

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS

**“DESEMPEÑO SÍSMICO DEL BLOQUE PRINCIPAL DE LA I.E
Nº17507 SAN JUAN DE DIOS, FILA ALTA – JAÉN”**

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL

AUTOR

Bach. Miguel Angel Ubillús Córdova

ASESOR:

Dr. Ing. Mauro Augusto Centurión Vargas

CAJAMARCA - PERÚ

2025

CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

FACULTAD DE INGENIERÍA

1. Investigador: Miguel Angel Ubillus Córdova

DNI: 76969493

Escuela Profesional: Ingeniería Civil

2. Asesor: Dr. Mauro Augusto Centurión Vargas

Facultad: Ingeniería

3. Grado académico o título profesional

Bachiller

Título profesional

Segunda especialidad

Maestro

Doctor

4. Tipo de Investigación:

Tesis

Trabajo de investigación

Trabajo de suficiencia profesional

Trabajo académico

5. Título de Trabajo de Investigación:

"DESEMPEÑO SÍSMICO DEL BLOQUE PRINCIPAL DE LA LE. N° 17507 SAN JUAN DE DIOS, FILA ALTA - JAÉN"

6. Fecha de evaluación: 24/10/2025

7. Software antiplagio:

TURNITIN

URKUND (OURIGINAL) (*)

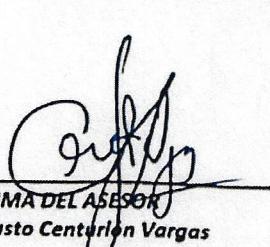
8. Porcentaje de Informe de Similitud: 3 %

9. Código Documento: oid::3117:517903683

10. Resultado de la Evaluación de Similitud:

APROBADO PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión: 25/10/2025

 FIRMA DEL ASESOR Dr. Ing. Mauro Augusto Centurión Vargas DNI: 26604421	 FIRMA DIGITAL	<p>Firmado digitalmente por: BAZAN DIAZ Laura Sofia FAU 20148258801 soft Motivo: En señal de conformidad Fecha: 25/10/2025 12:58:58-0500</p> <p>UNIDAD DE INVESTIGACIÓN FI</p>
--	---	--



Universidad Nacional de Cajamarca

"Norte de la Universidad Peruana"

Fundada por Ley 14015 del 13 de Febrero de 1962

FACULTAD DE INGENIERÍA

Teléf. N° 365976 Anexo N° 1129-1130



ACTA DE SUSTENTACIÓN PÚBLICA DE TESIS.

TITULO : *DESEMPEÑO SÍSMICO DEL BLOQUE PRINCIPAL DE LA I.E. N° 17507 SAN JUAN DE DIOS, FILA ALTA - JAÉN*

ASESOR : *Dr. Ing. Mauro Augusto Centurión Vargas.*

En la ciudad de Cajamarca, dando cumplimiento a lo dispuesto por el Oficio Múltiple N° 0716-2025-PUB-SA-FI-UNC, de fecha 29 de octubre de 2025, de la Secretaría Académica de la Facultad de Ingeniería, a los **cuatro días del mes de noviembre de 2025**, siendo las dieciséis horas (04:00 p.m.) en la Sala de Audiovisuales (Edificio 1A – Segundo Piso), de la Facultad de Ingeniería, se reunieron los Señores Miembros del Jurado Evaluador:

Presidente : Dr. Ing. Miguel Angel Mosqueira Moreno.
Vocal : Ing. Marcos Mendoza Linares.
Secretario : M.Cs. Ing. Manuel Lincoln Minchán Pajares.

Para proceder a escuchar y evaluar la sustentación pública de la tesis titulada *DESEMPEÑO SÍSMICO DEL BLOQUE PRINCIPAL DE LA I.E. N° 17507 SAN JUAN DE DIOS, FILA ALTA - JAÉN*, presentado por el Bachiller en Ingeniería Civil *MIGUEL ANGEL UBILLUS CÓRDOVA*, de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil - Filial Jaén, asesorado por el Dr. Ing. Mauro Augusto Centurión Vargas, para la obtención del Título Profesional

Los Señores Miembros del Jurado replicaron al sustentante debatieron entre sí en forma libre y reservada y lo evaluaron de la siguiente manera:

EVALUACIÓN PRIVADA : 07 PTS.
EVALUACIÓN PÚBLICA : 09 PTS.
EVALUACIÓN FINAL : 16 PTS *Drecessor* (En letras).

En consecuencia, se lo declara *APROBADO* con el calificativo de *16 (Drecessor)* acto seguido, el presidente del jurado hizo saber el resultado de la sustentación, levantándose la presente a las *5:00 pm* horas del mismo día, con lo cual se dio por terminado el acto, para constancia se firmó por quintuplicado.

Dr. Ing. Miguel Angel Mosqueira Moreno.
Presidente

Ing. Marcos Mendoza Linares.
Vocal

M.Cs. Ing. Manuel Lincoln Minchán Pajares.
Secretario

Dr. Ing. Mauro Augusto Centurión Vargas.
Asesor



Universidad Nacional de Cajamarca

"Norte de la Universidad Peruana"

Fundada por Ley 14015 del 13 de Febrero de 1962

FACULTAD DE INGENIERÍA

Teléf. N° 365976 Anexo N° 1129-1130



EVALUACIÓN DE LA SUSTENTACIÓN PÚBLICA DE TESIS.

Bachiller en Ingeniería Civil: MIGUEL ANGEL UBILLUS CÓRDOVA.

RUBRO	PUNTAJE
	Máximo / Calificación
2. DE LA SUSTENTACIÓN PÚBLICA	
2.1. Capacidad de síntesis	02
2.2. Dominio del tema	02
2.3. Consistencia de las alternativas presentadas	02
2.4. Precisión y seguridad en las respuestas	03
PUNTAJE TOTAL (MÁXIMO 12 PUNTOS)	09

Cajamarca, 04 de noviembre de 2025

Dr. Ing. Miguel Angel Mosqueira Moreno.
Presidente

M.Cs. Ing. Manuel Lincoln Minchán Pajares.
Secretario

Ing. Marcos Mendoza Linares.
Vocal

Dr. Ing. Mauro Augusto Centurión Vargas.
Asesor



Universidad Nacional de Cajamarca

"Norte de la Universidad Peruana"

Fundada por Ley 14015 del 13 de Febrero de 1962

FACULTAD DE INGENIERÍA

Teléf. N° 365976 Anexo N° 1129-1130



EVALUACIÓN FINAL DE LA SUSTENTACIÓN DE TESIS.

Bachiller en Ingeniería Civil: MIGUEL ANGEL UBILLÚS CÓRDOVA.

RUBRO	PUNTAJE
A.- EVALUACIÓN DE LA SUSTENTACIÓN PRIVADA	07
B.- EVALUACIÓN DE LA SUSTENTACIÓN PÚBLICA	09
EVALUACIÓN FINAL	
EN NÚMEROS (A + B)	16
EN LETRAS (A + B)	Dieciséis
- Excelente 20 - 19	Bueno
- Muy Bueno 18 - 17	
- Bueno 16 - 14	
- Regular 13 a 11	
- Desaprobado 10 a menos	

Cajamarca, 04 de noviembre de 2025

Dr. Ing. Miguel Angel Mosqueira Moreno.
Presidente

M.Cs. Ing. Manuel Lincoln Minchán Pajares.
Secretario

Ing. Marcos Mendoza Linares.
Vocal

Dr. Ing. Mauro Augusto Centurión Vargas.
Asesor

DEDICATORIA

A mi madre Delia, el ejemplo más inspirador de perseverancia, sacrificio y amor incondicional, mi principal motivación en mi etapa de formación profesional.

A mi padre Santos y mis hermanos Richard, Grace, Alex y Ana, por su compañía comprensión y aliento en los momentos más desafiantes. Cada uno de ustedes formaron parte esencial en este logro, siempre llevaré su ejemplo y cariño conmigo.

A mis sobrinos Aitana y Matías, los que con su ternura son una motivación constante para esforzarme y poder cumplir mis metas.

Miguel Angel

AGRADECIMIENTO

A Dios, por llenarme de fortaleza y permitirme realizar esta investigación que será un paso muy importante en mi vida profesional.

A mi madre Delia, por su apoyo y amor incondicional que fueron las bases inquebrantables para iniciar y llegar hasta este punto del camino en mi carrera profesional.

A mi asesor el Dr. Ing. Mauro Augusto Centurión Vargas, por su apoyo en la realización de cada etapa de la presente tesis.

A los docentes de la universidad nacional de Cajamarca por su buena disposición y profesionalismo para compartir sus conocimientos, a mis amigos que con su amistad convirtieron este camino más ameno y enriquecedor.

ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTO.....	ii
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	iii
ÍNDICE DE TABLAS	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
RESUMEN.....	xii
ABSTRACT	xiii
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Contexto de la investigación	1
1.2. Planteamiento del problema	2
1.3. Formulación del problema	4
1.4. Hipótesis de la investigación.....	4
1.5. Variables e indicadores	4
1.5.1. Variable.....	4
1.6. Justificación.....	5
1.7. Alcances	5
1.8. Limitación	5
1.9. Objetivos	5
1.9.1. Objetivo general.....	5
1.9.2. Objetivos específicos	6

1.10.	Descripción de contenido	6
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....		8
2.1.	Antecedentes teóricos.....	8
2.1.1.	Antecedentes internacionales.....	8
2.1.2.	Antecedentes nacionales	9
2.1.3.	Antecedentes locales.....	10
2.2.	Bases teóricas	11
2.2.1.	Diseño sismorresistente	11
2.2.1.1.	Normatividad	11
2.2.1.2.	Filosofía y principios del diseño sismorresistente	11
2.2.1.3.	Zonificación	11
2.2.1.4.	Condiciones Geotécnicas	13
2.2.1.5.	Parámetros de sitio (S , T_p y T_L).....	13
2.2.1.6.	Factor de amplificación sísmica (C).....	14
2.2.1.7.	Periodo fundamental de vibración.....	15
2.2.1.8.	Categoría de las edificaciones y factor de uso (U)	15
2.2.1.9.	Sistemas estructurales y coeficiente básico de reducción de fuerzas sísmicas (R_o)	17
2.2.1.10.	Coeficiente de reducción de fuerzas sísmicas, R	18
2.2.1.11.	Fuerza cortante en la base.....	18
2.2.1.12.	Aceleración espectral.....	18
2.2.2.	Métodos de evaluación de la capacidad estructural o resistencia.....	19
2.2.2.1.	Análisis lineal	19
2.2.2.2.	Análisis estático no lineal	19

2.2.3.	Análisis estático no lineal Pushover	28
2.2.3.1.	Características del análisis Pushover	29
2.2.3.2.	Procedimiento del análisis Pushover	29
2.2.3.3.	Curva de capacidad.....	30
2.2.3.4.	Patrón de cargas laterales.....	30
2.2.3.5.	Rótulas plásticas	32
2.2.3.6.	Espectro de capacidad.....	34
2.2.4.	Punto de desempeño de la estructura.....	34
2.2.5.	Desempeño sísmico	38
2.2.6.	Sectorización de la curva de capacidad	39
2.2.7.	Niveles de desempeño sísmico	40
2.2.7.1.	Niveles de desempeño estructural según el ASCE/SEI 41-17.....	41
2.3.	Definición de términos básicos	43
	CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS	45
3.1.	Ubicación del proyecto.....	45
3.2.	Época de elaboración de tesis.....	45
3.3.	Tratamiento, análisis de datos y presentación de resultados	46
3.3.1.	Tipo de investigación.....	46
3.3.2.	Nivel de investigación	46
3.3.3.	Diseño de investigación	46
3.4.	Población, muestra y unidad de análisis.....	46
3.4.1.	Población de estudio	46
3.4.2.	Muestra	47
3.4.3.	Unidad de análisis.....	47

3.5.	Procedimiento.....	47
3.5.1.	Recopilación de información.....	47
3.5.2.	Modelamiento estructural del bloque principal de la I.E N°17507 San Juan de Dios.....	47
3.5.3.	Ánalisis sísmico estático.....	54
3.5.4.	Ánalisis sísmico dinámico	55
3.5.5.	Análisis estático no lineal Pushover	57
3.5.5.1.	No linealidad del material.....	57
3.5.5.2.	Cargas laterales.....	60
3.5.5.3.	Creación de casos de cargas estáticas no lineales - Pushover	61
3.5.6.	Asignación de rótulas plásticas.....	64
3.5.7.	Curva de capacidad.....	67
3.5.8.	Punto de desempeño	68
3.5.9.	Nivel de desempeño.....	76
	CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	79
4.1.	Análisis y discusión.....	79
4.2.	Contrastación de hipótesis.....	81
	CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	82
5.1.	Conclusiones	90
5.2.	Recomendaciones.....	82
	REFERENCIAS	84
	ANEXOS	88

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Factores de zona Z	13
Tabla 2: Clasificación de los perfiles del suelo.....	13
Tabla 3: Factor de suelo "S"	14
Tabla 4: Periodos " T_p " y " T_L "	14
Tabla 5: Categoría de las edificaciones y factor "U"	16
Tabla 6: Sistemas Estructurales.....	17
Tabla 7: Valores para factor de modificación C_0	37
Tabla 8: Valores para el factor de masa efectiva C_m	38
Tabla 9: Límite de desplazamiento para evaluar el desempeño sísmico.....	39
Tabla 10: Clasificación de sismos según su probabilidad de ocurrencia	41
Tabla 11: Desempeño sísmico de la estructura	42
Tabla 12: Resumen de resultados de ensayos de esclerometría	48
Tabla 13: Definición de cargas vivas	52
Tabla 14: Definición de cargas muertas	52
Tabla 15: Parámetros sísmicos según norma E.030.....	53
Tabla 16: Periodo fundamental de vibración	54
Tabla 17: Peso de la estructura.....	54
Tabla 18: Distribución de fuerzas laterales ($k=1$, periodo menor o igual a 0.5 segundos – Norma E.030)	55
Tabla 19: Pseudo - aceleraciones en función del periodo de la estructura.....	55
Tabla 20: Masa participativa en modo fundamental de vibración	60
Tabla 21: Cálculo de fuerza lateral en dirección XX	60
Tabla 22: Cálculo de fuerzas laterales en dirección YY	61

Tabla 23: Espectro de pseudo aceleraciones para un sismo frecuente, ocasional, raro y muy raro	68
Tabla 24: Punto de desempeño para un sismo frecuente, ocasional, raro y muy raro	74
Tabla 25: Resumen de resultados obtenidos de figura 49 y 50.....	76
Tabla 26: Cálculo del límite del nivel de desempeño sísmico para dirección XX.....	76
Tabla 27: Nivel de desempeño sísmico - dirección XX.....	77
Tabla 28: Cálculo del límite del nivel de desempeño para dirección YY.....	77
Tabla 29: Nivel de desempeño sísmico - dirección YY	78

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Zonificación sísmica del Perú.....	12
Figura 2: Cambio en el comportamiento de los elementos estructurales sometidos a esfuerzos	21
Figura 3: Modelo elastoplástico perfecto	23
Figura 4: Modelo trilineal	24
Figura 5: Modelo elastoplástico con endurecimiento por deformación	25
Figura 6: Modelo para concreto no confinado	26
Figura 7: Modelo para concreto confinado	27
Figura 8: Aplicación de fuerzas laterales para análisis estático no lineal	32
Figura 9: Formación de rótulas plásticas.....	33
Figura 10: Curva y espectro de capacidad	34
Figura 11: Representación bilineal de la curva de capacidad	35
Figura 12: Sectorización de curva de capacidad idealizada	40
Figura 13: Ubicación de la zona de estudio	45
Figura 14: Módulos de la Institución Educativa	47
Figura 15: Definición de concreto $f_c=217.11\text{kg/cm}^2$	49
Figura 16: Definición de acero $f_y=4200\text{ kg/cm}^2$	50
Figura 17: Vista en planta del bloque principal	51
Figura 18: Vista en 3D del bloque principal	51
Figura 19: Aplicación de cargas a estructura	52
Figura 20: Espectro de diseño según E.030	57
Figura 21: Acero de refuerzo (Modelo Park y Paulay, 1975)	58
Figura 22: Curva esfuerzo - deformación del acero (Modelo Park y Paulay, 1975).....	58
Figura 23: Definición de concreto (Modelo Mander et al, 1998)	59

Figura 24: Curva esfuerzo - deformación del concreto confinado y no confinado (Modelo Mander et. al, 1988)	59
Figura 25: Caso de carga gravitacional no lineal	61
Figura 26: Caso de carga estática no lineal en dirección XX.....	62
Figura 27: Control de análisis no lineal en dirección XX	62
Figura 28: Caso de carga estática no lineal en dirección YY.....	63
Figura 29: Control de análisis no lineal en dirección YY	63
Figura 30: Definición de rótulas plásticas en vigas.....	64
Figura 31: Definición de rotulas plásticas en columnas.....	65
Figura 32: Vista en planta (Aplicación de rotulas pasticas).....	65
Figura 33: Vista en elevación (Aplicación de rotulas plásticas)	66
Figura 34: Formación de rotulas plásticas (Vista en elevación)	66
Figura 35: Curva de capacidad en dirección XX	67
Figura 36: Curva de capacidad en dirección YY	67
Figura 37: Espectro de demanda para cada tipo de sismo.....	70
Figura 38: Desplazamiento máximo, Sismo Frecuente - dirección XX.....	70
Figura 39: Desplazamiento máximo, Sismo Ocasional - dirección XX	71
Figura 40: Desplazamiento máximo, Sismo Raro - dirección XX.....	71
Figura 41: Desplazamiento máximo, Sismo Muy Raro - dirección XX	72
Figura 42: Desplazamiento máximo, Sismo Frecuente - dirección YY	72
Figura 43: Desplazamiento máximo, Sismo Ocasional - dirección YY	73
Figura 44: Desplazamiento máximo, Sismo Raro - dirección YY	73
Figura 45: Desplazamiento máximo, Sismo Muy Raro - dirección YY	74
Figura 46: Representación bilineal de la curva de capacidad - dirección XX	75
Figura 47: Representación bilineal de la curva de capacidad - dirección YY	75

Figura 48: Seccionamiento para determinar el desempeño sísmico - dirección XX 77

Figura 49: Seccionamiento para determinar el desempeño sísmico - dirección YY 78

RESUMEN

En las últimas décadas, los sismos ocurridos dejaron en evidencia que existen edificaciones vulnerables e incumplen con normas de seguridad estructural. Por lo cual, la presente tesis está enfocada en determinar el desempeño sísmico del bloque principal de la I.E N°17507 San Juan de Dios, Fila Alta - Jaén. Se realizó el ensayo de esclerometría en elementos estructurales para determinar la resistencia a la compresión del concreto. Con el software Etabs V.20, se realizó un análisis estático no lineal (Pushover) para determinar la curva de capacidad de la estructura, obteniendo como desplazamiento máximo 7.00 cm en la dirección XX y 12.77 cm en la dirección YY. Siguiendo los lineamientos de la norma ASCE/SEI 41-17, se determinó el punto de desempeño sísmico cuando la estructura está bajo la demanda de un sismo frecuente, ocasional, raro y muy raro. Se realizó el seccionamiento de la curva de capacidad para determinar el desempeño sísmico. Para un sismo frecuente y ocasional la estructura tiene un desempeño sísmico Operacional (1-A), para un sismo raro, la estructura presenta un desempeño sísmico de Seguridad de Vida (3-C) en la dirección XX, y Ocupación Inmediata en la dirección YY, ante la presencia de un sismo muy raro, la estructura podría colapsar. Los resultados obtenidos reflejan que la estructura del bloque principal de la I.E N°17507 San Juan de Dios no cumple con los criterios mínimos establecidos en la norma ASCE/SEI 41-17, se evidenció desplazamientos que incursionan incluso más allá de su rango inelástico.

Palabras claves: Análisis estático no lineal, curva de capacidad, punto de desempeño, desempeño sísmico.

ABSTRACT

In recent decades, earthquakes have shown that some buildings are vulnerable and do not comply with structural safety standards. Therefore, this thesis focuses on determining the seismic performance of the main block of I.E N°17507 San Juan de Dios, Fila Alta - Jaén. A sclerometry test was performed on structural elements to determine the compressive strength of the concrete. Using Etabs V.20 software, a nonlinear static analysis (Pushover) was performed to determine the capacity curve of the structure, obtaining a maximum displacement of 7.00 cm in the XX direction and 12.77 cm in the YY direction. Following the guidelines of the ASCE/SEI 41-17 standard, the seismic performance point was determined when the structure is under the demand of a frequent, occasional, rare, and very rare earthquake. The capacity curve was sectioned to determine the seismic performance. For a frequent and occasional earthquake, the structure has an Operational seismic performance (1-A), for a rare earthquake, the structure presents a Life Safety seismic performance (3-C) in the XX direction, and Immediate Occupancy in the YY direction, in the presence of a very rare earthquake, the structure could collapse. The results obtained reflect that the structure of the main block of I.E N°17507 San Juan de Dios does not meet the minimum criteria established in the ASCE/SEI 41-17 standard, displacements were evident that even go beyond its inelastic range.

Keywords: Nonlinear static analysis, capacity curve, yield point, seismic performance.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1. Contexto de la investigación

Según el Banco Mundial (2021), Alrededor del 60% de los edificios existentes en los países en desarrollo no cumplen con los estándares de seguridad estructural, lo que resulta en un aumento significativo del colapso de estas estructuras durante un evento sísmico, lo que resulta en una mayor pérdida de vidas. Esto se vio en el terremoto de 2010 en Haití, donde los edificios vulnerables contribuyeron en gran medida a la muerte de más de 200.000 personas.

Muchas zonas del país, especialmente en las regiones medias como Jaén, Cajamarca, cuentan con un gran número de escuelas cuya infraestructura fue construida hace varias décadas, por lo que pueden carecer de un enfoque o requerimiento básico para el análisis y diseño estructural. Estas edificaciones tendrán un alto grado de vulnerabilidad por la antigüedad de sus materiales, falta de mantenimiento o por no haber sido actualizadas según las normas técnicas vigentes., como el Reglamento Nacional de Edificaciones – E.030 (2018).

Tal es el caso del bloque principal de la Institución Educativa N.º 17507 San Juan de Dios, ubicada en el sector Fila Alta de Jaén, cuya estabilidad de la estructura podría estar comprometida ante un evento sísmico de magnitud considerable. Pese a ser una infraestructura educativa esencial para la comunidad, hasta la fecha no se cuenta con un estudio técnico detallado que evalúe su desempeño sísmico. Esta situación representa un problema real y urgente, ya que, de presentarse un sismo fuerte, existe un riesgo significativo para la integridad física de los estudiantes, docentes y personal administrativo.

La evaluación del desempeño sísmico de esta edificación se vuelve imprescindible no solo para diagnosticar su nivel de seguridad estructural, sino también para formular propuestas de intervención, reforzamiento o incluso reemplazo, si fuera necesario. Este tipo de

investigaciones ayuda directamente a reducir la vulnerabilidad del sector educativo ante desastres naturales y promover una cultura de prevención de riesgos en las instituciones y la sociedad (Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres [CENEPRED], 2020).

1.2. Planteamiento del problema

El Perú es uno de los países más expuestos a amenazas sísmicas debido a su ubicación en el Cinturón de Fuego del Pacífico, donde se genera una intensa actividad tectónica producto de la subducción de la placa de Nazca bajo la placa Sudamericana (Instituto Geofísico del Perú [IGP], 2021). Este escenario geológico implica un riesgo constante para la vida humana y para los edificios, especialmente aquellos que no están diseñados según los estándares modernos de resistencia a eventos sísmicos.

Durante los años 1555 y 2016, el territorio nacional fue escenario de aproximadamente 163 eventos sísmicos, por lo que se pudo observar el mal comportamiento de estructuras que son parte de localidades, evidenciando la necesidad de incluir estrategias, técnicas y metodologías innovadoras para el diseño y análisis de estructuras (Narro, 2021).

Loreto fue escenario de un sismo de 8 grados en escala de Richter en el año 2019 y según el centro de operaciones en emergencia sectorial (COES) de MINEDU, 91 escuelas sufrieron daños y 2 de ellas colapsaron quedando inhabitables y según la norma E.030 las edificaciones esenciales como las escuelas deberían continuar operativas después de un evento sísmico, sin embargo, dicho requisito no se pudo evidenciar según el reporte mencionado (Campos & Leandro, 2022).

Las instituciones educativas son particularmente vulnerables ante desastres sísmicos, ya que no solo albergan a una población significativa de estudiantes, sino que también pueden

funcionar como refugios temporales en caso de emergencias. A pesar de su importancia, muchas de estas infraestructuras en el Perú fueron construidas hace décadas, sin seguir criterios estructurales actualizados, y presentan un alto grado de deterioro o inadecuado mantenimiento (Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres [CENEPRED], 2020). Según esta entidad, una gran parte de las instituciones educativas del país se encuentran en condición de vulnerabilidad sísmica.

La ciudad de Jaén, en el departamento de Cajamarca, si bien no se encuentra en una zona con alta recurrencia sísmica, sí está expuesta a movimientos telúricos generados por fallas geológicas cercanas. En este contexto, resulta preocupante la situación de muchas instituciones educativas que, como la I.E. N.^o 17507 San Juan de Dios, han sido construidas sin criterios actualizados acorde al avance de la ingeniería estructural. El bloque principal de esta institución, ubicada en el sector Fila Alta, no cuenta con una evaluación estructural que permita conocer su comportamiento ante un evento sísmico, lo que representa un riesgo directo para la seguridad de los estudiantes, docentes y personal administrativo.

Las modernas estrategias del siglo XXI, como las establecidas en normas estadounidenses como el ATC-40 (Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings), FEMA 440 (Improvement of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedures) y el ASCE/SEI 41-17 (Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings), contribuyen al objetivo de brindar la posibilidad de entender de forma real el desempeño sísmico de estructuras construidas a base de concreto armado cuando estas estén bajo la demanda de distintos tipos de sismos, que varían en intensidad, magnitud, duración y periodo de retorno (Ramos, 2021).

Actualmente, no se tiene certeza sobre el desempeño estructural del bloque principal de esta institución, ni sobre su capacidad de resistir un sismo conforme a los criterios establecidos por el Reglamento Nacional de Edificaciones – E.030 (2018). Esta ausencia de

información técnica limita la toma de decisiones por parte de las autoridades educativas y municipales para implementar medidas de reforzamiento o prevención.

Por ello, se plantea la necesidad urgente de evaluar el desempeño sísmico del bloque principal de la I.E. N.º17507 San Juan de Dios, con el fin de identificar las posibles deficiencias estructurales y de ser necesario, proponer soluciones técnicas que aseguren su funcionalidad y seguridad ante un posible sismo. Esta evaluación será un insumo clave para mejorar la gestión del riesgo en el sector educativo de la localidad.

1.3. Formulación del problema

¿Cuál es el desempeño sísmico del bloque principal de la I.E N°17507 San Juan de Dios, Fila Alta - Jaén?

1.4. Hipótesis

El desempeño sísmico del bloque principal de la I.E. N.º17507 San Juan de Dios, Fila Alta – Jaén, frente a la demanda generada por un sismo de tipo muy raro es Seguridad de Vida (3-C).

1.5. Variables

1.5.1. Variable dependiente

- Nivel de desempeño sísmico.

1.5.2. Variable independiente

- Intensidad sísmica.

1.6. Justificación

El propósito de la presente tesis radica en determinar el desempeño sísmico, bajo la demanda de un sismo frecuente, ocasional, raro y muy raro, del bloque principal de la I.E N°17507 San Juan de Dios, la cual tiene aproximadamente 29 años albergando a estudiantes en sus instalaciones.

1.7. Alcances

La presente tesis, se enfoca en el bloque principal de la I.E N°17507 San Juan de Dios, la cual está ubicada en Fila Alta, provincia de Jaén, departamento de Cajamarca.

Se visitó las instalaciones de la institución educativa para poder corroborar las características y distribución de los ambientes, también las medidas de los elementos estructurales, de la misma manera se hizo una revisión detallada de la información existente del expediente técnico.

Se realizó el método de ensayo para determinar el número de rebote del concreto endurecido (Esclerometría), según la norma NTP 339.181, para estimar la resistencia a la compresión del concreto de los elementos estructurales.

Se hizo uso del software Etabs V.20 para realizar el análisis estático no lineal (Pushover), bajo los lineamientos de la norma ASCE/SEI 41-17.

1.8. Limitación

En la presente tesis, no se consideró la interacción suelo-estructura (ISE).

1.9. Objetivos

1.9.1. Objetivo general

- Determinar el desempeño sísmico del bloque principal de la I.E N°17507 San Juan de Dios, Fila Alta - Jaén.

1.9.2. Objetivos específicos

- Determinar el desempeño sísmico del bloque principal de la I.E N°17507 San Juan de Dios, Fila Alta – Jaén, cuando la edificación esté bajo la demanda de un sismo frecuente.
- Determinar el desempeño sísmico del bloque principal de la I.E N°17507 San Juan de Dios, Fila Alta – Jaén, cuando la edificación esté bajo la demanda de un sismo ocasional.
- Determinar el desempeño sísmico del bloque principal de la I.E N°17507 San Juan de Dios, Fila Alta – Jaén, cuando la edificación esté bajo la demanda de un sismo raro.
- Determinar el desempeño sísmico del bloque principal de la I.E N°17507 San Juan de Dios, Fila Alta – Jaén, cuando la edificación esté bajo la demanda de un sismo muy raro.

1.10. Descripción de contenido

A continuación, se detalla el trabajo de la tesis dividido en los siguientes capítulos:

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN. Contiene aspectos fundamentales para el desarrollo de la tesis, tales como: el planteamiento del problema, su formulación, la hipótesis, la justificación, los alcances o delimitaciones del estudio. Además, se detalla el objetivo general, los objetivos específicos y una descripción del contenido que forman parte del trabajo.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO. Se presentan antecedentes teóricos en las cuales se sintetiza los estudios estrechamente relacionados a la investigación, los cuales son de naturaleza internacional, nacional y local. De la misma manera, se describe las bases teóricas de conceptos principales, los mismos que fundamentan el desarrollo del tema en estudio.

CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS. Está enfocado a describir aspectos relevantes de la investigación (ubicación geográfica de la zona de estudio y el periodo en que

se desarrolló). También, se detalla la metodología y el procedimiento realizado (análisis de datos, tratamiento de datos, interpretación y presentación de resultados).

CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS. En este capítulo se realiza un análisis e interpretación de resultados enfocándose en los fundamentos teóricos que sustentan la investigación, principalmente en la formulación del problema y en los objetivos planteados.

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES. Se presentan las conclusiones obtenidas luego de realizar el análisis e interpretación de resultados, las cuales están directamente relacionadas con los objetivos planteados en la investigación. Para finalizar, se presentan recomendaciones de acuerdo a los resultados obtenidos y sugerencias para futuras investigaciones relacionadas al tema.

BIBLIOGRAFIA

ANEXOS

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes teóricos

2.1.1. Antecedentes internacionales

Duarte et al. (2017), en su tesis “Análisis estático no lineal (Pushover) del cuerpo central del edificio de la facultad de medicina de la Universidad de El Salvador”, realizaron un análisis estático no lineal Pushover para conocer la funcionalidad de la edificación después de un evento sísmico. Para el procedimiento, aplicaron normativas estadounidenses como el ATC-40 y FEMA 356. Hicieron uso del software Etabs para desarrollar el análisis estático no lineal, aplicando fuerzas horizontales incrementadas por nivel, las cuales actuaron hasta llevar a la estructura al colapso, con ello determinaron la curva de capacidad de la estructura en dirección XX y dirección YY, finalizando con obtener un nivel de desempeño de la estructura de Seguridad de Vida.

Salcedo (2017), en su tesis “Desempeño sísmico por el método Push-Over de un edificio construido en la ciudad de Barranquilla bajo la norma NSR-10”, determinó el desempeño sísmico por el método Pushover, de un edificio construido en la ciudad de Barranquilla bajo la norma NSR-10, también su deriva máxima para una amenaza sísmica alta, se ayudó de un modelo computacional usando el software Etabs. Interpretó qué los elementos fueron presentando rótulas plásticas y cuáles fueron su nivel de desempeño en cada nodo, obtuvo la curva de capacidad sísmica resistente de la estructura, determinó el comportamiento del edificio bajo un sismo leve, moderado, y de alta intensidad, también determinó los niveles de desempeño para cada nivel de amenaza sísmica. Llegó a la conclusión, que, en caso de enfrentarse al sismo de diseño, la mayoría de elementos quedarán totalmente operativos y algunos elementos en la parte baja del edificio presentarán daños mínimos.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Fernández (2018), en su tesis “Análisis Pushover para evaluar el desempeño sísmico de una Institución Educativa en el centro poblado Yungasuyo, Provincia Utcubamba - Amazonas”, se planteó como objetivo principal evaluar el desempeño sísmico de una edificación de dos niveles destinada a institución educativa, estructurada a base de pórticos de concreto armado en ambas direcciones. Realizó un análisis estático no lineal Pushover, siguiendo los lineamientos de normas como: FEMA, ATC- 40 y el ASCE 41-13. Realizó el modelado estructural en el programa Etabs, asignando la no linealidad mediante rótulas plásticas, siguiendo los criterios de aceptación establecidos por el ASCE 41-13. Para evaluar el desempeño, usó el método del espectro de capacidad propuesto por el ATC- 40, obteniendo como resultado que el desempeño sísmico alcanzado de esta edificación no es aceptable en ninguna de las direcciones. Llegó a la conclusión que no se logra el objetivo principal que es Ocupación Inmediata luego de un sismo raro o de diseño. Planteó una propuesta de reforzamiento, que era de incrementar las secciones de algunas columnas y de esta manera adicionar mayor rigidez lateral a la estructura. Con esto logró cumplir el objetivo de desempeño óptimo de la estructura, el cual es la Ocupación Inmediata para un nivel de sismo de diseño.

