

FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍA

PROVEIDO 001342-2026-UNH/FCI

EXPEDIENTE : **2026-0017647**

FECHA

22/07/2026

ASUNTO: REMITO DESIGNACIÓN DE JURADOS PARA LA REVISIÓN Y APROBACIÓN DEL
INFORME FINAL DE TESIS DE LOS BACHILLERES BENDEZÚ FLORES KAORI BETZY Y
ORTIZ ARROYO EDGAR.

Atender en 0 días

REFERENCIA : OFICIO Nº 000375-2026-EPICH DESIGNACIÓN DE JURADOS PARA LA REVISIÓN Y APROBACIÓN DEL INFORME FINAL DE
TESIS DE LOS BACHILLERES BENDEZÚ FLORES KAORI BETZY Y ORTIZ ARROYO EDGAR.

DEPENDENCIA DESTINO	TRAMITE	PRIORIDAD	INDICACIONES
UNIDAD FUNCIONAL DE SECRETARÍA DOCENTE - FCI SÁEZ HUAMÁN WILFREDO	ATENDER	NORMAL	

LOPEZ BARRANTES MARCO ANTONIO
DECANO(A)(e)



UNIVERSIDAD NACIONAL DE
HUANCAVELICA

ESCUELA PROFESIONAL DE
INGENIERÍA CIVIL HUANCAVELICA



Firmado digitalmente por AYALA
BIZARRO Ivan Arturo FAU
20168014962 soft
Cargo: Director(A) De Escuela
Profesional
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 22.07.2026 17:01:42 -05:00

"Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres"
"Año de la Esperanza y el Fortalecimiento de la Democracia"

Huancavelica, 22 de Julio del 2026

OFICIO N° 000375-2026-UNH/EPICH

Señor (a):

MARCO ANTONIO LOPEZ BARRANTES
DECANO(A)(e)

Presente. -

Asunto: **DESIGNACIÓN DE JURADOS PARA LA REVISIÓN Y APROBACIÓN DEL INFORME FINAL DE TESIS DE LOS BACHILLERES BENDEZÚ FLORES KAORI BETZY Y ORTIZ ARROYO EDGAR.**

Referencia: MEMORANDO MULTIPLE 000080-2026-UNH/EPICH (22JUL2026)

De mi consideración:

Con las consideraciones del caso me dirijo a usted, para hacerle llegar un saludo cordial a nombre de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil Huancavelica y el mío propio; la presente tiene por finalidad de solicitarle la emisión de resolución de **DESIGNACIÓN DE JURADOS PARA REVISIÓN Y APROBACIÓN DEL INFORME FINAL DE TESIS**, de acuerdo al siguiente detalle:

PROYECTO	BACHILLER	ASESOR	PROPUESTA JURADOS
"METODOLOGÍA FEMA 440 PARA OBTENER LA EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO SÍSMICO DE UNA EDIFICACIÓN DE CONCRETO ARMADO EN HUANCAYO - 2024"	BENDEZÚ FLORES KAORI BETZY ORTIZ ARROYO EDGAR	ING. OMAR CABALLERO SANCHEZ ASESOR	JURADO EVALUADOR PRESIDENTE M.SC. ROGER RIVERA CASAVILCA JURADO EVALUADOR SECRETARIO M.SC. RUSSELL MEJIA CAYLLAHUA JURADO EVALUADOR VOCAL M.SC. FRANCIS DANTE OLIVERA MAYORCA JURADO EVALUADOR ACCESITARIO 1 MG. JORGE LUIS ORTEGA VARGAS JURADO EVALUADOR ACCESITARIO 2 M.SC. IVAN ARTURO AYALA BIZARRO

Hago propicia la oportunidad para expresarle el testimonio de mi especial consideración y estima personal.

Atentamente,

Documento Firmado Digitalmente

IVAN ARTURO AYALA BIZARRO
DIRECTOR(A) DE ESCUELA PROFESIONAL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL HUANCAVELICA

IAB/cca
cc.:

N° Expediente: 2026-0017647



"Esta es una copia auténtica imprimible de un documento electrónico archivado por la Universidad Nacional de Huancavelica, aplicando lo dispuesto por el Art. 25 de D.S. 070-2013-PCM y la Tercera Disposición Complementaria Final del D.S. 026-2016-PCM".
Su autenticidad e integridad pueden ser contrastadas a través.
Dirección web: <https://sgd.unh.edu.pe:8181/verifica/inicio.do>
Código de Verificación: AQHYOMR

Ficha de evaluación del informe final de tesis/trabajo de investigación/trabajo académico



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAMELICA

(Creada por ley N° 25265)



FICHA DE EVALUACIÓN DE INFORME DE TESIS/TRABAJO DE INVESTIGACIÓN/TRABAJO ACADÉMICO

Título de la tesis	Metodología FEMA 440 para obtener la Evaluación del Desempeño Sísmico de una Edificación de Concreto Armado en Huancayo – 2024
Tesista(s)	BENDEZÚ FLORES, Kaori Betzy ORTIZ ARROYO, Edgar
Asesor(a)	Ing. Omar CABALLERO SANCHEZ
Jurado Evaluador	Presidente:
	Secretario:
	Vocal:

INCOMPLETO (1)	BUENO (2)	MUY BUENO (3)
----------------	-----------	---------------

CRITERIOS DE EVALUACIÓN		ESCALA		
TÍTULO		1	2	3
1	El título presenta claridad, precisión y coherencia (mínimo 15 y máximo 20 palabras)		X	
2	Delimitación adecuada		X	
RESUMEN		1	2	3
3	Contiene el problema y objetivo de investigación o población y/o muestra.		X	
4	Precisa el método, técnica e instrumentos de estudio.			X
5	Precisa los resultados, conclusiones y palabras clave.			X
6	Tiene un máximo de 250 palabras y están redactadas en un solo párrafo.			X
INTRODUCCIÓN		1	2	3
7	Contiene el problema de investigación y los antecedentes de estudio.			X
8	Se señala los objetivos de investigación y la hipótesis.			X
9	Describe brevemente el estudio y presenta la estructura del informe de investigación.		X	
CAPÍTULO I. EL PROBLEMA				
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA		1	2	3
10	Delimita y contextualiza el problema.		X	
11	La redacción del planteamiento del problema es coherente.			X
12	Argumentación con referencias bibliográficas.			X
FORMULACIÓN DEL PROBLEMA		1	2	3
13	La formulación del problema está redactada con claridad y precisión.		X	
14	El problema presenta variable(s) y tiene relación con el título.		X	
15	Los problemas específicos se relacionan con el problema general.			X



Firmado digitalmente por
CABALLERO SANCHEZ Omar FAU
20168014962 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 01.07.2026 11:04:18 -05:00

OBJETIVOS				1	2	3
16	El objetivo general evidencia el propósito del estudio				X	
17	Los objetivos específicos se derivan del objetivo general y son factibles de alcanzar.				X	
18	Los objetivos responden al problema de investigación.					X
JUSTIFICACIÓN				1	2	3
19	Se exponen las razones ¿por qué?, ¿para qué? y la viabilidad del estudio.					X
LIMITACIONES				1	2	3
20	Explica las limitaciones en el control de la(s) variable(s), selección de la muestra, instrumentos de medición y la generalización de los resultados.				X	
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO						
ANTECEDENTES				1	2	3
21	Presenta los antecedentes y los integra en relación con el problema de investigación.				X	
22	En los antecedentes se mencionan el problema, objetivo(s), metodología, población, resultados y conclusiones.				X	
BASES TEÓRICAS				1	2	3
23	La organización de las bases teóricas es coherente y corresponde a las variables de estudio.					X
24	Las bases teóricas fundamentan las variables de estudio.					X
DEFINICIÓN DE TÉRMINOS				1	2	3
25	Define los conceptos más relevantes del estudio.				X	
26	Utiliza 10 conceptos como mínimo con fuentes en orden alfabético.				X	
HIPÓTESIS				1	2	3
27	La hipótesis se enuncia de manera clara y precisa.	Proyectos de investigación que consideren hipótesis, se califica y se otorga el puntaje correspondiente	Proyectos de investigación que no consideren hipótesis, se asigna la máxima puntuación			X
28	La hipótesis responde al problema de investigación.				X	
VARIABLES				1	2	3
29	Identifica(n) con precisión la(s) variable(s) de estudio				X	
OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES				1	2	3
30	La operacionalización presenta definición conceptual y operacional de la(s) variable(s) o también presenta dimensiones (si es pertinente), indicadores, ítems o instrumentos				X	
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA				1	2	3
31	Identifica el ámbito de estudio.				X	
32	Selecciona y fundamenta el tipo y nivel de investigación.				X	
33	Existe correspondencia entre nivel y diseño de investigación.				X	
34	Señala la población y muestra de estudio.	Proyectos de investigación que consideren hipótesis, se califica y se otorga el puntaje correspondiente	Proyectos de investigación que no consideren hipótesis, se asigna la máxima puntuación			X
35	Selecciona y fundamenta el tipo de muestreo a utilizar.				X	
36	Selecciona y fundamenta las técnicas e instrumentos a utilizar en el estudio.				X	
37	Precisa los procedimientos para la recolección de datos.				X	
38	Especifica y fundamenta la(s) técnica(s) y procedimientos estadísticos(s) para el análisis de datos.				X	
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN						



RESULTADOS		1	2	3
39	Describe en forma detallada y secuencial los resultados y se corresponden con los objetivos.		X	
40	Las tablas y las figuras sirven de complemento para la descripción de los resultados.			X
DISCUSIÓN		1	2	3
41	Interpreta y justifica los resultados.			X
42	Explica la relación de los resultados con los antecedentes, bases teóricas y la hipótesis.		X	
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		1	2	3
43	Las conclusiones se sustentan en los resultados y responden a los objetivos.			X
44	Las recomendaciones se corresponden con las conclusiones, se dirige a instituciones, autoridades o personas para implementar los hallazgos del estudio y sugiere nuevas investigaciones.			X
REFERENCIAS		1	2	3
45	Las citas y referencias se corresponden con el estilo de redacción.		X	
46	Todas las citas están referenciadas y validadas.			X
ANEXOS		1	2	3
47	Incluye la matriz de consistencia, validación del instrumento, instrumentos utilizados, consentimiento informado, base de datos, evidencia de aplicación de instrumento y otros de acuerdo a la naturaleza del estudio.		X	



CONTEO TOTAL DE MARCAS				
(realice el conteo de marcas en cada una de las tres categorías de la escala y anote)		A	B	C
			27	20

$$\text{Puntaje Total} = 1(A) + 2(B) + 3(C) = \underline{\hspace{2cm}} \underline{114}$$

Para el resultado final, ubicar el puntaje obtenido en la siguiente tabla:

RESULTADO	INTERVALO
Desaprobado	[1 – 47]
Replantear	(47 – 94]
Aprobado	(94 – 141]

Huancavelica, _01_ de _Julio_ de 2026__

Presidente

Secretario

Vocal



Firmado digitalmente por
CABALLERO SANCHEZ Omar FAU
20168014962 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 01.07.2026 11:05:04 -05:00

Asesor

Nota:

* El presente formato de acta es flexible, debiendo contener mínimamente la información descrita.

** El presente formulario se emplea en dos etapas: I. Verificación previa del asesor y II. Evaluación por los jurados. El asesor completa únicamente los campos relativos a su revisión y firma exclusivamente en su sección. Los jurados completan y firman únicamente en el espacio destinado a sus cargos.

***El jurado reunido, culminada la evaluación de la tesis, el jurado (presidente) debe informar el resultado del presente anexo a la Escuela Profesional.



Firmado digitalmente por
CABALLERO SANCHEZ Omar FAU
20168014962 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 01.07.2026 11:05:15 -05:00



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAMELICA
(creada por ley N° 25265)
FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL - HUANCAMELICA



INFORME N° 014-2026-EPICH-FCI-UNH/EEHS

A : Ing. A. Ivan Ayala Bizarro
Director De La Escuela Profesional De Ingeniería Civil – Hvca

DE : Ing. Omar CABALLERO SANCHEZ
Asesor de tesis

ASUNTO : REVISIÓN DEL INFORME FINAL DE TESIS

FECHA : Huancavelica, 01 de julio de 2026

Por intermedio del presente me dirijo a Ud., a fin de saludarlo cordialmente y a la vez en calidad de asesor informar que se ha cumplido con la revisión del informe final de tesis titulado: **“Metodología FEMA 440 para obtener la Evaluación del Desempeño Sísmico de una Edificación de Concreto Armado en Huancayo – 2024”**, presentado por los bachilleres **BENDEZÚ FLORES, Kaori Betzy** y **ORTIZ ARROYO, Edgar**, dando su conformidad para sus trámites respectivos.

Asimismo, luego de la evaluación integral del informe final de tesis y de verificar el cumplimiento de los requisitos académicos, metodológicos y normativos establecidos por la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, se otorga la conformidad correspondiente, aprobándose el trabajo de investigación con una calificación de **ciento catorce (114) puntos**, por lo que se recomienda continuar con los trámites administrativos y académicos pertinentes para su sustentación y demás fines consiguientes.

Sin otro particular, es cuanto se informa para su conocimiento y tramite respectivo.

Atentamente;



Firmado digitalmente por
CABALLERO SANCHEZ Omar FAU
20168014962 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 01.07.2026 11:03:48 -05:00

UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCABELICA

(Creada por Ley N° 25265)

FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL - HUANCABELICA



TESIS

**Metodología FEMA 440 para obtener la Evaluación del
Desempeño Sísmico de una Edificación de Concreto
Armado en Huancayo - 2024**

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

ESTRUCTURAS Y CONCRETO

PRESENTADO POR:

Kaori Betzy Bendezú Flores

Edgar Ortiz Arroyo

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL

HUANCABELICA, PERÚ

2026

Título

“Metodología FEMA 440 para obtener la Evaluación del Desempeño Sísmico de una Edificación de Concreto Armado en Huancayo - 2024”

Autores

Kaori Betzy Bendezú Flores

Edgar Ortiz Arroyo

Asesor

Ing. Omar Caballero Sanchez

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8126-3835>

DNI: 20118173

Dedicatoria

A Dios,

A mi padre Claudio Ortiz

A mi madre Carmen R. Arroyo

*A mi abuelita Esperanza Condor que está
en el cielo*

Edgar Ortiz Arroyo

A Dios,

A mi madre Maribel G. Flores Romero

A mi padre Nicolas C. Bendezú Uscamayta

A mis hermanos Arely, Angel y Sebastian

Kaori Betzy Bendezú Flores

Agradecimiento

Agradecemos al alma mater de la Universidad Nacional de Huancavelica especialmente a la escuela profesional de ingeniería civil por formar profesionales íntegros y con anhelos de seguir avanzando.

A todos los maestros de la prestigiosa escuela profesional de ingeniería civil Huancavelica por haber formado profesionales humanistas, comprometidos con sus trabajos.

Al ingeniero Omar Caballero Sánchez, no solo de enseñar en las aulas sino, quien se dio el tiempo necesario de guiarnos desde el comienzo hasta la culminación con este proyecto de investigación.

Asimismo, manifestamos nuestro agradecimiento a todas las personas que hicieron posible el desarrollo de esta investigación. Reconocemos especialmente a quienes colaboraron en la recopilación de información y a quienes brindaron parte de su tiempo para revisar y enriquecer este trabajo. Sus observaciones, aportes de mejora, recomendaciones bibliográficas y las constantes reuniones de análisis y discusión de ideas fueron fundamentales para la construcción de esta tesis. Sin sus valiosas sugerencias y orientación, este estudio no habría alcanzado su forma final.

Los autores

Tabla de contenidos

Portada.....	i
Título.....	ii
Autores.....	iii
Asesor.....	iv
Dedicatoria	v
Agradecimiento	vi
Tabla de contenidos.....	vii
Tabla de contenido de Cuadros	xi
Tabla de contenido de figuras	xii
Resumen.....	xvii
Abstract	xviii
Introducción	xix
1. CAPÍTULO I.....	21
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	21
1.1. Descripción del problema.....	21
1.2. Formulación del problema.....	22
1.2.1. Problema general.....	22
1.2.2. Problemas específicos	23
1.3. Objetivos	23
1.3.1. Objetivo general	23
1.3.2. Objetivos específicos	23
1.4. Justificación e importancia	23
1.4.1. Justificación técnica	23
1.4.2. Justificación científica y metodológica.....	24

1.4.3.	Justificación normativa y de gestión	24
1.4.4.	Justificación socioeconómica.....	24
1.5.	Limitaciones	24
2.	CAPÍTULO II	25
	MARCO TEÓRICO.....	25
2.1.	Antecedentes	25
2.1.1.	A nivel internacional	25
2.1.2.	A nivel nacional	26
2.1.3.	A nivel local	27
2.2.	Bases teóricas	28
2.2.1.	Desempeño sísmico.....	28
2.2.2.	Ingeniería Sísmica basada en desempeño (PBEE).....	28
2.2.3.	Niveles de desempeño.....	29
2.2.4.	Análisis Estático No Lineal (Pushover).	31
2.2.5.	Curva de Capacidad	32
2.2.6.	Método de Coeficientes.....	34
2.2.7.	Metodología FEMA 440 (Linealización Equivalente y espectro de capacidad)	35
2.2.8.	Modelos histeréticos para concreto armado	39
2.2.9.	Confinamiento de concreto y acero.....	41
2.3.	Definición de términos	41
2.4.	Hipótesis	43
2.4.1.	Hipótesis general.....	43
2.4.2.	Hipótesis específicas	43
2.5.	Variables.....	44
2.5.1.	Variable independiente.....	44

2.5.2. Variable dependiente.....	44
2.6. Operacionalización de variables.....	45
3. CAPÍTULO III.....	46
MATERIALES Y MÉTODOS	46
3.1. Ámbito temporal y espacial.....	46
3.1.1. Ámbito temporal	46
3.1.2. Ámbito espacial.....	46
3.2. Tipo de investigación	46
3.3. Nivel de investigación	47
3.4. Métodos de investigación.....	47
3.4.1. Método general.....	47
3.4.2. Método específico	48
3.4.3. Enfoque de la investigación	48
3.5. Diseño de investigación.....	48
3.6. Población, muestra y muestreo.....	49
3.6.1. Población.....	49
3.6.2. Muestra.....	49
3.6.3. Muestreo.....	49
3.7. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	50
3.7.1. Técnicas de recolección de datos	50
3.7.2. Instrumentos de recolección de datos	51
3.8. Técnicas de procesamiento y análisis de datos.....	51
4. CAPÍTULO IV	53
DISCUSIÓN DE RESULTADOS	53
4.1. Análisis de resultados	53
4.1.1. Análisis sísmico	53

4.1.2.	Irregularidades.....	68
4.1.3.	Análisis estático no lineal	70
4.1.4.	Análisis estático no lineal	74
4.2.	Prueba de Hipótesis	¡Error! Marcador no definido.
4.2.1.	Hipótesis 01.....	¡Error! Marcador no definido.
4.2.2.	Hipótesis 02.....	¡Error! Marcador no definido.
	Conclusiones	154
	Recomendaciones.....	159
	Referencias bibliográfica	¡Error! Marcador no definido.
	Anexos	168
	Anexo A: Matriz de consistencia	169
	Anexo B: Instrumentos (Resultados de ensayos de laboratorio)	172
	Anexo C: Evidencias (Panel fotográfico)	177

Tabla de contenido de Cuadros

Cuadro 1 Matriz de Operacionalizacion de variables	45
Cuadro 2 Diseño de investigación.....	49
Cuadro 3 Parámetros del espectro sísmico dirección “x” del módulo 1	56
Cuadro 4 Espectro de respuesta en “x” del módulo 1	57
Cuadro 5 Parámetros del espectro sísmico dirección “y” del módulo 1	58
Cuadro 6 Espectro de respuesta en “y” del módulo 1	59
Cuadro 7 Verificación del sistema estructural en "X" e "Y" del módulo 1	61
Cuadro 8 Parámetros del espectro sísmico dirección “x” del módulo 2	62
Cuadro 9 Parámetros del espectro sísmico-dirección y del módulo 2	64
Cuadro 10 Espectro respuesta en "Y" del módulo 2	64
Cuadro 11 Verificación de sistema estructural en "x" e "y" del módulo 2	65
Cuadro 12 Irregularidad de masa o peso del módulo 1	67
Cuadro 13 Irregularidad geométrica vertical del módulo 1	68
Cuadro 14 Parámetros sísmicos del módulo 1	69
Cuadro 15 Espectro de pseudo aceleración del modulo 1	70
Cuadro 16 Parámetros sísmicos del módulo 2	71
Cuadro 17 Espectro de pseudo aceleración del módulo 2	72
Cuadro 18 Clasificación de sismos de diseño	73
Cuadro 19 Control de desplazamientos laterales (derivas) - Módulo 1	149
Cuadro 20 Control de desplazamientos laterales (derivas) - Módulo 2	150
Cuadro 21 Parámetros de respuesta estructural modulo 1	150
Cuadro 22 Modos de vibración	151
Cuadro 23 Parámetros de respuesta estructural modulo 2	151
Cuadro 24 Modos de vibración	152

Tabla de contenido de figuras

Figura 1 Palacio Municipal del Distrito de El Tambo	22
Figura 2 Gráfico de corte basal vs desplazamiento lateral.....	28
Figura 3 Objetivos de desempeño sísmico.....	29
Figura 4 Objetivos de desempeño sísmico.....	30
Figura 5 Niveles y rangos de los objetivos de desempeño.....	30
Figura 6 Procedimiento del Análisis Pushover	32
Figura 7 Gráfico de la Curva de Capacidad	32
Figura 8 Representación del MEC.	36
Figura 9 Conversión de la Curva Capacidad.....	37
Figura 10 Conversión del espectro de respuesta	37
Figura 11 Diagrama de flujo del procedimiento FEMA 440	38
Figura 12 Comparación Esfuerzo - Deformación	40
Figura 13 Plano de planta de la edificación	53
Figura 14 Plano de planta de la edificación evaluada.....	54
Figura 15 Plano de planta del Palacio Municipal del Distrito de El Tambo.....	54
Figura 16 Plano de perfil A del Palacio Municipal del Distrito de El Tambo.....	55
Figura 17 Plano de perfil C del Palacio Municipal del Distrito de El Tambo	55
Figura 18 Irregularidad de peso o masa	57
Figura 19 Irregularidad de esquinas entrantes	57
Figura 20 Cortante que toman los muros en "X"	60
Figura 21 Cortante que toman los muros en "Y"	60
Figura 22 Verificación del sistema estructural.....	61
Figura 23 Irregularidad de rigidez - piso blando.....	63
Figura 24 Irregularidad en planta	63
Figura 25 Irregularidad de discontinuidad de diafragma	64
Figura 26 Cortante que toman los muros en "X"	66
Figura 27 Cortante que toman los muros en "Y"	67
Figura 28 Verificación del sistema estructural.....	67
Figura 29 Definición de espacio de dibujo o grillas en alturas.	75
Figura 30 Definición de espacio de dibujo o grillas en planta.....	75

Figura 31 Definición de materiales	76
Figura 32 Definición de secciones de los elementos estructurales	77
Figura 33 Elementos columnas	77
Figura 34 Elementos viga.....	78
Figura 35 Elementos Wall o definición de muros.....	78
Figura 36 Creación del modelo tridimensional.....	79
Figura 37 Asignación Plastic hinges (rótulas plásticas).....	80
Figura 38 Asignación de rotulas en cada elemento.....	81
Figura 39 Ubicación de rotulas	82
Figura 40 Detalle de las rotulas.....	83
Figura 41 Rotulas insertadas en la estructura del módulo 1.....	84
Figura 42 Propiedades de las columnas cuadradas	85
Figura 43 Columna cuadrada	86
Figura 44 Modificación de factores	86
Figura 45 Propiedades de columnas circulares	87
Figura 46 Columnas circulares	88
Figura 47 Factores para columnas circulares	88
Figura 48 Propiedades de vigas.....	89
Figura 49 Propiedades del reforzamiento en vigas	90
Figura 50 Asignación del peso sísmico.....	90
Figura 51 Asignación de cargas	91
Figura 52 Efecto P-Delta.....	91
<i>Figura 53 Definición de cargas lateras</i>	<i>92</i>
Figura 54 Cargas por nivel.....	92
Figura 55 Cargas por nivel.....	93
Figura 56 Definición de casos de cargas.....	93
Figura 57 Carga lateral en "X".....	94
Figura 58 Carga lateral en "Y".....	94
Figura 59 Cargas gravitacionales	95
Figura 60 Casos de cargas gravitacionales.....	95
Figura 61 Definición de pushover en "X"	96
Figura 62 Configuración del control de desplazamientos.....	97

Figura 63 Configuración de los resultados del análisis estático no lineal.....	97
Figura 64 En la dirección del eje X-X	98
Figura 65 Gráfico de respuesta de la rótula plástica	99
Figura 66 Rotula plástica en el tercer nivel.....	100
Figura 67 Respuesta de la rótula plástica en el tercer nivel	100
Figura 68 Curva de capacidad en la dirección X-X	101
Figura 69 Punto de desempeño en sismos frecuentes	102
Figura 70 Punto de desempeño en sismos severos	103
Figura 71 Punto de desempeño en sismos extraordinarios	104
Figura 72 En la dirección del eje Y-Y	105
Figura 73 Curva de capacidad en la dirección Y-Y	106
Figura 74 Punto de desempeño en sismos frecuentes - dirección Y-Y	107
Figura 75 Punto de desempeño en sismos severos - dirección Y-Y	108
Figura 76 Punto de desempeño en sismos extraordinarios - dirección Y-Y	109
Figura 77 Definición de espacio de dibujo o grillas en alturas.....	110
Figura 78 Definición de espacio de dibujo o grillas en planta.....	110
Figura 79 Definición de materiales	111
Figura 80 Definición de secciones de los elementos estructurales	111
Figura 81 Elementos columna.....	112
Figura 82 Elementos viga.....	112
Figura 83 Elementos Wall o definición de muros.....	113
Figura 84 Creación del modelo tridimensional.....	113
Figura 85 Asignación de rotulas	114
Figura 86 Ubicación de rotulas en cada elemento	115
Figura 87 Ubicación de rotulas plásticas	116
Figura 88 Detalle de rótulas plásticas	117
Figura 89 Rotulas insertadas en la estructura.....	117
Figura 90 Propiedades de la columna cuadrada	118
Figura 91 Columna cuadrada	119
Figura 92 Modificación de factores	119
Figura 93 Propiedades de las columnas circulares.....	120
Figura 94 Columna circular	120

Figura 95 Modificación de factores	121
Figura 96 Vigas	121
Figura 97 Propiedades de reforzamiento.....	122
Figura 98 Asignación del peso sísmico.....	123
Figura 99 Peso sísmico	123
Figura 100 Efecto P-Delta.....	124
Figura 101 Definición de cargas lateras	124
Figura 102 Cargas en diafragmas.....	125
Figura 103 Cargas en diafragmas.....	125
Figura 104 Definición de casos de cargas.....	126
Figura 105 Carga lateral en X	126
Figura 106 Carga lateral en Y	127
Figura 107 Definición de cargas gravitacionales	127
Figura 108 Carga gravitacional.....	128
Figura 109 Definición de Pushover en X.....	129
Figura 110 Configuración del control de desplazamientos.....	130
Figura 111 Configuración de Análisis estático no lineal	131
Figura 112 Dirección X-X	132
Figura 113 Gráfico de respuesta de rotula plástica	133
Figura 114 Rotula plástica en el tercer nivel.....	133
Figura 115 Dirección Y-Y	134
Figura 116 Modelado de la estructura - Modulo 2.....	135
Figura 117 Pushover en la dirección X-X.....	136
Figura 118 Punto de desempeño en sismos frecuentes	137
Figura 119 Punto de desempeño en sismos severos	138
Figura 120 Punto de desempeño en sismos extraordinarios	139
Figura 121 Dirección Y-Y	140
Figura 122 Pushover en la dirección Y-Y.....	141
Figura 123 Punto de desempeño en sismos frecuentes en la dirección Y-Y	142
Figura 124 Punto de desempeño en sismos severos en la dirección Y-Y	143
Figura 125 Punto de desempeño en sismos extraordinarios en la dirección Y-Y....	144
Figura 126 Niveles de desempeño sísmico	145

Figura 127 Gráfico del Módulo 1 en la dirección Y-Y	146
Figura 128 Gráfico del Módulo 1 en la dirección X-X.....	147
Figura 129 Gráfico del Módulo 2 en la dirección X-X.....	148
Figura 130 Gráfico del Módulo 2 en la dirección Y-Y	149
Figura 131 Detalle de la distribución de acero en columnas de la edificación	178
Figura 132 Detalle de columnas circulares y cuadradas de la edificación.....	178
Figura 133 Instrumentos para el ensayo de esclerometría	179
Figura 134 Ensayo de esclerometría en columna.....	179
Figura 135 Grupo de trabajo para la ejecución del ensayo de esclerometría.....	180
Figura 136 Proceso del ensayo de tracción del acero	180
Figura 137 Ensayo de tracción en el laboratorio de la UNH	181

Resumen

El proyecto de investigación “Metodología FEMA 440 para evaluar el desempeño sísmico de una edificación de concreto armado en Huancayo (2024)” tuvo como objetivo determinar el nivel de desempeño sísmico y los principales parámetros de respuesta estructural del Palacio Municipal del distrito de El Tambo. Se desarrolló un modelo tridimensional en ETABS v21.0.1 y se evaluó la edificación en dos módulos (Módulo 1 y Módulo 2). La estrategia analítica comprendió un análisis elástico (modal–espectral) para la verificación inicial de rigidez y derivas, y un análisis no lineal estático (pushover) para caracterizar la capacidad mediante la curva fuerza cortante basal–desplazamiento. La asignación y evaluación de rótulas plásticas se realizaron conforme a los lineamientos de los procedimientos FEMA/ATC, empleando el método del espectro de capacidad actualizado por FEMA 440 para la intersección capacidad–demanda en cada dirección y módulo.

A partir de las curvas de capacidad y los espectros de demanda, se obtuvieron los parámetros de respuesta (deriva objetivo, desplazamientos máximos, ductilidad y sobre-resistencia) y se determinó el nivel de desempeño alcanzado por la edificación, identificando además zonas críticas y probables mecanismos de daño. Los resultados permitieron comparar el comportamiento en ambas direcciones y entre módulos, y establecer criterios de priorización para medidas de mejora cuando corresponda. En conjunto, la aplicación de FEMA 440 demostró ser una metodología eficiente y consistente para estimar el desempeño sísmico de edificaciones de concreto armado en el contexto local de Huancayo.

Palabras clave: desempeño sísmico; pushover; FEMA 440; ATC-40; rótulas plásticas; ETABS; concreto armado.

Abstract

The research project "FEMA 440 Methodology for Evaluating the Seismic Performance of a Reinforced Concrete Building in Huancayo - 2024" aimed to determine the seismic performance level and the main structural response parameters of the Municipal Palace in the district of El Tambo. A three-dimensional model was developed in ETABS v21.0.1 and the building was evaluated in two modules (Module 1 and Module 2). The analytical strategy comprised an elastic (modal-spectral) analysis for the initial verification of stiffness and drifts, and a static non-linear (pushover) analysis to characterise the capacity using the basal shear force-displacement curve. The assignment and evaluation of plastic hinges were performed in accordance with FEMA/ATC procedure guidelines, using the capacity spectrum method updated by FEMA 440 for the capacity-demand intersection in each direction and module.

From the capacity curves and demand spectra, the response parameters (target drift, maximum displacements, ductility, and over-resistance) were obtained, and the performance level achieved by the building was determined, also identifying critical areas and probable damage mechanisms. The results allowed for a comparison of behaviour in both directions and between modules, and established prioritisation criteria for improvement measures where appropriate. Overall, the application of FEMA 440 proved to be an efficient and consistent methodology for estimating the seismic performance of reinforced concrete buildings in the local context of Huancayo.

Keywords: seismic performance; pushover; FEMA 440; ATC-40; plastic hinges; ETABS; reinforced concrete

Introducción

La franja Circumpacífica, conocida como Anillo de Fuego, concentra la mayor parte de la sismicidad mundial y atraviesa la costa peruana, lo que incrementa la exposición de las edificaciones a demandas sísmicas severas y a la acumulación de daño en el tiempo. En ciudades como Huancayo, la combinación de suelos con variabilidad geotécnica, crecimiento urbano continuo y edificaciones de concreto armado destinadas a servicios públicos hace imprescindible caracterizar de manera realista la respuesta estructural. La práctica de verificación exclusivamente elástica resulta útil para el dimensionamiento inicial, pero no permite capturar la degradación cíclica, la formación de rótulas plásticas ni los cambios de rigidez y resistencia que gobiernan el desempeño ante terremotos intensos.

Por ello, la evaluación basada en el comportamiento inelástico se vuelve una necesidad técnica para sustentar acciones de reforzamiento, mantenimiento y gestión del riesgo. La Norma Técnica E.030 del Reglamento Nacional de Edificaciones ha fortalecido los criterios del diseño sismorresistente peruano, aunque su implementación cotidiana se apoya en modelos lineales y verificaciones indirectas del desempeño. Complementar ese enfoque con procedimientos no lineales permite estimar cuantitativamente parámetros de respuesta como desplazamiento objetivo, derivas de entrepiso, ductilidad global y sobre resistencia, además de identificar zonas críticas y posibles mecanismos de colapso. En este marco, el análisis estático no lineal o pushover, desarrollado con lineamientos de documentos de referencia como ATC 40 y FEMA 440, ofrece una ruta práctica para transformar la información del modelo estructural en curvas de capacidad y contrastarlas con espectros de demanda, mediante técnicas de linealización equivalente y puntos de desempeño.

La presente investigación aplica la metodología FEMA 440, apoyada en el enfoque de ATC 40, para evaluar el desempeño sísmico del Palacio Municipal del distrito de El Tambo en Huancayo. Por ello se desarrolló un modelo tridimensional en ETABS versión 21.0.1, con definición explícita de elementos viga y columna, asignación de propiedades de materiales, diafragmas rígidos, condiciones de borde y criterios de rótulas plásticas conforme a tipologías de concreto armado. El plan de

análisis comprende una fase elástica con verificación modal y espectral para establecer rigidez y derivas iniciales, seguida por una fase inelástica con análisis pushover en las direcciones principales para obtener curvas en la cortante basal versus desplazamiento del punto de control. Estas curvas se transforman al espacio aceleración desplazamiento para su intersección con el espectro de demanda y así determinar el punto de desempeño. El estudio se centra en tres propósitos complementarios. Primero, caracterizar la capacidad de la edificación y su reserva de ductilidad a través de la distribución y evaluación de rótulas plásticas en vigas y columnas. Segundo, estimar parámetros de desempeño relevantes para la toma de decisiones, tales como desplazamientos objetivos, derivas máximas y márgenes de seguridad frente a estados límite de control de daño y prevención de colapso. Con este enfoque se espera aportar evidencia cuantitativa para la gestión de riesgo local, facilitar hojas de ruta de reforzamiento y contribuir a la adopción de metodologías de desempeño en edificaciones públicas de concreto armado en entornos similares a Huancayo.

Finalmente, la investigación delimita su alcance al comportamiento global de la superestructura bajo análisis estático no lineal y a la interpretación de desempeño con base en FEMA 440.

La estructura de la tesis se encuentra dividida en:

Capítulo I: Planteamiento del problema.

Capítulo II: Marco teórico.

Capítulo III: Materiales y Métodos

Capítulo IV: Discusión de resultados

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción del problema

Huancayo ha experimentado en los últimos años un crecimiento insostenido de edificaciones de concreto armado de mediana altura (6–10 niveles) y gran altura (más de 10 niveles). Este dinamismo ocurre en un país altamente sísmico, ubicado en el Anillo de Fuego del Pacífico, donde ocurre ~90% de los sismos del planeta. El historial reciente y no tan reciente del Perú confirma esta amenaza: el sismo de Pisco–Ica de magnitud 7.5 del 15 de agosto de 2007 causó daños severos en Ica, Pisco y Chincha; el sismo de magnitud 8.2 del 23 de junio de 2001 afectó fuertemente a Arequipa, Moquegua y Tacna y generó tsunamis; y el gran sismo de Ancash del 31 de mayo de 1970 (Mw 7.9) desencadenó la tragedia de Yungay, el desastre natural más letal del país (Tavera , Bernal y Salas , 2007). Estos eventos ilustran la necesidad de asegurar que las edificaciones cumplan estándares avanzados de seguridad estructural y desempeño frente a demandas severas, no solo verificaciones elásticas de rutina.

En este contexto, evaluar explícitamente el comportamiento inelástico de las estructuras se vuelve prioritario. “Por ello, la metodología FEMA 440 sistematiza mejoras al análisis estático no lineal (pushover) mediante el método del espectro de capacidad con linealización equivalente, ofreciendo procedimientos para estimar con mayor realismo la intersección capacidad-demanda, derivar desplazamientos objetivo y cuantificar parámetros como derivas máximas, ductilidad y sobre-resistencia. Junto con ATC-40, constituye el andamiaje práctico de la ingeniería sísmica basada en desempeño para edificios de concreto armado” (Ramos Vintimilla y Rodríguez Cedillo , 2021). Sin embargo, en ciudades como Huancayo su adopción en la práctica habitual de evaluación y diseño aún es limitada, lo que puede traducirse en brechas de diagnóstico y, por ende, en vulnerabilidad de edificaciones existentes si solo se recurre a análisis lineales. La aplicación rigurosa de FEMA 440 y ATC-40, soportada en modelos numéricos confiables (por ejemplo, ETABS), permite identificar zonas

críticas de formación de rótulas plásticas, anticipar mecanismos probables de daño y priorizar intervenciones de reforzamiento con criterio técnico.

Figura 1

Palacio Municipal del Distrito de El Tambo



En este proyecto de investigación se evalúa una edificación existente de concreto armado el Palacio Municipal del distrito de El Tambo aplicando la metodología FEMA 440 para estimar el comportamiento estructural, el punto de desempeño sísmico y los niveles de desempeño mediante análisis estático no lineal (pushover). en la edificación mostrada en la Figura 1.

1.2. Formulación del problema

Con base en la descripción del problema, se plantean a continuación los problemas de investigación.

1.2.1. Problema general

¿En qué medida la aplicación de la metodología FEMA 440 permite evaluar el desempeño sísmico de una edificación de concreto armado en Huancayo - 2024?

1.2.2. Problemas específicos

- ¿En qué medida la Metodología FEMA 440 permite obtener la evaluación de los objetivos del desempeño sísmico de una edificación de concreto armado en Huancayo - 2024?
- ¿En qué medida la Metodología FEMA 440 permite obtener la evaluación de parámetros de respuesta estructural de una edificación de concreto armado en Huancayo - 2024?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Evaluar el desempeño sísmico de una edificación de concreto armado en Huancayo – 2024 aplicando la Metodología FEMA 440, mediante análisis estático no lineal (pushover).

1.3.2. Objetivos específicos

- Emplear la metodología FEMA 440 para determinar el punto de desempeño y objetivos de desempeño de una edificación de concreto armado en Huancayo - 2024.
- Emplear la metodología FEMA 440 para obtener los parámetros de respuesta estructural: desplazamiento objetivo, deriva máxima de entrepiso, ductilidad global y sobre resistencia de una edificación de concreto armado en Huancayo– 2024.

1.4. Justificación e importancia

1.4.1. Justificación técnica

La ciudad de Huancayo se ubica en una zona de peligrosidad sísmica, donde incrementa la probabilidad de ocurrencia de sismos de moderada a gran magnitud viendo la vulnerabilidad de las edificaciones que ya existen. La verificación exclusivamente elástica no captura la formación de rótulas, cambios de rigidez; por

ello la Metodología FEMA 440, apoyada en ATC-40, permite mejorar la estimación del desempeño sísmico, cuantificar derivas y ductilidad, e identificar mecanismos de daño con mayor realismo para edificaciones de concreto armado.

1.4.2. Justificación científica y metodológica

La presente investigación aporta un caso aplicado la trazabilidad del modelo, parámetros y resultados, útil para la replicación y comparación con otros trabajos locales. Integrando las prácticas de PBEE (*Performance-Based Earthquake Engineering* o Ingeniería Sísmica Basada en Desempeño) mediante pushover, espectro de capacidad y linealización equivalente.

1.4.3. Justificación normativa y de gestión

Los resultados se contrastan con criterios de referencia compatibles con la normativa E 030 y las categorías de desempeño (IO, LS, CP), aportando para el mantenimiento, reforzamiento y gestión de riesgo en infraestructura pública.

1.4.4. Justificación socioeconómica

La continuidad operativa del Palacio Municipal del Distrito de El Tambo es estratégica ya que una evaluación por desempeño reduce la incertidumbre respecto a la seguridad estructural, priorizando inversiones y contribuyendo a la resiliencia urbana.

1.5. Limitaciones

Esta investigación tuvo como principal limitación la imposibilidad de realizar ensayos directos sobre el concreto de la edificación evaluada. Debido a las restricciones impuestas por la naturaleza y el uso actual de la estructura, no fue posible extraer testigos ni realizar pruebas destructivas que permitieran determinar con exactitud las propiedades mecánicas del material. Por tal motivo, los parámetros de resistencia y módulo de elasticidad del concreto fueron asumidos en función de la información documental disponible y de los valores referenciales establecidos por la normativa vigente.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

2.1.1. A nivel internacional

(Cajamarca y Beltrán, 2016) En su investigación titulada "Evaluación del Desempeño Sísmico de un Edificio Aporticado de Hormigón Armado usando el Método Actualizado del Espectro de Capacidad FEMA 440" realizada en la Universidad de Cuenca. Tuvieron como objetivo la construcción de modelos numéricos con propiedades mecánicas y geométricas representativas, la definición de rótulas plásticas en vigas y columnas, y la obtención de la curva de capacidad mediante análisis pushover controlado por desplazamiento. Posteriormente, transformaron la curva al plano aceleración-desplazamiento (ADRS) y determinaron el punto de desempeño por intersección capacidad-demanda con linealización equivalente. Los diagramas momento-curvatura mostraron incrementos en la capacidad última y un corrimiento del punto de fluencia efectivo; no obstante, la demanda máxima de desplazamiento resultó similar entre ambas idealizaciones, lo que sugiere que la selección del modelo histerético afecta más la lectura local de daño que la predicción global del desplazamiento objetivo. Los autores señalaron la necesidad de mejorar la calibración de rótulas con base en ensayos y considerar deterioro cíclico de resistencia para una representación más fiel de la respuesta inelástica. Se concluyó que los resultados en los diagramas de MC se observan que la capacidad de carga de los elementos del concreto y acero aumenta significativamente, el límite de fluencia aumenta; en este trabajo de investigación se tomó el modelo con degradación de rigidez de FEMA 440, donde no representa una diferencia significativa en términos de demanda máxima de desplazamiento con respecto al modelo bilineal histerético.

(Vintimilla y Cedillo, 2021) En su investigación titulada "Estudio y Aplicación de la Metodología de Linealización Equivalente, propuesta por FEMA 440", tuvieron

como objetivo aplicar el procedimiento propuesto por FEMA 440 para la obtención del punto de desempeño de una estructura utilizando el método de linealización equivalente. El procedimiento contempló la asignación de rótulas plásticas, la verificación modal – espectral en el rango elástico y la generación de la curva pushover para su transformación al espectro de capacidad mediante la forma del primer modo dominante. Al contrastar con el espectro de diseño, el prototipo permaneció esencialmente en el rango elástico con derivas compatibles, mientras que frente al espectro máximo considerado se activó una respuesta inelástica con pérdida de capacidad en varios elementos, evidenciando concentración de daño y posibles mecanismos de piso blando. Los autores destacaron como limitación la incapacidad del esquema idealizado para capturar fuerza y deformación últimas, pues no se incorporó rigidez residual ni reglas de degradación por ciclos, recomendando la adopción de modelos histeréticos con deterioro para mejorar la estimación de la reserva posfluencia y del estado próximo al colapso.

2.1.2. A nivel nacional

(Manuel, 2017) Realizó la investigación titulada: “Evaluación del Desempeño Sísmico de un Edificio de once pisos”. El estudio desarrolló un modelo inelástico detallado, asignó rótulas plásticas a vigas y columnas, verificó periodos y participación modal en el rango elástico y, posteriormente, ejecutó el pushover para obtener la curva de capacidad y el IDA para caracterizar trayectorias de daño frente a registros escalados. Los resultados mostraron que las primeras rótulas se concentran en las vigas de acople y elementos de enlace, lo que confirma su rol de “fusibles” para la disipación de energía; además, se observó que la ductilidad global lateral aumenta cuando se reduce la cuantía de refuerzo en columnas hasta umbrales compatibles con el control de derivas, aunque este efecto exige compensaciones de resistencia a cortante y verificación estricta de confinamiento. El contraste entre pushover e IDA evidenció buena coherencia en el orden de activación de mecanismos, pero también subrayó la sensibilidad del desempeño a la degradación cíclica y a la demanda de alto nivel, lo que refuerza la conveniencia de combinar evaluaciones estáticas y dinámicas en edificios medianos y altos.

(Valdivia y Usca, 2023) Realizó la investigación titulada: “Correlación del grado de daño, calculado mediante el índice de vulnerabilidad (FEMA P154 – ATC 21) con el desempeño sísmico (FEMA 440 – ATC 40) de edificaciones residenciales en la ciudad de Cusco”. El objetivo principal de la tesis es: Determinar el nivel de correlación entre el grado de daño calculado por metodología FEMA P154- ATC 21 y el grado de daño calculado por metodología FEMA 440- ATC 40 de las edificaciones residenciales propuestas. La conclusión a la que se llegó fue: La metodología FEMA P154-ATC 21 (índice de vulnerabilidad) tiene un 13.6 % de correlación con la Metodología FEMA 440-ATC 40 (desempeño sísmico), lo cual nos indica que no es un método sustitutorio o equivalente para ser aplicado en la detección de vulnerabilidad sísmica en estructuras de concreto armado de tipo residencial, donde menciona que la edificación 1 y 3 poseen una alta vulnerabilidad, la edificación 2 es vulnerable y la edificación 4 y 5 no son vulnerables según la metodología propuesta.

2.1.3. A nivel local

(Rojas y Yupanqui, 2019) desarrollaron una evaluación del desempeño sísmico en un edificio de concreto armado de mediana altura ubicado en el centro de Huancayo, combinando verificación modal–espectral con análisis estático no lineal para construir curvas de capacidad por dirección principal. La transformación al plano aceleración desplazamiento y la intersección capacidad–demanda, siguiendo el esquema de FEMA 440, permitieron estimar desplazamientos objetivo y derivas máximas de entrepiso, identificándose concentraciones de demanda plástica en vigas de borde y zonas de piso suave asociadas a cambios de rigidez en el primer nivel. Los autores concluyeron que las verificaciones elásticas que cumplen E.030 no garantizan, por sí solas, niveles de desempeño equivalentes a seguridad de vida en demandas cercanas al máximo considerado, recomendando la adopción sistemática del método del espectro de capacidad en edificaciones públicas.

2.2. Bases teóricas

Una vez revisados los antecedentes del presente trabajo de investigación y teniendo presentes las variables a evaluar, se detallan los siguientes conceptos teóricos.

2.2.1. Desempeño sísmico

El desempeño sísmico es un concepto que relaciona la cantidad de daño que sufre un edificio, sea en elementos estructurales y no estructurales, después de un movimiento sísmico y como estos daños impactan en las actividades humanas durante y después del evento, adicionalmente nos muestra si existe algún daño o riesgo en la edificación para su uso posterior. Para poder diseñar una edificación en base al desempeño se debe elegir un objetivo de desempeño que señala el estado de daño límite de los elementos estructurales. Aguiar (2003)

Figura 2

Gráfico de corte basal vs desplazamiento lateral



Nota. Adaptado del documento visión 2000 (SEAOC 1995)

2.2.2. Ingeniería Sísmica basada en desempeño (PBEE)

La ingeniería sísmica basada en desempeño constituye un marco conceptual que integra, de manera explícita, la cadena “peligrosidad $\rightarrow$ demanda $\rightarrow$ daño $\rightarrow$ pérdidas” y permite traducir variables de respuesta estructural en consecuencias funcionales y

económicas. Este enfoque, impulsado por el programa PEER, organiza la evaluación en etapas con modelos coherentes de amenaza, análisis estructural, estados límite y métricas de pérdida, incorporando incertidumbres aleatorias y epistémicas. Para edificaciones de concreto armado, la lógica de desempeño favorece decisiones informadas de reforzamiento y gestión del riesgo urbano, desplazando el énfasis desde la sola resistencia elástica hacia el control de derivas, ductilidad, rotaciones plásticas y continuidad operativa (PEER, 2010).

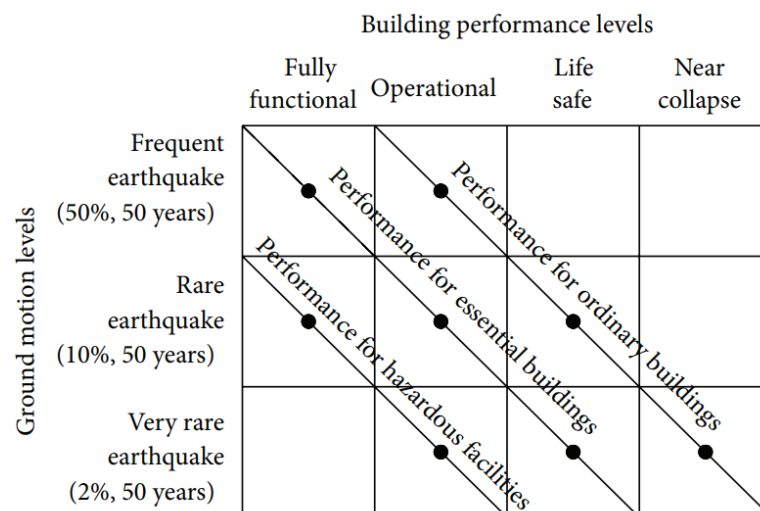
2.2.3. Niveles de desempeño

2.2.3.1. Objetivos de Desempeño Sísmico

- a) Propuesta por (Vision, 1995). Están definidos como una expresión de acuerdo a la gravedad de los esperados, conocidos como niveles de desempeño. Generalmente basados en conceptos de seguridad ante desastres. Estos objetivos están diseñados para garantizar la seguridad, funcionalidad y durabilidad de las estructuras.

