma E.020					300
Factor de corrección					1.09

Con el factor de corrección ajustado a 1.10, se define el peso por metro cuadrado del relleno de bloqueta para una losa con altura  $h = 0.20$  m, conforme al metrado estructural:

**Tabla 4**

### Peso de ladrillo

Producto	dimensiones			Peso (Kg)
	Largo	Ancho	Alto	
techo 15	30	30	15	10.25

Nota. Peso según las dimensiones de la bloqueta

- Carga Viva
  - Sobrecarga para Pasillos =  $400 \text{ kg/m}^2$
  - Sobrecarga para Deposito =  $500 \text{ kg/m}^2$
  - Sobrecarga para Talleres =  $350 \text{ kg/m}^2$
  - Sobrecarga para Techos =  $100 \text{ kg/m}^2$

Para calcular el peso  $P$  de la estructura, identificada como edificación esencial según la Norma E.030 (categoría A), se suman las cargas permanentes junto con un porcentaje de la carga viva, siguiendo la fórmula establecida por dicha normativa.

- Para edificaciones esenciales (A) y de uso especial (B), se incorpora el 50 % de la sobrecarga de uso en la estimación del peso sísmico, conforme a lo establecido en la Norma E.030.
- Para azoteas y cubiertas, se incorpora el 25 % de la sobrecarga de uso en la estimación del peso sísmico, según lo estipulado por la Norma E.030.

Según se observa en la Figura 35, la masa estructural ha sido definida en ETABS siguiendo los parámetros exigidos por la norma E.030 para efectos de análisis dinámico.

**Figura 41**

*Determinación de los factores de participación de carga viva en el análisis estructural*

The screenshot displays the 'Mass Multipliers for Load Patterns' dialog box in ETABS. On the left, the 'Mass Source Name' is set to '100%D+50%L'. Under 'Mass Source', the 'Specified Load Patterns' checkbox is checked. On the right, a table lists the multipliers for 'Dead' and 'Live' load patterns. The 'Dead' multiplier is 1, and the 'Live' multiplier is 0.5. Below the table, the 'Mass Options' section has 'Include Lateral Mass' and 'Lump Lateral Mass at Story Levels' checked, while 'Include Vertical Mass' is unchecked.

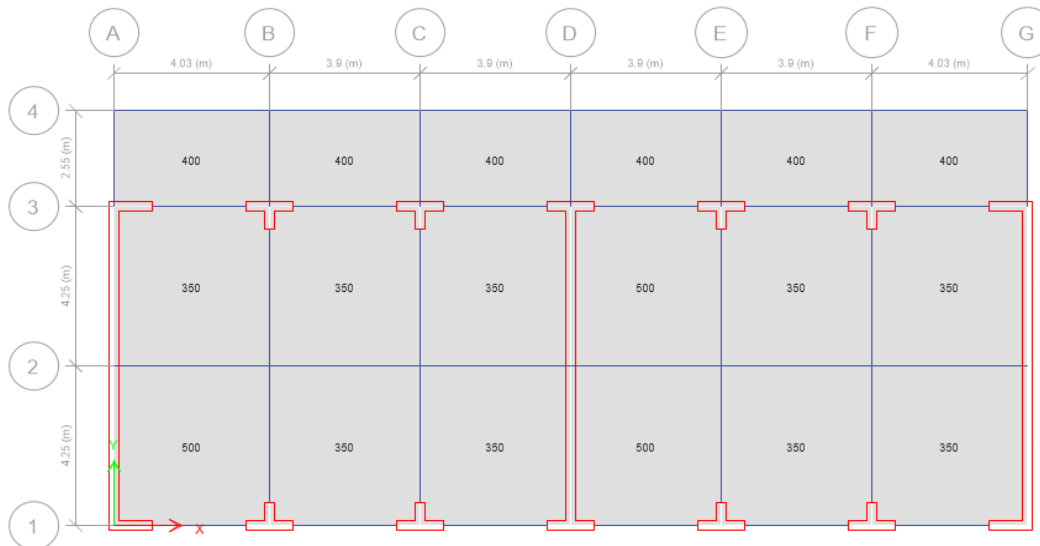
Load Pattern	Multiplier
Dead	1
Live	0.5

Nota. Extraído del programa ETABS v.22.0.0

En la Figura 42 se representa la aplicación de la carga viva en el primer nivel del modelo estructural, definida en ETABS según el metrado de cargas de gravedad.

**Figura 42**

. Asignación de carga viva del primer nivel.

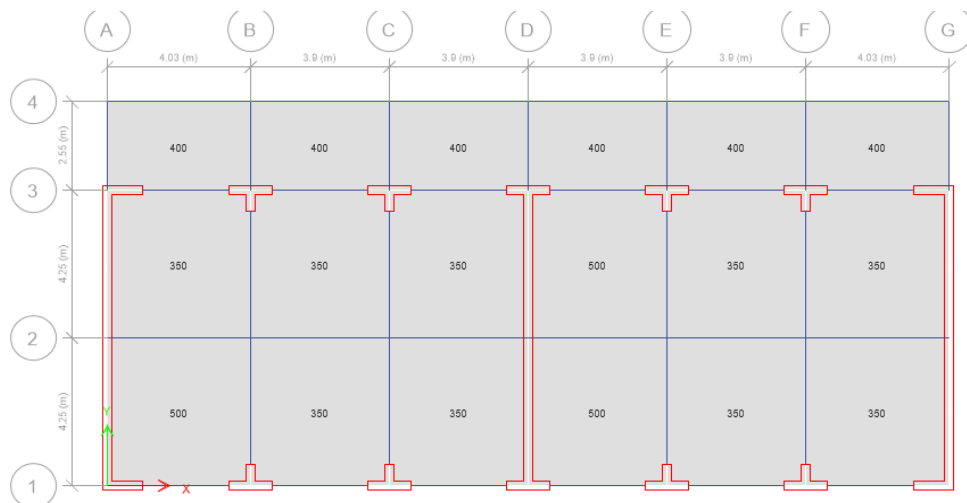


Nota. Extraído del programa ETABS v.22.0.0

En la Figura 43 se representa la aplicación de la carga viva en el segundo nivel del modelo estructural, definida en ETABS según el metrado de cargas de gravedad.

**Figura 43**

Asignación de carga viva del segundo nivel

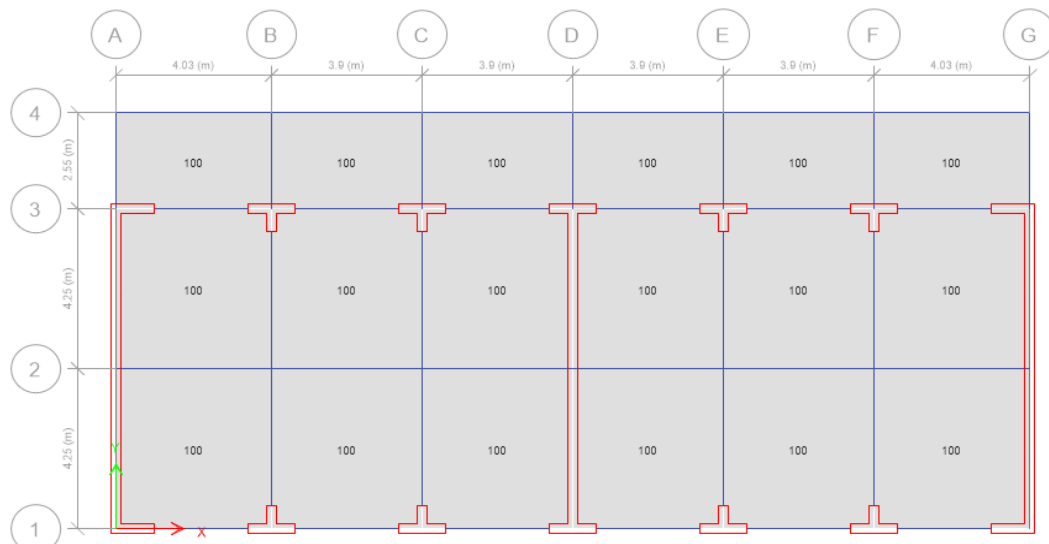


Nota. Extraído del programa ETABS v.22.0.0

En la Figura 44 se representa la aplicación de la carga viva en el tercer nivel del modelo estructural, definida en ETABS según el metrado de cargas de gravedad.

**Figura 44**

*Asignación de carga viva del tercer nivel.*



*Nota. Extraído del programa ETABS v.22.0.0*

- Asignación de cargas distribuidas

Para incorporar los tabiques no portantes en el modelo estructural, se lleva a cabo un metrado de cargas basado en la siguiente ecuación, con el fin de determinar su carga equivalente.

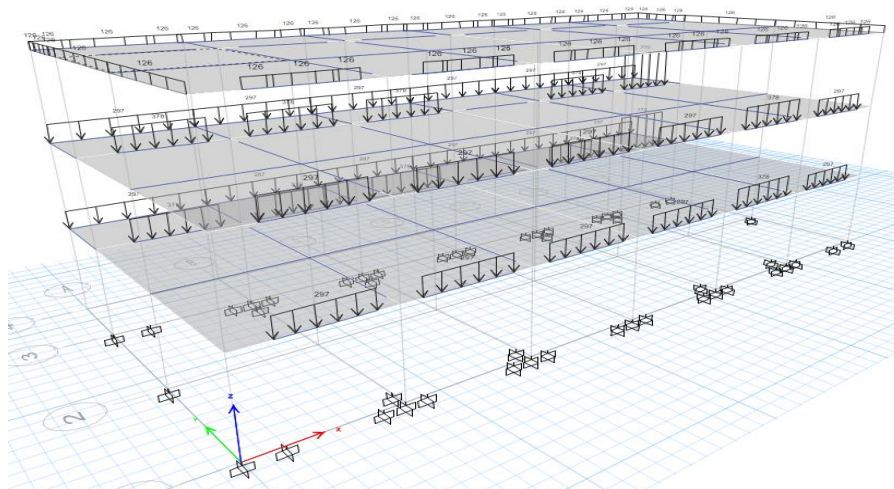
$$Carga \left( \frac{kg}{m} \right) = W * e * h \quad (1)$$

Donde:

W: Valor de peso específico para unidades de arcilla cocida hueca conforme a la Norma Técnica Peruana E.020.

e: Espesor total del muro incluyendo tarrajeo.

h: Altura de elementos no estructurales como parapetos, alfeizares o tabiques livianos

**Figura 45****Cargas distribuidas en ETABS**

Nota. Extraído del programa ETABS v.22.0.0

**3.6.2. Análisis estático no lineal (AENL) PUSHOVER****a. No linealidad en los elementos de concreto armado**

La modelación no lineal del concreto armado será realizada en ETABS v22.0.0, empleando rótulas plásticas en los elementos flexionales y fibras distribuidas en los elementos axiales, conforme a los parámetros automáticos del software.

Inicialmente, se modifican los valores de inercia agrietada conforme a las disposiciones del ACI 318-19, según lo ilustrado en la Tabla 5.

**Tabla 5**

Valores de rigidez efectiva

Component	Tipo	Axial	Flexural	Shear
Beams	nonprestressed	$1.0E \cdot A_g$	$0.3E \cdot I_g$	$0.4E \cdot A_g$
	prestressed	$1.0E \cdot A_g$	$1.0E \cdot I_g$	$0.4E \cdot A_g$
Columns with compression caused by design gravity loads	$\geq 0.5A_g f_c$	$1.0E \cdot A_g$	$0.7E \cdot I_g$	$0.4E \cdot A_g$
	$\leq 0.1A_g f_c$ or with tension	$1.0E \cdot A_g$ (compression) $1.0E \cdot A_g$ (tension)	$0.3E \cdot I_g$ /	$0.4E \cdot A_g$
Structural walls	in-plane	$1.0E \cdot A_g$	$0.35E \cdot I_g$	$0.2E \cdot A_g$
	out-of-plane	$1.0E \cdot A_g$	$0.25E \cdot I_g$	$0.4E \cdot A_g$
Diaphragms (in-plane only)	nonprestressed	$0.25E \cdot A_g$	$0.25E \cdot I_g$	$0.25E \cdot A_g$
	prestressed	$0.5E \cdot A_g$	$0.5E \cdot I_g$	$0.4E \cdot A_g$
Coupling beams	with or without diagonal reinforcement	$1.0E \cdot A_g$	$0.07 (I_w/h) E \cdot I_g \leq$	$0.4E \cdot A_g$
			$0.3E \cdot I_g$	
Mat foundations	in-plane	$0.5E \cdot A_g$	$0.5E \cdot I_g$	$0.4E \cdot A_g$
	out-of-plane	—	$0.5E \cdot I_g$	—

Nota. Extraído de normativa ACI 318-19

La Figura 46 presenta los valores de rigidez; en este caso, las propiedades de las vigas se ajustarán:

**Figura 46**

*Factores de modificación de la propiedad/rigidez en vigas*

Property/Stiffness Modifiers for Analysis	
Cross-section (axial) Area	1
Shear Area in 2 direction	0.4
Shear Area in 3 direction	0.4
Torsional Constant	1
Moment of Inertia about 2 axis	0.3
Moment of Inertia about 3 axis	0.3
Mass	1
Weight	1

*Nota. Extraído del programa ETABS v.22.0.0*

La Figura 47; se procede a definir las rótulas concentradas en las vigas, ubicándolas en los extremos inicial y final de la sección:

**Figura 47**

*Definir las rotulas concentradas en las vigas*

Frame Hinge Definition Type			
<input type="radio"/>	Nonlinear Beam/Column		
<input type="radio"/>	Distributed Plasticity		
<input type="radio"/>	Equal Spacing		
<input type="radio"/>	Continuous Spring Support (Piles or Grade Beams)		
<input checked="" type="radio"/>	User Defined		<input type="button" value="Convert to User Defined"/>

Frame Hinge Assignment Data - User Defined			
Hinge Property	Location Type	Relative Distance	Absolute Distance cm
Auto	Relative to clear length	1	0
Auto M3	Relative to clear length	0	
Auto M3	Relative to clear length	1	

**Current Hinge Information**  
 Type: From Tables in ASCE 41-13  
 Table: Table 10-7 (Concrete Beams - Flexure) Item 1  
 DOF: Auto M3, Isotropic hysteresis

Show Advanced Parameters

**Options**  
 Add Specified Hinge Assigns to Existing Hinge Assigns (All hinges will be converted to User Defined)  
 Replace Existing Hinge Assigns with Specified Hinge Assigns  
**Existing Hinge Assignments on Currently Selected Frame Objects**  
 Number of Selected Frame Objects: 1  
 Total Number of Hinges on All Selected Frame Objects: 2  
 All 2 existing hinge assignments will be removed when the above hinge assignment is applied

*Nota. Extraído del programa ETABS v.22.0.0*

La Figura 48; se procede a definir las rótulas concentradas para las vigas en el sentido Y-Y del pórtico de los ejes 1, 2, 3, 4:

**Figura 48**

*Datos de asignación de bisagras automáticas en sentido Y*

The screenshot shows the 'Auto Hinge Type' dialog box in ETABS. The 'Auto Hinge Type' dropdown is set to 'From Tables In ASCE 41-13'. Below it, 'Select a Hinge Table' is set to 'Table 10-7 (Concrete Beams - Flexure) Item i'. The 'Degree of Freedom' section has radio buttons for 'M2' and 'M3', with 'M3' selected. The 'Hysteresis Type' is set to 'isotropic' with a 'Modify/Show' button. The 'V Value From' section has radio buttons for 'Case/Combo' and 'User Value', with 'Case/Combo' selected and 'PUSH\_Y(+)' in the dropdown. The 'Reinforcing Ratio (p - p') / pbalanced' section has radio buttons for 'From Current Design' and 'User Value (for positive bending)', with 'From Current Design' selected. The 'Deformation Controlled Hinge Load Carrying Capacity' section has radio buttons for 'Drops Load After Point E' and 'Is Extrapolated After Point E', with 'Drops Load After Point E' selected.