E. Orihuela y M. Orihuela (2021), en su tesis “Desempeño sísmico del pabellón D de la I.E Francisco Bolognesi, mediante el análisis estático no lineal Pushover, distrito Chilca, Huancayo, 2021” realizó un análisis de estático no lineal en el software Etabs V.19, determinó la curva de capacidad de la estructura en ambas direcciones, obteniendo sus desplazamientos máximos antes del colapso, realizó el seccionamiento de la curva de capacidad idealizada para encontrar el punto de desempeño para un sismo frecuente, ocasional, raro y muy raro y el desempeño sísmico de la estructura en sus ambas direcciones bajo los parámetros de la norma ASCE/SEI 41-17, llegando a la conclusión que la estructura presentará daños moderados ante sismos de gran magnitud pero sin comprometer vidas humanas.

2.1.3. Antecedentes locales

Altamirano (2021), en su tesis “Desempeño sismorresistente del Pabellón D de educación secundaria de la Institución Educativa de San Ramon – Cajamarca”, determinó el desempeño sísmico aplicando el espectro de capacidad propuesto por la Applied Techonology Council (ATC -40) 1996, realizó ensayos de esclerometría y verificó la resistencia del diseño del concreto, se apoyó en el software SAP 2000 e información de los planos estructurales. Llegó a la conclusión que el desempeño sísmico alcanzado por la estructura para el sismo raro y sismo muy raro se encuentra dentro del rango seguridad de vida y cerca del colapso respectivamente, por lo que no cumple con el desempeño sísmico esperado para edificaciones esenciales, la estructura presentara daños severos en los elementos estructurales y no estructurales, poniendo en peligro la vida de sus ocupantes.

Bolaños (2015), en su tesis “Desempeño sismorresistente del edificio 4F de la Universidad Nacional de Cajamarca” realizó un análisis estático no lineal Pushover, bajo los lineamientos de normas estadounidenses como el ATC-40, FEMA 356 y ASCE/SEI 41-13. Realizó ensayo de esclerometría para determinar la resistencia a la compresión insitu del concreto e hizo uso del software SAP 2000 para el modelamiento, obtuvo el nivel de desempeño de la estructura superponiendo las graficas del espectro de demanda y el espectro de capacidad (Representación de la curva de capacidad en cordenadas aceleración versus desplazamiento). Realizó el seccionamiento de la curva de capacidad idealizada, los niveles de desempeño sísmico de la estructura que obtuvo para un sismo raro y muy raro, no presenta daños considerables, sin embargo, para un sismo ocasional no satisfació dichos parametros, por lo que se espera que la estructura sufra daños considerables.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Diseño sismorresistente

2.2.1.1. Normatividad

La investigación se rige por la Norma Técnica E.030: Diseño Sismorresistente del Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE), aprobada mediante la Resolución Ministerial N°355-2018 - Vivienda.

2.2.1.2. Filosofía y principios del diseño sismorresistente

Según la Norma Técnica E.030 consiste en:

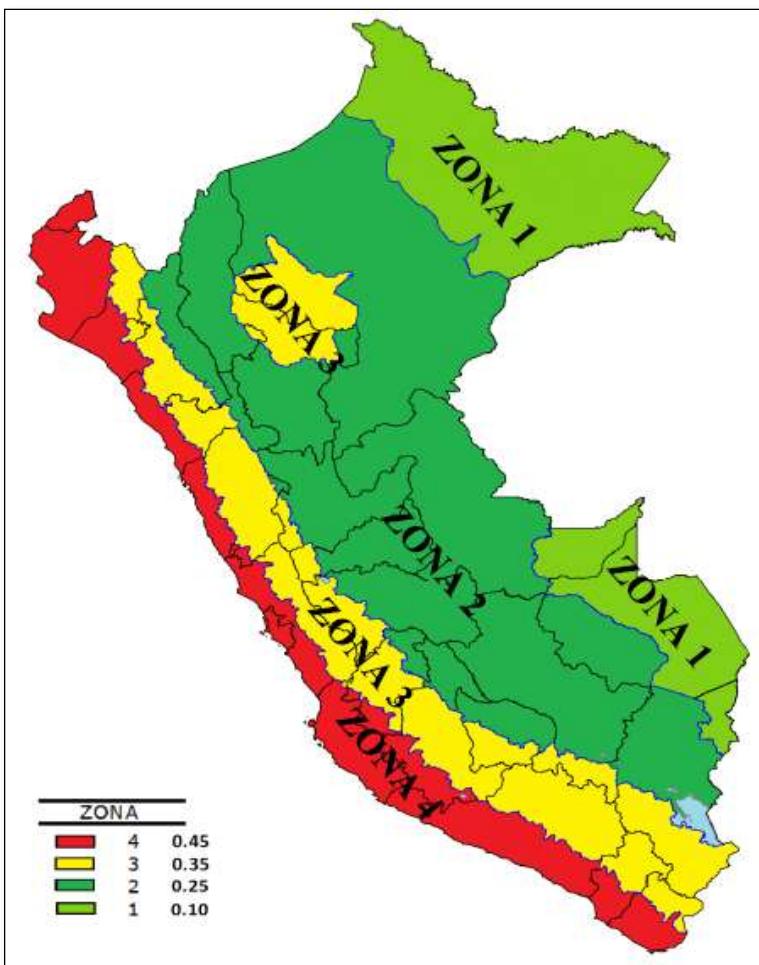
- Evitar pérdida de vidas humanas.
- Asegurar la continuidad de los servicios básicos.
- Minimizar los daños a la propiedad.

2.2.1.3. Zonificación

El Reglamento Nacional de Edificaciones – E.030 (2018), establece que, el territorio nacional se considera dividido en cuatro zonas, como se muestra en la Figura 1.

Figura 1

Zonificación sísmica del Perú



Fuente: Reglamento Nacional de Edificaciones – E.030 (2018).

A cada zona se asigna un factor Z según se indica en la Tabla 01. Estos valores se definen por la aceleración máxima horizontal en suelo rígido con una probabilidad de 10% de ser excedida en 50 años. El factor Z se expresa como una fracción de las aceleraciones de la gravedad (Norma Técnica E.030: Diseño Sismorresistente, 2018).

Tabla 1*Factores de zona Z*

Zona	Z
4	0.45
3	0.35
2	0.25
1	0.1

Fuente: Reglamento Nacional de Edificaciones – E.030 (2018).

2.2.1.4. Condiciones geotécnicas

El Reglamento Nacional de Edificaciones – E.030 (2018), establece que los perfiles de suelo se definen en función a la velocidad promedio de propagación de las ondas de corte (\bar{V}_s), Los clasifica mediante ensayos como penetración estándar (SPT), o el promedio ponderado de la resistencia al corte en condición no drenada (\bar{S}_u), según el tipo de suelo.

Tabla 2

Clasificación de los perfiles del suelo

Perfil	\bar{V}_s	\bar{N}_{60}	\bar{S}_u
S_0	> 1500m/s	-	-
S_1	500 m/s a 1500 m/s	> 50	> 100 Kpa
S_2	180 m/s a 500 m/s	15 a 50	50 Kpa a 100 Kpa
S_3	< 180 m/s	< 15	25 Kpa a 50 Kpa
S_4	Clasificación basada en el EMS		

Fuente: Reglamento Nacional de Edificaciones – E.030 (2018).

2.2.1.5. Parámetros de sitio (S, T_P y T_L)

El Reglamento Nacional de Edificaciones – E.030 (2018), Indica que debe seleccionarse el tipo de perfil que represente de manera más precisa las condiciones locales, empleando los valores del factor de amplificación del suelo S y los periodos T_P y T_L que sean pertinentes.

Tabla 3*Factor de suelo "S"*

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

Fuente: Reglamento Nacional de Edificaciones – E.030 (2018).

Tabla 4*Periodos " T_P " y " T_L "*

	Perfil del suelo			
	S_0	S_1	S_2	S_3
$T_P(S)$	0.3	0.4	0.6	1.0
$T_L(S)$	3.0	2.5	2.0	1.6

Fuente: Reglamento Nacional de Edificaciones – E.030 (2018).

2.2.1.6. Factor de amplificación sísmica (C)

El Reglamento Nacional de Edificaciones – E.030 (2018), establece que este valor del coeficiente (C) se define como el factor de amplificación de la aceleración estructural respecto de la aceleración en el suelo. Se define por las siguientes expresiones:

$$T < T_P \quad C = 2,5$$

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

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

Donde:

C: Factor de amplificación sísmica

 T_P : Periodo que define la plataforma del factor (C)

T_L : Periodo inicial de la zona del factor (C) con desplazamiento constante

T : Periodo fundamental de vibración

2.2.1.7. Periodo fundamental de vibración

El Reglamento Nacional de Edificaciones – E.030 (2018), especifica que, los períodos de vibración en cada sentido definen con la siguiente expresión:

$$T = \frac{h_n}{C_T}$$

Donde:

- h_n = Altura efectiva de la estructura.
- $C_T = 35$

Para edificios cuyos elementos resistentes en la dirección considerada sean únicamente:

- a) Pórticos de concreto armado sin muros de corte.
- b) Pórticos dúctiles de acero con uniones resistentes a momentos, sin arriostramiento.
- $C_T = 45$

Para edificios cuyos elementos resistentes en la dirección considerada sean

- a) Pórticos de concreto armado con muros en las cajas de ascensores y escaleras
- b) Pórticos dúctiles de acero arriostrados.
- $C_T = 60$

Para edificios de albañilería y para todos los edificios de concreto armado duales, de muros estructurales, y muros de ductilidad limitada.

2.2.1.8. Categoría de las edificaciones y factor de uso (U)

El Reglamento Nacional de Edificaciones – E.030 (2018) lo clasifica de acuerdo a las categorías indicadas en la tabla 5:

Tabla 5*Categoría de las edificaciones y factor "U"*

Categoría	Descripción	Factor U
A Edificaciones Esenciales	A1: Edificaciones del sector salud del segundo y tercer nivel, según lo normado por el Ministerio de Salud.	Ver nota 1
	A2: Edificaciones que son de suma importancia para conllevar emergencias, el funcionamiento del gobierno y en general aquellas edificaciones que puedan servir de refugio después de un desastre (estación de bomberos, aeropuertos, colegios, etc).	1,5
B Edificaciones Importantes	Edificaciones ocupadas por gran número de personas tales como cines, teatros, estadios, coliseos, centros comerciales, terminales de transporte de pasajeros, establecimientos penitenciarios, o que guardan patrimonios valiosos como museos y bibliotecas.	1,3
	Edificaciones comunes tales como: viviendas, oficinas, hoteles, restaurantes, depósitos e instalaciones industriales cuya falla no acarree peligros adicionales de incendios o fugas de contaminantes	1,0
D Edificaciones Temporales	Construcciones provisionales para depósitos, casetas y otras similares.	Ver nota 2

Fuente: Reglamento Nacional de Edificaciones – E.030 (2018).

Nota 1: Las nuevas edificaciones de categoría A1 se les considera aisladores sísmicos cuando están ubicadas en las zonas 4 y 3. En las zonas 1 y 2, queda a criterio la responsabilidad de usar aisladores sísmicos. De no usar aisladores sísmicos en las zonas 1 y 2, se toma el valor de U igual a 1,5 como base (Reglamento Nacional de Edificaciones – E.030, 2018).

Nota 2: En estas construcciones se garantiza la resistencia y rigidez necesarias frente a cargas laterales, según el criterio del diseñador (Reglamento Nacional de Edificaciones – E.030, 2018).

2.2.1.9. Sistemas estructurales y coeficiente básico de reducción de fuerzas sísmicas (R_0).

Según el Artículo 18 del Reglamento Nacional de Edificaciones – E.030 (2018), el coeficiente de reducción de fuerza sísmica (R_0) se define según el sistema estructural y los materiales usados en la edificación.

Tabla 6

Sistemas estructurales

Sistema estructural	Coeficiente básico de reducción R_0 (*)
Acero:	
Pórticos especiales resistentes a momentos (SMF)	8
Pórticos intermedios resistentes a momentos (IMF)	5
Pórticos ordinarios resistentes a momentos (OMF)	4
Pórticos especiales concéntricamente arriostrados (SCBF)	7
Pórticos excéntricamente arriostrados (EBF)	4
Concreto:	
Pórticos	8
Dual	7
De muros estructurales	6
Muros de ductilidad limitada	4
Albañilería armada o confinada	3
Madera	7(**)

Fuente: Reglamento Nacional de Edificaciones – E.030 (2018).

(*) Dichos coeficientes son válidos para edificaciones en las que los elementos estructurales sean capaces de disipar energía sin comprometer la estabilidad. No son aplicables a estructuras con configuración de péndulo invertido.

2.2.1.10. Coeficiente de reducción de fuerzas sísmicas, R.

Según el Reglamento Nacional de Edificaciones – E.030 (2018), es el producto del coeficiente básico de reducción y las irregularidades en planta y altura que puedan existir en la estructura.

$$R = R_0 * I_a * I_p$$

2.2.1.11. Fuerza cortante en la base.

El Reglamento Nacional de Edificaciones – E.030 (2018), define que la fuerza cortante en la base, para cada dirección, se determina mediante la siguiente expresión:

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

El valor de C/R no deberá considerarse menor que:

$$\frac{C}{R} \geq 0,11$$

2.2.1.12. Aceleración espectral.

Se establece la ecuación para calcular la pseudo aceleración sísmica (Reglamento Nacional de Edificaciones – E.030, 2018).

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

Donde:

Z = Factor de zona

U = Factor de uso

S = Factor de suelo

C = Factor de amplificación sísmica

R = Factor de reducción por ductilidad

g = Aceleración de la gravedad

2.2.2. Métodos de evaluación de la capacidad estructural o resistencia

Para analizar el comportamiento de una estructura existente frente a las cargas que actúan a lo largo de su vida útil, se emplean procedimientos de análisis tanto lineales como no lineales que permiten determinar el nivel de desempeño del edificio.

2.2.2.1. Análisis lineal

El análisis lineal se basa en representar la estructura como un sistema elástico sometido a cargas sísmicas, sin considerar la formación de zonas plásticas. Este procedimiento permite estimar desplazamientos, fuerzas internas (como cortantes y momentos) y derivas, aplicando el espectro de diseño establecido en la Norma Técnica Peruana E.030 “Diseño Sismorresistente”. Se asume que la rigidez del sistema permanece constante y que las respuestas estructurales se mantienen dentro del rango elástico. Para ello, se utilizan métodos como el análisis estático lineal y el análisis dinámico modal-espectral.

De acuerdo con Chavesta (2019), los métodos de análisis lineales resultan apropiados cuando el nivel de no linealidad de la estructura es reducido. Dichos procedimientos se sustentan en la relación tradicional entre fuerza y deformación mientras la estructura se mantenga dentro de su rango lineal, incorporando ciertos ajustes para considerar deformaciones globales. Además, se requiere el uso de materiales de alta calidad a fin de representar adecuadamente posibles comportamientos no lineales ante la acción sísmica. El autor también indica que este tipo de análisis es más pertinente en edificaciones regulares en planta y en altura, ya que en estructuras con irregularidades los resultados pueden presentar desviaciones o inexactitudes.

2.2.2.2. Análisis estático no lineal

El análisis estático no lineal se utiliza en ingeniería estructural para estudiar cómo se comporta una estructura cuando las cargas generan deformaciones grandes o efectos no lineales

en los materiales. A diferencia del análisis lineal, este método considera que tanto las deformaciones como el comportamiento del material pueden variar de forma no proporcional a las cargas aplicadas..

Según la norma ASCE/SEI 41-17, el Análisis Estático No Lineal, o Nonlinear Static Procedure (NSP), es un método que aplica cargas laterales incrementales de manera monótona y con una distribución previamente definida sobre un modelo estructural que considera las no linealidades de material y/o de geometría. Este procedimiento se desarrolla hasta alcanzar un punto objetivo de desempeño y permite obtener la curva de capacidad, la cual representa la relación entre la fuerza cortante en la base y el desplazamiento del techo o de un punto de control, evidenciando el comportamiento de la estructura más allá de su límite elástico.

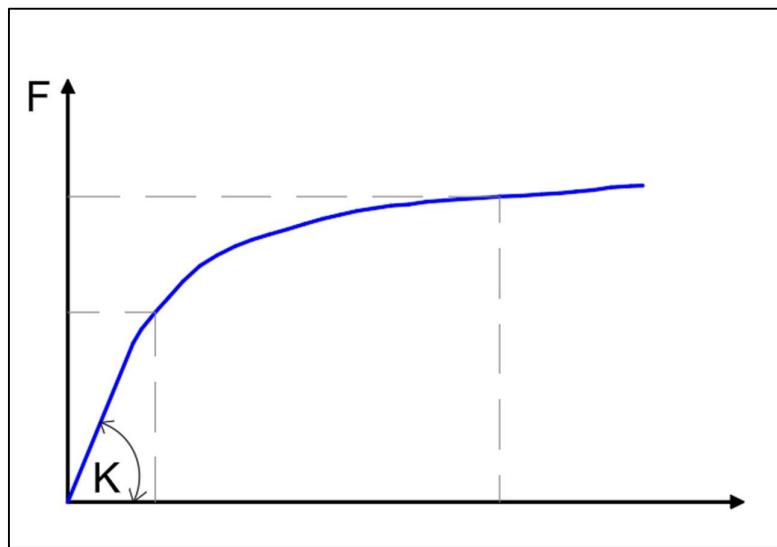
2.2.2.2.1 Ductilidad

Se presenta cuando una estructura se deforma más allá de su límite elástico, su comportamiento cambia, conservando buena parte de su rigidez y resistencia. Este fenómeno está ligado al daño estructural. La ductilidad, sin embargo, no solo describe la respuesta global de la estructura, sino también la capacidad de los materiales y de las secciones individuales de sus elementos para deformarse sin perder resistencia (E. Orihuela & M. Orihuela, 2021).

En modelos simplificados con un solo grado de libertad, este comportamiento se representa mediante una curva de capacidad, la cual se basa en ecuaciones de movimiento que consideran la rigidez en el rango no lineal, como se muestra en la Figura 02.

Figura 2

Cambio en el comportamiento de los elementos estructurales sometidos a esfuerzos



Fuente: Barbat et. al. (2020).

El coeficiente de reducción por ductilidad se determina por la siguiente ecuación:

$$\rho = \frac{F}{F^{in}}$$

Donde:

ρ : Coeficiente de reducción por ductilidad

F : Fuerza actuante en la estructura con comportamiento idealmente elástico.

F^{in} : Fuerza real correspondiente a la estructura con comportamiento inelástico.

- **Capacidad de ductilidad**

Los métodos más sencillos y usados en la ingeniería estructural para determinar la ductilidad de la estructura se fundamentan en el análisis de desplazamientos. En el rango no lineal, una estructura exhibirá una mayor capacidad de deformación si la relación entre el desplazamiento último o de colapso (ΔC) y el desplazamiento en el límite elástico ($\Delta f.e$) es elevada. Este cociente, conocido como factor de ductilidad, describe la capacidad de la

estructura para disipar energía y mantener su funcionalidad durante un evento sísmico (E. Orihuela & M. Orihuela, 2021).

El valor de la ductilidad se determina por la relación entre el desplazamiento máximo que puede experimentar una estructura al entrar en la etapa inelástica hasta un estado límite considerado aceptable, y el desplazamiento correspondiente a su límite elástico. Este parámetro permite cuantificar la capacidad de la estructura para experimentar deformaciones plásticas sin llegar al colapso.

La expresión matemática usada para calcular dicha capacidad de ductilidad es la siguiente:

$$\mu_{Capacidad} = \frac{\Delta_{último}}{\Delta_{cedencia}}$$

- **Demanda de ductilidad**

La demanda de desplazamiento se define como la magnitud de deformación que experimenta una estructura durante la acción de un sismo. Este valor está vinculado con la interacción entre la deformación global del sistema estructural y las plastificaciones generadas por los desplazamientos inducidos. La relación entre ambos factores determina la ductilidad máxima que alcanza la edificación, reflejando su capacidad para absorber y disipar energía sin llegar al colapso (E. Orihuela & M. Orihuela, 2021). Se calcula con la siguiente expresión matemática:

$$\mu_{Demandada} = \frac{\Delta_{último}}{\Delta_{cedencia}}$$

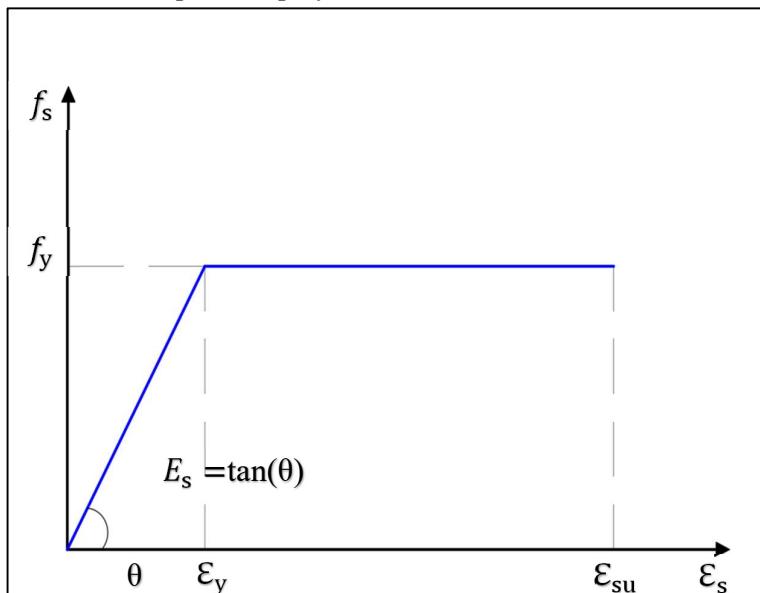
2.2.2.2.2 Idealizaciones del comportamiento de los materiales

A. Acero

- El modelo elastoplástico perfecto se define por dos rectas que generan una curva asociada al endurecimiento por deformación, lo que incrementa el esfuerzo, y a la reducción de la resistencia de fluencia. Sin embargo, al no representar fielmente las propiedades del acero en el rango inelástico, este modelo no es el más adecuado para evaluar el desempeño sísmico de una estructura, pues limita la estimación precisa de las deformaciones.

Figura 3

Modelo elastoplástico perfecto



Fuente: Ottazzi (2011).

Donde:

f_s : Esfuerzo deformación

f_y : Esfuerzo fluencia de acero

ε_s : Deformación unitaria de acero

ε_y : Deformación unitaria de fluencia de acero

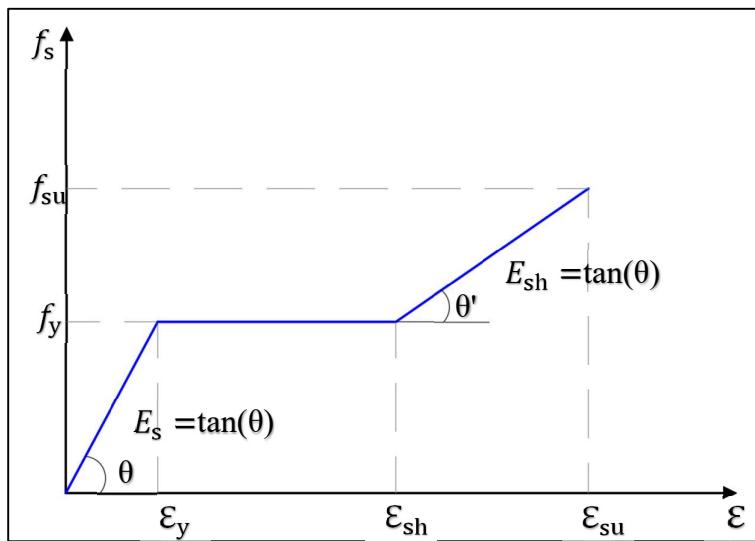
ε_{su} : Deformación unitaria última de acero

E_S : Módulo de elasticidad de acero

- Modelo trilineal. Este modelo, considerado el menos conservador, presenta tres fases: una zona elástica lineal, una de fluencia y otra de endurecimiento por deformación, todas simplificadas mediante líneas rectas.

Figura 4

Modelo trilineal



Fuente: Ottazzi (2011).

Donde:

f_y : Esfuerzo fluencia de acero

ϵ_y : Deformación unitaria de fluencia de acero

ϵ_{sh} : Deformación unitaria de acero donde empieza el endurecimiento por deformación

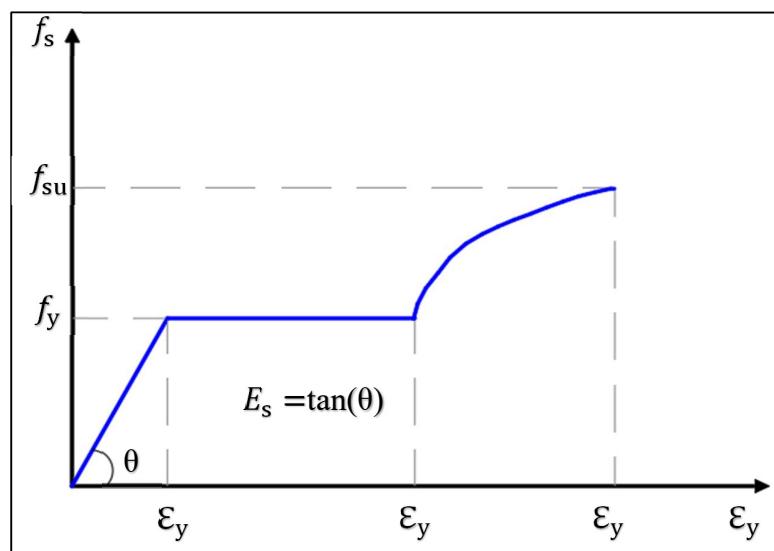
f_{su} : Esfuerzo último de acero

ϵ_{su} : Deformación unitaria última de acero

- Modelo de Park y Paulay. Este modelo incluye tres zonas: una parte elástica lineal, una de fluencia y otra de endurecimiento por deformación. Las zonas elásticas y de fluencia se representan con líneas rectas, y la de endurecimiento con una parábola de segundo o tercer grado.

Figura 5

Modelo elastoplástico con endurecimiento por deformación



Fuente: Park y Paulay (1975).

Donde:

f_y : Esfuerzo fluencia de acero

ε_y : Deformación unitaria de fluencia de acero

ε_{sh} : Deformación unitaria de acero donde empieza el endurecimiento por deformación

f_{su} : Esfuerzo último de acero

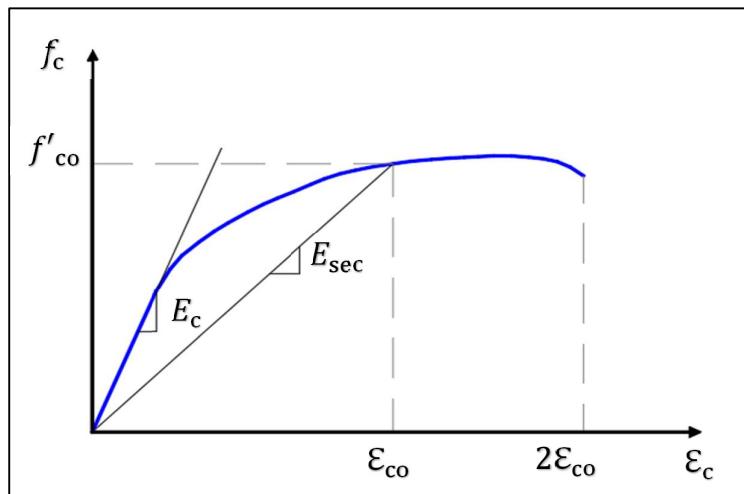
ε_{su} : Deformación unitaria última de acero

B. Concreto

- Modelo Mander (Concreto no confinado). En 1998, Mander propuso un modelo para el concreto que incorpora una zona de confinamiento, la cual permite realizar ciertas simplificaciones en el análisis. Se contempla también el comportamiento del concreto no confinado y se representa mediante una curva que relaciona el esfuerzo con la deformación.

Figura 6

Modelo para concreto no confinado



Fuente: Mander et al. (1988).

Donde:

f_c : Esfuerzo de concreto

f'_{co} : Resistencia máxima del concreto no confinado

ε_c : Deformación unitaria del concreto

f_{cu} : Resistencia última del concreto no confinado

ε_{co} : Deformación unitaria última de concreto no confinado

E_c : Módulo de elasticidad del concreto

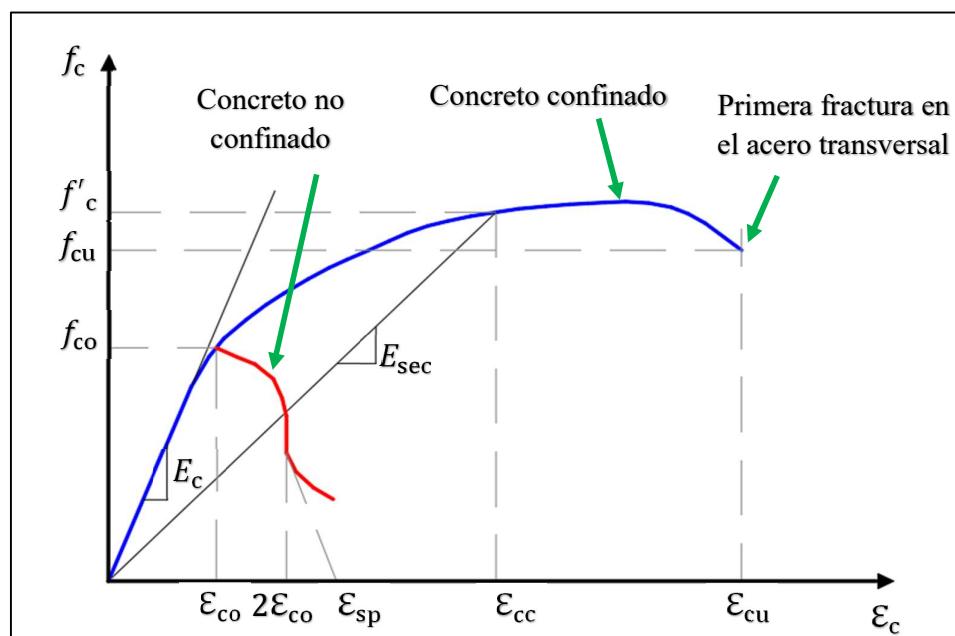
E_{sec} : Módulo secante de concreto no confinado en el esfuerzo máximo

- Modelo Mander (Concreto confinado). Este modelo considera dos aspectos esenciales: el incremento de la deformación unitaria y el aumento de la resistencia del concreto bajo condiciones de confinamiento. Así, cuando ocurre la rotura del acero, es posible identificar el punto de falla. Tanto el confinamiento como el esfuerzo lateral asociado resultan determinantes, ya que influyen directamente en la resistencia máxima a compresión.

El modelo se aplica principalmente a elementos estructurales con secciones transversales circulares o rectangulares que presentan distintos niveles de confinamiento.

Figura 7

Modelo para concreto confinado



Fuente: Mander et al. (1988).

Donde:

f_c : Resistencia máxima del concreto confinado

f'_c : Resistencia máxima del concreto no confinado

ε_c : Deformación unitaria del concreto

ε_{cu} : Deformación unitaria última

ε_{co} : Deformación asociada a la resistencia máxima del concreto

ε_{sp} : Deformación unitaria última asociada al recubrimiento del concreto

ε_{cc} : Deformación unitaria del concreto simple, asociada al esfuerzo máximo confinado

E_c : Módulo de elasticidad del concreto no confinado

E_{sec} : Módulo secante de concreto confinado asociado al esfuerzo máximo confinante

2.2.3. Análisis estático no lineal Pushover

Se trata de un método de análisis estático incremental que permite determinar la capacidad de deformación de una estructura o elemento, expresada como la relación entre el desplazamiento del nivel superior y la fuerza cortante en la base. Este procedimiento consiste en aplicar de manera progresiva cargas laterales crecientes hasta alcanzar un punto crítico de desempeño o una condición de falla.

Para realizar este tipo de análisis, se asignan articulaciones plásticas a los distintos elementos estructurales de acuerdo con su posible modo de falla. El procedimiento inicia con la aplicación de cargas laterales a partir de una condición gravitacional no lineal que permanece constante durante todo el proceso. En las primeras etapas, la estructura responde de manera elástica con una rigidez inicial definida; sin embargo, al incrementarse las fuerzas, algunos elementos alcanzan su límite de fluencia, provocando una reducción tanto en la rigidez como en la resistencia. En consecuencia, la estructura ingresa en el rango inelástico según su nivel de ductilidad, y con el aumento progresivo de las cargas laterales se observa la formación de rótulas plásticas en los elementos principales, como vigas y columnas.

2.2.3.1. Características del análisis Pushover

- Convierte un sistema de varios grados de libertad a un sistema equivalente de 1 grado de libertad.
- Permite obtener la curva de capacidad.
- Permite determinar y evaluar la ductilidad de una estructura.
- Permite determinar la secuencia de agrietamiento, mecanismo de falla, fluencia y falla de los elementos estructurales, los estados límites de servicios, la curva de deformaciones y cortantes en la estructura.