Figura 3

Objetivos de desempeño sísmico



Nota. Adaptado por (Vision, 1995)

- b) Propuesta por (ATC-40, Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings, 1996), considera que hay gran variedad de objetivos de

desempeño para una estructura, los cuales pueden definirse combinando los niveles de desempeño estructural con los movimientos sísmicos de diseño. Estos se evalúan mediante métodos como el análisis Pushover y el método de espectro capacidad.

Figura 4

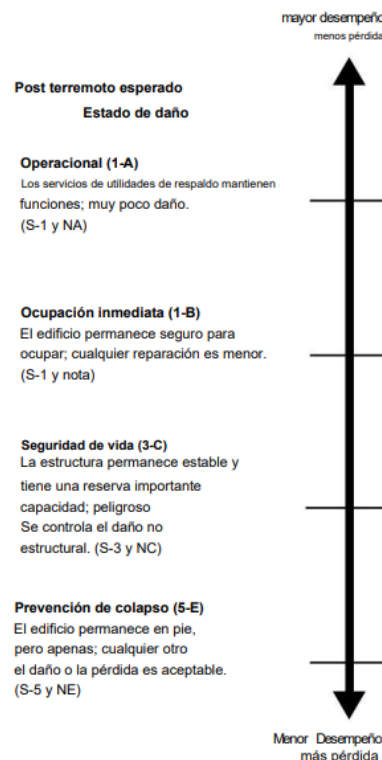
Objetivos de desempeño sísmico

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

Nota. Objetivos de Desempeño sísmico según (ATC-40, Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings, 1996)

Figura 5

Niveles y rangos de los objetivos de desempeño



Nota. Niveles y rangos de los objetivos de desempeño en edificios (ASCE/SEI, 2014)

2.2.4. Análisis Estático No Lineal (Pushover).

El método del análisis estático no lineal, o pushover, se ha consolidado como herramienta práctica para caracterizar la capacidad de un sistema estructural mediante una curva cortante basal–desplazamiento del punto de control. La utilidad del pushover radica en revelar, con bajo costo computacional, la secuencia de formación de rótulas plásticas, la reserva posfluencia y los mecanismos globales de colapso. Al transformarse la curva de capacidad al plano aceleración–desplazamiento (ADRS) y contrastarse con un espectro de demanda compatible, es posible estimar un “punto de desempeño” y clasificar niveles como ocupación inmediata, seguridad de vida o prevención de colapso (ATC-40, Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings, 1996).

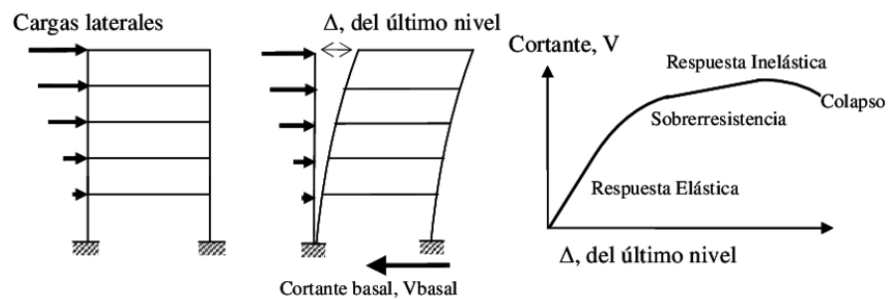
Se basa en el análisis estático que tiene en cuenta la repuesta no lineal de los materiales. existen muchos métodos para efectuar este tipo de análisis como el ATC-40, FEMA-273; donde en la estructura representada por la curva capacidad (Pushover) tienen en común las características no lineales (fuerza-deformación). El desplazamiento máximo que puede ser experimentado durante un sismo, es determinado usando espectros de respuesta inelástica. Una de las ventajas importantes de este método con respecto al análisis lineal es que tienen en cuenta los efectos de la respuesta no lineal del material directamente (en cambio en el análisis lineal la respuesta del material se debe tener en cuenta de forma aproximada, mediante el factor de comportamiento o de reducción del espectro) y por lo tanto el cálculo de las fuerzas internas y desplazamientos serían más representativos de los esperados durante un sismo. (Moreno Gonzalez, 2006)

Es un método para evaluar la resistencia inelástica y la deformación de las estructuras y expone fallas en el diseño estructural. Se basa en un análisis estático no lineal, con distribuciones de fuerzas laterales equivalentes en la altura, que incluye la contribución de los modos de vibración del comportamiento elástico y emplea de

manera aproximada. A partir de eso, se determina la capacidad resistente de la estructura y el comportamiento no lineal; como por ejemplo, la secuencia en que las secciones van ingresando al rango no-lineal, los de desplazamientos laterales en cada incremento de carga, ductilidades, fallas de elementos por flexión y corte, esfuerzos, etc, tal como se muestra en la figura 6.

Figura 6

Procedimiento del Análisis Pushover



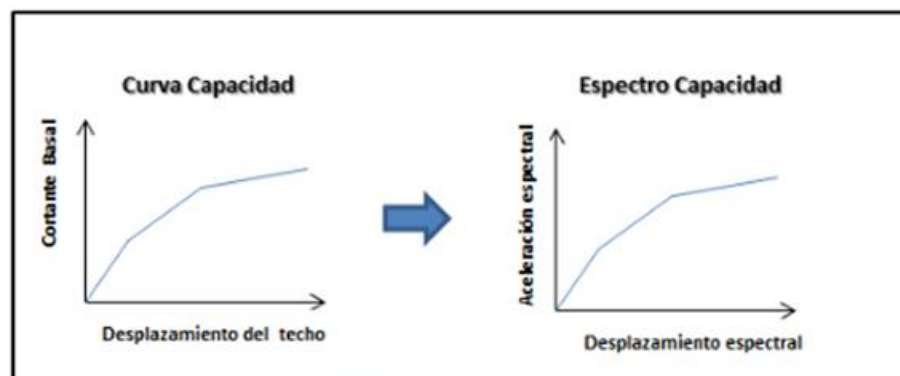
Nota. Procedimiento del Análisis no lineal o Pushover. (Arango S & P., 2009)

2.2.5. Curva de Capacidad

La curva de capacidad de una estructura es representada por la gráfica que relaciona las fuerzas en la base (Cortante Basal, V) y los desplazamientos (D) en el nivel superior de la estructura como se muestra en la siguiente figura:

Figura 7

Gráfico de la Curva de Capacidad



Nota. Esquema para determinar la curva de capacidad.

En la figura 7, la curva de capacidad representa la respuesta del primer modo de la estructura, basado en la hipótesis según la cual el modo fundamental de vibración corresponde con la respuesta predominante. Esto es mayormente valido para estructuras con periodos propios menores que 1 seg. Para estructuras más flexibles, el análisis debe considerar la influencia de los modos mas altos de vibración.

La capacidad total de la estructura depende de la resistencia y capacidades de deformación de sus componente individuales, es decir, del concreto, acero y la combinación de ambos. Asimismo la finalidad de obtener la curva de capacidad es poder identificar la capacidad a la fluencia y la capacidad ultima de la estructura.

El modelo de capacidad de las estructuras es definida por dos puntos de control característicos que son:

- **Capacidad de Fluencia (Y_c):** Es la fuerza lateral de resistencia del edificio antes que el sistema estructural haya desarrollado la respuesta no lineal.
- **Capacidad Última (U_c):** Es la máxima fuerza del edificio cuando todo el sistema estructural del edificio ha alcanzado completamente un estado plástico.

Hasta el punto de fluencia, la capacidad del edificio se asume lineal con rigidez basada en un periodo fundamental estimado de la edificación. Entre el punto de fluencia y el punto último, la transición en pendiente de la curva de capacidad de un estado esencialmente elástico a uno completamente plástico. (Fuentes R., 2005)

Es la relación entre la fuerza cortante basal y el desplazamiento en el nivel superior de la estructura. Generalmente se construye para representar la respuesta al primer modo de vibración de la estructura basado en la suposición que el modo fundamental de vibración es el que predomina en la respuesta estructural, válida para estructuras con un periodo de un segundo. Para edificios más flexibles con un periodo fundamental mayor un segundo, el análisis se debe considerar los efectos de modos más altos de vibración. (ATC-40, Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings, 1996)

2.2.6. Método de Coeficientes

El Método de Coeficientes permite estimar la capacidad sísmica de una estructura mediante la construcción de una curva capacidad–demanda, relacionando el desplazamiento máximo esperado en el punto de control con el espectro de demanda elástica o inelástica. Su principal ventaja es que no requiere un análisis dinámico no lineal completo, sino que emplea factores o coeficientes correctivos que representan el comportamiento inelástico del sistema estructural. (FEMA440, 2005)

Según (FEMA440, 2005), el método de coeficientes parte de la expresión general para estimar el desplazamiento máximo del punto de control:

$$\Delta_t = C_0 C_1 C_2 C_3 C_a \frac{T_e^2}{4\pi^2 g}$$

Donde:

- Δ_t = Desplazamiento máximo del punto de control
- S_a = Aceleración espectral efectiva del sistema
- T_e = Período efectivo de vibración
- g = Aceleración de la gravedad
- $C_0 C_1 C_2 C_3 C_a$ = Coeficientes de corrección que ajustan los efectos de la forma modal, la no linealidad, las condiciones de amortiguamiento y la redundancia estructural (FEMA440, 2005)

Según (FEMA440, 2005) cada coeficiente tiene la siguiente interpretación:

- C_0 = Relación entre el desplazamiento del techo y el punto de control en la estructura
- C_1 = Corrige la diferencia entre la respuesta elástica y la inelástica del sistema (factor de ductilidad).
- C_2 = Ajusta por los efectos de degradación y rigidez posfluencia
- C_3 = considera las irregularidades o redundancias estructurales que pueden modificar la capacidad global

El método se basa en el concepto del punto de desempeño (*Performance Point*), definido como la intersección entre la curva de capacidad (derivada del análisis pushover) y el espectro de demanda modificada, el cual incorpora las reducciones por comportamiento inelástico. La localización de dicho punto permite estimar la

respuesta máxima esperada de la estructura ante un nivel de amenaza sísmica determinado y, por consiguiente, clasificar su nivel de desempeño estructural. (ATC-40, Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings, 1996) (FEMA440, 2005)

La Metodología FEMA 440 introdujo mejoras al método de coeficientes al revisar los modelos empíricos que definen los factores de corrección (especialmente C_1 y C_2) y al proponer expresiones más precisas para estructuras con alta ductilidad o periodos largos, reduciendo las diferencias entre los resultados del análisis estático no lineal y los del análisis dinámico no lineal. (FEMA440, 2005)

2.2.7. Metodología FEMA 440 (Linealización Equivalente y espectro de capacidad)

La metodología FEMA 440 perfecciona los procedimientos estáticos no lineales al introducir esquemas de linealización equivalente y ajustes al método del espectro de capacidad, con el fin de reducir sesgos respecto de respuestas obtenidas por análisis dinámicos no lineales. El documento propone reglas para seleccionar la intersección capacidad–demanda, estimar el desplazamiento objetivo y considerar la degradación de rigidez y resistencia, ampliando la aplicabilidad a edificios reales y mejorando la coherencia entre la predicción estática y la respuesta temporal. (FEMA440, 2005)

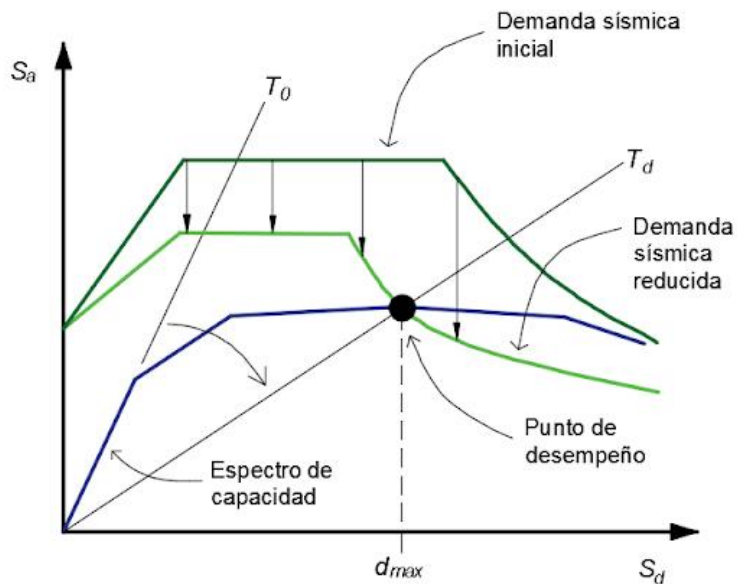
2.2.7.1. Metodo de Espectro de Capacidad (MEC)

Propuesto como un método rápido para la evaluación del riesgo sísmico, por Freeman (1975). Posteriormente fue utilizado para correlacionar movimientos sísmicos con las observaciones del desempeño de construcciones existentes.

.Este método constituye un procedimiento para determinar el punto de desempeño de una estructura. Mediante un procedimiento gráfico, se compara la capacidad para resistir fuerzas laterales con la demanda sísmica. La capacidad de la estructura se representa a través de una curva que establece la relación entre la fuerza lateral, expresada como cortante basal V , y el desplazamiento como análisis "pushover" como se muestra en la figura 7. (ATC-40, Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings, 1996)

Figura 8

Representación del MEC.



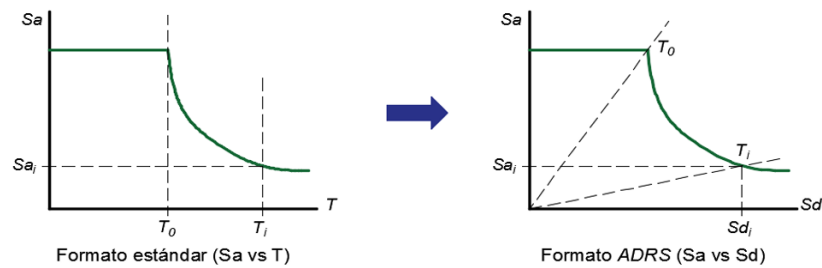
Nota. Adaptado por Diescon Ingenieros.

2.2.7.2. Aplicación del Método de Espectro Capacidad

Según (Hernandez E. , 2022), El espectro de respuesta es una gráfica de periodos vs aceleraciones espectrales y la curva capacidad se define con una gráfica de desplazamiento del tope vs el cortante basal; se necesita establecer una gráfica en formato ADRS “Acceleration Displacement Response Spectrum, donde la demanda y capacidad se convierten en aceleraciones y desplazamientos espectrales (S_a vs S_d), para encontrar el punto de desempeño. Como se muestran en las gráficas siguientes:

Figura 9

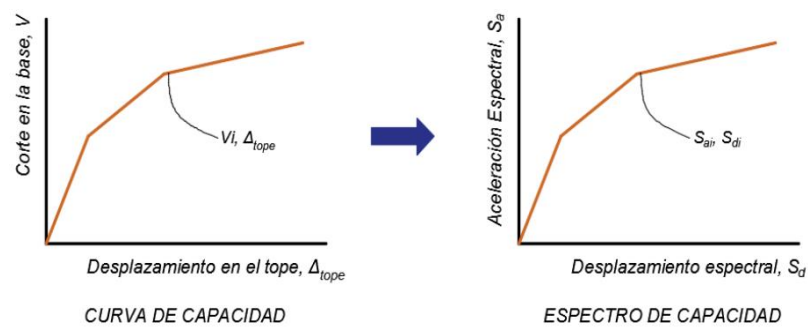
Conversión de la Curva Capacidad



Nota. Conversión de la curva capacidad en espectro capacidad. (Hernandez E. , 2022)

Figura 10

Conversión del espectro de respuesta

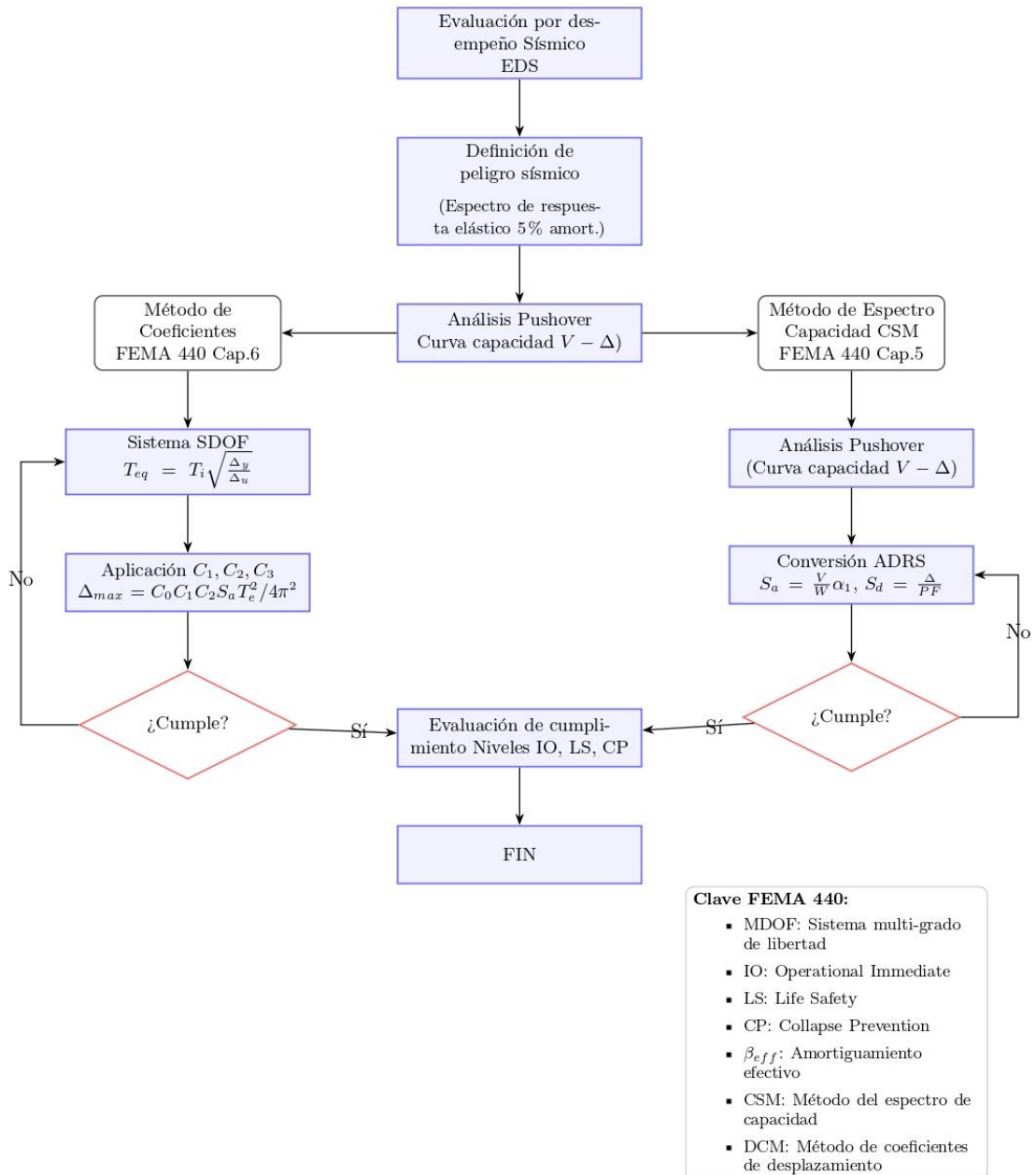


Nota. Conversión del espectro de respuesta en espectro de demanda. (Hernandez E. , 2022)

2.2.7.3. Diagrama de flujo del procedimiento FEMA 440

Figura 11

Diagrama de flujo del procedimiento FEMA 440



Nota. Elaboración propia

2.2.8. Modelos histeréticos para concreto armado

La histeresis de los elementos de concreto armado gobierna la degradación de rigidez y resistencia bajo cargas cíclicas. Modelos concentrados de rótula plástica y modelos de distribución de no linealidad reproducen acumulación de daño, pinching y pérdida de rigidez, condicionando la forma de la curva de capacidad y el punto de desempeño. La elección del modelo histerético (p. ej., bilineal con rigidez residual, degradación cíclica, reglas de transición) afecta la predicción local de rotaciones y la lectura de mecanismos globales (Ibarra, Medina, & Krawinkler, 2005; Park & Paulay, 1975).

Los modelos mas empleados para la evaluación del desempeño sísmico son los modelos constitutivos según la Metodología FEMA 440, por la capacidad de representación de la degradación y disipación de energía del concreto armado bajo cargas.

2.2.8.1. Modelos constitutivos del concreto armado

2.2.8.1.1. Modelo Kent – Park

Representa la curva tensión - deformación del concreto confinado y no confinado, considerando la pérdida de resistencia después del pico máximo. Permite una mejor representación del comportamiento postpico en columnas y vigas. (Kent & Park, 1971)

2.2.8.1.2. Modelo Menegotto - Pino

Define la respuesta histerética del acero de refuerzo, capturando el endurecimiento por deformación y la transición suave entre las ramas de carga y descarga. Es comúnmente implementado en software de análisis no lineal. (Menegotto & Pinto, 1973)

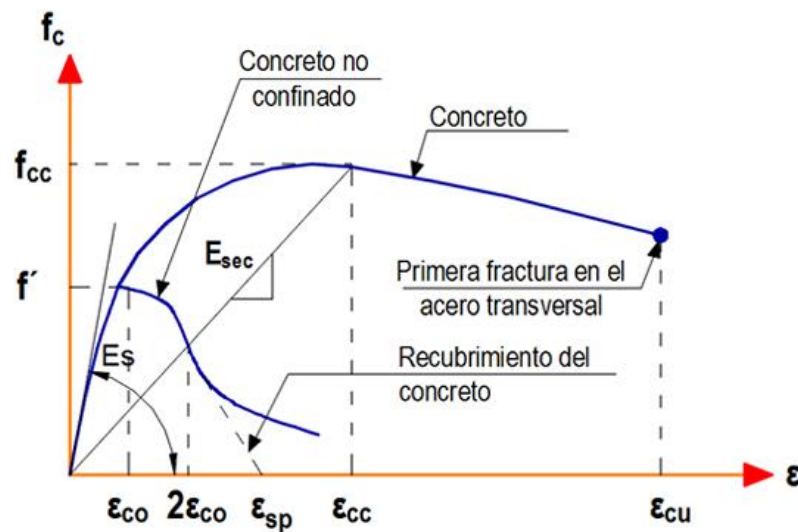
2.2.8.1.3. Modelo de Mander

Propuesto por (Mander & R.P., 1988), aplicable para elementos de distintas secciones transversales y de diferente nivel de confinamiento. Este

modelo es el mas utilizado en los análisis sísmicos de edificaciones, mismo que se basa en una ecuación sugerida por Popovics en el año 1973. Cabe destacar que este modelo es actualmente el más utilizado para concreto armado y concreto simple.

Figura 12

Comparación Esfuerzo - Deformación



Nota. La figura muestra la comparación de esfuerzo – deformación para un concreto confinado y no confinado. (Mander & R.P., 1988)

Donde:

- f'_{cc} : 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 f'_c
- ϵ_{sp} : Deformación unitaria última asociada al recubrimiento del concreto
- ϵ_{cc} : Deformación unitaria del concreto simple, asociada al esfuerzo máximo confinante
- E_c : Modulo de elasticidad del concreto no confinado
- E_{sec} : Modulo secante del concreto confinado asociado al esfuerzo máximo confinante.

La curva esfuerzo deformación se define mediante las siguientes ecuaciones:

$$f'_c = \frac{x * r * f'_{cc}}{r - 1 + x^r}$$

$$x = \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{cc}}$$

$$r = \frac{Ec}{Ec - E_{sec}}$$

$$\varepsilon_{cc} = \varepsilon_{co} * \left[1 + 5 \left(\frac{f'_{cc}}{f'_c} - 1 \right) \right]$$

2.2.9. Confinamiento de concreto y acero

El confinamiento del concreto y el modelo constitutivo del acero definen la rotación plástica disponible y la capacidad de disipación. La envolvente tensión-deformación de Mander para concreto confinado y los modelos bilineales del acero con endurecimiento isotrópico/cinemático permiten estimar la reserva posfluencia y los límites de rotación, parámetros esenciales para las rótulas de vigas y columnas. Una adecuada representación de confinamiento y detalles de armado es determinante para evitar modos frágiles (Mander, Priestley, & Park, 1988; Paulay & Priestley, 1992).

2.3. Definición de términos

Para la presente investigación, los términos utilizados con mayor frecuencia quedan definidos como a continuación se muestra:

Ductilidad:

Propiedad de algunos materiales para deformarse por acción de una fuerza sin llegar a romperse, los elementos que no poseen esta propiedad se denominan frágiles.

Desempeño Estructural:

Designa el comportamiento global de la estructura, en relación con los principales aspectos envueltos, protección de la vida de sus ocupantes y posibles daños estructurales. (Sampieri, 2010)

Desempeño sísmico

El desempeño sísmico es el estado que presenta una edificación ante un determinado evento sísmico. El desempeño sísmico en nuestro entorno de desempeño sismorresistente estará asociado principalmente a parámetros como: Desplazamiento, Deformación y Cortante Basal. (Aguiar R. , Análisis por Desempeño Sísmico, 2003)

Niveles de desempeño:

Son los niveles que indican cómo debería comportarse una estructura para la generar la seguridad de las personas durante y después del sismo ocurrido.

Concreto Armado:

Material compuesto formado por concreto y acero de refuerzo, que trabaja de manera conjunta para resistir esfuerzos de compresión y tracción en los elementos estructurales. (Mander & R.P., 1988) (Kent & Park, 1971)

Análisis Lineal:

Es aquel análisis donde las propiedades estructurales, tales como la rigidez y el amortiguamiento, son constantes y no varían con el tiempo. Todos los desplazamientos, esfuerzos, reacciones son directamente proporcionales a la magnitud de las fuerzas aplicadas. (Chávez, 2013)

Análisis No Lineal:

Es aquel análisis donde las propiedades estructurales pueden variar con el tiempo, la deformación y la carga. La respuesta suele ser no proporcional a las cargas, ya que las propiedades estructurales suelen variar, considerando la no linealidad geométrica y descartando de manera directa el principio de superposición. (Chávez, 2013)

Análisis Pushover:

Método estático no lineal utilizado para estimar la capacidad sísmica de una estructura, mediante la aplicación incremental de cargas horizontales hasta alcanzar un estado límite o colapso. Permite obtener la curva de capacidad y determinar el punto de desempeño. (FEMA440, 2005)

Curva capacidad:

La curva de capacidad es una relación que existe entre el desplazamiento en la estructura generado por una carga lateral aplicada en toda la altura de la estructura. Esta curva se obtiene por medio del análisis pushover. Mediante la curva de capacidad se obtiene el espectro de capacidad por medio de la conversión de la fuerza en aceleración. (Moreno Gonzalez, 2006)

Capacidad estructural

Relación entre la fuerza cortante basal y el desplazamiento lateral máximo que una estructura puede soportar antes de alcanzar su condición de colapso. (ATC-40, Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings, 1996)

2.4. Hipótesis

2.4.1. Hipótesis general

La aplicación de la Metodología FEMA 440 permite evaluar el desempeño sísmico de la edificación de concreto armado en Huancayo – 2024 a partir del análisis estático no lineal (pushover)

2.4.2. Hipótesis específicas

- El punto de desempeño y los niveles de desempeño obtenido con la metodología FEMA 440 puede determinarse por cada dirección y módulo estructural.

- Los parámetros de respuesta estructural (desplazamiento objetivo, deriva máxima de entrepiso, ductilidad global y sobre resistencia) de una edificación de concreto armado en Huancayo se obtendrá con la metodología FEMA 440.

2.5. Variables

2.5.1. Variable independiente

- Metodología FEMA 440

2.5.2. Variable dependiente

- Evaluación del desempeño sísmico

2.6. Operacionalización de variables

Cuadro 1

Matriz de Operacionalización de variables

Variable	Definición	Definición operacional	Dimensiones	Unidad de medida	Escala de medición	Instrumento
V.I.: Metodología FEMA 440.	Conjunto de procedimientos para la estimación del punto de desempeño estructural mediante el análisis estático no lineal (pushover), considerando la interacción entre la curva de capacidad y la demanda sísmica	La aplicación del procedimiento del análisis no lineal (pushover) para obtener la capacidad y el punto de desempeño según la metodología FEMA 440.	Método de coeficientes Método de Espectro capacidad	kN, mm, m	Adimensional	Software ETABS, calculo en Excel.
V.D.: Evaluación del desempeño sísmico	Proceso que determina la capacidad de una edificación para resistir una acción sísmica sin pérdida significativa de funcionalidad, seguridad o estabilidad.	Se medirá a través del análisis no lineal de la estructura (pushover) desarrollado en el software ETABS v21.0.1, obteniendo los principales parámetros de respuesta y el nivel de desempeño estructural alcanzado según los criterios de FEMA 440	Objetivos de desempeño Parámetros de respuesta estructural	%, mm, rad	Adimensional	Software ETABS, gráficos de desempeño, tablas de derivas, Software Excel.

Nota. Elaboración propia.

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ámbito temporal y espacial

3.1.1. Ámbito temporal

La investigación se desarrolló a lo largo de un período que abarca desde enero hasta de agosto de 2025. Durante este tiempo, se desarrolló la recopilación de información y el modelado de la estructura con el software ETABS v21.0.1, la aplicación de la metodología FEMA 440 y el análisis por desempeño de la edificación objeto de estudio. . Este intervalo temporal fue elegido para capturar una visión completa y representativa de los resultados.

3.1.2. Ámbito espacial

La investigación tuvo lugar en la ciudad de Huancayo, específicamente en el Palacio Municipal del distrito de El Tambo, edificación de concreto armado seleccionado como modelo representativo para la aplicación de la metodología FEMA 440 y la evaluación del desempeño sísmico de la estructura. Este enfoque busca resaltar la aplicación de tecnologías innovadoras en la aplicación de la metodología FEMA, donde se enfocó en evaluar el comportamiento sísmico de la estructura frente a una amenaza sísmica, en un entorno representativo de las condiciones reales de las edificaciones en Huancayo.

3.2. Tipo de investigación

El tipo de investigación es aplicada. Los proyectos de ingeniería civil están ubicados dentro de este tipo de clasificación además se basa sobre los descubrimientos, hallazgos y soluciones de la investigación orientada. Se le llama aplicada porque sus

resultados se pueden aplicar para la solución directa e inmediata de los problemas que les atañe (Borja, 2012). En esta investigación se obtendrá desplazamientos y deformaciones con el Análisis no lineal de una edificación de concreto armado mediante la Metodología FEMA 440.

3.3. Nivel de investigación

La presente investigación corresponde a un estudio de nivel descriptivo, puesto que busca analizar y caracterizar la respuesta sísmica de la estructura evaluada ante la ocurrencia de un evento sísmico, utilizando la metodología FEMA 440 como herramienta para la valoración de su desempeño estructural.

Según (Hernández Sampieri, Fernández, & Baptista, 2014), los estudios descriptivos se orientan a detallar las características, propiedades y comportamientos de un fenómeno o población determinada. En ese marco, la presente investigación corresponde a un nivel descriptivo, ya que tiene como propósito identificar, determinar y describir las particularidades de las variables de estudio dentro del contexto analizado.

3.4. Métodos de investigación

En términos generales, método es la vía o camino que se utiliza para llegar a un fin o para lograr un objetivo (Fidias G. Arias, 2012) (p.18).

3.4.1. Método general

Para realizar esta investigación se hace uso del Método Científico. “El método científico es el conjunto de pasos, técnicas y procedimientos que se emplean para formular y resolver problemas de investigación mediante la prueba o verificación de hipótesis” (Fidias G. Arias, 2012) (p.19)

3.4.2. Método específico

El método de estudio es el método analítico - experimental, ya que se modela el comportamiento del sistema estructural ante cargas y se analiza la respuesta mediante procedimientos numéricos.

De acuerdo con (Bernal Torres, 2010), el método analítico consiste en descomponer un todo en sus partes para conocer la naturaleza y las relaciones que existen entre ellas.

3.4.3. Enfoque de la investigación

Tiene un enfoque cuantitativo, debido a que, la recopilación de información se realizará mediante el análisis de datos numéricos obtenidos a partir del modelo estructural desarrollado en el software ETABS.

3.5. Diseño de investigación

El diseño de investigación es no experimental – descriptivo correlacional. Ya que las variables no son manipuladas intencionalmente, sino que se observan de acuerdo al modelo estructural simulado, cuyo propósito es describir el comportamiento sísmico de la edificación y establecer la relación entre la variable independiente (metodología FEMA 440) y la variable dependiente (evaluación del desempeño sísmico)

Según (Hernandez, Fernandez, & Baptista, 2014), los estudios no experimentales no se manipulan deliberadamente variables independientes; se observan los fenómenos tal como se dan en su contexto natural para después analizarlos.

Por ello dentro de este diseño, el estudio es descriptivo, porque caracteriza los parámetros estructurales obtenidos (desplazamientos, derivas, rotaciones y niveles de desempeño); y correlacional, ya que busca determinar la relación entre la aplicación de la metodología FEMA 440 y la evaluación del desempeño sísmico.

Cuadro 2

Diseño de investigación

Grupo	Medición de la variable independiente	Medición de la variable independiente
G.E.: Modelo estructural de concreto armado (edificación existente)	X1: Aplicación de la metodología FEMA 440	O1: Evaluación del desempeño sísmico

Nota. Elaboración propia.

$$GE: X_1 \rightarrow O_1$$

Donde:

- GE : Grupo de estudio (modelo estructural de la edificación).
- X_1 : Aplicación de la metodología FEMA 440
- O_1 : Resultados de la evaluación del desempeño sísmico

3.6. Población, muestra y muestreo

3.6.1. Población

La población para esta investigación son edificaciones de mediana altura en la ciudad de Huancayo.

3.6.2. Muestra

La muestra de la presente investigación es una edificación de concreto armado en la ciudad de Huancayo, lo cual es la edificación del Palacio Municipal del Distrito de El Tambo.

3.6.3. Muestreo

El muestreo es el proceso de selección de un subconjunto de individuos o elementos de una población para realizar un estudio o análisis. Este subconjunto, conocido

como muestra, debe ser representativo de la población total para que los resultados obtenidos puedan generalizarse a toda la población. Existen dos tipos principales de muestreo: muestreo probabilístico y muestreo no probabilístico (Trochim & Donnelly, 2008).

El muestreo intencionado, también conocido como muestreo juicioso, muestreo subjetivo, dirigido o no probabilístico, es una técnica de selección de muestra en la cual el investigador elige deliberadamente a los participantes basándose en sus características, conocimientos, experiencias o algún otro criterio específico relevante para el estudio. (Crossman, A, 2020).

Para esta investigación se utilizará el muestreo denominado “No probabilístico” o “Dirigido”, puesto que la muestra fue seleccionada de acuerdo con a la disponibilidad de información y la relevancia de la edificación dentro de la ciudad de Huancayo.

3.7. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.7.1. Técnicas de recolección de datos

La técnica de recolección de datos es mediante la Observación sistémica y el análisis documental.

(Fidias G. Arias, 2012) menciona qué: “La observación es una técnica que consiste en visualizar o captar mediante la vista, en forma sistemática, cualquier hecho, fenómeno o situación que se produzca en la naturaleza o en la sociedad, en función de unos objetivos de investigación preestablecidos” (p.69)

Se revisaron normas técnicas, manuales y documentos como FEMA 440, FEMA 356, ASCE/SEI 41-17, el Reglamento Nacional de Edificaciones (Norma E030 y E060), donde se pudo realizar el procedimiento de la evaluación del desempeño sísmico y los parámetros de respuesta estructural.

3.7.2. Instrumentos de recolección de datos

Los instrumentos utilizados para la recolección de datos son los siguientes:

- **Ficha de Observación:** Se empleó para recopilar y registrar información relacionada con las propiedades de los materiales, así como las características y parámetros del modelo estructural, entre otros aspectos relevantes.
- **Formatos de registro de resultados:** Corresponden a las hojas de cálculo utilizadas para sistematizar y procesar los datos obtenidos en la determinación de los parámetros estructurales.

3.8. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Para la evaluación del desempeño sísmico de la edificación mediante la metodología Federal Emergency Management Agency (FEMA 440), se emplearon técnicas de procesamiento y análisis enfocadas en la interpretación de los resultados obtenidos a partir del modelo estructural no lineal.

3.8.1. Procesamiento de los datos

En la presente investigación, los datos obtenidos a partir de los ensayos de esclerometría del concreto, los resultados del estudio de diamantina (peritaje) y los ensayos de tracción del acero fueron sistematizados y organizados mediante tablas y registros técnicos, con la finalidad de facilitar su procesamiento, interpretación y análisis. Asimismo, la información recopilada fue incorporada al modelamiento estructural físico y numérico, permitiendo evaluar las propiedades mecánicas reales de los materiales y su influencia en la respuesta no lineal de la edificación. Para el procesamiento y análisis de los resultados asociados a la evaluación del desempeño sísmico mediante la metodología Federal Emergency Management Agency (FEMA 440), se emplearon diversos programas especializados de análisis estructural.

se usaron los siguientes programas para el proceso y análisis de datos.

- AutoCAD
- Etabs
- Excel

3.8.2. Análisis de datos

Se realizó la validación de resultados obtenidos del análisis estructural que se desarrolló en el software ETABS verificando y comparando la curva de capacidad global de la edificación.

Se procesaron las estimaciones respecto a los desplazamientos, deriva, cortantes máximos para cada módulo y dirección analizada.

Los resultados del análisis se transformaron en parámetros estructurales representativos (curvas de capacidad), que reflejan el comportamiento global de la edificación frente a la acción sísmica.

Figura 14

Plano de planta de la edificación evaluada

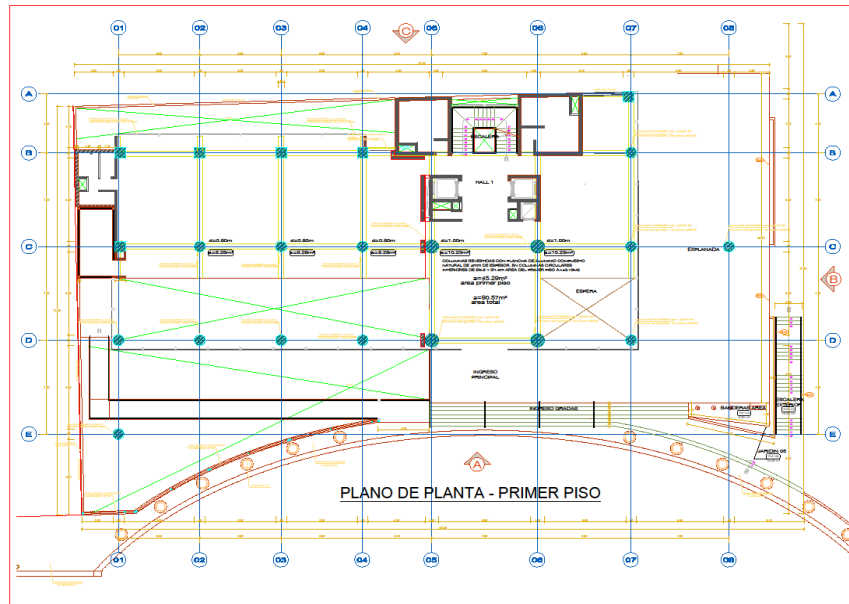


Figura 15

Plano de planta del Palacio Municipal del Distrito de El Tambo

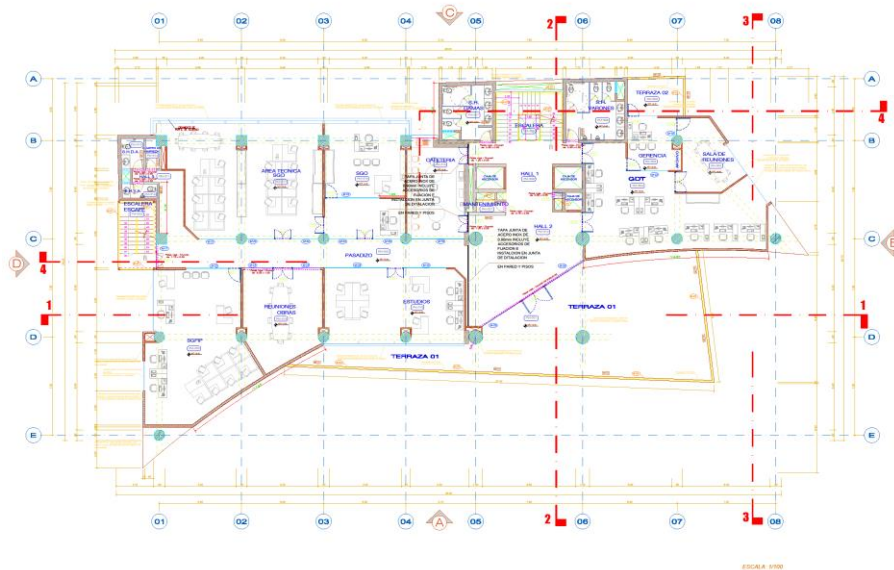


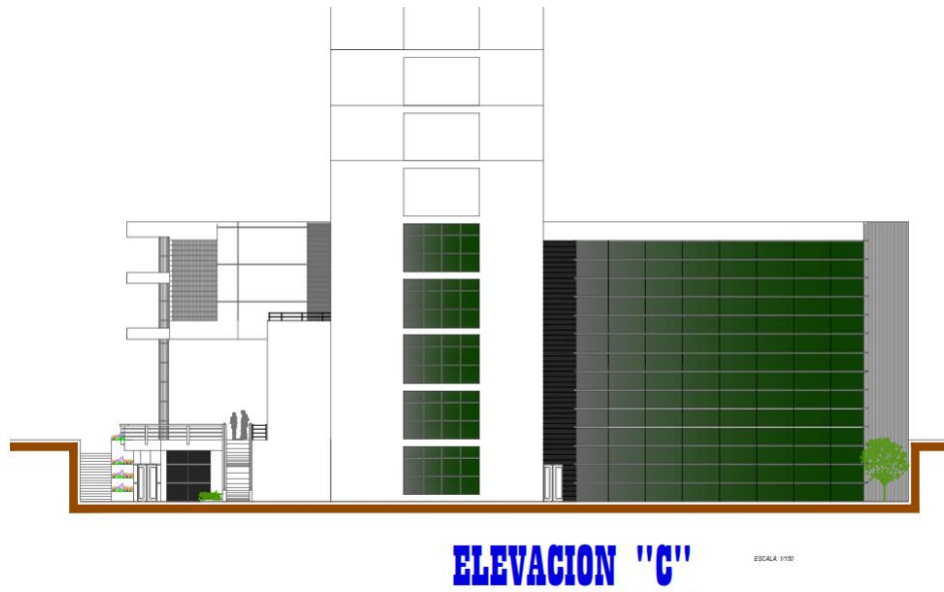
Figura 16

Plano de perfil A del Palacio Municipal del Distrito de El Tambo



Figura 17

Plano de perfil C del Palacio Municipal del Distrito de El Tambo



4.1.1.1. Módulo 1

A continuación, se tienen los siguientes resultados:

Cuadro 3

Parámetros del espectro sísmico dirección “x” del módulo 1

Parámetro	Valor
Nombre de Función	ESPECTRO X
Zona Sísmica	Zona 3
Categoría de Ocupación	C
Perfil Tipo	S1
Factor de Irregularidad (Ia)	0.9
Factor de Irregularidad (Ip)	0.9
Factor de Reducción Básico (R0)	7
Amortiguamiento (ξ)	5% (0.05)

Nota. Elaboración propia

El cuadro 3 muestra, el análisis que se llevó a cabo teniendo en cuenta una zona sísmica 3, correspondiente a una región de alta peligrosidad sísmica como Huancayo. La categoría de ocupación C indica que la construcción está destinada a un uso de ocupación intermedia, tal como una vivienda de múltiples residencias o una estructura administrativa. El tipo de suelo S1 de acuerdo al estudio de suelos en el proyecto primigenio de EMS, lo cual compone la cimentación de una estructura, inherentes a suelos rocosos o suelos muy rígidos. En el proceso del análisis se han implementado factores de irregularidad tanto en la planta ($I_p = 0.90$) como en la elevación ($I_a = 0.90$), lo cual evidencia algunas irregularidades debidas a la configuración arquitectónica de la estructura.

Figura 18

Irregularidad de peso o masa

Piso	Masa	Verificación 1	Verificación 2	1a	0.9
				Verificación 1	Verificación 2
Piso 1	49.83	1.34		OK	
Piso 2	37.09	1.01	0.74	OK	OK
Piso 3	36.56	0.63	0.99	OK	OK
Piso 4	57.93	1.00	1.58	OK	IRREGULAR
Piso 5	57.93	1.18	1.00		OK
Piso 6	49.24		0.85		OK

Nota. Elaboración propia

Figura 19

Irregularidad de esquinas entrantes

Y = 21.61 m EY = 12.00 m
X = 23.10 m EX = 17.10 m

X	Y
55.53	74.03

IE X IRREGULAR
IE Y IRREGULAR

Ip	0.9
----	-----

Nota. Elaboración propia

Cuadro 4

Espectro de respuesta en “x” del módulo 1

Periodo (s)	Aceleración (g)
0	0.1852
0.2	0.1852
0.3	0.1852
0.4	0.1852
0.5	0.1481

Nota. Elaboración propia

El cuadro 4 muestra que también se ha establecido el espectro con un amortiguamiento del 5 %, un valor estándar en estructuras convencionales de concreto armado. El valor de R_0 igual a 7 indica que se trata de un sistema estructural con una elevada capacidad de disipación de energía, tal como un pórtico dúctil. La configuración del espectro, en la cual las aceleraciones permanecen inalteradas en 0.1852 g hasta un periodo de 0.4 s y posteriormente disminuyen a 0.1481 g en 0.5 s, es característica de un espectro de diseño. Esta muestra la meseta de aceleración constante, correspondiente a la parte más crítica para estructuras de periodos cortos y medios.

Cuadro 5

Parámetros del espectro sísmico dirección “y” del módulo 1

Parámetro	Valor
Nombre de Función	ESPECTRO Y
Zona Sísmica	Zona 3
Categoría de Ocupación	C
Perfil Tipo	S1
Factor de Irregularidad (I_a)	0.9
Factor de Irregularidad (I_p)	0.85
Factor de Reducción Básico (R_0)	7
Amortiguamiento (ξ)	5% (0.05)

En el Cuadro 5 se aprecia que, para la dirección Y, se mantienen condiciones similares a las consideradas en la dirección X, tales como la ubicación en una zona sísmica tipo 3, una categoría de edificación C y un perfil de suelo S1. Sin embargo, se evidencia una variación importante en el factor de modificación de respuesta (R_0), cuyo valor es de 7, reflejando una menor capacidad de disipación de energía respecto a la dirección X. Esta diferencia podría atribuirse a variaciones en la configuración estructural, así como a la distribución de rigidez y resistencia de los elementos estructurales en dicha dirección.

Cuadro 6

Espectro de respuesta en “y” del módulo 1

Periodo (s)	Aceleración (g)
0	0.216
0.1	0.216
0.2	0.216
0.3	0.216
0.4	0.216
0.5	0.1728

Nota. Elaboración propia

El cuadro 6 muestra que, en relación con el espectro delimitado, se percibe una meseta de mayor tamaño, con una aceleración de 0.216 g constante hasta los 0.4 segundos de periodo, lo cual indica una demanda sísmica en este sentido. Desde los 0.5 segundos, la aceleración disminuye a 0.1728 g, conforme al patrón habitual del espectro de diseño. Esta discrepancia en los valores espectrales entre las dos direcciones (X e Y) podría sugerir que la estructura exhibe una respuesta más rigurosa en la dirección Y, lo cual debe ser tomado en cuenta en la evaluación del rendimiento estructural.

Verificación del sistema estructural

Una vez establecido el espectro de diseño y efectuado el análisis sísmico, se procede a verificar el sistema estructural mediante la comparación entre el corte dinámico total producido por el análisis modal espectral y el corte resistido por los elementos estructurales principales, en este caso, los muros de corte (placas estructurales). Esta evaluación es esencial para establecer si el sistema resistente lateral es apropiado para enfrentar las fuerzas sísmicas de diseño.