*Nota. Extraído del programa ETABS v.22.0.0*

La Figura 49; se procede a definir las rótulas concentradas para las vigas en el sentido X - X del pórtico de los ejes A, B, C, D, E, F, G.

**Figura 49**

*Datos de asignación de bisagras automáticas en sentido X*

The screenshot shows the 'Auto Hinge Type' dialog box in ETABS. The 'Auto Hinge Type' dropdown is set to 'From Tables In ASCE 41-13'. Below it, 'Select a Hinge Table' is set to 'Table 10-7 (Concrete Beams - Flexure) Item i'. The 'Degree of Freedom' section has radio buttons for 'M2' and 'M3', with 'M3' selected. The 'Hysteresis Type' is set to 'isotropic' with a 'Modify/Show' button. The 'V Value From' section has radio buttons for 'Case/Combo' and 'User Value', with 'Case/Combo' selected and 'PUSH\_X(+)' in the dropdown. The 'Reinforcing Ratio (p - p') / pbalanced' section has radio buttons for 'From Current Design' and 'User Value (for positive bending)', with 'From Current Design' selected. The 'Deformation Controlled Hinge Load Carrying Capacity' section has radio buttons for 'Drops Load After Point E' and 'Is Extrapolated After Point E', with 'Drops Load After Point E' selected.

*Nota. Extraído del programa ETABS v.22.0.0*

La Figura 50 muestra que las rótulas generadas automáticamente pueden verificarse de la siguiente manera:

Figura 50

## Validación de las rótulas plásticas

Name	Type	Behavior	Generated	From
B3H1	Moment M3	Deformation Controlled	Yes	Auto
B3H2	Moment M3	Deformation Controlled	Yes	Auto
B4H1	Moment M3	Deformation Controlled	Yes	Auto
B4H2	Moment M3	Deformation Controlled	Yes	Auto
B5H1	Moment M3	Deformation Controlled	Yes	Auto
B5H2	Moment M3	Deformation Controlled	Yes	Auto
B6H1	Moment M3	Deformation Controlled	Yes	Auto
B6H2	Moment M3	Deformation Controlled	Yes	Auto
B48H1	Moment M3	Deformation Controlled	Yes	Auto
B48H2	Moment M3	Deformation Controlled	Yes	Auto
B49H1	Moment M3	Deformation Controlled	Yes	Auto
B49H2	Moment M3	Deformation Controlled	Yes	Auto
B50H1	Moment M3	Deformation Controlled	Yes	Auto
B50H2	Moment M3	Deformation Controlled	Yes	Auto

La Figura 51 se muestran los momentos de fluencia calculados en función del refuerzo asignado a las vigas.

Figura 51

## Momento de fluencia - vigas

Point	Moment/SF	Rotation/SF
E-	-0.2	-0.045501
D-	-0.2	-0.024114
C-	-1.1	-0.023875
B-	-1	0
A	0	0
B	1	0
C	1.1	0.025
D	0.2	0.02525
E	0.2	0.05

Additional Backbone Curve Points

Symmetric

BC - Between Points B and C

CD - Between Points C and D

Scaling for Moment and Rotation

Use Yield Moment

Use Yield Rotation (Steel Objects Only)

Acceptance Criteria (Plastic Rotation/SF)

Show Acceptance Criteria on Plot

Immediate Occupancy: 0.01 (Positive), -0.008875 (Negative)

Life Safety: 0.025 (Positive), -0.023875 (Negative)

Collapse Prevention: 0.05 (Positive), -0.045501 (Negative)

Type

Moment - Rotation

Moment - Curvature

Hinge Length:

Relative Length

Load Carrying Capacity Beyond Point E

Drops To Zero

Is Extrapolated

Hysteresis Type and Parameters

Hysteresis:

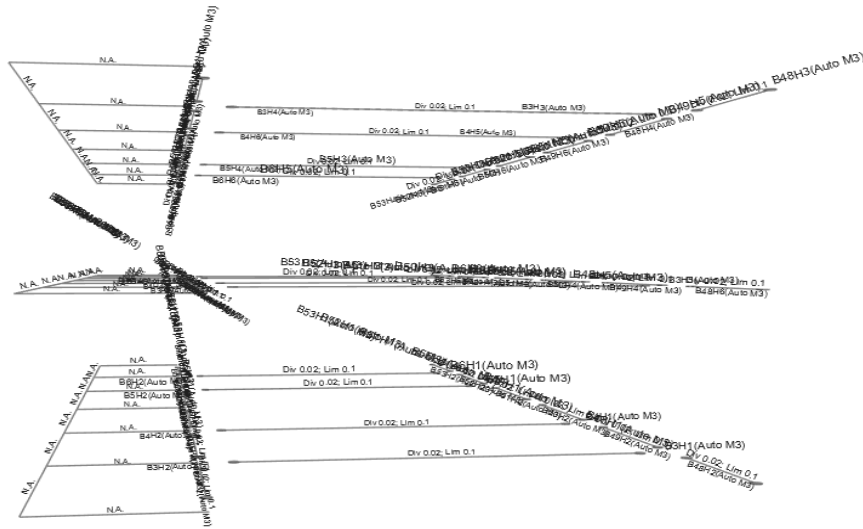
No Parameters Are Required For This Hysteresis Type

Nota. Extraído del programa ETABS v.22.0.0

La Figura 52 muestra la asignación de las rótulas plásticas en las vigas del eje Y - Y, se asignan en ambos niveles, es decir, en el primero y segundo nivel.

**Figura 52**

*Rotulas de vigas en el sentido Y*

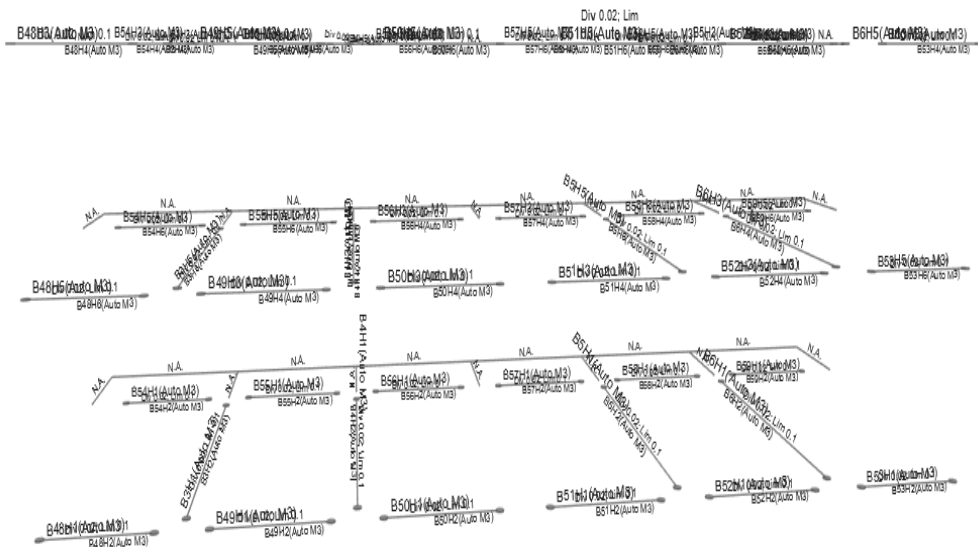


*Nota. Extraído del programa ETABS v.22.0.0*

La Figura 53 muestra la asignación de las rótulas plásticas en las vigas del eje X – X, se asignan en ambos niveles, es decir, en el primero y segundo nivel.

**Figura 53**

*Rotulas de vigas en el sentido X*



*Nota. Extraído del programa ETABS v.22.0.0*

La Figura 54 ilustra la implementación de fibras distribuidas en los elementos verticales, como parte del modelado no lineal del concreto armado.

**Figura 54**

*Asignamos las rotulas en placas*

*Nota. Extraído del programa ETABS v.22.0.0*

La Figura 55 Se procede a definir las fibras en las placas.

**Figura 55**

*Asignación de fibra para cada placa*

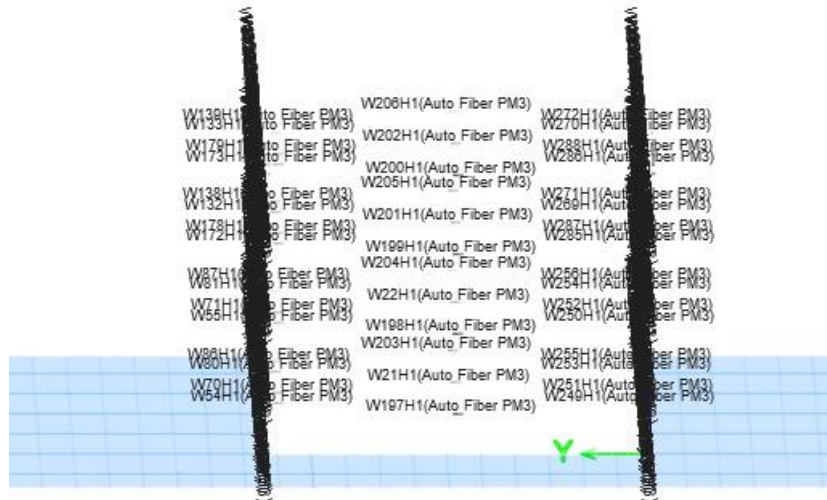
Hinge Property	Location Type	Relative Distance	Distance from End cm
ROTULA	Relative to clear length	0	
ROTULA	Relative to clear length	0	
ROTULA	Relative to clear length	1	

*Nota. Extraído del programa ETABS v.22.0.0*

La Figura 56 nos muestra la asignación de fibras, en las placas del sentido Y-Y, se asignan en ambos niveles, es decir, en el primero, segundo nivel y tercer nivel.

**Figura 56**

*Rotulas en placas en el sentido Y*

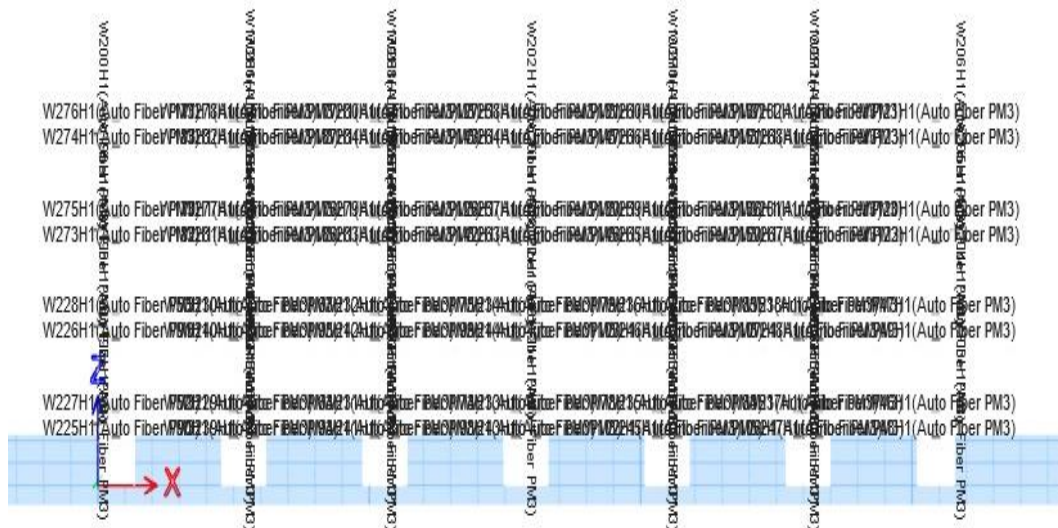


*Nota. Extraído del programa ETABS v.22.0.0*

La Figura 57 nos muestra la asignación de fibras, en las placas del sentido X- X, se asignan en ambos niveles, es decir, en el primero, segundo nivel y tercer nivel.

**Figura 57**

*Rotulas en placas en el sentido X*



*Nota. Extraído del programa ETABS v.22.0.0*

**b. Carga de gravedad**

En la Figura 58 se detallan los valores de carga gravitacional. Para su incorporación en el análisis no lineal, se aplicará el siguiente procedimiento.

**Figura 58**

*Datos para la carga de gravedad*

The screenshot shows the 'General' and 'Initial Conditions' sections of the ETABS software interface. The 'General' section includes fields for 'Load Case Name' (CGNL), 'Load Case Type' (Nonlinear Static), 'Mass Source' (Previous), and 'Analysis Model' (Default). The 'Initial Conditions' section has two radio buttons: 'Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State' (selected) and 'Continue from State at End of Nonlinear Case (Loads at End of Case ARE Included)'. Below this is a table for 'Loads Applied' with columns 'Load Type', 'Load Name', and 'Scale Factor'. The table contains two rows: 'Load Pattern' with 'Dead' and 'Scale Factor' 1, and 'Load Pattern' with 'Live' and 'Scale Factor' 0.5. The 'Other Parameters' section includes 'Modal Load Case' (Modal), 'Geometric Nonlinearity Option' (None), 'Load Application' (Full Load), 'Results Saved' (Final State Only), 'Floor Cracking Analysis' (No Cracked Analysis), and 'Nonlinear Parameters' (Default - Iterative Event-to-Event).

Load Type	Load Name	Scale Factor
Load Pattern	Dead	1
Load Pattern	Live	0.5

*Nota. Extraído del programa ETABS v.22.0.0*

**c. Pushover**

Las cargas monotónicas se generarán en las direcciones X+, X-, Y+ y Y-.

En la Figura 59 se detallan las cargas aplicadas para preservar la consistencia del estado de carga gravitacional no lineal, establecido según el modo fundamental de vibración correspondiente al eje de análisis (X o Y).