2.2.3.2. Procedimiento del análisis Pushover

- Establecer el modelo matemático de la estructura que refleje las características no lineales de fuerza-deformación de los elementos según las tablas del ASCE/SEI 41-17.
- Definir la ubicación del nodo de control, que se colocará en el centro de masa del nivel superior del edificio.
- Aplicar un patrón de carga lateral que esté en proporción con el modo fundamental de vibración de la estructura y que se incremente de manera monótona.
- Registrar la curva de capacidad mediante la medición de la fuerza de corte basal y el desplazamiento del nodo de control, así como las fuerzas y deformaciones de cada elemento. Posteriormente, comparar estos valores con los diagramas correspondientes ($M - \theta$) de cada elemento. Cada incremento en la carga lateral representa un análisis por separado que parte del estado al final de la aplicación de la carga anterior, por lo tanto, los resultados del análisis previo deben sumarse a los valores de carga lateral, rotaciones y desplazamientos para obtener los resultados finales.

- Obtener la curva de capacidad idealizada.

2.2.3.3. Curva de capacidad

Según Guevara et al. (2006), la curva de capacidad representa el comportamiento estructural frente a un sismo de análisis. A través del método Pushover, se estiman los desplazamientos máximos que puede soportar la estructura una vez superado su límite elástico. Este procedimiento consiste en registrar la fuerza cortante basal y el desplazamiento del punto de control (ubicado generalmente en el techo), producto de la aplicación progresiva de un patrón determinado de cargas laterales. Habitualmente, la curva se construye para reflejar la respuesta correspondiente al primer modo de vibración, asumiendo que este modo domina la respuesta global de la estructura.

Según Guevara et al. (2006), para determinar la curva de capacidad en el análisis estático no lineal (Pushover), se emplean principalmente patrones de carga lateral conocidos como distribución triangular invertida. Este tipo de distribución permite representar adecuadamente la respuesta asociada al primer modo de vibración de la estructura y es comúnmente recomendado por las normativas sismorresistentes, sobre todo en edificaciones con masas de entrepiso uniformes.

2.2.3.4. Patrón de cargas laterales

Para ejecutar el método Pushover, en primer lugar, se establece un patrón de cargas laterales que se aplican a los distintos niveles de la edificación mediante un análisis estático lineal. Estas cargas aumentan progresivamente en función de la altura acumulada de cada piso. Además, se define un nodo de control, en el cual se registran los principales resultados del análisis, como los desplazamientos máximos y la resistencia última de la estructura antes de alcanzar el colapso.

El proceso de aplicación de las cargas laterales parte de una condición de carga gravitacional no lineal que se mantiene constante durante todo el análisis. Inicialmente, la estructura responde de manera elástica con una rigidez determinada; sin embargo, al incrementarse las fuerzas aplicadas, los elementos estructurales alcanzan su punto de fluencia, lo que provoca una disminución tanto en la rigidez como en la resistencia, permitiendo que la estructura ingrese al rango inelástico.

El factor de distribución de carga se obtiene con la siguiente expresión matemática:

$$F_i = \alpha_i V_i$$

$$\alpha_i = \frac{wh^k}{\sum_{i=1}^n w_i h^k}$$

Donde:

F_i : Fuerza lateral

V_i : Cortante basal

α_i : Factor de fuerza

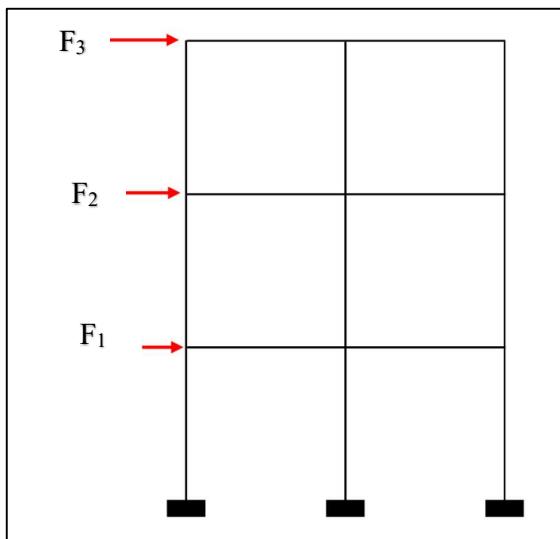
h : Altura de la edificación

w : Peso sísmico de la edificación

k : Coeficiente relacionado con el periodo fundamental de vibración de la estructura (T).

Figura 8

Aplicación de fuerzas laterales para análisis estático no lineal



2.2.3.5. Rótulas plásticas

Una rótula plástica es una región localizada en el punto de mayor momento de un elemento estructural, donde se desarrolla una rotación plástica tras llegar al momento de fluencia. En esta zona, presente en vigas o columnas, se concentran las deformaciones inelásticas y se disipa la energía del sismo (Chopra, 2017).

Estas se originan como consecuencia de la degradación progresiva que experimenta la estructura en su conjunto al estar sometida a esfuerzos. Se manifiestan cuando los elementos estructurales alcanzan su comportamiento no lineal, dependiendo en gran medida de las propiedades y consistencia del material.

Longitud de plasticidad.

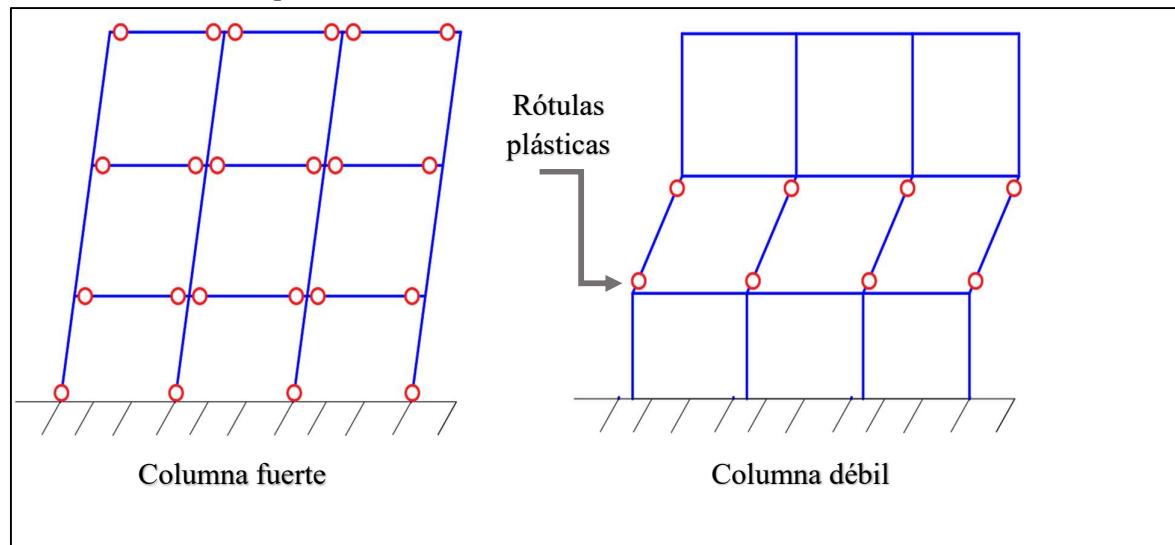
La representación de los diagramas de momento – curvatura de las secciones de los elementos estructurales se realiza mediante la incorporación de rótulas plásticas, aplicables únicamente a aquellos elementos sometidos a flexión o flexo-compresión. Esta implementación

se basa en los lineamientos establecidos por la norma ASCE/SEI 41-17, considerando los límites de rotación y los criterios de aceptación correspondientes

Durante un evento sísmico, un pórtico con dimensiones y características adecuadas puede desarrollar rótulas plásticas que absorben energía y posibilita que el pórtico sobreviva a desplazamientos reales mayores que los calculados en un diseño elástico (ASCE/SEI 41-17, p.338).

Figura 9

Formación de rótulas plásticas



Fuente: American Society of Civil Engineers (ASCE/SEI 41-17. p.338).

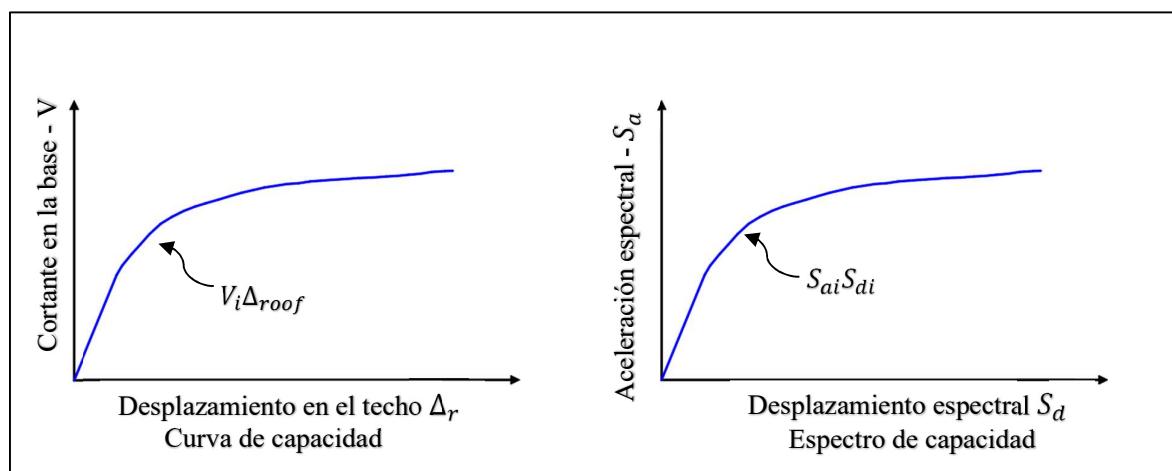
Para obtener una estimación acertada de la rotación plásticas en vigas – columnas, las rótulas se localizan cerca al elemento vertical (columnas). Al respecto, hoy en día, existen metodologías y normas vigentes para realizar un análisis estático no lineal con diferentes propósitos como: diseño de estructuras nuevas y evaluación de estructuras existentes.

2.2.3.6. Espectro de capacidad

Según Muñoz (2008), el espectro de capacidad de una estructura se define como la representación gráfica que muestra la relación existente entre la fuerza aplicada y el desplazamiento que ésta genera.

Figura 10

Curva y espectro de capacidad



Fuente: Applied Technology Council (ATC, 1996).

En el lado izquierdo se representa la curva de capacidad sísmica de una estructura, que muestra la relación entre la resistencia sísmica basal constante V y el desplazamiento en la parte superior Δ_r . En el lado derecho se presenta el espectro de capacidad, donde se relaciona el desplazamiento espectral S_d con la aceleración espectral S_a .

2.2.4. Punto de desempeño de la estructura

La norma ASCE/SEI 41-17 proporciona el procedimiento para determinar el punto de desempeño de la estructura a través del método de los coeficientes, el cual, es el método principal de análisis estático no lineal. En este enfoque, se ajusta la respuesta elástica lineal de un sistema equivalente de 1 grado de libertad (1 GDL) multiplicándola por una serie de

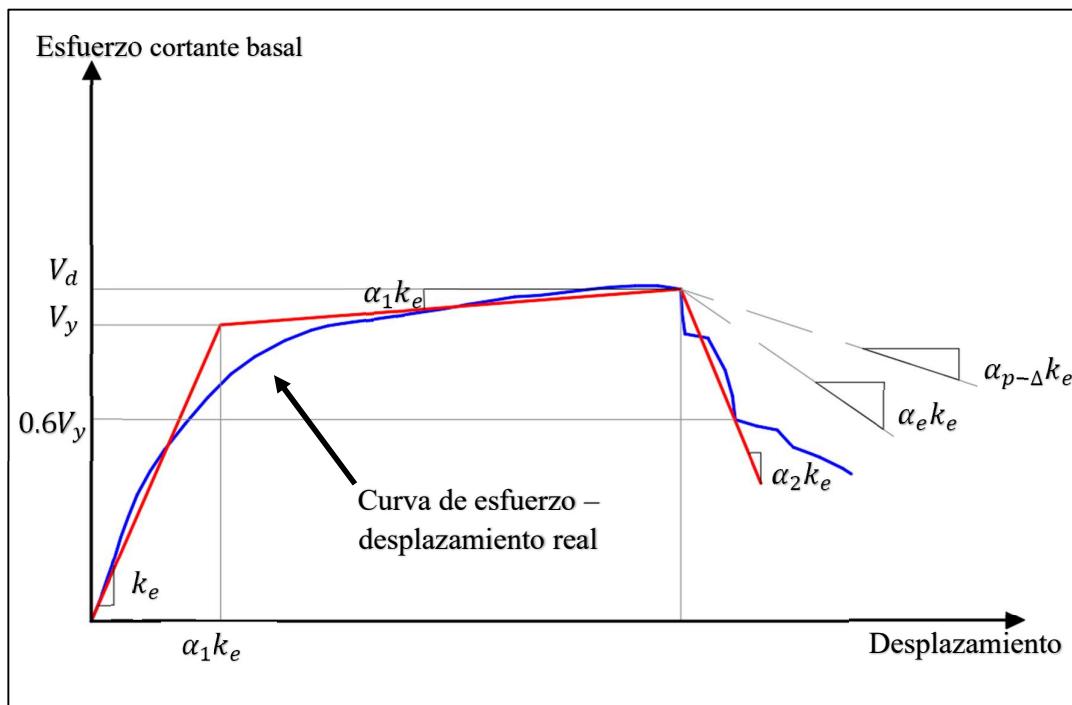
coeficientes (C_0 a C_2). Esto se hace para estimar el desplazamiento global máximo, tanto elástico como inelástico, que se denomina Desplazamiento Objetivo.

El proceso comienza con la creación de una curva idealizada de fuerza-deformación (Pushover) que relaciona el cortante en la base con el desplazamiento en la parte superior de la estructura. El periodo efectivo T_e se calcula a partir del periodo inicial T_i , teniendo en cuenta la pérdida de rigidez en la transición del comportamiento elástico al inelástico. Este periodo efectivo representa la rigidez lineal del sistema equivalente de 1 GDL, también conocido como oscilador. Al representar el espectro de respuesta elástica como S_a vs. T , el periodo efectivo se utiliza para identificar el valor máximo de aceleración en la respuesta del oscilador.

El valor de amortiguamiento asumido, que a menudo es del 5%, refleja un nivel típico que se esperaría en una estructura convencional cuya respuesta se encuentra dentro del rango elástico.

Figura 11

Representación bilineal de la curva de capacidad



Fuente: American Society of Civil Engineers (ASCE/SEI 41-17. p.74).

Para determinar el desempeño sísmico correspondiente al desplazamiento máximo de la estructura para los diferentes tipos de sismos, se realizará con la siguiente ecuación:

$$\delta_t = C_0 C_1 C_2 S_a \frac{Te^2}{4\pi^2} g$$

Donde:

➤ C_0 : Coeficiente de Tabla 7-5 de la norma ASCE/SEI 41/17, que se toma considerando la cantidad de pisos y cualquier patrón de carga.

Tabla 7

Valores para factor de modificación C_0

Número de pisos	Edificios de corte		Otros edificios
	Patrón de carga triangular	Patrón de carga uniforme	
1	1.0	1.0	1.0
2	1.2	1.15	1.2
3	1.2	1.2	1.3
5	1.3	1.2	1.4
10+	1.3	1.2	1.5

Fuente: American Society of Civil Engineers (ASCE/SEI 41-17. p.75).

➤ C_1 : Se calcula con la siguiente ecuación:

$$C_1 = 1 + \frac{\mu_{strength} - 1}{aT_p^2}$$

Donde:

a = Factor de clase de sitio.

Para clase de sitio A o B (roca), $a = 130$

Para clase de sitio C (suelo denso y roca suave), $a = 190$

Para clase de sitio D, E o F (suelos rígidos, arcillosos o sin clasificación), $a = 60$

$$\mu_{strength} = \frac{s_a}{V_y/W} C_m$$

Para:

V_y = Límite elástico del edificio

W = Peso sísmico efectivo

C_m = Factor de masa efectivo, calculado en función al número de pisos de la figura 55.

Tabla 8

Valores para el factor de masa efectiva C_m

Número de pisos	Pórticos de concreto	Muro de corte de concreto	Pórticos de acero	Pórticos de acero céntricamente arriostrado	Pórtico de acero excéntricamente arriostrado	Otro
1-2	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
3 o más	0.9	0.8	0.9	0.9	0.9	1.0

Fuente: American Society of Civil Engineers (ASCE/SEI 41-17. p.72).

➤ C_2 : Se calcula con la siguiente ecuación:

$$C_2 = 1 + \frac{1}{800} \left(\frac{\mu_{strength} - 1}{T_e} \right)^2$$

➤ S_a : Aceleración del espectro de respuesta en el periodo fundamental efectivo.

➤ T_e : Periodo fundamental efectivo de la estructura.

➤ g : gravedad.

2.2.5. Desempeño sísmico

Según Choque y Luque (2019). La ingeniería basada en el desempeño surge ante la necesidad de diseñar estructuras capaces de resistir distintas intensidades sísmicas sin colapsar ni comprometer la seguridad de sus ocupantes. En las últimas décadas, las normas estadounidenses —como FEMA, ATC y ASCE/SEI— han impulsado el desarrollo y la aplicación de los principios del diseño sísmico orientado al desempeño. Los objetivos de dichas normativas buscan garantizar la seguridad de vida y el control de daños frente a sismos de baja y moderada magnitud, así como evitar el colapso ante eventos sísmicos severos. No obstante, la certeza de alcanzar plenamente estos objetivos es limitada, dado que los métodos de análisis estructural contemplados en las normas se basan principalmente en modelos elásticos, los cuales no permiten representar con precisión el daño que produce el comportamiento inelástico bajo diferentes niveles de demanda sísmica.

Según Choque y Luque (2019), el desempeño sísmico de una estructura se basa principalmente en tres conceptos:

- Capacidad: Se define como la resistencia última que puede desarrollar un elemento estructural frente a esfuerzos de flexión, corte o carga axial. La capacidad global de una estructura está determinada por la resistencia y la ductilidad de cada uno de sus componentes, los cuales contribuyen al comportamiento conjunto del sistema estructural.
- Demanda: Se refiere a la representación del movimiento del terreno durante un evento sísmico al que se encuentra sometida una estructura, expresado en términos de desplazamiento. Para una estructura determinada y un sismo específico, la demanda de desplazamiento constituye una estimación de la respuesta máxima que se espera alcanzar bajo dichas condiciones.

- Desempeño: Corresponde al comportamiento estructural que presenta una edificación frente a una demanda sísmica determinada, considerando su capacidad resistente y de deformación. La evaluación del desempeño sísmico implica analizar los estados límite de daño, el nivel de seguridad que ofrece a los ocupantes durante el evento y el grado de funcionalidad que conserva la estructura después del sismo.

2.2.6. Sectorización de la curva de capacidad

Con la finalidad de identificar y clasificar la respuesta de la estructura ante la presencia de cargas laterales crecientes, se realiza la sectorización de la curva de capacidad en ambas direcciones, la cual es el resultado del análisis estático no lineal.

Tabla 9

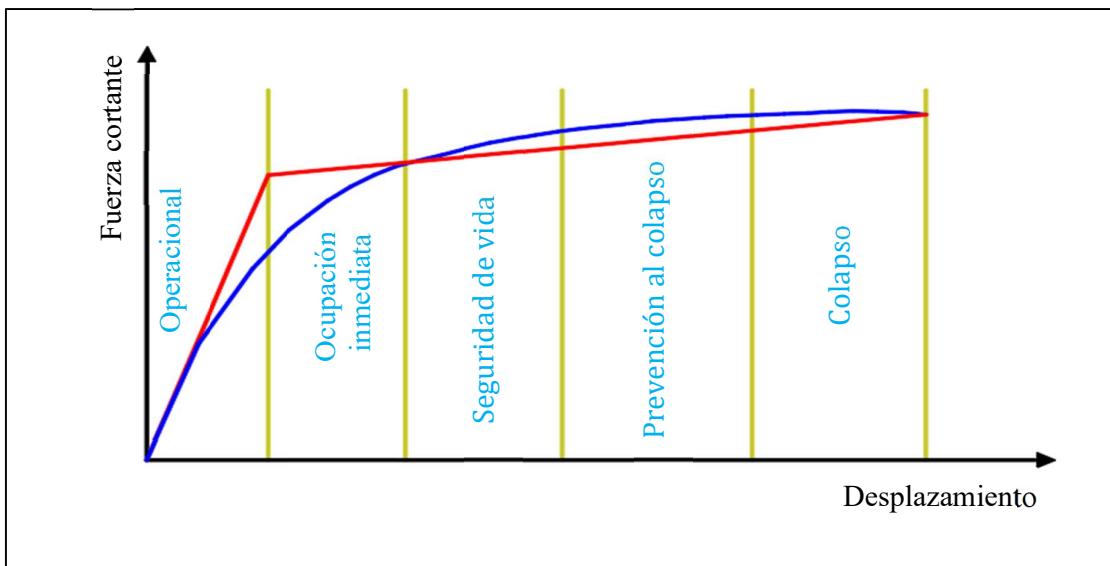
Límite de desplazamiento para evaluar el desempeño sísmico

Desempeño estructural	Definición	Límite de desplazamiento
Operacional	No ocurren daños. La edificación permanece operativa después del evento sísmico. Generalmente no se requieren operaciones.	D_y
Ocupación inmediata	Daños moderados para los elementos, pero sin comprometer a la estructura.	$D_y + 0.3(D_u - D_y)$
Seguridad de vida	Con daños moderados, pero por margen de seguridad la estructura no será ocupada inmediatamente tras el evento sísmico, debido a que deberá ser rehabilitada.	$D_y + 0.6(D_u - D_y)$
Prevención al colapso	Estructura insegura para los ocupantes debido a que el daño estructural y no estructural es severo, y de haber réplicas del evento sísmico esta llegaría al colapso.	$D_y + 0.8(D_u - D_y)$
Colapso	Este nivel de daño del edificio es irreparable.	$D_y + (D_u - D_y)$

Fuente: E. Orihuela & M. Orihuela (2021).

Figura 12

Sectorización de la curva de capacidad idealizada



Fuente: E. Orihuela & M. Orihuela (2021).

2.2.7. Niveles de desempeño sísmico

Se define como un estado o condición límite de daño; usado en la definición de los objetivos de desempeño. Está en función de tres aspectos fundamentales:

- El daño físico de los componentes estructurales y no estructurales dentro del edificio.
- La amenaza a la seguridad de vida de los ocupantes del edificio debido al daño.
- La funcionalidad del edificio posterior al sismo

El análisis del desempeño sísmico se lleva a cabo considerando diferentes tipos de movimientos sísmicos, los cuales representan distintos niveles de amenaza para la estructura. Estos eventos difieren en su intensidad, contenido frecuencial y probabilidad de ocurrencia. Por ello, resulta esencial clasificar los sismos adecuadamente con el fin de evaluar de manera precisa la respuesta estructural frente a cada escenario sísmico.

Tabla 10*Clasificación de sismos según su probabilidad de ocurrencia*

Sismo	Vida útil	Probabilidad de excedencia	Periodo de retorno
Frecuente	30 años	50%	43 años
Ocasional	50 años	50%	72 años
Raro	50 años	10%	475 años
Muy raro	100 años	10%	970 años

Fuente: Aguiar Falconí, R. (2004).

2.2.7.1. Niveles de desempeño estructural según el ASCE/SEI 41-17

Los niveles de desempeño estructural permiten estimar, analizar y optimizar el comportamiento de las edificaciones frente a eventos sísmicos, asegurando que estas mantengan tanto la estabilidad estructural como la seguridad de los ocupantes. Dichos niveles constituyen una herramienta fundamental en el diseño sismorresistente, la evaluación de edificaciones existentes y los planes de rehabilitación, ya que contribuyen a reducir los riesgos y fortalecer la capacidad de respuesta ante la presencia de eventos sísmicos.

Operacional (1-A): La estructura conserva su rigidez y capacidad resistente original. Se presentan fisuras menores en elementos no estructurales como cielorrasos, tabiques o revestimientos, e incluso en algunos componentes estructurales secundarios. A pesar de estos daños leves, los sistemas esenciales permanecen operativos, permitiendo que la edificación continúe funcionando sin interrupciones (American Society of Civil Engineers, 2017).

Ocupación inmediata (1-B): La edificación conserva la mayor parte de su capacidad resistente y rigidez original. Este nivel de desempeño representa una condición en la que la estructura puede continuar siendo funcional y segura, incluso después de presentar daños moderados en elementos no estructurales y leves en componentes estructurales, asegurando

tanto la estabilidad del edificio como la protección de sus ocupantes (American Society of Civil Engineers, 2017).

Seguridad de vida (3-C): La estructura conserva parcialmente su capacidad resistente y rigidez en todos sus niveles. Los elementos encargados de soportar cargas gravitacionales permanecen funcionales, aunque se observan deformaciones permanentes y daños evidentes tanto en componentes estructurales como en tabiques. Para garantizar condiciones seguras y adecuadas de habitabilidad, el edificio requiere trabajos de reparación antes de ser nuevamente ocupado (American Society of Civil Engineers, 2017).

Prevención de colapso (5-D): La edificación mantiene únicamente una rigidez y resistencia residual frente a cargas laterales, aunque los elementos verticales principales como columnas y muros portantes continúan soportando parcialmente las cargas gravitacionales. Se evidencian desplazamientos permanentes de gran magnitud y la obstrucción de algunas rutas de evacuación. En esta condición crítica, la estructura presenta un elevado riesgo de colapso ante eventuales réplicas sísmicas, por lo que su ocupación resulta insegura y no recomendable (American Society of Civil Engineers, 2017).

Tabla 11

Desempeño sísmico de la estructura

Nivel de riesgo sísmico	Operacional (1-A)	Ocupación inmediata (1-B)	Seguridad de vida (3-C)	Prevención de colapso (5-D)
Frecuente	a	b	c	d
Ocasional	e	f	g	h
Raro	i	j	k	l
Muy raro	m	n	o	p

Fuente: American Society of Civil Engineers. (ASCE/SEI 41-17. p.396).

2.3. Definición de términos básicos

- ❖ **Desempeño sísmico:** Se refiere al comportamiento esperado de una edificación frente a un sismo determinado. Para su evaluación, se establecen distintos niveles de desempeño estructural asociados a los diferentes escenarios sísmicos considerados. La elección de estos niveles depende fundamentalmente de la función que cumple la edificación y del grado de seguridad requerido para proteger la vida de sus ocupantes (Bolaños, 2015).
- ❖ **Sismo:** Es un fenómeno natural que se produce cuando la corteza terrestre libera energía acumulada debido a la actividad tectónica. Esta liberación de energía causa vibraciones o movimientos en la superficie terrestre, lo que puede dar lugar a sacudidas, temblores y deformaciones del terreno. Los sismos son eventos geofísicos comunes en la Tierra y pueden tener una amplia variedad de magnitudes y efectos, desde temblores apenas perceptibles hasta terremotos devastadores (Rojas, 2025).
- ❖ **Curva de capacidad:** Es la representación gráfica que muestra la relación entre la fuerza cortante basal y el desplazamiento lateral registrado en un nodo de control ubicado en el nivel superior de la estructura. Esta curva permite identificar los puntos de fluencia y la capacidad última del sistema estructural. A través de su análisis, es posible evaluar el comportamiento inelástico de la edificación, evidenciando que, aun cuando se superan los límites elásticos, la estructura puede soportar desplazamientos significativos sin llegar al colapso. La obtención de esta curva se realiza mediante un análisis estático no lineal, conocido como método Pushover (E. Orihuela & M. Orihuela, 2021).
- ❖ **Ductilidad:** Es una propiedad mecánica que describe la capacidad de un material para experimentar deformaciones plásticas significativas antes de alcanzar la fractura. Esta característica permite que el material sobrepase su límite elástico sin una pérdida considerable de rigidez o resistencia, manteniendo su capacidad de absorber y disipar energía cuando se somete a cargas o esfuerzos elevados (Campos, 2022).

- ❖ **Etabs:** Es un software especializado en el análisis y diseño estructural de edificaciones de múltiples niveles. Este programa permite modelar estructuras complejas de forma tridimensional, considerando distintos tipos de materiales, condiciones de carga, y normativas de diseño estructural, incluyendo acciones sísmicas, de viento y gravitacionales. Su entorno gráfico amigable y sus capacidades de análisis avanzado lo convierten en una herramienta fundamental para ingenieros civiles y estructurales en la etapa de diseño y evaluación de edificaciones (Computers and Structures, Inc., 2023).
- ❖ **Rótula plástica:** Es la región localizada de un elemento estructural como una viga o columna, donde se concentra la deformación inelástica y, por tanto, el daño asociado al comportamiento no lineal. Generalmente, estas rótulas se desarrollan a una distancia aproximada de entre 0.4 y 0.5 veces el peralte del elemento respecto a su extremo, zona en la que se produce la rotación plástica tras alcanzar el momento de fluencia (Bolaños, 2015).

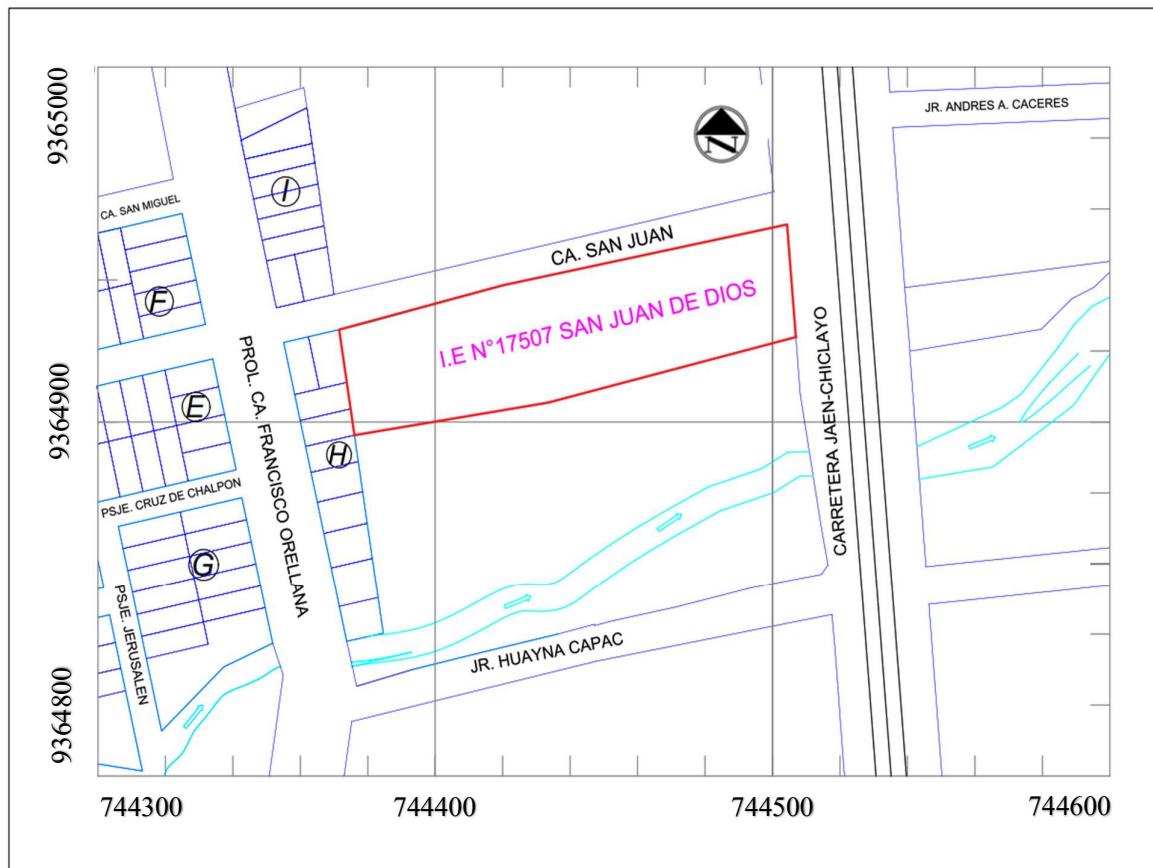
CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación del proyecto

La I.E N°17507 San Juan de Dios, se encuentra ubicada en la carretera Jaén –Chiclayo, entre las calles Jr. Huayna Cápac y Ca. San Juan del AA.HH Fila Alta, del distrito de Jaén, provincia de Jaén, departamento de Cajamarca.

Figura 13

Ubicación de la zona de estudio



3.2. Época de elaboración de tesis

La presente tesis, se realizó desde el mes de setiembre del 2024 hasta el mes de agosto del 2025.

3.3. Tratamiento, análisis de datos y presentación de resultados

3.3.1. Tipo de investigación

La investigación es descriptiva, ya que se describe el nivel de desempeño sísmico que alcanza la estructura del bloque principal de la I.E San Juan de Dios, después de haber sido sometida a diferentes tipos de movimientos sísmicos.

3.3.2. Nivel de investigación

La investigación es de nivel explicativo, porque además de describir las características de la estructura como su geometría de los elementos estructurales y propiedades de los materiales, se explica cómo se comporta cuando es sometida ante acciones sísmicas, evaluando su desempeño sísmico.

3.3.3. Diseño de investigación

Corresponde a una investigación no experimental.