Figura 20

Cortante que toman los muros en "X"

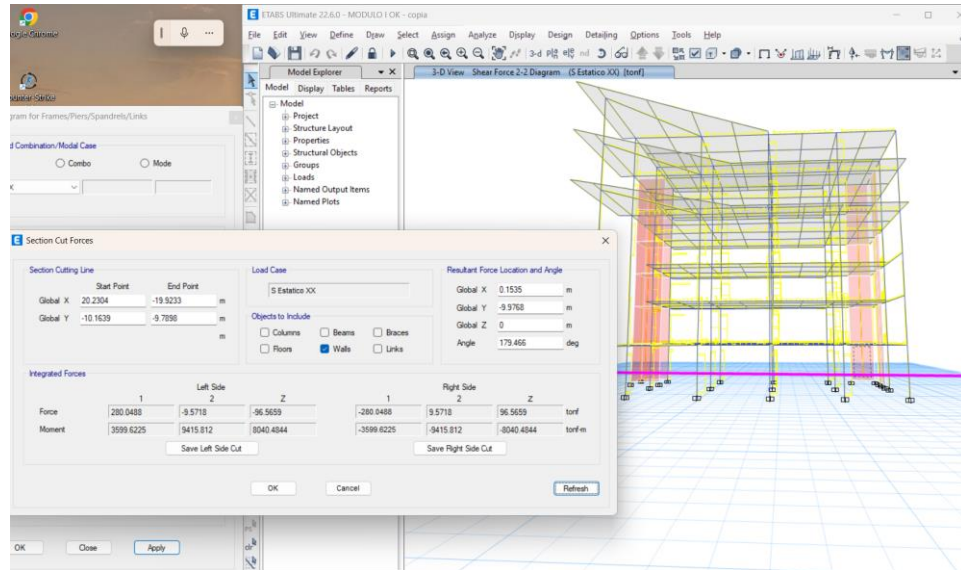


Figura 21

Cortante que toman los muros en "Y"

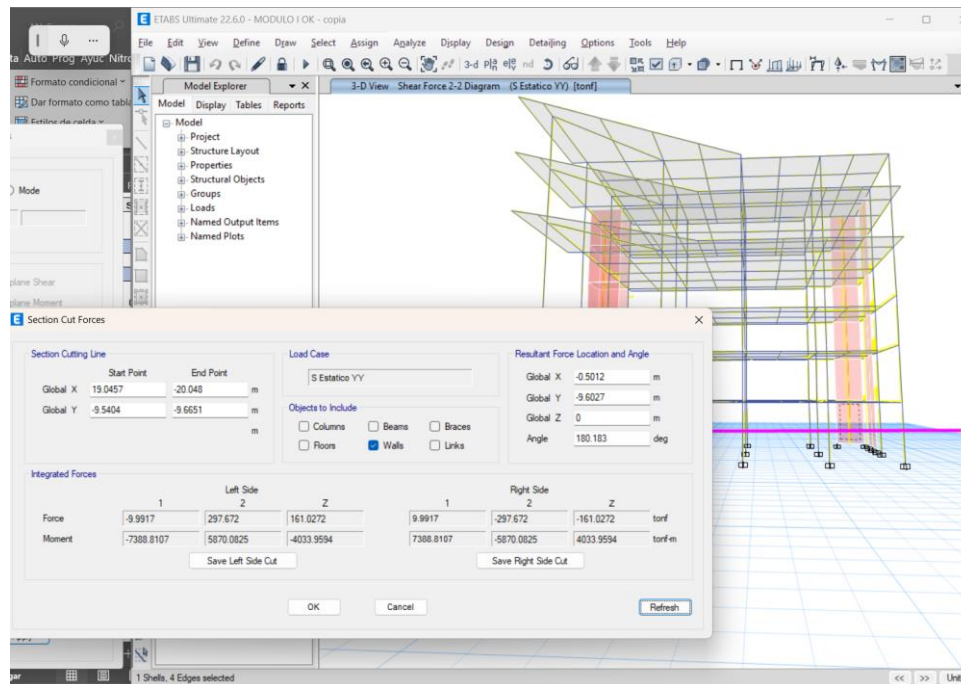


Figura 22

Verificación del sistema estructural

DIRECCIÓN X		DIRECCIÓN Y	
Vtot.	461.31	Vtot.	461.31
Vmuros	280.05	Vmuros	297.67
%Vmuros	61%	%V muros	65%
SISTEMA ESTRUCTURAL			
DUAL TIPO I		DUAL TIPO I	

Cuadro 7

Verificación del sistema estructural en "X" e "Y" del módulo 1

VERIFICACION DE SISTEMA ESTRUCTURAL	
Cortante Estática X	461.31
Placas X	280.05
	61%
Cortante Estática Y	461.31
Placas Y	297.67
	65%
Nota. Elaboración propia	

El Cuadro 7 evidencia que, en la dirección X, la estructura presenta una carga total de corte estático de 461.31 toneladas, de las cuales los muros estructurales absorben 280.05 toneladas, equivalente al 61 % de la resistencia lateral total. Este resultado indica que las placas estructurales aportan más de la mitad de la capacidad resistente frente a fuerzas laterales en dicha dirección de análisis. Conforme a lo establecido en el artículo 16 de la Norma E.030, cuando los muros estructurales resisten entre el 20 % y el 70 % de la fuerza cortante, el sistema estructural se clasifica como dual.

De igual manera, para la dirección Y, el esfuerzo cortante dinámico registrado es de 461.31 toneladas, mientras que las placas estructurales contribuyen con 297.67

toneladas, representando aproximadamente el 65 % de la resistencia lateral total. Este comportamiento confirma que las placas desempeñan un papel predominante en la resistencia sísmica de la estructura en esta dirección. De acuerdo con los criterios de la Norma E.030, la participación de los muros estructurales dentro del rango señalado permite identificar igualmente al sistema resistente como un sistema dual.

4.1.1.2. Módulo 2

A continuación, se tienen los siguientes resultados:

Cuadro 8

Parámetros del espectro sísmico dirección “x” del módulo 2

Parámetro	Valor
Zona Sísmica	Zona 3
Categoría de Ocupación	C
Perfil Tipo	S1
Factor de Irregularidad, I_a	0.75
Factor de Irregularidad, I_p	0.85
Factor de Modificación de Respuesta Básica, R_0	7

Nota. Elaboración propia

Los parámetros sísmicos contemplados para el diseño en la dirección X del Módulo 2. La construcción se sitúa en una zona sísmica (zona 3), una zona de alta peligrosidad sísmica, con una categoría de ocupación C (utilidad común), y sobre un tipo de suelo S1. Además, se detectan factores de irregularidad dados De acuerdo con la configuración arquitectónica de la estructura, se consideran irregularidades tanto en elevación ($I_a = 0.75$) como en planta ($I_p = 0.85$). junto con un coeficiente de reducción de respuesta sísmica básica (R_0) igual a 7, valores esenciales para establecer el espectro de diseño y evaluar la demanda sísmica sobre la estructura.

Irregularidades en altura (Ia):

Figura 23

Irregularidad en altura

IRREGULARIDAD DE RIGIDEZ - PISO BLANDO

Direccion X-X		Desplaz_Abs	Desplaz_Rel		Ia=	1	Ia=	1
PISO	Vi	s_CM	a_CM	Rigidez	RELACION 1	RELACION 2	Verificacion1	Verificacion 2
Semi sotano	253.45	0.120	0.120	2108.57	2.03	2.26	OK	OK
Story1	244.75	0.356	0.236	1037.06	0.85	1.31	OK	OK
Story2	219.38	0.536	0.180	1220.80	2.23	2.15	OK	OK
Story3	205.48	0.912	0.376	547.08	0.89	1.09	OK	OK
Story4	176.95	1.200	0.288	614.42	1.13	1.45	OK	OK
Story5	153.31	1.481	0.282	544.24	1.55	1.61	OK	OK
Story6	136.26	1.870	0.3888	350.47	0.94	1.36	OK	OK
Story7	120.01	2.192	0.322	373.16	1.29		OK	
Story8	92.79	2.512	0.321	289.44	2.64		OK	
Story9	49.88	2.968	0.456	109.52				

Direccion Y-Y		Desplaz_Abs	Desplaz_Rel		Ia=	1	Ia=	0.75
PISO	Vi	s_CM	la_CM	Rigidez	RELACION 1	RELACION 2	Verificacion1	Verificacion 2
Semi sotano	461.1195	0.1257	0.1257	3668.41	1.96	1.86	OK	OK
Story1	452.5201	0.3675	0.2418	1871.46	0.66	1.06	IRREGULAR	OK
Story2	426.9102	0.5174	0.1499	2847.97	2.40	2.28	OK	OK
Story3	410.149	0.8636	0.3462	1184.72	0.93	0.89	OK	OK
Story4	372.3472	1.1555	0.2919	1275.60	0.99	1.09	OK	OK
Story5	329.3054	1.4099	0.2544	1294.44	0.91	1.39	OK	OK
Story6	275.659	1.6037	0.1938	1422.39	1.77	2.57	OK	OK
Story7	216.1369	1.8723	0.2686	804.68	1.40		OK	
Story8	146.5725	2.1269	0.2546	575.70	2.05		OK	
Story9	68.0966	2.3693	0.2424	280.93				

Irregularidades en planta (Ip):

Figura 24

Irregularidad en planta

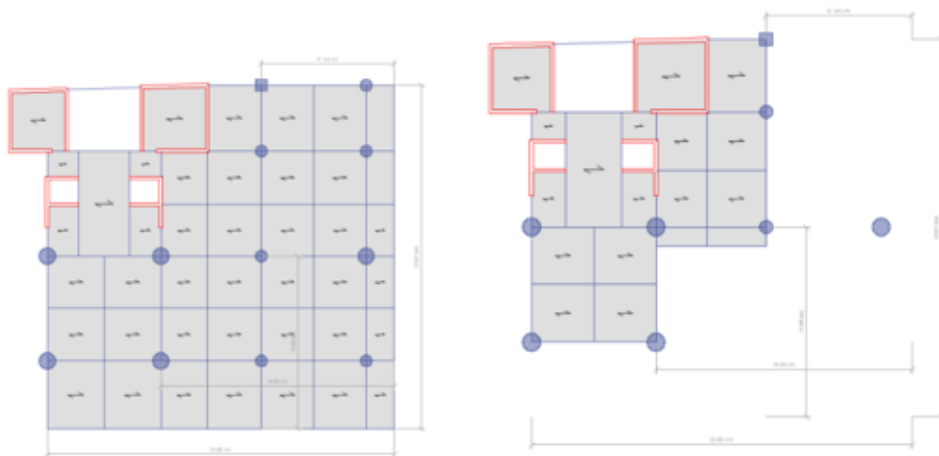


Figura 25

Irregularidad de discontinuidad de diafragma

IRREGULARIDAD DE DISCONTINUIDAD DE DIAFRAGMA

Ip	0.85
-----------	-------------

Cuadro 9

Espectro de respuesta en “x” del módulo 2

Período (s)	Aceleración
0	0.2701
0.1	0.2701
0.2	0.2701
0.3	0.2701
0.4	0.2701
0.5	0.216

Nota. Elaboración propia

El cuadro 9 presenta el espectro de respuesta correspondiente a la dirección x. correspondiente al módulo 2. Se constata que durante los intervalos de tiempo comprendidos entre 0 y 0.4 segundos, la aceleración espectral permanece invariable en 0.2701 g, lo cual indica una elevada demanda sísmica para estructuras rígidas o de baja flexibilidad. Desde 0.5 segundos, la aceleración se reduce a 0.216 g, indicando una disminución en la demanda de estructuras más flexibles. Este comportamiento es congruente con la teoría espectral y debe ser tomado en cuenta en la evaluación del rendimiento sísmico de acuerdo con FEMA 440.

Cuadro 10

Parámetros del espectro sísmico-dirección y del módulo 2

Parámetro	Valor
Zona Sísmica	Zona 3
Categoría de Ocupación	C

Perfil Tipo	S1
Factor de Irregularidad, I_a	0.75
Factor de Irregularidad, I_p	0.85
Factor de Modificación de Respuesta Básica, R_0	7

Nota. Elaboración propia

El cuadro 10 sintetiza los parámetros sísmicos empleados para la evaluación en dirección Y del módulo 2. La construcción está situada en la zona sísmica (zona 3), que corresponde a una zona de alta sismicidad de acuerdo con la normativa peruana. La Categoría de Ocupación C indica que se trata de una construcción de relevancia intermedia, tales como oficinas o viviendas de múltiples residencias. El tipo de suelo S1 denota buenas condiciones sobre las cuales realizar la cimentación de una estructura, inherentes a suelos rocosos o suelos muy rígidos. Durante el desarrollo del análisis estructural se consideraron factores de irregularidad en planta ($I_p = 0.75$) y en elevación ($I_a = 0.85$), lo que pone de manifiesto la presencia de irregularidades asociadas a la configuración arquitectónica de la edificación. Finalmente, se adoptó un factor básico de modificación de respuesta $R_0 = 7$, lo que indica un sistema estructural con una capacidad óptima para disipar energía, lo que permite la reducción de las fuerzas sísmicas a través de un comportamiento inelástico controlado.

Cuadro 11

Espectro respuesta en "Y" del módulo 2

Período (s)	Aceleración
0	0.2701
0.1	0.2701
0.2	0.2701
0.3	0.2701
0.4	0.2701
0.5	0.216

Nota. Elaboración propia

El cuadro 11 ilustra el espectro de respuesta en dirección Y correspondiente al módulo 2. Se constata que, desde el intervalo de 0 hasta 0.4 segundos, la aceleración espectral permanece constante en 0.2701 g. Esto sugiere una demanda sísmica elevada en dicho intervalo de tiempo, correspondiente a estructuras más robustas. Desde 0.5 segundos, la aceleración disminuye hasta 0.216 g, lo cual indica una reducción en la exigencia sísmica para estructuras más flexibles. Esta conducta es propia de los espectros de respuesta y debe ser considerada al evaluar el rendimiento sísmico de la estructura utilizando la metodología FEMA 440.

Figura 26

Cortante que toman los muros en "X"

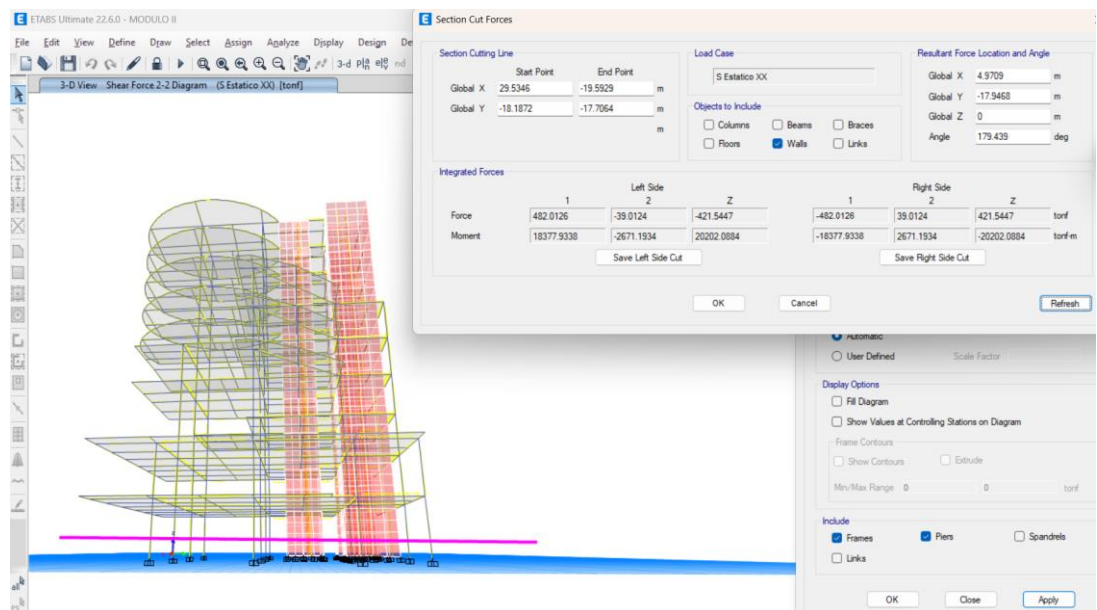


Figura 27

Cortante que toman los muros en "Y"

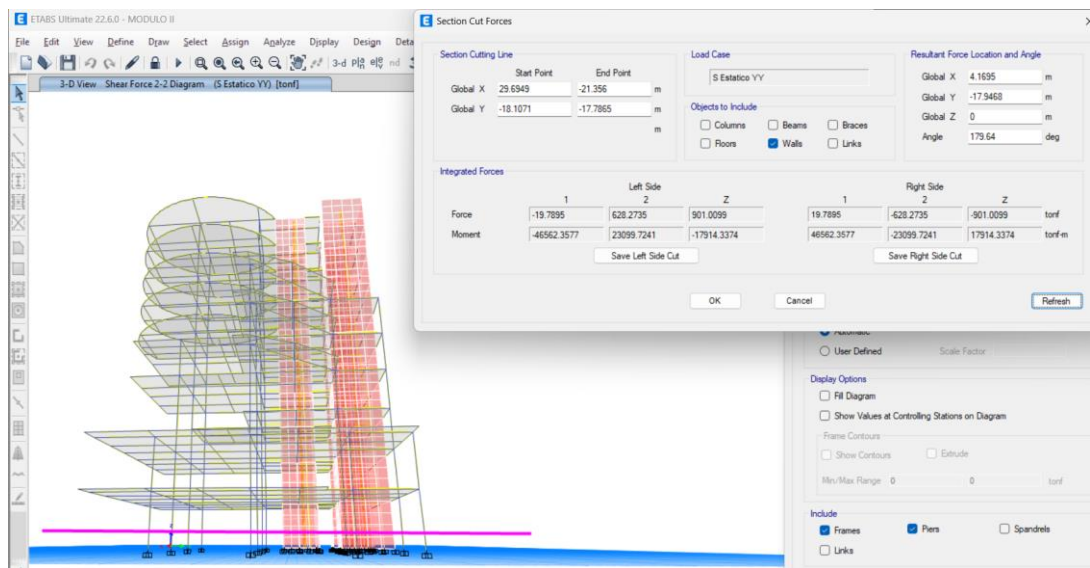


Figura 28

Verificación del sistema estructural

DIRECCIÓN X		DIRECCIÓN Y	
Vtot.	608.58	Vtot.	731.28
Vmuros	482.01	Vmuros	628.27
%V muros	79%	%V muros	86%
SISTEMA ESTRUCTURAL			
MUROS ESTRUCTURALES		MUROS ESTRUCTURALES	

Cuadro 12

Verificación de sistema estructural en "x" e "y" del módulo 2

VERIFICACION DE SISTEMA ESTRUCTURAL	
Cortante Estática X	608.58
Placas X	482.01
	79%
Cortante Estática Y	731.28

Placas Y	628.27
	86%

Nota. Elaboración propia

El Cuadro 12 presenta el comportamiento del sistema estructural del módulo 2 frente a las solicitaciones sísmicas en las direcciones X e Y. Para la dirección X, el cortante dinámico total alcanza un valor de 608.58 Tn, mientras que las placas estructurales absorben aproximadamente el 79 % de la demanda sísmica, con una contribución de 482.01 Tn. Por otro lado, en la dirección Y, el cortante basal total es de 731.28 Tn, de las cuales las placas resisten 628.27 Tn, representando el 86 % de la demanda sísmica en dicha dirección de análisis.

4.1.2. Irregularidades

Según lo establecido en la Normativa E.030 - Diseño Sismorresistente, resulta fundamental evaluar las edificaciones considerando la existencia de irregularidades estructurales que puedan afectar su desempeño y respuesta ante la ocurrencia de eventos sísmicos. Estas anomalías pueden ser de naturaleza de masa, de rigidez, geométricas (en planta o elevación), o debido a discontinuidades en la estructura. La identificación de estas condiciones facilita una toma de decisiones fundamentales en el diseño y reforzamiento a fin de asegurar un comportamiento apropiado en situaciones de terremotos.

4.1.2.1. Irregularidad de masa o peso:

Cuadro 13

Irregularidad de peso o masa del módulo 1

Irregularidad de masa o peso				
1	67.89	1.72	1.00	No Cumple
2	39.44	0.73	0.58	Cumple
3	53.94	1.01	1.37	Cumple
4	53.50	1.05	0.99	Cumple
5	50.84	1.20	0.95	Cumple

6	42.42	1.00	0.83	Cumple
7	42.42	1.01	1.00	Cumple
8	42.10		0.99	
9	32.81		0.78	

Nota. Elaboración propia

El cuadro 13 muestra los resultados donde se evidencia la evaluación de la irregularidad de la masa por nivel. De acuerdo con la normativa E.030, se define como irregularidad de peso o masa, cuando el peso es mayor o supera 1.5 veces el peso de un nivel continuo. En este escenario, se puede constatar que el piso 1 exhibe una relación de 1.72, excediendo el límite permisible. En consecuencia, no satisface las regulaciones y se considera que existe una irregularidad en la masa en el cuarto nivel, lo cual podría provocar concentraciones de esfuerzos durante un sismo. Los demás niveles presentan valores dentro de los límites permisibles, por lo que se considera que satisfacen los requisitos establecidos por la normativa.

4.1.2.2. Irregularidad geométrica vertical

Cuadro 14

Irregularidad geométrica vertical del módulo 1

Irregularidad geométrica vertical		
Área máxima	466.27	m2
Área menor	255.64	m2
	1.82393209	IRREGULAR

Nota. Elaboración propia

El cuadro 14 muestra la irregularidad geométrica vertical, donde se evalúa a través de la proporción entre el área construida más amplia y la más reducida en altura. El valor adquirido fue de 1.82, lo cual excede el límite de 1.5 estipulado por la normativa, clasificando a la edificación como estructuralmente irregular en altitud. Esto sugiere que se han producido modificaciones significativas en la disposición vertical de la estructura arquitectónica (tales como retrocesos o disminuciones abruptas en el área construida), lo

cual podría provocar concentraciones de esfuerzos y comportamiento inadecuado durante un sismo.

4.1.2.3. Discontinuidad de los sistemas estructurales

Se especifica de manera explícita que no se observan discontinuidades en los sistemas estructurales. Esto implica que los principales componentes estructurales (muros de corte, columnas y vigas) mantienen una continuidad vertical entre niveles, lo cual es aconsejable para garantizar una transferencia efectiva de cargas sísmicas hacia la cimentación, asegurando un comportamiento estructural más estable y seguro.

4.1.3. Análisis estático no lineal

El análisis lineal estático, conocido también como método de fuerzas estáticas equivalentes, constituye uno de los procedimientos más utilizados en el diseño sismorresistente de edificaciones. Dicho método consiste en representar los efectos de la acción sísmica mediante la aplicación de fuerzas horizontales equivalentes, determinadas a partir de parámetros como la masa, la altura y las propiedades dinámicas de la estructura. Asimismo, este tipo de análisis es exigido por la normativa E.030 - Diseño Sismorresistente y se aplica principalmente en edificaciones regulares y de altura limitada, permitiendo obtener una aproximación inicial del comportamiento estructural frente a solicitaciones sísmicas.

Cuadro 15

Parámetros sísmicos del módulo 1

PARÁMETROS SÍSMICOS	X	Y
Z - Factor de Zona	0.35	0.35
U - Coef. Importancia	1.00	1.00
S - Factor de Suelo	1.00	1.00
T _p - Periodo Predomina	0.37	0.37
TL - Periodo Local	2.50	2.50
T - Periodo fundamental	0.67	0.58

C - Factor de amplificación sísmica	2.50	2.50
Ro - Coeficiente básico de reducción	7.00	7.00
Ia - Factor de irregularidad en altura	0.90	0.90
Ip - Factor de irregularidad en planta	0.90	0.90
Verificación de Irregularidad	Irregular	Irregular
R - Coeficiente de reducción	5.36	5.36
ZUCS/R	0.163	0.163
Relación. C/R	0.467	0.467
Verificación Artículo 28.2.2	Cumple	Cumple
Factor de Desplazamiento	5.95	5.10
<u>Kx Factor de distribución de fuerzas sísmicas</u>	<u>1.09</u>	<u>1.05</u>

Nota. Elaboración propia

El cuadro 15 de parámetros sísmicos exhibe los valores contemplados para el diseño sísmico de la construcción, de acuerdo a la norma E.030. Se encuentra en la Zona 3, con un suelo de tipo S1 y una categoría de ocupación C. Se pueden observar periodos fundamentales diferenciados en las direcciones X e Y, así como factores de amplificación sísmica, reducción y distribución de fuerzas, los cuales facilitan la evaluación del comportamiento sísmico anticipado de la edificación. Además, se constata la existencia de anomalías en la planta y en la altura, y se confirma que la edificación cumple con lo estipulado en el artículo 28.2.2 de la normativa.

Cuadro 16

Espectro de pseudo aceleración del módulo 1

ESPECTRO DE PSEUDO ACELERACIÓN					
Periodo "T"(seg)	Factor C	Dirección X-X		Dirección Y-Y	
		Sa(g)	Sa	Sa(g)	Sa
0.0000	2.5000	0.1852	1.8167	0.2160	2.1194
0.1000	2.5000	0.1852	1.8167	0.2160	2.1194
0.2000	2.5000	0.1852	1.8167	0.2160	2.1194
0.3000	2.5000	0.1852	1.8167	0.2160	2.1194

0.4000	2.5000	0.1852	1.8167	0.2160	2.1194
0.5000	2.0000	0.1481	1.4533	0.1728	1.6956
0.6000	1.6667	0.1235	1.2111	0.1440	1.4130
0.7000	1.4286	0.1058	1.0381	0.1235	1.2111
0.8000	1.2500	0.0926	0.9083	0.1080	1.0597
0.9000	1.1111	0.0823	0.8074	0.0960	0.9420
1.0000	1.0000	0.0741	0.7267	0.0864	0.8478
1.1000	0.9091	0.0673	0.6606	0.0786	0.7707
1.2000	0.8333	0.0617	0.6056	0.0720	0.7065
1.3000	0.7692	0.0570	0.5590	0.0665	0.6521

Nota. Elaboración propia

El cuadro 16 del espectro de pseudo aceleración ilustra la fluctuación del valor de S_a (aceleración espectral) en relación con el período estructural T , tanto en la dirección X como en la dirección Y, observándose que la pseudoaceleración máxima se presenta en los periodos iniciales, etapa en la cual el factor de amplificación sísmica (C) alcanza su valor más elevado., con una disminución progresiva conforme el periodo se incrementa. Este fenómeno es característico de estructuras con rigidez elevada al inicio, donde se concentran las sollicitaciones sísmicas más elevadas. Esta información resulta indispensable para la evaluación del comportamiento dinámico de la construcción y la adecuada distribución de fuerzas en función de su periodo predominante.

Cuadro 17

Parámetros sísmicos del módulo 2

PARÁMETROS SÍSMICOS	X	Y
Z - Factor de Zona	0.35	0.35
U - Coef. Importancia	1.00	1.00
S - Factor de Suelo	1.00	1.00
T_p - Periodo Predominal	0.40	0.40
TL - Periodo Local	2.50	2.50
C - Factor de amplificación sísmica	2.50	2.50

Ro - Coeficiente básico de reducción	6.00	6.00
Ia - Factor de irregularidad en altura	0.75	0.75
Ip - Factor de irregularidad en planta	0.85	0.85
Verificación de Irregularidad	Irregular	Irregular
R - Coeficiente de reducción	4.59	4.59
ZUCS/R	0.124	0.124
Relación. C/R	0.42	0.42
Verificación Artículo 28.2.2	Cumple	Cumple
Factor de Desplazamiento	5.10	5.10
Kx Factor de distribución de fuerzas sísmicas	1.00	1.00

Nota. Elaboración propia

El cuadro 17 sintetiza los parámetros sísmicos del módulo 2 en las direcciones X y Y. La construcción se sitúa en la Zona 3 con un tipo de suelo S1 lo cual conlleva una amenaza sísmica elevada. Posee la categoría de ocupación C y exhibe anomalías en su planta y altura, factores que inciden en su comportamiento estructural. El coeficiente de reducción sísmica R presenta un valor de 4.59, cumpliendo con las disposiciones establecidas en el Artículo 28.2.2 del Reglamento Nacional de Edificaciones, lo que valida el adecuado comportamiento sismorresistente del sistema estructural. Asimismo, se considera un factor de amplificación de desplazamientos de 5.10 y una distribución uniforme de las fuerzas sísmicas, representada por $K_x = 1$.

Cuadro 18

Espectro de pseudo aceleración del módulo 2

ESPECTRO DE PSEUDO ACELERACIÓN					
Periodo “T”(seg)	Factor C	Dirección X-X		Dirección Y-Y	
		Sa(g)	Sa	Sa(g)	Sa
0.0000	2.5000	0.2701	2.6493	0.2701	2.6493
0.1000	2.5000	0.2701	2.6493	0.2701	2.6493
0.2000	2.5000	0.2701	2.6493	0.2701	2.6493

0.3000	2.5000	0.2701	2.6493	0.2701	2.6493
0.4000	2.5000	0.2701	2.6493	0.2701	2.6493
0.5000	2.0000	0.2160	2.1194	0.2160	2.1194
0.6000	1.6667	0.1800	1.7662	0.1800	1.7662
0.7000	1.4286	0.1543	1.5139	0.1543	1.5139
0.8000	1.2500	0.1350	1.3247	0.1350	1.3247
0.9000	1.1111	0.1200	1.1775	0.1200	1.1775
1.0000	1.0000	0.1080	1.0597	0.1080	1.0597
1.1000	0.9091	0.0982	0.9634	0.0982	0.9634
1.2000	0.8333	0.0900	0.8831	0.0900	0.8831
1.3000	0.7692	0.0831	0.8152	0.0831	0.8152

Nota. Elaboración propia

El cuadro 18 ilustra el espectro de pseudo aceleración correspondiente al módulo 2 en ambas direcciones, específicamente en X e Y. Se constata que para los intervalos temporales comprendidos entre 0.0 y 0.4 segundos, el factor de amplificación sísmica C permanece invariable en 2.5, alcanzando una aceleración máxima de 0.2701 g, que constituye el valor de diseño más riguroso. Desde los 0.5 segundos, los valores de C y Sa experimentan una disminución progresiva, un fenómeno común en estructuras con períodos de tiempo más extensos, donde la demanda sísmica también tiende a disminuir. Las aceleraciones se encuentran equivalentes en ambas direcciones, lo que evidencia una respuesta estructural simétrica frente a la acción sísmica.

4.1.4. Análisis estático no lineal

4.1.4.1. Modelado del módulo 1

Para el análisis del módulo 1 en primer lugar, Posteriormente, se realizó el modelamiento estructural mediante el uso del programa ETABS, empleando como base la información contenida en los planos arquitectónicos, a partir de los cuales se obtuvo lo siguiente:

Figura 29

Definición de espacio de dibujo o grillas en alturas.

The 'Story Data' dialog box contains a table with the following data:

Story	Height cm	Elevation cm	Master Story	Similar To	Splice Story	Splice Height cm	Story Color
Story6	360	2240	No	None	No	0	Green
Story5	360	1880	No	None	No	0	Red
Story4	360	1520	No	None	No	0	Yellow
Story3	360	1160	No	None	No	0	Blue
Story2	400	800	No	None	No	0	Cyan
Story1	400	400	No	None	No	0	Magenta
Base		0					

Below the table is a 'Note: Right Click on Grid for Options' and a 'Refresh View' button. At the bottom are 'OK' and 'Cancel' buttons.

Figura 30

Definición de espacio de dibujo o grillas en planta

The 'Grid System Data' dialog box includes the following sections:

- Grid System Name:** G1
- System Origin:** Global X: 0 cm, Global Y: 0 cm, Rotation: 0 deg
- Story Range Option:**
 - ☒ Default - All Stories
 - ☐ User Specified
 - Top Story: Story6
 - Bottom Story: Base
- Click to Modify/Show:** Reference Points..., Reference Planes...
- Options:** Bubble Size: 87 cm, Grid Color: (dark grey)
- Rectangular Grids:**
 - ☒ Display Grid Data as Ordinates
 - ☐ Display Grid Data as Spacing
- X Grid Data:**

Grid ID	X Ordinate (cm)	Visible	Bubble Loc
1	0	Yes	End
1a	303	Yes	End
2	603	Yes	End
3	903	Yes	End
4	1203	Yes	End
4a	1503	Yes	End
- Y Grid Data:**

Grid ID	Y Ordinate (cm)	Visible	Bubble Loc
E1	0	Yes	Start
E	240	Yes	Start
E2	492	Yes	Start
D	695.35	Yes	Start
	960	Yes	Start
C	1440	Yes	Start

Buttons for 'Add', 'Delete', and 'Sort' are provided for both grid data tables. A 'Quick Start New Rectangular Grids...' button is also present.

Luego de establecer el entorno de modelamiento, se procedió a definir las propiedades de los materiales, tales como el concreto y el acero de refuerzo, los cuales

fueron asignados a los diferentes elementos estructurales, incluyendo columnas, vigas y muros.

Figura 31

Definición de materiales

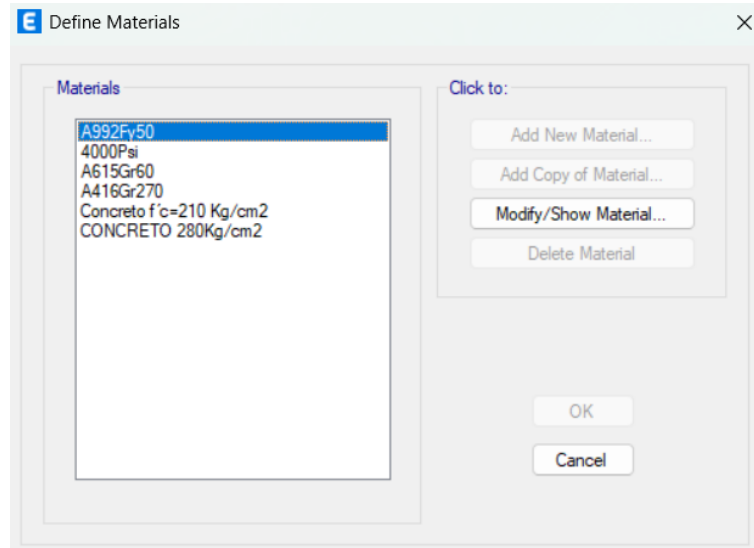


Figura 32

Definición de secciones de los elementos estructurales

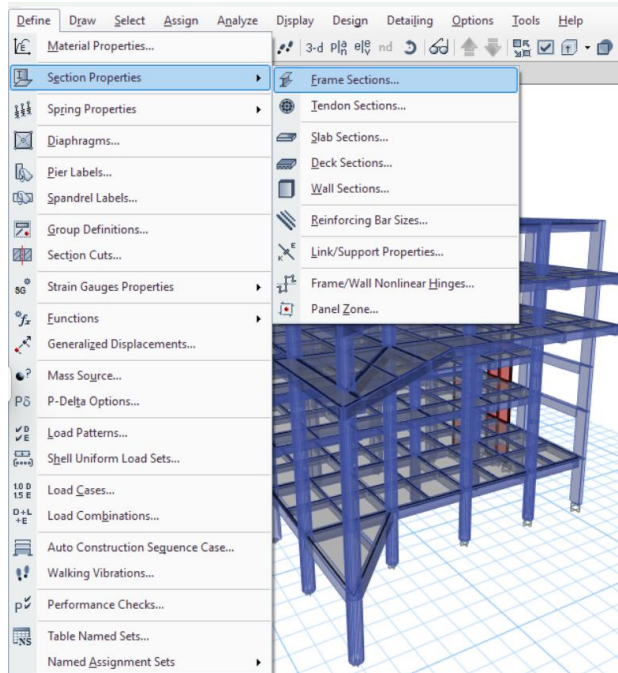


Figura 33

Elementos columnas

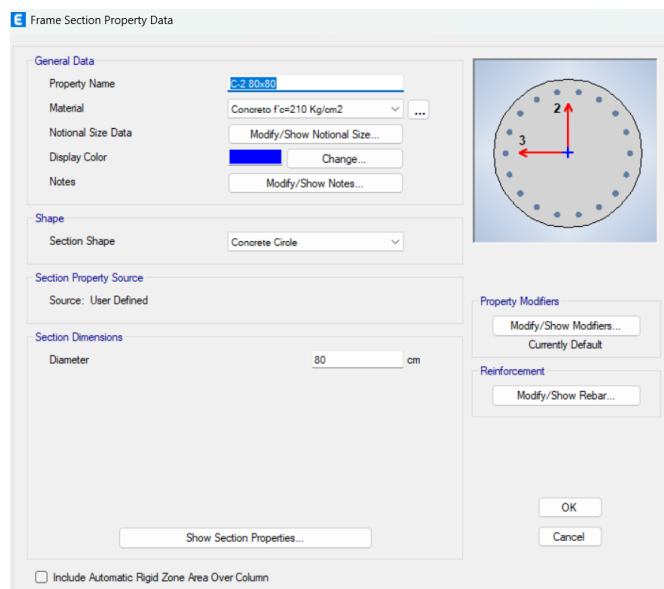


Figura 34

Elementos viga

Frame Section Property Data

General Data

Property Name: VA 40x70

Material: Concreto f_c=210 Kg/cm²

Notional Size Data: Modify/Show Notional Size...

Display Color: Change...

Notes: Modify/Show Notes...

Shape

Section Shape: Concrete Rectangular

Section Property Source

Source: User Defined

Section Dimensions

Depth: 70 cm

Width: 40 cm

Property Modifiers

Modify/Show Modifiers...
Currently User Specified

Reinforcement

Modify/Show Rebar...

Show Section Properties...

☐ Include Automatic Rigid Zone Area Over Column

OK

Cancel

Figura 35

Elementos Wall o definición de muros

Wall Properties

Wall Property

Muro-25

PL-20

PL-25

PL-30

Wall1

Wall10

Click to:

Add New Property...

Add Copy of Property...

Modify/Show Property...

Delete Property

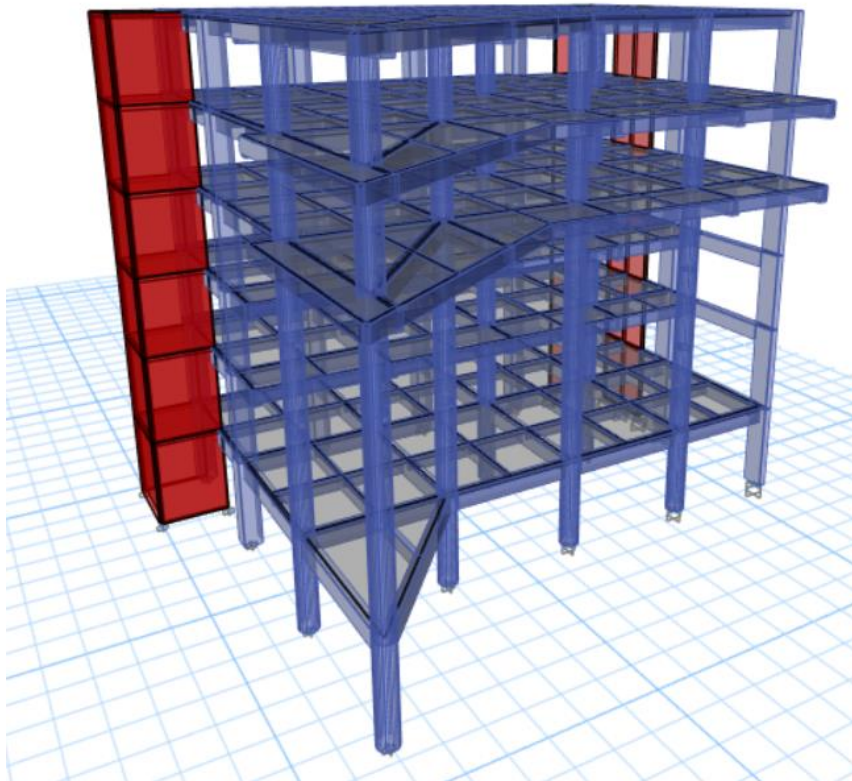
OK

Cancel

Después de haber definido tanto los materiales y las secciones geométricas se realizó el modelo tridimensional obteniendo así el modelo que se puede apreciar a continuación:

Figura 36

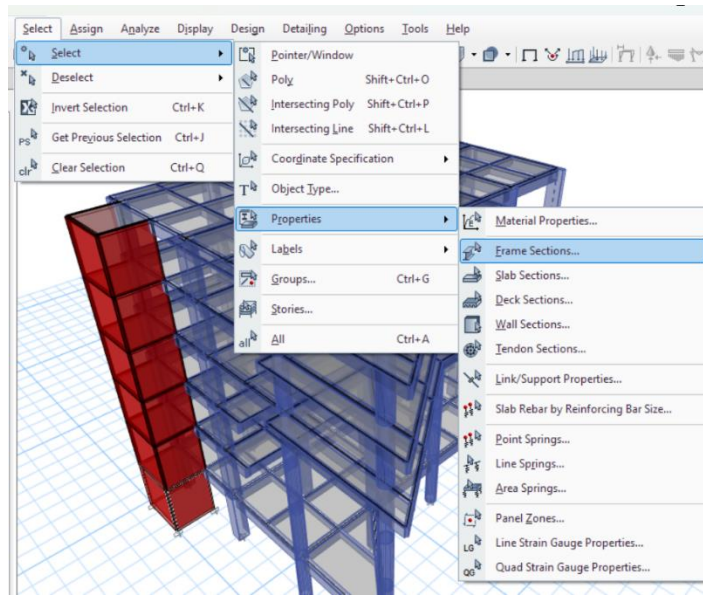
Creación del modelo tridimensional



Una vez culminado el modelamiento integral de la estructura, se realizó la definición y asignación de rótulas plásticas en vigas y columnas. Para ello, inicialmente se seleccionaron todos los elementos correspondientes a las vigas mediante la ruta *Select > Properties > Frame Section* del programa ETABS.

Figura 37

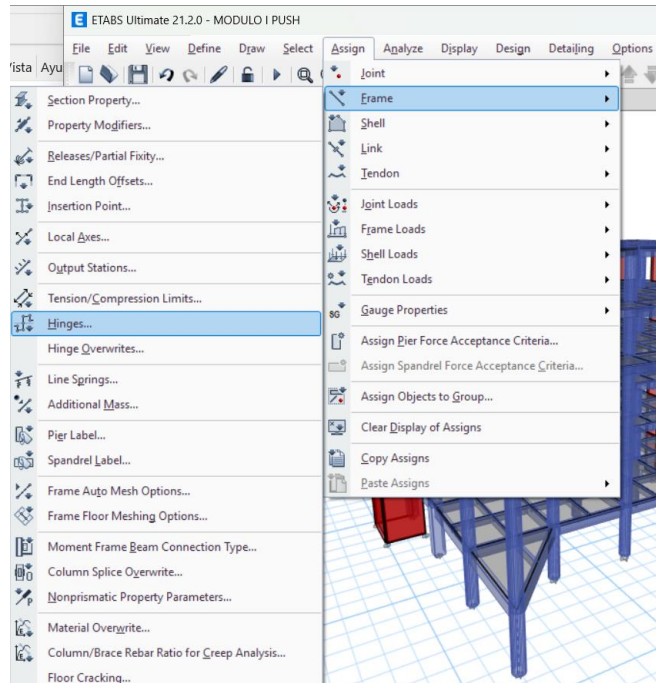
Asignación Plastic hinges (rótulas plásticas)



Posteriormente, tras identificar y seleccionar los elementos estructurales correspondientes, ya sean vigas o columnas, se efectuó la asignación de rótulas plásticas a través de la opción *Assign > Frame > Hinges* del programa ETABS, con la finalidad de representar el comportamiento no lineal y la capacidad de disipación de energía de los elementos estructurales frente a solicitaciones sísmicas.

Figura 38

Asignación de rotulas en cada elemento



En la ventana de configuración correspondiente se establecieron las posiciones de las rótulas plásticas para los elementos estructurales, tanto en vigas como en columnas. La distribución adoptada consideró la ubicación de las rótulas en los extremos de cada elemento, asignándolas al 5 % y al 95 % de su longitud total. De esta manera, tomando como referencia el nodo i como extremo inicial y el nodo j como extremo final, la primera rótula fue ubicada próxima al inicio del elemento, mientras que la segunda se posicionó cercana al extremo opuesto, permitiendo representar adecuadamente el comportamiento no lineal.

Figura 39

Ubicación de rótulas

Frame Assignment - Hinges

Frame Hinge Definition Type

- ☐ Nonlinear Beam/Column
- ☐ Distributed Plasticity
- ☐ Equal Spacing
- ☐ Continuous Spring Support (Piles or Grade Beams)
- ☒ User Defined

Convert to User Defined

Frame Hinge Assignment Data - User Defined

Hinge Property	Location Type	Relative Distance	Absolute Distance m
Auto	Relative to clear length	0.05	0
Auto	Relative to clear length	0.95	
Auto	Relative to clear length	0.05	
Auto	Relative to clear length	0.95	

Add Hinge

Modify Hinge

Note: Hold the Ctrl key down when clicking the Modify button to Modify or Show the Auto hinge properties of the selected hinge

Delete Hinge

Current Hinge Information

Type: From Tables in ASCE 41-13

Table: Table 10-8 (Concrete Columns)

DOF: Auto

Show Advanced Parameters

Options

- ☐ Add Specified Hinge Assigns to Existing Hinge Assigns (All hinges will be converted to User Defined)
- ☒ Replace Existing Hinge Assigns with Specified Hinge Assigns

Existing Hinge Assignments on Currently Selected Frame Objects

Number of Selected Frame Objects: 67

Total Number of Hinges on All Selected Frame Objects: 268

All 268 existing hinge assignments will be removed when the above hinge assignment is applied

Fill Form with Hinges on Selected Frame Object

OK Cancel

Asimismo, durante el proceso de definición de las rótulas plásticas, es fundamental considerar adecuadamente las referencias y criterios proporcionados por el programa ETABS. En ese sentido, las rótulas asignadas a las vigas fueron configuradas para trabajar principalmente bajo los efectos del momento $M3$, mientras que las correspondientes a las columnas fueron definidas considerando la interacción de carga axial (P) y momentos flectores en los ejes $M2$ y $M3$.

Figura 40

Detalle de las rotulas

The image shows a software dialog box titled "Auto Hinge Assignment Data". It contains several sections for configuring hinge properties:

- Auto Hinge Type:** A dropdown menu with options: "From Tables In ASCE 41-13", "Buckling Restrained Brace", "From Tables In ASCE 41-13", "From Tables In ASCE 41-13 with EC8 2005, Part 3 Acceptance Criteria", and "From Tables In ASCE 41-17". The first option is selected.
- Degree of Freedom:** Radio buttons for "M2", "M3", "M2-M3", "P-M2", "P-M3", and "P-M2-M3". "P-M2-M3" is selected.
- Concrete Column Failure Condition:** Radio buttons for "Condition i - Flexure", "Condition ii - Flexure/Shear", "Condition iii - Shear", and "Condition iv - Development". "Condition ii - Flexure/Shear" is selected.
- P and V Values From:** Radio buttons for "Case/Combo" and "User Value". "Case/Combo" is selected, with a dropdown showing "PUSH X". Below are input fields for "P" and "V2", "V3" with units "ton f".
- Shear Reinforcing Ratio $p = A_v / (b_w * s)$:** Radio buttons for "From Current Design" and "User Value". "From Current Design" is selected.
- Deformation Controlled Hinge Load Carrying Capacity:** Radio buttons for "Drops Load After Point E" and "Is Extrapolated After Point E". "Drops Load After Point E" is selected.

At the bottom are "OK" and "Cancel" buttons.

Una vez definido y asignado correctamente el tipo de rótula en las piezas plásticas, éstas deben visualizarse dentro del modelo estructural tanto en vigas como en columnas, tal como se muestra en la Figura 38.

Se procedió a verificar la correcta asignación de las rótulas y, posteriormente, a definir y asignar el refuerzo correspondiente en vigas, columnas y muros estructurales.

Figura 41

Rotulas insertadas en la estructura del módulo 1

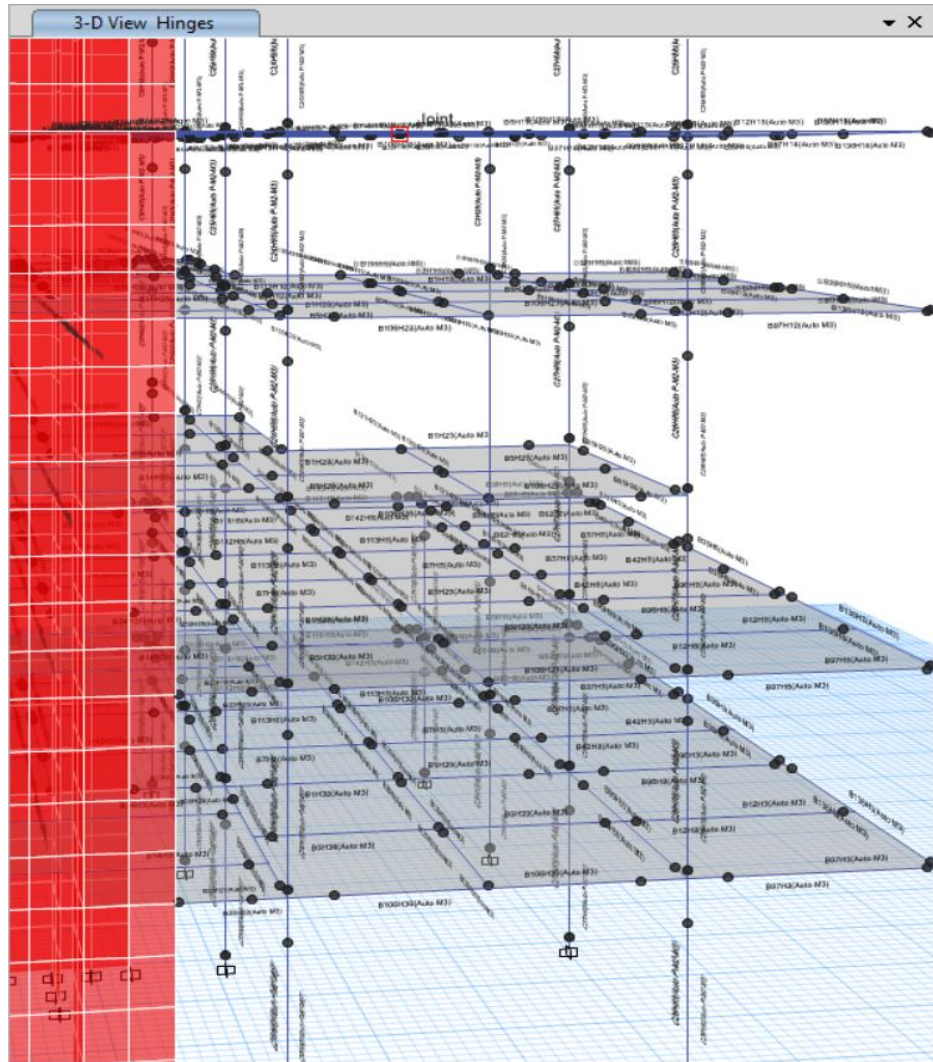


Figura 42

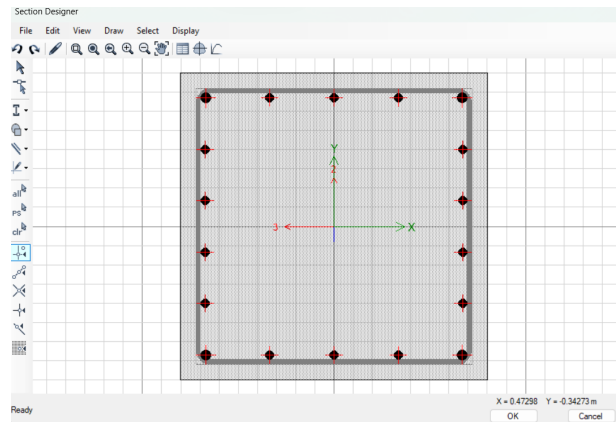
Propiedades de las columnas cuadradas

The image shows a software dialog box titled "Section Designer Section Property Data". It contains several sections for configuring structural section properties. The "General Data" section includes fields for "Property Name" (set to "C C80X80 R1"), "Base Material" (set to "Concreto f'c=210 Kg/cm2"), "Notional Size Data" (with a "Modify/Show Notional Size..." button), "Display Color" (a blue color swatch with a "Change..." button), and "Notes" (with a "Modify/Show Notes..." button). The "Design Type" section has four radio button options: "No Check/Design", "Concrete Column" (which is selected), "General Steel Section", and "Composite Column". The "Concrete Column Check/Design" section has two radio button options: "Reinforcement to be Checked" (selected) and "Reinforcement to be Designed". The "Define/Edit/Show Section" section contains a button labeled "Section Designer...". At the bottom, there are two columns of buttons: "Section Properties" with a "Properties..." button, and "Property Modifiers" with a "Set Modifiers..." button. The very bottom of the dialog has "OK" and "Cancel" buttons.