**Figura 59**

*Datos para la carga monotonicas en X+, X-, Y+ y Y-*

The screenshot shows the 'General' and 'Initial Conditions' sections of the ETABS software interface. The 'General' section includes fields for 'Load Case Name' (PUSH\_Y(+)), 'Load Case Type' (Nonlinear Static), 'Mass Source' (Previous), and 'Analysis Model' (Default). The 'Initial Conditions' section has two radio buttons: 'Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State' and 'Continue from State at End of Nonlinear Case (Loads at End of Case ARE Included)' (selected). Below this is a table for 'Loads Applied' with columns 'Load Type', 'Load Name', and 'Scale Factor'. The table contains one row: 'Mode' with '2' and 'Scale Factor' 1. The 'Other Parameters' section includes 'Modal Load Case' (Modal), 'Geometric Nonlinearity Option' (None), 'Load Application' (Displacement Control), 'Results Saved' (Multiple States), 'Floor Cracking Analysis' (No Cracked Analysis), and 'Nonlinear Parameters' (User Defined - Iterative Event-to-Event).

Load Type	Load Name	Scale Factor
Mode	2	1

*Nota. Extraído del programa ETABS v.22.0.0*

En la Figura 60 se detallan los parámetros de control de desplazamiento, con valores de 0,50 m para el eje X y 0,50 m para el eje Y. El punto de control se ubica en la losa de techo del tercer nivel, en función del sentido de análisis estructural.

**Figura 60**

*Controles de desplazamientos*

The screenshot displays the 'Displacement Control' settings in ETABS. Under 'Load Application Control', 'Displacement Control' is selected. In 'Control Displacement', 'Use Monitored Displacement' is chosen with a magnitude of 0.1 m. The 'Monitored Displacement' is set to 'DOF/Joint' with 'U2' and 'Story3' selected, and a value of 20. 'Additional Controlled Displacements' is set to 'None'. Under 'Quasi-static Parameters', 'Time History Type' is 'Nonlinear Direct Integration History', 'Output Time Step Size' is 1 sec, 'Mass Proportional Damping' is 0 1/sec, and 'Hilber-Hughes-Taylor Time Integration Parameter, Alpha' is 0.

*Nota. Extraído del programa ETABS v.22.0.0*

La Figura 61 muestra el ajuste de la opción de resultados guardados por pasos, lo que permite un seguimiento progresivo del análisis estructural y una mejor interpretación del desempeño de las rótulas plásticas.

**Figura 61**

*Resultados guardados para el caso estático no lineal*

The screenshot shows the 'Results Saved' settings. 'Multiple States' is selected. Under 'For Each Stage', the 'Minimum Number of Saved States' is 50 and the 'Maximum Number of Saved States' is 100. The 'Save positive Displacement Increments Only' checkbox is checked.

*Nota. Extraído del programa ETABS v.22.0.0*

#### d. Peligro sísmico

Los niveles de peligro sísmico se definen conforme a los lineamientos del Comité Visión 2000, utilizando espectros de pseudoaceleración con un coeficiente de amortiguamiento del 5 %.

La definición de los parámetros sísmicos se basa en el estudio geotécnico consignado en la memoria descriptiva (punto 12), los cuales se emplearán en el análisis elástico ante un sismo raro, conforme a los criterios de diseño establecidos.

**Tabla 6**

*Parámetros sísmicos*

<b>Descripción</b>	<b>Valores</b>
Factor de Zona	0.45 (Zona 4)
Factor de ampliación del suelo	1.1 (S3)
Periodo de Vibración del suelo	1.00
Periodo de Vibración del suelo	1.60
Factor de uso	1.5
Coeficiente sísmico	2.50
Aceleración de la gravedad	9.81 m/s <sup>2</sup>

*Nota.* Parámetros sísmicos de la estructura, según la Norma E.020

La Tabla 6 detalla los coeficientes de conversión aplicables a cada nivel de sismo: frecuente, ocasional, raro (diseño elástico) y muy raro, conforme al enfoque de análisis por desempeño.

**Tabla 7**

*Factores de conversión para cada nivel de sismo*

<b>Nivel de peligro sísmico</b>	<b>FC</b>
Frecuente	0.38
Ocasional	0.50
Raro	1.00
Muy raro	1.30

*Nota.* Parámetros sísmicos de la estructura, según la Norma E.020

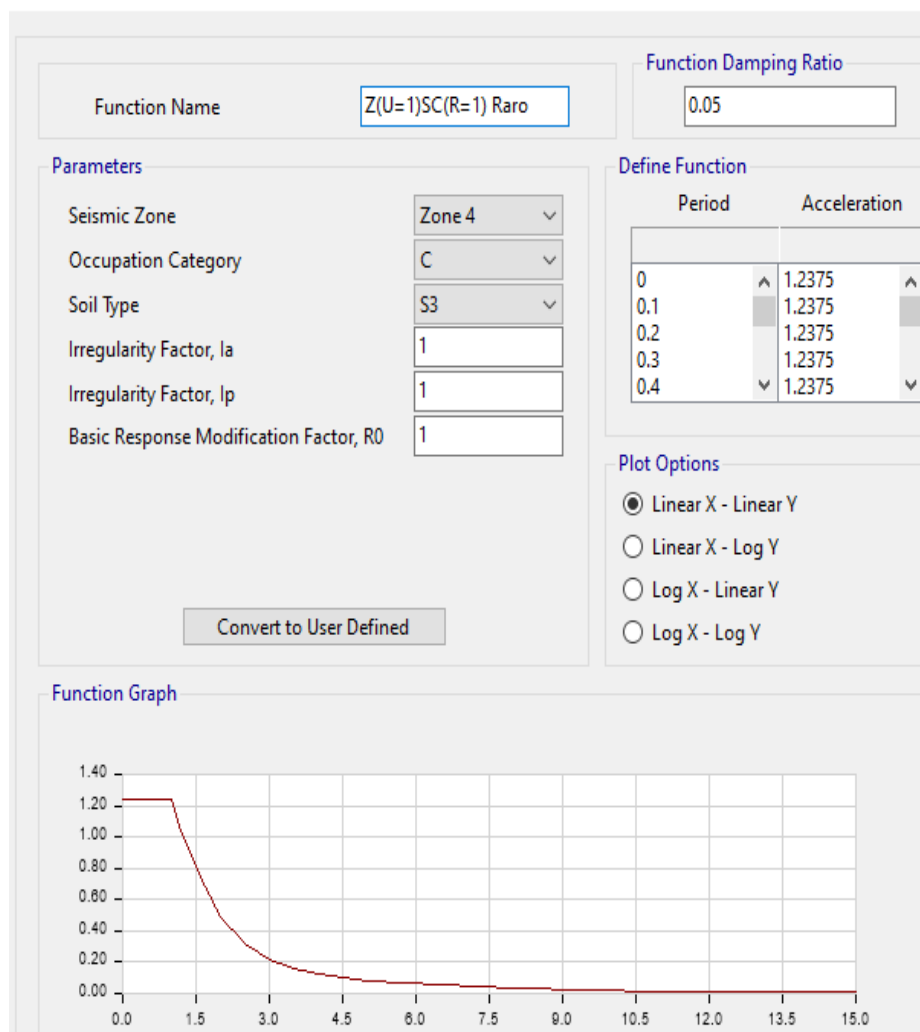
- Sismo raro

La Figura 62 ilustra el espectro de respuesta para el sismo raro, el cual incorpora los parámetros sísmicos característicos del emplazamiento y del tipo estructural de la edificación.

**Figura 62**

*Sismo raro en ETABS*

**E** Response Spectrum Function - Peru NTE E.030 2014



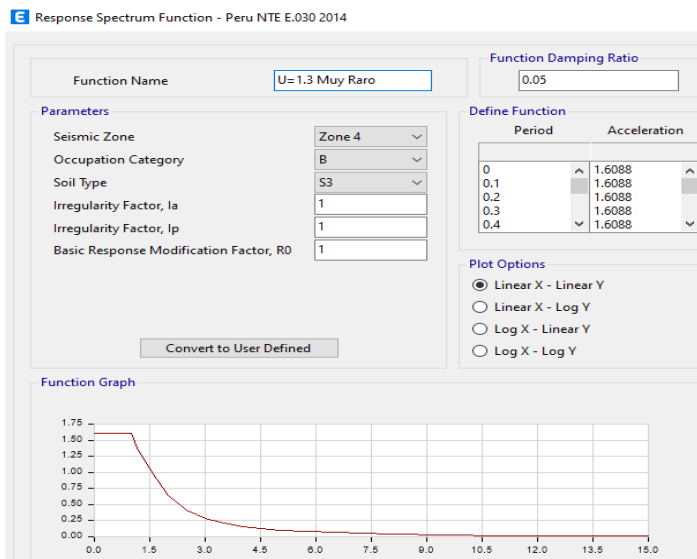
*Nota. Extraído del programa ETABS v.22.0.0*

- Sismo muy raro

La Figura 63 ilustra el espectro de respuesta para el sismo muy raro, el cual incorpora los parámetros sísmicos característicos del emplazamiento y del tipo estructural de la edificación.

**Figura 63**

*Sismo muy raro en ETABS*



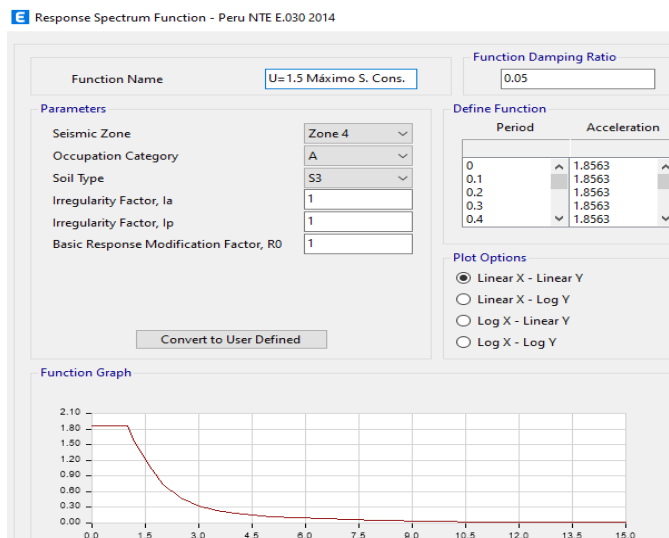
Nota. Extraído del programa ETABS v.22.0.0

- Sismo ocasional

La Figura 64 ilustra el espectro de respuesta para el máximo sismo considerado, el cual incorpora los parámetros sísmicos característicos del emplazamiento y del tipo estructural de la edificación.

**Figura 64**

*Máximo sismo considerado en ETABS*



Nota. Extraído del programa ETABS v.22.0.0

**Figura 65***Proporciones de masas participativas modales*

Case	Mode	Period sec	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ	RX
Modal	1	0.156	0.815	0	0	0.815	0	0	0
Modal	2	0.063	0	0.8237	0	0.815	0.8237	0	0.3121
Modal	3	0.053	0.0003	2.419E-05	0	0.8152	0.8238	0	1.722E-06
Modal	4	0.043	0.1302	0	0	0.9455	0.8238	0	0
Modal	5	0.02	0	0.1569	0	0.9455	0.9807	0	0.6326
Modal	6	0.019	0.0538	0	0	0.9993	0.9807	0	0
Modal	7	0.017	0.0006	1.415E-06	0	0.9999	0.9807	0	6.927E-06
Modal	8	0.012	0	0.0193	0	0.9999	1	0	0.0552
Modal	9	0.01	0.0001	0	0	1	1	0	0

Nota. Extraído del programa ETABS v.22.0.0

**e. Desempeño sísmico**

Para el análisis del desempeño sísmico, se aplicará el método de segmentación de la curva de capacidad propuesto por el SEAOC, el cual establece zonas específicas que permiten caracterizar la respuesta estructural

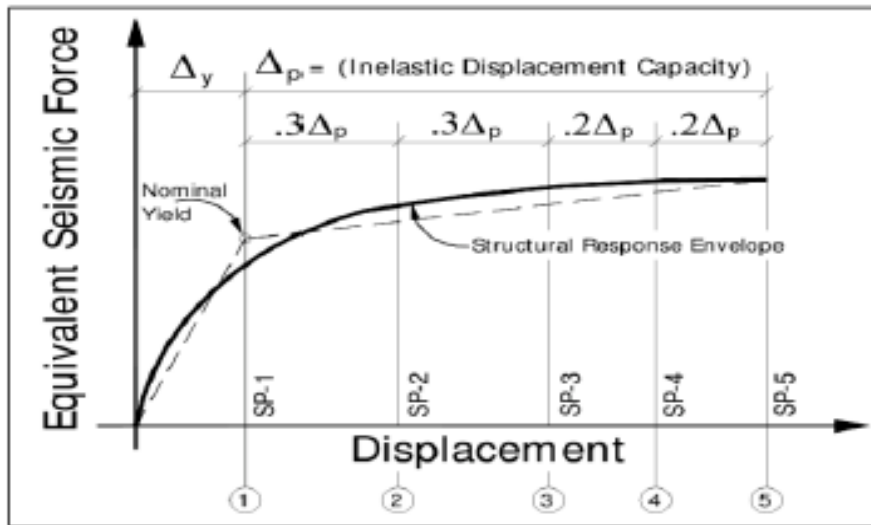
**Tabla 8***Parámetros utilizados para el seccionamiento del espectro de capacidad*

Nivel de desempeño estructural	Descripción	Límites de desplazamiento
SP1	Operacional	$\Delta y$
SP2	Ocupación inmediata	$\Delta y + 0.3 \Delta p$
SP3	Protección de vida	$\Delta y + 0.6 \Delta p$
SP4	Cerca al colapso	$\Delta y + 0.8 \Delta p$
SP5	Colapso	$\Delta y + 1.0 \Delta p$

Nota. Extraído de SEAOC

En la Figura 66 se ilustran los valores límite de desplazamiento utilizados como referencia para el análisis estructural.