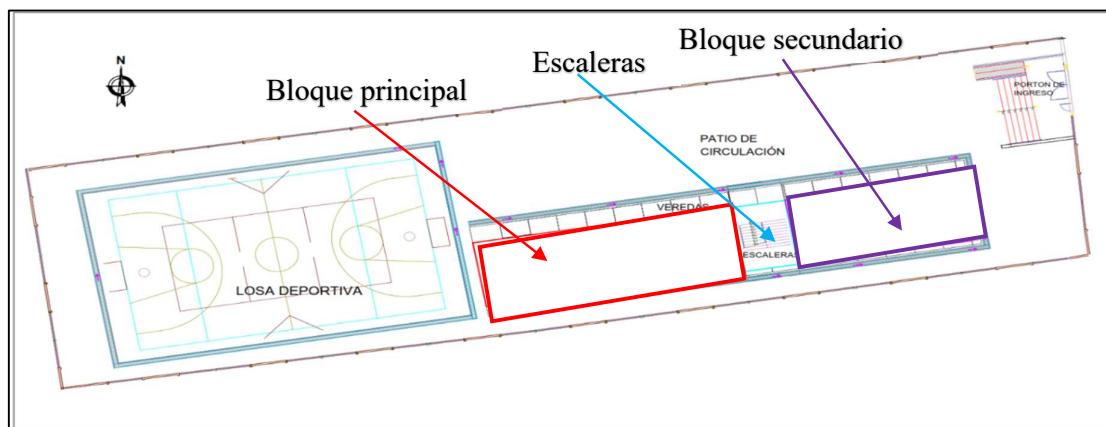
3.4. Población, muestra y unidad de análisis

3.4.1. Población de estudio

Bloques de la Institución Educativa N°17507 San Juan De Dios.

Figura 14

Módulos de la Institución Educativa



3.4.2. Muestra

La muestra es el bloque principal de la Institución Educativa N°17507 San Juan De Dios.

3.4.3. Unidad de análisis

Corresponde a una estructura de pórticos de concreto armado en ambas direcciones.

3.5. Procedimiento

3.5.1. Recopilación de información

Se realizó una visita in situ a la Institución Educativa San Juan De Dios para reconocer el bloque principal en estudio y contrastar con la información disponible reunida como expediente técnico, memorias de cálculo y estudio de mecánica de suelos.

Se identificó los ejes, geometrías y dimensiones tanto de los ambientes como de los elementos estructurales, la normativa empleada en el diseño, así como las propiedades de los materiales para la construcción.

3.5.2. Modelamiento estructural del bloque principal de la I.E N°17507 San Juan de Dios

Según las características de la estructura y teniendo en cuenta el Reglamento Nacional de Edificaciones, se estableció que es una estructura regular de sistema aporticado con uso específico de centro educativo, la cual consta de dos niveles y tiene tres aulas por nivel, además de un corredor y un techo aligerado a dos aguas en el segundo nivel.

El modelado de la estructura se realizó con el uso del software ETABS v.20, considerando la normativa peruana y las especificaciones de la información disponible reunida.

A. Definición de propiedades de los materiales

A continuación, se realizó la definición de las propiedades de los materiales que conforman los elementos estructurales de la edificación con las características especificadas en el expediente técnico.

Concreto Armado

Peso unitario:	2400 kg/m ³
Resistencia a compresión:	$f'c = 217.11 \text{ kg/cm}^2$
Módulo de Poisson:	0.15
Módulo de Elasticidad:	$E'c = 15000 * \sqrt{f'c} = 217370.65 \text{ kg/cm}^2$

Para definir la resistencia a la compresión del concreto se realizó el método de ensayo para determinar el número de rebote del concreto endurecido (Esclerometría), según la norma NTP 339.181, se obtuvo un promedio de 217.11 kg/cm² de resistencia a la compresión, por lo que se estableció que la resistencia a la compresión para realizar el análisis será de 217.11 kg/cm², según el promedio de los resultados obtenidos de los ensayos.

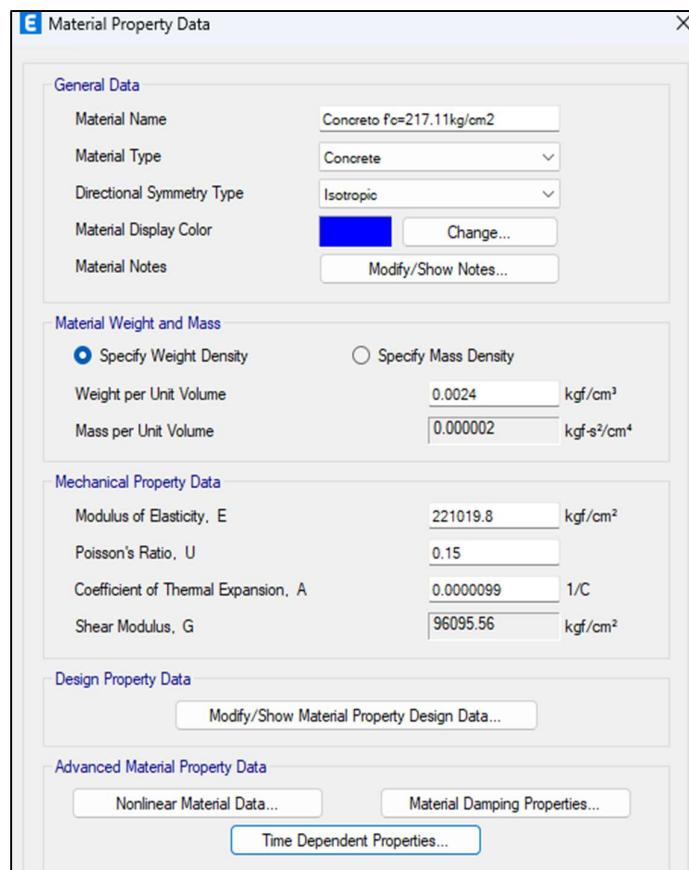
Tabla 12

Resumen de resultados de ensayos de esclerometría

Elemento Estructural	Ubicación	Resistencia A La Compresión (F'c)
Columna C-1	Eje B2	212.50 kg/cm ²
Columna C-1	Eje B4	202.30 kg/cm ²
Columna C-1	Eje B6	221.00 kg/cm ²
Columna C-1	Eje A2	238.00 kg/cm ²
Columna C-1	Eje A4	212.50 kg/cm ²
Viga - 102	Eje 2-2	212.50 kg/cm ²
Viga - 102	Eje 4-4	221.00 kg/cm ²
Promedio		217.11 kg/cm ²

Figura 15

Definición de concreto $f'_c=217.11\text{kg}/\text{cm}^2$



Acero

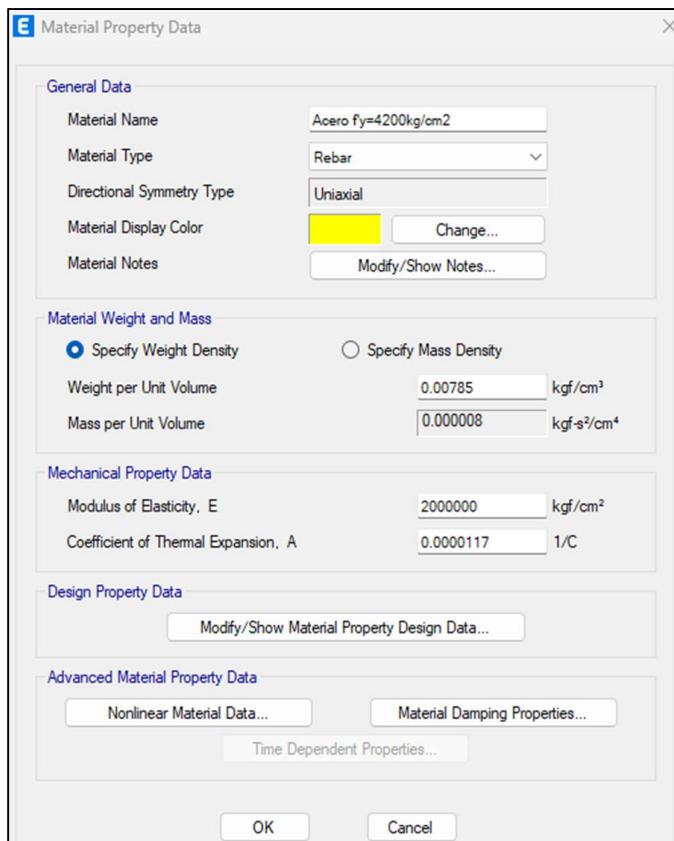
Peso unitario: $\gamma_m = 7850 \text{ kgf}/\text{m}^3$

Módulo de Elasticidad Acero: $E'_c = 2000000 \text{ kgf}/\text{cm}^2$

Resistencia a la fluencia: $f_y = 4200 \text{ kgf}/\text{cm}^2$

Figura 16

Definición de acero $f_y=4200 \text{ kg/cm}^2$



B. Modelado estructural en software Etabs

Se realizó la definición de los elementos estructurales tales como columnas, vigas y losa aligerada, obedeciendo las características y medidas especificadas en planos del expediente técnico. En la figura 20 y figura 21 se realiza una presentación en planta y pseudotridimensional respectivamente donde se pueden identificar las características de la estructura.

Figura 17

Vista en planta del bloque principal

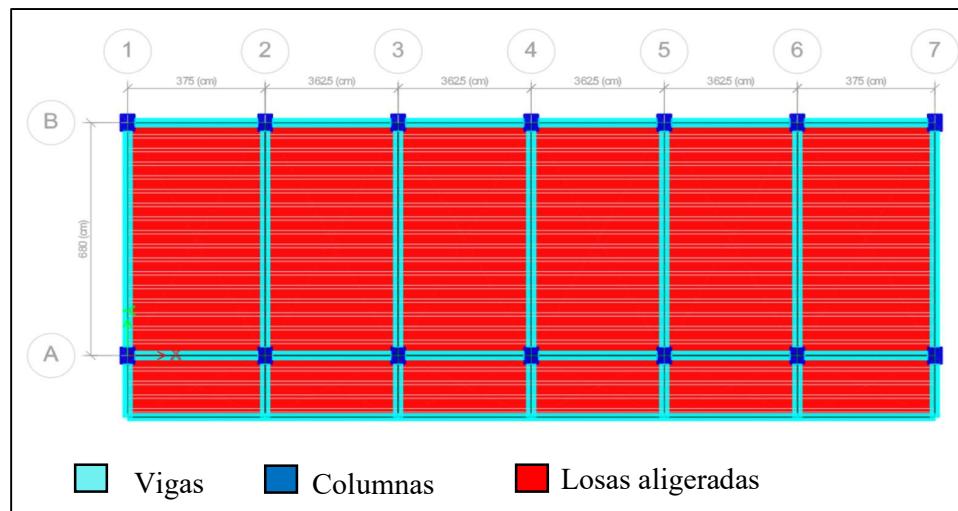
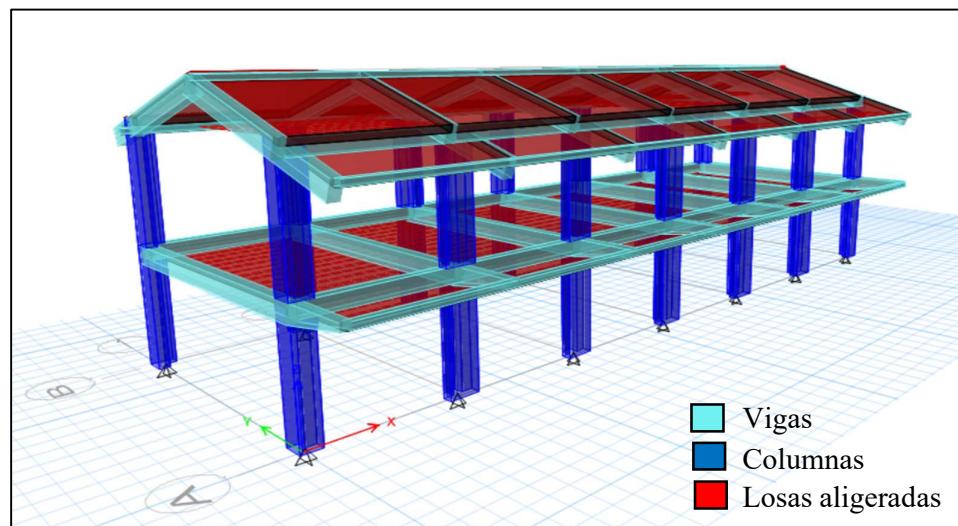


Figura 18

Vista en 3D del bloque principal



C. Asignación de cargas

El software ETABS v.20, considera el peso propio de la estructura, adicional a eso y de acuerdo con la norma E.020, se consideró las siguientes cargas mínimas repartidas para centro educativo.

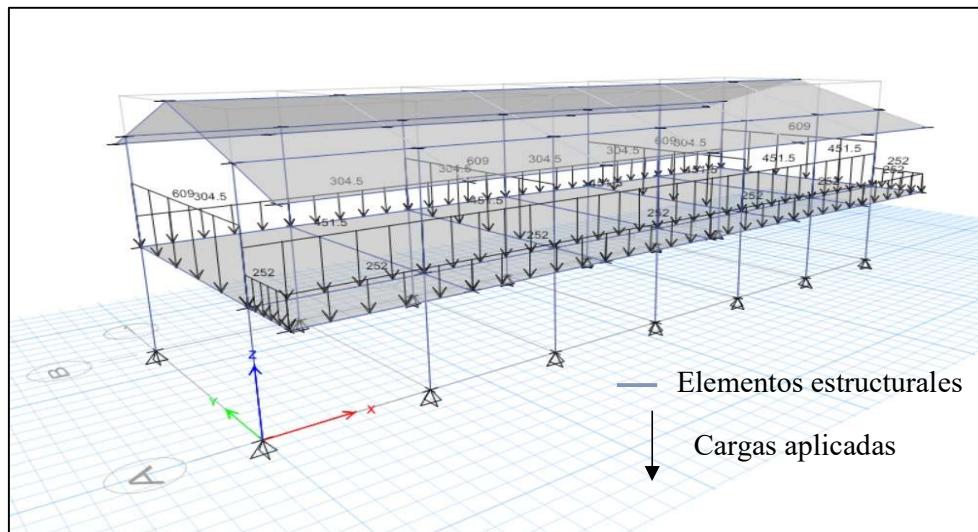
Tabla 13*Definición de cargas vivas*

Ubicación o uso	Carga (kg/cm ²)
Aulas	250.00
Corredor	400.00
Techo A Dos Aguas	50.00

Para definir las cargas muertas, se tomó en cuenta el peso específico de las unidades de albañilerías cocidas huecas, según la norma E.020.

Tabla 14*Definición de cargas muertas*

Ubicación	Peso específico (kg/m ³)	Espesor (m)	Altura (m)	Carga muerta (kg/m)
Eje A-A	1350.00	0.15	2.15	451.50
Eje B-B	1350.00	0.15	1.45	304.50
Eje 1-1,3-3,5-5,7-7	1350.00	0.15	2.90	609.00
Parapeto	1350.00	0.15	1.20	252.00

Figura 19*Aplicación de cargas a estructura*

D. Definición de parámetros de diseño sismorresistente

La norma técnica E.030, proporciona los parámetros necesarios para realizar el análisis sísmico estático y dinámico, los cuales dependen del tipo de uso de la estructura, su ubicación, tipo de suelo entre otros.

Tabla 15

Parámetros sísmicos según norma E.030

Parámetro	Valor	Observación
Factor de Zona (Z)	Z = 0.25	Jaén
Factor de uso (U)	U = 1.5	A2
Factor de ampliación del suelo	S = 1.2	S2. Suelo intermedio
Parámetros de sitio	$T_P = 0.6$ $T_L = 2$	Segundos
Factor de ampliación sísmica	C = 2.5	$T < T_P$
Coeficiente de reducción de fuerzas sísmicas	$R_X = 8$ $R_Y = 8$	Sistema estructural de pórticos en ambas direcciones
Irregularidades	$I_A = 1$ $I_P = 1$	Estructura sin irregularidades

El valor del factor de ampliación sísmica ($C = 2.5$), depende del periodo fundamental de vibración de la estructura en cada una de sus direcciones, a continuación, se presenta los resultados obtenidos en el software Etabs.

Tabla 16*Periodo fundamental de vibración*

Case	Mode	Periodo	UX	UY	RZ	SumUX	SumUY	SumRZ
Modal	1	0.312	0.000	0.828	0.001	0.000	0.828	0.001
Modal	2	0.270	0.892	0.000	0.027	0.893	0.828	0.028
Modal	3	0.254	0.027	0.001	0.836	0.919	0.829	0.865
Modal	4	0.100	0.001	0.161	0.004	0.920	0.990	0.868
Modal	5	0.097	0.077	0.004	0.003	0.997	0.994	0.871
Modal	6	0.087	0.003	0.006	0.129	1.000	1.000	1.000

El periodo fundamental de vibración para la dirección XX es 0.270 segundos con una masa participativa del 89% y para la dirección YY, el periodo fundamental de vibración es 0.312 segundos con una masa participativa del 83%.

3.5.3. Análisis sísmico estático

Es una técnica simplificada y ampliamente usada, se basa en la aplicación de fuerzas laterales distribuidas en toda la estructura con la finalidad de simular el sismo. Para calcular el cortante basal, tenemos que obtener el peso de la estructura contemplando los parámetros de cargas especificados en la norma E.020.

Tabla 17*Peso de la estructura*

Story	Output Case	Case Type	Location	P (tonf)	Peso (por nivel)
Nivel 2	PESO SISMICO	Combination	Bottom	125.76	125.45
Nivel 1	PESO SISMICO	Combination	Bottom	316.43	190.62
Peso Total (Tonf)					316.07

El cortante basal estático se calcula con la siguiente expresión:

$$V = \frac{ZUCS}{R} P = 44.45 \text{ Tn}$$

Tabla 18

Distribución de fuerzas laterales (k=1, periodo menor o igual a 0.5 segundos – Norma E.030)

Story	Peso por nivel (tonf)	Altura acumulada (m)	$P_i * h_i^k$ (tonf.m)	Alfa i	F_i (tonf)
Nivel 2	125.76	7.90	993.49	0.61	27.06
Nivel 1	190.67	3.35	638.76	0.39	17.39
Total			1632.25		44.45

3.5.4. Análisis sísmico dinámico

La norma NTE E.030, indica que cualquier estructura puede ser diseñada usando los resultados de los análisis dinámicos por combinación modal espectral. Para cada una de las direcciones horizontales se usará un espectro inelástico de pseudo-aceleraciones, definido por la siguiente ecuación:

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

Tabla 19

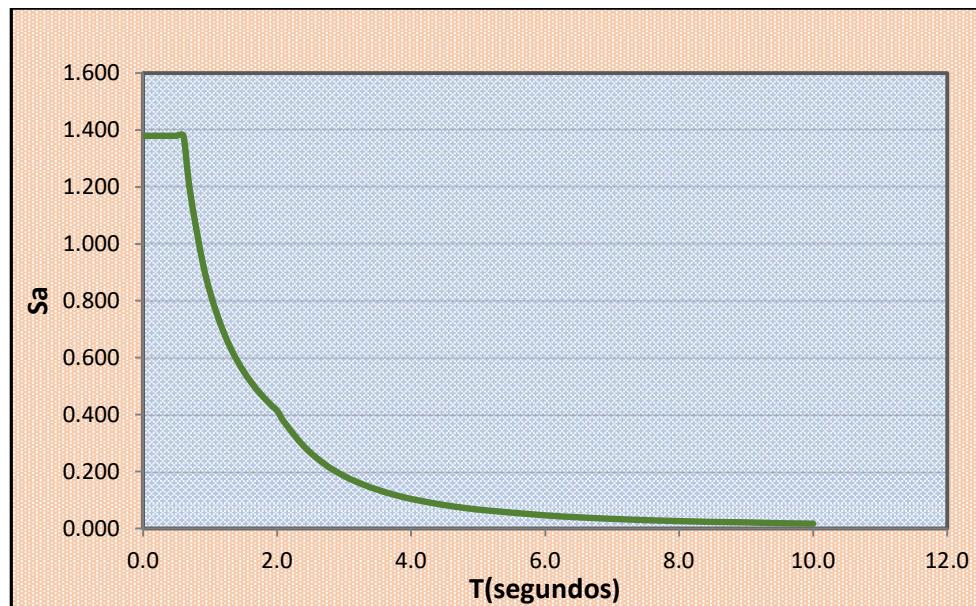
Pseudo - aceleraciones en función del periodo de la estructura

T (seg)	C	ZUCS/R	Sa
0.0	2.500	0.141	1.380
0.1	2.500	0.141	1.380
0.2	2.500	0.141	1.380
0.3	2.500	0.141	1.380
0.4	2.500	0.141	1.380

0.5	2.500	0.141	1.380
0.6	2.500	0.141	1.380
0.7	2.143	0.121	1.182
0.9	1.667	0.094	0.920
1.1	1.364	0.077	0.752
1.3	1.154	0.065	0.637
1.5	1.000	0.056	0.552
1.7	0.882	0.050	0.487
1.9	0.789	0.044	0.436
2.0	0.750	0.042	0.414
2.1	0.680	0.038	0.375
2.4	0.521	0.029	0.287
2.7	0.412	0.023	0.227
3.0	0.333	0.019	0.184
3.3	0.275	0.015	0.152
3.6	0.231	0.013	0.128
3.7	0.219	0.012	0.121
4.0	0.188	0.011	0.103
4.3	0.162	0.009	0.090
4.6	0.142	0.008	0.078
4.7	0.136	0.008	0.075
5.0	0.120	0.007	0.066
6.0	0.083	0.005	0.046
7.0	0.061	0.003	0.034
8.0	0.047	0.003	0.026
9.0	0.037	0.002	0.020
10.0	0.030	0.002	0.017

Figura 20

Espectro de diseño según E.030



3.5.5. Análisis estático no lineal Pushover

Para conocer cómo se comporta la estructura hasta llegar a su respuesta pico o su máxima respuesta bajo cargas laterales, es necesario conocer la no linealidad de los materiales, ya que en este proceso incremental es posible obtener la información del comportamiento de cada elemento con la formación de rotulas plásticas.

3.5.5.1. No linealidad del material

Acero

Para representar cómo se comporta el acero de refuerzo de los elementos estructurales se tomó el modelo propuesto por Park y Paulay (1975), donde contempla su estado elástico, fluencia y endurecimiento.

Figura 21

Acero de refuerzo (Modelo Park y Paulay, 1975)

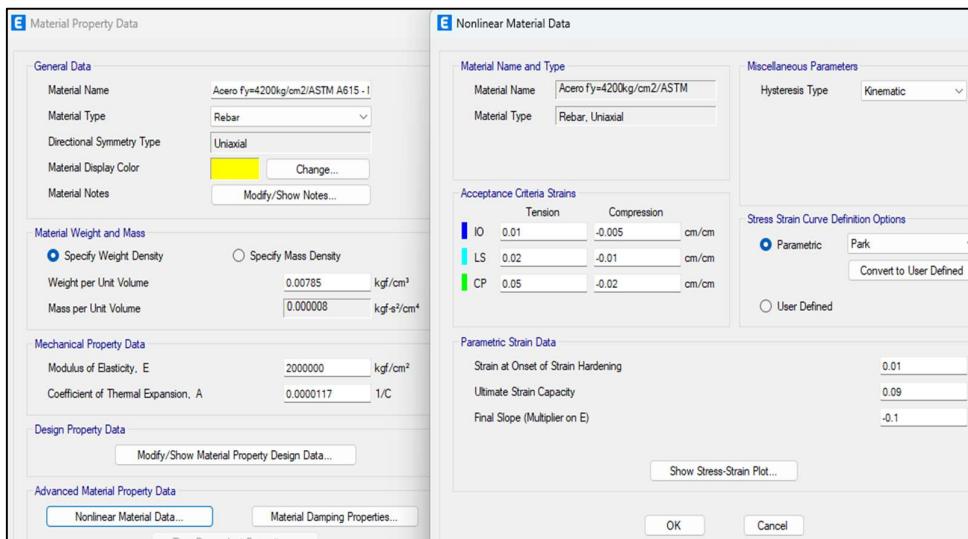
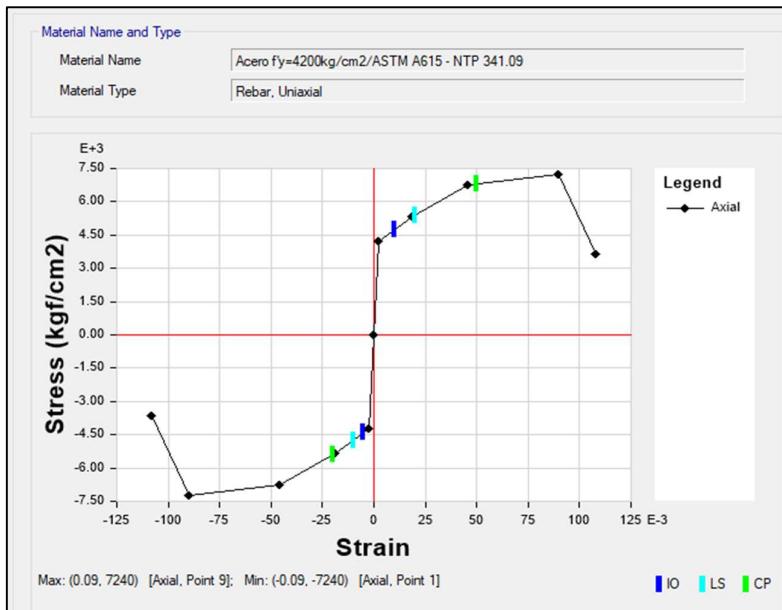


Figura 22

Curva esfuerzo - deformación del acero (Modelo Park y Paulay, 1975)



Concreto

Para el análisis del comportamiento no lineal del concreto, se utilizó en modelo propuesto por Mander et al. (1988), el cual contempla que el efecto del confinamiento incrementa la capacidad de deformación y la resistencia a la compresión del concreto.

Figura 23

Definición de concreto (Modelo Mander et al., 1998)

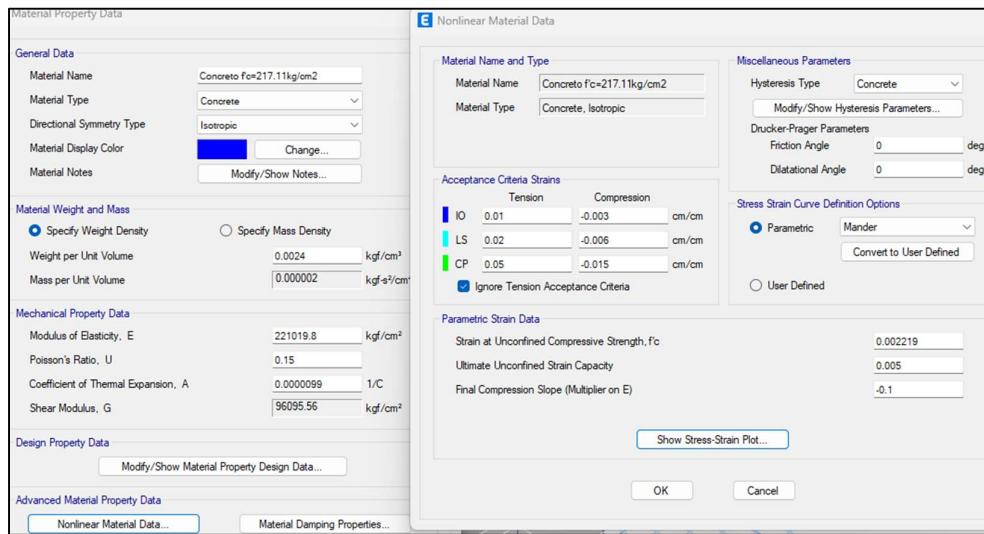
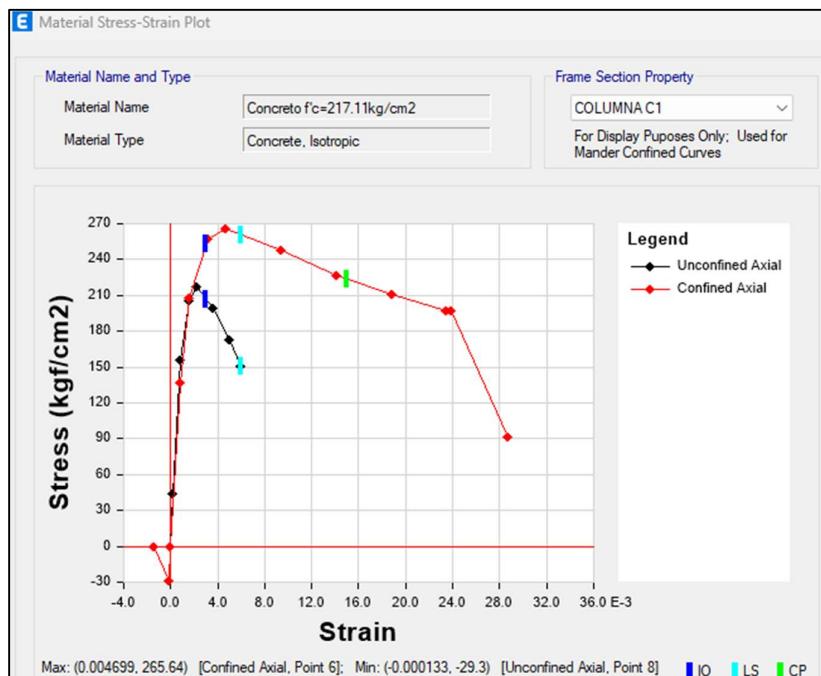


Figura 24

Curva esfuerzo - deformación del concreto confinado y no confinado (Modelo Mander et. al., 1988)



3.5.5.2. Cargas laterales

Para el cálculo de los patrones de cargas laterales se usó el método de los coeficientes de desplazamiento (FEMA 356), el cual es válido cuando la masa participativa en el modo fundamental $\geq 75\%$.

Tabla 20

Masa participativa en modo fundamental de vibración

Case	Mode	Periodo	Masa participativa	Tipo
Modal	1	0.312	82.80%	Traslación en Y
Modal	2	0.270	89.20%	Rotación en Z
Modal	3	0.254	83.60%	Traslación en X

El factor de distribución de carga se obtiene con la siguiente ecuación:

$$F_i = \alpha_i V_i$$

$$\alpha_i = \frac{w h^k}{\sum_{i=1}^n w_i h^k}$$

Donde: $V_x = 44.45 \text{ Tn}$; $V_y = 44.45 \text{ Tn}$ y $K = 1.0$

Tabla 21

Cálculo de fuerza lateral en dirección XX

Story	Peso Por	Alturas	$w_x h_x^k$	Factor	$V(\text{Tn})$	Fuerza Lateral
	Nivel (tonf)	Acumulada (m)	(tonf.m)	α		$F = \alpha_i V (\text{Tn})$
Techo 02	125.76	7.90	993.49	0.61	44.45	27.06
Techo 01	190.67	3.35	638.76	0.39	44.45	17.39
Total			1632.25			

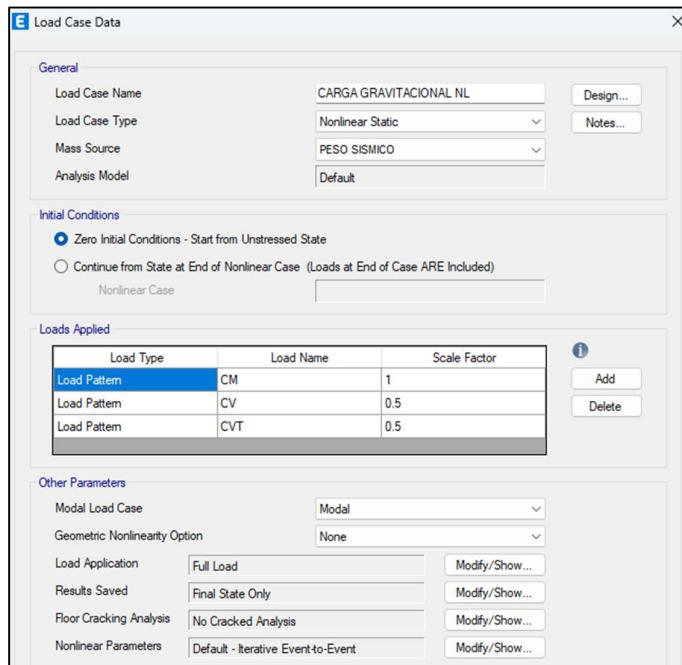
Tabla 22*Cálculo de fuerzas laterales en dirección YY*

Story	Peso Por Nivel (tonf)	Alturas Acumulada (m)	$w_y h_y^k$ (tonf.m)	Factor α	$V(Tn)$	Fuerza Lateral $F = \alpha_i V (Tn)$
						$w_y h_y^k$ (tonf.m)
Techo 02	125.76	7.90	993.49	0.61	44.45	27.06
Techo 01	190.67	3.35	638.76	0.39	44.45	17.39
Total			1632.25			

3.5.5.3. Creación de casos de cargas estáticas no lineales - Pushover

- **Carga gravitacional no lineal (CGNL)**

Debido a que es una estructura tipo A2, se considera el 100% de carga muerta, más el 50% de carga viva y carga viva de techo. Esta carga iniciara desde condiciones iniciales cero.

Figura 25*Caso de carga gravitacional no lineal*

- **Carga no lineal en ambas direcciones de análisis**

Esta carga continuará con el análisis del caso de carga gravitacional no lineal (CGNL), la cual llegará a un rango no lineal que corresponde al estudio estático Pushover.