En la ventana al diseño de secciones se configuraron tanto las propiedades asociadas al tipo de elemento estructural, como los criterios de evaluación y verificación del diseño. También se estableció si el programa ETABS realizaría la comprobación del diseño previamente establecido o realizaría el dimensionamiento automático del elemento. Después se utilizó la herramienta Section Designer para agregar y distribuir el acero de refuerzo necesario para cada elemento estructural, de acuerdo con los requisitos del diseño sísmico.

Figura 43

Columna cuadrada



Finalmente, en la opción Set Modifiers se establecerán los factores de modificación de rigidez, de modo que el software considere únicamente el 40% de la capacidad a cortante en las direcciones locales 2 y 3, y el 70% del momento de inercia respecto a los ejes locales 2 y 3, con el fin de representar de manera más realista el comportamiento estructural de los elementos.

Figura 44

Modificación de factores

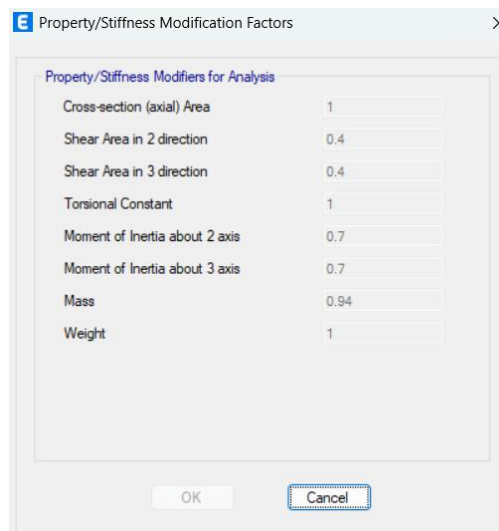


Figura 45

Propiedades de columnas circulares

Section Designer Section Property Data

General Data

Property Name: C D80 R2.35

Base Material: CONCRETO 280Kg/cm2

Notional Size Data: Modify/Show Notional Size...

Display Color: Change...

Notes: Modify/Show Notes...

Design Type

☐ No Check/Design ☐ General Steel Section

☒ Concrete Column ☐ Composite Column

Concrete Column Check/Design

☒ Reinforcement to be Checked

☐ Reinforcement to be Designed

Define/Edit/Show Section

Section Designer...

Section Properties **Property Modifiers**

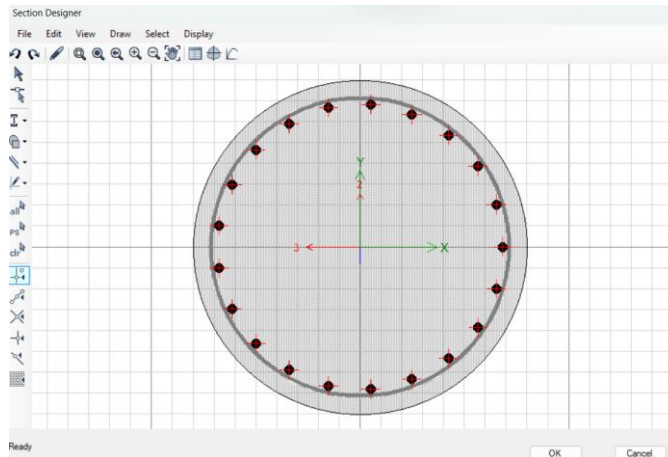
Properties... Set Modifiers...

OK Cancel

En la ventana de diseño de secciones se configuran las propiedades del componente estructural, seleccionando su tipo y la modalidad de diseño que deseamos aplicar, que puede ser una verificación de un diseño previamente elaborado o un cálculo automatizado generado por el programa. En última instancia, con ayuda de la aplicación Section Designer se otorgará a cada componente la cubierta de acero adecuada según las especificaciones estructurales de este.

Figura 46

Columnas circulares



Luego, dentro de la opción Set Modifiers se define que el 40% de las fuerzas cortantes, para las direcciones (eje 2) y (eje 3) y además definimos para que considere el 70% de capacidad de momento de inercia para las direcciones (eje 2) y (eje 3).

Figura 47

Factores para columnas circulares

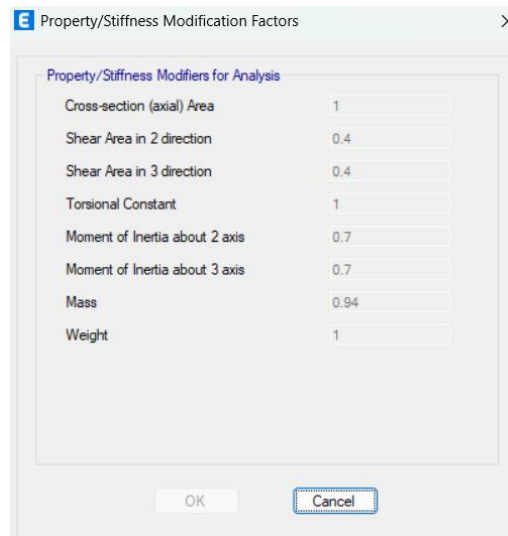


Figura 48

Propiedades de vigas

Frame Section Property Data

General Data

Property Name: VG40X70 VG2 6-9

Material: CONCRETO 280Kg/cm2

Notional Size Data: Modify/Show Notional Size...

Display Color: Change...

Notes: Modify/Show Notes...

Shape

Section Shape: Concrete Rectangular

Section Property Source

Source: User Defined

Section Dimensions

Depth: 0.7 m

Width: 0.4 m

Property Modifiers

Property Modifiers: Modify/Show Modifiers...
Currently User Specified

Reinforcement

Reinforcement: Modify/Show Rebar...

Show Section Properties...

OK Cancel

☐ Include Automatic Rigid Zone Area Over Column

En esta ventana seleccionamos el tipo de elemento estructural y se verifica el diseño existente. Luego, mediante la opción *Section Designer*, asignamos el acero de refuerzo correspondiente al elemento. Para el caso de las vigas, el software identifica el refuerzo superior y en el extremo opuesto del elemento, así como el refuerzo tanto en la parte inicial como en la parte final de la viga.

Figura 49

Propiedades del reforzamiento en vigas

Frame Section Property Reinforcement Data

Design Type

☐ P-M2-M3 Design (Column)

☒ M3 Design Only (Beam)

Rebar Material

Longitudinal Bars: A615Gr60

Confinement Bars (Ties): A615Gr60

Cover to Longitudinal Rebar Group Centroid

Top Bars: 0.04 m

Bottom Bars: 0.04 m

Reinforcement Area Overwrites for Ductile Beams

Top Bars at I-End: 0.002381 m²

Top Bars at J-End: 0.001936 m²

Bottom Bars at I-End: 0.00112 m²

Bottom Bars at J-End: 0.000956 m²

OK Cancel

Una vez establecidas estas consideraciones, se realiza la definición del peso sísmico participativo mediante la opción Mass Source.

Figura 50

Asignación del peso sísmico

Mass Source

Mass Sources

PESO SÍSMICO

Click to:

Add New Mass Source...

Add Copy of Mass Source...

Modify/Show Mass Source...

Delete Mass Source

Default Mass Source

PESO SÍSMICO

OK Cancel

Con esta configuración, el programa toma en cuenta todo el peso propio de la estructura (Dead =1), además del 25 % de la carga viva (Live =0.25) aplicada y también el 25 % de la carga viva (Live roof =0.25) presente en el techo.

Figura 51

Asignación de cargas

Mass Source Data

Mass Source Name: PESO SISMICO

Mass Source

- ☐ Element Self Mass
- ☒ Additional Mass
- ☒ Specified Load Patterns
- ☐ Adjust Diaphragm Lateral Mass to Move Mass Centroid by:
 - This Ratio of Diaphragm Width in X Direction:
 - This Ratio of Diaphragm Width in Y Direction:

Mass Multipliers for Load Patterns

Load Pattern	Multiplier
Dead	1
Live	0.25
Live Roof	0.25

Mass Options

- ☒ Include Lateral Mass
- ☒ Include Vertical Mass
- ☒ Lump Lateral Mass at Story Levels

OK Cancel

El efecto P-Delta, llamado como análisis de segundo orden, permite considerar el aumento de los esfuerzos en la estructura debido a las deformaciones que esta presenta. Por ello, tomar en cuenta este efecto resulta fundamental para obtener un diseño estructural más seguro y preciso, especialmente en edificaciones altas o con elementos de gran esbeltez.

Figura 52

Efecto P-Delta

Preset P-Delta Options

Automation Method

- ☐ None
- ☒ Non-iterative - Based on Mass
- ☐ Iterative - Based on Loads

Iterative P-Delta Load Case

Load Pattern	Scale Factor

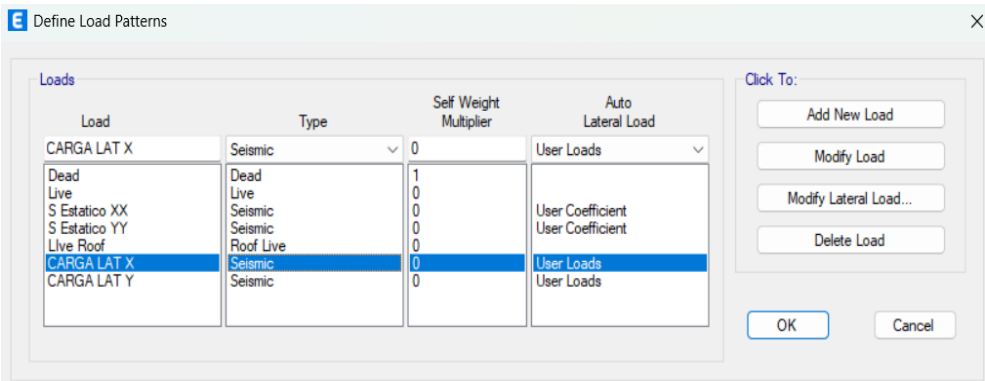
Add
Modify
Delete

Relative Convergence Tolerance:

OK Cancel

En Load Patterns, establecemos las cargas iniciales, también se define un nuevo patrón de carga que considera la altura a cada entrepiso, para representar el comportamiento de la edificación.

Figura 53 Definición de cargas lateras



Las fuerzas para eje X e Y se determinan a partir de la altura total de la estructura sobre la altura por piso acumulada, es por ello que para el ultimo nivel que se obtiene una carga igual a 1.

Figura 54

Cargas por nivel

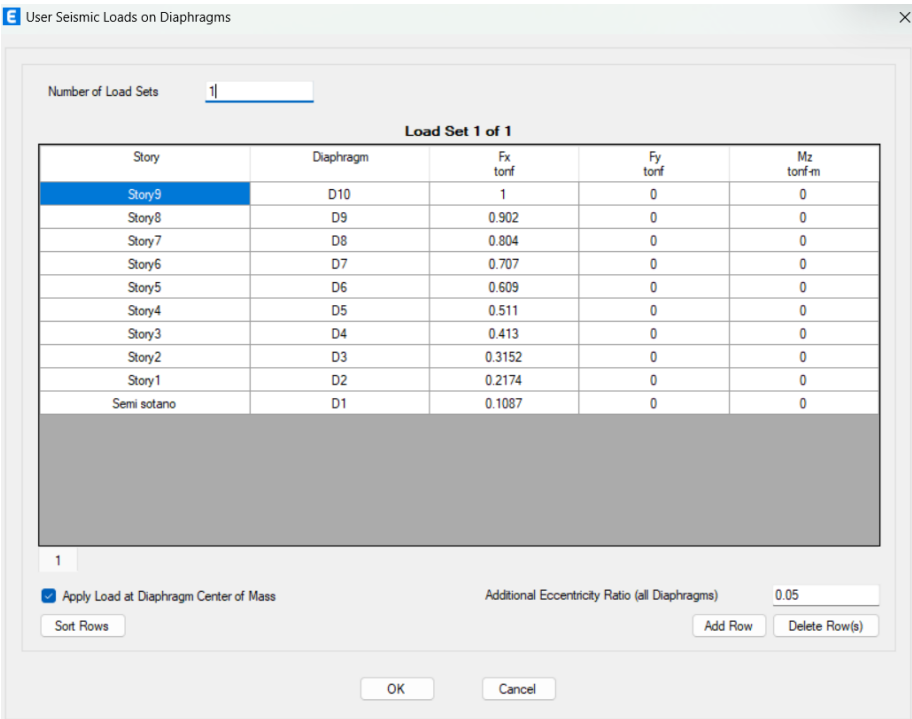


Figura 55

Cargas por nivel

Number of Load Sets: 1

Load Set 1 of 1

Story	Diaphragm	Fx tonif	Fy tonif	Mz tonif-m
Story9	D10	0	1	0
Story8	D9	0	0.902	0
Story7	D8	0	0.804	0
Story6	D7	0	0.707	0
Story5	D6	0	0.609	0
Story4	D5	0	0.511	0
Story3	D4	0	0.413	0
Story2	D3	0	0.315	0
Story1	D2	0	0.217	0
Semi sotano	D1	0	0.109	0

1

☒ Apply Load at Diaphragm Center of Mass

Additional Eccentricity Ratio (all Diaphragms): 0.05

Sort Rows Add Row Delete Row(s)

OK Cancel

Luego de definir las cargas, establecemos los casos de carga así como también se consideran las cargas laterales, los cuales permiten evaluar la respuesta estructural frente a las acciones asignadas, analizando su comportamiento dentro del rango elástico lineal.

Figura 56

Definición de casos de cargas

Load Cases

Load Case Name	Load Case Type
Sismo Dinamico YY	Response Spectrum
Live Roof	Linear Static
SD-X ESCALADO	Response Spectrum
SD-Y ESCALADO	Response Spectrum
CARGA LAT X	Linear Static
CARGA LAT Y	Linear Static
CARGA GRAVIT	Nonlinear Static
CARGA LAT	Linear Static
PUSH X	Nonlinear Static
PUSH Y	Nonlinear Static

Click to:

Add New Case...
Add Copy of Case...
Modify/Show Case...
Delete Case
Show Load Case Tree...

OK
Cancel

Figura 57
Carga lateral en "X"

Load Case Data

General

Load Case Name

CARGA LAT X

Design...

Load Case Type

Linear Static

Notes...

Mass Source

PESO SÍSMICO

Analysis Model

Default

P-Delta/Nonlinear Stiffness

☒ Use Preset P-Delta Settings

Noniterative based on mass

Modify/Show...

Note: Nonlinear case option for P-Delta does not apply when Preset P-Delta is noniterative based on mass.

Loads Applied

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

Add

Delete

OK

Cancel

Figura 58
Carga lateral en "Y"

Load Case Data

General

Load Case Name

CARGA LAT Y

Design...

Load Case Type

Linear Static

Notes...

Mass Source

PESO SÍSMICO

Analysis Model

Default

P-Delta/Nonlinear Stiffness

☒ Use Preset P-Delta Settings

Noniterative based on mass

Modify/Show...

Note: Nonlinear case option for P-Delta does not apply when Preset P-Delta is noniterative based on mass.

Loads Applied

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

Add

Delete

OK

Cancel

Después también se define la carga gravitacional que actúa en el rango no lineal considerando el 100% de la carga muerta, el 25% de la carga viva y también el 25% de la carga viva de techo.

Figura 59
Cargas gravitacionales

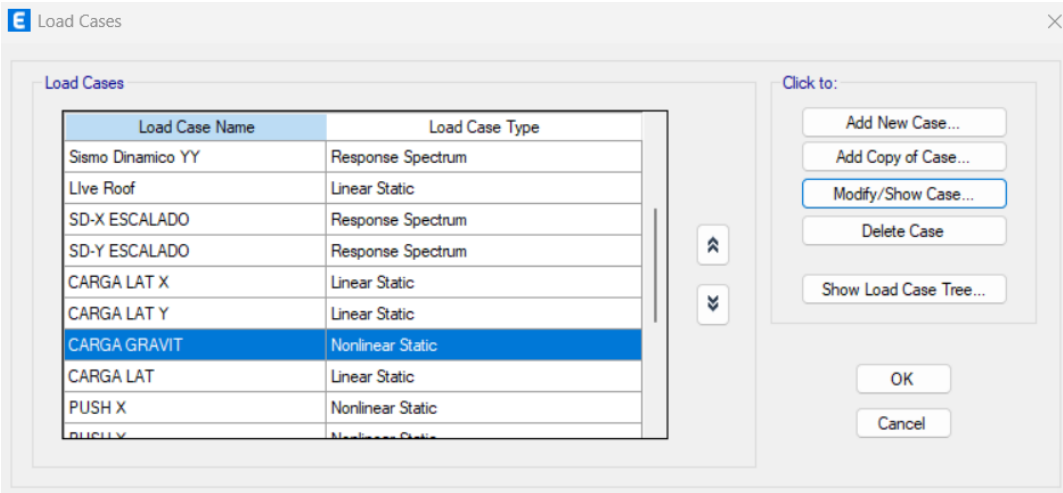
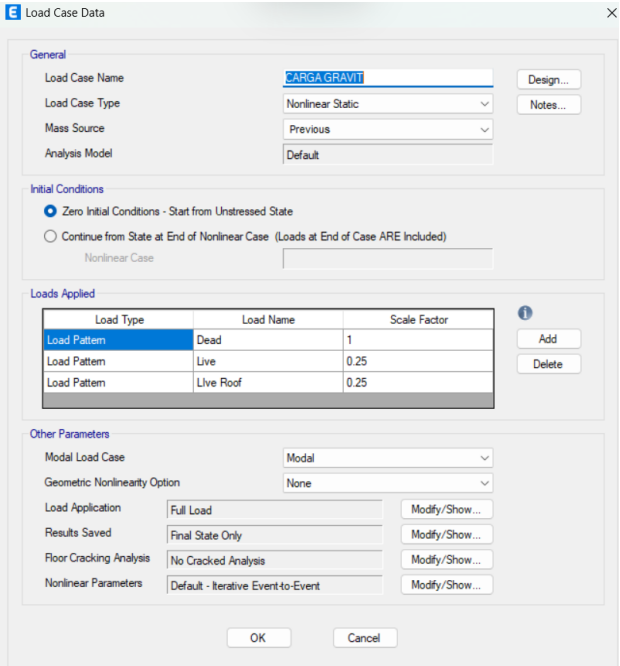


Figura 60
Casos de cargas gravitacionales



Finalmente, se definen los casos de carga que se realizará en el análisis estructural, considerando un comportamiento estático no lineal y aplicando una aceleración en la dirección X como carga principal.

Figura 61

Definición de pushover en "X"

Load Case Data

General

Load Case Name: PUSH X [Design...]

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

Mass Source: Previous

Analysis Model: Default

Initial Conditions

☐ Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State

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

Nonlinear Case: CARGA GRAVIT

Loads Applied

Load Type	Load Name	Scale Factor
Acceleration	UX	1

[Add] [Delete]

Other Parameters

Modal Load Case: Modal

Geometric Nonlinearity Option: P-Delta

Load Application: Displacement Control [Modify/Show...]

Results Saved: Multiple States [Modify/Show...]

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

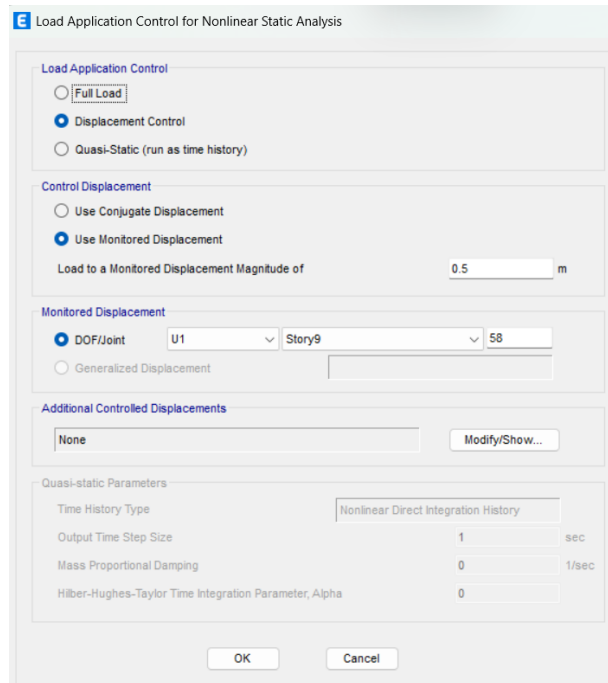
Nonlinear Parameters: Default - Iterative Event-to-Event [Modify/Show...]

[OK] [Cancel]

Después se configura el control de desplazamientos, teniendo en cuenta una altura referencial para la obtención de datos y un punto de control de los desplazamientos.

Figura 62

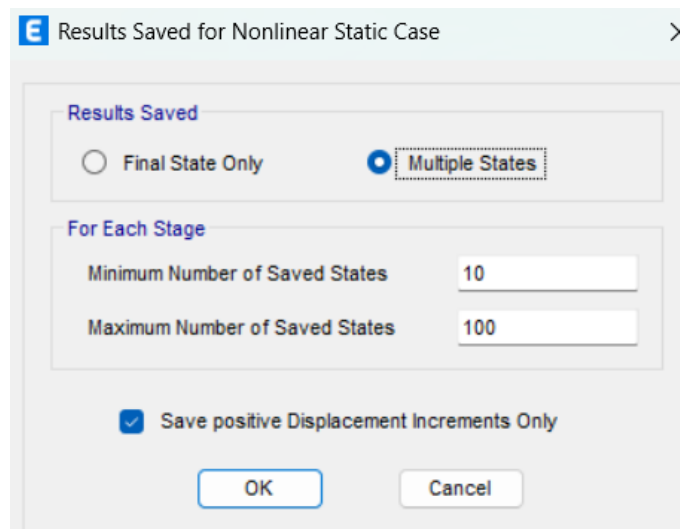
Configuración del control de desplazamientos



Asimismo, se configura en el software para que los resultados del análisis estático no lineal se evalúen mediante por varios estados, como un mínimo de 10 y un máximo de 100 estados de análisis.

Figura 63

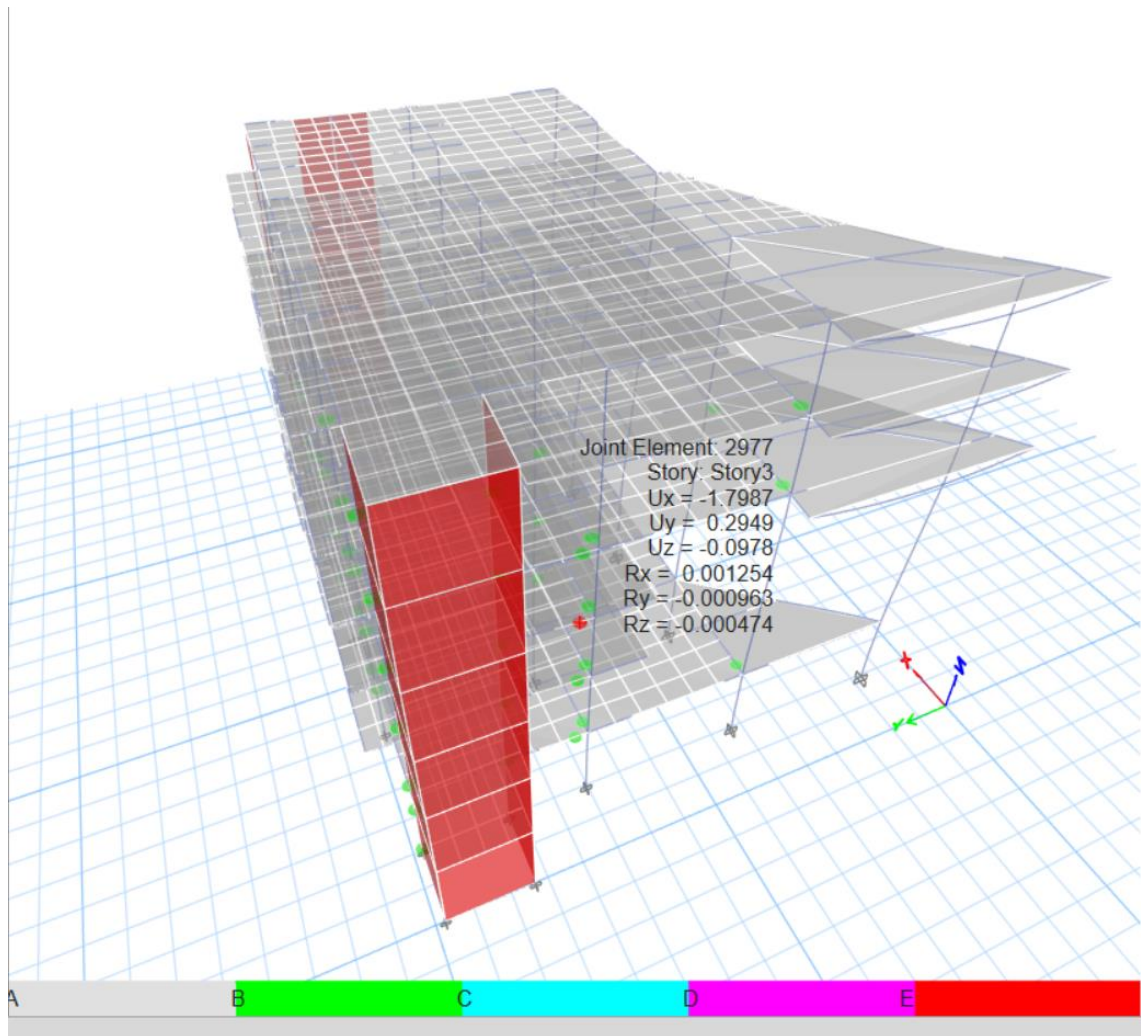
Configuración de los resultados del análisis estático no lineal



Una vez finalizada toda la configuración del modelo, se realiza el análisis estructural. A partir de ello, para la evaluación en la dirección del eje X-X, se observa que las rótulas plásticas se forman en las vigas, aunque también aparecen en las columnas del primer piso. Sin embargo, todas las rótulas generadas permanecen dentro del rango elástico de la estructura.

Figura 64

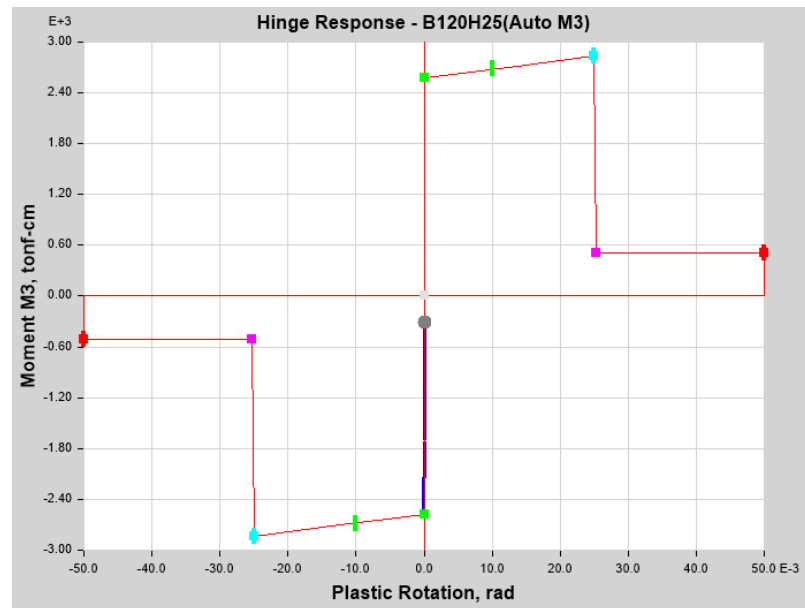
En la dirección del eje X-X



En la dirección X-X generan rotulas plásticas en las vigas, aunque estas se mantienen en el rango elástico, vale decir el refuerzo absorbe los esfuerzos que actúan en él elemento, debido a ello, el elemento experimenta deformaciones temporales; sin embargo, una vez que la carga deja de actuar, recupera su estado inicial.

Figura 65

Gráfico de respuesta de la rótula plástica



Para el análisis en la dirección X-X se observa que se genera una rotula plástica que llega al límite de rotura como se observa en la figura 62 mayormente en las vigas, pero también en ciertas columnas en especial en las del primer nivel, a pesar de ello todas las rotulas generadas se encuentran dentro del rango elástico.

Figura 66

Rotula plástica en el tercer nivel

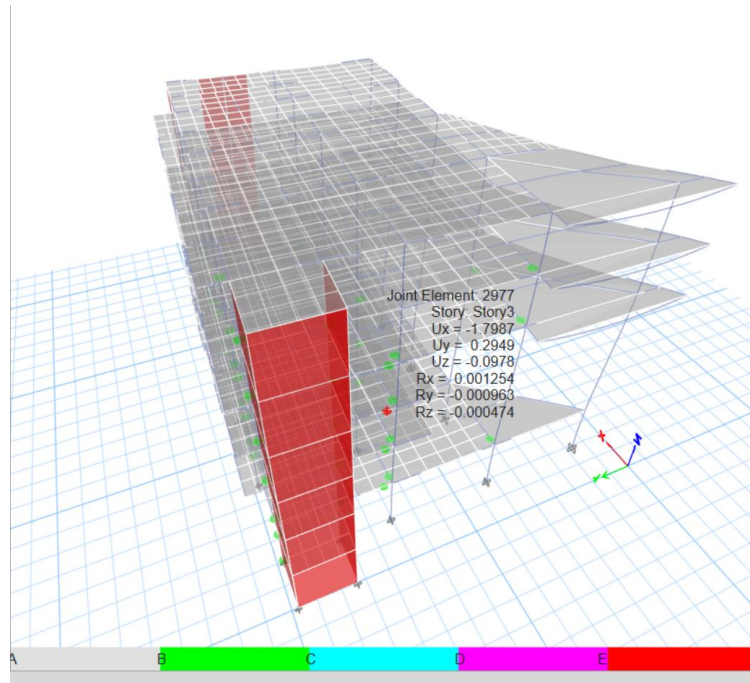
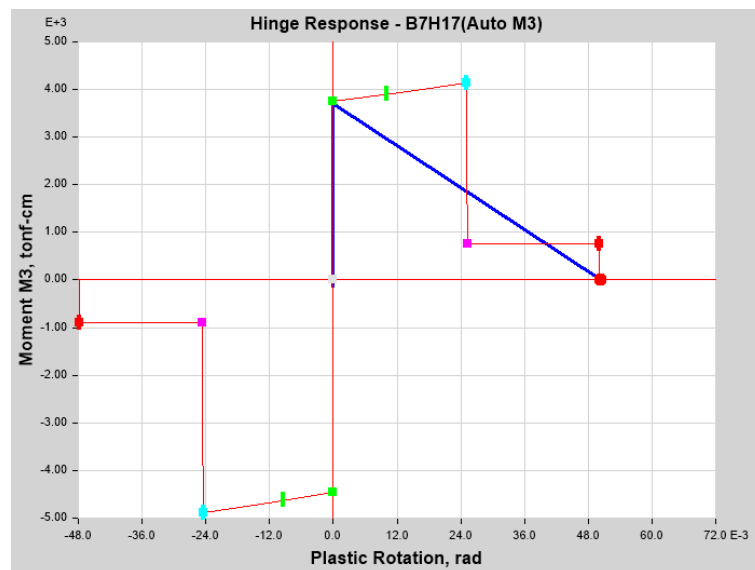


Figura 67

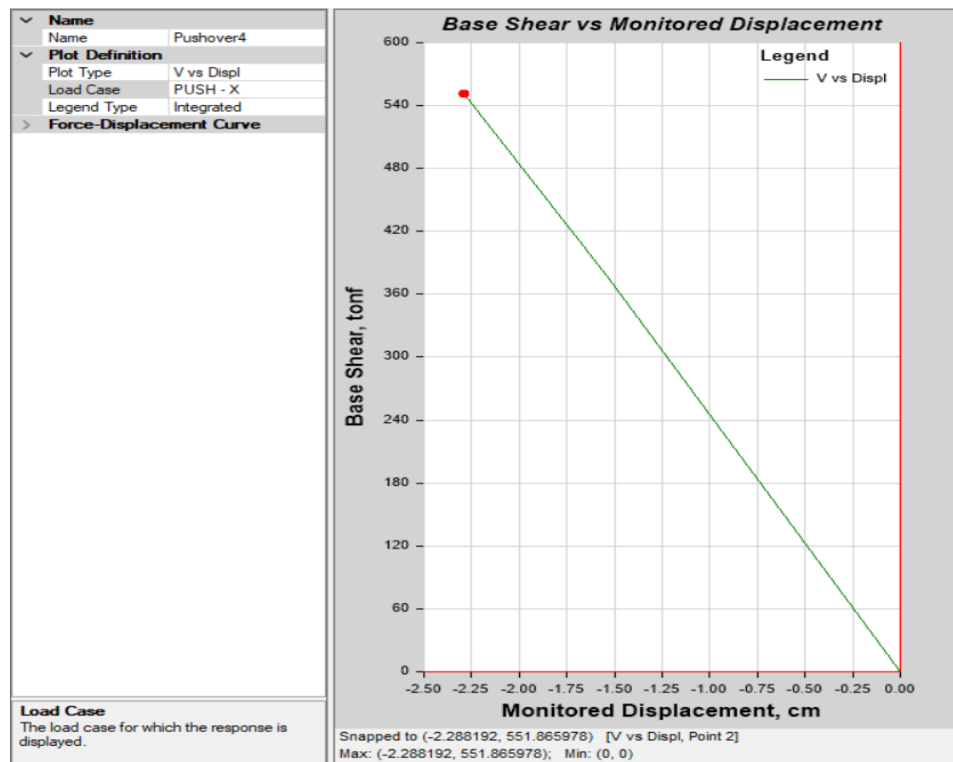
Respuesta de la rótula plástica en el tercer nivel



Con respecto al análisis no lineal (Push over) a continuación se presenta la curva de capacidad obtenida para la dirección X-X, considerando el espectro establecido en la Norma E.030.

Figura 68

Curva de capacidad en la dirección X-X



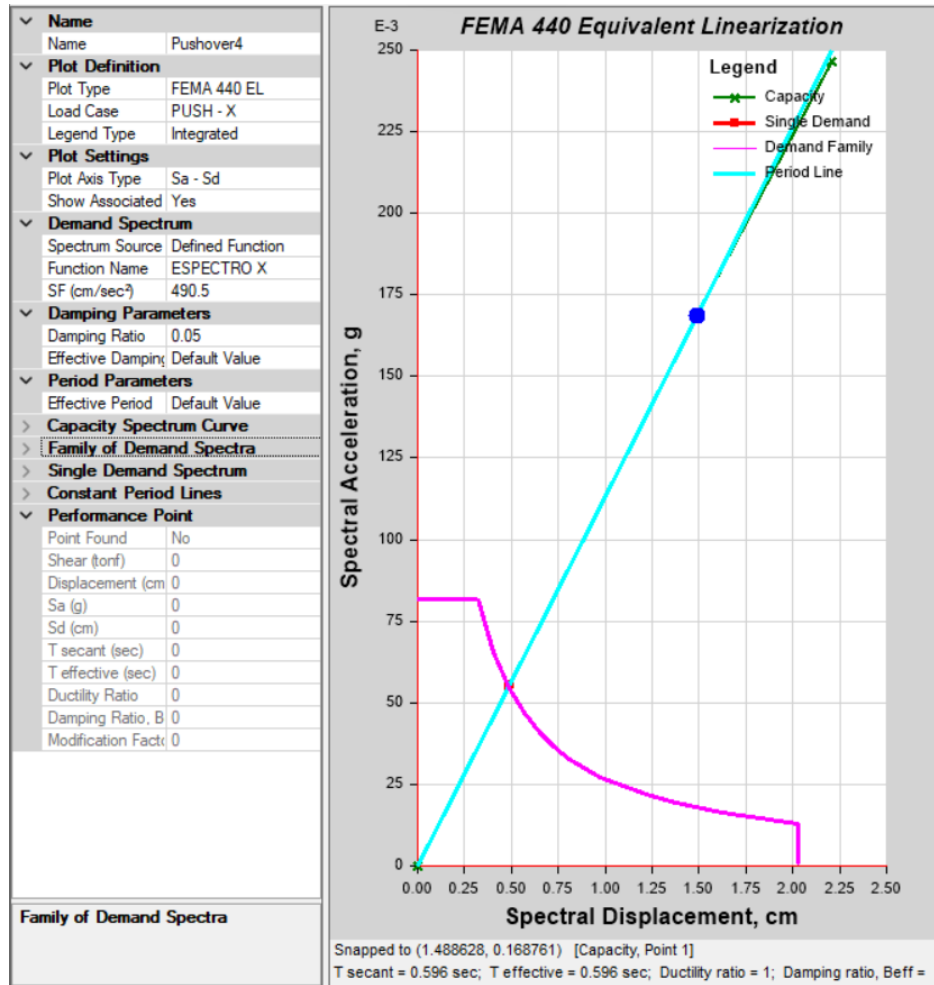
A partir del análisis, se obtiene que la fuerza cortante basal para esta dirección alcanza un valor de 663.983 Tnf, y el desplazamiento máximo alcanza de 2.804 cm.

Posteriormente, se determinan los puntos de desempeño frente a diferentes niveles de eventos sísmicos, tales como sismos frecuentes, severos y extraordinarios. Para ello, el análisis se desarrolla tomando como referencia los criterios establecidos en la Norma ATC-40, la cual indica lo siguiente para sismo frecuente:

$$0.50g * A_o = \left(490 \frac{m}{s^2}\right) * A_o$$

Figura 69

Punto de desempeño en sismos frecuentes

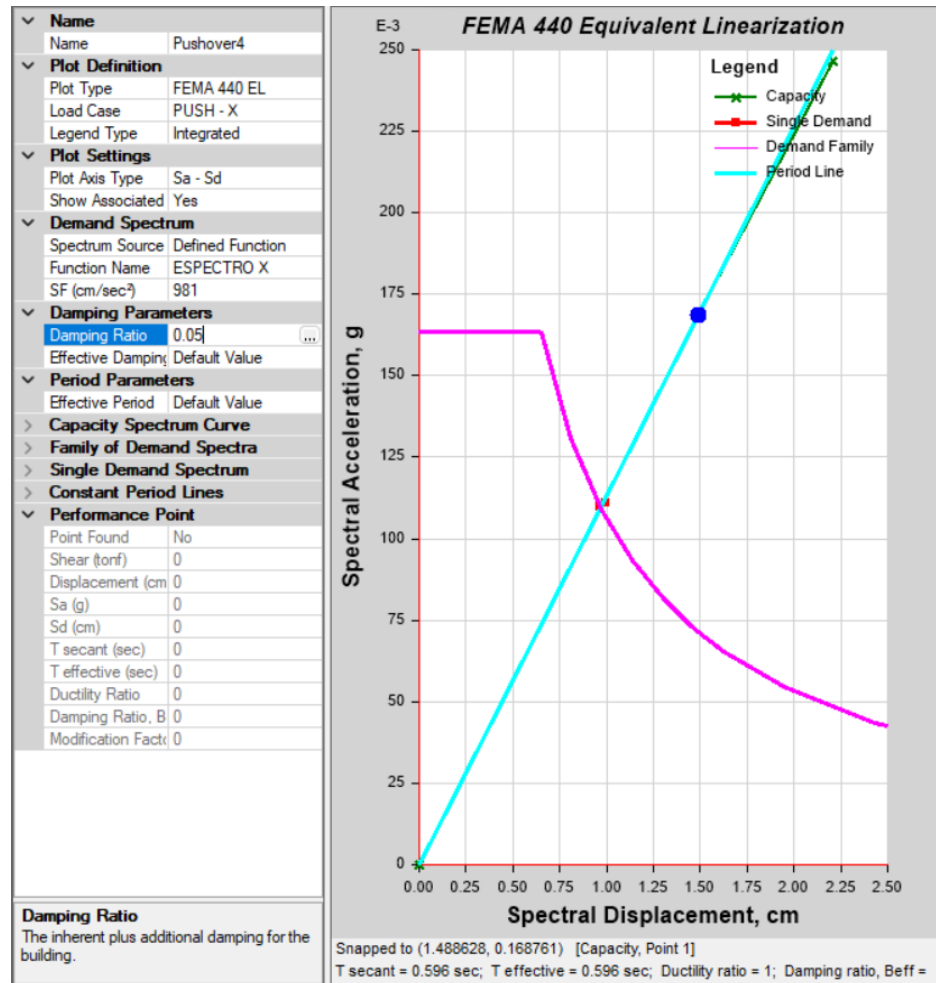


- En sismos severos se usará:

$$g * A_o = \left(981 \frac{m}{s^2} \right) * A_o$$

Figura 70

Punto de desempeño en sismos severos



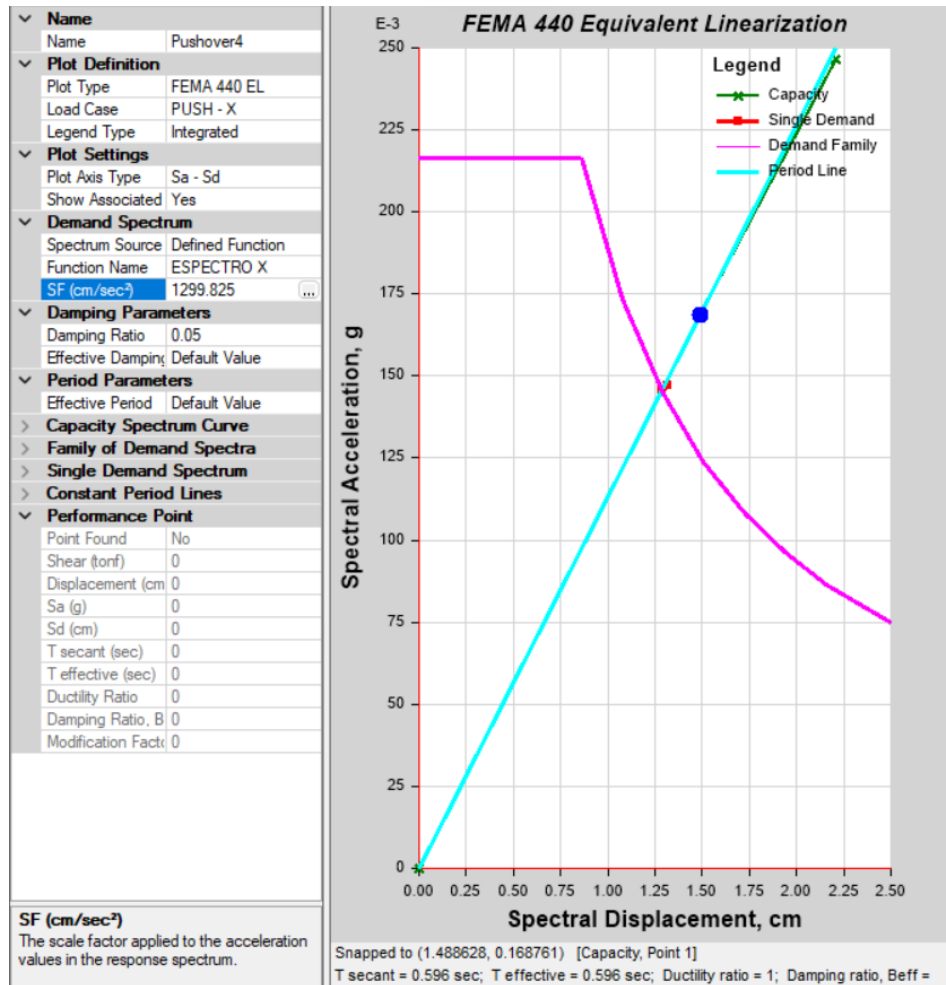
- Para sismos extraordinarios

Se incrementará en una 32.5% a la aceleración espectral, por lo tanto:

$$1.325g * A_o = \left(1300 \frac{m}{s^2}\right) * A_o$$

Figura 71

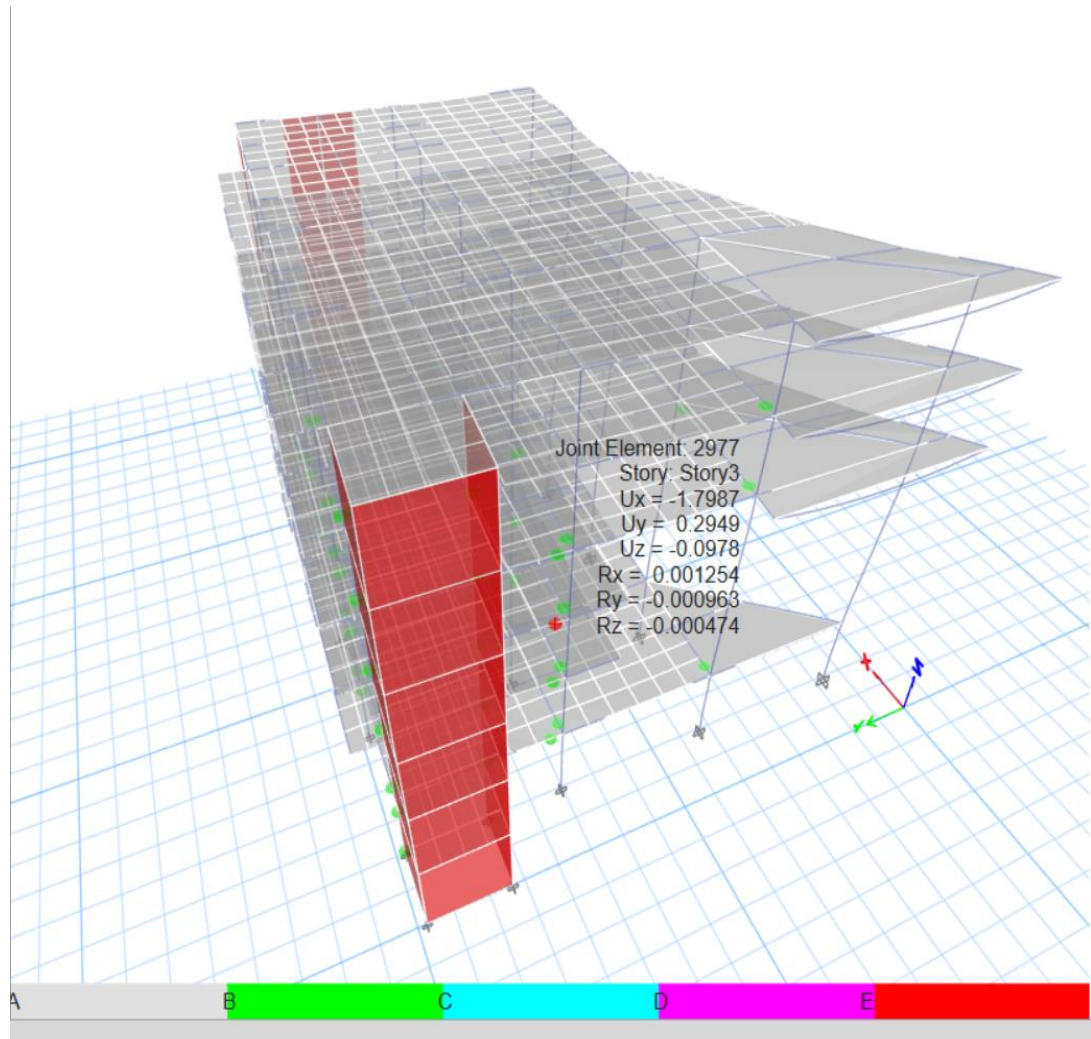
Punto de desempeño en sismos extraordinarios



Respecto al análisis Pushover, a continuación se presenta la curva de capacidad obtenida para la dirección Y-Y, considerando el espectro ASCE proporcionado por el software.