**Figura 66***Sectorización de la curva de capacidad*



## CAPÍTULO IV: RESULTADOS

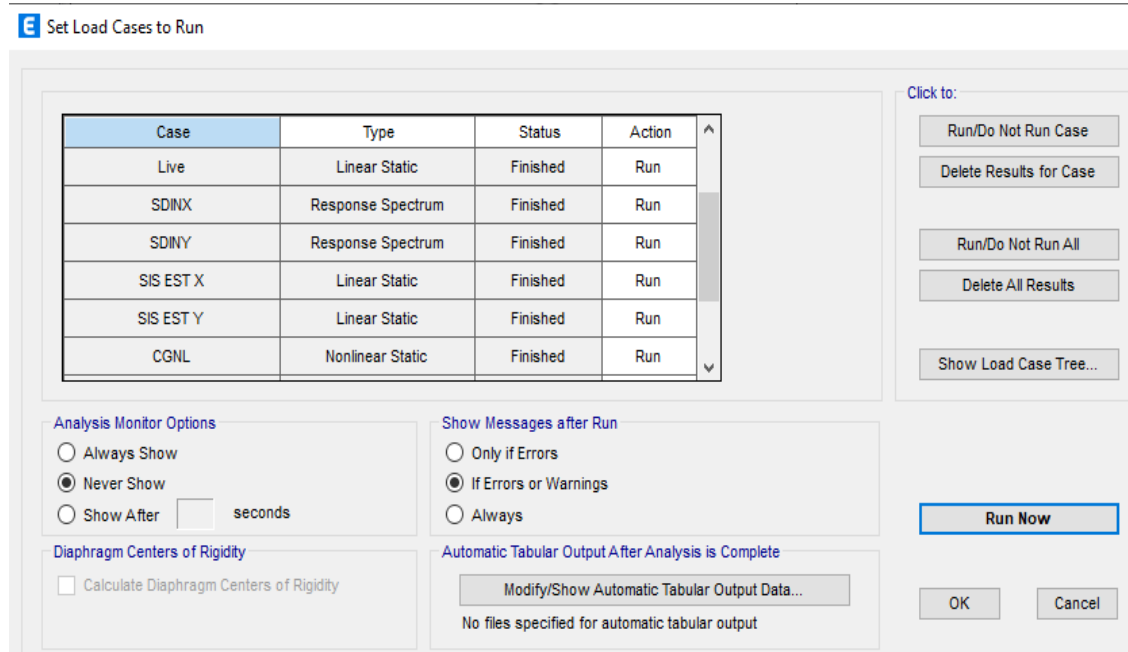
### 4.1. Curva de capacidad

Se llevó a cabo el análisis en las direcciones X+, Y+, X- y Y-. Para evaluar el comportamiento más crítico, se seleccionaron las curvas de capacidad más desfavorables, correspondientes a las direcciones Y+ y X+.

En la Figura 67 se presenta el análisis pushover efectuado con ETABS v22.0.0, evidenciando la respuesta no lineal del modelo estructural.

**Figura 67**

*Conclusión del proceso de evaluación estructural mediante análisis estático no lineal.*



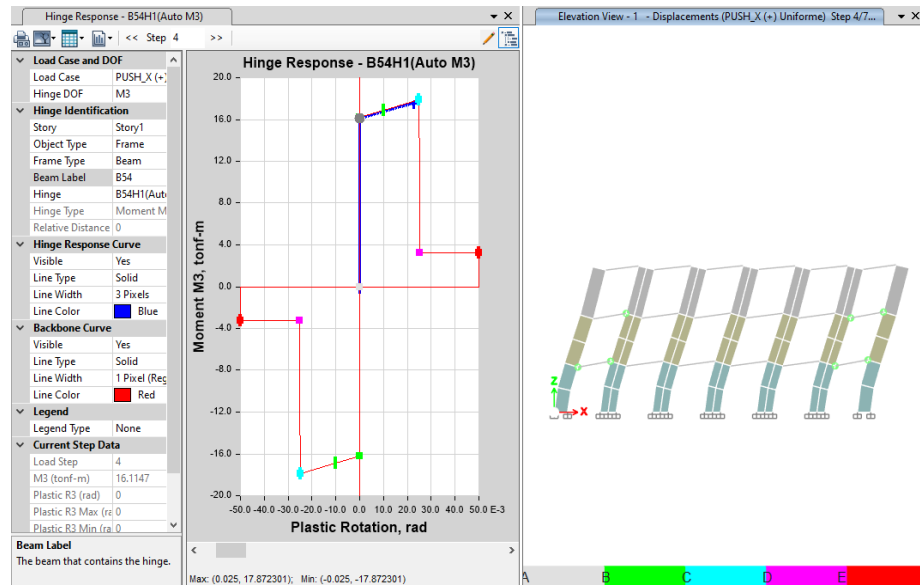
*Nota. Extraído del programa ETABS v.22.0.0*

- Análisis sentido X

La curva de capacidad en el sentido X+, ilustrada en la Figura 68, revela que las primeras rótulas plásticas se generan en las vigas, lo cual valida el criterio de diseño orientado a preservar la integridad de las columnas mediante un mecanismo de disipación de energía controlado.

Figura 68

## Formación de rótulas plásticas

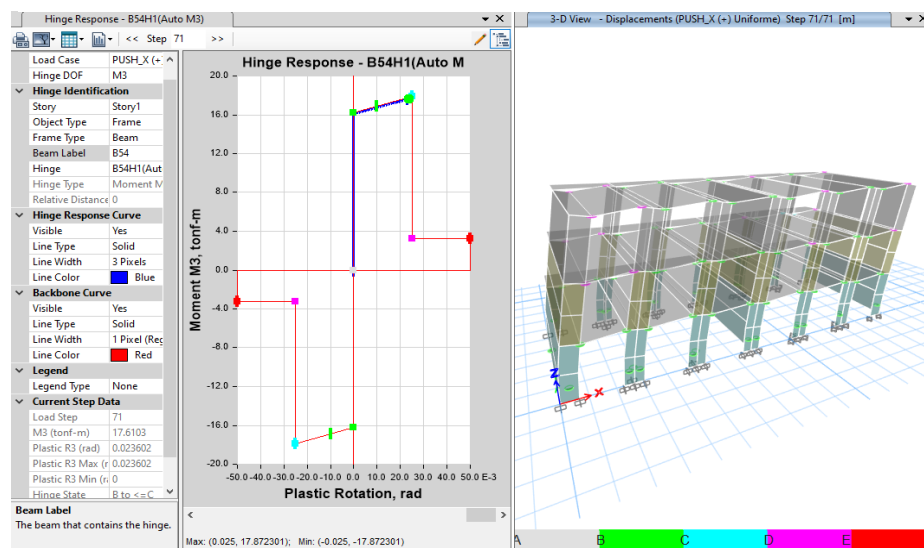


Nota. Extraído del programa ETABS v.22.0.0

La Figura 69 muestra el tramo final de la curva de capacidad, donde se identifica un comportamiento frágil en una viga debido a un cambio abrupto en su ductilidad, lo que impide alcanzar el nivel de desempeño “seguridad de vida” de forma estable.

Figura 69

## Formación de rótulas plásticas

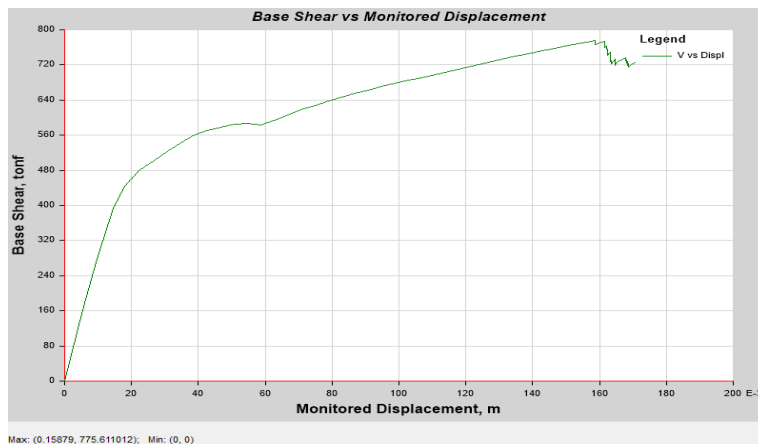


Nota. Extraído del programa ETABS v.22.0.0

En la Figura 70 se presenta la curva de capacidad correspondiente al eje X+, evidenciando un desplazamiento de 0,16 m vinculado a una fuerza cortante de 775,61 tonf.

**Figura 70**

*La curva de capacidad en dirección al eje X+*



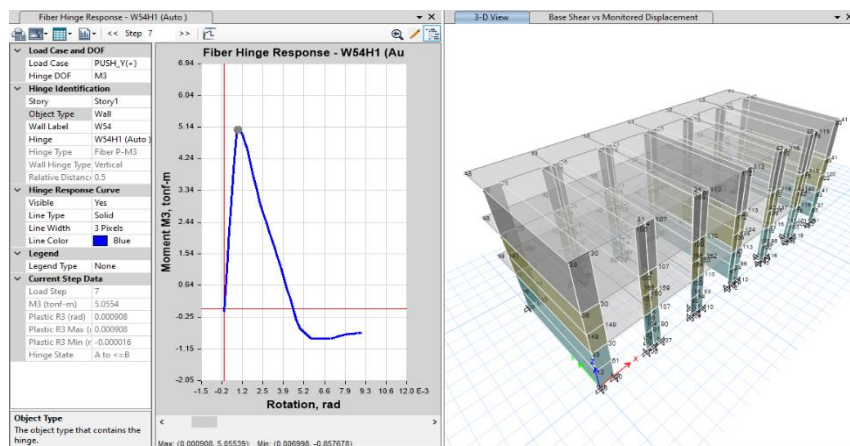
*Nota. Extraído del programa ETABS v.22.0.0*

- Análisis sentido Y

En la Figura 71 se muestra la curva de capacidad correspondiente al eje Y+, donde se observa que los muros de concreto armado, representados como elementos tipo frame, desarrollan la primera rótula plástica. Esto evidencia su ingreso al rango inelástico, con un momento de 5,055 tonf.m y una rotación de 0,000908 rad.

**Figura 71**

*Formación de rótulas plásticas*

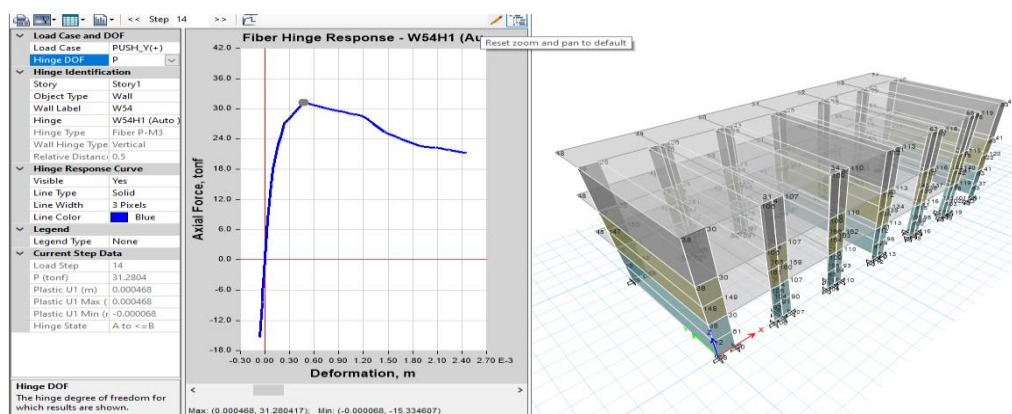


*Nota. Extraído del programa ETABS v.22.0.0*

La Figura 72 ilustra la etapa final de la curva de capacidad obtenida mediante el análisis estático no lineal tipo pushover, en la cual se evidencia una degradación frágil de la rigidez en una viga. Este comportamiento se atribuye a una pérdida abrupta de ductilidad antes de alcanzar el nivel de desempeño correspondiente a seguridad de vida. Con una fuerza axial de 31,28 tonf y una deformación de 0,00047 m.

**Figura 72**

*Formación de rótulas plásticas*

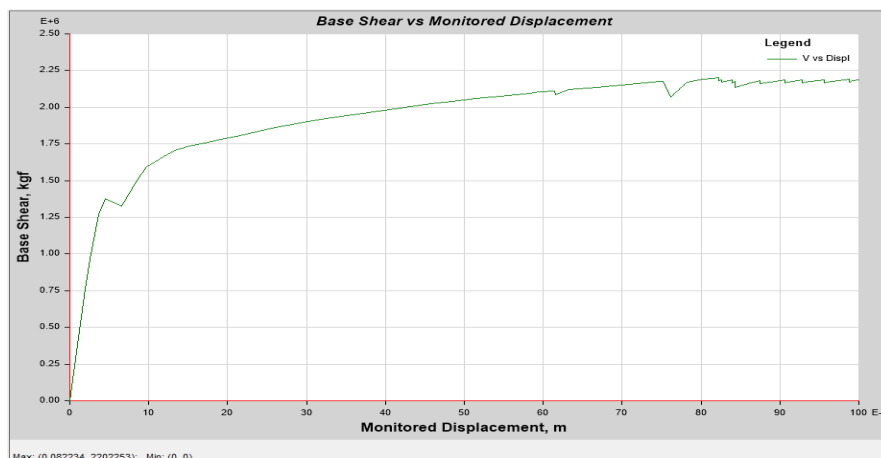


*Nota. Extraído del programa ETABS v.22.0.0*

La curva de capacidad en la dirección Y+, ilustrada en la Figura 73, alcanza un desplazamiento de 0,082 m, correspondiente a una fuerza cortante máxima de 2202,25 tonf, reflejando la respuesta estructural ante la demanda lateral en dicha dirección.

**Figura 73**

*La curva de capacidad en dirección al eje Y+*



Nota. Extraído del programa ETABS v.22.0.0

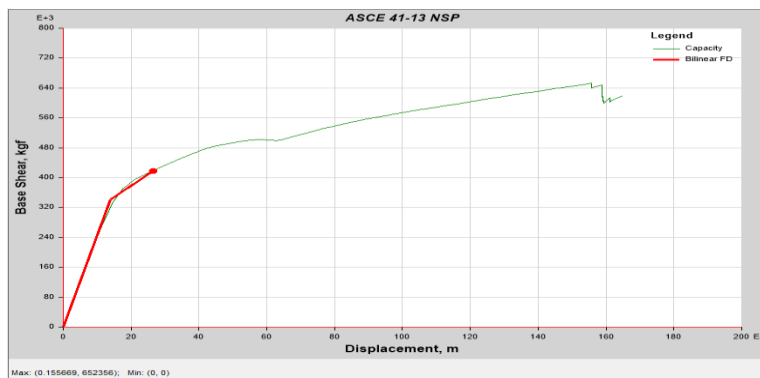
#### 4.2. Punto de fluencia efectiva

- Análisis sentido X+

La Figura 74 ilustra el momento en que se alcanza la fluencia efectiva en la dirección X+, correspondiente a una deformación de 0,0013 m y una demanda cortante de 338,62 tonf.