Figura 26

Caso de carga estática no lineal en dirección XX

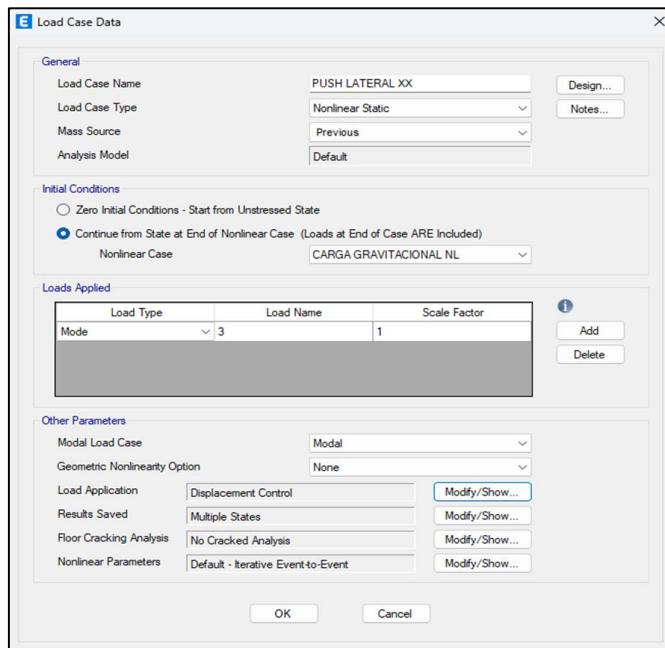


Figura 27

Control de análisis no lineal en dirección XX

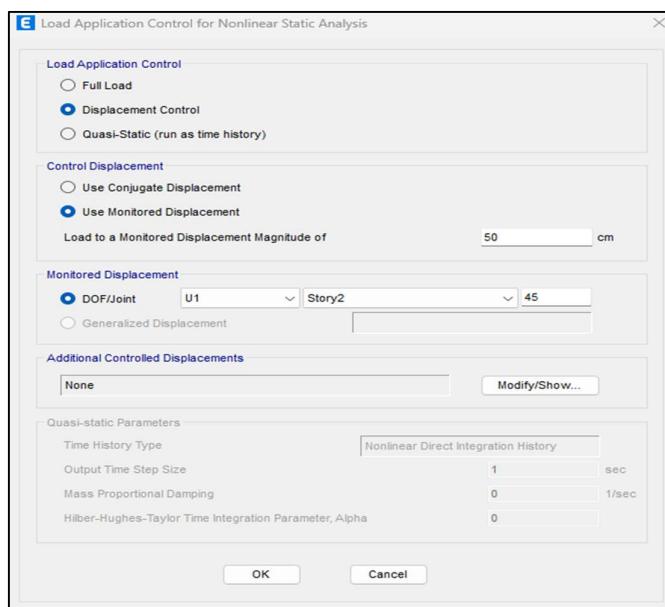


Figura 28

Caso de carga estática no lineal en dirección YY

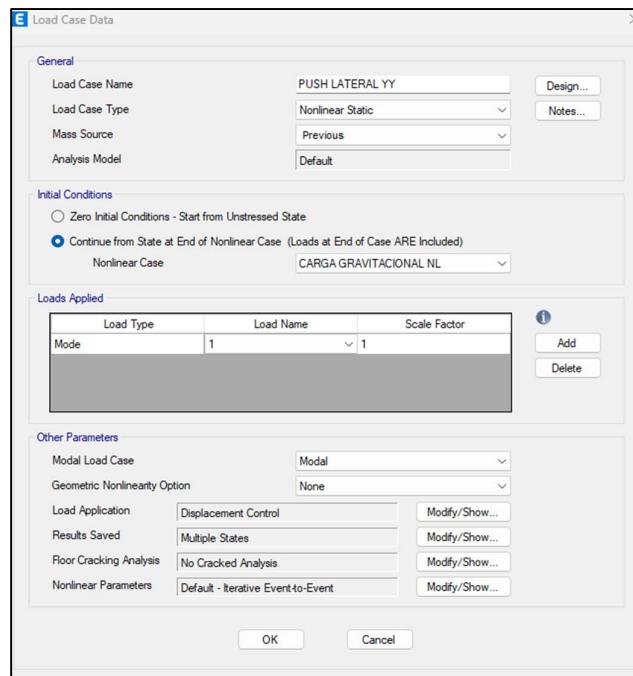
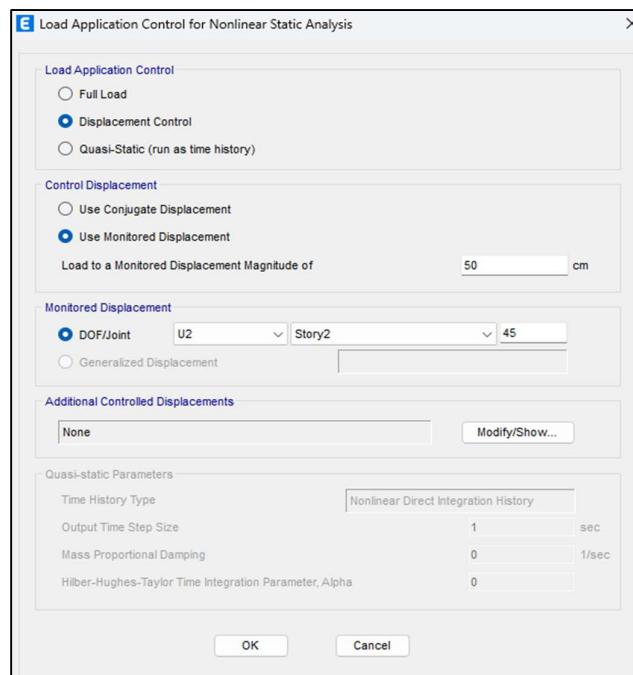


Figura 29

Control de análisis no lineal en dirección YY



3.5.6. Asignación de rótulas plásticas

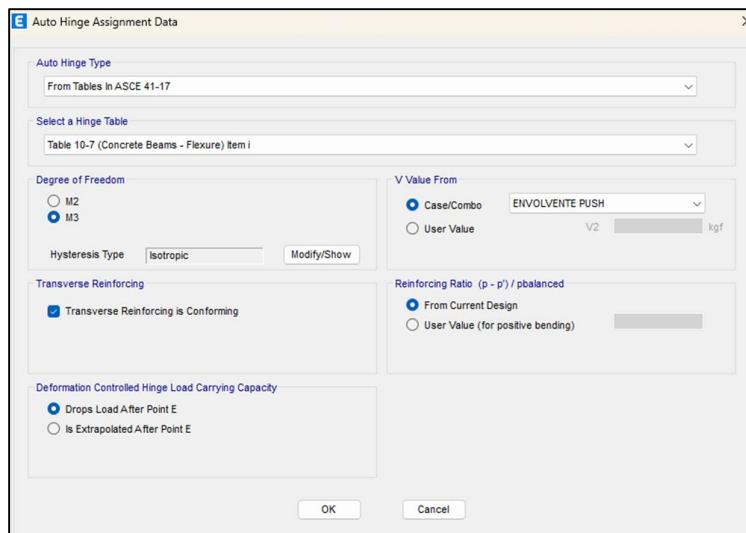
Para evaluar la respuesta no lineal de la estructura se necesita conocer la respuesta de los componentes más allá del rango lineal. La respuesta de los componentes debe representarse mediante curvas que describan dicho comportamiento, estos valores serán determinados en el software ETABS a partir de las tablas de la norma ASCE/SEI 41-17, estas curvas son conocidas como relaciones generalizadas fuerza-deformación.

- **Parámetros de modelado no lineal en vigas**

Las rotulas plásticas en vigas serán asignadas teniendo en cuenta los parámetros de modelado y criterios de aceptación para procedimientos no lineales de la tabla 10-7 de la norma ASCE/SEI 41-17.

Figura 30

Definición de rótulas plásticas en vigas



- **Parámetros de modelado no lineal en columnas**

Las rotulas plásticas en columnas serán asignadas teniendo en cuenta los parámetros de modelado y criterios de aceptación para procedimientos no lineales de la tabla 10-8 y 10-9 de la norma ASCE/SEI 41-17.

Figura 31

Definición de rótulas plásticas en columnas

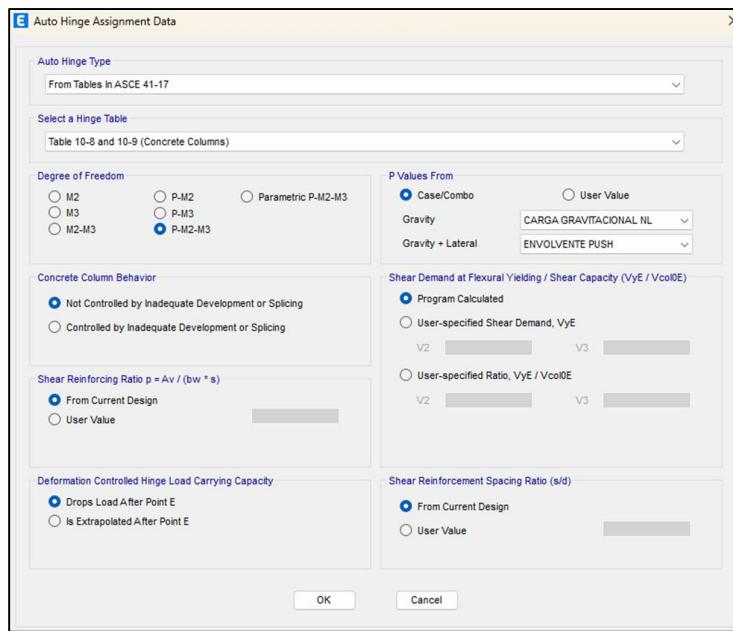


Figura 32

Vista en planta (Aplicación de rótulas plásticas)

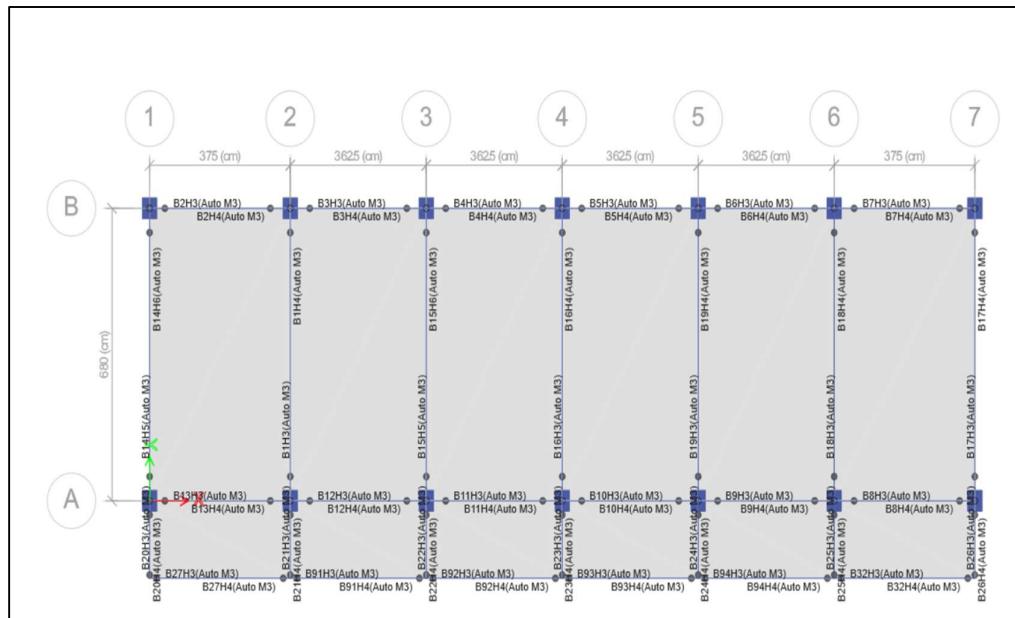


Figura 33

Vista en elevación (aplicación de rótulas plásticas)

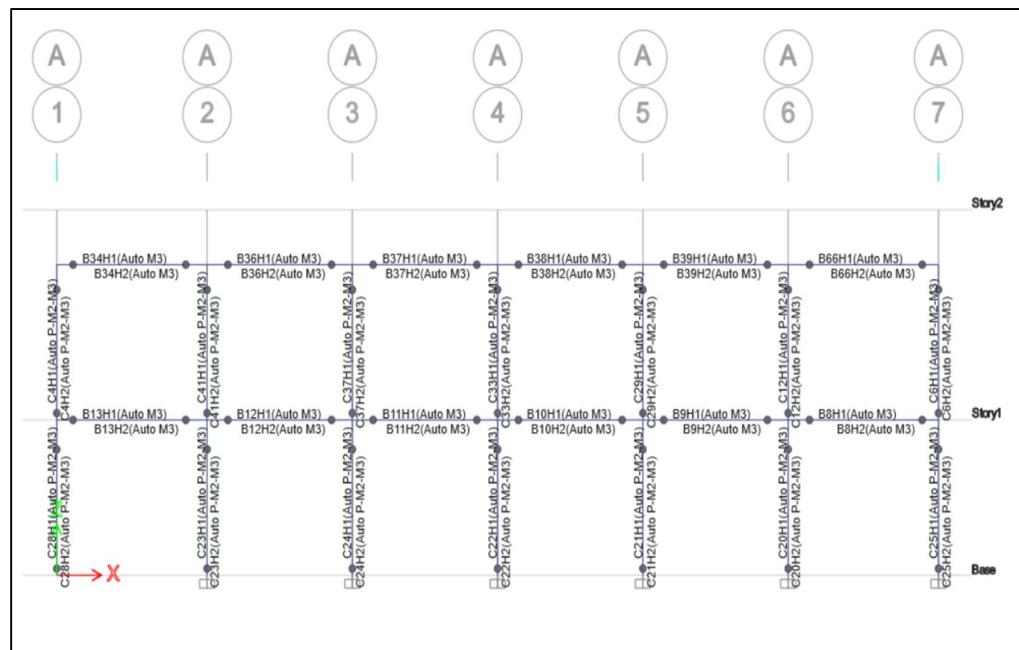
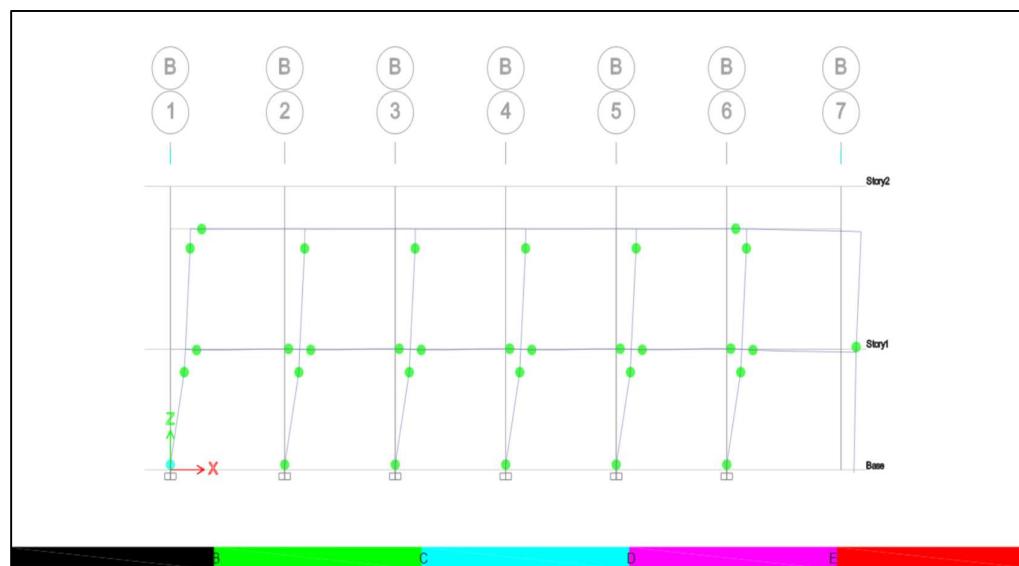


Figura 34

Formación de rótulas plásticas (vista en elevación)



3.5.7. Curva de capacidad

La curva de capacidad de la estructura muestra la relación entre el incremento del desplazamiento y el incremento de cortante en la base.

Figura 35

Curva de capacidad en dirección XX

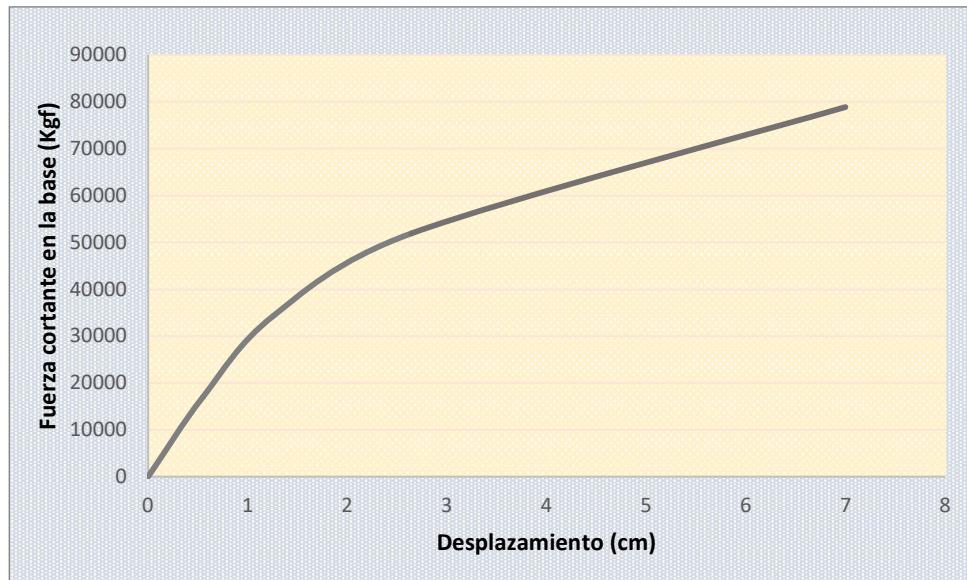
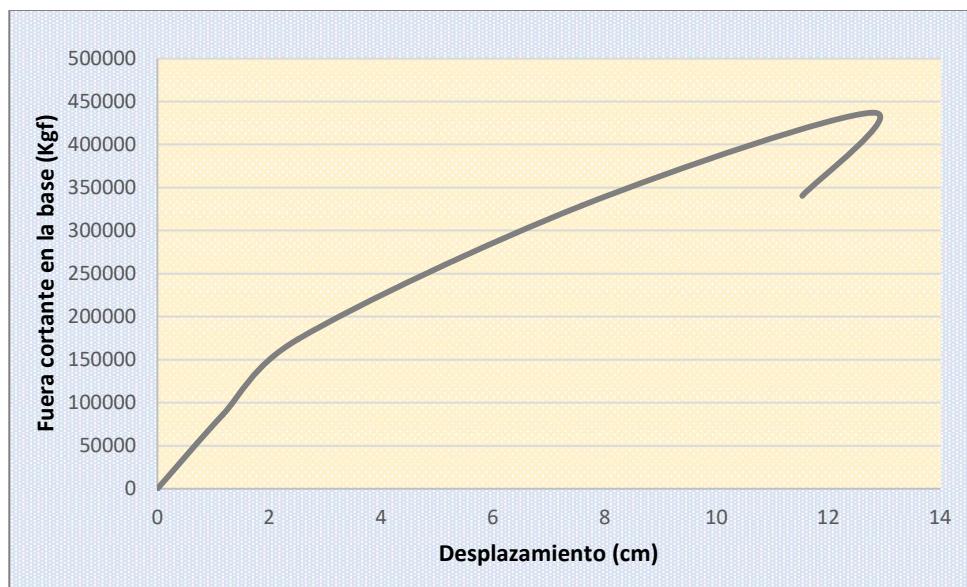


Figura 36

Curva de capacidad en dirección YY



3.5.8. Punto de desempeño

Para determinar el comportamiento de la estructura frente a diferentes tipos de sismo es necesario definir los espectros de respuesta de los cuatro niveles de sismo que son: Frecuente, Ocasional, Raro y muy raro.

- Espectro de diseño: $S_a = ZUCS$
- E. Sismo Frecuente: $S_{a1} = \frac{1}{3}S_a$
- E. Sismo ocasional: $S_{a2} = 1.4S_{a1}$
- E. Sismo Raro: $S_{a3} = S_a$
- E. Sismo muy Raro: $S_{a4} = 1.3S_a$

Para el cálculo del espectro de diseño (S_a), ya no se considera el coeficiente de reducción de fuerzas sísmicas (R).

Tabla 23

Espectro de pseudo aceleraciones para un sismo frecuente, ocasional, raro y muy raro

T	C	Sa	Sa/R	Frecuente	Ocasional	Raro	Muy Raro
				Sa 1	Sa 2	Sa 3	Sa 4
0.000	2.500	1.125	0.141	0.3750	0.5250	1.1250	1.4625
0.050	2.500	1.125	0.141	0.3750	0.5250	1.1250	1.4625
0.100	2.500	1.125	0.141	0.3750	0.5250	1.1250	1.4625
0.150	2.500	1.125	0.141	0.3750	0.5250	1.1250	1.4625
0.200	2.500	1.125	0.141	0.3750	0.5250	1.1250	1.4625
0.250	2.500	1.125	0.141	0.3750	0.5250	1.1250	1.4625
0.300	2.500	1.125	0.141	0.3750	0.5250	1.1250	1.4625
0.350	2.500	1.125	0.141	0.3750	0.5250	1.1250	1.4625
0.400	2.500	1.125	0.141	0.3750	0.5250	1.1250	1.4625
0.450	2.500	1.125	0.141	0.3750	0.5250	1.1250	1.4625
0.500	2.500	1.125	0.141	0.3750	0.5250	1.1250	1.4625
0.550	2.500	1.125	0.141	0.3750	0.5250	1.1250	1.4625
0.600	2.500	1.125	0.141	0.3750	0.5250	1.1250	1.4625
0.650	2.308	1.038	0.130	0.3462	0.4846	1.0385	1.3500
0.700	2.143	0.964	0.121	0.3214	0.4500	0.9643	1.2536
0.750	2.000	0.900	0.113	0.3000	0.4200	0.9000	1.1700
0.800	1.875	0.844	0.105	0.2813	0.3938	0.8438	1.0969

0.850	1.765	0.794	0.099	0.2647	0.3706	0.7941	1.0324
0.900	1.667	0.750	0.094	0.2500	0.3500	0.7500	0.9750
0.950	1.579	0.711	0.089	0.2368	0.3316	0.7105	0.9237
1.000	1.500	0.675	0.084	0.2250	0.3150	0.6750	0.8775
1.050	1.429	0.643	0.080	0.2143	0.3000	0.6429	0.8357
1.100	1.364	0.614	0.077	0.2045	0.2864	0.6136	0.7977
1.150	1.304	0.587	0.073	0.1957	0.2739	0.5870	0.7630
1.200	1.250	0.563	0.070	0.1875	0.2625	0.5625	0.7313
1.250	1.200	0.540	0.068	0.1800	0.2520	0.5400	0.7020
1.300	1.154	0.519	0.065	0.1731	0.2423	0.5192	0.6750
1.350	1.111	0.500	0.063	0.1667	0.2333	0.5000	0.6500
1.400	1.071	0.482	0.060	0.1607	0.2250	0.4821	0.6268
1.450	1.034	0.466	0.058	0.1552	0.2172	0.4655	0.6052
1.500	1.000	0.450	0.056	0.1500	0.2100	0.4500	0.5850
1.550	0.968	0.435	0.054	0.1452	0.2032	0.4355	0.5661
1.600	0.938	0.422	0.053	0.1406	0.1969	0.4219	0.5484
1.650	0.909	0.409	0.051	0.1364	0.1909	0.4091	0.5318
1.700	0.882	0.397	0.050	0.1324	0.1853	0.3971	0.5162
1.750	0.857	0.386	0.048	0.1286	0.1800	0.3857	0.5014
1.800	0.833	0.375	0.047	0.1250	0.1750	0.3750	0.4875
1.850	0.811	0.365	0.046	0.1216	0.1703	0.3649	0.4743
1.900	0.789	0.355	0.044	0.1184	0.1658	0.3553	0.4618
1.950	0.769	0.346	0.043	0.1154	0.1615	0.3462	0.4500
2.000	0.750	0.338	0.042	0.1125	0.1575	0.3375	0.4388
2.500	0.480	0.216	0.027	0.0720	0.1008	0.2160	0.2808
3.000	0.333	0.150	0.019	0.0500	0.0700	0.1500	0.1950
3.500	0.245	0.110	0.014	0.0367	0.0514	0.1102	0.1433
4.000	0.188	0.084	0.011	0.0281	0.0394	0.0844	0.1097
5.000	0.120	0.054	0.007	0.0180	0.0252	0.0540	0.0702
6.000	0.083	0.038	0.005	0.0125	0.0175	0.0375	0.0488
7.000	0.061	0.028	0.003	0.0092	0.0129	0.0276	0.0358
8.000	0.047	0.021	0.003	0.0070	0.0098	0.0211	0.0274
9.000	0.037	0.017	0.002	0.0056	0.0078	0.0167	0.0217
10.000	0.030	0.014	0.002	0.0045	0.0063	0.0135	0.0176