Figura 72

En la dirección del eje Y-Y

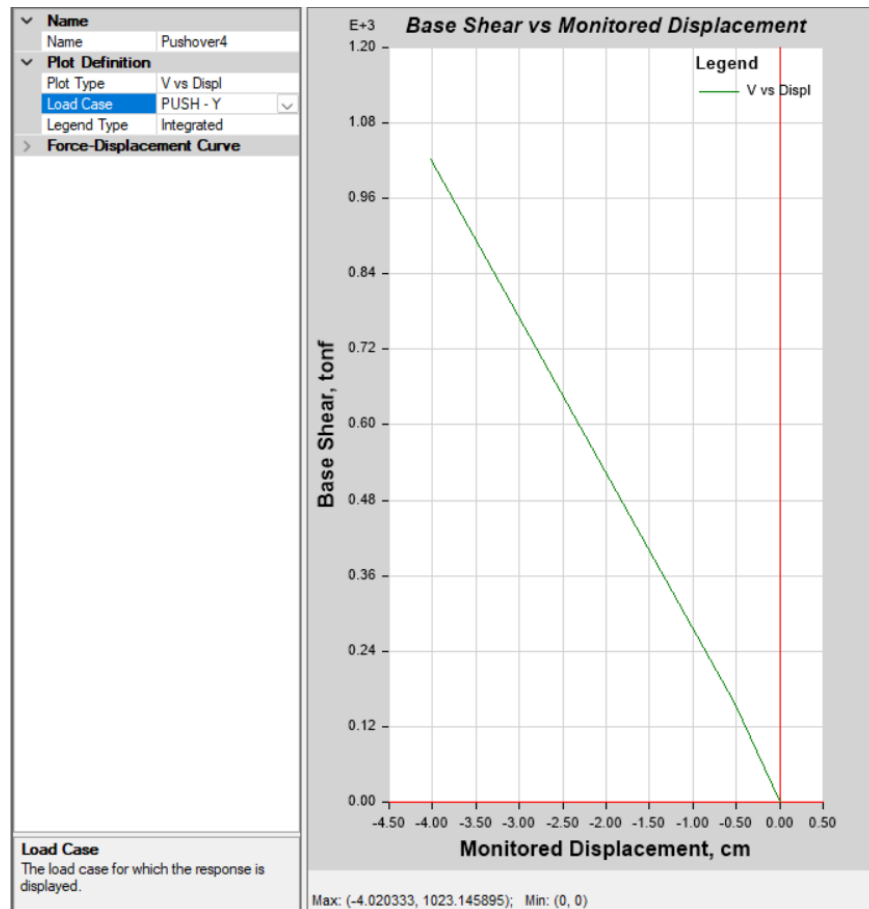


Como se puede apreciar, la aplicación de las cargas de análisis en la dirección Y-Y produce la formación de rótulas plásticas en las columnas; sin embargo, estas permanecen dentro del rango elástico. Esto indica que el refuerzo es capaz de absorber adecuadamente los esfuerzos actuantes en el elemento estructural, permitiendo deformaciones temporales sin comprometer su estabilidad, ya que al retirar las cargas el elemento recupera su condición inicial. Asimismo, para el análisis push over, la curva de

capacidad obtenida de acuerdo con el espectro establecido en la Norma E.030 para la dirección Y-Y se presenta a continuación:

Figura 73

Curva de capacidad en la dirección Y-Y



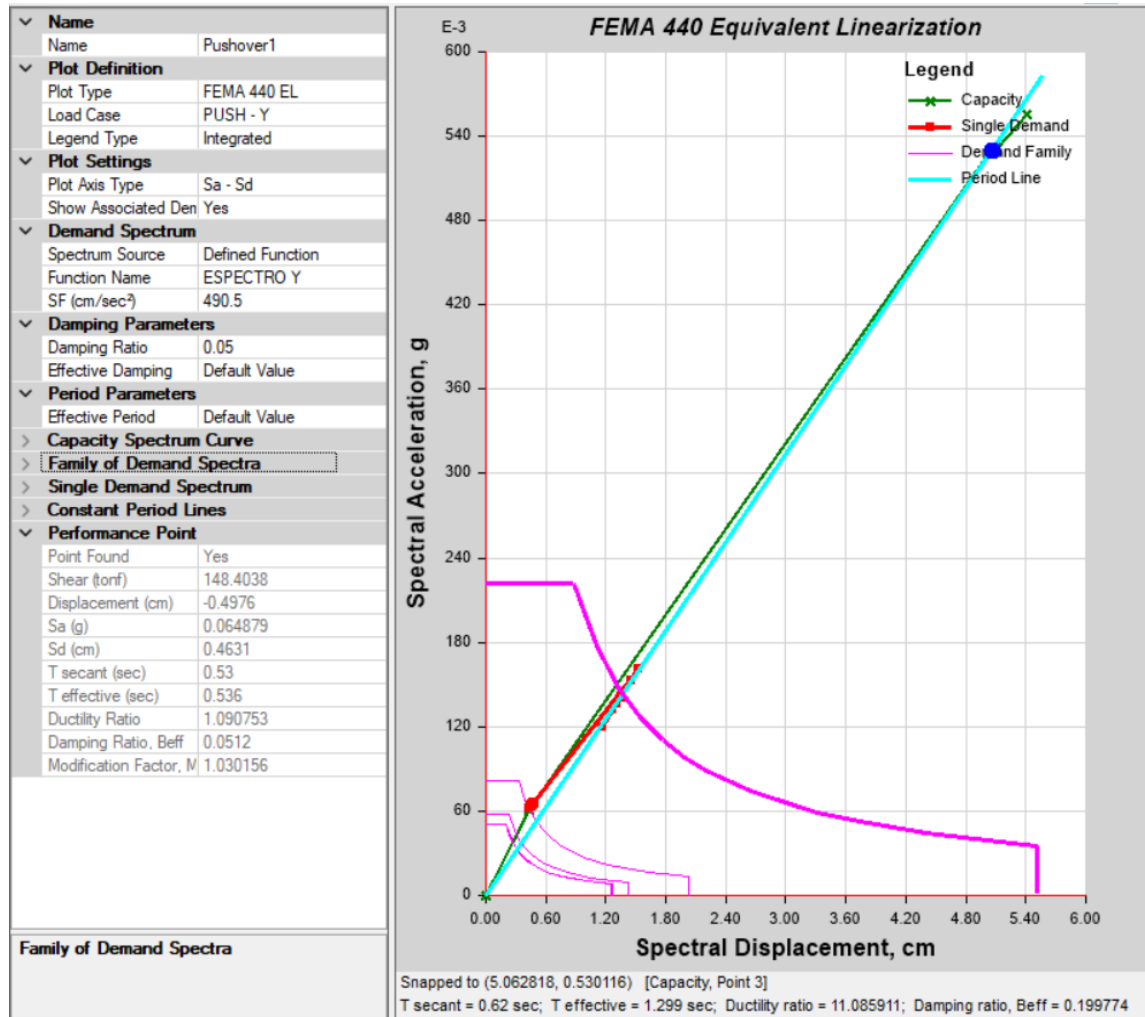
A partir del análisis, se obtiene que la fuerza cortante basal para esta dirección alcanza un valor de 1023.145 Tnf, y el desplazamiento máximo alcanza de 4.02 cm.

Posteriormente, se determinan los puntos de desempeño frente a diferentes niveles de eventos sísmicos, tales como sismos frecuentes, severos y extraordinarios. Para ello, el análisis se desarrolla tomando como referencia los criterios establecidos en la Norma ATC-40, la cual indica lo siguiente para sismo frecuente:

$$0.50g * A_o = \left(490 \frac{m}{s^2}\right) * A_o$$

Figura 74

Punto de desempeño en sismos frecuentes - dirección Y-Y



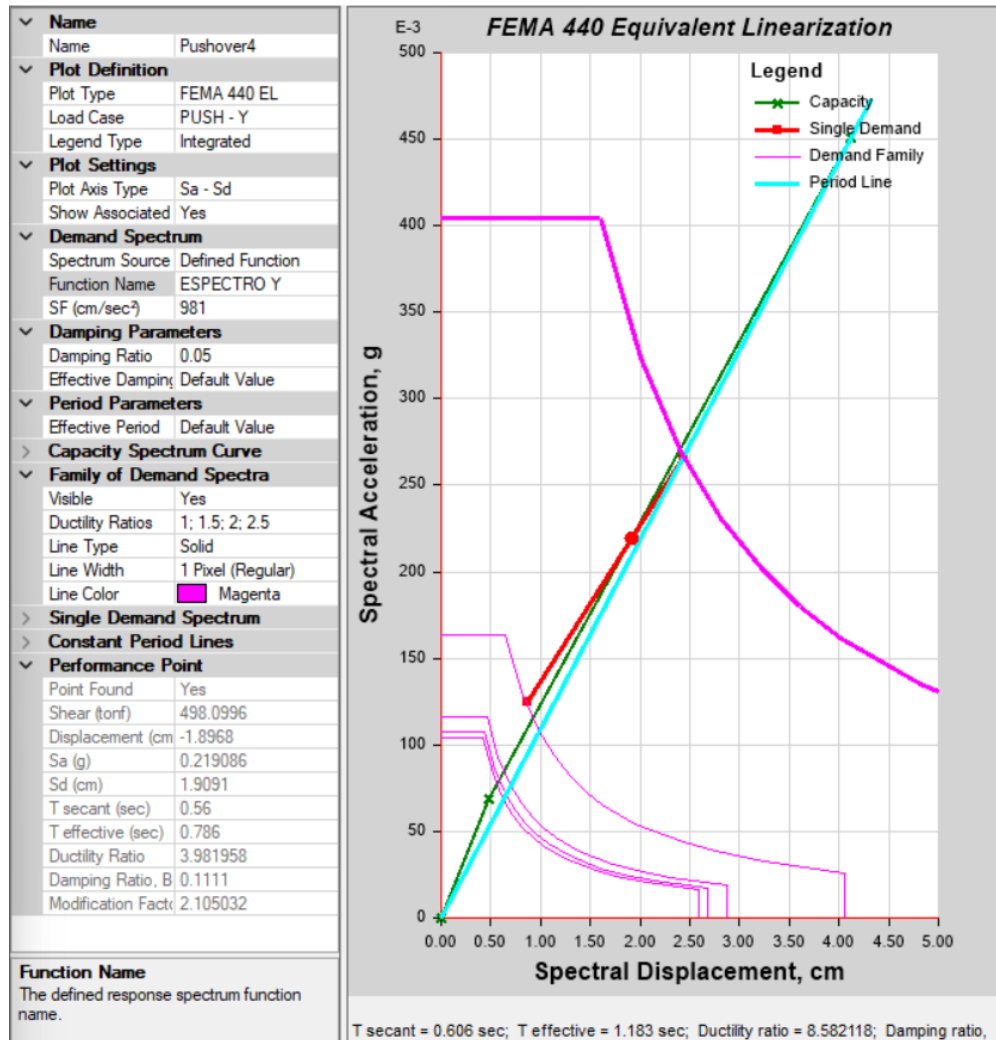
Del análisis realizado se tiene que la fuerza cortante que actúa es de 148.4038 tnf con un desplazamiento de 4.976 mm y una ductilidad de 1.090.

- En sismos severos se usará:

$$g * A_o = \left(981 \frac{m}{s^2} \right) * A_o$$

Figura 75

Punto de desempeño en sismos severos - dirección Y-Y



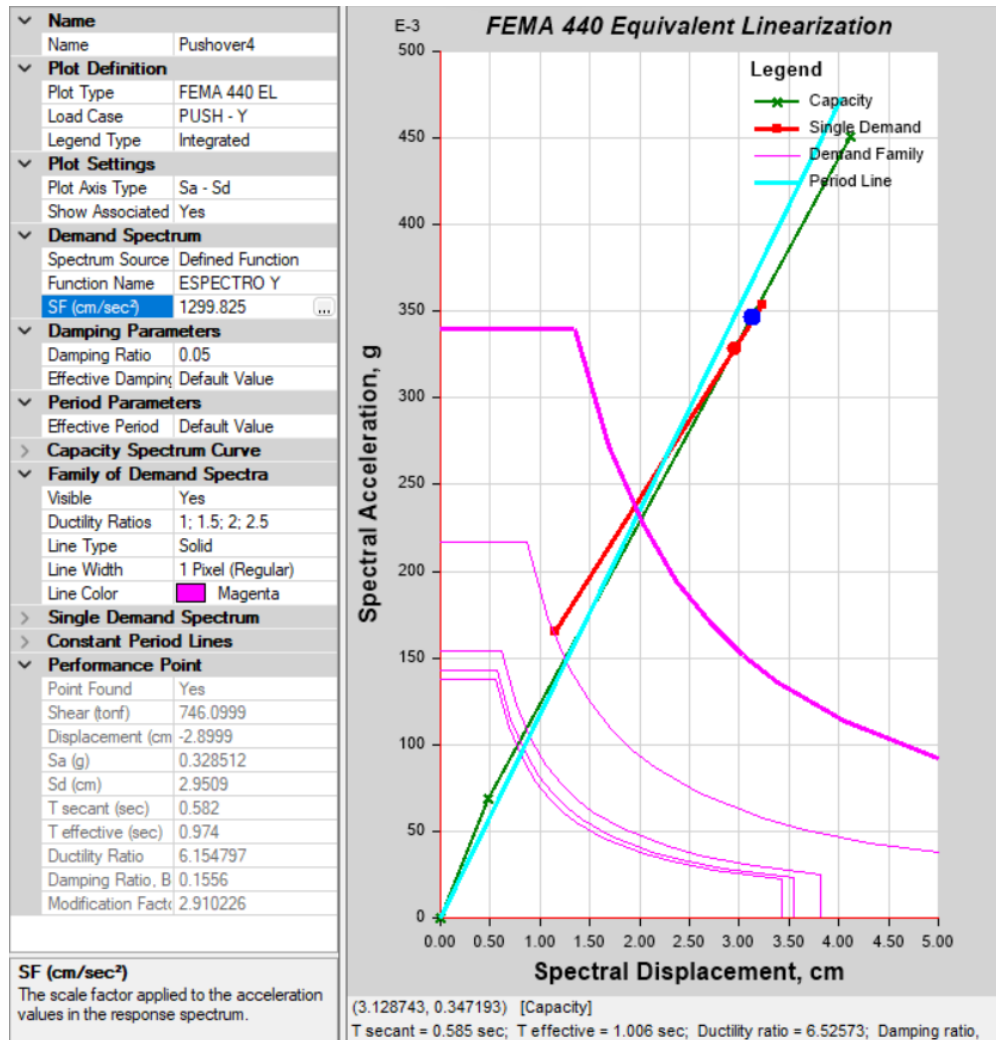
Del análisis realizado se tiene que la fuerza cortante que actúa es de 498.1 tnf con un desplazamiento de 18.9 mm y una ductilidad de 3.98.

- Para sismos extraordinarios se usará:

$$1.325g * A_o = \left(1300 \frac{m}{s^2}\right) * A_o$$

Figura 76

Punto de desempeño en sismos extraordinarios - dirección Y-Y



Del análisis realizado se tiene que la fuerza cortante que actúa es de 746.1 tnf con un desplazamiento de 2.9 cm y una ductilidad de 6.15.

4.1.4.2. Modelado del módulo 2

Para el análisis del módulo 2 se realizó con modelado en el software, tomando en cuenta los datos de los planos de arquitectura, de ello se tiene lo siguiente:

Figura 77

Definición de espacio de dibujo o grillas en alturas.

Story Data

	Story	Height m	Elevation m	Master Story	Similar To	Splice Story	Splice Height m	Story Color
▶	Story9	3.6	36.8	No	None	No	0	
	Story8	3.6	33.2	No	None	No	0	
	Story7	3.6	29.6	No	None	No	0	
	Story6	3.6	26	No	None	No	0	
	Story5	3.6	22.4	No	Semi sotano	No	0	
	Story4	3.6	18.8	No	Semi sotano	No	0	
	Story3	3.6	15.2	No	Semi sotano	No	0	
	Story2	3.6	11.6	No	Semi sotano	No	0	
	Story1	4	8	No	Semi sotano	No	0	
	Semi sotano	4	4	Yes	None	No	0	
	Base		0					

Note: Right Click on Grid for Options

Refresh View

OK Cancel

Figura 78

Definición de espacio de dibujo o grillas en planta

Grid System Data

Grid System Name: G1

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

Story Range Option:
☒ Default - All Stories
☐ User Specified
Top Story: Story9
Bottom Story: Base

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

Options:
Bubble Size: 1 m
Grid Color: [Color Selection]

Rectangular Grids:
☒ Display Grid Data as Ordinates
☐ Display Grid Data as Spacing

Quick Start New Rectangular Grids...

X Grid Data

Grid ID	X Ordinate (m)	Visible	Bubble Loc
1	0	Yes	End
1a	3.03	Yes	End
2	9.03	Yes	End
3	15.03	Yes	End
	21.5	Yes	End
4a	23.56	Yes	End

Add Delete Sort

Y Grid Data

Grid ID	Y Ordinate (m)	Visible	Bubble Loc
E1	0	Yes	Start
	3.35	Yes	Start
E2	4.92	Yes	Start
D	9.6	Yes	Start
	13.2	Yes	Start
C	16.8	Yes	Start

Add Delete Sort

Luego de crear el entorno, se realizó con la definición de los materiales, tales como el acero de refuerzo y el concreto, los cuales fueron asignados a cada uno de los elementos estructurales, como columnas, vigas y muros de concreto armado.

Figura 79

Definición de materiales

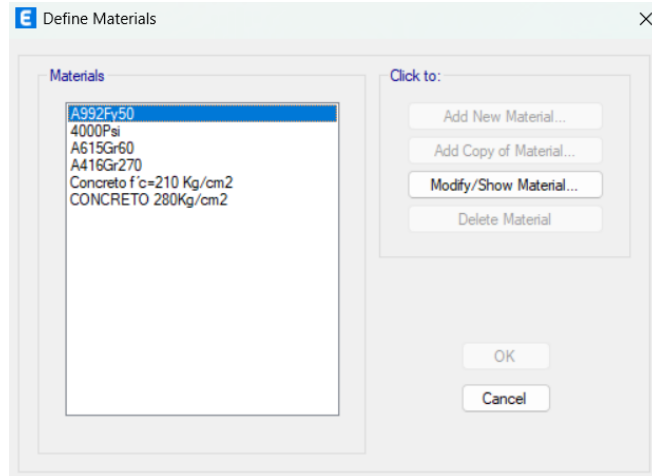


Figura 80

Definición de secciones de los elementos estructurales

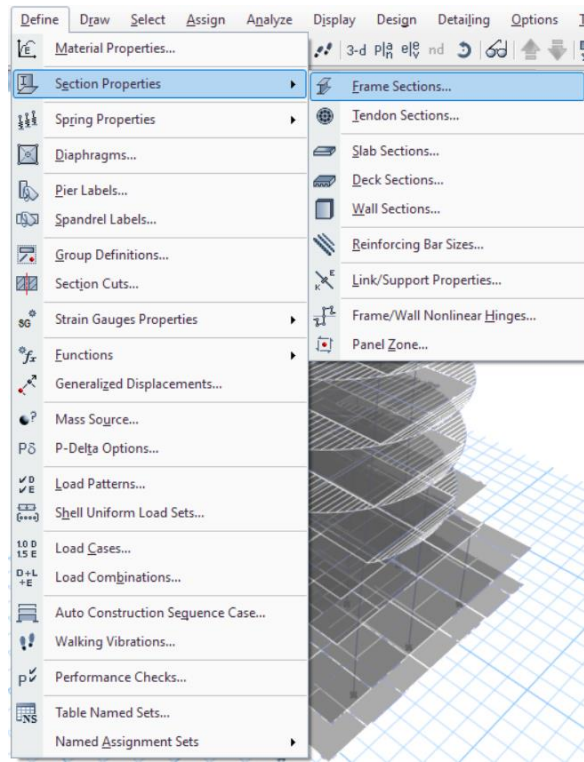


Figura 81

Elementos columna

Frame Section Property Data

General Data

Property Name: C-2 80x80

Material: CONCRETO 280Kg/cm2

Notional Size Data: Modify/Show Notional Size...

Display Color: Change...

Notes: Modify/Show Notes...

Shape

Section Shape: Concrete Circle

Section Property Source

Source: User Defined

Section Dimensions

Diameter: 0.8 m

Property Modifiers

Modify/Show Modifiers...
Currently Default

Reinforcement

Modify/Show Rebar...

OK
Cancel

Show Section Properties...

☐ Include Automatic Rigid Zone Area Over Column

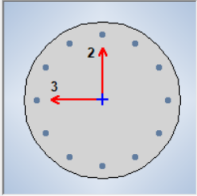


Figura 82

Elementos viga

Frame Section Property Data

General Data

Property Name: VIG 40X70 DIAG P4-6 DIS

Material: CONCRETO 280Kg/cm2

Notional Size Data: Modify/Show Notional Size...

Display Color: Change...

Notes: Modify/Show Notes...

Shape

Section Shape: Concrete Rectangular

Section Property Source

Source: User Defined

Section Dimensions

Depth: 0.7 m

Width: 0.4 m

Property Modifiers

Modify/Show Modifiers...
Currently User Specified

Reinforcement

Modify/Show Rebar...

OK
Cancel

Show Section Properties...

☐ Include Automatic Rigid Zone Area Over Column

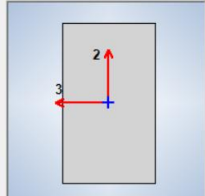
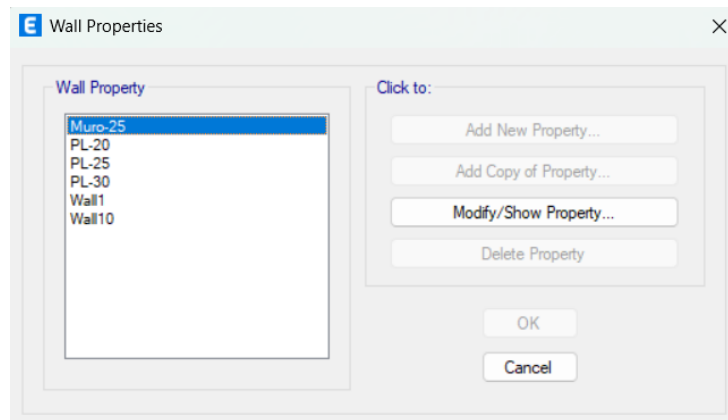


Figura 83

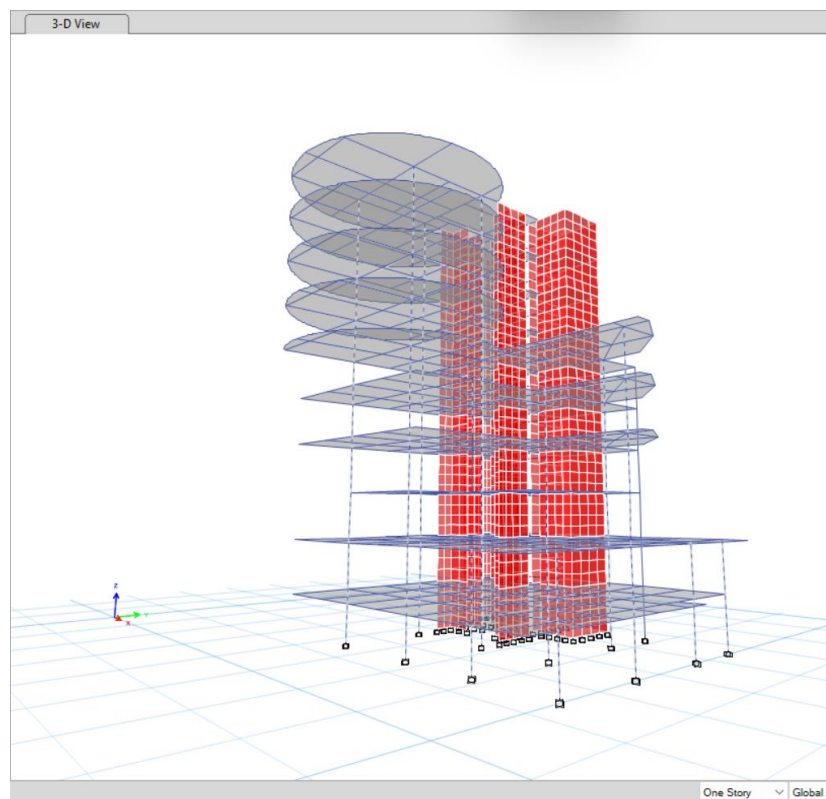
Elementos Wall o definición de muros



Después de haber definido tanto los materiales y las secciones se procedió a realizar el modelo tridimensional obteniendo así el modelo que se puede apreciar a continuación:

Figura 84

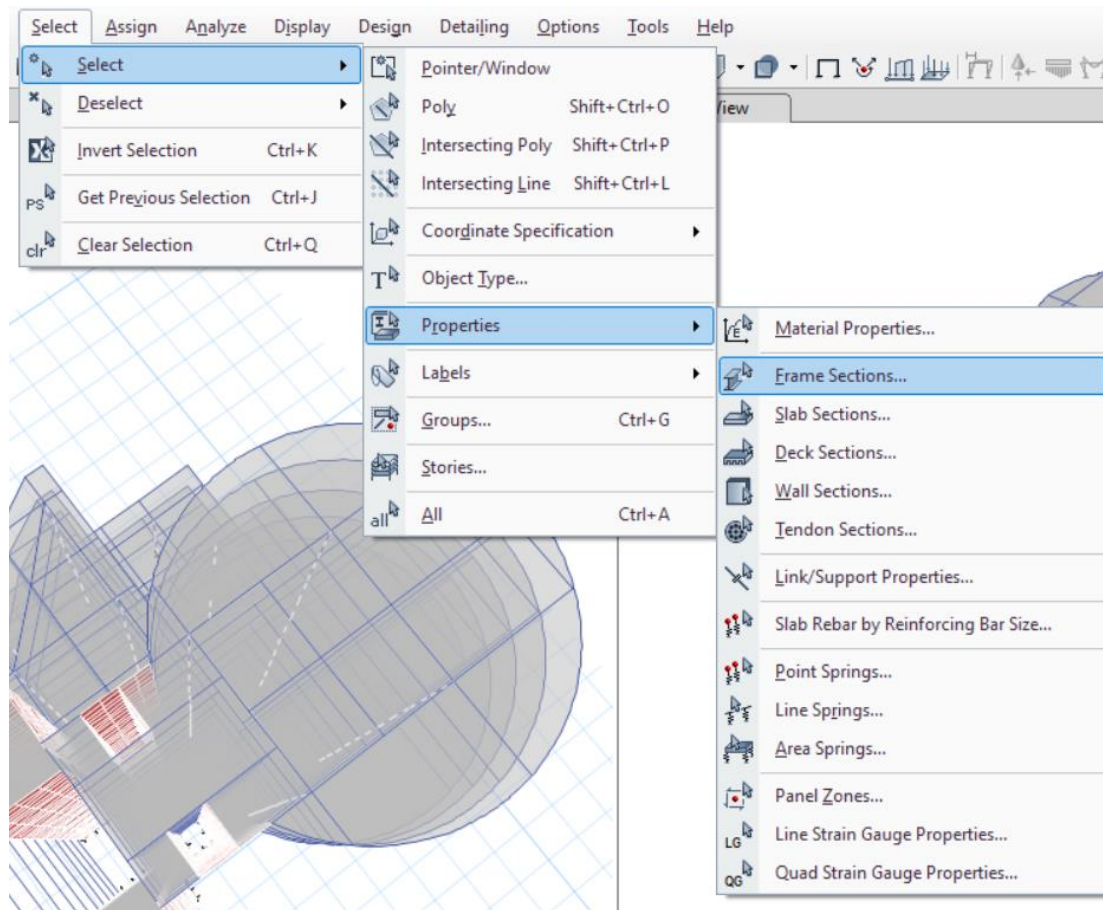
Creación del modelo tridimensional



Después de haber realizado el modelo completo se procedió a crear las rotulas para ser asignadas tanto en las vigas como en las columnas, para ello vamos a todos los elementos vigas en la cinta de opciones Select < Properties < Frame Seccction.

Figura 85

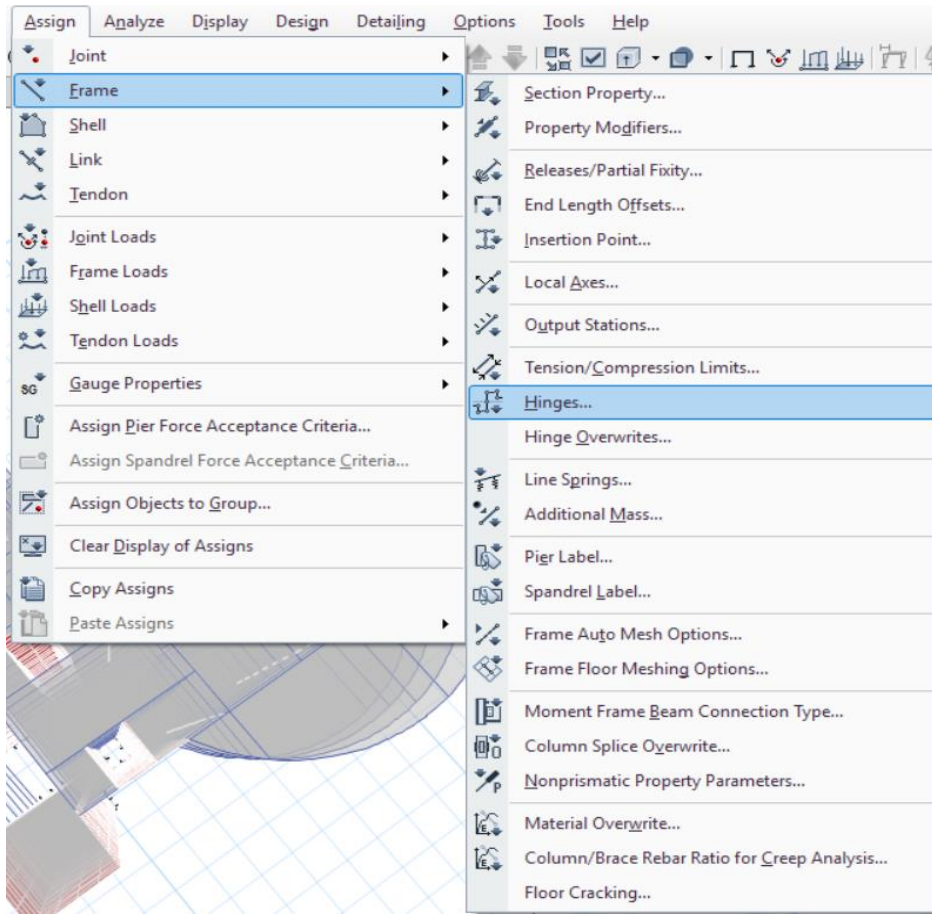
Asignación de rotulas



Una vez seleccionado los elementos estructurales, en la opción Assing < Frame <Hinges

Figura 86

Ubicación de rótulas en cada elemento



En la ventana emergente, se define las ubicaciones de las rótulas plásticas en vigas y columnas. Para ello, se estableció que dichas rótulas plasticas se ubiquen al 5% de la longitud total de cada elemento estructural, considerando el punto (i) como el extremo inicial y el punto (j) como el extremo final del elemento, localizando al 95% de la longitud total del elemento, para viga y columna.

Figura 87

Ubicación de rotulas plásticas

Frame Assignment - Hinges

Frame Hinge Definition Type

☐ Nonlinear Beam/Column

☐ Distributed Plasticity

☐ Equal Spacing

☐ Continuous Spring Support (Piles or Grade Beams)

☒ User Defined

Convert to User Defined

Frame Hinge Assignment Data - User Defined

Hinge Property	Location Type	Relative Distance	Absolute Distance m
Auto	Relative to clear length	0.05	0
Auto	Relative to clear length	0.95	
Auto	Relative to clear length	0.05	
Auto	Relative to clear length	0.95	

Add Hinge

Modify Hinge

Note: Hold the Ctrl key down when clicking the Modify button to Modify or Show the Auto hinge properties of the selected hinge

Delete Hinge

Current Hinge Information

Type: From Tables in ASCE 41-13

Table: Table 10-8 (Concrete Columns)

DOF: Auto

Show Advanced Parameters

Options

☐ Add Specified Hinge Assigns to Existing Hinge Assigns (All hinges will be converted to User Defined)

☒ Replace Existing Hinge Assigns with Specified Hinge Assigns

Existing Hinge Assignments on Currently Selected Frame Objects

Number of Selected Frame Objects: 67

Total Number of Hinges on All Selected Frame Objects: 268

All 268 existing hinge assignments will be removed when the above hinge assignment is applied

Fill Form with Hinges on Selected Frame Object

OK Cancel

Es importante considerar que, la definición de las rótulas plásticas, se deben seleccionar correctamente las propiedades y referencias proporcionadas por el programa. En este sentido, las rótulas en las vigas se configurado para responder los efectos del momento flector en el eje M3, mientras que las rótulas de las columnas se han definido considerando la interacción entre la carga axial (P) y los momentos flectores en los ejes M2 y M3, tal como se muestra en la Figura 85.

Una vez completada la asignación de las rótulas plásticas, se verifica su correcta incorporación en el modelo estructural para el análisis no lineal, como se observa en la Figura 85.

Figura 88

Detalle de rótulas plásticas

E Auto Hinge Assignment Data

Auto Hinge Type

- From Tables in ASCE 41-13
- Buckling Restrained Brace
- From Tables in ASCE 41-13
- From Tables in ASCE 41-13 with EC8 2005, Part 3 Acceptance Criteria
- From Tables in ASCE 41-17

Degree of Freedom

☐ M2 ☐ P-M2 ☐ Parametric P-M2-M3
☐ M3 ☐ P-M3
☐ M2-M3 ☒ P-M2-M3

P and V Values From

☒ Case/Combo PUSH X
☐ User Value P tonf
 V2 tonf V3 tonf

Concrete Column Failure Condition

☐ Condition i - Flexure ☐ Condition iii - Shear
☒ Condition ii - Flexure/Shear ☐ Condition iv - Development

Shear Reinforcing Ratio $p = A_v / (b_w * s)$

☒ From Current Design
☐ User Value

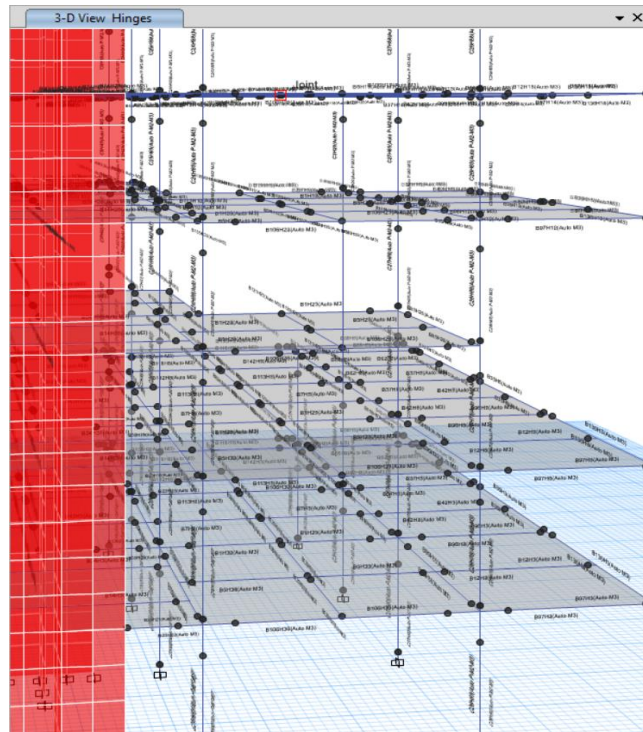
Deformation Controlled Hinge Load Carrying Capacity

☒ Drops Load After Point E
☐ Is Extrapolated After Point E

OK Cancel

Figura 89

Rotulas insertadas en la estructura



Una vez verificado las rotulas plásticas en la ventana (Section Designer) se define la creación de la geometría de las vigas, columnas y muros. Así mismo se define el acero de refuerzo para cada elemento estructural.

Figura 90

Propiedades de la columna cuadrada

E Section Designer Section Property Data

General Data

Property Name: C C80X80 R1

Base Material: Concreto $f'c=210$ Kg/cm²

Notional Size Data: Modify/Show Notional Size...

Display Color: [Blue Swatch] Change...

Notes: Modify/Show Notes...

Design Type

☐ No Check/Design ☐ General Steel Section

☒ Concrete Column ☐ Composite Column

Concrete Column Check/Design

☒ Reinforcement to be Checked

☐ Reinforcement to be Designed

Define/Edit/Show Section

Section Designer...

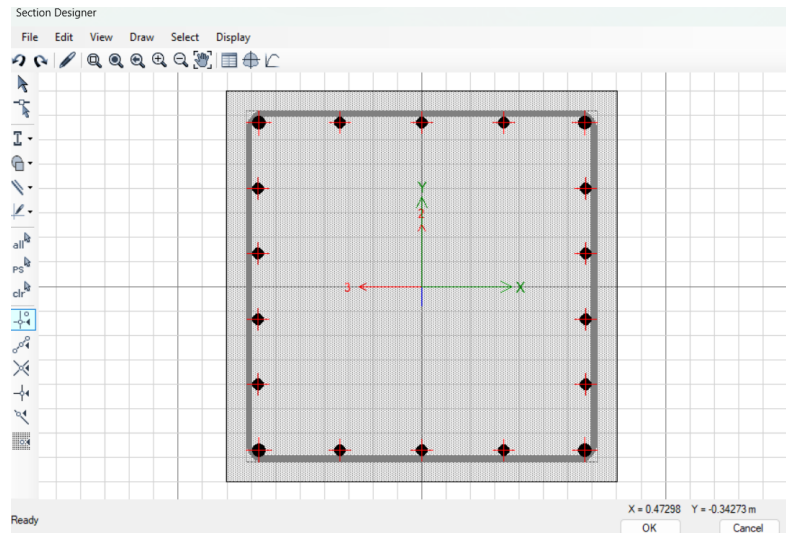
Section Properties **Property Modifiers**

Properties... Set Modifiers...

OK Cancel

Figura 91

Columna cuadrada



Finalmente, dentro de la opción Set Modifiers se definirá que el programa solo considere trabajar con el 40% de las fuerzas cortantes tanto en la dirección 2 y 3 y que considere el 70% de capacidad de momento de inercia también en el eje 2 y eje 3.

Figura 92

Modificación de factores

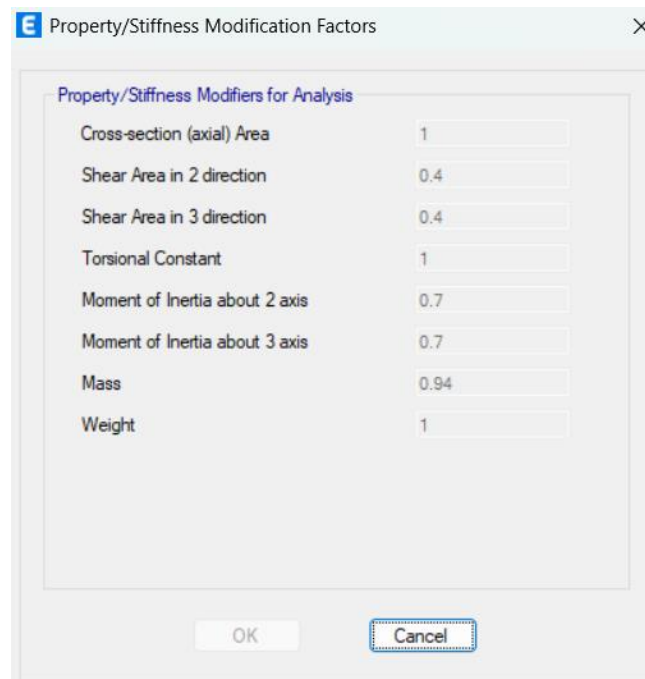
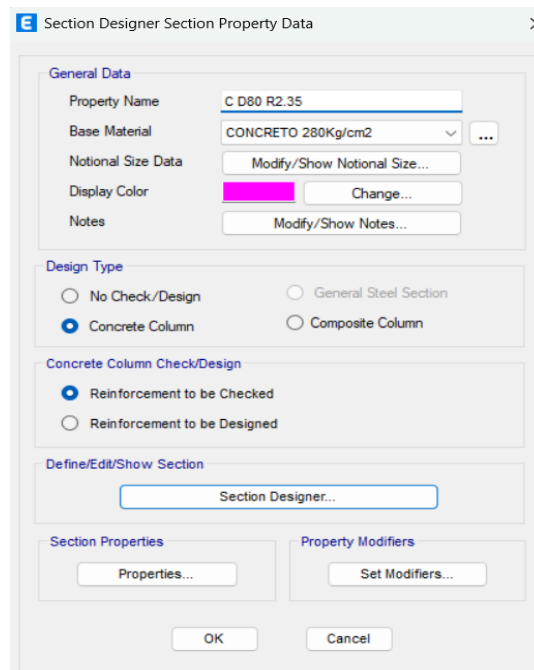


Figura 93

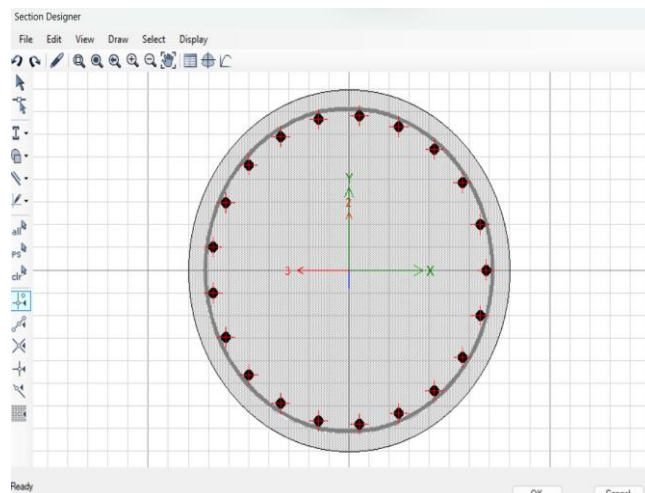
Propiedades de las columnas circulares



Dentro de la ventana de sección de diseño se definirá, el tipo de elemento, así como también si se requiere una revisión del diseño realizado o que el programa realice el diseño, luego de ello en la opción Section Desiner se asigna el acero de refuerzo que corresponde al elemento.

Figura 94

Columna circular



Luego, en la opción Set Modifiers se define que el software que considere trabajar en la dirección 2 y 3 con el 40% de las fuerzas cortantes y que considere el 70% de momento de inercia en la dirección 2 y 3.

Figura 95

Modificación de factores

Property/Stiffness Modifiers for Analysis	
Cross-section (axial) Area	1
Shear Area in 2 direction	0.4
Shear Area in 3 direction	0.4
Torsional Constant	1
Moment of Inertia about 2 axis	0.7
Moment of Inertia about 3 axis	0.7
Mass	0.94
Weight	1

Figura 96

Vigas

General Data

Property Name: VG40X70 VG2 6-9

Material: CONCRETO 280Kg/cm2

Notional Size Data: Modify/Show Notional Size...

Display Color: Change...

Notes: Modify/Show Notes...

Shape

Section Shape: Concrete Rectangular

Section Property Source

Source: User Defined

Section Dimensions

Depth: 0.7 m

Width: 0.4 m

Diagram

Rectangular section with axes 2 (vertical) and 3 (horizontal).

Property Modifiers

Modify/Show Modifiers...
Currently User Specified

Reinforcement

Modify/Show Rebar...

OK Cancel

Show Section Properties...

☐ Include Automatic Rigid Zone Area Over Column

En la ventana de diseño de secciones se define el tipo de elemento estructural y se establece si el software realizará una verificación de diseño o un diseño automático. luego, en la opción *Section Designer*, se asigna el acero de refuerzo. En el caso de las vigas, el software clasifica el acero de refuerzo según su ubicación en las caras superior e inferior del elemento, permitiendo una representación adecuada de su configuración estructural.

Figura 97

Propiedades de reforzamiento

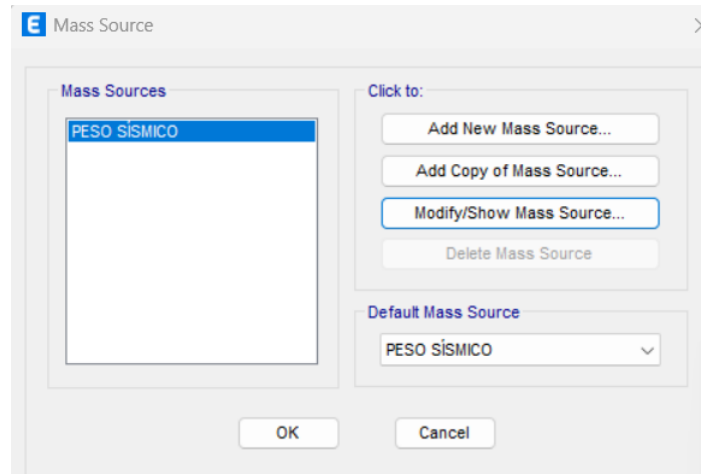
Design Type		Rebar Material	
☐	P-M2-M3 Design (Column)	Longitudinal Bars	A615Gr60
☒	M3 Design Only (Beam)	Confinement Bars (Ties)	A615Gr60

Cover to Longitudinal Rebar Group Centroid		Reinforcement Area Overwrites for Ductile Beams	
Top Bars	0.04 m	Top Bars at I-End	0.002381 m ²
Bottom Bars	0.04 m	Top Bars at J-End	0.001936 m ²
		Bottom Bars at I-End	0.00112 m ²
		Bottom Bars at J-End	0.000956 m ²

Después de haber definido lo anterior, se procede en Mass Source con la determinación peso sísmico participativo.

Figura 98

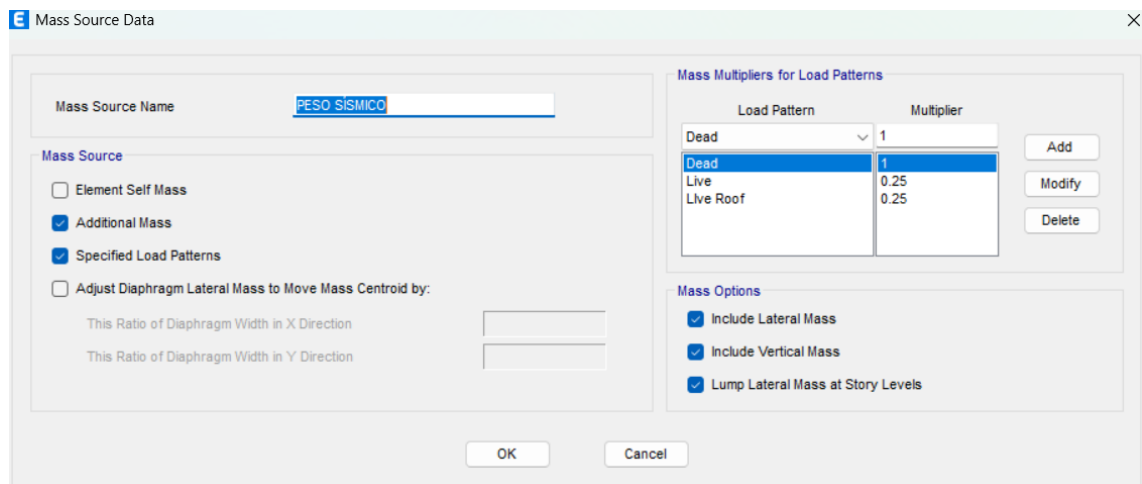
Asignación del peso sísmico



Con esta configuración, el programa toma en cuenta todo el peso propio de la estructura (Dead =1), además del 25 % de la carga viva (Live =0.25) aplicada y también el 25 % de la carga viva (Live roof =0.25) presente en el techo.

Figura 99

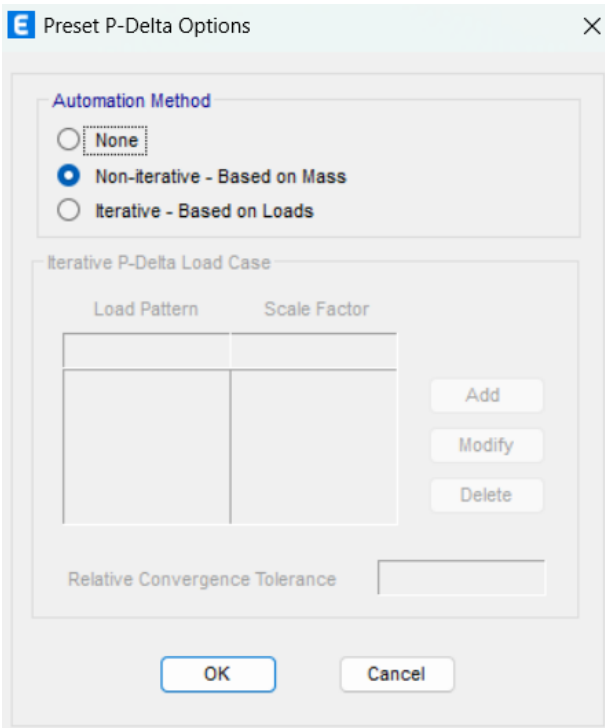
Peso sísmico



El efecto P-Delta, llamado como análisis de segundo orden, permite considerar el aumento de los esfuerzos en la estructura debido a las deformaciones que esta presenta. Por ello, tomar en cuenta este efecto resulta fundamental para obtener un diseño

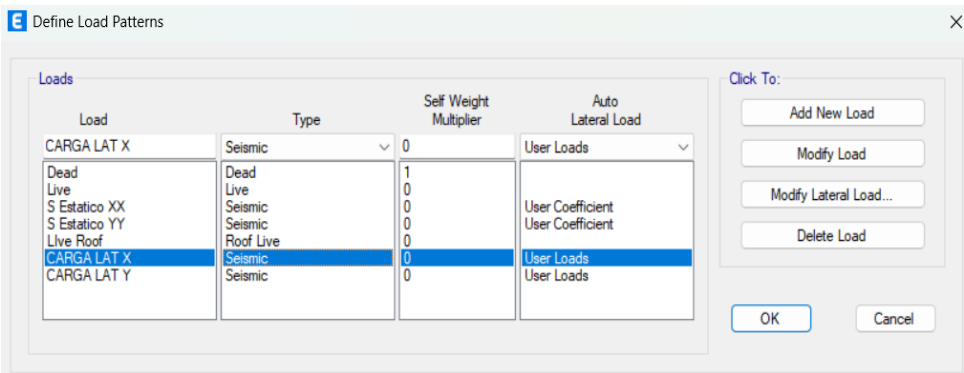
estructural más seguro y preciso, especialmente en edificaciones altas o con elementos de gran esbeltez.

Figura 100
Efecto P-Delta



En Load Patterns, establecemos las cargas iniciales, también se define un nuevo patrón de carga que considera la altura a cada entrepiso, para representar el comportamiento de la edificación.

Figura 101
Definición de cargas lateras



Las fuerzas para eje X e Y se determinan a partir de la altura total de la estructura sobre la altura por piso acumulada, es por ello que para el ultimo nivel que se obtiene una carga igual a 1.