**Figura 74**

*Representación bilineal de la curva de capacidad X+*



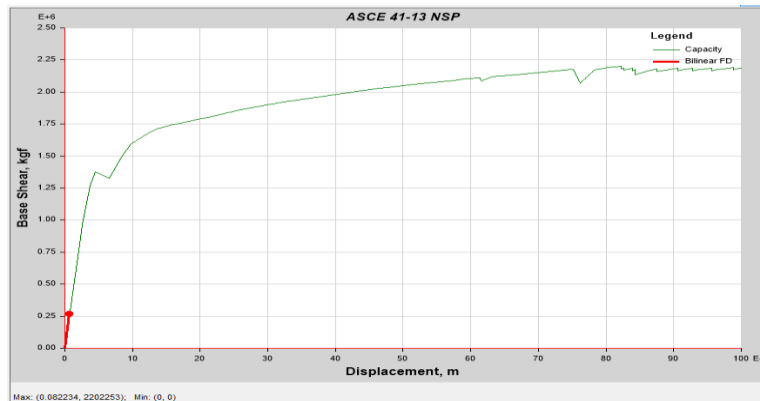
Nota. Extraído del programa ETABS v.22.0.0

- Análisis sentido Y+

En la Figura 75 se identifica el punto de fluencia efectiva correspondiente al eje Y+, definido por un desplazamiento de 0,0007 m y una fuerza de 268,20 tonf.

**Figura 75**

*Representación bilineal de la curva de capacidad Y+*



Nota. Extraído del programa ETABS v.22.0.0

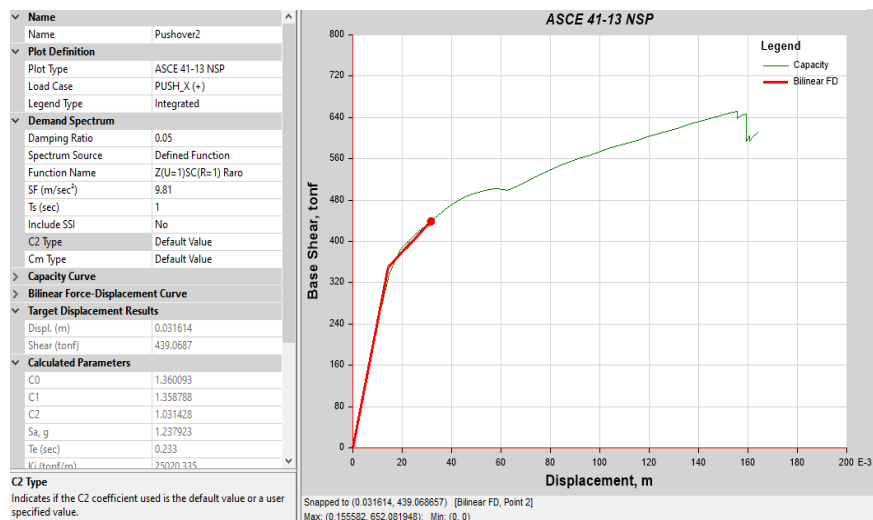
### 4.3. Punto de Desempeño

- Punto de desempeño en el sentido X+

En la Figura 76 se representa el punto de desempeño estructural frente a un evento sísmico raro, definido por una demanda cortante de 439,06 tonf y un desplazamiento de 0,031 m.

**Figura 76**

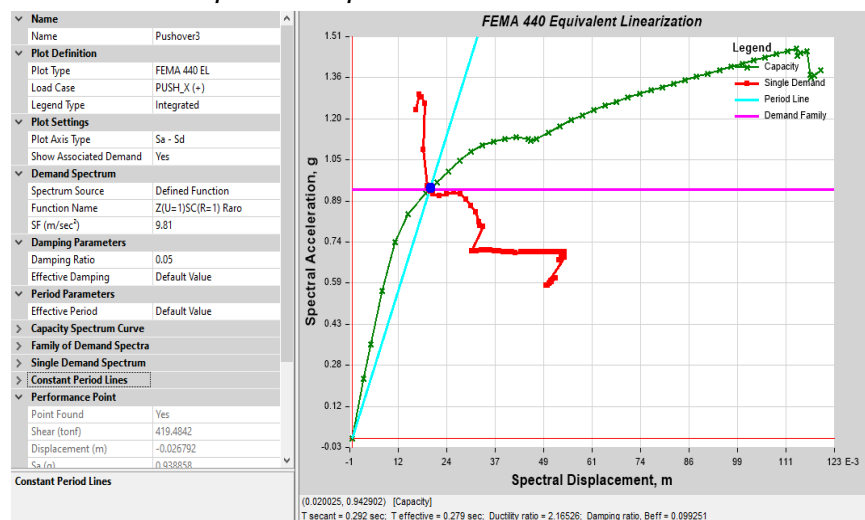
*Punto de desempeño para un sismo raro en X+*



Nota. Extraído del programa ETABS v.22.0.0

**Figura 77**

*Linealización equivalente para un sismo raro en X+*

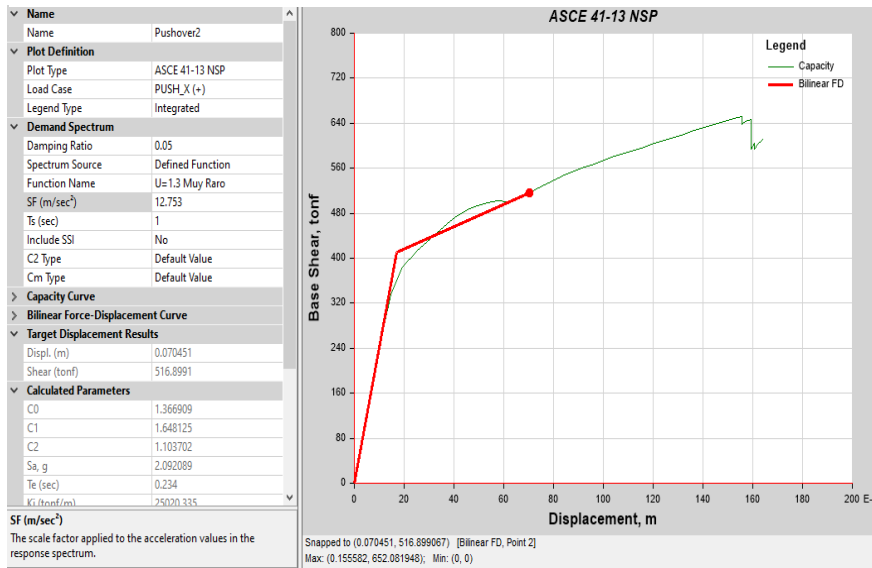


Nota. Extraído del programa ETABS v.22.0.0

En la Figura 78 se identifica el punto de desempeño correspondiente a un evento sísmico muy raro, caracterizado por una demanda lateral de 516,90 tonf y un desplazamiento de 0,070 m.

**Figura 78**

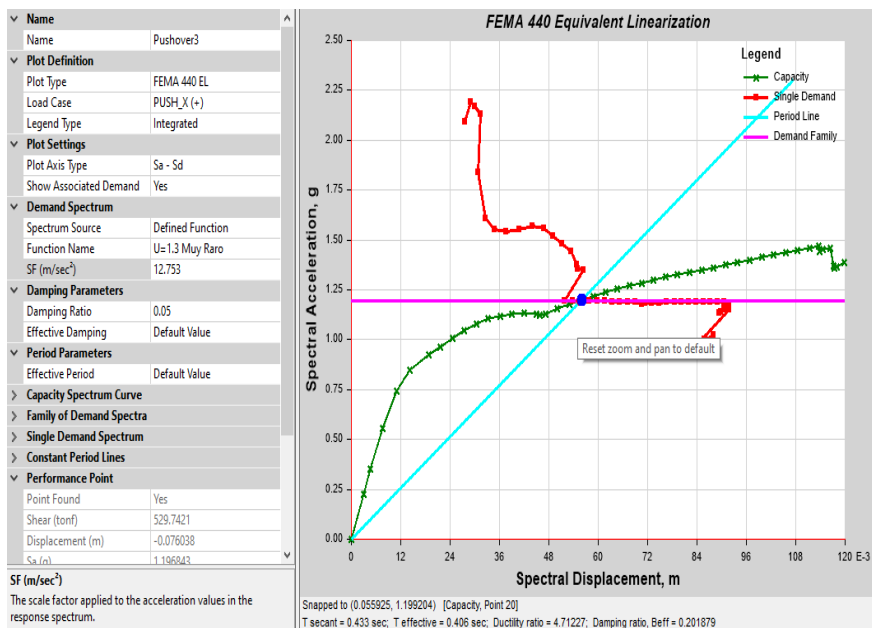
*Punto de desempeño para un sismo muy raro en X+*



Nota. Extraído del programa ETABS v.22.0.0

**Figura 79**

*Linealización equivalente para un sismo muy raro en X+*

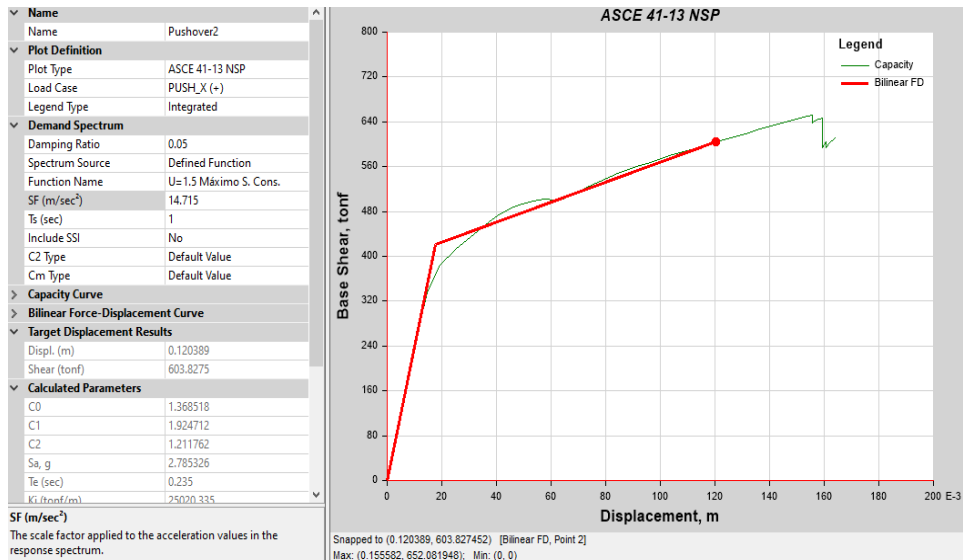


Nota. Extraído del programa ETABS v.22.0.0

En la Figura 80 se identifica el punto de desempeño correspondiente a un evento máximo sísmico considerado, caracterizado por una demanda lateral de 603,83 tonf y un desplazamiento de 0,12 m.

**Figura 80**

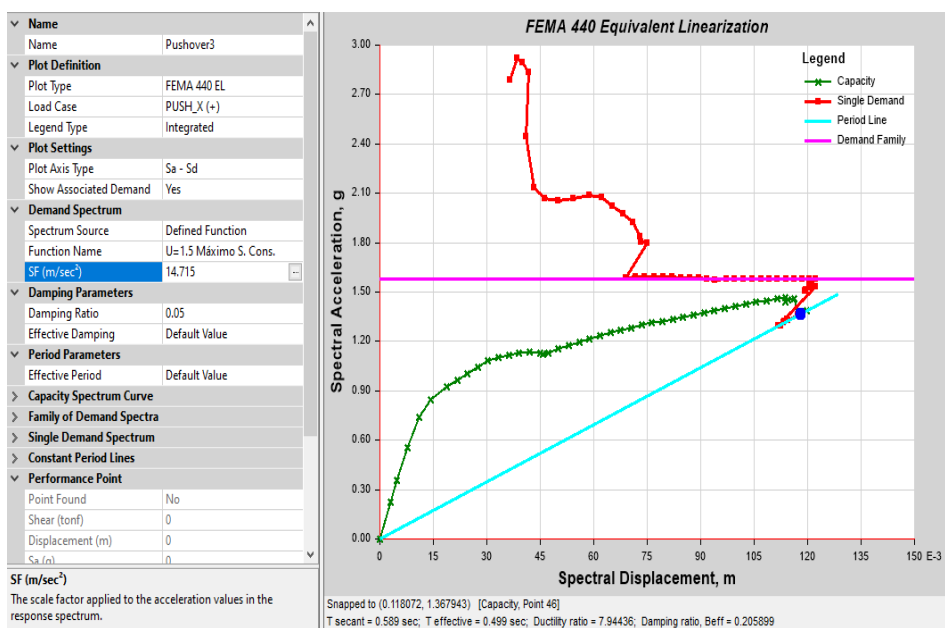
*Punto de desempeño para un máximo sismo considerado en X+*



Nota. Extraído del programa ETABS v.22.0.0

**Figura 81**

*Linealización equivalente para un máximo sismo considerado en X+*



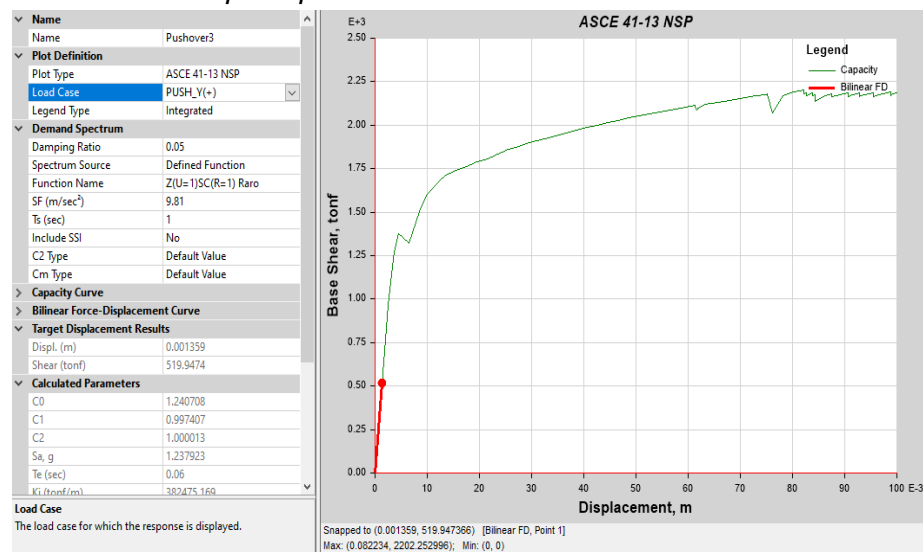
Nota. Extraído del programa ETABS v.22.0.0

- Punto de desempeño en el sentido Y+

En la Figura 82 se identifica el punto de desempeño correspondiente a un evento sísmico raro, caracterizado por una demanda lateral de 519,95 tonf y un desplazamiento de 0,0014 m.