Figura 37

Espectro de demanda para cada tipo de sismo

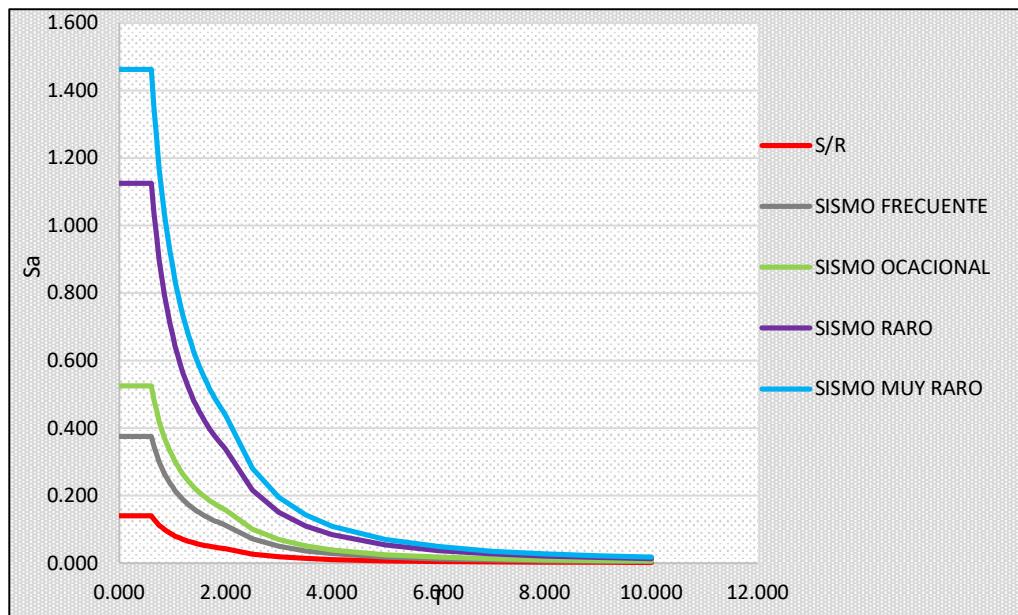


Figura 38

Desplazamiento máximo, Sismo Frecuente - dirección XX

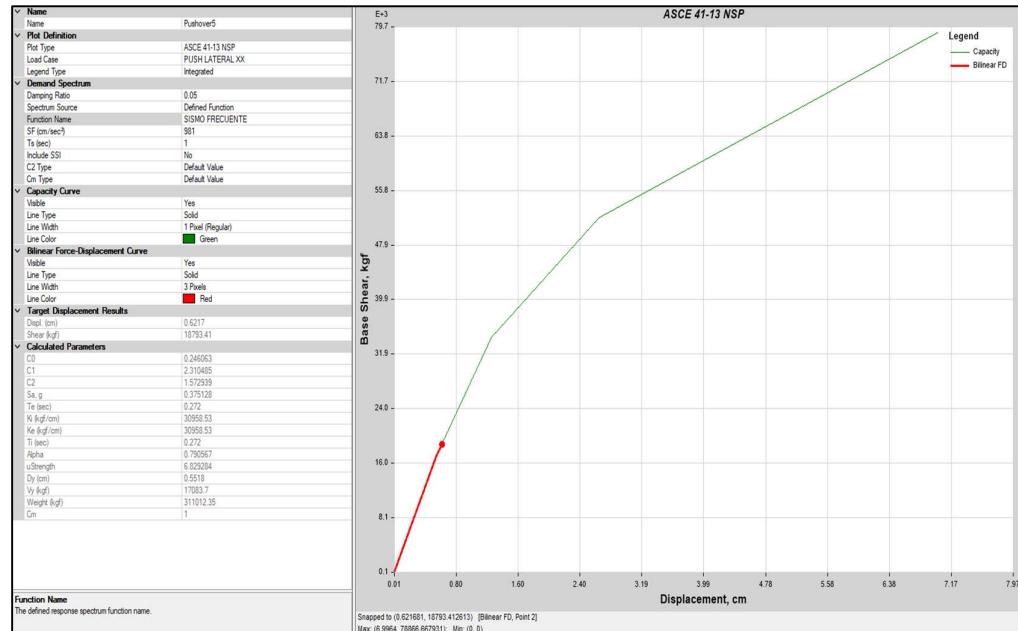


Figura 39

Desplazamiento máximo, Sismo Ocasional - dirección XX

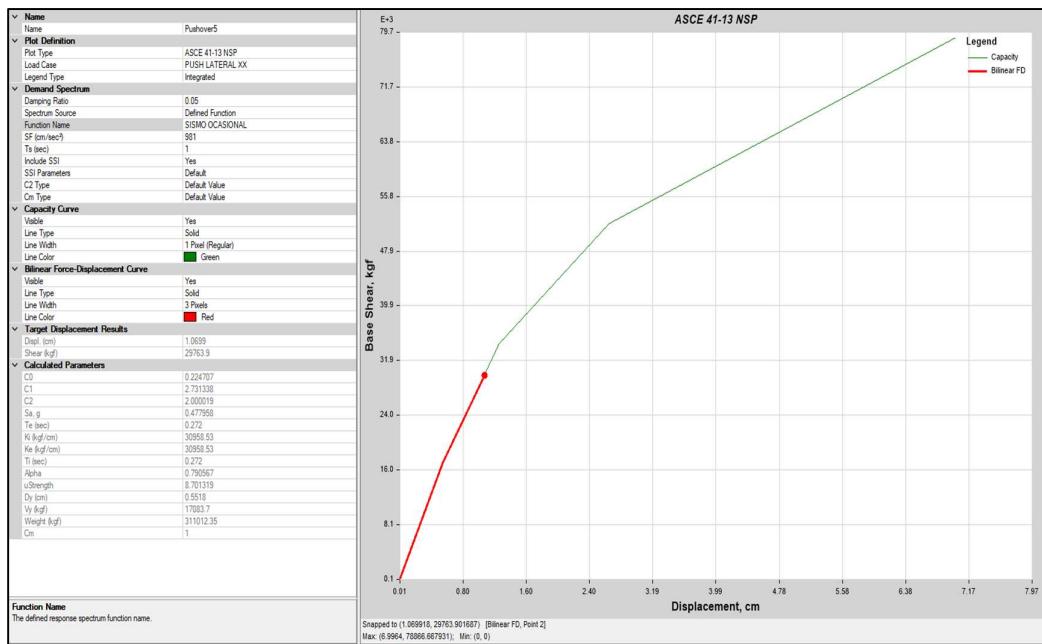


Figura 40

Desplazamiento máximo, Sismo Raro - dirección XX

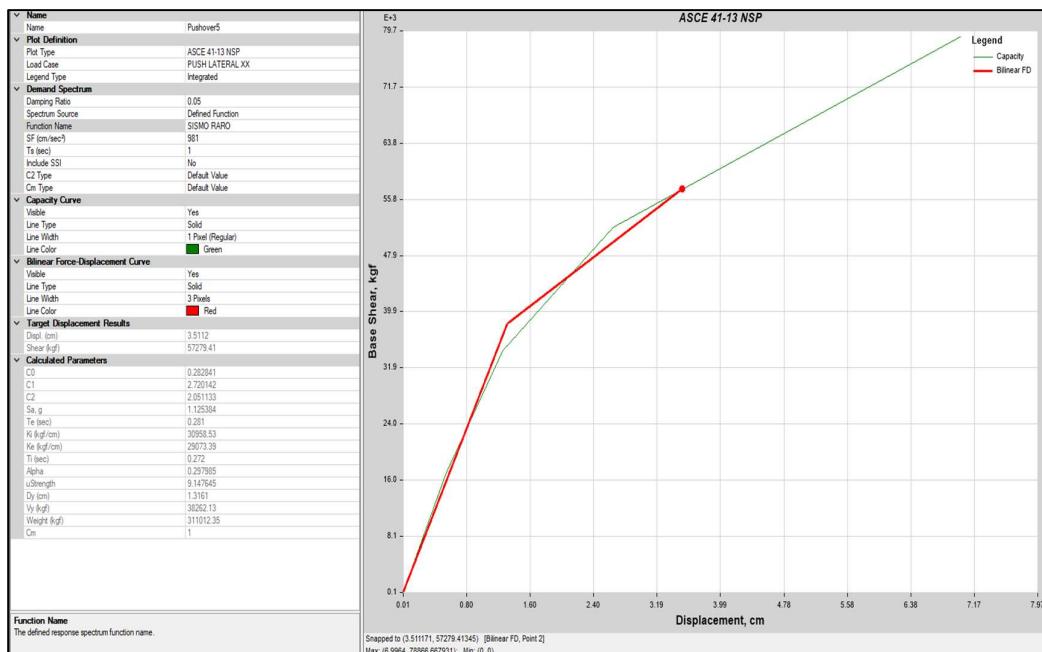


Figura 41

Desplazamiento máximo, Sismo Muy Raro - dirección XX

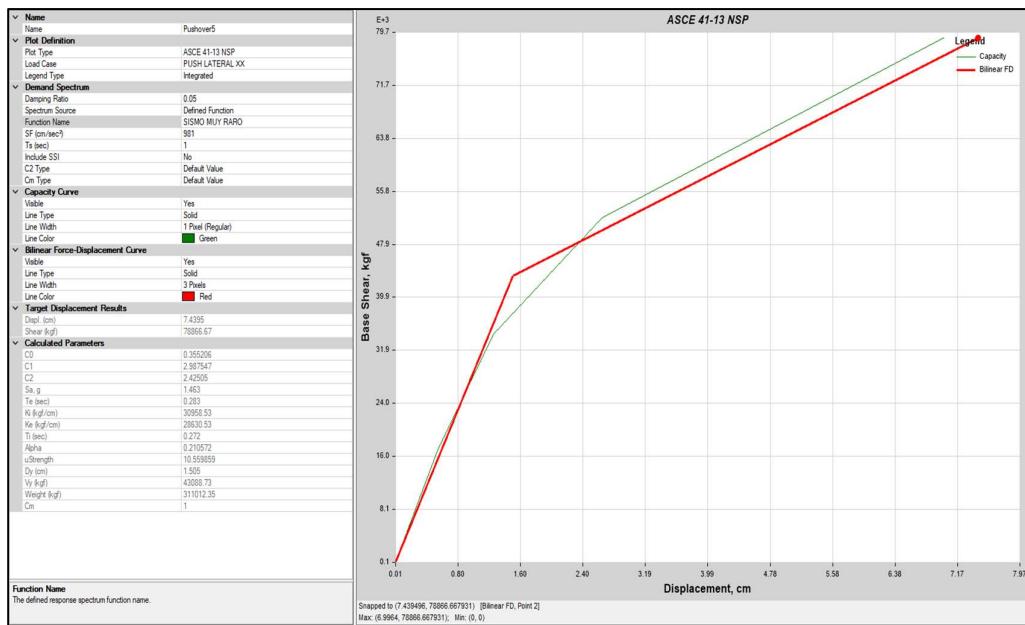


Figura 42

Desplazamiento máximo, Sismo Frecuente - dirección YY

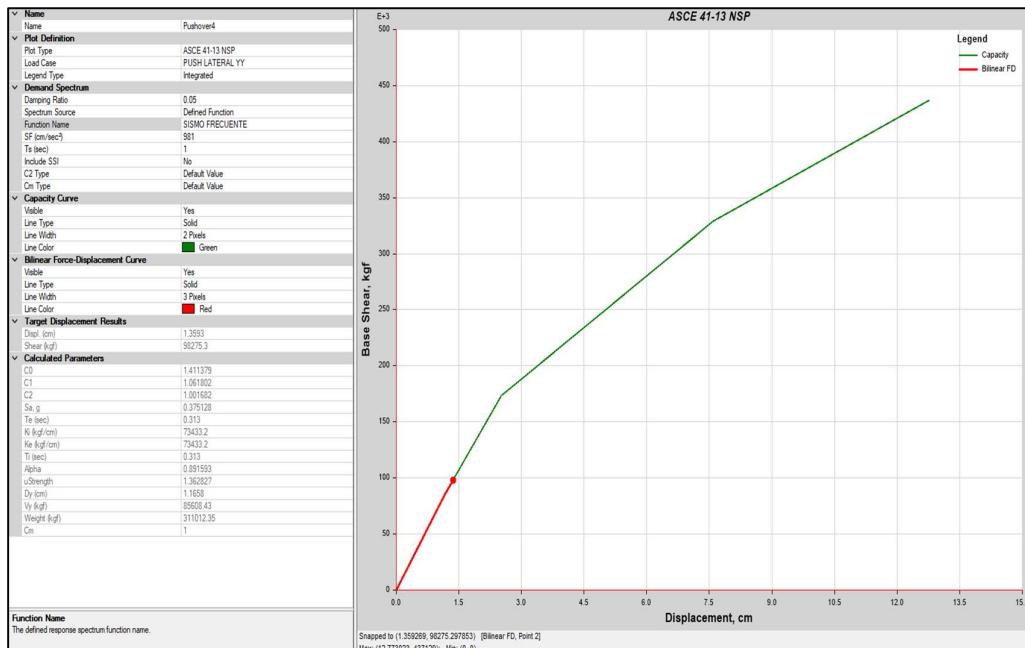


Figura 43

Desplazamiento máximo, Sismo Ocasional - dirección YY

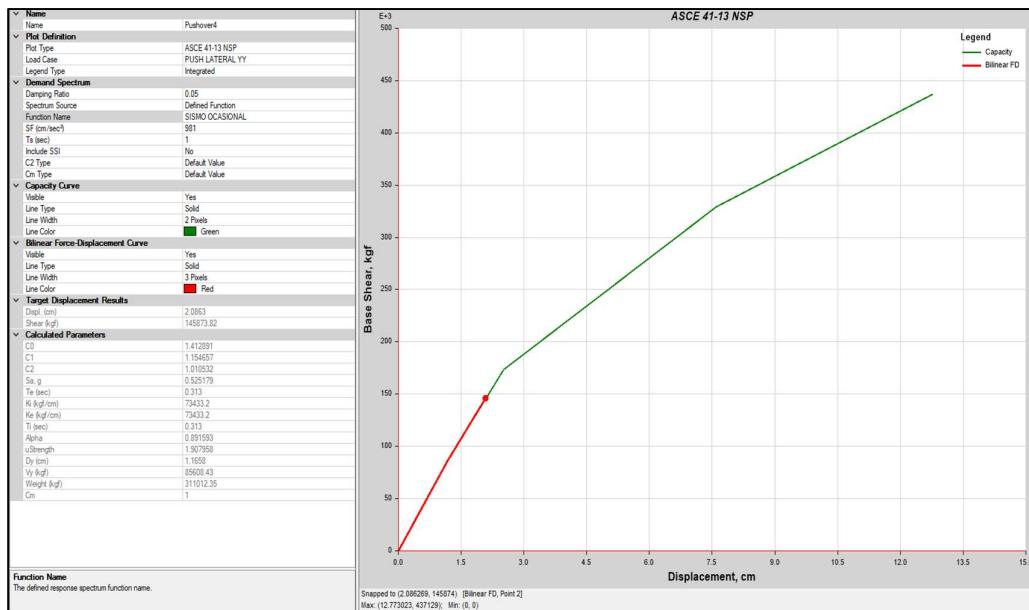


Figura 44

Desplazamiento máximo, Sismo Raro - dirección YY

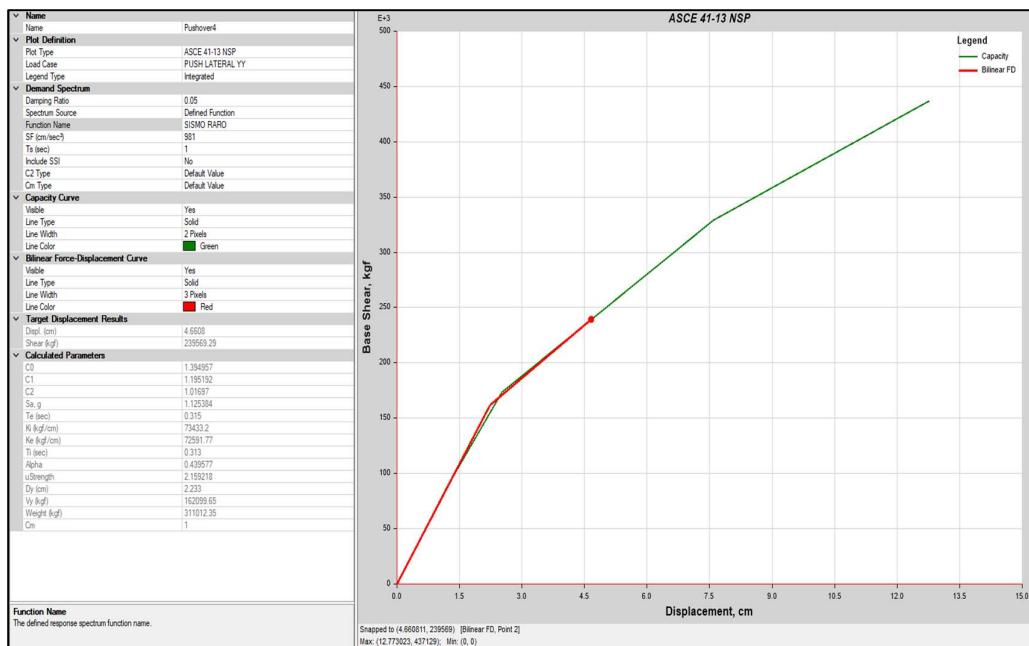


Figura 45

Desplazamiento máximo, Sismo Muy Raro - dirección YY

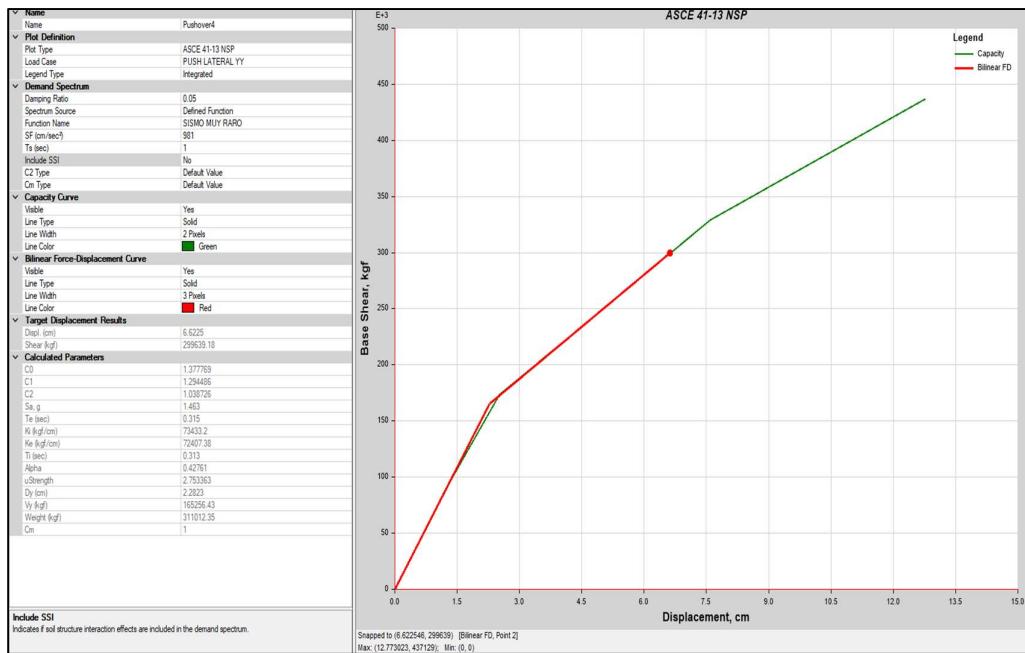


Tabla 24

Punto de desempeño para un sismo frecuente, ocasional, raro y muy raro

Sismo	Dirección XX		Dirección YY	
	Desp. (Cm)	F.c (Kgf)	Desp. (Cm)	F.c (Kgf)
Sismo Frecuente	0.62	18793	1.36	98275
Sismo Ocasional	1.07	29763	2.09	145874
Sismo Raro	3.51	57279	4.67	239569
Sismo Muy Raro	7.44	78866	6.62	299639

Para determinar el punto de fluencia efectiva de la estructura, se realiza una representación bilineal de la curva de capacidad.

Figura 46

Representación bilineal de la curva de capacidad - dirección XX

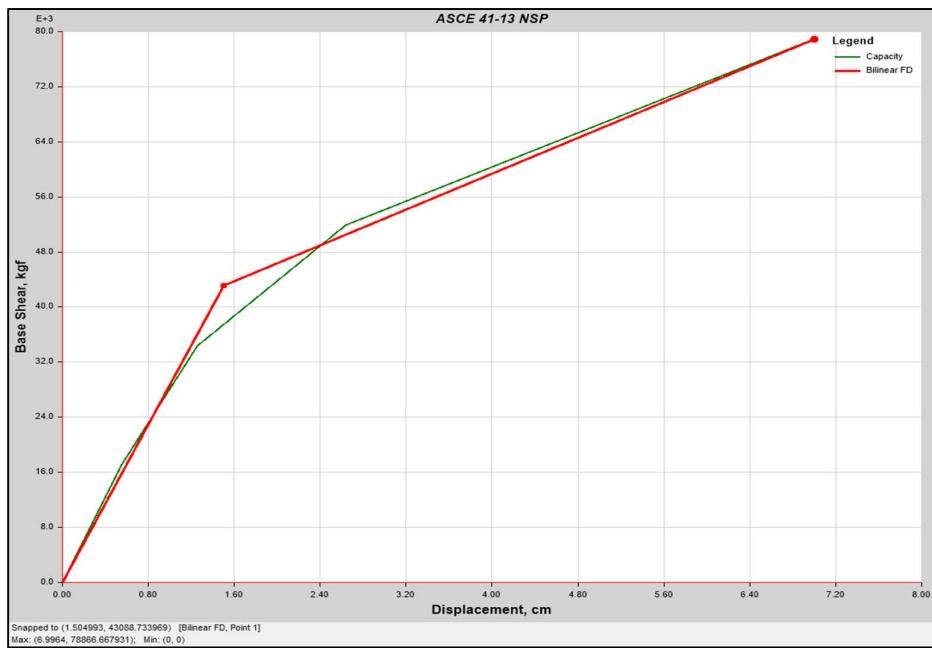


Figura 47

Representación bilineal de la curva de capacidad - dirección YY

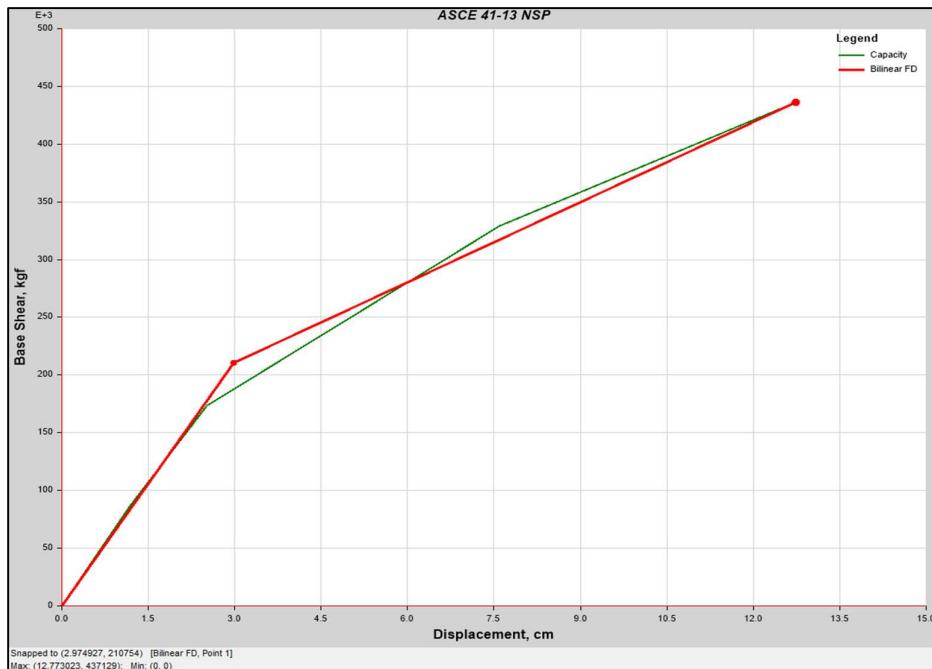


Tabla 25

Resumen de resultados obtenidos de figura 46 y 47

	Dirección XX		Dirección YY	
Punto de demanda o agotamiento de la capacidad	$D_u =$	7.00 cm	$D_u =$	12.77 cm
Punto de fluencia efectiva de la estructura	$F_u =$	78867 kgf	$F_u =$	437129 kgf
Sobreresistencia (R)	$D_y =$	1.50 cm	$D_y =$	2.97 cm
Ductilidad (U)	$F_y =$	43089 kgf	$F_y =$	210745 kgf
	$F_u/F_y =$	1.83	$F_u/F_y =$	2.07
	$D_u/D_y =$	4.67	$D_u/D_y =$	4.30

3.5.9. Nivel de desempeño

Se determina a partir de la representación bilineal de la curva de capacidad, realizando una sectorización de objetivos de desempeño (operacional, ocupación inmediata, resguardo de vida y prevención al colapso) a partir del punto de fluencia efectiva de la estructura.

Tabla 26

Cálculo del límite del nivel de desempeño sísmico para dirección XX

Límites de niveles de desempeño – Dirección XX		
Operacional	D_y	1.50 cm
Ocupación Inmediata	$D_y + 0.3(D_u - D_y)$	3.15 cm
Seguridad De Vida	$D_y + 0.6(D_u - D_y)$	4.80 cm
Prevención De Colapso	$D_y + 0.8(D_u - D_y)$	5.90 cm

Figura 48

Seccionamiento para determinar el desempeño sísmico - dirección XX

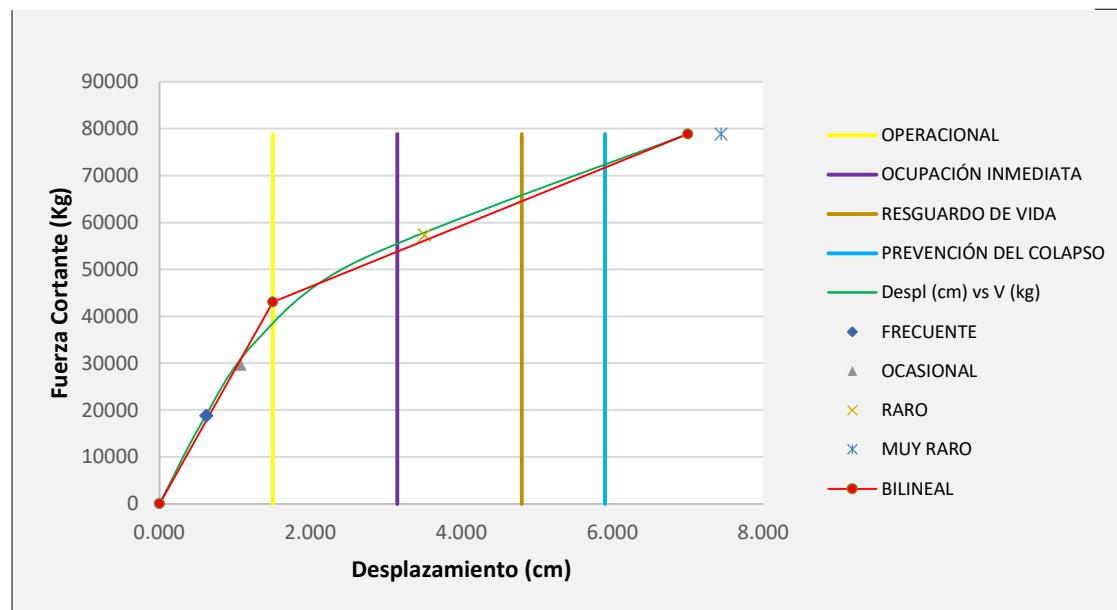


Tabla 27

Nivel de desempeño sísmico - dirección XX

Nivel de riesgo sísmico	Operacional (1-A)	Ocupación inmediata (1-B)	Seguridad de vida (3-C)	Prevención de colapso (5-D)
Frecuente	a			
Ocasional	e			
Raro			k	
Muy raro				

Tabla 28

Cálculo del límite del nivel de desempeño para dirección YY

Límites de niveles de desempeño – Dirección YY		
Operacional	D_y	2.97 cm
Ocupación Inmediata	$D_y + 0.3(D_u - D_y)$	5.91 cm
Seguridad De Vida	$D_y + 0.6(D_u - D_y)$	8.85 cm
Prevención De Colapso	$D_y + 0.8(D_u - D_y)$	10.81 cm

Figura 49

Seccionamiento para determinar el desempeño sísmico - dirección YY

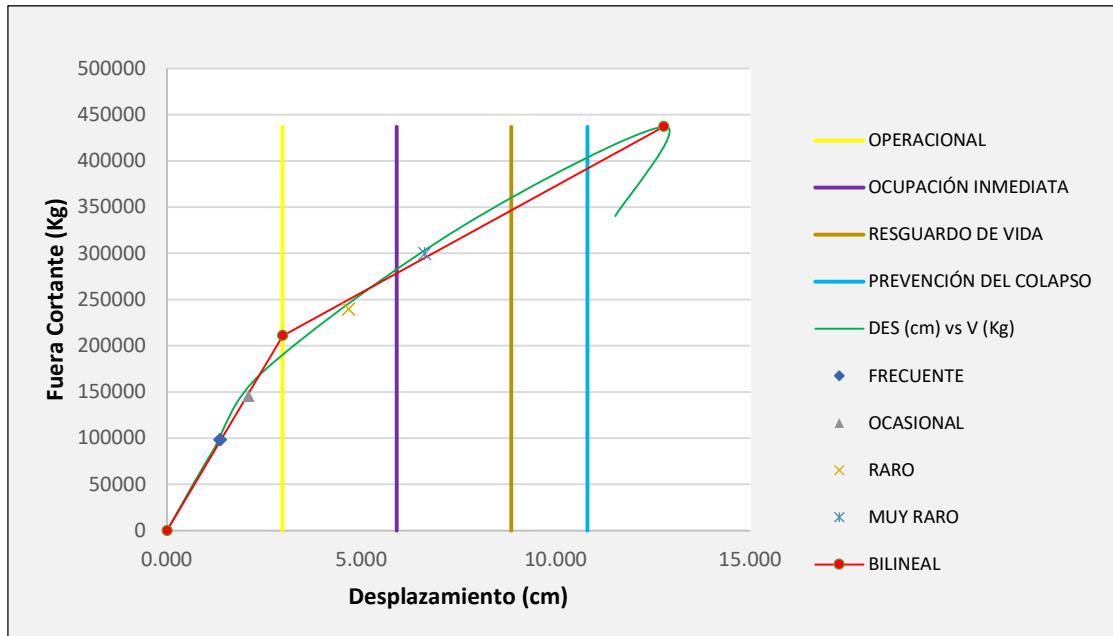


Tabla 29

Nivel de desempeño sísmico - dirección YY

Nivel de riesgo sísmico	Operacional (1-A)	Ocupación inmediata (1-B)	Seguridad de vida (3-C)	Prevención de colapso (5-D)
Frecuente	a			
Ocasional	e			
Raro		j		
Muy raro			o	

CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. Análisis y discusión

Se ejecutó el análisis estático no lineal Pushover haciendo uso del software ETABS V20. Una vez obtenidas las curvas de capacidad estructural en las direcciones XX e YY, se determinaron los puntos de desempeño para los niveles de amenaza sísmica frecuente, ocasional, raro y muy raro, luego, se determinó el desempeño sísmico de la edificación. Posteriormente, se procedió a la evaluación de los resultados obtenidos.

A continuación, se presentan los resultados del desempeño sísmico, para la dirección XX (según la tabla 27) y para la dirección YY (según la tabla 29), cuando la estructura está sometida bajo la demanda de un sismo frecuente, ocasional, raro y muy raro.

a) Para la dirección XX

➤ **Sismo frecuente.** La estructura del bloque principal de la I.E N°17507 San Juan de Dios alcanza un desplazamiento de 0.62 cm con una fuerza cortante de 18793 kgf, obteniendo un nivel de desempeño sísmico **Operacional (1-A)**, conserva su resistencia y rigidez, solo se observan pequeñas grietas en los elementos estructurales y no estructurales que son totalmente reparables, la edificación no representa ni un peligro para sus ocupantes y sigue funcionando con normalidad.

➤ **Sismo ocasional.** La estructura del bloque principal de la I.E N°17507 San Juan de Dios alcanza un desplazamiento de 1.07 cm con una fuerza cortante de 29763 kgf, obteniendo un nivel de desempeño sísmico **Operacional (1-A)**, la estructura sufre daños leves que son totalmente reparables, la edificación no representa ningún peligro para sus ocupantes y sigue funcionando con normalidad.

➤ **Sismo raro.** La estructura del bloque principal de la I.E N°17507 San Juan de Dios alcanza un desplazamiento de 3.51 cm con una fuerza cortante de 57279 kgf, obteniendo un nivel de desempeño sísmico **Seguridad de Vida (3-C)**, los elementos

estructurales siguen funcionando a pesar del daño, se producen fallas en los tabiques, es necesario una reparación para que la edificación vuelva a ser ocupada y funcione sin restricciones.

- **Sismo muy raro.** La estructura del bloque principal de la I.E N°17507 San Juan de Dios alcanza un desplazamiento de 7.44 cm con una fuerza cortante de 78866 kgf, superando el desplazamiento máximo obtenido en la curva de capacidad que es 7.00 cm según la tabla 25. El desempeño de la estructura se encuentra fuera de su rango inelástico, representa un peligro latente para la vida de sus ocupantes, los elementos estructurales y no estructurales sufren daños irreparables, la edificación colapsa.

b) Para la dirección YY

- **Sismo frecuente.** La estructura del bloque principal de la I.E N°17507 San Juan de Dios alcanza un desplazamiento de 1.36 cm con una fuerza cortante de 98275 kgf, obteniendo un nivel de desempeño sísmico **Operacional (1-A)**, conserva su resistencia y rigidez, solo se observan pequeñas grietas en los elementos estructurales y no estructurales que son totalmente reparables, la edificación sigue funcionando con normalidad.

- **Sismo ocasional.** La estructura del bloque principal de la I.E N°17507 San Juan de Dios alcanza un desplazamiento de 2.09 cm con una fuerza cortante de 145874 kgf, obteniendo un nivel de desempeño sísmico **Operacional (1-A)**, al igual que para un sismo frecuente, la estructura sufre daños leves que son totalmente reparables, la edificación no representa ningún peligro para sus ocupantes y sigue funcionando con normalidad.

- **Sismo raro.** La estructura del bloque principal de la I.E N°17507 San Juan de Dios alcanza un desplazamiento de 4.67 cm con una fuerza cortante de 239569 kgf, obteniendo un nivel de desempeño sísmico **Ocupación Inmediata (1-B)**, la

estructura sufre daños leves en los elementos estructurales y moderados en los elementos no estructurales, la edificación puede ser ocupada de manera segura y funcional. Se garantiza la seguridad y comodidad de los ocupantes.

- **Sismo muy raro.** La estructura del bloque principal de la I.E N°17507 San Juan de Dios alcanza un desplazamiento de 6.62 cm con una fuerza cortante de 299639 kgf, obteniendo un nivel de desempeño sísmico **Seguridad de Vida (3-C)**, los elementos estructurales sufren daños, pero siguen funcionando, se producen fallas en los tabiques, es necesario una reparación para que la edificación vuelva a ser ocupada garantizando la seguridad y comodidad de los ocupantes.

4.2. Contrastación de hipótesis

La hipótesis planteada: “El desempeño sísmico del bloque principal de la I.E. N.º17507 San Juan de Dios, Fila Alta – Jaén, frente a la demanda generada por un sismo de tipo muy raro es Seguridad de Vida (3-C).”, solo se cumple cuando se evalúa la estructura en la dirección YY.

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- El desempeño sísmico del bloque principal de la I.E. N.º17507 San Juan de Dios, Fila Alta – Jaén, no alcanza el nivel de Seguridad de Vida (3-C).
- Al evaluar el bloque principal de la I.E N°17507 San Juan de Dios bajo la demanda de un sismo frecuente, el análisis reveló que la estructura alcanza un nivel de desempeño sísmico Operacional (1-A) para ambas direcciones.
- Al evaluar el bloque principal de la I.E N°17507 San Juan de Dios bajo la demanda de un sismo ocasional, el análisis reveló que la estructura alcanza un nivel de desempeño sísmico Operacional (1-A) para ambas direcciones.
- Al evaluar el bloque principal de la I.E N°17507 San Juan de Dios bajo la demanda de un sismo raro, el análisis reveló que para la dirección XX la estructura alcanza un nivel de desempeño sísmico de Seguridad de vida (3-C) y para la dirección YY alcanza un nivel de desempeño sísmico de Ocupación Inmediata (1-B).
- Al evaluar el bloque principal de la I.E N°17507 San Juan de Dios bajo la demanda de un sismo muy raro, el análisis reveló que para la dirección XX la estructura tiene desplazamientos que la lleva a incursionar en su rango inelástico, lo que conllevaría a un eventual colapso y para la dirección YY alcanza un nivel de desempeño sísmico de Seguridad de vida (3-C).

5.2. Recomendaciones

- Se recomienda implementar medidas de reforzamiento para la dirección XX de la estructura del bloque principal de la I.E N°17507 San Juan de Dios, enfocándose en aumentar la rigidez que permitan mejorar el nivel de desempeño sísmico y garantizar al menos que la estructura llegue a un nivel de desempeño sísmico de Seguridad de Vida (3-C), de esta

manera, los daños ocurridos en los elementos estructurales y no estructurales sean reparables, y no represente un peligro para la vida de sus ocupantes.

- Se recomienda que en futuros estudios se incluya la interacción suelo-estructura (ISE), especialmente si se trata de estructuras fundadas sobre suelos de baja rigidez o con características geotécnicas complejas, se esta manera se mejoraría la fiabilidad de los resultados en términos de desplazamientos, fuerzas internas y niveles de desempeño sísmico.

REFERENCIAS

- Aguilar Gómez, H. R. (2010). Evaluación del desempeño sísmico estructural de edificaciones de salud en México mediante el uso de sistemas simples de un grado de libertad. Recuperado de <http://hdl.handle.net/11285/570682>.
- American Society of Civil Engineers. (2017). ASCE/SEI 41-17: Seismic evaluation and retrofit of existing buildings. American Society of Civil Engineers.
- Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres. (2020). Lineamientos para la evaluación de riesgo en infraestructura educativa. <https://www.cenepred.gob.pe>.
- Guevara, N. E., Osorio, S. A., & Arturo, E. (2006). Tesis: Evaluación de la capacidad estructural del edificio de la biblioteca de las ingenierías y arquitectura, utilizando análisis estático no lineal (Pushover). San Salvador.
- Instituto Geofísico del Perú. (2021). Actividad sísmica en el territorio peruano. <https://www.igp.gob.pe>.
- Barbat Alex., O. Sergio. & Pujades, Luis. (2020). Conceptos de vulnerabilidad y ductilidad en el proyecto sismorresistente de edificios de Hormigón y Acero.
- Costa Merino, M. G. (2019). Estudio del comportamiento de edificio Antígona sometido a sismos de mediana intensidad. Chile. Recuperado de <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/170885>
- Choque Sucasaca, J., & Luque Solis, E. (2019). Análisis Estático no lineal y evaluación del desempeño sísmico de un edificio de 8 niveles diseñado con la norma E.030. (Tesis Título). Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa.
- FEMA 440. (2005). Improvement of nonlinear static seismic analysis procedures. Washington, D.C.

Fernández Hoyos, W. (2018). Análisis Pushover Para Evaluar El Desempeño Sísmico De Una Institución Educativa En El Centro Poblado Yungasuyo, Provincia Utcubamba - Amazonas. Recuperado de <https://repositorio.ucv.edu.pe>

Narro Riva Agüero, D. V. (2021). “Evaluación del desempeño sismorresistente aplicando el método de análisis estático no lineal Pushover en una edificación de 4 niveles en la ciudad de Huánuco 2019”

Flores Cueva, O. (2022). Nivel de riesgo sísmico del centro educativo de nivel primario N°82005 Miguel Iglesias del distrito de Cajamarca – Cajamarca. Recuperado de <http://hdl.handle.net/20.500.14074/5045>.

Banco Mundial. (2021). Resilient Infrastructure for a Changing Climate.

Rojas Tocto, B. A. (2024). Comportamiento estructural del bloque E del Instituto de Educación Superior Tecnológico 4 de Junio de 1821 comparando la guía práctica Fema P-2091 y la norma E.030-2018.

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2018). Norma Técnica E.030: Diseño sismorresistente. Reglamento Nacional de Edificaciones. <https://www.gob.pe/vivienda>.

Orihuella Ayala, E. C. & Orihuella Tolentino, M. C. (2021). Desempeño sísmico del pabellón “D” de la I. E. Francisco Bolognesi, mediante el análisis estático no lineal “pushover”, distrito Chilca, Huancayo, 2021.

Computers and Structures, Inc. (2023). ETABS: Integrated Building Design Software. <https://www.csiamerica.com/products/etabs>

Campos Miguel, C. C. & Leandro Gabriel, D. A. (2022). Evaluación del desempeño sísmico utilizando el análisis no lineal estático según la metodología ASCE 41-13 de un módulo de la Institución Educativa Andrés Avelino Cáceres, distrito de San Juan de Miraflores, provincia de Lima, Departamento de Lima.

Park, R., & Paulay, T. (1975). Estructuras de Concreto Reforzado. Limusa.