Figura 102

Cargas en diafragmas

User Seismic Loads on Diaphragms

Number of Load Sets: 1

Load Set 1 of 1

Story	Diaphragm	F _x tonf	F _y tonf	M _z tonf-m
Story9	D10	1	0	0
Story8	D9	0.902	0	0
Story7	D8	0.804	0	0
Story6	D7	0.707	0	0
Story5	D6	0.609	0	0
Story4	D5	0.511	0	0
Story3	D4	0.413	0	0
Story2	D3	0.3152	0	0
Story1	D2	0.2174	0	0
Semi sotano	D1	0.1087	0	0

1

☒ Apply Load at Diaphragm Center of Mass

Additional Eccentricity Ratio (all Diaphragms): 0.05

Sort Rows Add Row Delete Row(s)

OK Cancel

Figura 103

Cargas en diafragmas

User Seismic Loads on Diaphragms

Number of Load Sets: 1

Load Set 1 of 1

Story	Diaphragm	F _x tonf	F _y tonf	M _z tonf-m
Story9	D10	0	1	0
Story8	D9	0	0.902	0
Story7	D8	0	0.804	0
Story6	D7	0	0.707	0
Story5	D6	0	0.609	0
Story4	D5	0	0.511	0
Story3	D4	0	0.413	0
Story2	D3	0	0.315	0
Story1	D2	0	0.217	0
Semi sotano	D1	0	0.109	0

1

☒ Apply Load at Diaphragm Center of Mass

Additional Eccentricity Ratio (all Diaphragms): 0.05

Sort Rows Add Row Delete Row(s)

OK Cancel

Luego de definir las cargas, establecemos los casos de carga, así como también se consideran las cargas laterales, los cuales permiten evaluar la respuesta estructural frente a las acciones asignadas, analizando su comportamiento dentro del rango elástico lineal.

Figura 104

Definición de casos de cargas

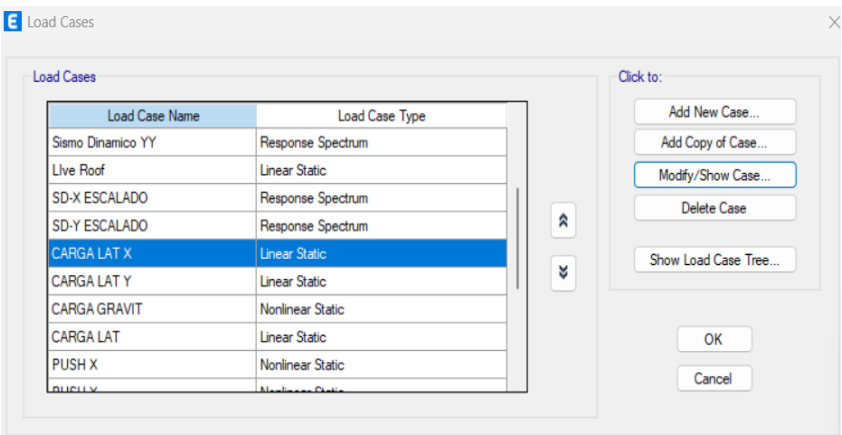


Figura 105

Carga lateral en X

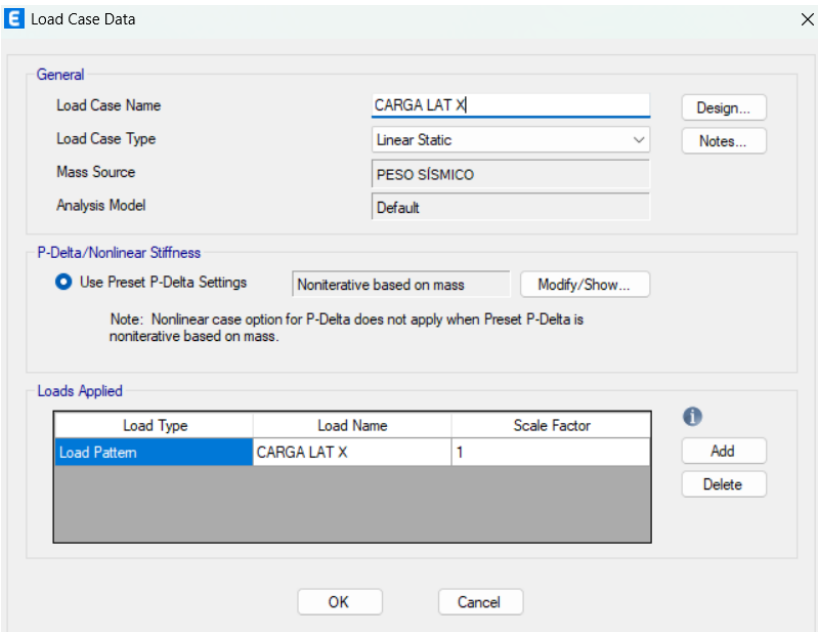


Figura 106

Carga lateral en Y

Load Case Data

General

Load Case Name: CARGA LAT Y

Load Case Type: Linear Static

Mass Source: PESO SISMICO

Analysis Model: Default

P-Delta/Nonlinear Stiffness

☒ Use Preset P-Delta Settings ☐ Noniterative based on mass

Note: Nonlinear case option for P-Delta does not apply when Preset P-Delta is noniterative based on mass.

Loads Applied

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

Después también se define la carga gravitacional que actúa en el rango no lineal considerando el 100% de la carga muerta, el 25% de la carga viva y también el 25% de la carga viva de techo.

Figura 107

Definición de cargas gravitacionales

Load Cases

Load Case Name	Load Case Type
Sismo Dinamico YY	Response Spectrum
Live Roof	Linear Static
SD-X ESCALADO	Response Spectrum
SD-Y ESCALADO	Response Spectrum
CARGA LAT X	Linear Static
CARGA LAT Y	Linear Static
CARGA GRAVIT	Nonlinear Static
CARGA LAT	Linear Static
PUSH X	Nonlinear Static
PUSH Y	Nonlinear Static

Click to:

Figura 108

Carga gravitacional

Load Case Data

General

Load Case Name: CARGA GRAVIT

Load Case Type: Nonlinear Static

Mass Source: Previous

Analysis Model: Default

Design... Notes...

Initial Conditions

☒ Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State

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

Nonlinear Case:

Loads Applied

Load Type	Load Name	Scale Factor
Load Pattern	Dead	1
Load Pattern	Live	0.25
Load Pattern	Live Roof	0.25

Add Delete

Other Parameters

Modal Load Case: Modal

Geometric Nonlinearity Option: None

Load Application: Full Load

Results Saved: Final State Only

Floor Cracking Analysis: No Cracked Analysis

Nonlinear Parameters: Default - Iterative Event-to-Event

Modify/Show... Modify/Show... Modify/Show... Modify/Show...

OK Cancel

Por último, se establecen los casos de carga que serán considerados en el análisis estructural, asumiendo un comportamiento estático no lineal de la estructura y tomando como carga aplicada en forma de aceleración en la dirección X.

Figura 109

Definición de Pushover en X

Load Case Data

General

Load Case Name: PUSH X [Design...]

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

Mass Source: Previous

Analysis Model: Default

Initial Conditions

☐ Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State

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

Nonlinear Case: CARGA GRAVIT

Loads Applied

Load Type	Load Name	Scale Factor
Acceleration	UX	1

[Add] [Delete]

Other Parameters

Modal Load Case: Modal

Geometric Nonlinearity Option: P-Delta

Load Application: Displacement Control [Modify/Show...]

Results Saved: Multiple States [Modify/Show...]

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

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

[OK] [Cancel]

Después se configura el control de desplazamientos, teniendo en cuenta una altura referencial para la obtención de datos y un punto de control de los desplazamientos.

Figura 110

Configuración del control de desplazamientos

Load Application Control for Nonlinear Static Analysis

Load Application Control

☐ Full Load

☒ Displacement Control

☐ Quasi-Static (run as time history)

Control Displacement

☐ Use Conjugate Displacement

☒ Use Monitored Displacement

Load to a Monitored Displacement Magnitude of m

Monitored Displacement

☒ DOF/Joint

☐ Generalized Displacement

Additional Controlled Displacements

Quasi-static Parameters

Time History Type

Output Time Step Size sec

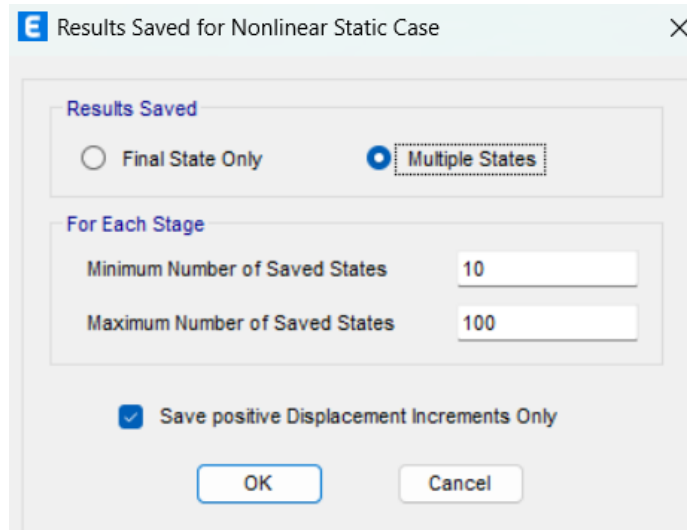
Mass Proportional Damping 1/sec

Hilber-Hughes-Taylor Time Integration Parameter, Alpha

Asimismo, se configura en el software para que los resultados del análisis estático no lineal se evalúen mediante por varios estados, como un mínimo de 10 y un máximo de 100 estados de análisis como se observa en la figura 109.

Figura 111

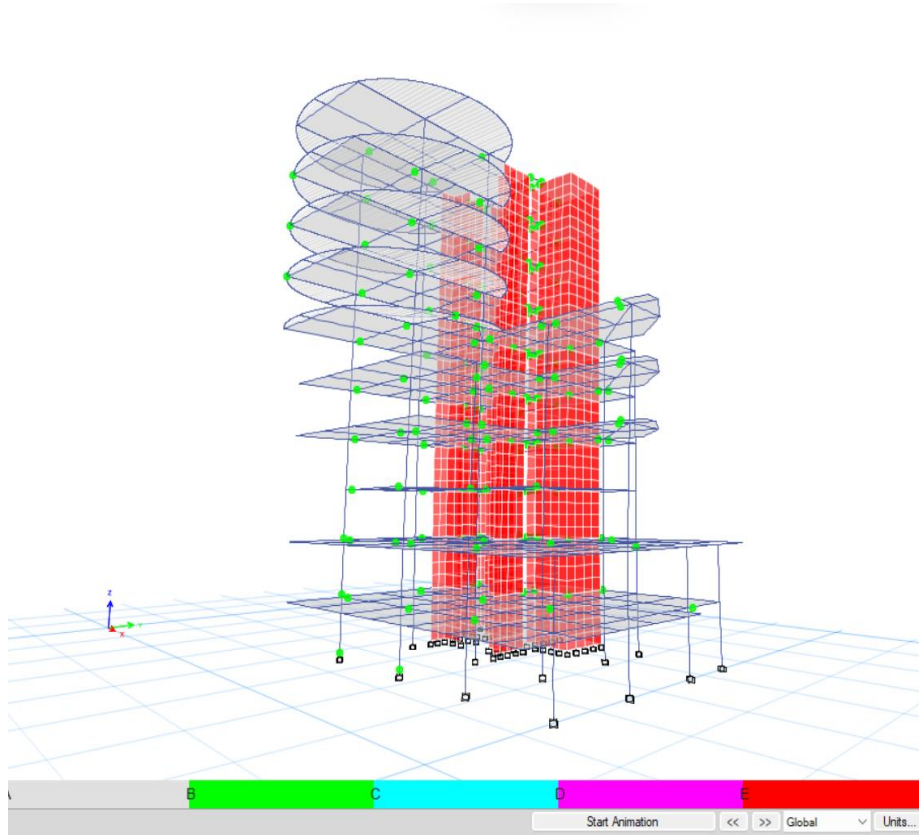
Configuración de Análisis estático no lineal



Una vez finalizada toda la configuración del modelo, se realiza el análisis estructural. A partir de ello, para la evaluación en la dirección del eje X-X, se observa que las rótulas plásticas se forman en las vigas, aunque también aparecen en las columnas del primer piso. Sin embargo, todas las rótulas generadas permanecen dentro del rango elástico de la estructura.

Figura 112

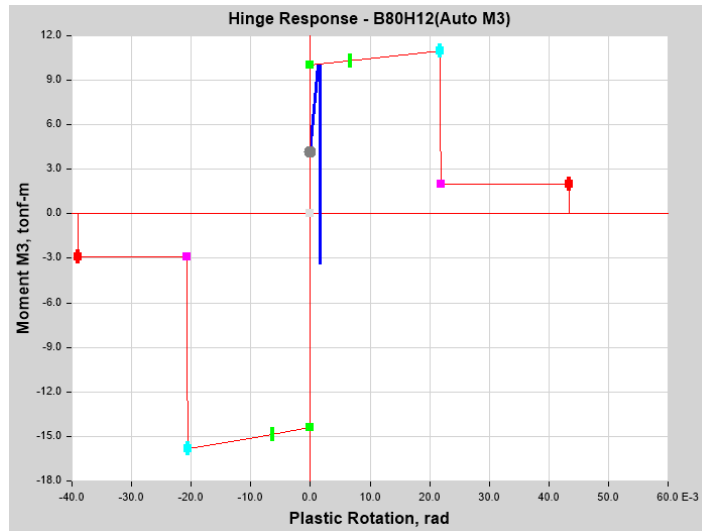
Dirección X-X



En la dirección X-X generan rotulas plásticas en las vigas, aunque estas se mantienen en el rango elástico, vale decir el refuerzo absorbe los esfuerzos que actúan en él elemento, debido a ello, el elemento experimenta deformaciones temporales; sin embargo, una vez que la carga deja de actuar, recupera su estado inicial.

Figura 113

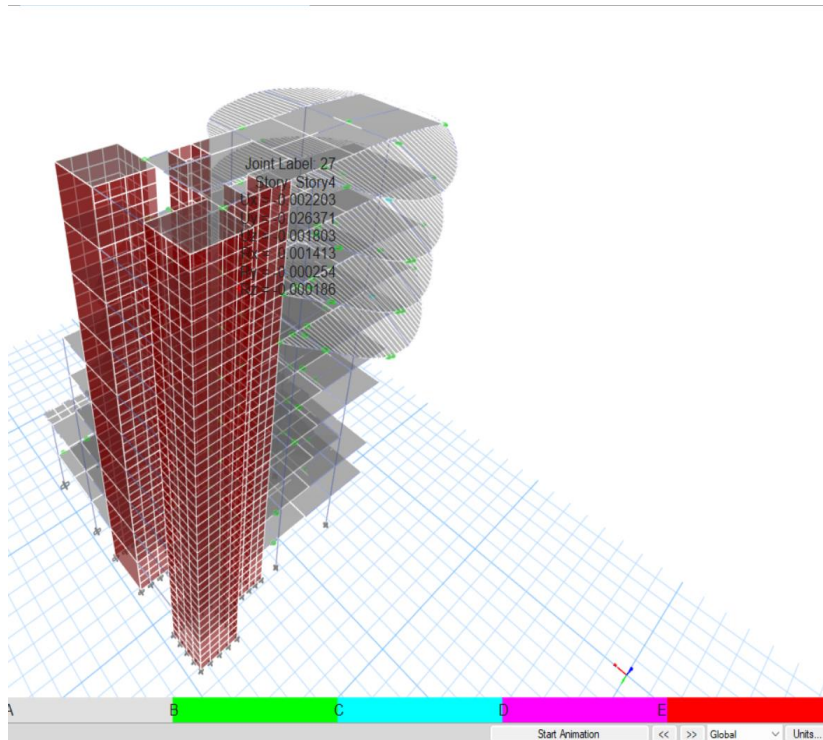
Gráfico de respuesta de rotula plástica



Para el análisis en esta dirección en el tercer nivel se observa que se genera una rotula plástica que llega al límite de rotura.

Figura 114

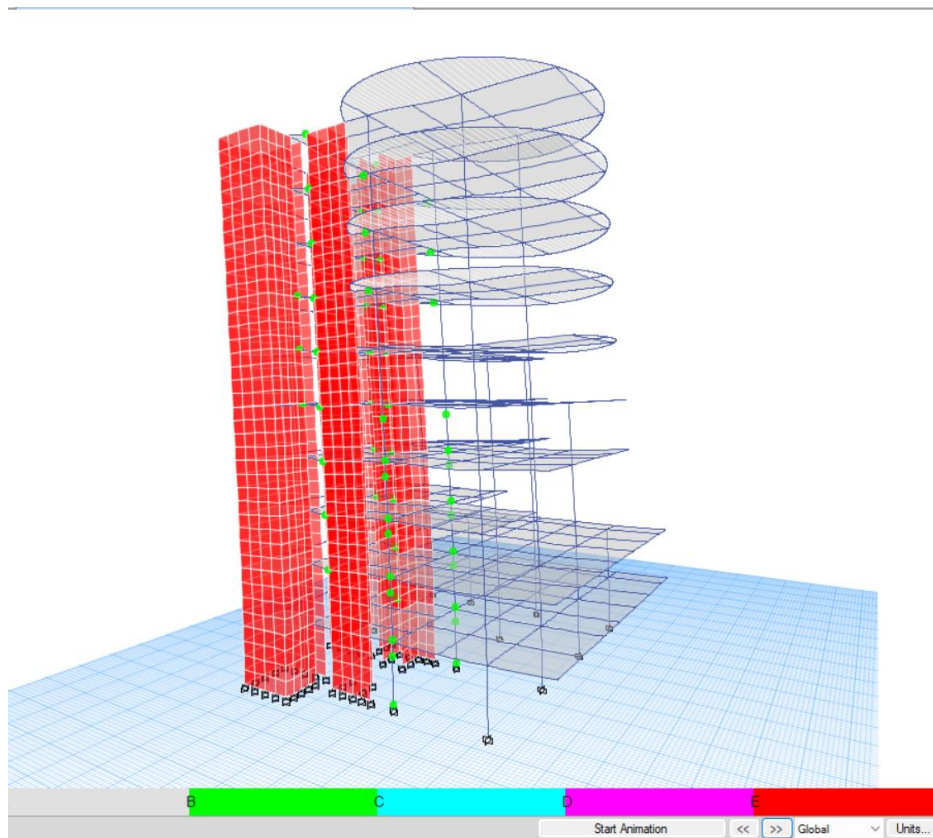
Rotula plástica en el tercer nivel



En el análisis realizado en la dirección X-X, se observa que las rótulas se forman principalmente en las vigas y, en menor proporción, en algunas columnas, especialmente en las del primer nivel. Sin embargo, todas las rótulas permanecen dentro del comportamiento elástico de la estructura.

Figura 115

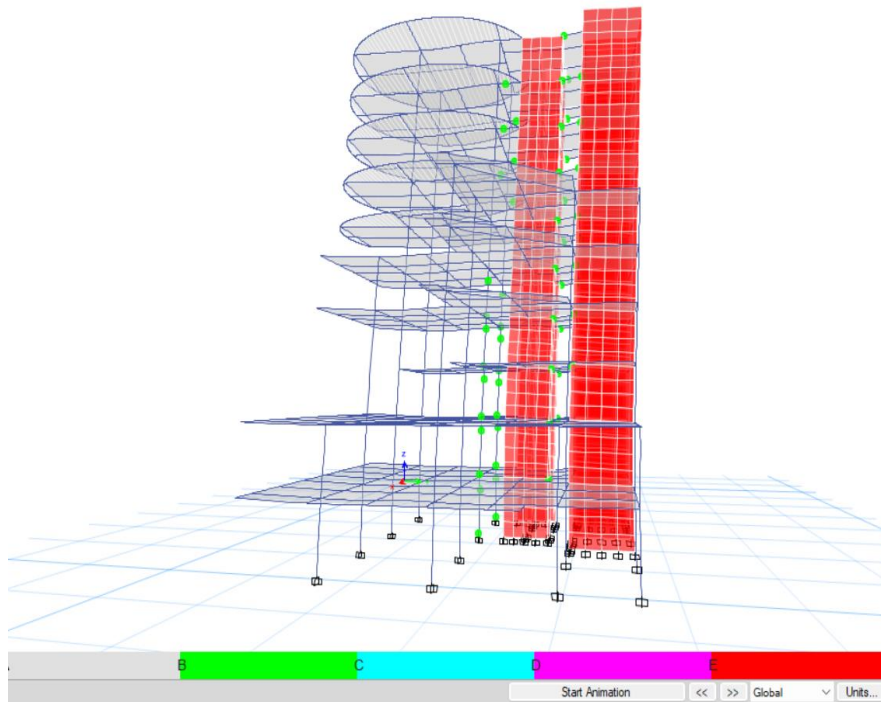
Dirección Y-Y



Por otro lado, para la dirección Y-Y, las cargas aplicadas generan rótulas en algunas columnas. A pesar de ello, estas también se mantienen en el rango elástico, lo que indica que el refuerzo es capaz de resistir los esfuerzos actuantes. Como resultado, los elementos pueden deformarse durante la aplicación de la carga, pero recuperan su forma original una vez que esta deja de actuar.

Figura 116

Modelado de la estructura - Modulo 2



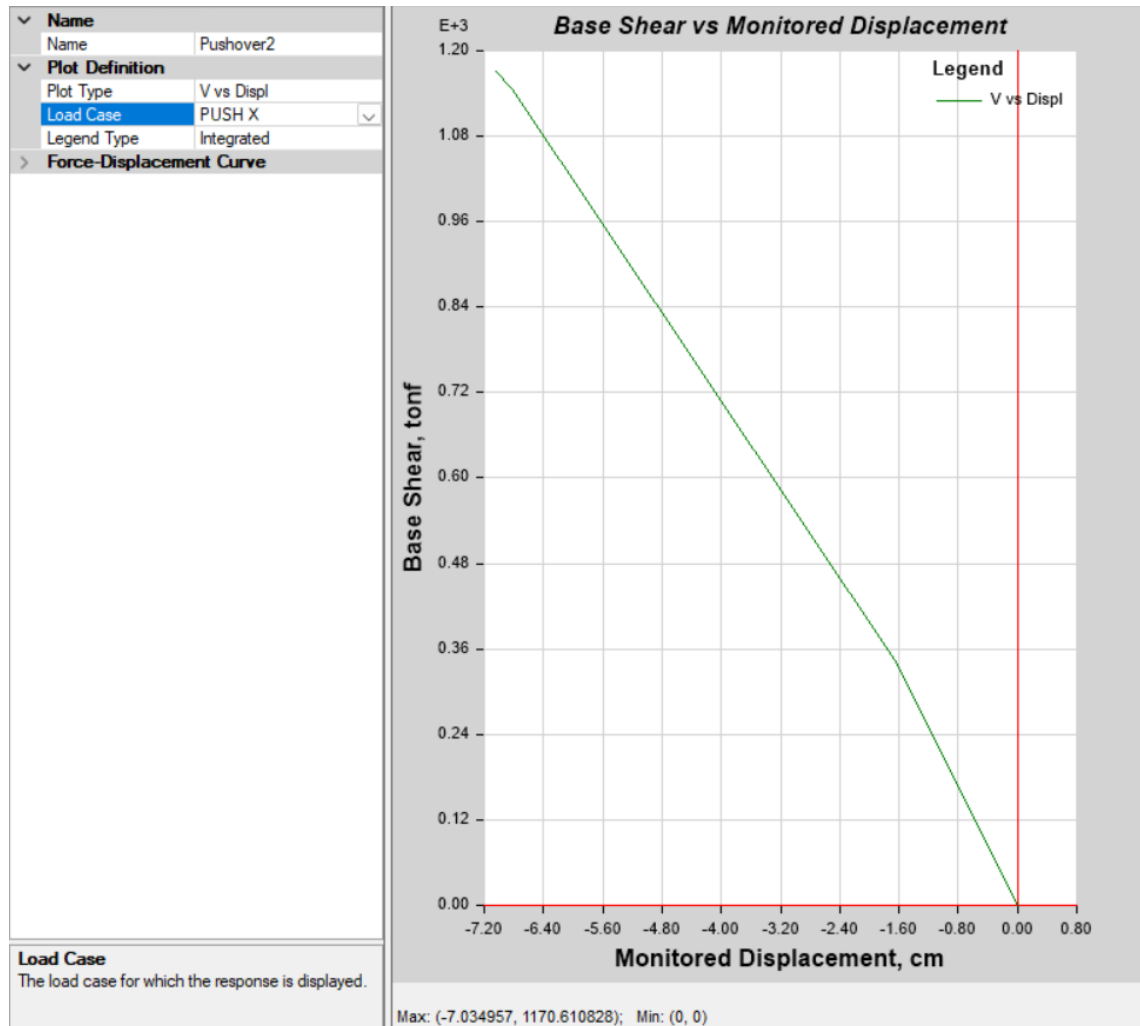
Del análisis realizado al **módulo 2**, en las siguientes graficas se pueden apreciar, la de capacidad de la estructura, así como también la curva de demanda de acuerdo con el espectro creado.

En el análisis realizado en la dirección X-X, se observa que las rótulas se forman principalmente en las vigas y, en algunos casos, en ciertas columnas, especialmente las ubicadas en el primer nivel. Sin embargo, todas ellas permanecen dentro del rango elástico, por lo que no se presentan daños permanentes en los elementos estructurales.

Por otro lado, la curva de capacidad obtenida mediante el análisis Pushover para la dirección X-X, considerando el espectro establecido por la Norma E.030, se presenta a continuación.

Figura 117

Pushover en la dirección X-X



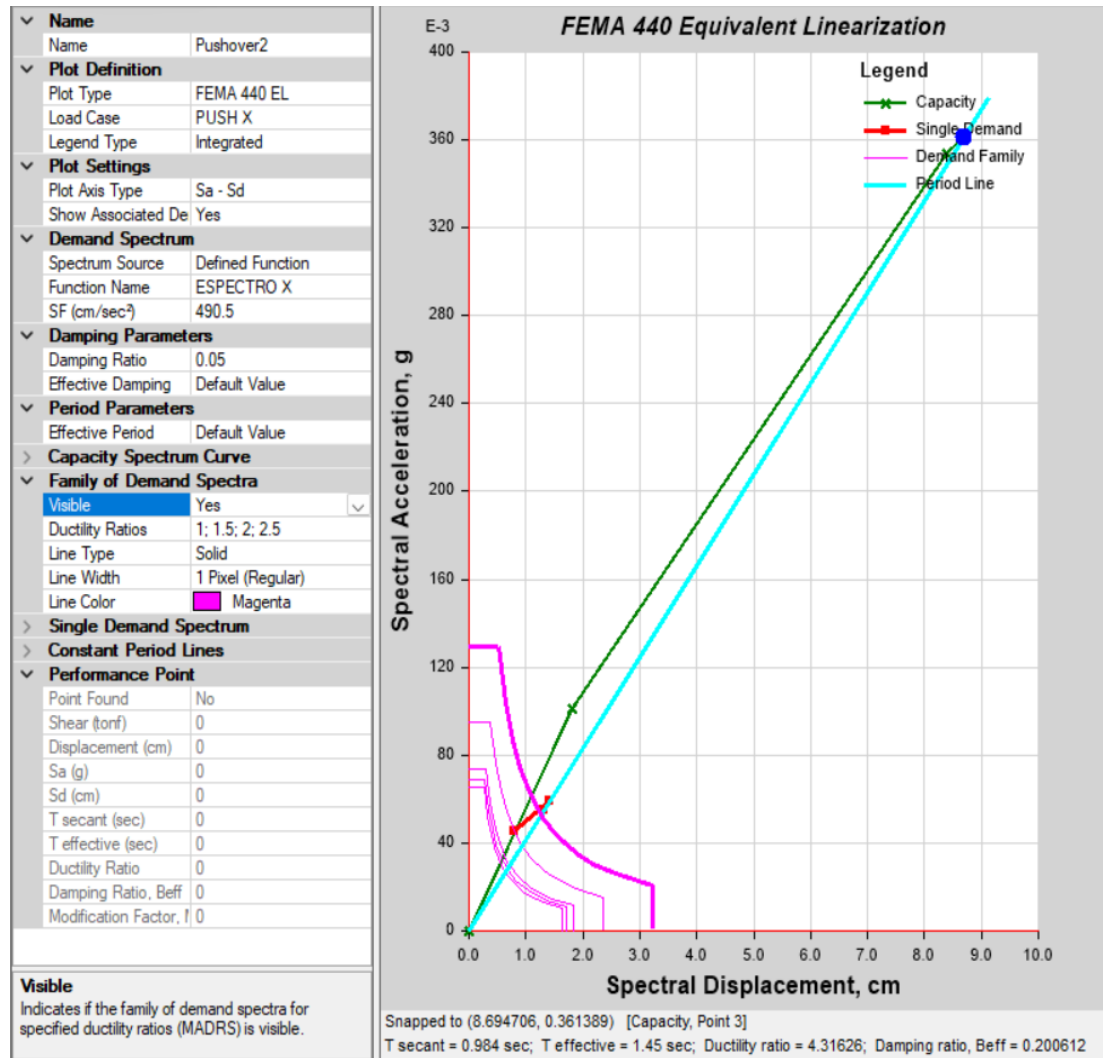
A partir del análisis, se obtiene que la fuerza cortante basal para esta dirección alcanza un valor de 1170.61Tnf, y el desplazamiento máximo alcanza de 7.0349 cm.

Posteriormente, se determinan los puntos de desempeño frente a diferentes niveles de eventos sísmicos, tales como sismos frecuentes, severos y extraordinarios. Para ello, el análisis se desarrolla tomando como referencia los criterios establecidos en la Norma ATC-40, la cual indica lo siguiente para sismo frecuente:

$$0.50g * A_o = \left(490 \frac{m}{s^2}\right) * A_o$$

Figura 118

Punto de desempeño en sismos frecuentes

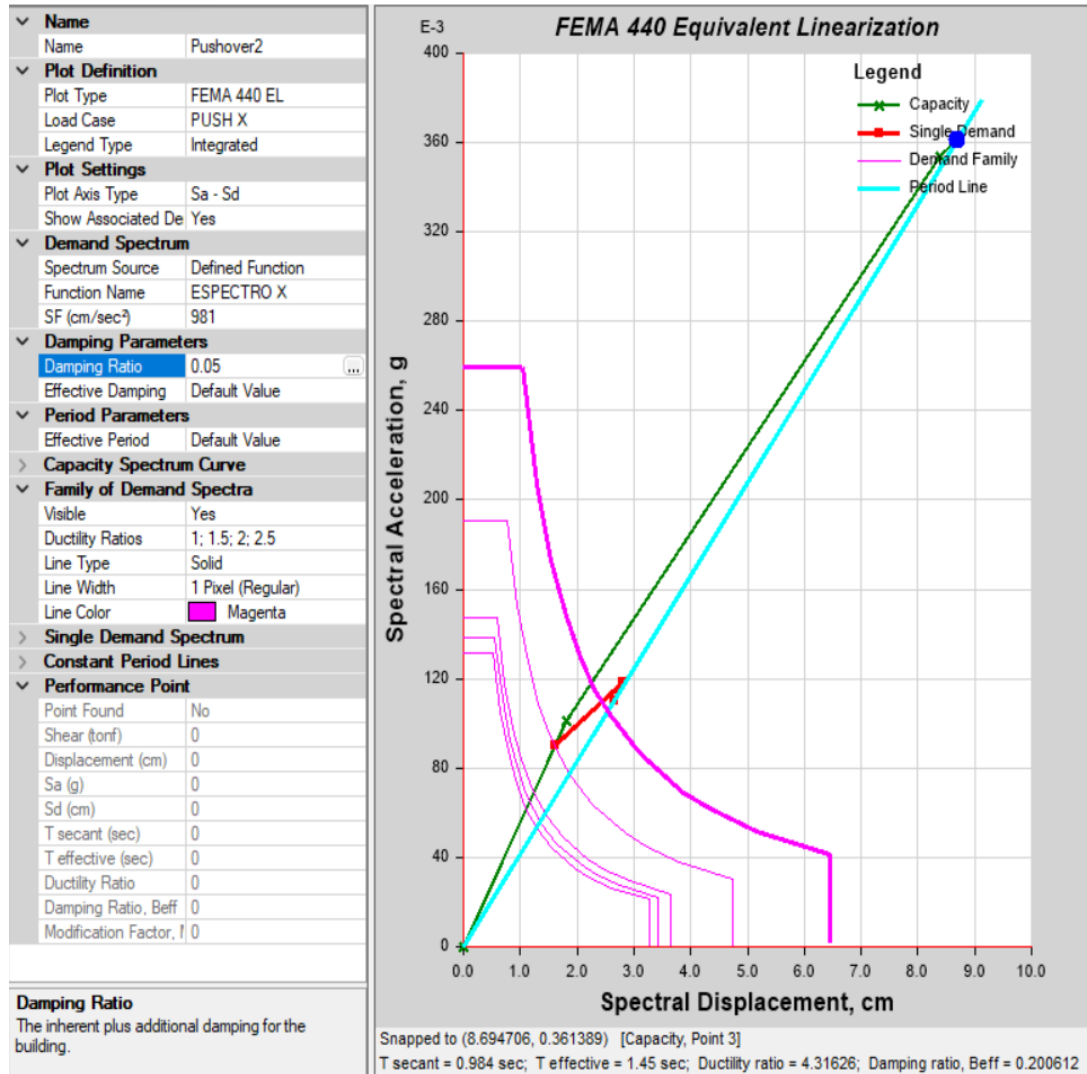


- En sismos Severos se usará

$$g * A_o = \left(981 \frac{m}{s^2} \right) * A_o$$

Figura 119

Punto de desempeño en sismos severos

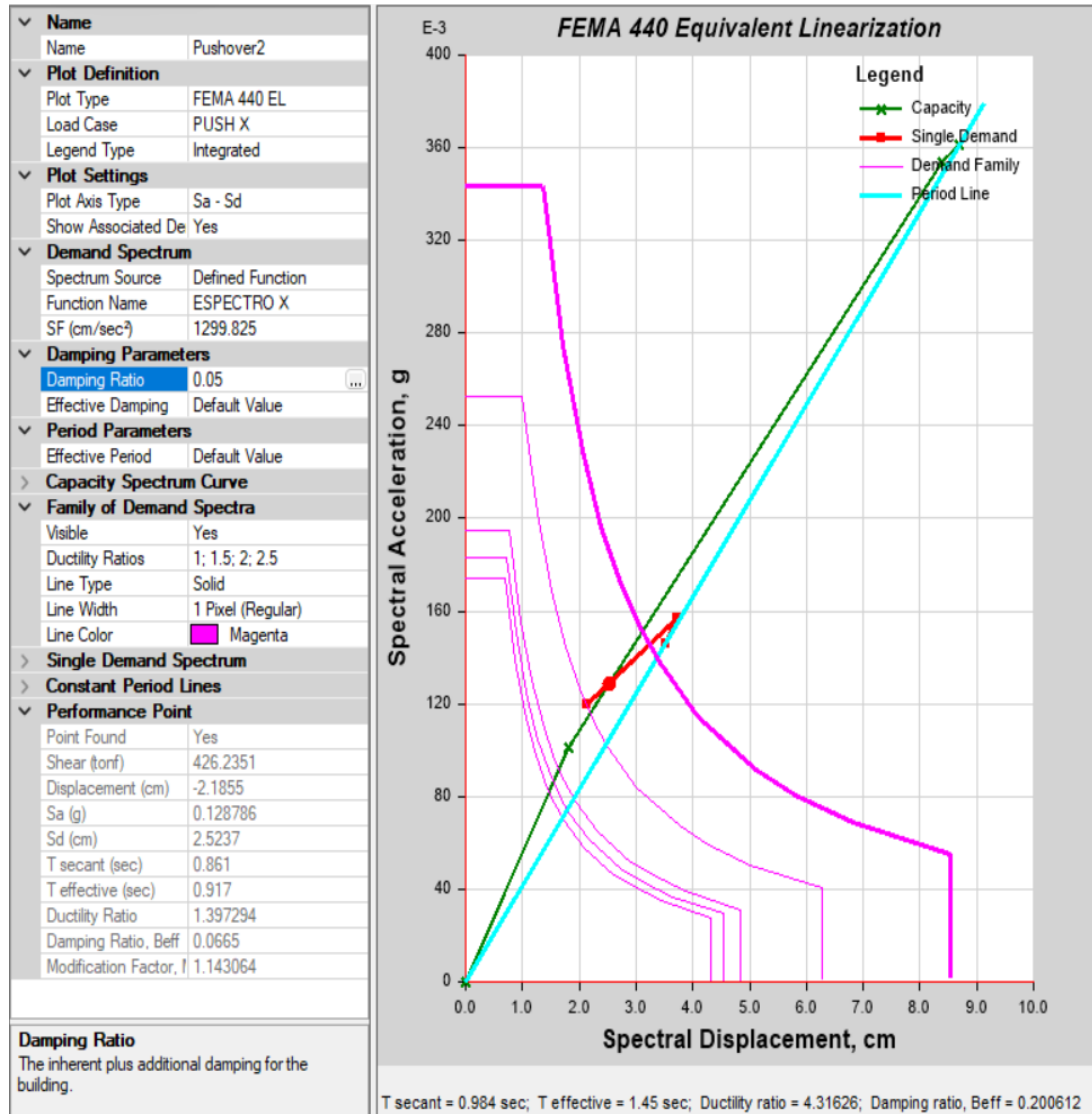


- En sismos Extraordinarios se usará

$$1.325g * A_o = \left(1300 \frac{m}{s^2}\right) * A_o$$

Figura 120

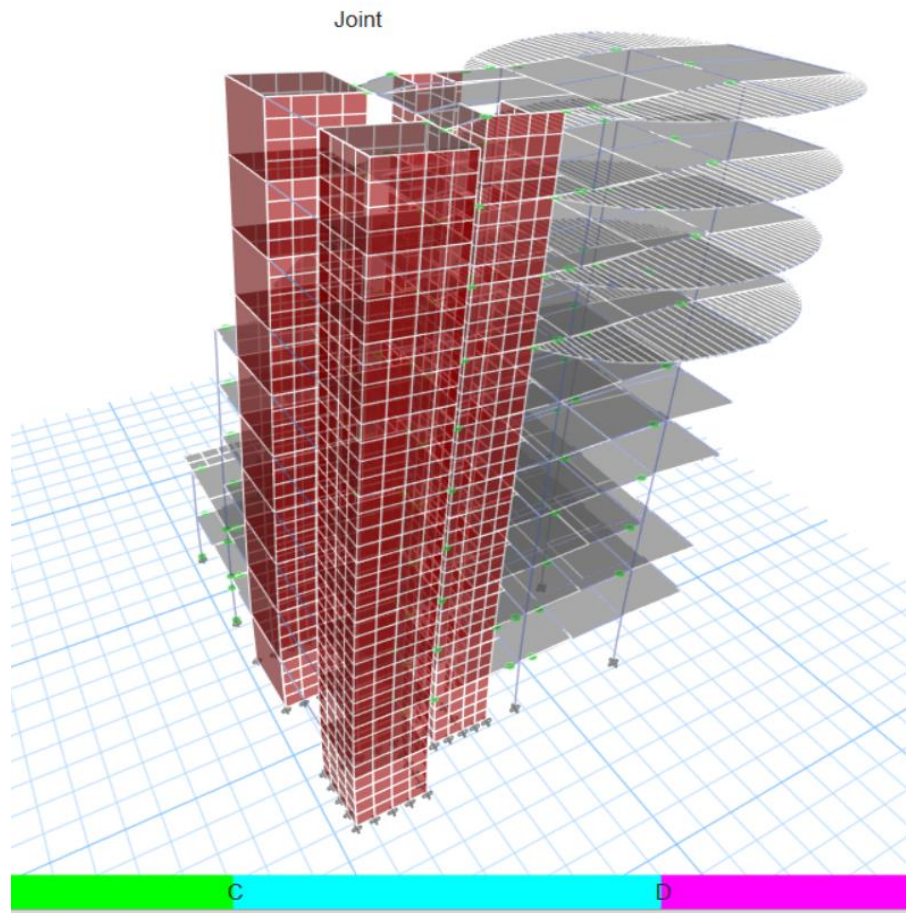
Punto de desempeño en sismos extraordinarios



A continuación, se muestra la curva de capacidad generada por el programa para el análisis en la dirección Y-Y, considerando el espectro de diseño establecido por la ASCE.

Figura 121

Dirección Y-Y

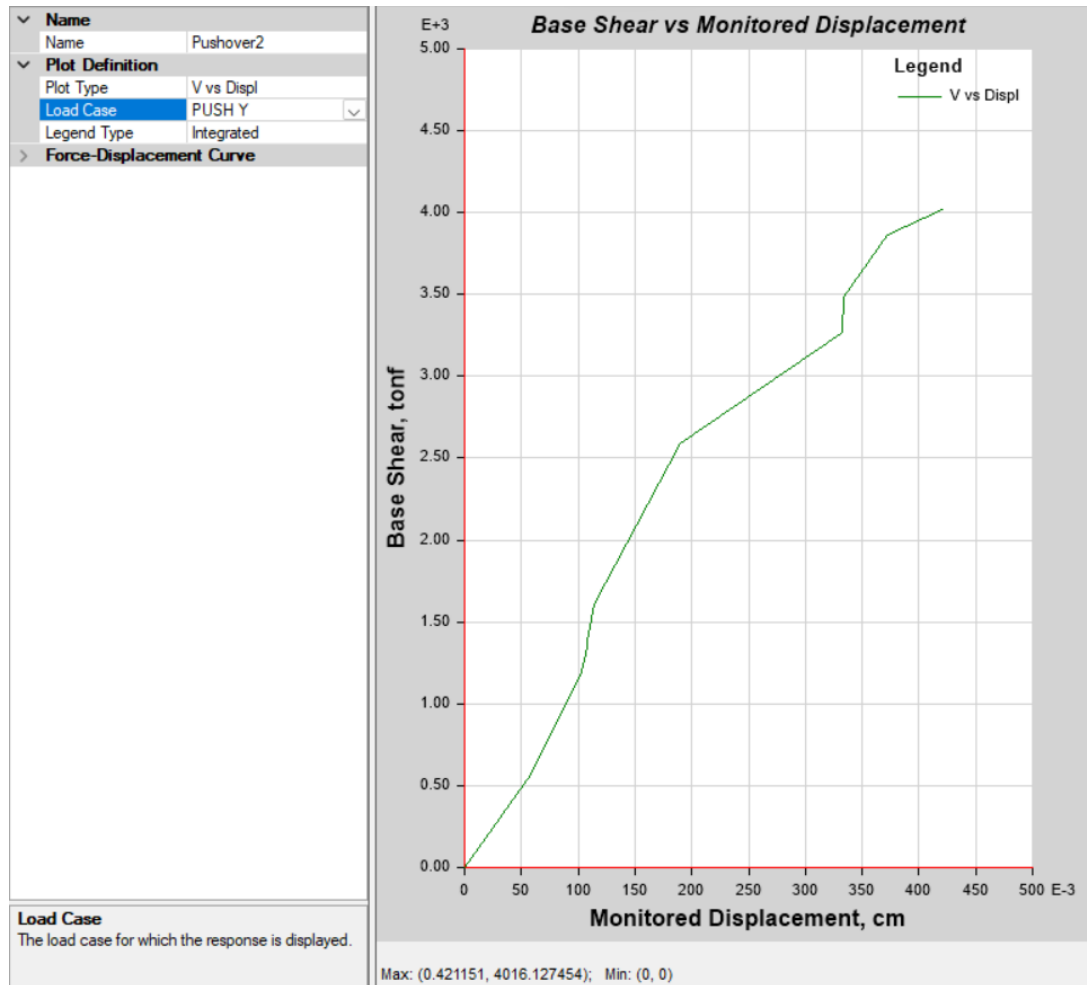


Como se observa en el análisis de la dirección Y-Y, las cargas aplicadas generan rótulas principalmente en las columnas. Sin embargo, estas permanecen dentro del rango elástico, que significa que el refuerzo es capaz de resistir los esfuerzos actuantes. Por ello, aunque los elementos presentan deformaciones durante la aplicación de las cargas, recuperan su forma original una vez que estas dejan de actuar.

Por otro lado, la curva de capacidad obtenida mediante el análisis Pushover para la dirección Y-Y, considerando el espectro de la Norma E.030, se presenta en la siguiente:

Figura 122

Pushover en la dirección Y-Y



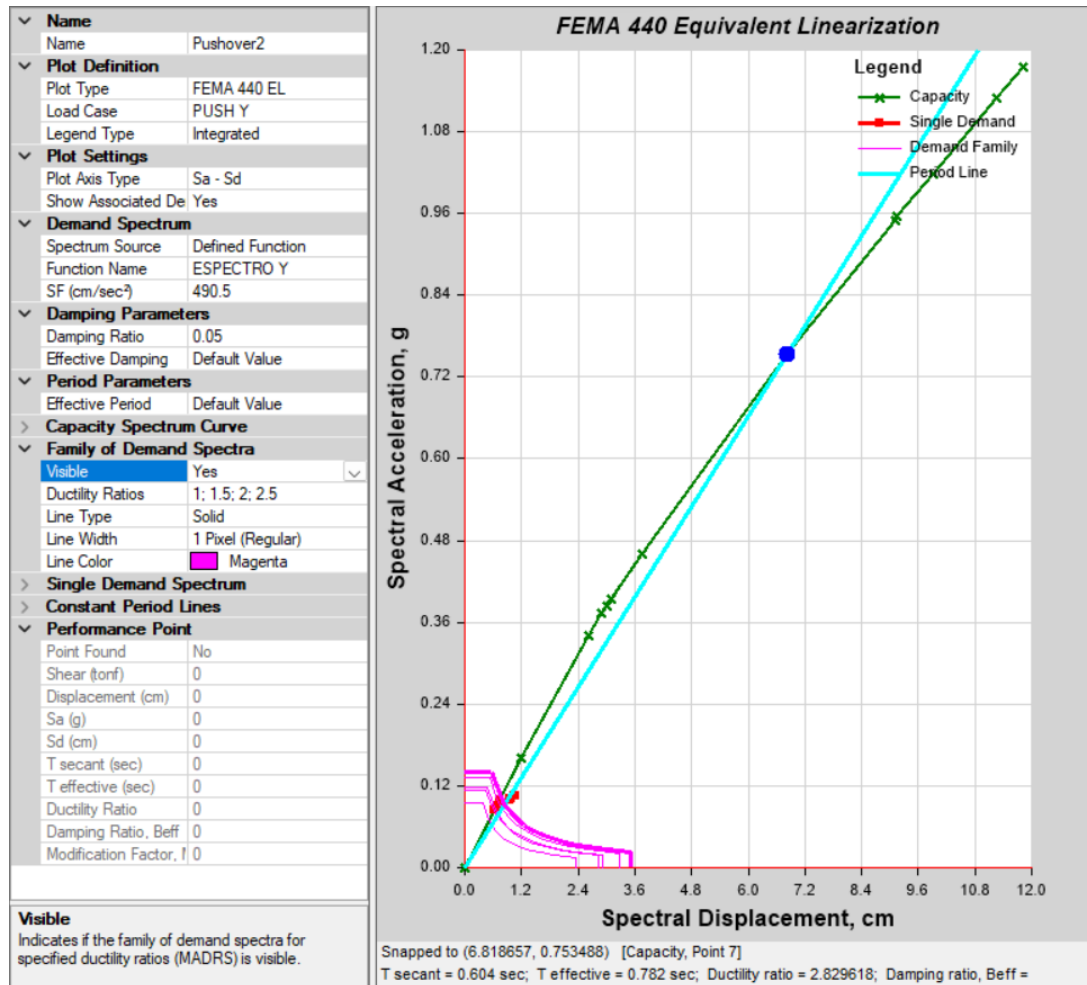
A partir del análisis, se obtiene que la fuerza cortante basal para esta dirección alcanza un valor de 1255.4393Tnf, y el desplazamiento máximo alcanza de 5.22407 cm.

Posteriormente, se determinan los puntos de desempeño frente a diferentes niveles de eventos sísmicos, tales como sismos frecuentes, severos y extraordinarios. Para ello, el análisis se desarrolla tomando como referencia los criterios establecidos en la Norma ATC-40, la cual indica lo siguiente para sismo frecuente:

$$0.50g * A_o = \left(490 \frac{m}{s^2}\right) * A_o$$

Figura 123

Punto de desempeño en sismos frecuentes en la dirección Y-Y



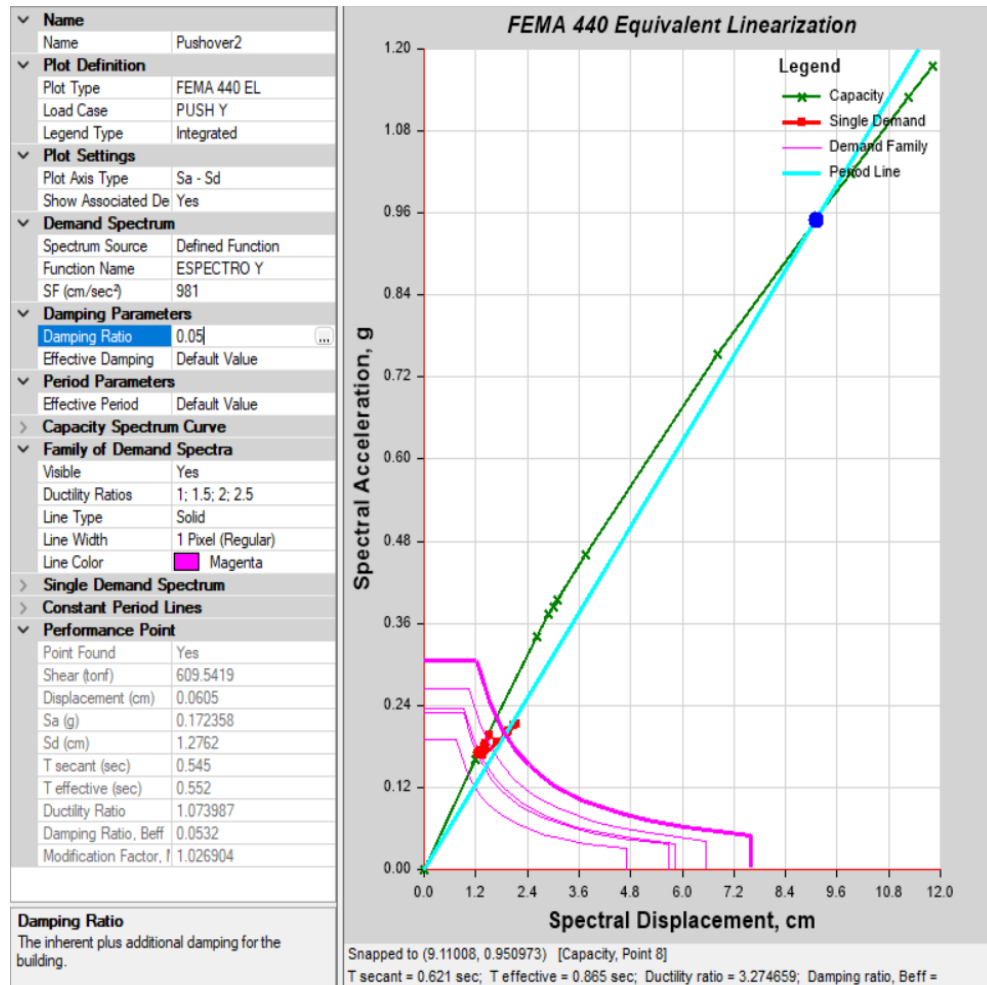
Del análisis realizado se tiene que la fuerza cortante que actúa es de 148.4038 tnf y un desplazamiento de 0.4976 cm y una ductilidad de 1.