**Figura 82**

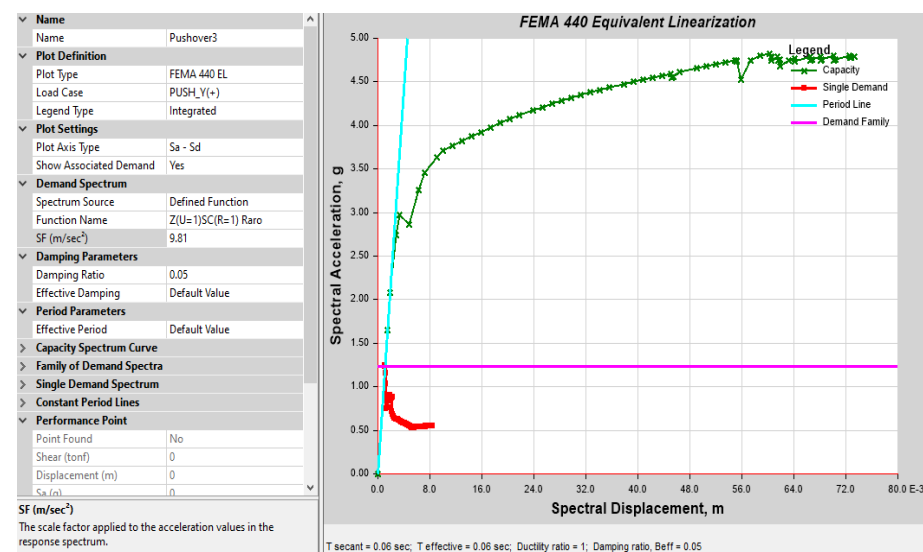
*Punto de desempeño para un sismo raro en Y+*



*Nota. Extraído del programa ETABS v.22.0.0*

**Figura 83**

*Linealización equivalente para un sismo raro en Y+*

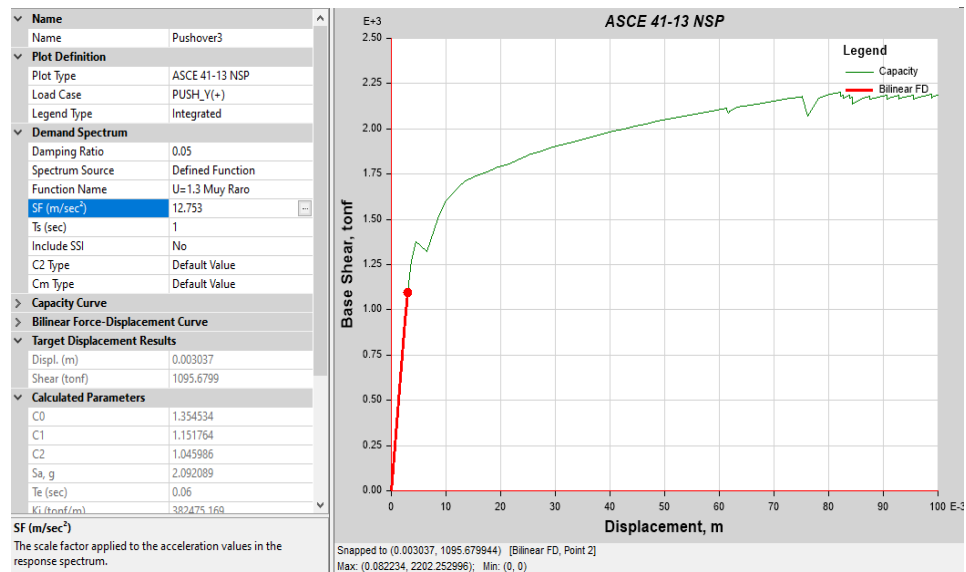


*Nota. Extraído del programa ETABS v.22.0.0*

En la Figura 84 se identifica el punto de desempeño correspondiente a un evento sísmico muy raro, caracterizado por una demanda lateral de 1095,68 tonf y un desplazamiento de 0,0030 m.

**Figura 84**

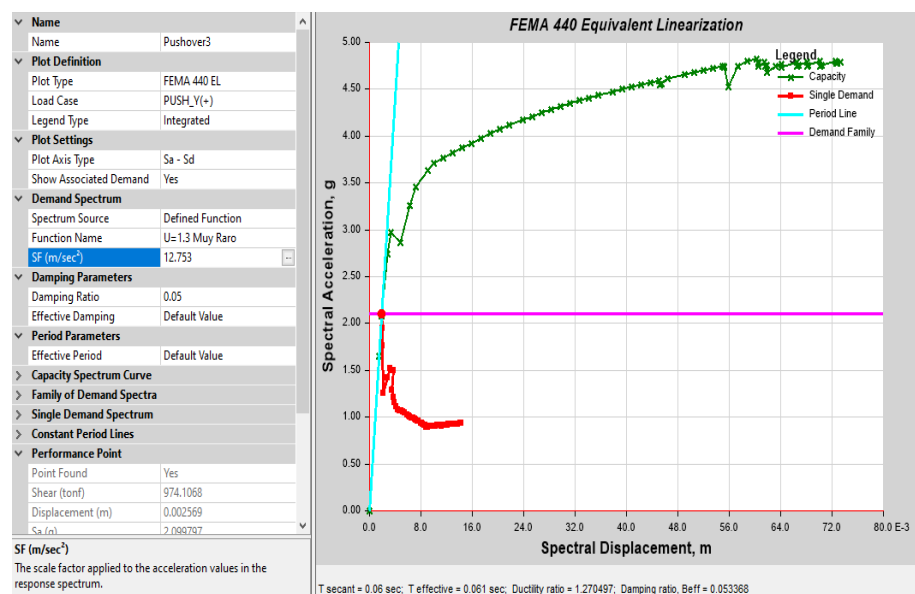
*Punto de desempeño para un sismo muy raro en Y+*



Nota. Extraído del programa ETABS v.22.0.0

**Figura 85**

*Linealización equivalente para un sismo muy raro en Y+*

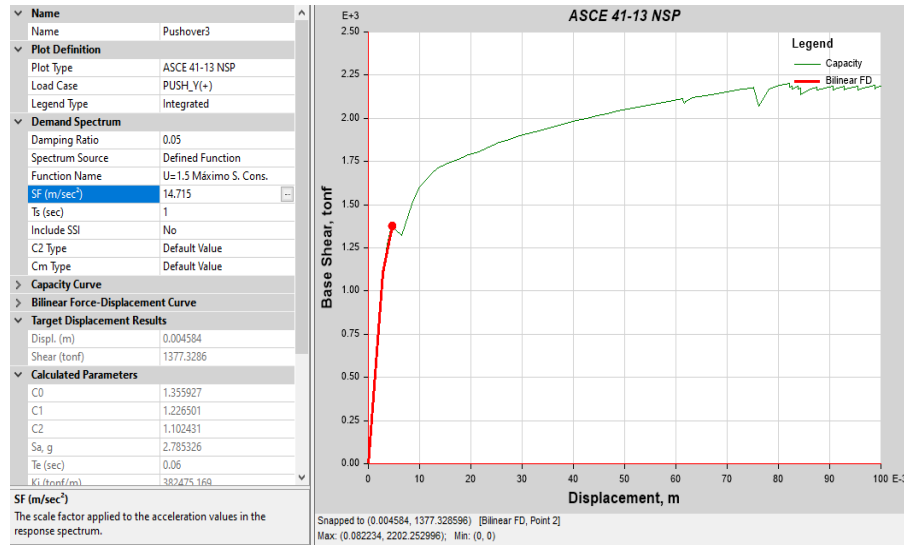


Nota. Extraído del programa ETABS v.22.0.0

En la Figura 86 se identifica el punto de desempeño correspondiente a un evento máximo sismo considerado, caracterizado por una demanda lateral de 1377,32 tonf y un desplazamiento de 0,0046 m.

**Figura 86**

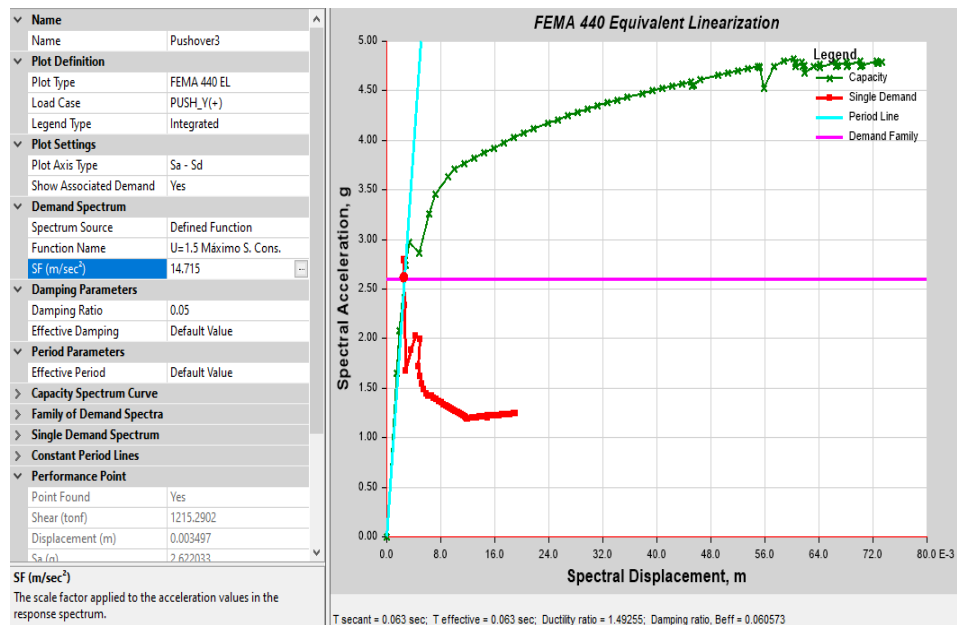
*Punto de desempeño para un máximo sismo considerado en Y+*



*Nota. Extraído del programa ETABS v.22.0.0*

**Figura 87**

*Linealización equivalente para un máximo sismo considerado en Y+*



*Nota. Extraído del programa ETABS v.22.0.0*

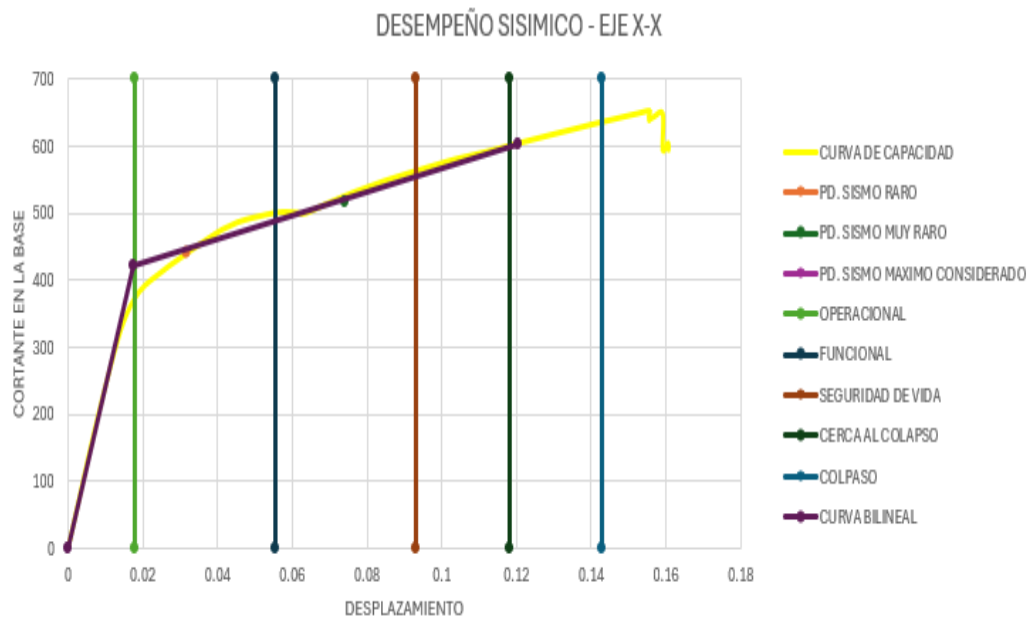
#### 4.4. Niveles de desempeño sísmico

- Desempeño sísmico en el sentido X+

La evaluación en la dirección “X” indica que, ante un sismo raro, la estructura se encuentra en el sector operacional; frente a un sismo muy raro, se aproxima al sector funcional; y para un máximo sismo considerado, supera el sector cerca colapso. Estos puntos de desempeño se ubican sobre la curva de capacidad, como se aprecia gráficamente.

**Figura 88**

*Desempeño sísmico X - X*



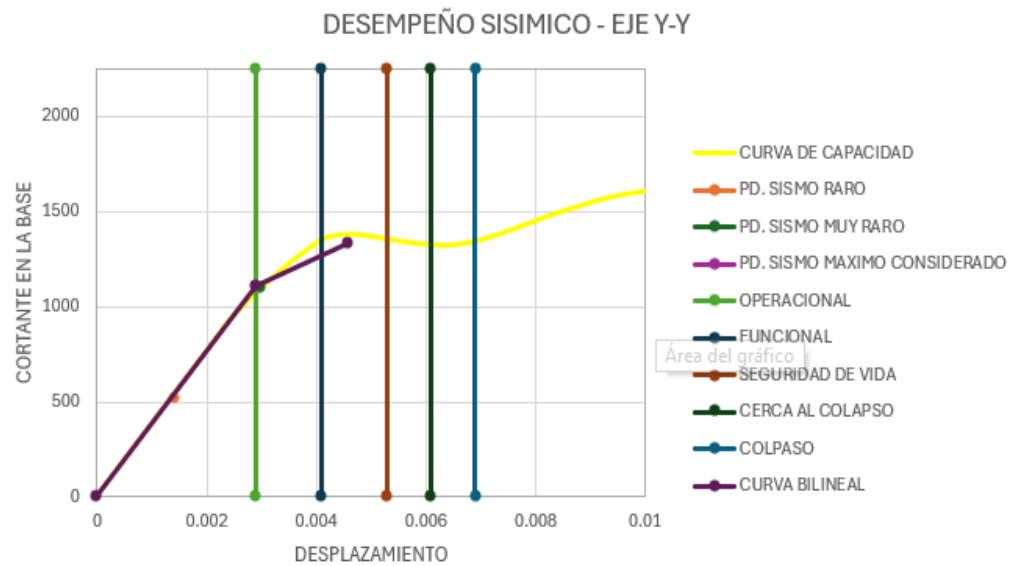
*Nota. La Figura muestra la curva sectorizada en el eje X-X, construida según el enfoque del SEAOC, donde se ubican los puntos de desempeño calculados con el método de los coeficientes de la ASCE/SEI 41-17, permitiendo evaluar la respuesta estructural frente a distintas demandas sísmicas.*

- Desempeño sísmico en el sentido Y+

La evaluación en la dirección “Y” muestra que la estructura responde sin superar el sector operacional ante un sismo raro; dentro del sector operacional frente a un sismo muy raro y dentro del sector funcional ante un máximo sismo considerado. Esta progresión de desempeño se representa gráficamente en la figura siguiente.