- Pico Sánchez, J. R. (2019). Evaluación estructural lineal de dos bloques de aulas de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Esmeraldas para la determinación de la capacidad estructural. Ecuador. Recuperado de <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/33208>
- Bolaños Tauma, M. I. (2015). Diseño sismorresistente del edificio 4F de la Universidad Nacional de Cajamarca.
- Ramos Cahuapaza, J. M. (2021). Evaluación del desempeño sísmico de edificaciones multifamiliares mediante métodos convencionales, edificio multifamiliar Benjamín del Solar, Sachaca, Arequipa 2021. Recuperado de <https://hdl.handle.net/20.500.12394/10465>
- Saavedra Yslado, I. (2019). Evaluación del diseño estructural del centro educativo-nivel primaria en el caserío de Chagavara, Santiago de Chuco en el 2018. Recuperado de <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/12130>.
- Salazar, R. (2013). Importancia del concreto como material de construcción.
- Salcedo Barco, Y. H. (2017). Desempeño Sísmico Por El Método Push-Over De Un Edificio Construido En La Ciudad De Barranquilla Bajo La Norma NSR-10. Recuperado de <https://repositorio.cuc.edu.co>.
- Tupayachi Molina, J. A. (2021). Análisis y diseño estructural de un edificio de concreto armado en el distrito de Miraflores. Recuperado de <http://hdl.handle.net/20.500.12404/19788>.
- Aguiar Falconí, Roberto. (2004). Espectros sísmicos de riesgo uniforme para verificar desempeño estructural en países sudamericanos. Boletín Técnico, 42(1), 29-49. Recuperado de https://ve.scielo.org/scielo.php?pid=S0376-723X2004000100002&script=sci_arttext
- Chopra, A. K. (2017). Dynamics of Structures: Theory and Applications to Earthquake Engineering (5th ed.), Pearson Education.

Duarte Bonilla C. E., Martinez Chavarria M. E. & Santamaria Diaz J. J (2017). Análisis estático no lineal (Pushover) del cuerpo central del edificio de la facultad de medicina de la Universidad de El Salvador. Recuperado de
<https://repositorio.ues.edu.sv/server/api/core/bitstreams/aad2e981-7633-4db5-b015-52fba53438fa/content>.

ANEXOS

ENSAYO DE ESCLEROMETRÍA - NORMA TÉCNICA PERUANA NTP 339.181																
INFORMACIÓN DE EQUIPO											ÁNGULO DE IMPACTO α					
											R	$\alpha = 90^\circ$	$\alpha = 45^\circ$	0°	$\alpha = +45^\circ$	$\alpha = +90^\circ$
MARCA DEL EQUIPO:	INSTRONICS															
NÚMERO DE CALIBRACION:	440240016.00															
FECHA DE CALIBRACIÓN:	24/7/2024															
ÁNGULO DE IMPACTO:	0°															
ENSAYO																
ELEMENTO E.	PUNTO	NÚMERO DE DISPARO (VALOR DE REBOTE R)										M E D I A				
COLUMNA C-1	1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10					
EJE B2		37	34	29	35	32	30	34	32	33	32	33				
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN																
(Diseño) Kg/cm ²		(Esclerometro) Kg/cm ²		Porcentaje F'c												
210.00		250.00		119%												
n (Numero de Muestras)				10.00												
Xp (Promedio)				33												
Resistencia de Diseño (F'c)				210.00												
Valor Maximo				37.00												
Valor Minimo				29.00												
Desviacion Estandar				2.35												
Varianza				4.96												
Coefficiente de Variacion				0.07												
RESULTADO DE ENSAYO				212.5 Kg/cm ²												
													RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CILINDRO F(kg/cm ²)			
17M 744347 9364694 COLEGIO 17507 SAN JUAN DE DIOS 14/9/24																

ENSAYO DE ESCLEROMETRÍA - NORMA TÉCNICA PERUANA NTP 339.181																		
INFORMACIÓN DE EQUIPO																		
MARCA DEL EQUIPO: INSTRONICS																		
NÚMERO DE CALIBRACION: 440240016.00																		
FECHA DE CALIBRACIÓN: 24/7/2024																		
ÁNGULO DE IMPACTO: 0°																		
ENSAYO																		
ELEMENTO E.	PUNTO	NÚMERO DE DISPARO (VALOR DE REBOLE R)									M E D I A							
COLUMNA C-1	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10							
EJE B4		32	29	37	35	32	30	34	31	30	33							
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN																		
(Diseño) Kg/cm2		(Esclerometro) Kg/cm2			Porcentaje F'c													
210.00		238.00			113%													
n (Numero de Muestras)			10.00															
Xp (Promedio)			32															
Resistencia de Diseño (F'c)			210.00															
Valor Maximo			37.00															
Valor Minimo			29.00															
Desviacion Estandar			2.50															
Varianza			5.61															
Coeficiente de Variacion			0.08															
RESULTADO DE ENSAYO			202.3 Kg/cm2															



VALOR DE REBOLE R

ÁNGULO DE IMPACTO α

R	$\alpha = 90^\circ$	$\alpha = 45^\circ$	0°	$\alpha = +45^\circ$	$\alpha = +90^\circ$
20	125	115			
21	135	125			
22	145	135	110		
23	160	145	120		
24	170	160	130		
25	180	170	140	100	
26	198	185	158	115	
27	210	200	165	130	105
28	220	210	180	140	120
29	238	220	190	150	138
30	250	238	210	170	145
31	260	250	220	180	160
32	280	265	238	190	170
33	290	280	250	210	190
34	310	290	260	220	200
35	320	310	280	238	218
36	340	320	290	250	230
37	350	340	310	265	245
38	370	350	320	280	260
39	380	370	340	300	280
40	400	380	350	310	295
41	410	400	370	330	310
42	425	415	380	345	325
43	440	430	400	360	340
44	460	450	420	380	360
45	470	460	430	395	375
46	490	480	450	410	390
47	500	495	465	430	410
48	520	510	480	445	430
49	540	525	500	460	445
50	550	540	515	480	460
51	570	560	530	500	480
52	580	570	550	515	500
53	600	590	565	530	520
54	> 600	> 600	580	550	530
55	> 600	> 600	600	570	555a

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CILINDRO F(kg/cm2)

ENSAYO DE ESCLEROMETRÍA - NORMA TÉCNICA PERUANA NTP 339.181																	
INFORMACIÓN DE EQUIPO										ÁNGULO DE IMPACTO α							
MARCA DEL EQUIPO: INSTRONICS																	
NÚMERO DE CALIBRACION: 440240016.00																	
FECHA DE CALIBRACIÓN: 24/7/2024																	
ÁNGULO DE IMPACTO: 0°																	
ENSAYO																	
ELEMENTO E.	PUNTO	NÚMERO DE DISPARO (VALOR DE REBOTE R)															
COLUMNA C-1	3	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10						
EJE B6		37	31	29	38	35	36	30	31	33	37						
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN																	
(Diseño) Kg/cm ²		(Esclerometro) Kg/cm ²				Porcentaje Fc											
210.00		260.00				124%											
n (Numero de Muestras)			10.00														
Xp (Promedio)			34														
Resistencia de Diseño (Fc)			210.00														
Valor Maximo			38.00														
Valor Minimo			29.00														
Desviacion Estandar			3.30														
Varianza			9.81														
Coeficiente de Variacion			0.10														
RESULTADO DE ENSAYO			221.0 Kg/cm ²														



RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CILINDRO F(kg/cm²)

ENSAYO DE ESCLEROMETRÍA - NORMA TÉCNICA PERUANA NTP 339.181																								
INFORMACIÓN DE EQUIPO											ÁNGULO DE IMPACTO α													
MARCA DEL EQUIPO:	INSTRONICS																							
NÚMERO DE CALIBRACION:	440240016.00																							
FECHA DE CALIBRACIÓN:	24/7/2024																							
ÁNGULO DE IMPACTO:	0°																							
ENSAYO																								
ELEMENTO E.	PUNTO	NÚMERO DE DISPARO (VALOR DE REBOTE R)																						
COLUMNA C-1	4	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10													
EJE A2		37	31	32	38	35	36	31	31	37	37													
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN																								
(Diseño) Kg/cm ²	(Esclerometro) Kg/cm ²			Porcentaje Fc																				
210.00	280.00			133%																				
n (Numero de Muestras)				10.00																				
Xp (Promedio)				35																				
Resistencia de Diseño (Fc)				210.00																				
Valor Maximo				38.00																				
Valor Minimo				31.00																				
Desviacion Estandar				2.92																				
Varianza				7.65																				
Coeficiente de Variacion				0.08																				
RESULTADO DE ENSAYO				238.0 Kg/cm ²																				
  17M 744347 9364694 COLEGIO 17507 SAN JUAN DE DIOS 14/9/24																								

ENSAYO DE ESCLEROMETRÍA - NORMA TÉCNICA PERUANA NTP 339.181																							
INFORMACIÓN DE EQUIPO											ÁNGULO DE IMPACTO α												
MARCA DEL EQUIPO:	INSTRONICS																						
NÚMERO DE CALIBRACION:	440240016.00																						
FECHA DE CALIBRACIÓN:	24/7/2024																						
ÁNGULO DE IMPACTO:	0°																						
ENSAYO																							
ELEMENTO E.	PUNTO	NÚMERO DE DISPARO (VALOR DE REBOLE R)																					
COLUMNA C-1	5	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10												
EJE A4		34	31	37	30	30	31	36	31	32	36												
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN																							
(Diseño) Kg/cm 2	(Esclerometro) Kg/cm2			Porcentaje F'c																			
210.00	250.00			119%																			
n (Numero de Muestras)	10.00																						
Xp (Promedio)	33																						
Resistencia de Diseño (F'c)	210.00																						
Valor Maximo	37.00																						
Valor Minimo	30.00																						
Desviacion Estandar	2.70																						
Varianza	6.56																						
Coeficiente de Variacion	0.08																						
RESULTADO DE ENSAYO	212.5 Kg/cm2																						
  17°0'49.5" S 74°49.5" W COLEGIO 17507 SAN JUAN DE DIOS 14/9/24																							
 Ángulo α θ = 45°																							
VALOR DE REBOLE R	R	$\alpha -90^\circ$	$\alpha -45^\circ$	0°	$\alpha +45^\circ$	$\alpha +90^\circ$																	
20	125	115																					
21	135	125																					
22	145	135	110																				
23	160	145	120																				
24	170	160	130																				
25	180	170	140	100																			
26	198	185	158	115																			
27	210	200	165	130	105																		
28	220	210	180	140	120																		
29	238	220	190	150	138																		
30	250	238	210	170	145																		
31	260	250	220	180	160																		
32	280	265	238	190	170																		
33	290	280	250	210	190																		
34	310	290	260	220	200																		
35	320	310	280	238	218																		
36	340	320	290	250	230																		
37	350	340	310	265	245																		
38	370	350	320	280	260																		
39	380	370	340	300	280																		
40	400	380	350	310	295																		
41	410	400	370	330	310																		
42	425	415	380	345	325																		
43	440	430	400	360	340																		
44	460	450	420	380	360																		
45	470	460	430	395	375																		
46	490	480	450	410	390																		
47	500	495	465	430	410																		
48	520	510	480	445	430																		
49	540	525	500	460	445																		
50	550	540	515	480	460																		
51	570	560	530	500	480																		
52	580	570	550	515	500																		
53	600	590	565	530	520																		
54	> 600	> 600	580	550	530																		
55	> 600	> 600	600	570	555a																		

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CILINDRO F(kg/cm2)

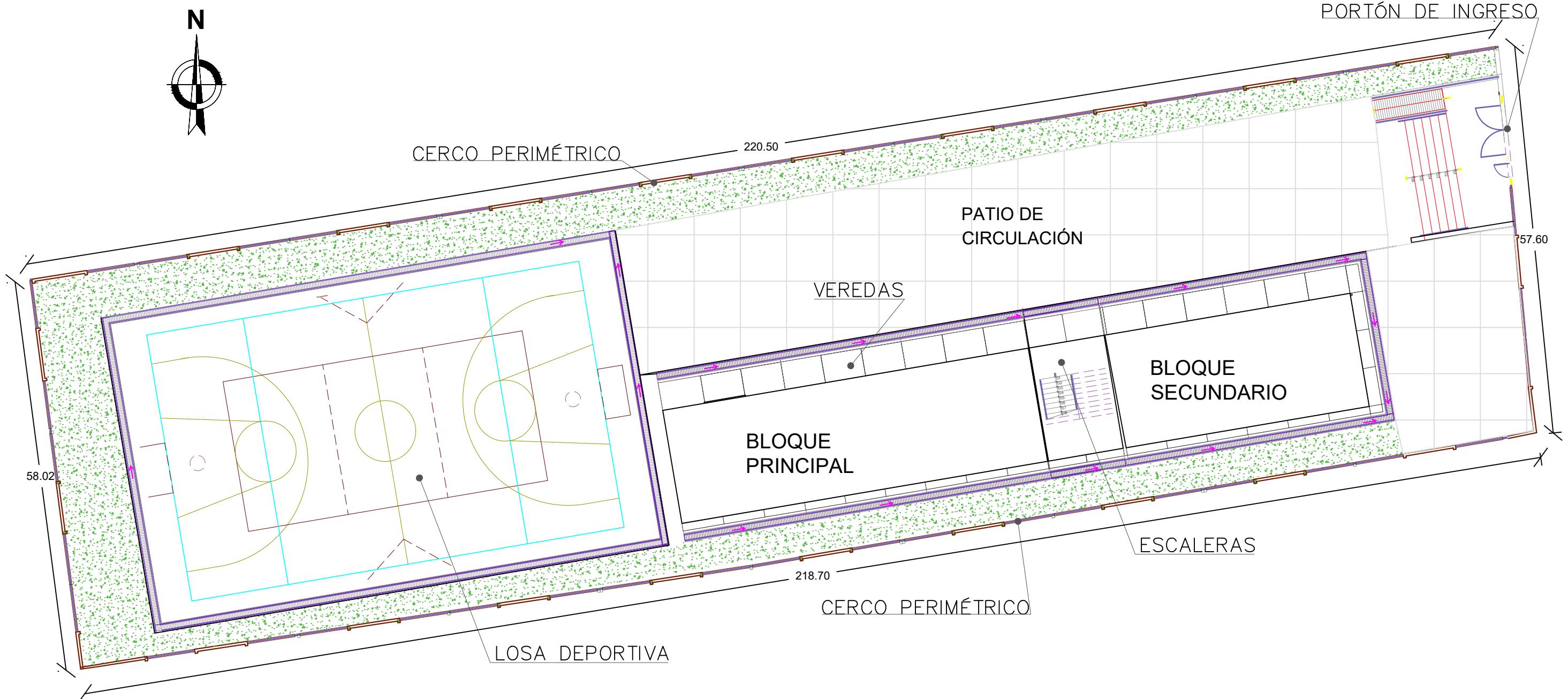
ENSAYO DE ESCLEROMETRÍA - NORMA TÉCNICA PERUANA NTP 339.181																				
INFORMACIÓN DE EQUIPO											VALOR DE REBOTE R	ÁNGULO DE IMPACTO α								
												R	$\alpha = 90^\circ$	$\alpha = 45^\circ$	0°	$\alpha = +45^\circ$	$\alpha = +90^\circ$			
MARCA DEL EQUIPO: INSTRONICS												20	125	115						
NÚMERO DE CALIBRACION: 440240016.00												21	135	125						
FECHA DE CALIBRACIÓN: 24/7/2024												22	145	135	110					
ÁNGULO DE IMPACTO: 0°												23	160	145	120					
ENSAYO												24	170	160	130					
ELEMENTO E.	PUNTO	NÚMERO DE DISPARO (VALOR DE REBOTE R)											25	180	170	140	100			
VIGA - 102	6	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	26	198	185	158	115				
EJE 2-2		36	30	36	31	31	30	36	36	32	30	33	27	210	200	165	130	105		
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN												28	220	210	180	140	120			
(Diseño) Kg/cm ²		(Esclerometro) Kg/cm ²			Porcentaje F'c								29	238	220	190	150	138		
210.00		250.00			119%								30	250	238	210	170	145		
n (Numero de Muestras)					10.00								31	260	250	220	180	160		
Xp (Promedio)					33								32	280	265	238	190	170		
Resistencia de Diseño (F _c)					210.00								33	290	280	250	210	190		
Valor Maximo					36.00								34	310	290	260	220	200		
Valor Minimo					30.00								35	320	310	280	238	218		
Desviacion Estandar					2.82								36	340	320	290	250	230		
Varianza					7.16								37	350	340	310	265	245		
Coeficiente de Variacion					0.09								38	370	350	320	280	260		
RESULTADO DE ENSAYO					212.5 Kg/cm ²								39	380	370	340	300	280		
												40	400	380	350	310	295			
												41	410	400	370	330	310			
												42	425	415	380	345	325			
												43	440	430	400	360	340			
												44	460	450	420	380	360			
												45	470	460	430	395	375			
												46	490	480	450	410	390			
												47	500	495	465	430	410			
												48	520	510	480	445	430			
												49	540	525	500	460	445			
												50	550	540	515	480	460			
												51	570	560	530	500	480			
												52	580	570	550	515	500			
												53	600	590	565	530	520			
												54	> 600	> 600	580	550	530			
												55	> 600	> 600	600	570	555a			



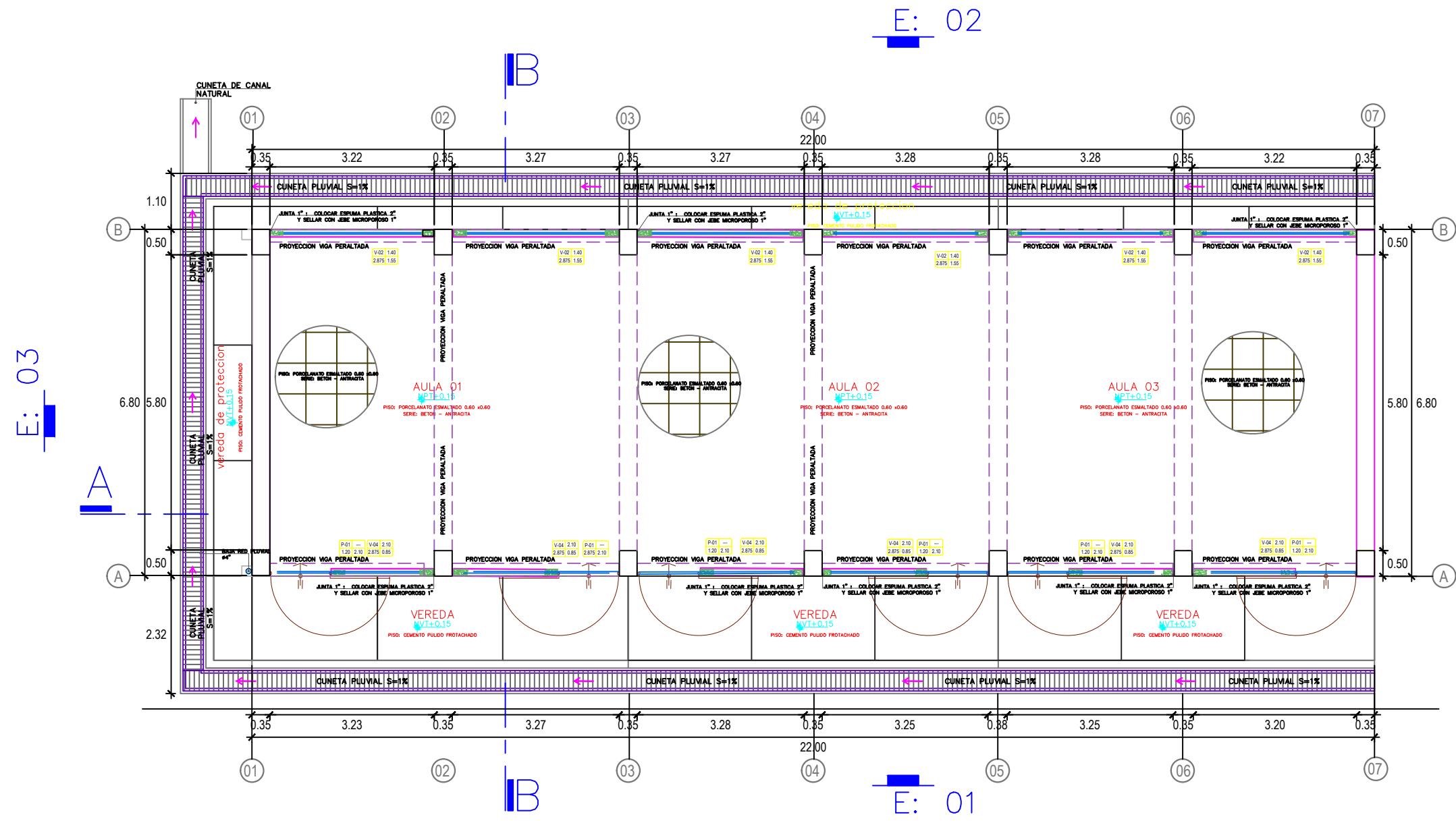
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CHILINDRO F(kg/cm²)

ENSAYO DE ESCLEROMETRÍA - NORMA TÉCNICA PERUANA NTP 339.181																							
INFORMACIÓN DE EQUIPO											ÁNGULO DE IMPACTO α												
MARCA DEL EQUIPO:	INSTRONICS																						
NÚMERO DE CALIBRACION:	440240016.00																						
FECHA DE CALIBRACIÓN:	24/7/2024																						
ÁNGULO DE IMPACTO:	0°																						
ENSAYO																							
ELEMENTO E.	PUNTO	NÚMERO DE DISPARO (VALOR DE REBOLE R)																					
VIGA - 102	7	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10												
EJE 4-4		35	33	35	37	31	35	32	31	35	32												
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN																							
(Diseño) Kg/cm 2	(Esclerometro) Kg/cm2			Porcentaje F'c																			
210.00	260.00			124%																			
n (Numero de Muestras)	10.00																						
Xp (Promedio)	34																						
Resistencia de Diseño (F'c)	210.00																						
Valor Maximo	37.00																						
Valor Minimo	31.00																						
Desviacion Estandar	2.07																						
Varianza	3.84																						
Coeficiente de Variacion	0.06																						
RESULTADO DE ENSAYO	221.0 Kg/cm2																						
 <p>17M 744479 9364965 COLEGIO 17507 SAN JUAN DE DIOS 14/9/24</p>																							
 <p>Ángulo α peseta</p>																							
VALOR DE REBOLE R	R	-90°	-45°	0°	+45°	+90°																	
20	125	115																					
21	135	125																					
22	145	135	110																				
23	160	145	120																				
24	170	160	130																				
25	180	170	140	100																			
26	198	185	158	115																			
27	210	200	165	130	105																		
28	220	210	180	140	120																		
29	238	220	190	150	138																		
30	250	238	210	170	145																		
31	260	250	220	180	160																		
32	280	265	238	190	170																		
33	290	280	250	210	190																		
34	310	290	260	220	200																		
35	320	310	280	238	218																		
36	340	320	290	250	230																		
37	350	340	310	265	245																		
38	370	350	320	280	260																		
39	380	370	340	300	280																		
40	400	380	350	310	295																		
41	410	400	370	330	310																		
42	425	415	380	345	325																		
43	440	430	400	360	340																		
44	460	450	420	380	360																		
45	470	460	430	395	375																		
46	490	480	450	410	390																		
47	500	495	465	430	410																		
48	520	510	480	445	430																		
49	540	525	500	460	445																		
50	550	540	515	480	460																		
51	570	560	530	500	480																		
52	580	570	550	515	500																		
53	600	590	565	530	520																		
54	> 600	> 600	580	550	530																		
55	> 600	> 600	600	570	555a																		

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CHILINDRO F(kg/cm2)



	UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERIA ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL	
TESIS :	"DESEMPEÑO SÍSMICO DEL BLOQUE PRINCIPAL DE LA I.E N°17507 SAN JUAN DE DIOS, FILA ALTA - JAÉN"	DISTRITO : JAÉN
PLANO :	PLANTA GENERAL	PROVINCIA : JAÉN
RESPONSABLE :	MIGUEL ANGEL UBILLUS CÓRDOVA	DEPARTAMENTO : CAJAMARCA
ASESOR :	DR. ING. MAURO AUGUSTO CENTURIÓN VARGAS	FECHA : SETIEMBRE - 2025
		ESCALA : 1/600
	LÁMINA	P.G-01

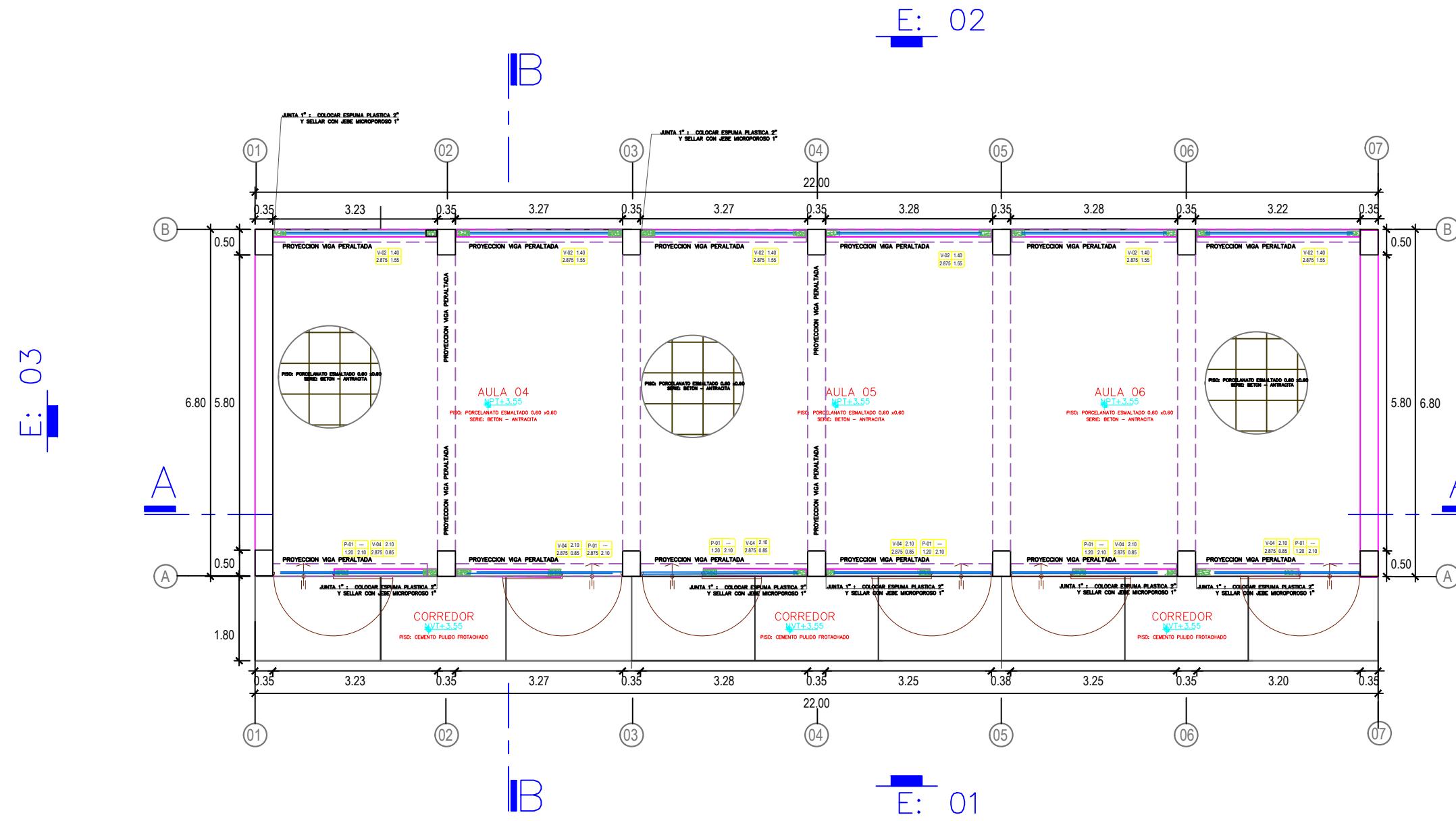


PLANTA PRIMER NIVEL – BLOQUE PRINCIPAL

AULA 01/AULA 02/AULA 03

ESCALA 1:100

	UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
	FACULTAD DE INGENIERIA
	ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL
TESIS :	"DESEMPEÑO SÍSMICO DEL BLOQUE PRINCIPAL DE LA I.E N°17507 SAN JUAN DE DIOS, FILA ALTA - JAÉN"
PLANO :	PLANTA - PRIMER NIVEL
RESPONSABLE :	MIGUEL ANGEL UBILLUS CÓDOVA
ASESOR :	DR. ING. MAURO AUGUSTO CENTURIÓN VARGAS
DISTRITO:	JAÉN
PROVINCIA:	JAÉN
DEPARTAMENTO:	CAJAMARCA
FECHA:	SETIEMBRE - 2025
ESCALA:	INDICADA
LÁMINA	A-01

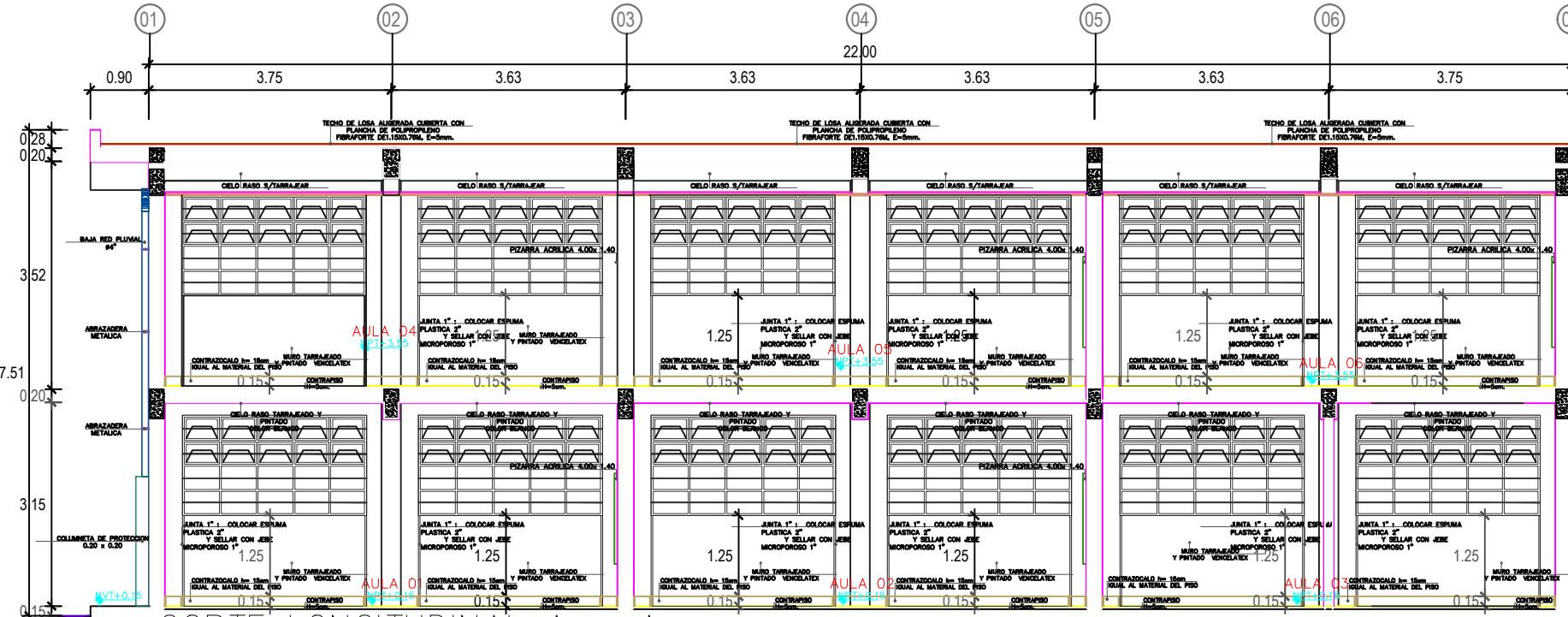


PLANTA SEGUNDO NIVEL – BLOQUE PRINCIPAL
AULA 04/AULA 05/AULA 06
ESCALA 1:100



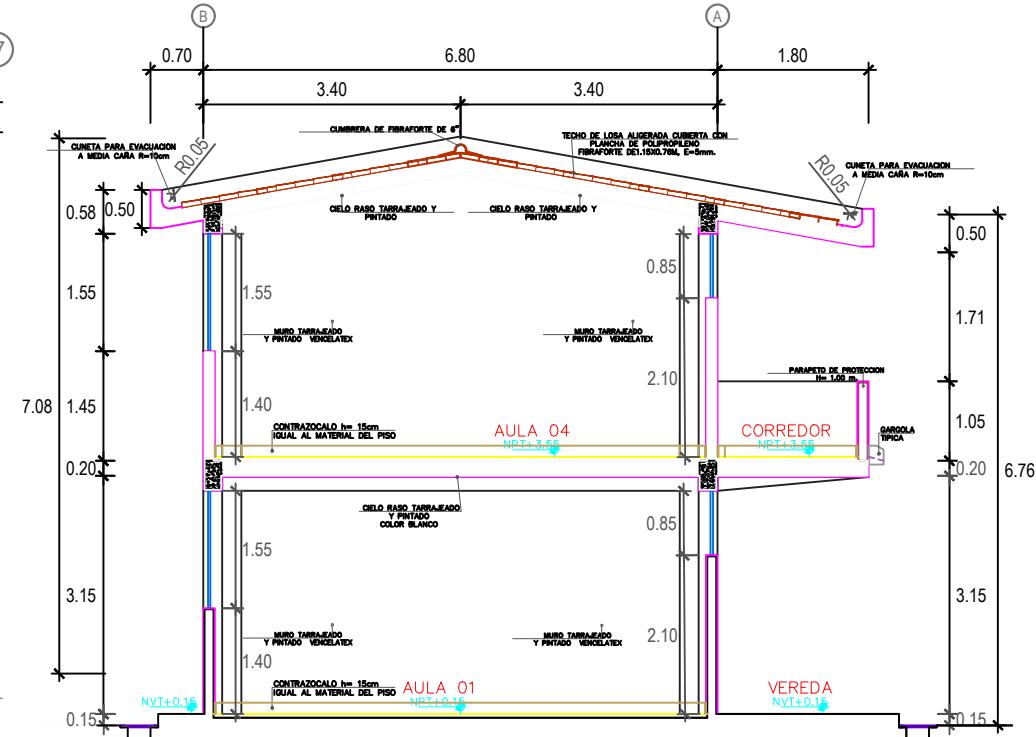
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