- La ecuación para sismos severos se usa

$$g * A_o = \left(981 \frac{m}{s^2} \right) * A_o$$

Figura 124

Punto de desempeño en sismos severos en la dirección Y-Y



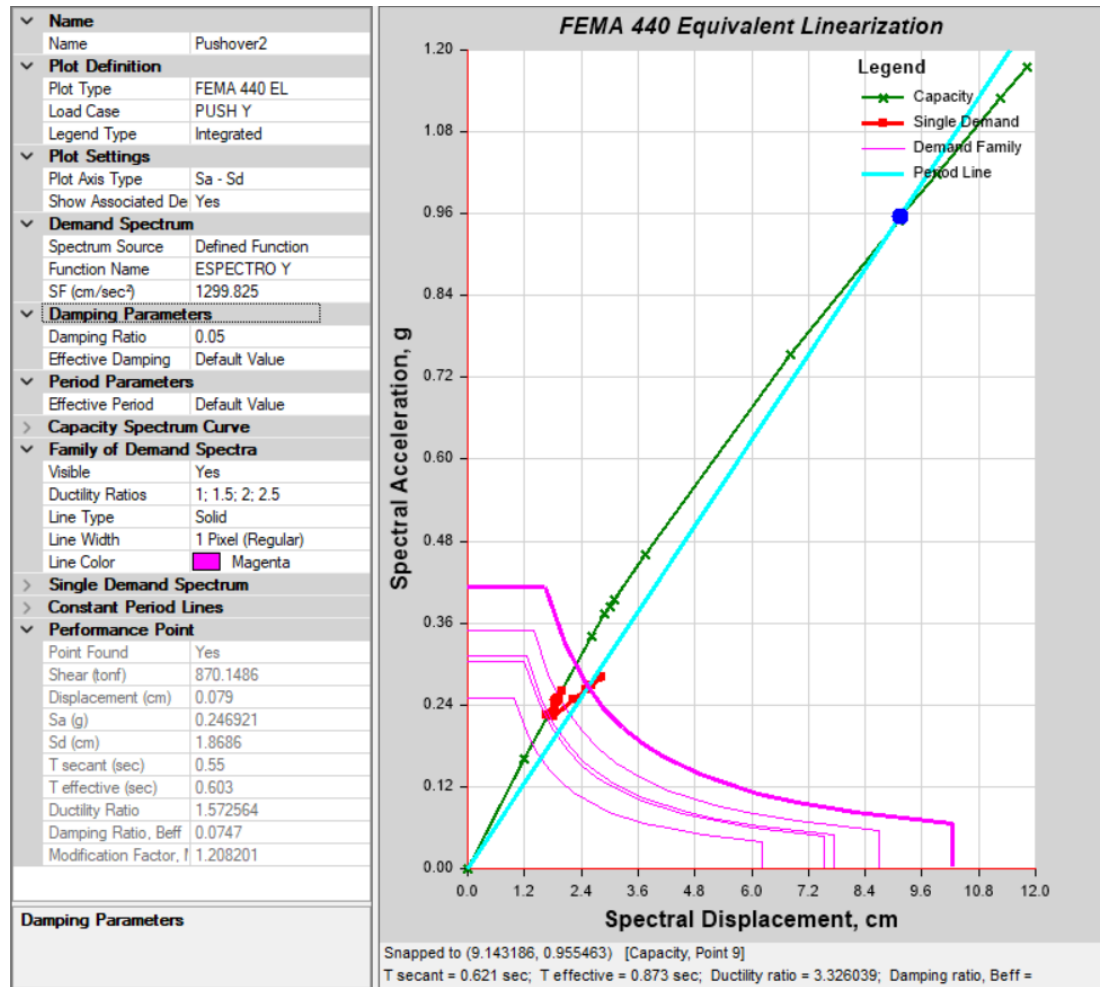
Del análisis realizado se tiene que la fuerza cortante que actúa es de 609.54 tnf y un desplazamiento de 0.06 cm y una ductilidad de 1.074.

- Para sismos extraordinarios se usará además aumenta en una 32.5% a la aceleración espectral, por lo que.

$$1.325g * A_o = \left(1300 \frac{m}{s^2}\right) * A_o$$

Figura 125

Punto de desempeño en sismos extraordinarios en la dirección Y-Y



Del análisis realizado se tiene que la fuerza cortante que actúa es de 870.14 tnf y un desplazamiento de 0.079 cm y una ductilidad 1.5725.

4.2. Niveles de desempeño y curva de capacidad

Figura 126

Niveles de desempeño sísmico

		Niveles de desempeño sísmico			
		Completamente Funcional	Funcional (IO)	Seguridad de vida (LS)	Prevención de Colapso (CP)
Niveles de Diseño Sísmico	Frecuente (43 años) 50% en 30 años	●	○	○	○
	Ocasional (72 años) 50% en 50 años	●	●	○	○
	Raro (475 años) 10 % en 50 años	●	●	●	○
	Muy Raro (970 años) 10% en 100 años		●	●	●

Nota. La figura muestra los objetivos de desempeño. De "Niveles de desempeño sísmico", por *Structural Engineers Association of California*, 1995 (<https://es.scribd.com/document/416420604/seaoc-vision-2000-pdf>)

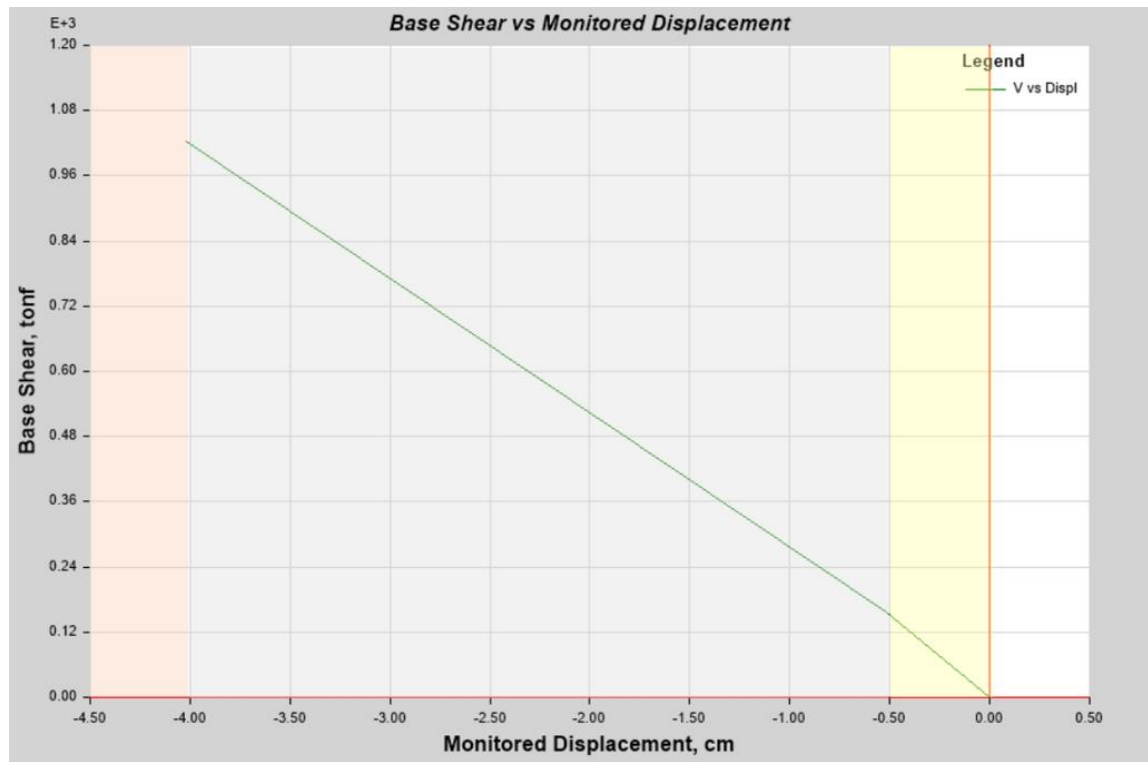
En las siguientes gráficas se puede apreciar la gráfica con los niveles de desempeño de la estructura del módulo 1:

- **Dirección Y-Y.**

De la curva de capacidad que se observa a continuación, se tiene que la estructura del módulo 1 tiene un comportamiento dentro del rango elástico cuando este tiene un desplazamiento desde el estado de reposo hasta 0.52 cm y pasa a un tener un comportamiento plástico cuando el desplazamiento supera a 0.52 cm hasta un desplazamiento de 4.02 cm, después de superar este desplazamiento el módulo llega al colapso.

Figura 127

Gráfico del Módulo 1 en la dirección Y-Y

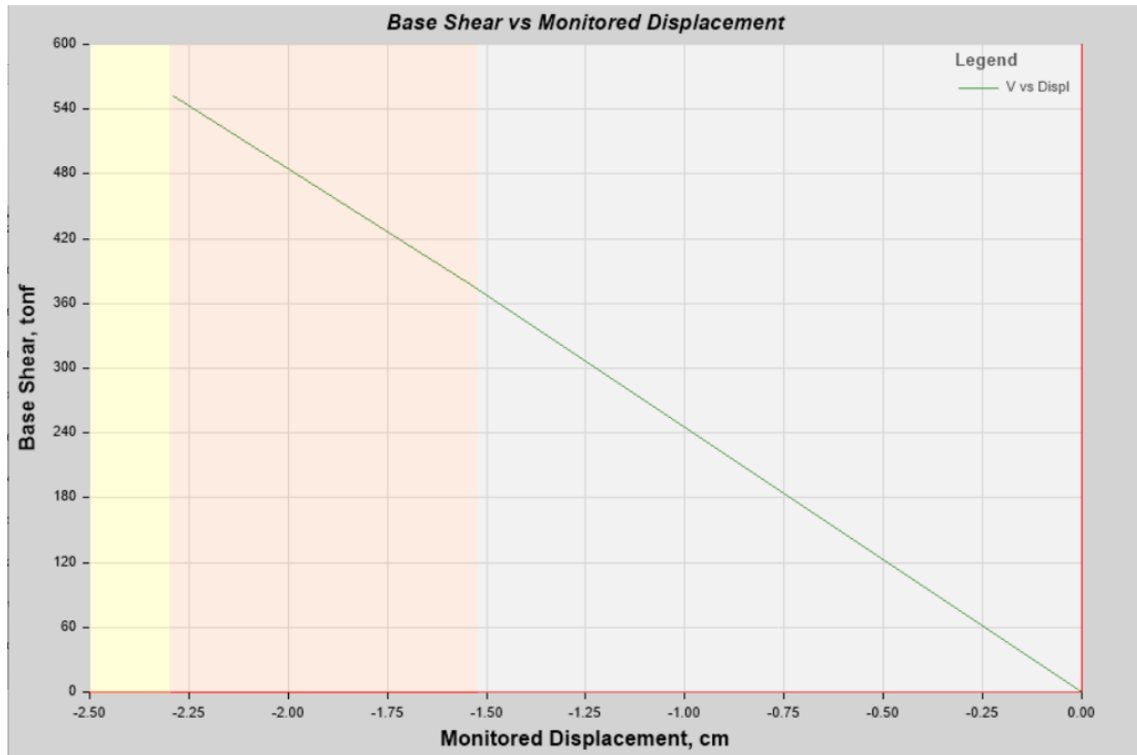


- **Dirección X-X**

De la curva de capacidad que se observa a continuación, se tiene que la estructura del módulo 1 tiene un comportamiento dentro del rango elástico cuando esta tiene un desplazamiento desde el estado de reposo hasta 1.54 cm y pasa a un tener un comportamiento plástico cuando el desplazamiento supera a 1.54 cm hasta 2.29 cm, después de superar este desplazamiento el módulo 1 llega al colapso.

Figura 128

Gráfico del Módulo 1 en la dirección X-X



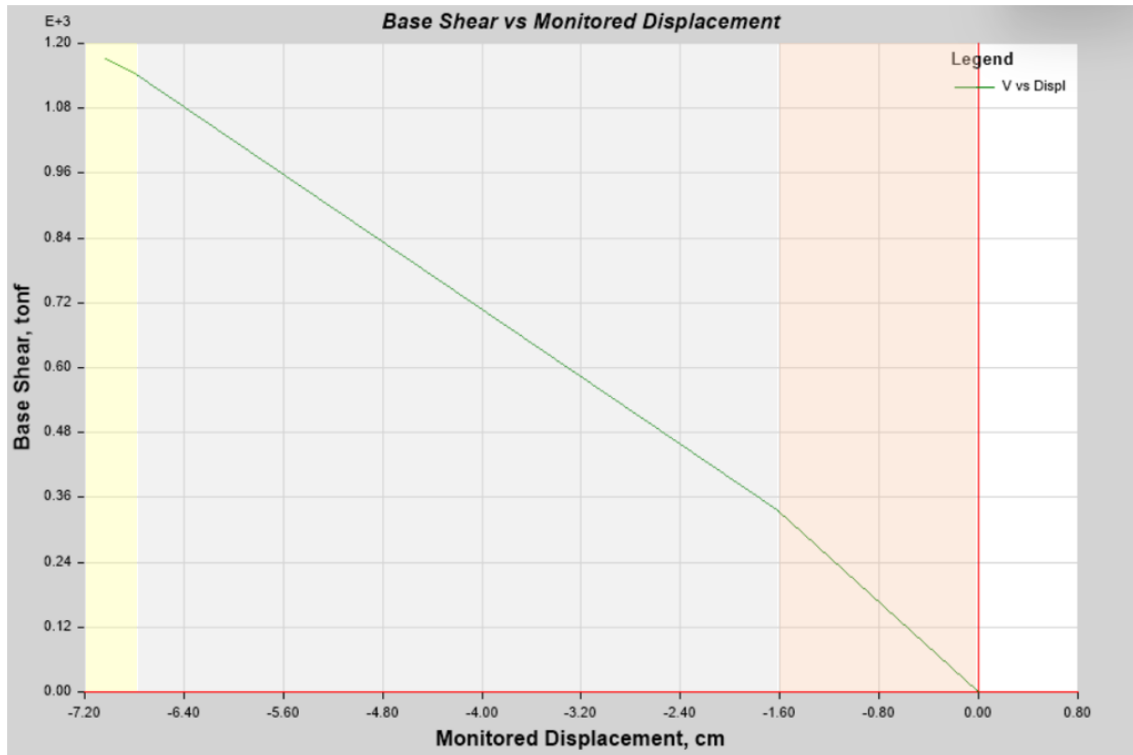
En la siguiente Imagen se puede apreciar la gráfica con los niveles de desempeño de la estructura correspondiente al módulo II

- **Dirección X-X**

De la curva de capacidad que se observa a continuación, se tiene que la estructura del módulo 2 tiene un comportamiento dentro del rango elástico cuando esta tiene un desplazamiento desde el estado de reposo hasta 0.52 cm y pasa a un tener un comportamiento plástico cuando el desplazamiento supera a 0.52 cm hasta 6.82 cm, después de superar este desplazamiento se llega al colapso cuando se supera en desplazamiento de 7.03 cm.

Figura 129

Gráfico del Módulo 2 en la dirección X-X



- **Dirección Y-Y**

De la curva de capacidad que se observa a continuación, se tiene que la estructura del módulo 2 tiene un comportamiento; rango elástico (0 – 0.10 cm), rango plástico (0.10 – 0.19 cm), rango plástico con deformaciones extremas (0.10 – 0.19 cm) y finalmente la estructura que al colapso cuando el desplazamiento máximo supera (0.33-0.42 cm)

Figura 130

Gráfico del Módulo 2 en la dirección Y-Y



En la siguiente tabla se muestra una clasificación de los sismos de diseño de acuerdo con los niveles de desempeño que corresponde a cada uno.

Cuadro 19

Clasificación de sismos de diseño

	Tipo de Sismos	Niveles de Desempeño
1	Sismo Frecuente	Operacional
2	Sismo Severo	Ocupación Inmediata
3	Sismo Máximo	Seguridad de Vida
4	Sismo Extraordinario	Estabilidad Estructural

Nota. Tabla de clasificación de sismos de diseño de acuerdo a los niveles de desempeño. Elaboración propia

Como parte de la evaluación del desempeño sísmico de la estructura, se realizó el control de los desplazamientos laterales en ambos módulos y en las dos direcciones. Los resultados obtenidos se muestran a continuación.

- **Derivas calculadas para el módulo 1**

Cuadro 20

Control de desplazamientos laterales (derivas) - Módulo 1

Story	Dirección	Max Drift m	Dirección	Max Drift m
NIVEL 6	X	0.002383	Y	0.002416
NIVEL 5	X	0.003095	Y	0.002949
NIVEL 4	X	0.003697	Y	0.003707
NIVEL 3	X	0.004188	Y	0.004173
NIVEL 2	X	0.004044	Y	0.004269
NIVEL 1	X	0.002046	Y	0.002258

Nota. Elaboración propia

- **Derivas calculadas para el módulo 2**

Cuadro 21

Control de desplazamientos laterales (derivas) - Módulo 2

Story	Dirección	Max Drift m	Dirección	Max Drift m
NIVEL 9	X	0.0054	Y	0.0031
NIVEL 8	X	0.0060	Y	0.0033
NIVEL 7	X	0.0064	Y	0.0035
NIVEL 6	X	0.0064	Y	0.0037
NIVEL 5	X	0.0047	Y	0.0049
NIVEL 4	X	0.0053	Y	0.0051
NIVEL 3	X	0.0046	Y	0.0049
NIVEL 2	X	0.0043	Y	0.0045
NIVEL 1	X	0.0044	Y	0.0040
SEMI SÓTANO	X	0.0020	Y	0.0021

Nota. Elaboración propia

4.2.1. Parámetros de respuesta estructural

En la siguiente tabla se dan a conocer los parámetros de respuesta estructural para el módulo 1:

Cuadro 22

Parámetros de respuesta estructural modulo 1

Parámetros de Análisis		X-X	Y-Y
Periodo fundamental de vibración (s)	$T_x =$	0.37	0.37
Factor de amplificación sísmica	$C_x =$	2.50	2.50
Coefficiente básico de reducción de fuerzas sísmicas	$R_o =$	7.00	7.00
Irregularidad en altura	$I_{ax} =$	0.90	0.90
Irregularidad en planta	$I_{px} =$	0.85	0.85
Coefficiente de reducción sísmico	$R_x =$	5.36	5.36
Amortiguamiento	$(\xi) =$	0.05 (5%)	

Nota. Elaboración propia

En cuanto a los modos de vibración de la estructura del módulo 1 se tiene lo siguiente:

Cuadro 23

Modos de vibración

<i>Case</i>		<i>Period</i> <i>sec</i>
Modal	1	0.6680
Modal	2	0.5840
Modal	3	0.3760
Modal	4	0.1870
Modal	5	0.1840
Modal	6	0.1750
Modal	7	0.1570
Modal	8	0.1460
Modal	9	0.1170
Modal	10	0.1160
Modal	11	0.1140
Modal	12	0.1050
Modal	13	0.0980
Modal	14	0.0960
Modal	15	0.0940

Modal	16	0.0920
Modal	17	0.0900
Modal	18	0.0880

Nota. Elaboración propia

Teniendo como resultado que los periodos fundamentales de vibración para el módulo I son;

$$\begin{aligned} T_x &= 0.67 \\ T_y &= 0.58 \end{aligned}$$

En la siguiente tabla se dan a conocer los parámetros de respuesta estructural para el módulo 2:

Cuadro 24

Parámetros de respuesta estructural modulo 2

Parámetros de Análisis		X-X	Y-Y
Periodo fundamental de vibración (s)	$T_x =$	0.61	0.61
Factor de amplificación sísmica en	$C_x =$	1.63	1.63
Coefficiente básico de reducción de fuerzas sísmicas	$R_o =$	6.00	6.00
Irregularidad en altura	$I_{ax} =$	0.90	0.75
Irregularidad en planta	$I_{px} =$	0.85	0.85
Coefficiente de reducción sísmico	$R_x =$	4.59	3.83
Amortiguamiento	$(\xi) =$	0.05 (5%)	

Nota. Elaboración propia

En cuanto a los modos de vibración de la estructura se tiene lo siguiente

Cuadro 25

Modos de vibración

Case	Mode	Period sec
Modal	1	1.114
Modal	2	0.666
Modal	3	0.543
Modal	4	0.411
Modal	5	0.41
Modal	6	0.407
Modal	7	0.403

Modal	8	0.401
Modal	9	0.344
Modal	10	0.342
Modal	11	0.339
Modal	12	0.339
Modal	13	0.334
Modal	14	0.308
Modal	15	0.263
Modal	16	0.263
Modal	17	0.263
Modal	18	0.256
Modal	19	0.249
Modal	20	0.246
Modal	21	0.246
Modal	22	0.245
Modal	23	0.245
Modal	24	0.244
Modal	25	0.242
Modal	26	0.242
Modal	27	0.242
Modal	28	0.239
Modal	29	0.238
Modal	30	0.236

Nota. Elaboración propia

Teniendo como resultado que los periodos fundamentales de vibración para el módulo 2 son;

$$\begin{aligned} T_x &= 1.11 \\ T_y &= 0.67 \end{aligned}$$

Discusión de resultados

La presente investigación tuvo como propósito principal la Evaluación del Desempeño Sísmico de una Edificación de Concreto Armado en Huancayo – 2024

Para realizar la Evaluación del Desempeño Sísmico de una Edificación de Concreto Armado en Huancayo – 2024, se determinaron los puntos de desempeño correspondientes a cada nivel de amenaza sísmica como sismos frecuentes, sismos severos, sismos extraordinarios etc. Con el fin de verificar si la estructura cumple con los objetivos de desempeño establecidos por FEMA 440. Los resultados obtenidos muestran que la edificación satisface dichos objetivos en ambas direcciones de análisis. En la dirección X-X, el nivel máximo alcanzado corresponde al desempeño de Seguridad de Vida, encontrándose la demanda sísmica dentro de este rango. De manera similar, en la dirección Y-Y, el punto de desempeño máximo también se ubica dentro del nivel de Seguridad de Vida frente al escenario de máxima amenaza sísmica. Estos resultados evidencian que la edificación cumple con los requisitos establecidos en la Norma Técnica Peruana E.030. Asimismo, los resultados obtenidos presentan una tendencia similar a la reportada por Campos (2022) en la investigación “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”, donde se evaluó que la edificación alcanzaba el nivel de desempeño Seguridad de Vida, cumpliendo con los criterios establecidos por la normativa vigente.

Los resultados obtenidos mediante Evaluación del Desempeño Sísmico de una Edificación de Concreto Armado en Huancayo – 2024, permitieron determinar los desplazamientos objetivo (*target displacement*) de ambos módulos estructurales. El módulo I presentó valores de **2.29 cm** y **4.02 cm** en las direcciones X e Y, respectivamente, mientras que el módulo II alcanzó desplazamientos de **7.03 cm** en la dirección X y **0.42 cm** en la dirección Y. Estos resultados evidencian diferencias significativas en la rigidez lateral y en la distribución de elementos resistentes de cada

módulo, condicionando una respuesta sísmica distinta según la dirección de la estructura. En el módulo I, el mayor desplazamiento registrado en la dirección Y sugiere una menor rigidez en ambas direcciones. Por el contrario, el módulo 2 concentra el mayor desplazamiento en la dirección X, alcanzando un desplazamiento de 7.03 cm, mientras que en la dirección Y la respuesta es considerablemente menor, lo que indica una mayor capacidad de control de deformaciones en esa dirección.

Estos resultados coinciden con lo encontrado por Norman Fernando Fuentes Rivera Silva en su tesis *“Desempeño sísmico de un edificio de cinco niveles de concreto armado mediante el análisis estático no lineal Pushover”*. El autor indica que el desplazamiento objetivo corresponde al máximo desplazamiento esperado en el techo de la estructura, siendo un indicador clave para determinar el punto de desempeño y comprender el comportamiento inelástico de las edificaciones de concreto armado. Del mismo modo, señala que las variaciones de desplazamiento entre una dirección y otra responden principalmente a la configuración estructural del edificio, la distribución de las masas y la rigidez que aportan los elementos resistentes. En ese sentido, los resultados obtenidos en la presente investigación evidencian un comportamiento similar, ya que cada módulo presenta demandas de desplazamiento diferentes según la dirección analizada, reflejando las particularidades propias de su sistema estructural.

Los resultados obtenidos en la presente investigación muestran que las derivas máximas de entrepiso alcanzaron del módulo I $\Delta_i = 0.004269$ en la dirección X mientras que para el módulo $\Delta_{ii} = 0.0064$, valores que se encuentran por debajo del límite máximo permisible de 0.007 establecido por la Norma Técnica E.030 Diseño Sismorresistente. Esto indica que ambas estructuras presentan un comportamiento adecuado frente a las sollicitaciones sísmicas consideradas, manteniendo desplazamientos laterales dentro de rangos aceptables para garantizar la estabilidad estructural y reducir la probabilidad de daños severos en elementos estructurales y no estructurales.

Estos resultados guardan una similitud con los obtenidos por **Campos y Leandro (2022)**, quienes realizaron una Evaluación del desempeño sísmico utilizando el análisis no lineal estático. Los autores determinaron que las derivas máximas obtenidas mediante

el análisis estático no lineal permanecían dentro de los límites establecidos por la normativa E.030, concluyendo que la estructura alcanzaba niveles de desempeño aceptables ante eventos sísmicos de diseño.

Conclusiones

- Como resultado del análisis efectuado mediante la metodología FEMA 440, se logró evaluar con éxito los objetivos del desempeño sísmico de la edificación de concreto armado ubicada en Huancayo – 2024. Debido a su compleja configuración arquitectónica, la estructura fue dividida en dos módulos, permitiendo así un análisis más detallado en las direcciones X-X e Y-Y.
- El punto de desempeño se obtuvo mediante la intersección entre la curva de capacidad derivada del análisis pushover y el espectro de demanda sísmica modificado conforme a la metodología FEMA 440. Posteriormente, los objetivos de desempeño fueron determinados a partir de la evaluación del estado de las rótulas plásticas en dicho punto, identificándose el nivel de comportamiento alcanzado por la estructura de Seguridad de Vida (LS).
- Se obtuvo que el módulo 1 presentó desplazamientos objetivo de 2.29 cm y 4.02 cm en las direcciones X e Y, respectivamente, mientras que el módulo 2 alcanzó valores de 7.03 cm y 0.42 cm, evidenciando diferencias en la rigidez y respuesta sísmica de cada módulo estructural.
- En cuanto a los resultados obtenidos, se registraron valores de deriva máxima para cada nivel en ambos módulos, los cuales fueron organizados en tablas específicas. Para el **módulo 1**, la deriva máxima no superó los 0.004269 m, mientras que para el módulo 2, el valor más alto fue de 0.0064 m. Estos valores se encuentran dentro de los límites establecidos por la Norma Técnica Peruana E.030, que establece una deriva entrepiso máxima permisible de 0.007 radianes.
- La edificación fue dividida en **dos módulos estructurales**, permitiendo un análisis más preciso de su comportamiento dinámico en las direcciones principales X-X e Y-Y. Para el **Módulo 1**, se obtuvieron periodos fundamentales de vibración de $T_x = 0.67$ s y $T_y = 0.58$ s, valores que evidencian una estructura relativamente rígida, capaz de responder adecuadamente frente a sismos de moderada a alta intensidad. Según la tabla de parámetros estructurales, el **factor de amplificación sísmica** fue

de $C_x = 2.50$, mientras que el **coeficiente básico de reducción sísmica** alcanzó un valor de $R_o = 7.00$, característico de sistemas dúctiles. Asimismo, se determinaron coeficientes de **irregularidad en altura** ($I_{ax} = 0.90$) y en planta ($I_{px} = 0.85$), ambos dentro de los límites establecidos por la Norma Técnica Peruana E.030. El **coeficiente de reducción sísmico (R_x)** se calculó en **5.36**, reflejando una reducción adecuada de las fuerzas sísmicas, en tanto que el **amortiguamiento** considerado fue del **5%**, valor convencional para estructuras de concreto armado. En cuanto al **Módulo 2**, se obtuvieron **periodos fundamentales de vibración** de $T_x = 1.11$ s y $T_y = 0.67$ s, lo cual evidencia una mayor flexibilidad estructural, especialmente en la dirección longitudinal. El **factor de amplificación sísmica (C_x)** fue de **1.63**, y el **coeficiente básico de reducción de fuerzas sísmicas (R_o)** fue de **6.00**, ligeramente menor que el del módulo I. Los coeficientes de **irregularidad en altura** ($I_{ax} = 0.90$ en X-X y **0.75 en Y-Y**) y de **irregularidad en planta** ($I_{px} = 0.85$) indican una configuración estructural razonablemente regular, aunque con una ligera diferencia vertical en la dirección transversal. El **coeficiente de reducción sísmico (R_x)** fue de **4.59 en X-X** y **3.83 en Y-Y**, lo que refleja un comportamiento estructural aceptable, pero con menor eficiencia en disipación sísmica respecto al módulo 1.

Recomendaciones

- Se recomienda que futuras evaluaciones de desempeño sísmico mediante la metodología FEMA 440 consideren la segmentación por módulos estructurales en edificaciones de configuración arquitectónica compleja, como en este caso. Este enfoque permitió obtener resultados diferenciados por dirección y módulo, los cuales cumplieron con los límites de deriva intrepiso establecidos en la Norma E.030. Además, se sugiere complementar este tipo de análisis con estudios de interacción suelo-estructura y simulaciones no lineales en edificaciones críticas o de uso esencial, a fin de mejorar la precisión en la predicción del desempeño estructural ante sismos severos.
- A partir de los parámetros estructurales obtenidos, se recomienda que en futuras edificaciones con características similares se dé especial atención a los periodos fundamentales de vibración y a las irregularidades estructurales, especialmente en altura y planta. En el caso del Módulo 2, se identificó una mayor flexibilidad estructural ($T_x = 1.11$ s), por lo que se sugiere realizar ajustes en el diseño estructural (como redistribución de rigidez o mejoras en los sistemas de diafragma y confinamiento), a fin de reducir la demanda sísmica y mejorar la respuesta dinámica. Asimismo, se recomienda validar estos parámetros mediante ensayos modales experimentales o registros sísmicos reales, especialmente en zonas de alta peligrosidad sísmica como Huancayo.

Referencias bibliográficas

- Aguilar, R. (1997). *año sísmico en estructuras de hormigón armado*. Centro de Investigaciones Científicas.
- Aguilar, R. (2003). *ANÁLISIS POR DESEMPEÑO SISMICO*. Centro de Investigaciones científicas. Escuela Politécnica del Ejército.
- Aguilar, R. (2003). *Análisis por Desempeño Sísmico*. Centro de Investigaciones Científicas: Escuela Politecnica del ejército.
- Alvarez, J. (2017). *Presupuesto por Resultados*. Lima: Lumbreras.
- Arango S, P. A., & P., D. (2009). *Propuesta metodológica para la evaluación del desempeño estructural de una estantería metálica*. Colombia: Revista EIA.
- Arias Duarte, F. M., & others. (2014). Análisis estático lineal y no lineal puente por voladizos sucesivos. *Maestría en Ingeniería Civil*.
- Arias, F. G. (2012). *El proyecto de investigación. Introducción a la metodología científica. 6ta*. Fidias G. Arias Odón.
- ASCE/SEI, 4.-1. (2014). *Seismic evaluation and retrofit of existing buildings*. American Society of Civil Engineers.
- ATC-40, A. T. (1996). *Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings*. California : California - Estados Unidos.
- ATC-40, A. T. (1996). *Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings*. California - Estados Unidos.
- Avance de los Principales Indicadores de Resultado y Producto de los Programas Presupuestales de Salud*. (2013). Huancavelica : GRH.
- Ayala Bizarro, R. G. (2022). Evaluación de rotulas plásticas de elementos shell en el software Etabs. Pontificia Universidad Católica de Chile.
- Banco Mundial. (2011). *8 Buenas Prácticas recientemente identificadas de Gestión para Resultados de Desarrollo*. OCDE - Banco Mundial, Primera Edición. p. 10. Lima: OCDE.

- Beas Bernuy, G. A. (2016). Análisis no lineal de elementos de concreto armado utilizando elementos finitos. *Universidad Nacional de Ingeniería*.
- Bellot, J. F. (2005). *DÉFICIT PÚBLICO E INSTITUCIONES PRESUPUESTARIAS: EL CASO DE LA COMUNIDAD AUTÓNOMA DE LA REGIÓN DE MURCIA 1983 - 2003*. Universidad de Murcia, Escuelade Post Grado. Madrid: Universitaria.
- Bernal Torres, C. A. (2010). *Metodología de la investigación* (3ra ed.). Pearson Educación.
- Bernal, C. A. (2010). *Metodología de la investigación*. Bogota: Pearson Prentice Hall.
- Borja, M. (2012). *Metodología de la investigación científica para ingenieros*. Chicago sn.
- Caballero, A. (2014). *Metodología integral innovadora para planes y tesis. La metodología del cómo formularlos*. México D.F.: CENGAGE Learnig.
- Cajamarca, J. E., & Beltrán, J. D. (2016). *Evauación del Desempeño Sísmico de un Edificio Aporticado de Hormigón Armado usando el método actualizado del Espectro de Capacidad FEMA 440*. Cuenca: Universidad de Cuenca.
- Campbell, H., & Stanley, P. (1966). *Diseños experimentales* . Mexico D.F.: El Universitario.
- Carrasco, S. (2006). *Metodología de la invsetigación científica*. Lima: San Marcos.
- Chang Tokushima, D. A. (2015). Estudio de relaciones momento-curvatura en secciones de concreto armado y concreto preesforzado sometidas a flexión. *Pontificia Universidad Católica del Perú*.
- Chávez, J. H.-M. (2013). *Análisis estático no lineal de una estructura aporticada esencial*. Universidad peruana de ciencias aplicadas.
- Chen, W., & Han, D. (1988). General Theorems of Limit Analysis and Their Applications. En *Plasticity for Structural Engineers* (págs. 409-491). Springer.
- Chu Lau, M. (2008). *EJECUCIÓN PRESUPUESTAL DE LOS CRÉDITOS SUPLEMENTARIOS EN LA ADMINISTRACIÓN FINANCIERA DEL MINISTERIO DE EDUCACIÓN*. Universidad San Martín de Porres, Escuelade Post Grado. Lima: Universitaria.

- Comartin, C., Niewiarowski, R., Rojahn, C., & Commission, A. T. (1996). *Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings*. California: Seismic Safety Commission, State of California. Obtenido de <https://books.google.com.pe/books?id=rjtSAAAAMAAJ>
- Cordova, I. (2010). *Estadística Aplicada ala Investigación*. Lima: San Marcos.
- Deierlein, G. G., Reinhorn, A. M., & Willford, M. R. (2010). Nonlinear structural analysis for seismic design. *NEHRP seismic design technical brief*, 1-36.
- Delgado, G. M., & Cervantes, D. G. (2010). *Métodos de investigación*. Pearson educación.
- Díaz, R. L. (2003). *Vulnerabilidad y riesgo sísmico de edificios. Aplicación a entornos urbanos en zonas de amenaza alta y moderadas*. Universidad Politécnica de Catalunya.
- Escurra, L. M. (1988). Cuantificación de la validez de contenido por criterio de jueces. *Revista de Psicología*, 103-111.
- Esmaily-Ghasemabadi, A. (2001). *Seismic behavior of bridge columns subjected to various loading patterns*. University of Southern California.
- Eyssautier, M. (2002). *Metodología de la investigación. Desarrollo de la inteligencia*. México D.F.: Thomson Editores.
- FEMA440. (2005). *Improvement of nonlinear static seismic analysis procedures*. Washington DC, USA: Federal Emergency Management Agency.
- Filippou, F. C., & Fenves, G. L. (2004). Methods of analysis for earthquake-resistant structures. *Earthquake engineering: From engineering seismology to performance-based engineering*. Chap.
- Flores Barreto, T. M. (2003). Estudio del control de rótulas plásticas en pórticos de concreto armado. *Pontificia Universidad Católica del Perú*.
- Franciskovic, J. (2013). *Retos de la gestión pública: presupuesto por resultados y rendición de cuentas*. Universidad ESAN, Escuela de Post Grado. Lima: Universitaria.
- Fuentes R., M. M. (2005). *Comparación técnica de la rehabilitación de pórticos de concreto reforzado utilizando muros cortina y disipadores de energía pasivos*

- metálicos e histeréticos contruidos en Colombia*. Colombia: Pontificia Universidad Javeriana.
- Gerencia de Planeamiento Presupuesto y Acondicionamiento Territorial. (2017). *Informe deprogramas del PPR*. Huancavelica: GRH.
- Gobierno Regional de Huancavelica. (2013). *PPR - Presupuesto por Resultados*. Huancavelica: GRH.
- Goldfrank, B. (2006). *Los procesos de "presupuesto participativo" en América Latina: exito, fracaso y cambio*. Universidad de Nuevo México, Escuela de Post Grado. Nuevo México: Universitaria.
- Guzman, M. (2005). *Sistema de control de gestión y presupuesto por resultados*. Santiago: Ministerio de Hacienda.
- H., K., & D., S. a. (1998). Pros and cons of a pushover analysis of seismic performance evaluation. *Engineering structures*, 20(4), 452-464.
- Heidy, B. (2008). *Sistema de evaluación y control de gestión - Presupuesto por Resultados*. Santiago: Universitaria.
- Hernández Sampieri, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6ta ed.). McGraw-Hill Education.
- Hernandez, E. (2022). *Aplicación del método de espectro capacidad para la evaluación del desempeño sísmico de estructuras*. INESA TECH.
- Hernandez, E. (2022). Aplicación del Método de Espectro Capacidad para la evaluación del Desempeño Sísmico de Estructuras. *INESA TECH*.
- Hernandez, R., Fernandez, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la Investigación*. México: McGraw Hill.
- Hurtado, A. (2011). *LA GESTIÓN MUNICIPAL EN EL MARCO DEL PLAN DE DESARROLLO LOCAL CONCERTADO DEL DISTRITO DE SAN ANDRÉS DE CUTERVO- CAJAMARCA, AÑOS 2007-2010*. Universidad Nacional de Trujillo, Escuela de Post Grado. Cajamarca: Universitaria.
- Islas, A. (2014). *UTILIDAD Y VENTAJA DE LA NUEVA GESTIÓN PÚBLICA PARA REFORMAR AL SECTOR PÚBLICO: EL PRESUPUESTO PARTICIPATIVO EN*

- LA DELEGACIÓN TLALPAN 2011-2013*. Universidad Nacional Autónoma de México, Escuela de Post Grado. Mexico D.F.: Universitaria.
- J.B., M., M.J.N., P., & R, P. (1988). *Theoretical stress-strain model for confined concrete*. Journal of Structural Engineering.
- Kent, D., & Park, R. (1971). *Flexural members with confined concrete*. Journal of the Structural Division.
- Kerlinger, F. (2008). *Investigación del comportamiento. Métodos de investigación en ciencias sociales*. Mexico D.F.: Mc Graw-Hill.
- Mander, J., & R.P., P. y. (1988). *Theoretical stress-strain model for confined concrete* (Vol. volume 114). Journal of Structural Engineering.
- Manuel, C. P. (2017). *Evaluación del Desempeño Sísmico de un Edificio de once pisos utilizando Análisis Estático y Dinámico No Lineal*. Universidad Privada de Tacna.
- Mazhar, H., Najam, F. A., Ahmed, L., & Akram, H. Z. (2021). Nonlinear Modelling and Analysis of RC Buildings using ETABS (v 2016 and onwards). Pakistan: Universidad nacional deficiencia y tecnología.
- Mejía Trejo, R. J. (2017). *Estudio sobre la efectividad del criterio pilar fuerte-viga débil en el diseño sísmico de pórticos de hormigón*. Universitat Politècnica de Catalunya.
- Melendez, W. (2011). *Técnicas de Investigación Cuantitativa*. Lima: CREA.
- Mena, M. (2004). *Sociedad Civil y Presupuesto Participativo*. Lima: San Marcos.
- Menegotto, M., & Pinto, P. E. (1973). *Method of analysis for cyclically loaded RC plane frames including changes in geometry and non-elastic behavior of elements under combined normal force and bending*. Zurich: IABSE Symposium on Resistance and Ultimate Deformability of Structures Acted on by Well Defined Repeated Loads.
- Montoya, A., & Ignacio, J. (2013). Estimación del desplazamiento lateral elástico e inelástico de muros esbeltos mediante un modelo de rótula plástica basado en un modelo de fibras. *Universidad de Chile*.
- Morales Morales, R. (2006). Diseño en concreto armado. *Fondo Editorial ICG, Lima*.

- Morán, G., & Alvarado, D. (2010). *Método de investigación*. Mexico D.F.: Pearson.
- Moreno Gonzalez, R. (2006). *Evaluación del riesgo sísmico en edificios mediante análisis estático no lineal: Aplicación a diversos escenarios sísmico en Barcelona*. Catalunya: Universidad Politecnica de Catalunya.
- Nagel, E. (1974). *La estructura de la ciencia*. Buenos Aires: Paidos.
- Organización mundial de la salud. (2016). *Muestreo*. Santiago de Compostela: Coruña.
- Ortega, A. (2016). *Hacienda Pública*. Lima: Ministerio de Economía y Finanzas.
- Otani, S. (1980). Nonlinear dynamic analysis of reinforced concrete building structures. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 333-344.
- Ottazzi Pasino, G. (2012). Apuntes del curso concreto armado 1. *Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, Departamento de Ingeniería, Sección Ingeniería Civil*.
- Palella, S., & Martins, F. (2006). Metodología de la investigación cuantitativa (2da edición) Caracas. *Venezuela: FEDUPEL*.
- Panagiotakos, T. B., & Fardis, M. N. (2001). Deformations of reinforced concrete members at yielding and ultimate. *Structural Journal*, 135-148.
- Paulay, T., & Priestley, M. N. (1992). *Seismic design of reinforced concrete and masonry buildings*. California: Wiley New York.
- Peruana, N. T. (2018). Norma E. 030 Diseño sismorresistente del reglamento nacional de edificaciones. *Perú: Diario Oficial El Peruano*.
- Polit, D., & Hungler, B. (2000). *Investigación científica en ciencias de la salud*. México D.F.: McGraw-Hill.
- Prieto, M. (2012). *Influencia de la Gestión del Presupuesto por resultados en la calidad del gasto en las municipalidades del Perú*. Universidad San Martín de Porres, Escuela de Post Grado. Lima: Universitaria.
- RAMOS VINTIMILLA , C. N., & RODRÍGUEZ CEDILLO , S. I. (2021). Estudio y aplicación de la metodología de linealización equivalente, propuesta por FEMA 440.
- Reily, T. (2010). *Acercandonos al Presupuesto por Resultados*. Bogotá: Universidad.

- Reyes Lozada, C. A. (2020). *Estudio comparativo del modelo de rotulas plásticas por el método de las fibras y el modelo de tablas del ASCE 41-13, aplicado al análisis no lineal del bloque A de la facultad de Ingeniería Civil y Mecánica*. Universidad Técnica de Ambato.
- Sampieri, R. H. (2010). *Metodología de la Investigación*. MC DRAW HILL / INTERAMERICANA EDITORES SA DE CV.
- Sanchez, C. (1998). *Metodología de la Investigación Científica*. Lima: Lumbreras.
- Sanchez, H. (2017). *Metodología de la Investigación Científica*. Lima: Busines Support Aneth S.R.L.
- Schick. (2009). *Oportunidad, estrategia y tácticas de la reforma del sector público*. Sidney: Universitaria.
- Shack, N. (2006). *Presupuestar en el Perú*. Santiago: CEPAL.
- Sierra, R. (2002). *Técnicas de investigación social*. Madrid: Paraninfo.
- Silva, I. (2009). *Metodología para la elaboración de estrategias de desarrollo local*. Lima: San Marcos.
- Sour, L. (2007). *Los resultados del Presupuesto Participativo*. Centro de investigación y docencias económicas México - Toluca, Documentos de trabajo. México D.F.: Universitaria.
- Tavera , H., Bernal , I., & Salas , H. (2007). El Sismo de Pisco del 15 de Agosto, 2007 (7.9Mw) Departamento de Ica - Perú. *INSTITUTO GEOFISICO DEL PERU Dirección de Sismología - CNDG*, 5-7.
- Toro, I. D., & Parra, R. D. (2010). *Fundamentos epistemológicos de la investigación y la metodología de la investigación cualitativa/cuantitativa*. Medellín: Fondo Editorial Universidad EAFIT.
- Valdivia, G. F., & Usca, G. R. (2023). *Correlación del grado de daño, calculado mediante índice de vulnerabilidad (FEMA PI54-ATC 21) con el Desempeño Sísmico (FEMA 440-ATC 40) de edificaciones residenciales en la ciudad de Cusco*. Universidad Andina del cusco.

- Vintimilla, C. N., & Cedillo, S. I. (2021). *Estudio y Aplicación de la Metodología de Linealización Equivalente, propuesta por FEMA 440*. Azuay: Universidad de Azuay.
- Vision, S. (1995). *Performance based seismic engineering of buildings*. California: Structural Engineers Association of California.
- Wilson, E. L. (2001). Three-dimensional static and dynamic analysis of structures.
- Zavala-Rodriguez, M., J Fernanda, G.-S., & others. (2008). Conhecimento e manejo da dor nos alunos de enfermagem. *Aquichan*, 212-226.