**Figura 89**

Desempeño sísmico Y–Y



Nota. La Figura muestra la curva sectorizada en el eje Y–Y, construida según el enfoque del SEAOC, donde se ubican los puntos de desempeño calculados con el método de los coeficientes de la ASCE/SEI 41-17, permitiendo evaluar la respuesta estructural frente a distintas demandas sísmicas.

## CAPÍTULO V: DISCUSIÓN

Respecto al comportamiento estructural de construcciones antiguas, el análisis realizado al Módulo “J” de la I.E. Guillermo Auza Arce Se observa un desempeño sísmico limitado, con una fluencia efectiva a 0,0138 m y una resistencia máxima de 652,08 tonf alcanzada a 0,155 m de desplazamiento. A diferencia de lo expuesto por Muñoz et al. (2004), quienes evidenciaron un bajo nivel de afectación en edificaciones regidas por la norma de 1997 durante el sismo de Atico (Mw 8.4), el presente análisis revela un desempeño estructural menos favorable. Este contraste enfatiza la importancia de actualizar y reforzar edificaciones construidas bajo normativas previas a 1997, las cuales, en su mayoría, no se alinean con los estándares sísmicos establecidos en el marco normativo actual. Cabe destacar que el Módulo “J” al albergar estudiantes del nivel secundario, ante un eventual colapso estructural representaría un riesgo crítico. Por ello, resulta indispensable aplicar un programa de reforzamiento estructural que reduzca el riesgo y proteja el entorno educativo.

En el ámbito de la calidad constructiva y la vulnerabilidad sísmica, Abarca et al. (2022) identificaron que alrededor del 60 % de los centros educativos en Tacna fueron edificados con materiales que no cumplen con los criterios mínimos de seguridad estructural establecidos por la normativa vigente. Este resultado respalda la urgencia de realizar un censo de infraestructura educativa para identificar edificaciones en riesgo y definir estrategias de reforzamiento. La verificación detallada de la calidad de los materiales representa un elemento fundamental en la preservación de la seguridad estructural en entornos educativos.

Tal como lo señalan Gonzales et al. (2020), la implementación de modelos estructurales no lineales constituye una herramienta esencial para la evaluación rigurosa de construcciones con antigüedad significativa. En el presente estudio, se aplicó un análisis Pushover al Módulo “J”, revelando un comportamiento estructural crítico: ante un sismo raro, se alcanza un desplazamiento de 0,031 m, muy próximo a la capacidad máxima. Estos indicadores sugieren una alta probabilidad de falla, lo que refuerza la necesidad de implementar metodologías avanzadas en la evaluación de infraestructura educativa. Su aplicación permite priorizar intervenciones estructurales en edificaciones con mayor riesgo, optimizando la toma de decisiones en contextos de alta vulnerabilidad sísmica.

La evolución normativa en diseño sismorresistente ha tenido un impacto significativo en la seguridad estructural. La versión de 1997 introdujo requisitos de

rigidez más riguroso. Sin embargo, como señala Tarque (2017), el 75% de las edificaciones construidas antes de dicha actualización siguen siendo vulnerables. El análisis del Módulo “J”, diseñado antes de 1997, muestra un índice de desempeño sísmico de 0,35, lo que refleja una capacidad insuficiente frente a solicitaciones sísmicas actuales. Este hallazgo subraya la necesidad de reforzar el cumplimiento normativo y realizar evaluaciones estructurales en edificaciones educativas.

En el marco de la rehabilitación de infraestructura educativa, Astorga et al. (2006) identificaron que una proporción significativa de edificaciones escolares en el Perú presenta deficiencias estructurales, lo que pone de manifiesto la urgencia de implementar medidas de intervención técnica. En el presente estudio, el análisis del Módulo “J” de la I.E. Guillermo Auza Arce El comportamiento observado sugiere una proximidad al sector cerca al colapso estructural, con riesgo significativo ante sismos de intensidad media. Las placas, que constituyen una deficiencia crítica, por demanda de intervenciones correctivas mediante técnicas como el refuerzo con fibras de carbono o el uso de acero adicional para mejorar la capacidad resistente. Estas acciones no solo elevarían el nivel de seguridad estructural, sino que también podrían servir como referencia para otras instituciones educativas con características similares. Además, se plantea la implementación de un programa integral de rehabilitación que contemple la formación del personal en mantenimiento estructural, como medida estratégica para reforzar la seguridad en el ámbito escolar peruano.

## CONCLUSIONES

A partir del análisis Pushover, se caracterizó la curva de capacidad del Módulo "J" de la I.E. Guillermo Auza Arce en las direcciones X+ y Y. En el eje X+, la estructura alcanzó 775,61 tonf de fuerza cortante con un desplazamiento de 0,16 m; en el eje Y, se obtuvo una fuerza de 2202,25 tonf con un desplazamiento de 0,082 m, evidenciando una mayor rigidez en dicha dirección. La menor deformación alcanzada en el sentido X se vincula con la existencia de vigas secundarias que no cumplen con los requisitos mínimos de resistencia, limitando la respuesta estructural ante cargas laterales, debido a la reducida cuantía de acero longitudinal. En contraste, la mayor rigidez observada en la dirección Y se debe a la existencia de muros de concreto armado y una viga principal con una sección transversal reforzada, que proporciona una capacidad significativa tanto a tracción como a compresión.

El análisis estático no lineal Pushover permitió identificar el punto de fluencia efectiva del Módulo "J" de la I.E. Guillermo Auza Arce. En el eje X+, este punto se encuentra en 0,013 m de desplazamiento y 338,62 tonf de fuerza cortante; en el eje Y+, se ubica en 0,0007 m y 268,20 tonf, respectivamente, evidenciando una mayor rigidez inicial en la dirección Y.

Se identificaron los puntos de desempeño estructural correspondientes a distintos niveles de peligro sísmico, empleando el espectro elástico definido por la Norma Técnica Peruana E.030 (2018), considerado análogo al sismo raro conforme a la clasificación del comité VISION 2000. En la dirección X+, la respuesta estructural ante un sismo raro se caracteriza por un desplazamiento de 0,031 m y una fuerza cortante basal de 439,06 tonf. Bajo la acción de un sismo muy raro, estos valores aumentan a 0,070 m de desplazamiento y 516,90 tonf de cortante. Para los niveles de un sismo máximo considerado, el desplazamiento aumenta a 0,12 m con una cortante de 603,83 tonf. En la dirección Y+, ante un sismo máximo considerado, se alcanza una fuerza cortante de 1377,32 tonf con un desplazamiento de 0,0046 m.

Se evaluaron los niveles de desempeño sísmico del Módulo "J" mediante el análisis estático no lineal Pushover. En la dirección X+, la estructura se ubica dentro del rango del sector operacional ante un sismo raro, y en el sector funcional frente a un sismo muy

raro. Para escenarios de amenaza sísmica alta como los eventos clasificados como sismos máximos considerados, la estructura evaluada pasa el sector cerca al colapso mas no llega a colapsar es decir cuenta con ductilidad y resistencia. La respuesta estructural en la dirección Y+ resulta más favorable aun, no superando el rango operacional ante un sismo raro, en el sector operacional frente a un evento sísmico muy raro, en el sector funcional ante un sismo máximo considerado, por lo tanto, podemos decir que la estructura presenta bastante resistencia en el eje Y+ ya que no llega al rango de seguridad de vida.

## RECOMENDACIONES

Se recomienda a los profesionales en el ámbito estructural, investigadores, consultores y desarrolladores de software, así como para estudiantes de posgrado involucrados en el diseño y evaluación de estructuras críticas; el análisis no lineal Pushover, pues constituye una herramienta avanzada para la evaluación estructural, recomendada especialmente en proyectos de alta complejidad. Este procedimiento mejora la precisión en la evaluación estructural al considerar modelos de histéresis calibrados y simular la curva backbone, lo que permite una aproximación más representativa frente a eventos sísmicos.

Se sugiere a los actores técnicos como constructoras, laboratorios, investigadores y comités normativos realizar ensayos in situ adaptados a las dimensiones particulares de cada proyecto, ya que permiten obtener la curva de capacidad real del elemento y comprender mejor su comportamiento inelástico. Este procedimiento adquiere relevancia, especialmente en zonas con alta amenaza sísmica, al permitir ajustar modelos numéricos y validar criterios de diseño estructural.

Se sugiere a entidades reguladoras, comités técnicos, profesionales del diseño estructural, investigadores y desarrolladores de softwares; incorporar el análisis no lineal como complemento a los métodos prescriptivos tradicionales en el diseño estructural, con el fin de validar su desempeño frente a solicitaciones reales, siendo especialmente relevante en zonas sísmicamente activas o en proyectos con tipologías estructurales no convencionales.

Se recomienda a futuros tesisistas e investigadores emplear la normativa ASCE/SEI 41-23 como referencia en investigaciones orientadas a la evaluación estructural de edificaciones educativas. Esta edición más reciente introduce enfoques refinados y parámetros técnicos actualizados que permiten una caracterización más precisa del comportamiento sísmico, lo cual resulta especialmente útil para trabajos académicos y estudios aplicados en contextos de alta exigencia estructural.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abarca, L. y Condori, B. (2022). Evaluación preliminar de la vulnerabilidad sísmica de los centros educativos de la ciudad de Tacna. <https://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/523>
- Agencia Federal para el Manejo de Emergencias (FEMA 273). (1997). Lineamientos NEHRP para la rehabilitación sísmica de edificios. (Vol. Report N° 273). Washington D.C., Estados Unidos.
- Aranguren et al (2021). Muros de ductilidad limitada. Recuperado de [https://issuu.com/rodrigoaranbau1999/docs/muros\\_de\\_ductilidad\\_limitada\\_investigacion](https://issuu.com/rodrigoaranbau1999/docs/muros_de_ductilidad_limitada_investigacion)
- Arévalo, J. & Bermúdez, W. (2007). Niveles de daño a partir de un análisis Pushover para una estructura a porticado de concreto reforzado. [Tesis para optar el título de ingeniero civil, Bucaramanga: Universidad Industrial Santander, Facultad de ingenierías físico mecánicas.] <https://noesis.uis.edu.co/server/api/core/bitstreams/7dfe386e-2976-44a6-96f3-c09d143e7af1/content>
- ASCE/SEI 41-17 (2019) Evaluación sísmica y Retrofit de Edificios Existentes. <https://zlib.pub/book/asce-standard-asce-sei-41-17-seismic-evaluation-and-retrofit-of-existing-buildings-62752m8cksr0>
- Astorga, M.A. y Aguilar, R. (2006). Evaluación del riesgo sísmico de edificaciones educativas peruanas. [Tesis para optar al grado de Magister en Ingeniería Civil, PUCP, Lima, Perú.] [Archivo PDF]
- ATC-40 (1996). Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings. <https://www.atcouncil.org/pdfs/atc40toc.pdf>
- Borda, L y Pastor A (2007) Desempeño sísmico de un edificio a porticado peruano de seis pisos [Tesis para título profesional de ingeniería civil, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]. [https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/PUCP\\_e702f6326e6791b59693452097bcff41](https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/PUCP_e702f6326e6791b59693452097bcff41)

- Calla (2020). Análisis de los efectos de fuertes derivas sísmicas en edificios en las estrategias de diseño y comportamiento estructural [Tesis para obtener grado de Magister de Ingeniería de Estructuras y de la Construcción, Universidad Politécnica de Cataluña].  
<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/341047/TFM-FINAL-HERBER%20ROLANDO%20CALLA%20DEZA.pdf?sequence=1>
- Ceballos (2019). ¡Derivas! ¿Porque las Chequeamos?  
<https://andresceballos2019.wixsite.com/inicio/post/derivadas>
- Chávez (2018). Análisis sismorresistente en la I.E. N° 82069 del distrito de Llacanora, provincia Cajamarca, región Cajamarca, en el año 2018 [Tesis para título profesional de ingeniería civil, Universidad Cesar Vallejo].  
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/31954>
- Chiroui L. et al (2005). El método del espectro de capacidad aplicado a la evaluación de daños sísmicos. 2° Congreso Iberoamericano de Ingeniería Sísmica.  
[https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/368763/El\\_metodo\\_del\\_espectro.pdf?sequence=5&isAllowed=y](https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/368763/El_metodo_del_espectro.pdf?sequence=5&isAllowed=y)
- Delgado (2014). Evaluación estructural de una edificación Cualquiera en el Perú.  
<https://es.slideshare.net/gustavoivand/evaluacion-estructural-de-una-edificacin-cualquiera-en-el-per>
- Delgado y Peña (2006). Edificios peruanos con muros de ductilidad limitada.  
<http://hdl.handle.net/20.500.12404/169>
- Duarte,C., Martínez,M. , Santamaria,J.(2017). Análisis estático no lineal (Pushover) del cuerpo central del edificio de la facultad de medicina de la universidad de el salvador [Tesis para título profesional de ingeniería civil, Universidad de El Salvador]. <https://repositorio.ues.edu.sv/server/api/core/bitstreams/aad2e981-7633-4db5-b015-52fba53438fa/content>
- Gonzales, G., Aguilar, A. y Huaco, G. (2020). Incremental Dynamic Analysis of a 60 Year Old Hospital with Handmade Brick Masonry Walls.  
[https://laccei.org/LACCEI2020- VirtualEdition/full\\_papers/FP375.pdf](https://laccei.org/LACCEI2020- VirtualEdition/full_papers/FP375.pdf)
- Hibbeler, R. (2012). *Analisis Estructural* (L. Koestinger, M. Contreras, & L. Cruz (Eds.); 8VA ED.). Pearson.
- J. Aguilar y C. Aguilar (2017). Evaluación y reforzamiento estructural del edificio de la escuela profesional de obstetricia –UNJBG – Tacna [Tesis para título profesional