TESIS :	"DESEMPEÑO SÍSMICO DEL BLOQUE PRINCIPAL DE LA I.E N°17507 SAN JUAN DE DIOS, FILA ALTA - JAÉN"	DISTRITO :	JAÉN
PLANO :	PLANTA - SEGUNDO NIVEL	PROVINCIA :	JAÉN
RESPONSABLE :	MIGUEL ANGEL UBILLÚS CÓRDOVA	DEPARTAMENTO :	CAJAMARCA
ASESOR :	DR. ING. MAURO AUGUSTO CENTURIÓN VARGAS	FECHA :	SETIEMBRE - 2025
		ESCALA :	INDICADA
		LÁMINA	A-02



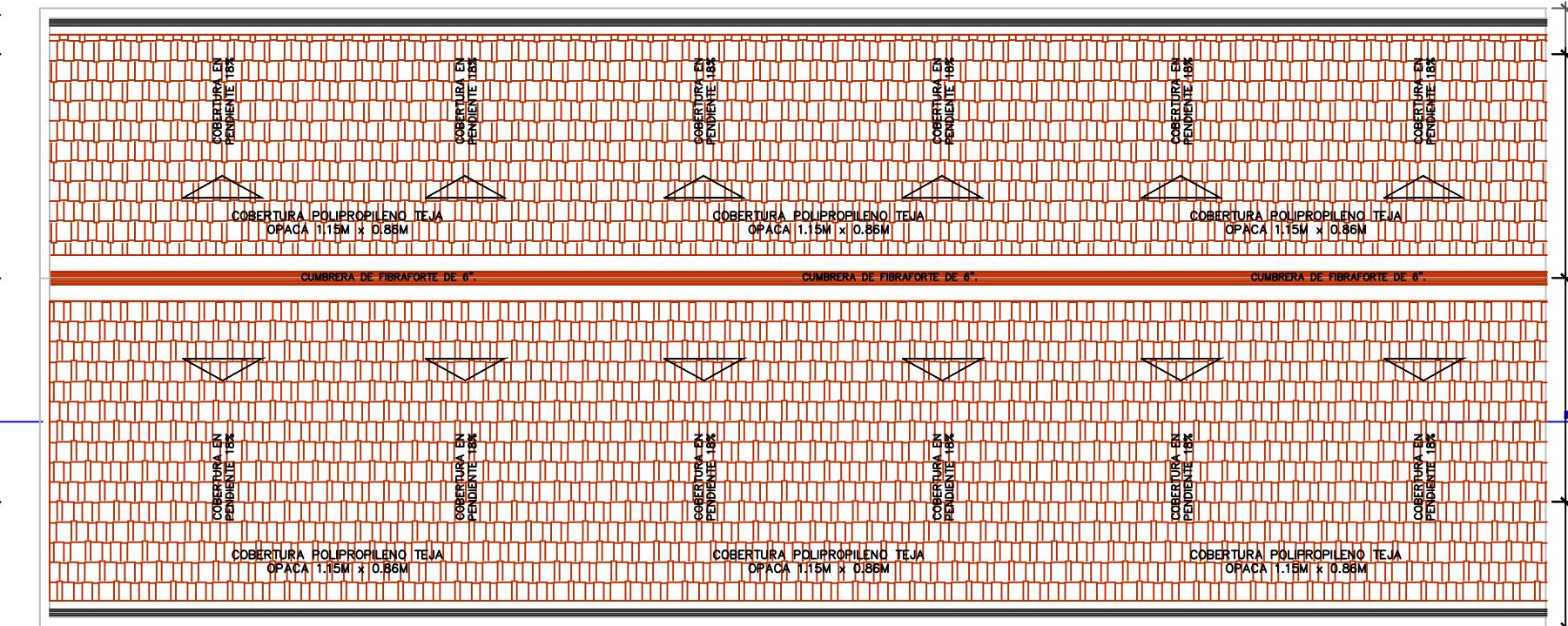
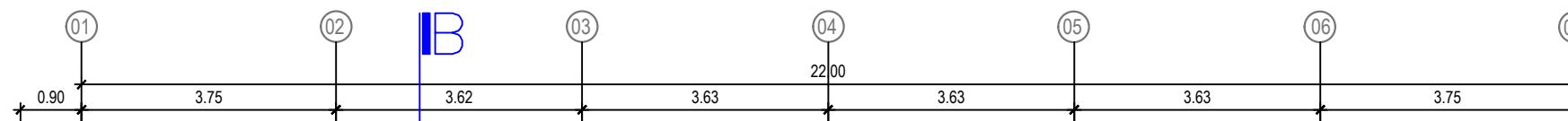
CORTE LONGITUDINAL A - A

ESCALA 1:100



CORTE TRANSVERSAL B - B

ESCALA 1:100



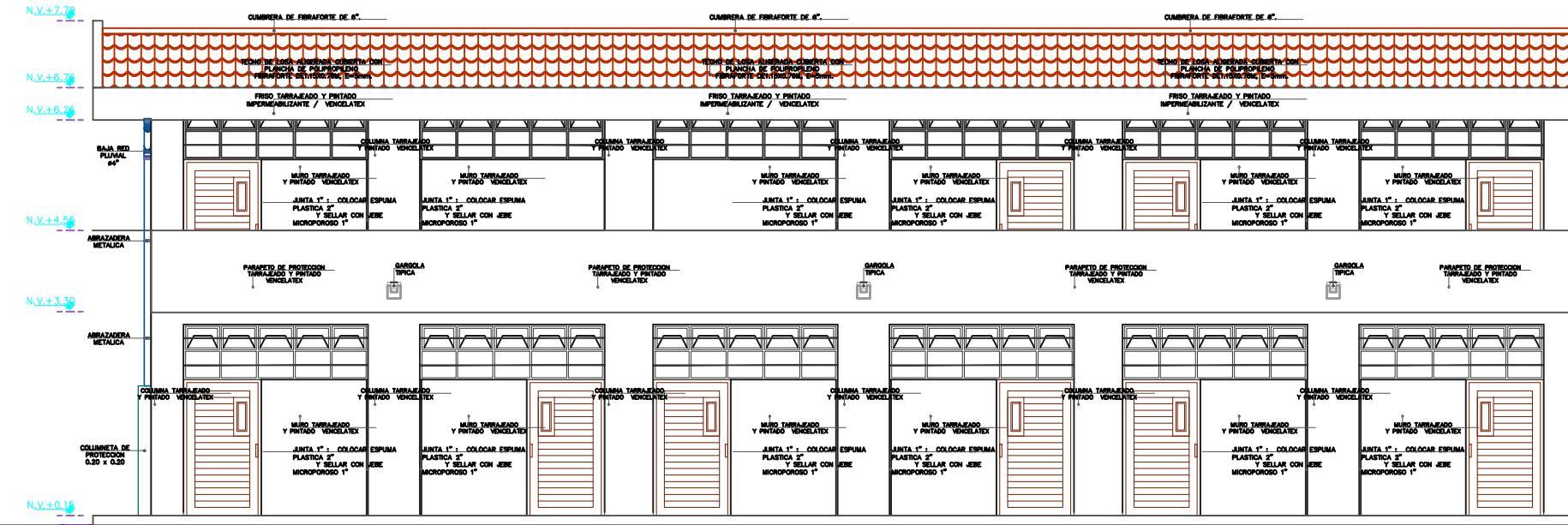
PLANTA TECHO - BLOQUE PRINCIPAL
ESCALA 1:100

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

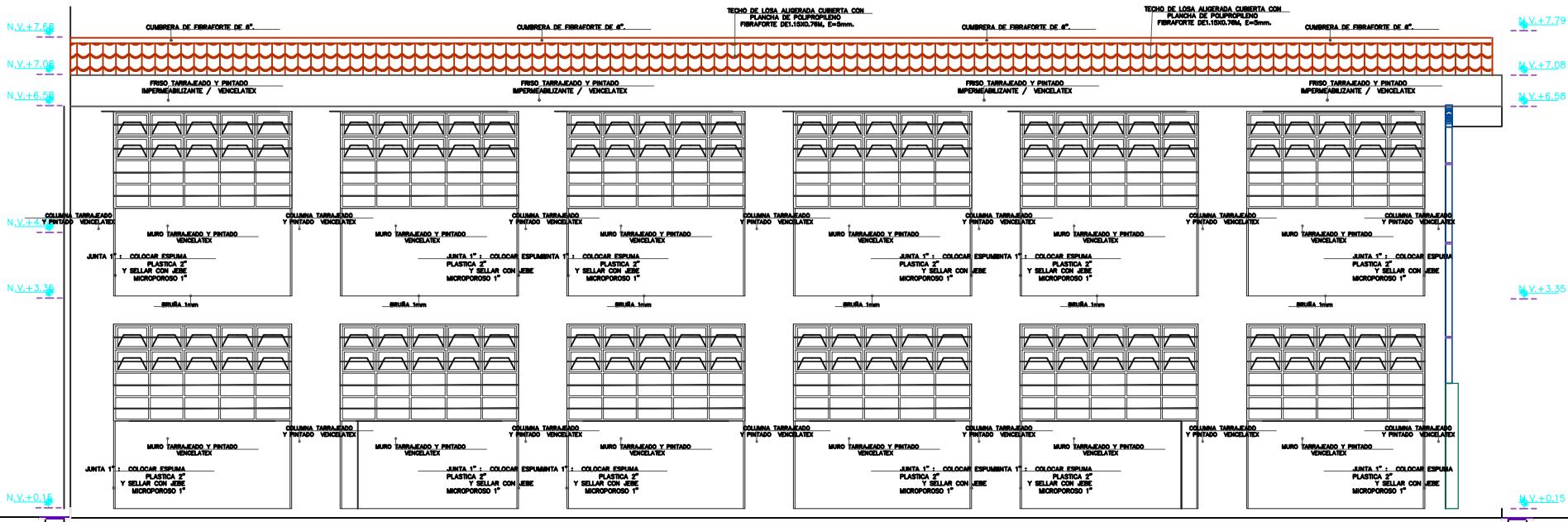
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL



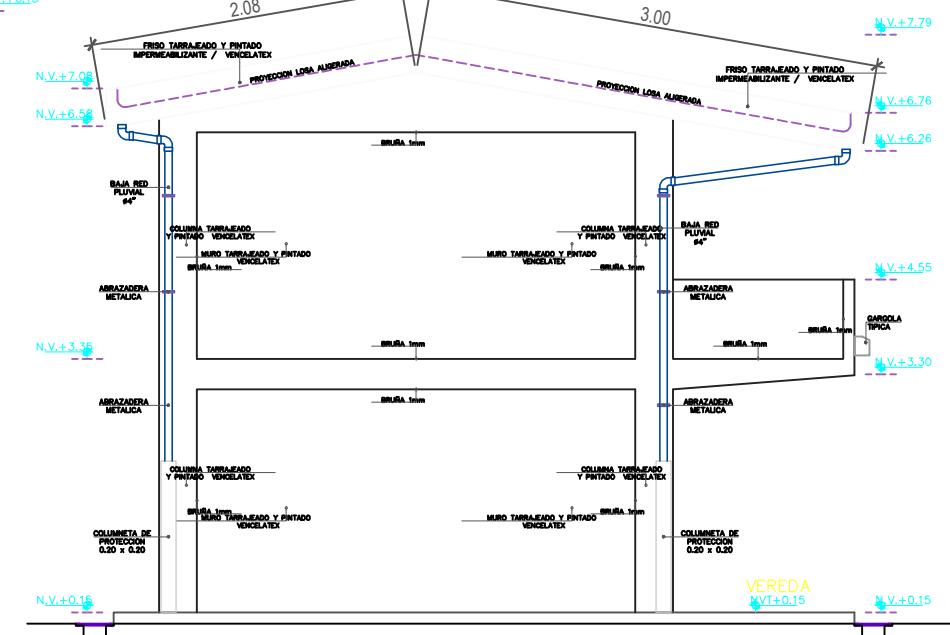
TESIS :	"DESEMPEÑO SÍSMICO DEL BLOQUE PRINCIPAL DE LA I.E N°17507 SAN JUAN DE DIOS, FILA ALTA - JAÉN"	DISTRITO:	JAÉN
PLANO :	CORTES Y ELEVACIONES	PROVINCIA:	JAÉN
RESPONSABLE :	MIGUEL ANGEL UBILLUS CÓDOVA	DEPARTAMENTO:	CAJAMARCA
ASESOR :	DR. ING. MAURO AUGUSTO CENTURIÓN VARGAS	FECHA:	SETIEMBRE - 2025
		ESCALA:	INDICADA
		LÁMINA	A-03



ELEVACION
FRONTAL: E-01
ESCALA 1:100



ELEVACION
POSTERIOR: E-02
ESCALA 1:100



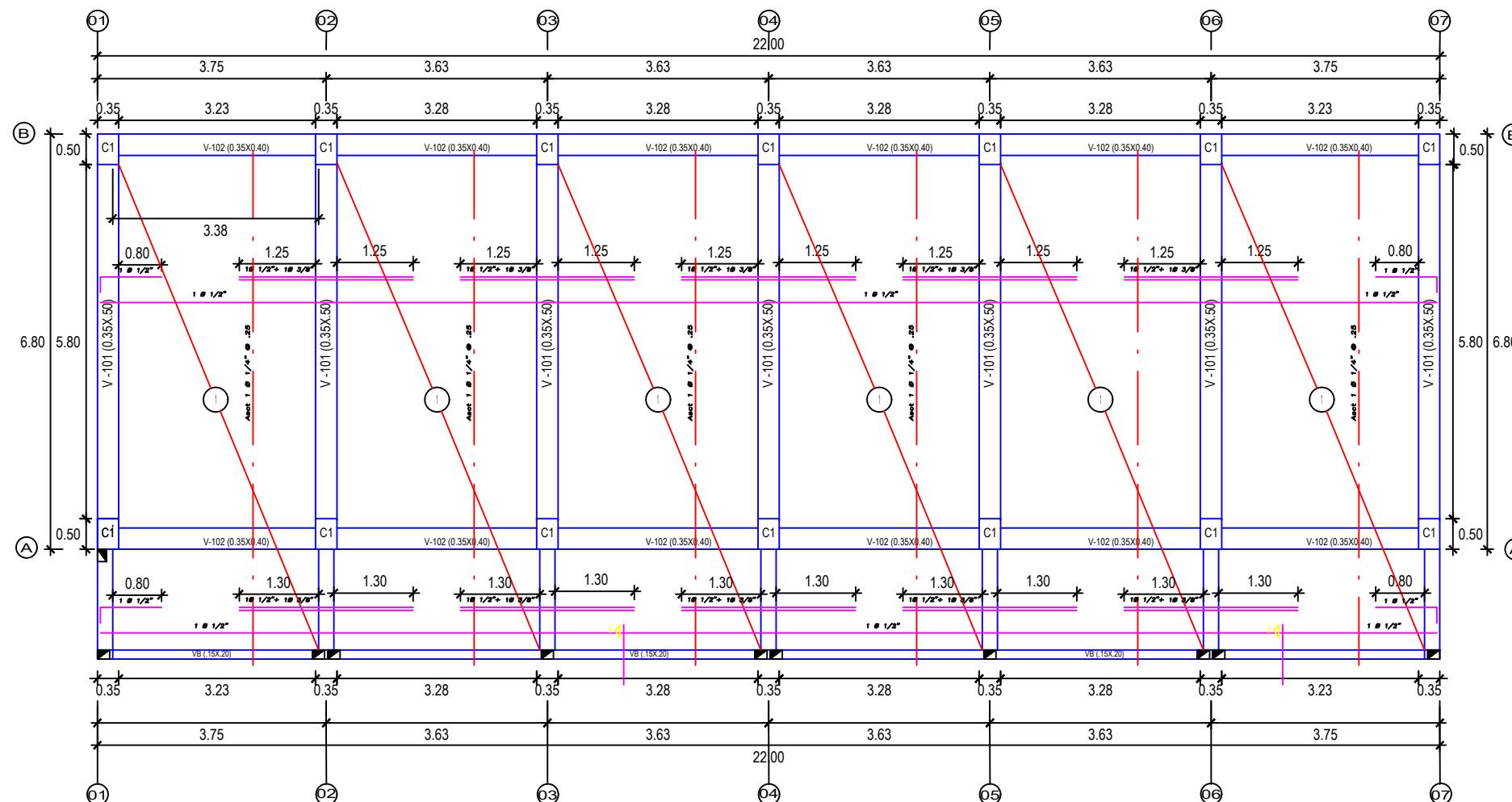
ELEVACION LATERAL: E-03
ESCALA 1:100



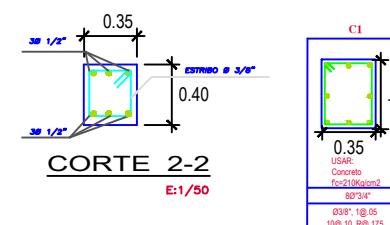
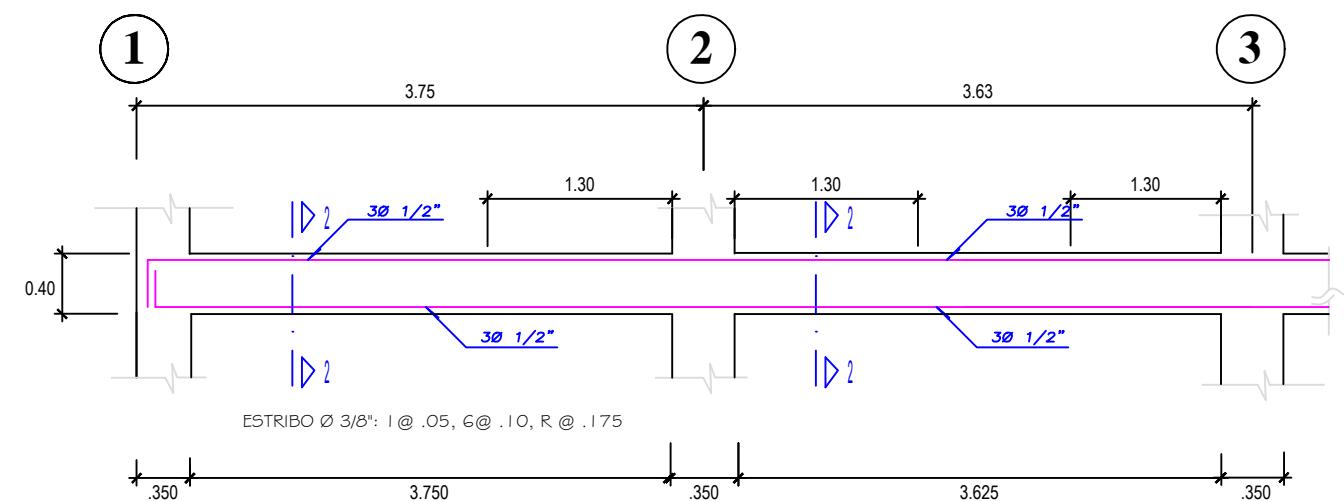
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL



TESIS :	"DESEMPEÑO SÍSMICO DEL BLOQUE PRINCIPAL DE LA I.E N°17507 SAN JUAN DE DIOS, FILA ALTA - JAÉN"	DISTRITO : JAÉN
PLANO :	ELEVACIONES	PROVINCIA : JAÉN
RESPONSABLE :	MIGUEL ANGEL UBILLUS CÓRDOVA	DEPARTAMENTO : CAJAMARCA
ASESOR :	DR. ING. MAURO AUGUSTO CENTURIÓN VARGAS	FECHA : SETIEMBRE - 2025
		ESCALA : INDICADA
	LÁMINA	A-04



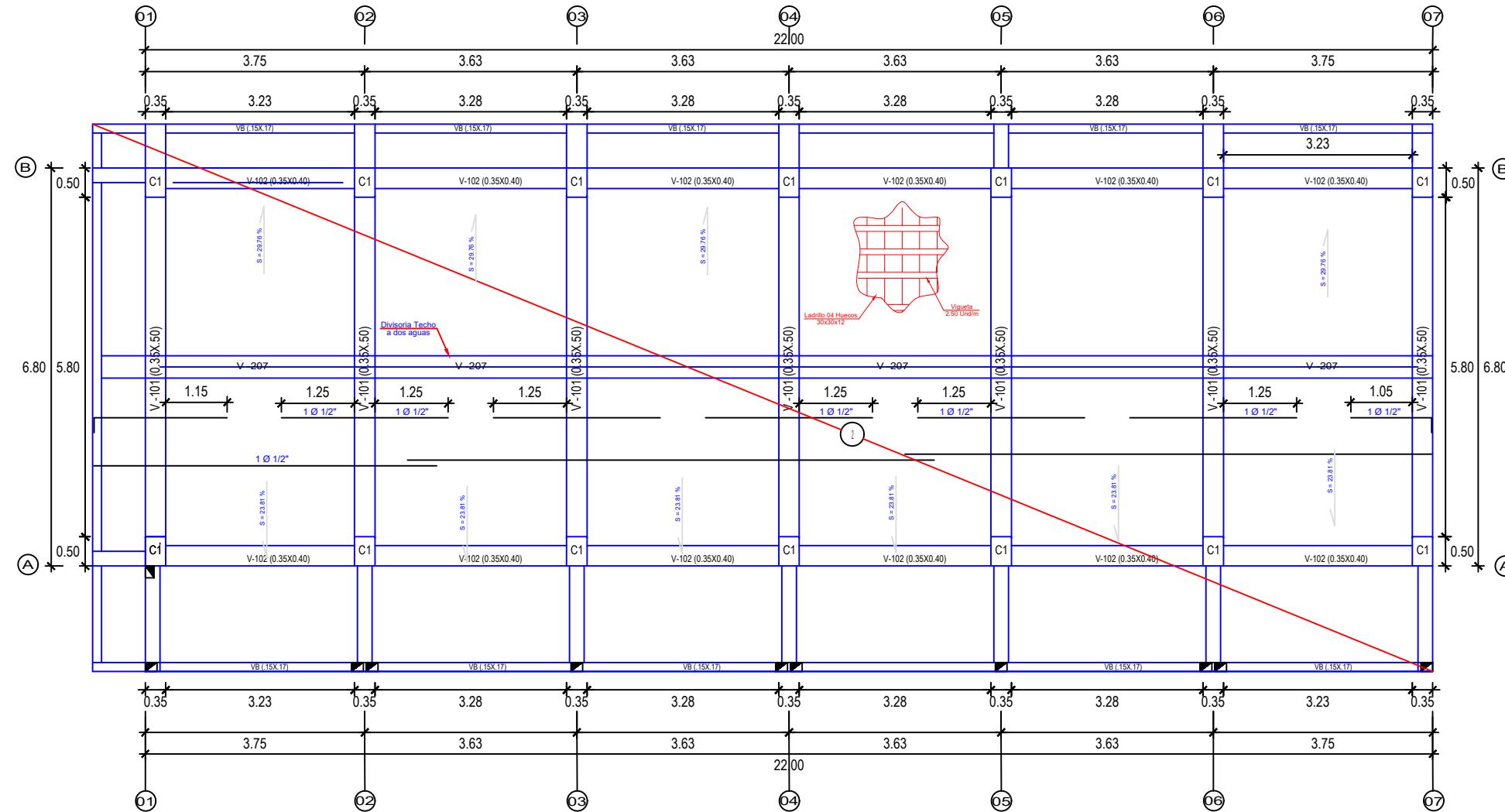
ESPECIFICACIONES TECNICAS	
1.- CONCRETO :	<ul style="list-style-type: none"> Solado de Concreto Pobre 1:12 (C:H). Cimiento Corrido 1:10 (C:H) + 30% PG (\varnothing 8" máx). Sobrecimiento Simple. C/H 1:8 + 25% PG de 3" máx. Sobrecimiento Armado, Columeta, Viguela y Dintel. Zapata, Viga, Columna, Losa y Escalera. Piso de Cemento Pulido y Bruñido. Vereda de Concreto Frotachado y Bruñido. Tipo de Cemento a usar. Maxima relación Agua/Cemento.
2.- ARMADURA :	<ul style="list-style-type: none"> Barra corrugada de acero Grado 60 ASTM A615. <p>$f_y = 4,200 \text{ Kg/cm}^2$</p>
3.- SUELO :	<ul style="list-style-type: none"> Capacidad Portante. Nivel de Desplante. <p>0.88 Kg/cm^2 Variable</p>
4.- ALBAÑILERIA :	<ul style="list-style-type: none"> Ladrillo sólido, máx. 25% perforaciones, tipo IV - ITINTEC. Máximo espesor de junta de dilatacion. Mortero de Asentado (C:Ag). Mortero de Revoque (C:Af). <p>$f_m = 45 \text{ Kg/cm}^2$ 1.5 cm 1:4 1.5</p>
5.- RECOBRIMIENTO :	<ul style="list-style-type: none"> Zapatas. Vigas de Conexión. Columnas. Vigas y dinteles. Losa Aligerada. <p>7.5 cm 4.0 cm 3.0 cm 3.0 cm 2.0 cm</p>
5.- TIEMPO DE DESENCOFRADO :	<ul style="list-style-type: none"> Vigas de Conexión. Columnas. Vigas y dinteles. Losa Aligerada. <p>24 Horas 24 Horas 21 días. 21 días.</p>



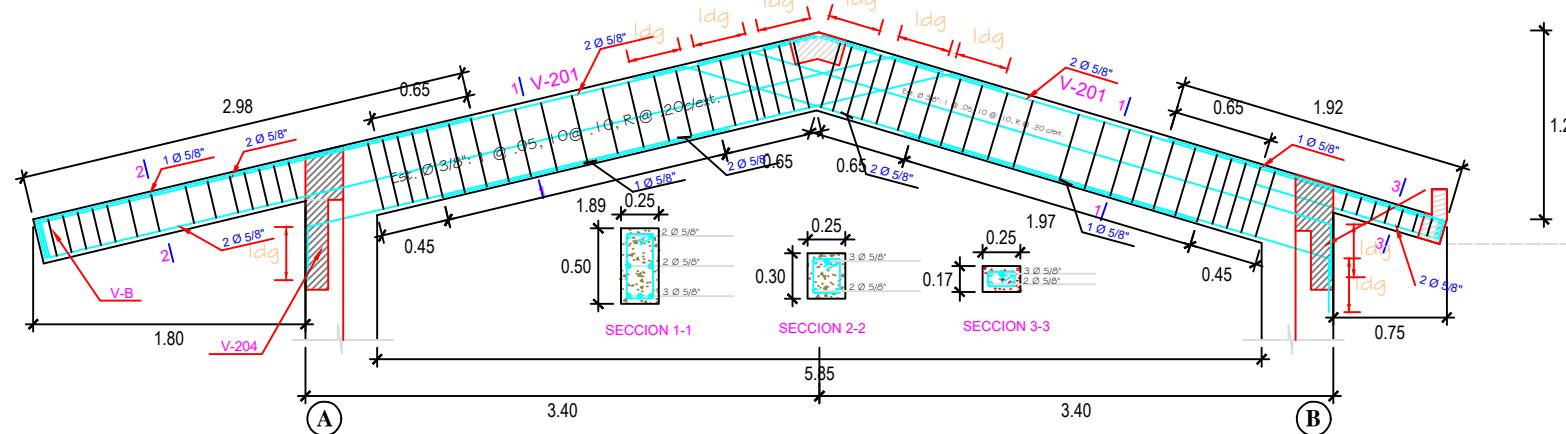
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL



TESIS :	"DESEMPEÑO SÍSMICO DEL BLOQUE PRINCIPAL DE LA I.E N°17507 SAN JUAN DE DIOS, FILA ALTA - JAÉN"	DISTRITO:	JAÉN
PLANO :	TECHO ALIGERADO - PRIMER NIVEL	PROVINCIA:	JAÉN
RESPONSABLE :	MIGUEL ANGEL UBILLUS CÓDOVA	DEPARTAMENTO:	CAJAMARCA
ASESOR :	DR. ING. MAURO AUGUSTO CENTURIÓN VARGAS	FECHA:	SETIEMBRE - 2025
		ESCALA:	INDICADA
		LÁMINA	E-01



TECHO ALIGERADO A DOS AGUAS—SEGUNDO NIVEL
ESCALA: 1/100



PORICO PRINCIPAL TIPICO TECHO A DOS AGUAS
ESCALA: 1/50

ESPECIFICACIONES TECNICAS

1.- CONCRETO :	- Solado de Concreto Pobre 1:12 (C:H). - Cimento Corrido 1:10 (C:H) + 30% PG (\varnothing 8" máx.). - Sobrecimiento Simple. C/H 1.8 + 25% PG de 3" máx. $f_c = 100$ Kg/cm ² $f_c = 210$ Kg/cm ²
2.- ARMADURA :	- Barra corrugada de acero Grado 60 ASTM A615. $f_y = 4,200$ Kg/cm ²
3.- SUELO :	- Capacidad Portante. 0.88 Kg/cm ² - Nivel de Desplante. Variable
4.- ALBAÑILERIA :	- Ladrillo sólido, máx. 25% perforaciones, tipo IV - ITINTEC. $f_m = 45$ Kg/cm ² - Máximo espesor de junta de dilatación. 1.5 cm - Mortero de Asentado (C:Ag). 1:4 - Mortero de Revoque (C:Af). 1:5
5.- RECOBRIAMIENTO :	- Zapatas. 7.5 cm - Vigas de Conexión. 4.0 cm - Columnas. 3.0 cm - Vigas y dinteles. 3.0 cm - Losa Aligerada. 2.0 cm
5.- TIEMPO DE DESENCOFRADO :	- Vigas de Conexión. 24 Horas - Columnas. 24 Horas - Vigas y dinteles. 21 días. - Losa Aligerada. 21 días.

CONSIDERACIONES TECNICAS DE DISEÑO

1.- SOBRECARGA:	- Para Aulas. - Para Laboratorio y Biblioteca. - Para Corredores y Escaleras. - Azotea. - Techo a dos aguas. (*): Valor de Sobre carga por diseño.	250 Kg/m ² (*) 300 Kg/m ² (*) 400 Kg/m ² (*) 100 Kg/m ² (*) 30 Kg/m ² (*)
2.- USO :	- Centro de Educación Primaria	2 Niveles
3.- ESTRUCTURA :	- Diseñada para Educación Primaria; - La Ampliación y/o Modificación, deberá hacerse previa autorización del Proyectista.	2 Niveles
4.- NORMAS APLICADAS :	- Reglamento Nacional de Edificaciones. - Norma Peruana de Cargas. - Norma Peruana de Diseño Sísmo Resistente. - Norma Peruana de Suelos y Cimentaciones. - Norma Peruana de Concreto Armado. - Norma Peruana de Albañilería. - Construir de acuerdo a Especificaciones dadas por el American Concrete Institute (ACI). - Construir de acuerdo a Especificaciones dadas por el Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE).	RNE NTE. 020 NTE. 030 NTE. 050 NTE. 060 NTE. 070
5.- PARAMETROS SISMO RESISTENTES :	- Factor de Zona (Z). - Factor de Uso (U); Categoría "A2". - Factor de Suelo (S); Suelo Tipo S3. - Factor de Amplificación Sísmica (C). - Factor de Reducción por ductilidad (R). - Período de Vibración de la Estructura. - Sistema Estructural en dirección x-x. - Sistema Estructural en dirección y-y. - Junta Sísmica.	Zona 2; Z = 0.25 U = 1.5 S = 1.2 C = 2.5 Rx = 8 Ry = 8 1.0 seg. Porticado Porticado 2.5 cm.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

FACULTAD DE INGENIERIA

ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL



TESIS : "DESEMPEÑO SÍSMICO DEL BLOQUE PRINCIPAL DE LA I.E N°17507 SAN JUAN DE DIOS, FILA ALTA - JAÉN"

DISTRITO: JAÉN

PLANO : TECHO ALIGERADO - SEGUNDO NIVEL

PROVINCIA: JAÉN

RESPONSABLE : MIGUEL ANGEL UBILLUS CÓRDOVA

DEPARTAMENTO: CAJAMARCA

ASESOR : DR. ING. MAURO AUGUSTO CENTURIÓN VARGAS

FECHA: SETIEMBRE - 2025

ESCALA: INDICADA

LÁMINA E-02