Anexos

Anexo A: Matriz de consistencia

MATRIZ DE CONSISTENCIA

TÍTULO: “METODOLOGÍA FEMA 440 PARA OBTENER LA EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO SÍSMICO DE UNA EDIFICACIÓN DE CONCRETO ARMADO EN HUANCAYO - 2024”

PROBLEMA	OBJETIVO	MARCO TEÓRICO	HIPÓTESIS	VARIABLES	METODOLOGÍA
PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	ANTECEDENTES	HIPÓTESIS GENERAL	VARIABLE INDEPENDIENTE	TIPO DE INVESTIGACIÓN
¿En qué medida la aplicación de la metodología FEMA 440 permite evaluar el desempeño sísmico de una edificación de concreto armado en Huancayo - 2024?	Evaluar el desempeño sísmico de una edificación de concreto armado en Huancayo – 2024 aplicando la Metodología FEMA 440, mediante análisis estático no lineal (pushover).	Internacionales	La aplicación de la Metodología FEMA 440 permite evaluar el desempeño sísmico de la edificación de concreto armado en Huancayo – 2024 a partir del análisis estático no lineal (pushover)	Metodología FEMA 440	Aplicada
		Cajamarca, J.E.C. y Beltrán, J.D.S (2016). Evaluación del desempeño sísmico de un edificio aporticado de hormigón armado usando el método actualizado del espectro de capacidad FEMA 440.		Dimensiones	NIVEL DE INVESTIGACIÓN
		Vintimilla, C.N.R y Cedillo, S.I.R. (2020). Estudio y aplicación de la metodología de linealización equivalente propuesta por FEMA 440.		- Método de Coeficientes - Método de Espectro de Capacidad	Explicativo
PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS		HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	VARIABLE DEPENDIENTE	DISEÑO DE INVESTIGACIÓN
¿En qué medida la Metodología FEMA 440 permite obtener la evaluación de los objetivos del desempeño sísmico de una edificación de concreto armado en Huancayo - 2024?	Emplear la metodología FEMA 440 para determinar el punto de desempeño y objetivos de desempeño de una edificación de concreto armado en Huancayo - 2024.	Nacionales	El punto de desempeño y los niveles de desempeño obtenido con la metodología FEMA 440 puede determinarse por cada dirección y módulo estructural.	Evaluación de Desempeño Sísmico	No experimental – descriptivo correlacional
		Manuel, C.P.R. (2017). Evaluación del desempeño sísmico de un edificio de once pisos utilizando análisis estático y dinámico no lineal.		Dimensiones	ESQUEMA
				- Evaluación de los Objetivos de Desempeño - Evaluación de Parámetros de Respuesta Estructural	X ₁ → O ₁
¿En qué medida la Metodología FEMA 440 permite obtener la evaluación de parámetros de respuesta estructural de una edificación de concreto armado en Huancayo - 2024?	Emplear la metodología FEMA 440 para obtener los parámetros de respuesta estructural: desplazamiento objetivo, deriva máxima de entrepiso, ductilidad global y sobre resistencia de una edificación de concreto armado en Huancayo– 2024.	Valdivia, G.F.C y Usca, G.R.T. (2023). Correlación del grado de daño, calculado mediante índice de vulnerabilidad (FEMA P-154-ATC 21) con el desempeño sísmico (FEMA 440-ATC 40)	Los parámetros de respuesta estructural (desplazamiento objetivo, deriva máxima de entrepiso, ductilidad global y sobre resistencia) de una edificación de concreto armado en Huancayo se obtendrá con la metodología FEMA 440.		POBLACIÓN
					Edificaciones de mediana altura en la ciudad de Huancayo
					MUESTRA
		Locales			Una edificación de Concreto Armado de 10 niveles en la ciudad de Huancayo
					MUESTREO
					No probabilístico - Tipo Intencional
					TÉCNICA E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS
					Técnicas
					- Observación Sistémica - Análisis Documental
		Rojas y Yupanqui (2019). Evaluación del desempeño sísmico en un edificio de			Instrumentos

		concreto armado de mediana altura ubicado en el centro de Huancayo.			- Ficha de Observación - Formato de registro
					TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE ANÁLISIS Y PROCESAMIENTO DE DATOS
					Análisis de datos (Análisis No Lineal)

Anexo B: Instrumentos
(Resultados de ensayos de laboratorio)



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCavelica
FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL - HUANCavelica
LABORATORIO DE TECNOLOGÍA DE MATERIALES



CERTIFICADO DE ENSAYO DE TRACCIÓN

FIERRO CORRUGADO
ASTM A615 - GRADO 60 / NTP 341.03 - GRADO 420

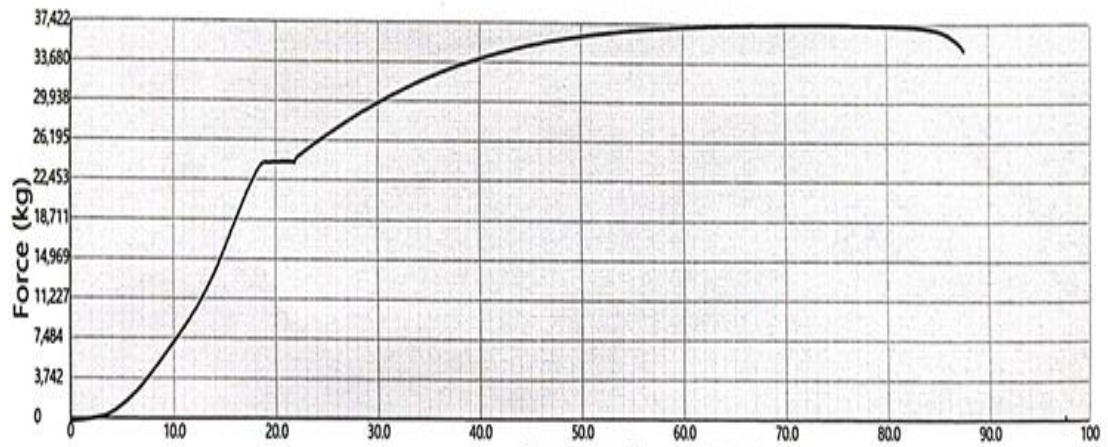
Method Name: Generic Tensile - Force vs. Position

Output Name: Generic Tensile - Force vs. Position

Bar Size : 8

Responsible : Ing. Edwin Montes Raymundo

Width mm	Thickness mm	Area mm ²	Ultimate Force kg	Ultimate Stress kg/mm ²	Break Distance mm
N/F	N/F	510	37400	73.4	87.6



Method: Generic Tensile - Force vs. Position (Rev. 01)
v10.2.3.2 - 33105705 - Universidad Nacional de Huancavelica

Length (mm)
- Page 1 of 1 -



Output: Generic Tensile - Force vs. Position (Rev. 01)
Hydraulic (NMQ/V1.06.02 - 6000000N) Printed: 16/01/2025 10:58



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAMELICA
FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL - HUANCAMELICA
LABORATORIO DE TECNOLOGÍA DE MATERIALES



CERTIFICADO DE ENSAYO DE TRACCIÓN

PIERRO CORRUGADO
ASTM A615 - GRADO 60 / NTP 341.03 - GRADO 420

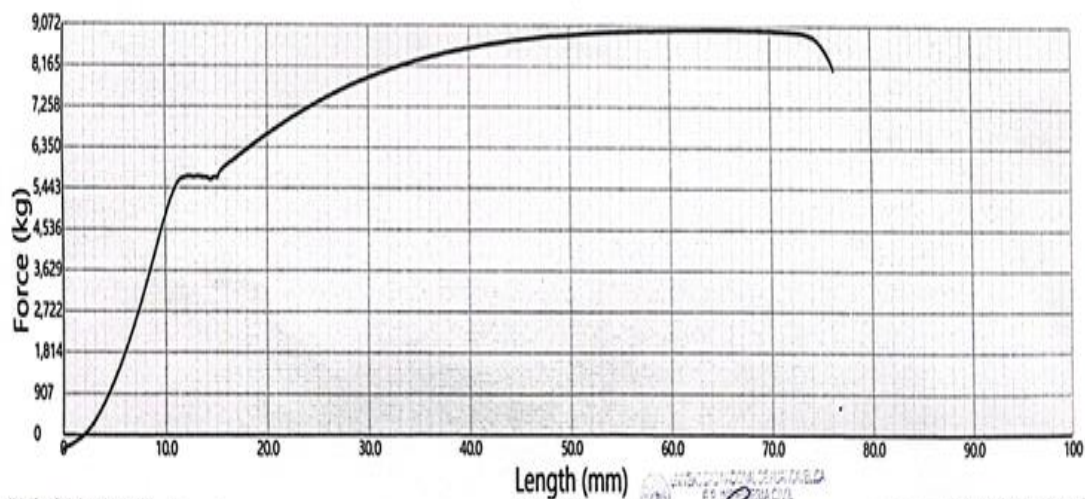
Method Name: Generic Tensile - Force vs. Position

Output Name: Generic Tensile - Force vs. Position

Bar Size : 4

Responsible : Ing. Edwin Montes Raymundo

Width mm	Thickness mm	Area mm ²	Ultimate Force kg	Ultimate Stress kg/mm ²	Break Distance mm
N/F	N/F	129	9000	69.7	78.4



Method Generic Tensile - Force vs. Position (Rev. 25)
v102112 - 11/10/15 - Universidad Nacional de Huancavelica

Length (mm)
- Page 1 of 1 -

UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAMELICA
FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
Ing. EDWIN MONTES RAYMONDO
RESPONSABLE DEL LABORATORIO DE TECNOLOGÍA DE MATERIALES

Hydraulic (VME/V106.02 - 600000N) Printed: 16/01/2015 10:16



SERVICES CONSTRUCTION AND GEOTECHNICAL ENGINEERING E.I.R.L

ISO 9001:2015		INFORME DE ENSAYO				CÓDIGO: GICA LA-PO-SB-009	
MÉTODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR EL NÚMERO DE REBOTE DEL CONCRETO ENDURECIDO		NTP 330.181 (2020)		FECHA: 2024-11-08		VERSIÓN: 1.0	
PETICIONARIO: RACH, EDGAR ORTE; ARIYOTO, BALDOLDF; BETA, BENJULI FLORES		INFORME N°:		GIC-006-13012025-0030		PROCESO: 1.01.2	
UBICACIÓN: PALACIO MUNICIPAL DISTRITO EL TAMBO		CONTACTO DEL PETICIONARIO: 988 130 438		REALIZADO POR: IV PFC		FECHA DE ENSAYO: 2025-01-10	
TÍTULO: VERIFICACIÓN PARA ASEGURAR DETERMINAR LA EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO SÍSMICO DE UNA EDIFICACIÓN DE CONCRETO ARMADO EN HUANCAYO - 2024*		FECHA DE EMISIÓN:		2025-01-13			
UBICACIÓN	COLUMNA	COLUMNA	COLUMNA	COLUMNA	COLUMNA	COLUMNA	
	Tipo de Disparo	A	Tipo de Disparo	A	Tipo de Disparo	A	
	45	42	46	43	42	45	
	42	43	45	43	44	43	
	43	44	46	43	44	46	
	44	44	43	43	43	46	
	44	44	47	43	43	46	
	45	45	45	44	44	45	
	47	45	46	44	44	46	
	45	45	43	45	44	46	
	44	45	43	45	43	47	
	43	47	42	45	45	46	
	47	43	46	42	45	46	
	45	47	45	47	43	47	
X	45		44		45		
U	1.28	1.10	0.70	1.03	0.89	1.62	
DATOS DE CONCRETO / ÁREA DE ENSAYO	Indicar si se conoce	DATOS DE CONCRETO / ÁREA DE ENSAYO	Indicar si se conoce				
Edad del concreto		Temperatura de aire y tiempo	15°C				
Identificación de mezcla y tipo de agregado grueso		Pulido y profundidad de pulido	-				
Resistencia del concreto		Condiciones de humedad superficial	SECO				
Condición de curado		Altura relativa a la zona de ensayo	1.40m				
Tipo de material encofrado	METÁLICO	Condiciones inusuales	-				
Utilización de la estructura y tamaño del elemento	COLUMNA 2.50m	Características de la superficie	LISO				

INFORME DE ENSAYO											
MÉTODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR EL NÚMERO DE RESORTE DEL CONCRETO ENDURECIDO											
MTP 309.165 (2020)											
REVISIÓN: 2 DE 2											
PATROCINADOR		BACH. EDGAR ORTEGA ARROYO, BACH. RAGNY BETSY BINGUJ FLORES						OPORTUNIDAD		CICLOS 13070815-1	
UBICACIÓN		PALACIO MUNICIPAL DE TENECA, EL TENECA, CANTÓN DEL PISCO, PROV. DE EL DORADO						REALIZADO POR		A.P.P.C.	
TÍTULO		TÉCNICA PARA ADOPTAR EN LA EVALUACIÓN DEL DISEÑO SÍSMICO DE UNA EDIFICACIÓN DE CONCRETO ARMADO EN TENECA, 2024						FECHA DE ENSAYO		2025.01.30	
								FECHA DE EMISSION		2025.01.31	

UBICACIÓN	COLUMNA	COLUMNA	COLUMNA	COLUMNA	COLUMNA	COLUMNA	
Tipo de Daño	A	Tipo de Daño	A	Tipo de Daño	A	Tipo de Daño	A
02	02	02	02	02	02	02	02
03	03	03	03	03	03	03	03
04	04	04	04	04	04	04	04
05	05	05	05	05	05	05	05
06	06	06	06	06	06	06	06
07	07	07	07	07	07	07	07
08	08	08	08	08	08	08	08
09	09	09	09	09	09	09	09
10	10	10	10	10	10	10	10
11	11	11	11	11	11	11	11
12	12	12	12	12	12	12	12
13	13	13	13	13	13	13	13
14	14	14	14	14	14	14	14
15	15	15	15	15	15	15	15
16	16	16	16	16	16	16	16
17	17	17	17	17	17	17	17
18	18	18	18	18	18	18	18
19	19	19	19	19	19	19	19
20	20	20	20	20	20	20	20
21	21	21	21	21	21	21	21
22	22	22	22	22	22	22	22
23	23	23	23	23	23	23	23
24	24	24	24	24	24	24	24
25	25	25	25	25	25	25	25
26	26	26	26	26	26	26	26
27	27	27	27	27	27	27	27
28	28	28	28	28	28	28	28
29	29	29	29	29	29	29	29
30	30	30	30	30	30	30	30
31	31	31	31	31	31	31	31
32	32	32	32	32	32	32	32
33	33	33	33	33	33	33	33
34	34	34	34	34	34	34	34
35	35	35	35	35	35	35	35
36	36	36	36	36	36	36	36
37	37	37	37	37	37	37	37
38	38	38	38	38	38	38	38
39	39	39	39	39	39	39	39
40	40	40	40	40	40	40	40
41	41	41	41	41	41	41	41
42	42	42	42	42	42	42	42
43	43	43	43	43	43	43	43
44	44	44	44	44	44	44	44
45	45	45	45	45	45	45	45
46	46	46	46	46	46	46	46
47	47	47	47	47	47	47	47
48	48	48	48	48	48	48	48
49							

Anexo C: Evidencias

(Panel fotográfico)

Figura 131

Detalle de la distribución de acero en columnas de la edificación



Figura 132

Detalle de columnas circulares y cuadradas de la edificación



Figura 133

Instrumentos para el ensayo de esclerometría



Figura 134

Ensayo de esclerometría en columna



Figura 135

Grupo de trabajo para la ejecución del ensayo de esclerometría



Figura 136

Proceso del ensayo de tracción del acero



Figura 137

Ensayo de tracción en el laboratorio de la UNH





UNIVERSIDAD NACIONAL DE
HUANCAVELICA

UNI. FUN. GESTIÓN DE GRADOS Y
TÍTULOS - EPI CIVIL HVCA



Firmado digitalmente por GOMEZ
TUNQUE Kennedy Richard FAU
20168014962 soft
Cargo: Coordinador De Gestion De
Grados Y Titulos
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 17.07.2026 16:54:47 -05:00

"Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres"
"Año de la Esperanza y el Fortalecimiento de la Democracia"

Huancavelica, 17 de Julio del 2026

INFORME N° 000036-2026-UNH/UFGT-EPICH

A: **IVAN ARTURO AYALA BIZARRO**
DIRECTOR(A) DE ESCUELA PROFESIONAL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL HUANCAVELICA

ASUNTO: **SOLICITO DESIGNACIÓN DE JURADOS PARA LA REVISIÓN Y APROBACIÓN DEL INFORME FINAL DE TESIS DE LOS BACHILLERES BENDEZÚ FLORES KAORI BETZY Y ORTIZ ARROYO EDGAR.**

Referencia: PROVEIDO 000723-2026-UNH/EPICH (7JUL2026)

Fecha elaboración: Huancavelica, 14 de Julio de 2026

Es grato dirigirme a usted, para saludarlos cordialmente, y en atención al documento de la referencia, se propone como miembros jurados para la revisión del informe de tesis: **"METODOLOGÍA FEMA 440 PARA OBTENER LA EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO SÍSMICO DE UNA EDIFICACIÓN DE CONCRETO ARMADO EN HUANCAYO - 2024"**, presentado por los tesisistas Bachilleres **BENDEZÚ FLORES Kaori Betzy Y ORTIZ ARROYO Edgar**.

Para la cual remito la propuesta de designación de jurados, tal como se detalla:

JURADOS PROPUESTOS	M. Sc. RIVERA CASAVILCA ROGER M. Sc. MEJIA CAYLLAHUA RUSSELL M. Sc. OLIVERA MAYORCA FRANCIS DANTE Mg. ORTEGA VARGAS JORGE LUIS M. Sc. ALCANTARA ESPINOZA ELEUTERIO MARTIN
---------------------------	---

De acuerdo al reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Nacional de Huancavelica, Versión 1, con RESOLUCIÓN N° 0430-2026-CU-UNH del 06/04/2026. (Artículo 17°, inciso 17.8)

Atentamente,

Documento Firmado Digitalmente

KENNEDY RICHARD GOMEZ TUNQUE
COORDINADOR DE GESTION DE GRADOS Y TITULOS
UNI. FUN. GESTIÓN DE GRADOS Y TÍTULOS - EPI CIVIL HVCA

KGT

N° Expediente: 2026-0017647



"Esta es una copia auténtica imprimible de un documento electrónico archivado por la Universidad Nacional de Huancavelica, aplicando lo dispuesto por el Art. 25 de D.S. 070-2013-PCM y la Tercera Disposición Complementaria Final del D.S. 026-2016-PCM".
Su autenticidad e integridad pueden ser contrastadas a través.
Dirección web: <https://sgd.unh.edu.pe:8181/verifica/inicio.do>
Código de Verificación: RE10U0Q





UNH

UNIVERSIDAD NACIONAL DE
HUANCAVELICA

UNI. FUN. GESTIÓN DE GRADOS Y
TÍTULOS - EPI CIVIL HVCA

"Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres"
"Año de la Esperanza y el Fortalecimiento de la Democracia"

CC.:



N° Expediente: 2026-0017647



"Esta es una copia auténtica imprimible de un documento electrónico archivado por la Universidad Nacional de Huancavelica, aplicando lo dispuesto por el Art. 25 de D.S. 070-2013-PCM y la Tercera Disposición Complementaria Final del D.S. 026-2016-PCM".
Su autenticidad e integridad pueden ser contrastadas a través.
Dirección web: <https://sgd.unh.edu.pe:8181/verifica/inicio.do>
Código de Verificación: RE10U0Q



UNH

UNIVERSIDAD NACIONAL DE
HUANCAVELICAESCUELA PROFESIONAL DE
INGENIERIA CIVIL HUANCAVELICA

Firmado digitalmente por AYALA
BIZARRO Ivan Arturo FAU
20168014962 soft
Cargo: Director(A) De Escuela
Profesional
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 22.07.2026 09:57:37 -05:00

"Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres"
"Año de la Esperanza y el Fortalecimiento de la Democracia"

Huancavelica, 22 de Julio del 2026

MEMORANDO MULTIPLE N° 000080-2026-UNH/EPICH**Señores:**

M.SC. ROGER RIVERA CASAVILCA
JURADO EVALUADOR PRESIDENTE

M.SC. RUSSELL MEJIA CAYLLAHUA
JURADO EVALUADOR SECRETARIO

M.SC. FRANCIS DANTE OLIVERA MAYORCA
JURADO EVALUADOR VOCAL

MG. JORGE LUIS ORTEGA VARGAS
JURADO EVALUADOR ACCESITARIO 1

M.SC. IVAN ARTURO AYALA BIZARRO
JURADO EVALUADOR ACCESITARIO 2

Francis Olivera
22/07/26

ASUNTO: DESIGNACIÓN DE JURADOS PARA LA REVISIÓN Y APROBACIÓN DEL INFORME FINAL DE TESIS DE LOS BACHILLERES BENDEZÚ FLORES KAORI BETZY Y ORTIZ ARROYO EDGAR.

Referencia: INFORME 000036-2026-UNH/UFGT-EPICH (17JUL2026)

Fecha elaboración: Huancavelica, 21 de Julio de 2026

Es grato dirigirme a usted, para saludarlos cordialmente, y en atención al documento de la referencia, se **designa como jurados** del informe final de tesis titulado: **"METODOLOGÍA FEMA 440 PARA OBTENER LA EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO SÍSMICO DE UNA EDIFICACIÓN DE CONCRETO ARMADO EN HUANCAYO - 2024"**, de los bachilleres **BENDEZÚ FLORES KAORI BETZY Y ORTIZ ARROYO EDGAR**.

Sin otro particular, es propicia la ocasión para renovarle las muestras de mi consideración y estima personal

Atentamente,

Documento Firmado Digitalmente

IVAN ARTURO AYALA BIZARRO
DIRECTOR(A) DE ESCUELA PROFESIONAL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL HUANCAVELICA

Ivan Ayala Bizarro
22/07/26

Al pie de la letra dice: "Cabe señalar que, de acuerdo con el **Reglamento de Grados y Títulos** de la Universidad Nacional de Huancavelica, versión 001, modificado mediante **Resolución N° 0163-2026-D-FCI-R-UNH** de fecha 06/04/2026, **CAPÍTULO I De la elaboración y sustentación de tesis**", Artículo 17°. 17.8. El director de la Escuela Profesional solicita al Coordinador de la Unidad Funcional de la Unidad de Grados y Títulos la propuesta de cinco (5) docentes en un plazo máximo de tres (3) días hábiles, de los cuales el director designa tres (3) jurados titulares y dos (2) jurados accesitarios. El asesor participa únicamente con voz y no conforma parte del jurado. El presidente es uno de los titulares de mayor categoría o que ostente el más alto grado académico. Los jurados evaluadores deben ser docentes ordinarios o contratados (categoría A1 o B1), designados en función de las líneas de investigación reconocidas por la escuela profesional y del perfil académico del docente. El Coordinador de la Unidad Funcional de la Unidad de Grados y Títulos de la escuela profesional verifica la pertinencia temática y la idoneidad profesional.

IAB/cca

N° Expediente: 2026-0017647



"Esta es una copia auténtica imprimible de un documento electrónico archivado por la Universidad Nacional de Huancavelica, aplicando lo dispuesto por el Art. 25 de D.S. 070-2013-PCM y la Tercera Disposición Complementaria Final del D.S. 026-2016-PCM". Su autenticidad e integridad pueden ser contrastadas a través.
Dirección web: <https://sgd.unh.edu.pe:8181/verifica/inicio.do>
Código de Verificación: STPFBU1

www.unh.edu.pe

Jr. Victoria Garma N° 330 y
Jr. Hipólito Unanue N° 209.
Local Central - Huancavelica



UNH

UNIVERSIDAD NACIONAL DE
HUANCVELICAUNI. FUN. GESTION DE GRADOS Y
TITULOS - EPI CIVIL HVCA

Firmado digitalmente por GOMEZ
TUNQUE Kennedy Richard FAU
20168014962 soft
Cargo: Coordinador De Gestion De
Grados Y Titulos
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 17.07.2026 16:54:47 -05:00

"Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres"
"Año de la Esperanza y el Fortalecimiento de la Democracia"

Huancavelica, 17 de Julio del 2026

INFORME N° 000036-2026-UNH/UFGT-EPICH

A: **IVAN ARTURO AYALA BIZARRO**
DIRECTOR(A) DE ESCUELA PROFESIONAL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL HUANCVELICA

ASUNTO: **SOLICITO DESIGNACIÓN DE JURADOS PARA LA REVISIÓN Y APROBACIÓN DEL INFORME FINAL DE TESIS DE LOS BACHILLERES BENDEZÚ FLORES KAORI BETZY Y ORTIZ ARROYO EDGAR.**

Referencia: PROVEIDO 000723-2026-UNH/EPICH (7JUL2026)

Fecha elaboración: Huancavelica, 14 de Julio de 2026

Es grato dirigirme a usted, para saludarlos cordialmente, y en atención al documento de la referencia, se propone como miembros jurados para la revisión del informe de tesis: **"METODOLOGÍA FEMA 440 PARA OBTENER LA EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO SÍSMICO DE UNA EDIFICACIÓN DE CONCRETO ARMADO EN HUANCAYO - 2024"**, presentado por los tesisistas Bachilleres **BENDEZÚ FLORES Kaori Betzy Y ORTIZ ARROYO Edgar**.

Para la cual remito la propuesta de designación de jurados, tal como se detalla:

JURADOS PROPUESTOS	M. Sc. RIVERA CASAVILCA ROGER
	M. Sc. MEJIA CAYLLAHUA RUSSELL
	M. Sc. OLIVERA MAYORCA FRANCIS DANTE
	Mg. ORTEGA VARGAS JORGE LUIS
	M. Sc. ALCANTARA ESPINOZA ELEUTERIO MARTIN

De acuerdo al reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Nacional de Huancavelica, Versión 1, con RESOLUCIÓN N° 0430-2026-CU-UNH del 06/04/2026. (Artículo 17°, inciso 17.8)

Atentamente,

Documento Firmado Digitalmente

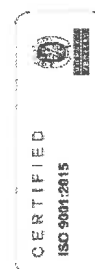
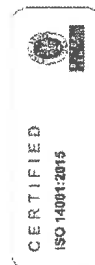
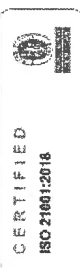
KENNEDY RICHARD GOMEZ TUNQUE
COORDINADOR DE GESTION DE GRADOS Y TITULOS
UNI. FUN. GESTIÓN DE GRADOS Y TÍTULOS - EPI CIVIL HVCA

KGT

N° Expediente: 2026-0017647



"Esta es una copia auténtica imprimible de un documento electrónico archivado por la Universidad Nacional de Huancavelica, aplicando lo dispuesto por el Art. 25 de D.S. 070-2013-PCM y la Tercera Disposición Complementaria Final del D.S. 026-2016-PCM". Su autenticidad e integridad pueden ser contrastadas a través.
Dirección web: <https://sgd.unh.edu.pe:8181/verifica/inicio.do>
Código de Verificación: RE10U0Q



SOLICITO: Designación de Miembros de Jurado Evaluador.

SEÑOR DIRECTOR DE LA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL – HUANCAMELICA DE LA FACULTAD CIENCIAS DE INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAMELICA

S.D.

BENDEZÚ FLORES, Kaori Betzy identificado con D.N.I. N° **74962507**, con código de matrícula N° 2016151007, email: 2016151007@unh.edu.pe y **ORTIZ ARROYO, Edgar** identificado con D.N.I. N° **48277484**, con código de matrícula N° 2018151019, email: 2016151044@unh.edu.pe; Bachilleres de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil Huancavelica; nos presentamos ante Usted con el debido respeto y exponemos lo siguiente:

Que, habiendo culminado y contado con el informe de revisión y aprobación del asesor respecto al informe final de tesis titulado: **“Metodología FEMA 440 para obtener la Evaluación del Desempeño Sísmico de una Edificación de Concreto Armado en Huancayo – 2024”**, recurrimos a su digno despacho para solicitar la designación de los miembros del Jurado Evaluador, a fin de continuar con los trámites correspondientes para la revisión y posterior sustentación del mencionado trabajo de investigación.

POR LO EXPUESTO:

Solicitamos a usted acceder a nuestra petición por ser de justicia que esperamos alcanzar.

Huancavelica, 01 de julio de 2026.

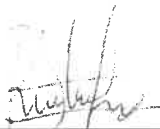
Para lo cual adjuntamos:

- Informe de revisión final de tesis del Asesor
- Ficha de Evaluación del informe final, conforme al Anexo 03 del reglamento
- Reporte de similitud (software antiplagio) completo
- Informe final de tesis en medio digital, formato PDF

Por lo expuesto:

Pedimos a usted Señor director acceder a nuestro petitorio por ser justo y de Ley.

Huancavelica, 07 de Julio de 2026.



BEDEZÚ FLOREZ, Kaori Betzy
DNI: 74962507
Cel: 901740050



ORTIZ ARROYO, Edgar
DNI: 48277484
Cel: 98870489

Ficha de evaluación del informe final de tesis/trabajo de investigación/trabajo académico



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAMELICA

(Creada por ley N° 25265)



FICHA DE EVALUACIÓN DE INFORME DE TESIS/TRABAJO DE INVESTIGACIÓN/TRABAJO ACADÉMICO

Título de la tesis	Metodología FEMA 440 para obtener la Evaluación del Desempeño Sísmico de una Edificación de Concreto Armado en Huancayo – 2024
Tesista(s)	BENDEZÚ FLORES, Kaori Betzy ORTIZ ARROYO, Edgar
Asesor(a)	Ing. Omar CABALLERO SANCHEZ
Jurado Evaluador	Presidente:
	Secretario:
	Vocal:

INCOMPLETO (1)	BUENO (2)	MUY BUENO (3)
----------------	-----------	---------------

CRITERIOS DE EVALUACIÓN		ESCALA		
TÍTULO		1	2	3
1	El título presenta claridad, precisión y coherencia (mínimo 15 y máximo 20 palabras)		X	
2	Delimitación adecuada		X	
RESUMEN		1	2	3
3	Contiene el problema y objetivo de investigación o población y/o muestra.		X	
4	Precisa el método, técnica e instrumentos de estudio.			X
5	Precisa los resultados, conclusiones y palabras clave.			X
6	Tiene un máximo de 250 palabras y están redactadas en un solo párrafo.			X
INTRODUCCIÓN		1	2	3
7	Contiene el problema de investigación y los antecedentes de estudio.			X
8	Se señala los objetivos de investigación y la hipótesis.			X
9	Describe brevemente el estudio y presenta la estructura del informe de investigación.		X	
CAPÍTULO I. EL PROBLEMA				
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA		1	2	3
10	Delimita y contextualiza el problema.		X	
11	La redacción del planteamiento del problema es coherente.			X
12	Argumentación con referencias bibliográficas.			X
FORMULACIÓN DEL PROBLEMA		1	2	3
13	La formulación del problema está redactada con claridad y precisión.		X	
14	El problema presenta variable(s) y tiene relación con el título.		X	
15	Los problemas específicos se relacionan con el problema general.			X



Firmado digitalmente por
CABALLERO SANCHEZ Omar FAU
20168014962 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 01.07.2026 11:04:18 -05:00

OBJETIVOS				1	2	3
16	El objetivo general evidencia el propósito del estudio				X	
17	Los objetivos específicos se derivan del objetivo general y son factibles de alcanzar.				X	
18	Los objetivos responden al problema de investigación.					X
JUSTIFICACIÓN				1	2	3
19	Se exponen las razones ¿por qué?, ¿para qué? y la viabilidad del estudio.					X
LIMITACIONES				1	2	3
20	Explica las limitaciones en el control de la(s) variable(s), selección de la muestra, instrumentos de medición y la generalización de los resultados.				X	
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO						
ANTECEDENTES				1	2	3
21	Presenta los antecedentes y los integra en relación con el problema de investigación.				X	
22	En los antecedentes se mencionan el problema, objetivo(s), metodología, población, resultados y conclusiones.				X	
BASES TEÓRICAS				1	2	3
23	La organización de las bases teóricas es coherente y corresponde a las variables de estudio.					X
24	Las bases teóricas fundamentan las variables de estudio.					X
DEFINICIÓN DE TÉRMINOS				1	2	3
25	Define los conceptos más relevantes del estudio.				X	
26	Utiliza 10 conceptos como mínimo con fuentes en orden alfabético.				X	
HIPÓTESIS				1	2	3
27	La hipótesis se enuncia de manera clara y precisa.					X
28	La hipótesis responde al problema de investigación.	Proyectos de investigación que consideren hipótesis, se califica y se otorga el puntaje correspondiente	Proyectos de investigación que no consideren hipótesis, se asigna la máxima puntuación		X	
VARIABLES				1	2	3
29	Identifica(n) con precisión la(s) variable(s) de estudio				X	
OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES				1	2	3
30	La operacionalización presenta definición conceptual y operacional de la(s) variable(s) o también presenta dimensiones (si es pertinente), indicadores, ítems o instrumentos				X	
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA				1	2	3
31	Identifica el ámbito de estudio.				X	
32	Selecciona y fundamenta el tipo y nivel de investigación.				X	
33	Existe correspondencia entre nivel y diseño de investigación.				X	
34	Señala la población y muestra de estudio.					X
35	Selecciona y fundamenta el tipo de muestreo a utilizar.	Proyectos de investigación que consideren hipótesis, se califica y se otorga el puntaje correspondiente	Proyectos de investigación que no consideren hipótesis, se asigna la máxima puntuación			X
36	Selecciona y fundamenta las técnicas e instrumentos a utilizar en el estudio.				X	
37	Precisa los procedimientos para la recolección de datos.				X	
38	Especifica y fundamenta la(s) técnica(s) y procedimientos estadísticos(s) para el análisis de datos.				X	
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN						



RESULTADOS		1	2	3
39	Describe en forma detallada y secuencial los resultados y se corresponden con los objetivos.		X	
40	Las tablas y las figuras sirven de complemento para la descripción de los resultados.			X
DISCUSIÓN		1	2	3
41	Interpreta y justifica los resultados.			X
42	Explica la relación de los resultados con los antecedentes, bases teóricas y la hipótesis.		X	
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		1	2	3
43	Las conclusiones se sustentan en los resultados y responden a los objetivos.			X
44	Las recomendaciones se corresponden con las conclusiones, se dirige a instituciones, autoridades o personas para implementar los hallazgos del estudio y sugiere nuevas investigaciones.			X
REFERENCIAS		1	2	3
45	Las citas y referencias se corresponden con el estilo de redacción.		X	
46	Todas las citas están referenciadas y validadas.			X
ANEXOS		1	2	3
47	Incluye la matriz de consistencia, validación del instrumento, instrumentos utilizados, consentimiento informado, base de datos, evidencia de aplicación de instrumento y otros de acuerdo a la naturaleza del estudio.		X	



CONTEO TOTAL DE MARCAS				
(realice el conteo de marcas en cada una de las tres categorías de la escala y anote)		A	B	C
			27	20

$$\text{Puntaje Total} = 1(A) + 2(B) + 3(C) = \underline{\hspace{2cm}} 114 \underline{\hspace{2cm}}$$

Para el resultado final, ubicar el puntaje obtenido en la siguiente tabla:

RESULTADO		INTERVALO
Desaprobado		[1 – 47]
Replantear		(47 – 94]
Aprobado	<input checked="" type="text"/>	(94 – 141]

Huancavelica, _01_ de _Julio_ de 2026__

Presidente

Secretario

Asesor

Vocal

Nota:

- * El presente formato de acta es flexible, debiendo contener mínimamente la información descrita.
- ** El presente formulario se emplea en dos etapas: I. Verificación previa del asesor y II. Evaluación por los jurados. El asesor completa únicamente los campos relativos a su revisión y firma exclusivamente en su sección. Los jurados completan y firman únicamente en el espacio destinado a sus cargos.

***El jurado reunido, culminada la evaluación de la tesis, el jurado (presidente) debe informar el resultado del presente anexo a la Escuela Profesional.



Firmado digitalmente por
CABALLERO SANCHEZ Omar FAU
20168014962 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 01.07.2026 11:05:15 -05:00



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAMELICA
(creada por ley N° 25265)
FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL - HUANCAMELICA



INFORME N° 014-2026-EPICH-FCI-UNH/EEHS

A : Ing. A. Ivan Ayala Bizarro
Director De La Escuela Profesional De Ingeniería Civil – Hvca

DE : Ing. Omar CABALLERO SANCHEZ
Asesor de tesis

ASUNTO : REVISIÓN DEL INFORME FINAL DE TESIS

FECHA : Huancavelica, 01 de julio de 2026

Por intermedio del presente me dirijo a Ud., a fin de saludarlo cordialmente y a la vez en calidad de asesor informar que se ha cumplido con la revisión del informe final de tesis titulado: **“Metodología FEMA 440 para obtener la Evaluación del Desempeño Sísmico de una Edificación de Concreto Armado en Huancayo – 2024”**, presentado por los bachilleres **BENDEZÚ FLORES, Kaori Betzy** y **ORTIZ ARROYO, Edgar**, dando su conformidad para sus trámites respectivos.

Asimismo, luego de la evaluación integral del informe final de tesis y de verificar el cumplimiento de los requisitos académicos, metodológicos y normativos establecidos por la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, se otorga la conformidad correspondiente, aprobándose el trabajo de investigación con una calificación de **ciento catorce (114) puntos**, por lo que se recomienda continuar con los trámites administrativos y académicos pertinentes para su sustentación y demás fines consiguientes.

Sin otro particular, es cuanto se informa para su conocimiento y tramite respectivo.

Atentamente;



Firmado digitalmente por
CABALLERO SANCHEZ Omar FAU
20183014362 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 01.07.2026 11:03:48 -05:00



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAMELICA
(Creada por Ley N° 25265)

FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍA
Ciudad Universitaria Paturpampa Teléf. 067 452780

RESOLUCIÓN DE DECANO
N° 449-2024-FCI-UNH

Huancavelica, diciembre 17 del 2024.

VISTO:

El expediente, Oficio N° 000577-2024-UNH/EPICH (17-12-2024) con proveído N° 001697 (17-12-2024) en 07 folios presentado por el Director de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil-Huancavelica; **sobre** modificación de la Resolución de Decano N° 289-2023-FCI-UNH (18-08-2023) cambio de título del proyecto de tesis, a favor Kaori Betzy Bendezu Flores y Edgar Ortiz Arroyo de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil-Huancavelica, Facultad de Ciencias de Ingeniería, Universidad Nacional de Huancavelica y;

CONSIDERANDO:

Que, según el artículo primero de la Resolución N° 005-2021-CEU-UNH (14-06-2021), proclama como ganador de las Elecciones, en el cargo de Decano de la Facultad de Ciencias de Ingeniería, al Mg. Pedro Antonio Palomino Pastrana, a partir del 03 de mayo del 2021 al 02 de mayo del 2025 y artículo tercero, dispone que los artículos primero y segundo de la presente resolución, los decanos ganadores de las elecciones entraran en vigencia para sus funciones académicas y administrativas a partir del 15 de junio del 2021 hasta la fecha de culminación para los cuales fueron elegidos.

Que, en conformidad con el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Nacional de Huancavelica (UNH) aprobado con Resolución N° 1068-2024-CU-UNH, de fecha 13-09-2024, VERSION 003, en su **art. 12°** De la elaboración, indica: El proyecto de tesis es elaborado por uno o dos bachilleres, egresados o estudiantes a partir del VIII ciclo de una misma escuela profesional (para el caso de la Escuela Profesional de Derecho y Ciencias Políticas a partir del X ciclo).

Que, según Resolución de Decano N° 289-2023-FCI-UNH, de fecha 18 de agosto del 2023, en su artículo primero. - Ing. Omar Caballero Sánchez, Asesor del proyecto de tesis titulado: "ANÁLISIS NO LINEAL MEDIANTE EL MODELO DE FIBRAS USANDO RÓTULAS PLÁSTICAS DE UNA EDIFICACIÓN DE CONCRETO ARMADO-HUANCAYO", de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil-Huancavelica de la Facultad de Ciencias de Ingeniería, Universidad Nacional de Huancavelica.

Que, el Decano de la Facultad de Ciencias de Ingeniería, autoriza al Secretario Docente con proveído N° 001697 de fecha 17-12-2024, la emisión de la resolución correspondiente.

Que, en uso de las atribuciones que le confieren al Decano y al amparo de la Ley Universitaria N° 30220 y el Estatuto de la Universidad Nacional de Huancavelica.

SE RESUELVE:

ARTÍCULO PRIMERO.- MODIFICAR el artículo primero y segundo de la Resolución de Decano N° 289-2023-FCI-UNH (18-08-2023) en el que se consigna el cambio de título del proyecto de tesis titulado "METODOLOGÍA FEMA 440 PARA OBTENER LA EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO SÍSMICO DE UNA EDIFICACIÓN DE CONCRETO ARMADO EN HUANCAYO-2024", presentado por **Kaori Betzy Bendezu Flores y Edgar Ortiz Arroyo** de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil-Huancavelica de la Facultad de Ciencias de Ingeniería, Universidad Nacional de Huancavelica.

ARTÍCULO SEGUNDO.- DEJAR a salvo y subsistente los demás términos de la resolución.

ARTÍCULO TERCERO.- DERIVAR la presente Resolución a Interesados, Asesor, y Dirección de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil-Huancavelica, Facultad de Ciencias de Ingeniería, para su conocimiento y trámite correspondiente.

Regístrese, comuníquese y archívese-----"



Firmado digitalmente por PALOMINO
PASTRANA Pedro Antonio FAU
20168014962 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 18.12.2024 10:25:23 -05:00

Dr. PEDRO ANTONIO PALOMINO PASTRANA
Decano



Firmado digitalmente por ARTICA
FELIX Marino FAU 20168014962 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 18.12.2024 09:34:27 -05:00

Ing. MARINO ARTICA FELIX
Secretario Docente



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAMELICA

(Creada por Ley N° 25265)

FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍA

Ciudad Universitaria Paturpampa

RESOLUCIÓN DE DECANO N° 289-2023-FCI-UNH

Huancavelica, agosto 18 del 2023.

VISTO:

El expediente, Oficio N° 220-2023-EPICH-FCI-UNH (17-08-2023) y con hoja de trámite N° 1384 (17-08-2023) en 06 folios y un 01 ejemplar presentado por el Director de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil-Huancavelica de la Facultad de Ciencias de Ingeniería, Universidad Nacional de Huancavelica; sobre designación de Asesor y aprobación de proyecto de tesis mediante resolución y;

CONSIDERANDO:

Que, según el artículo primero de la Resolución N° 005-2021-CEU-UNH, (14-06-2021), proclama como ganador de las Elecciones, en el cargo de Decano de la Facultad de Ciencias de Ingeniería, al Mg. Pedro Antonio Palomino Pastrana, a partir del 03 de mayo del 2021 al 02 de mayo del 2025 y artículo tercero, dispone que los artículos primero y segundo de la administrativas a partir del 15 de junio del 2021 hasta la fecha de culminación para los cuales fueron elegidos.

Que, según el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Nacional de Huancavelica aprobado con Resolución N° 0469-2023-CU-UNH, de fecha 10-05-2023, indica en el Art. 21° fusiones del asesor; a) velar por la calidad de la tesis; b) cumplir con los plazos establecidos en el presente reglamento; c) Asesor y velar el cumplimiento del desarrollo de la tesis por parte del o los asesorados hasta la sustentación; d) verificar la originalidad de la tesis con el software anti plagio oficial de la UNH; Art. 17° de la presentación y aprobación; c) el director de escuela profesional notifica el proyecto de investigación al asesor para su revisión en el plazo máximo de quince días (15) días hábiles, debiendo este emitir un informe al director de escuela profesional dando a conocer el resultado de la evaluación, adjunto el proyecto en un medio digital. d) en caso de ser favorable, el director de Escuela profesional solicita al decano la designación de asesor y aprobación del proyecto de tesis, con resolución de decano; para ser notificado al responsable de investigación de la Escuela Profesional para su inscripción. e) **una vez emitida la resolución de aprobación del proyecto de tesis, el o los interesados procederán a ejecutar el proyecto cuya vigencia no excederá de tres años (presentación de la tesis a la escuela profesional) a partir de la fecha de la notificación de la resolución. Vencido dicho plazo el/los interesados deberán presentar un nuevo proyecto de tesis.**

Que, el decano de la Facultad de Ciencias de Ingeniería, autoriza al secretario docente con hoja de trámite N° 1384 de fecha 17-08-2023, la emisión de la resolución correspondiente.

Que, en uso de las atribuciones que le confieren al Decano y al amparo de la Ley Universitaria N° 30220 y el Estatuto de la Universidad Nacional de Huancavelica.

SE RESUELVE:

ARTÍCULO PRIMERO.- DESIGNAR al Ing. Omar Caballero Sánchez, Asesor del proyecto de tesis titulado: "ANÁLISIS NO LINEAL MEDIANTE EL MODELO DE FIBRAS USANDO RÓTULAS PLÁSTICAS DE UNA EDIFICACIÓN DE CONCRETO ARMADO-HUANCAYO", de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil-Huancavelica de la Facultad de Ciencias de Ingeniería, Universidad Nacional de Huancavelica.

ARTÍCULO SEGUNDO.- APROBAR el proyecto de tesis titulado: "ANÁLISIS NO LINEAL MEDIANTE EL MODELO DE FIBRAS USANDO RÓTULAS PLÁSTICAS DE UNA EDIFICACIÓN DE CONCRETO ARMADO-HUANCAYO", presentado por Kaori Betzy Bendezu Flores y Edgar Ortiz Arroyo de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil-Huancavelica de la Facultad de Ciencias de Ingeniería, Universidad Nacional de Huancavelica.

ARTÍCULO TERCERO.- DERIVAR la presente Resolución a: interesados, Asesor, responsable de Investigación y Dirección de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil-Huancavelica de la Facultad de Ciencias de Ingeniería, Universidad Nacional de Huancavelica, para su conocimiento y trámite correspondiente.

Regístrese, comuníquese y archívese-----



Dr. PEDRO ANTONIO PALOMINO PASTRANA
Decano

Reg. Doc.615734

Reg. Exp.592887



Ing. MARINO ARTICA FELIX
Secretario Docente



UNIVERSIDAD NACIONAL DE
HUANCAVELICA

ESCUELA PROFESIONAL DE
INGENIERÍA CIVIL HUANCAVELICA



Firmado digitalmente por AYALA
BIZARRO Ivan Arturo FAU
20168014962 soft
Cargo: Director(A) De Escuela
Profesional
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 22.07.2026 10:07:27 -05:00

"Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres"
"Año de la Esperanza y el Fortalecimiento de la Democracia"

Huancavelica, 22 de Julio del 2026

MEMORANDO MULTIPLE N° 000080-2026-UNH/EPICH

Señores:

M.SC. ROGER RIVERA CASAVILCA
JURADO EVALUADOR PRESIDENTE

M.SC. RUSSELL MEJIA CAYLLAHUA
JURADO EVALUADOR SECRETARIO

M.SC. FRANCIS DANTE OLIVERA MAYORCA
JURADO EVALUADOR VOCAL

MG. JORGE LUIS ORTEGA VARGAS
JURADO EVALUADOR ACCESITARIO 1

M.SC. IVAN ARTURO AYALA BIZARRO
JURADO EVALUADOR ACCESITARIO 2

ASUNTO: DESIGNACIÓN DE JURADOS PARA LA REVISIÓN Y APROBACIÓN DEL INFORME FINAL DE TESIS DE LOS BACHILLERES BENDEZÚ FLORES KAORI BETZY Y ORTIZ ARROYO EDGAR.

Referencia: INFORME 000036-2026-UNH/UFGT-EPICH (17JUL2026)

Fecha elaboración: Huancavelica, 21 de Julio de 2026

Es grato dirigirme a usted, para saludarlos cordialmente, y en atención al documento de la referencia, se **designa como jurados** del informe final de tesis titulado: **"METODOLOGÍA FEMA 440 PARA OBTENER LA EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO SÍSMICO DE UNA EDIFICACIÓN DE CONCRETO ARMADO EN HUANCAYO - 2024"**, de los bachilleres **BENDEZÚ FLORES KAORI BETZY Y ORTIZ ARROYO EDGAR**.

Sin otro particular, es propicia la ocasión para renovarles las muestras de mi consideración y estima personal

Atentamente,

Documento Firmado Digitalmente

IVAN ARTURO AYALA BIZARRO
DIRECTOR(A) DE ESCUELA PROFESIONAL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL HUANCAVELICA

Al pie de la letra dice: *Cabe señalar que, de acuerdo con el **Reglamento de Grados y Títulos** de la Universidad Nacional de Huancavelica, **versión 001**, modificado mediante **Resolución N° 0163-2026-D-FCI-R-UNH** de fecha 06/04/2026, **CAPÍTULO I De la elaboración y sustentación de tesis**, Artículo 17°. 17.8. El director de la Escuela Profesional solicita al Coordinador de la Unidad Funcional de la Unidad de Grados y Títulos la propuesta de cinco (5) docentes en un plazo máximo de tres (3) días hábiles, de los cuales el director designa tres (3) jurados titulares y dos (2) jurados accesitarios. El asesor participa únicamente con voz y no conforma parte del jurado. El presidente es uno de los titulares de mayor categoría o que ostente el más alto grado académico. Los jurados evaluadores deben ser docentes ordinarios o contratados (categoría A1 o B1), designados en función de las líneas de investigación reconocidas por la escuela profesional y del perfil académico del docente. El Coordinador de la Unidad Funcional de la Unidad de Grados y Títulos de la escuela profesional verifica la pertinencia temática y la idoneidad profesional.

IAB/cca

N° Expediente: 2026-0017647



"Esta es una copia auténtica imprimible de un documento electrónico archivado por la Universidad Nacional de Huancavelica, aplicando lo dispuesto por el Art. 25 de D.S. 070-2013-PCM y la Tercera Disposición Complementaria Final del D.S. 026-2016-PCM". Su autenticidad e integridad pueden ser contrastadas a través.
Dirección web: <https://sgd.unh.edu.pe:8181/verifica/inicio.do>
Código de Verificación: STPFBU



UNIVERSIDAD NACIONAL DE
HUANCAVELICA

ESCUELA PROFESIONAL DE
INGENIERÍA CIVIL HUANCAVELICA

"Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres"
"Año de la Esperanza y el Fortalecimiento de la Democracia"

ANEXO N° 01
DESTINATARIOS DE LA MEMORANDO MULTIPLE



N° Expediente: 2026-0017647



"Esta es una copia auténtica imprimible de un documento electrónico archivado por la Universidad Nacional de Huancavelica, aplicando lo dispuesto por el Art. 25 de D.S. 070-2013-PCM y la Tercera Disposición Complementaria Final del D.S. 026-2016-PCM". Su autenticidad e integridad pueden ser contrastadas a través.
Dirección web: <https://sgd.unh.edu.pe:8181/verifica/inicio.do>
Código de Verificación: STPFBU1

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL HUANCAVELICA

PROVEIDO 000723-2026-UNH/EPICH

EXPEDIENTE : **2026-0017647**

ASUNTO: SOLICITO DESIGNACION DE MIEMBROS DE JURADO EVALUADOR

FECHA

07/07/2026

Atender en 0 días

REFERENCIA : SOLICITUD Nº 1

SOLICITO DESIGNACION DE MIEMBROS DE JURADO EVALUADOR

DEPENDENCIA DESTINO	TRAMITE	PRIORIDAD	INDICACIONES
UNI. FUN. GESTIÓN DE GRADOS Y TÍTULOS - EPI CIVIL HVCA GOMEZ TUNQUE KENNEDY RICHARD	ATENDER	NORMAL	

AYALA BIZARRO IVAN ARTURO
DIRECTOR(A) DE ESCUELA PROFESIONAL

SOLICITO: Designación de Miembros de Jurado Evaluador.

SEÑOR DIRECTOR DE LA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL – HUANCAMELICA DE LA FACULTAD CIENCIAS DE INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAMELICA

S.D.

BENDEZÚ FLORES, Kaori Betzy identificado con D.N.I. N° **74962507**, con código de matrícula N° 2016151007, email: 2016151007@unh.edu.pe y **ORTIZ ARROYO, Edgar** identificado con D.N.I. N° **48277484**, con código de matrícula N° 2018151019, email: 2016151044@unh.edu.pe; Bachilleres de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil Huancavelica; nos presentamos ante Usted con el debido respeto y exponemos lo siguiente:

Que, habiendo culminado y contado con el informe de revisión y aprobación del asesor respecto al informe final de tesis titulado: **“Metodología FEMA 440 para obtener la Evaluación del Desempeño Sísmico de una Edificación de Concreto Armado en Huancayo – 2024”**, recurrimos a su digno despacho para solicitar la designación de los miembros del Jurado Evaluador, a fin de continuar con los trámites correspondientes para la revisión y posterior sustentación del mencionado trabajo de investigación.

POR LO EXPUESTO:

Solicitamos a usted acceder a nuestra petición por ser de justicia que esperamos alcanzar.

Huancavelica, 01 de julio de 2026.

Para lo cual adjuntamos:

- Informe de revisión final de tesis del Asesor
- Ficha de Evaluación del informe final, conforme al Anexo 03 del reglamento
- Reporte de similitud (software antiplagio) completo
- Informe final de tesis en medio digital, formato PDF

Por lo expuesto:

Pedimos a usted Señor director acceder a nuestro petitorio por ser justo y de Ley.

Huancavelica, 07 de Julio de 2026.

BEDEZÚ FLORES, Kaori Betzy
DNI: 74962507
Cel: 901740050

ORTIZ ARROYO, Edgar
DNI: 48277484
Cel: 98870489