- de ingeniería civil, Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann]. <http://repositorio.unjbg.edu.pe/handle/UNJBG/2875>
- López (2017). Evaluación estructural mediante aplicación de normativa NEC y propuestas de reforzamiento de la residencia universitaria hogar santa teresita del D.M.G. [Tesis para título profesional de ingeniería civil, Universidad Central de Ecuador]. <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/10747>
- Mora, et al, (2006) Deficiencias, limitaciones, ventajas y desventajas de las metodologías de análisis sísmico no lineal. Revista Ingenierías Universidad de Medellín. <https://www.redalyc.org/pdf/750/75050906.pdf>
- Moreno, R. (2006). Evaluación del riesgo sísmico en edificios mediante análisis estático no lineal: Aplicando a diversos escenarios sísmicos de Barcelona. Tesis de doctorado, Universidad Politécnica de Cataluña. <http://hdl.handle.net/2117/93559>
- Muñoz, A., Blondet, M., Quintana, U. y Leon, H. (2004). Earthquake-resistant performance of Peruvian school buildings. 13th World Conference on Earthquake Engineering (Paper No. 2447). [Archivo PDF]
- NTE E.030. (2018). Norma E.030 de Diseño sismorresistente. Reglamento nacional de edificaciones - Perú.
- NTE E.020. (2006). Norma E.020 Cargas. Reglamento nacional de edificaciones - Perú.
- Park, P., & Priestley, M. (1992). Seismic design of reinforced concrete and masonry buildings. United State.
- Sika (2017). Reforzamiento de estructuras de concreto. <https://col.sika.com/dms/getdocument.get/c5fbb55d-9240-3b09-9eee-edf695806345/Reforzamiento%20Estructuras%202017.pdf>
- Silva (s, f). Ventajas y usos más frecuentes de los sistemas: combinado y dual. Recuperado de <https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/usos-frecuentes-sistemas-combinado-y-dual>
- Tarque Nicola, et al (2018) Development of Fragility Curves for Confined Masonry Buildings in Lima, Perú. Artículo de The Professional Journal of the Earthquake Engineering Research Institute. [https://www.researchgate.net/publication/324548727\\_Development\\_of\\_Fragility\\_Curves\\_for\\_Confined\\_Masonry\\_Buildings\\_in\\_Lima\\_Peru](https://www.researchgate.net/publication/324548727_Development_of_Fragility_Curves_for_Confined_Masonry_Buildings_in_Lima_Peru)

Tarquino, D., & Villamil, K. (2018). *Comparación del método lineal elástico estático y método lineal dinámico en estructuras aporticadas en concreto reforzado*. Tesis de pregrado, Universidad Católica de Colombia. <https://hdl.handle.net/10983/22894>

Yanqui y Paniagua (2020). EVALUACIÓN ESTRUCTURAL SÍSMICO DEL PABELLÓN "C" DEL C.E.I. 225 NIÑOS HÉROES, TACNA 2020 [Tesis para título profesional de ingeniería civil, Universidad Privada de Tacna]. <http://repositorio.upt.edu.pe/handle/20.500.12969/1560>

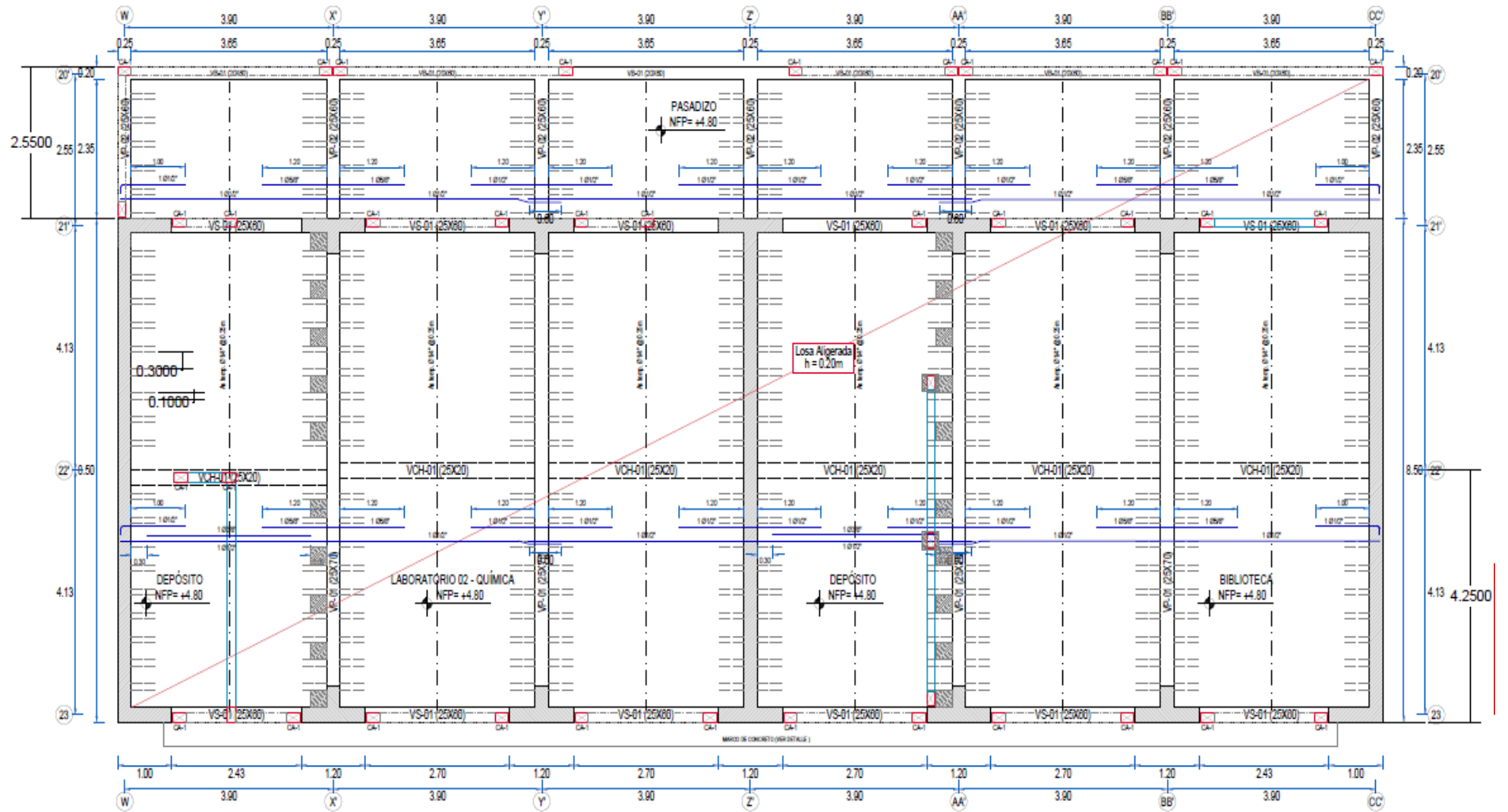
**ANEXOS**

## Anexo 1 . Matriz de consistencia

<b>Problema</b>	<b>Objetivos</b>	<b>Hipótesis</b>	<b>Variables</b>	<b>Indicador</b>	<b>Metodología</b>
<p><b>Problema general</b></p> <p>¿Cómo evaluar el desempeño sísmico del módulo "J" de la I.E. Guillermo Auza Arce mediante el análisis estático no lineal Pushover, Tacna – 2025?</p>	<p><b>Objetivo general</b></p> <p>Evaluar del desempeño sísmico del módulo "J" de la I.E. Guillermo Auza Arce mediante el análisis estático no lineal pushover, Tacna – 2025.</p>	<p><b>Hipótesis general</b></p> <p>El módulo "J" de la I.E. Guillermo Auza Arce, presenta un desempeño sísmico deficiente cuando se someta a un análisis estático no lineal pushover, evidenciando su vulnerabilidad ante posibles eventos sísmicos</p>	<p><b>Variable independiente</b></p> <p>- Análisis estático no lineal Pushover</p>	<p><b>Indicador</b></p> <p>- Definición de propiedades de materiales (concreto, acero de refuerzo) (Kg/cm<sup>2</sup>)</p> <p>- Asignación de rótulas prácticas y definición de curvas de comportamiento.</p> <p>- Patrones de carga laterales</p>	<p><b>Tipo de investigación :</b></p> <p>- Aplicada</p> <p><b>Nivel de investigación :</b></p> <p>- Explicativo</p>
<p><b>Problemas específicos</b></p> <p>a. ¿Cómo se puede determinar la curva de capacidad del módulo "J" de la Institución Educativa Guillermo Auza Arce a través del análisis Pushover, integrando el modelo estructural, la caracterización de los materiales y la</p>	<p><b>Objetivos específicos</b></p> <p>a. Determinar la curva de capacidad del módulo "J" de la I.E. Guillermo Auza Arce a través del análisis Pushover, integrando el modelo estructural, la caracterización de los materiales y la inclusión de rótulas plásticas en los componentes estructurales.</p>	<p><b>Hipótesis específicas</b></p> <p>a. La curva de capacidad a través del análisis Pushover, integrando el modelo estructural, la caracterización de los materiales y la inclusión de rótulas plásticas en los componentes estructurales, representa de manera precisa la respuesta fuerza - desplazamiento del</p>	<p><b>Variable dependiente</b></p> <p>- Evaluación del desempeño sísmico</p>	<p><b>Indicador</b></p> <p>- Curva de capacidad (fuerza - desplazamiento)</p> <p>- Punto de fluencia efectiva y desempeño esperado</p>	<p><b>Diseño de investigación</b></p> <p>- No experimental</p>

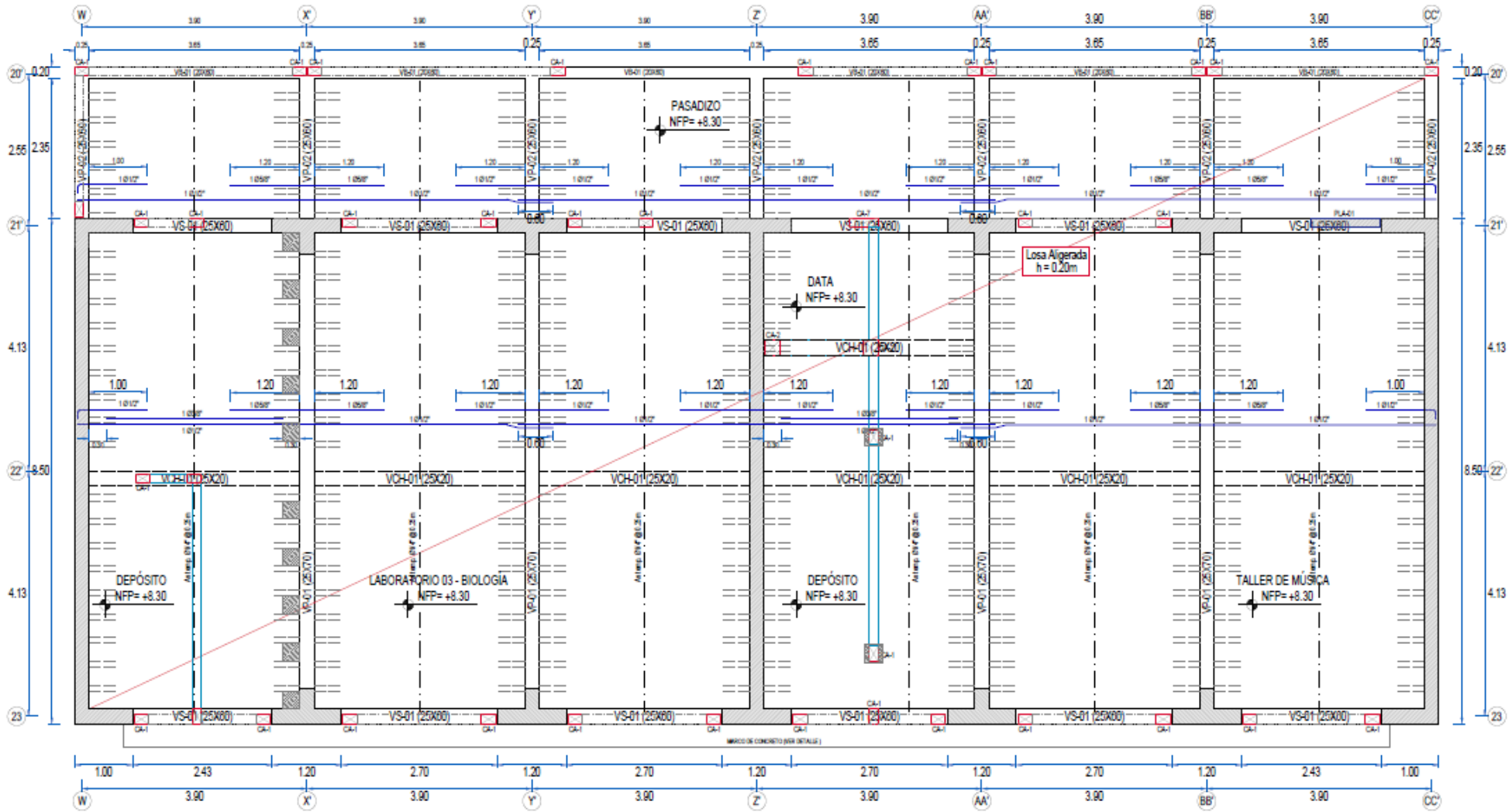
<p>inclusión de rótulas plásticas en los componentes estructurales?</p> <p>b. ¿Cómo identificar el punto de fluencia efectiva del módulo "J" de la I.E. Guillermo Auza Arce frente a cargas laterales, aplicando el análisis Pushover no lineal y tomando en cuenta los diversos patrones de carga y los métodos de control por desplazamiento y fuerza?</p> <p>c. ¿Cómo obtener el punto de desempeño sísmico del módulo "J" de la I.E. Guillermo Auza Arce para estimar la demanda sísmica a partir de los resultados obtenidos mediante el análisis estático no lineal Pushover?</p>	<p>b. Identificar el punto de fluencia efectiva del módulo "J" de la I.E. Guillermo Auza Arce frente a cargas laterales, aplicando el análisis Pushover no lineal y tomando en cuenta los diversos patrones de carga y los métodos de control por desplazamiento y fuerza.</p> <p>c. Obtener el punto de desempeño sísmico del módulo "J" de la I.E. Guillermo Auza Arce para estimar la demanda sísmica a partir de los resultados obtenidos mediante el análisis estático no lineal Pushover.</p>	<p>módulo "J" de la I.E. Guillermo Auza Arce.</p> <p>b. La aplicación del análisis estático no lineal Pushover, considerando diversos esquemas de carga lateral y métodos de control por desplazamiento y fuerza, facilita la identificación precisa del punto de fluencia efectivo del módulo "J" de la I.E. Guillermo Auza Arce.</p> <p>c. El punto de desempeño sísmico derivado del análisis estático no lineal tipo Pushover permite representar de forma confiable la demanda sísmica que enfrentará el módulo "J" de la Institución Educativa Guillermo Auza Arce.</p>		<p>- Espectro de respuestas elástico e inelástico</p> <p>- Niveles de desempeño sísmico</p>	
---	---	---	--	---	--

Anexo 2 . Plano del primer piso de la I.E. Guillermo Auza Arce



ENCOFRADO - NIVEL 1 - BLOQUE J

Anexo 3 . Plano del segundo piso de la I.E. Guillermo Auza Arce



ENCOFRADO - NIVEL 2 - BLOQUE J

Anexo 4. Plano del tercer piso de la I.E. Guillermo Auza Arce

