



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL

ANÁLISIS NO LINEAL DEL REFORZAMIENTO DE UN EDIFICIO DE HORMIGÓN ARMADO

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERA CIVIL

VALERIA PAZ MOLINA GUERRERO

PROFESORA GUÍA:
FRANCISCA PEDRASA PIZARRO

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
RODRIGO RETAMALES SAAVEDRA
FABIÁN ROJAS BARRALES

SANTIAGO DE CHILE
2024

ANÁLISIS NO LINEAL DEL REFORZAMIENTO DE UN EDIFICIO DE HORMIGÓN ARMADO

El presente trabajo de título se centra en el análisis del reforzamiento sísmico de un edificio de hormigón armado de la década de los 80's, ubicado en el distrito de San Borja, Lima, Perú. La estructura, propiedad de una empresa del sector de salud, se encuentra operativa y brinda servicios clínicos de diversa complejidad, la cual tendrá modificaciones arquitectónicas. Producto esto, se observó la falta de planos estructurales y una deficiente estructura sismorresistente, representando un riesgo significativo ante un evento sísmico.

En primera instancia, se realiza un análisis no lineal estático de la estructura original con el fin de cuantificar la capacidad de la edificación, en específico se obtuvo una relación Corte Basal/Peso Sísmico del 9.5 % para una deformación de techo máxima del 0.50 % en la dirección longitudinal. Para la dirección transversal se obtuvo una relación Corte Basal/Peso Sísmico del 16.5 % para una deformación de techo máxima del 0.37 %. Cabe mencionar, que durante este proceso se realizó de forma paralela un análisis de vibraciones ambientales, el cual reveló periodos de vibración disímiles a los obtenidos en análisis tipo modal del modelo generado.

En consecuencia, se calibra un segundo modelo no lineal que considera las unidades de albañilería presentes en fachadas y divisiones interiores, con el objeto de compatibilizar periodos, resultando en una relación Corte Basal/Peso Sísmico del 11.2 % para una deformación de techo máxima del 0.38 % en la dirección longitudinal. Para la dirección transversal se obtuvo una relación Corte Basal/Peso Sísmico del 19.2 % para una deformación de techo máxima del 0.32 %.

Por otro lado, el tercer modelo consistió en analizar la estructura considerando la propuesta inicial de reforzamiento sísmico propuesto por la empresa Pedrasa Ingeniería Estructural, considerando la intervención con Buckling Restrained Braces (BRB's) en el eje longitudinal y modificaciones en elementos estructurales en dos ejes transversales para control de irregularidad torsional en planta. Respecto a los resultados, se obtuvo una relación Corte Basal/Peso Sísmico del 59.7 % para una deformación de techo máxima del 0.56 % en la dirección longitudinal. Para la dirección transversal se obtuvo una relación Corte Basal/Peso Sísmico del 37.8 % para una deformación de techo máxima del 0.42 %.

Finalmente, durante las distintas etapas del trabajo de título se presentaron problemas asociados a la modelación, los cuales requirieron soluciones específicas adaptadas a las características y necesidades de cada etapa del proceso. Estas dificultades resaltaron la importancia de una toma de decisiones efectiva. Por otro lado, respecto a los resultados obtenidos a partir del análisis de la estructura reforzada, se observó un comportamiento estructural no satisfactorio, por lo que es imperativo evaluar otras alternativas de reforzamiento, las cuales están en fase de estudio por parte de la empresa y no serán abordadas en este documento.

*A mis padres, Rosa y Benjamín,
por su amor incondicional*

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Antecedentes generales	1
1.2. Descripción del problema	2
1.3. Descripción y justificación del proyecto	2
1.4. Objetivos	3
1.4.1. Objetivo general	3
1.4.2. Objetivos específicos	3
1.5. Alcances	3
1.6. Metodología de trabajo	4
2. MARCO TEÓRICO	5
2.1. Características sismotectónicas del Perú	5
2.2. Mapa de sismicidad para del Perú	6
2.3. Normas técnicas del Perú	7
2.4. Estándares norteamericanos	8
2.5. Método de marco equivalente	8
2.6. Análisis no lineal	10
2.6.1. Modelos de componentes estructurales inelásticos	10
2.6.2. Modelos inelásticos de los materiales	11
2.6.2.1. Modelo constitutivo del hormigón	11
2.6.2.2. Modelo constitutivo del acero de refuerzo	13
2.6.3. Tipos de albañilería	14
2.6.4. Curva de capacidad a corte de la albañilería	14
2.6.5. Métodos de análisis	16
2.6.6. Curva de capacidad	16
2.6.7. Conversión a espectros ADRS	17
2.6.8. Punto de desempeño	18
2.7. Niveles de desempeño estructural	19
2.8. Niveles de amenaza sísmica	20
2.9. Rehabilitación sísmica	20
2.10. Protección Sísmica	21
2.10.1. Buckling Restrained Braces (BRB's)	21

3. GENERALIDADES	23
3.1. Cargas	23
3.2. Combinaciones de carga	24
3.3. Parámetros sísmicos	24
3.4. Procedimiento para análisis no lineal en ETABS	25
4. ANÁLISIS ESTRUCTURA ORIGINAL	26
4.1. Antecedentes	26
4.1.1. Estructuración	28
4.1.2. Materiales	30
4.1.3. Elementos estructurales	31
4.2. Análisis sísmico	33
4.2.1. Resultados	33
4.2.1.1. Peso sísmico	33
4.2.1.2. Relaciones de masa modal participante	33
4.2.1.3. Desplazamientos laterales	34
4.2.1.4. Verificación de irregularidades	34
4.3. Análisis estático no lineal	35
4.3.1. Detallamiento estructural	35
4.3.2. Asignación estados de carga	37
4.3.3. Definición de rótulas	38
4.3.4. Resultados	39
4.4. Comentarios	41
5. ANÁLISIS ESTRUCTURA REFORZADA	42
5.1. Estructura base	42
5.1.1. Antecedentes	42
5.1.1.1. Estructuración	43
5.1.1.2. Materiales	44
5.1.1.3. Elementos estructurales	44
5.1.2. Análisis sísmico	46
5.1.2.1. Resultados	46
5.1.2.1.1. Peso sísmico	46
5.1.2.1.2. Relaciones de masa modal participante	46
5.1.2.1.3. Desplazamientos laterales	47
5.1.2.1.4. Verificación de irregularidades	47
5.1.3. Análisis estático no lineal	48
5.1.3.1. Detallamiento estructural	49
5.1.3.2. Asignación estados de carga	50
5.1.3.3. Definición de rótulas	51
5.1.3.4. Resultados	52
5.2. Reforzamiento sísmico	56
5.2.1. Antecedentes	56
5.2.1.1. Estructuración	57
5.2.1.2. Elementos estructurales	59
5.2.2. Análisis sísmico	60
5.2.2.1. Resultados	60

5.2.2.1.1	Peso sísmico	60
5.2.2.1.2	Relaciones de masa modal participante	60
5.2.2.1.3	Desplazamientos laterales	61
5.2.2.1.4	Verificación de irregularidades	61
5.2.3.	Análisis estático no lineal	62
5.2.3.1.	Asignación estados de carga	63
5.2.3.2.	Definición de rótulas	64
5.2.3.3.	Resultados	65
5.3.	Comentarios	69
6.	CONCLUSIONES	70
	BIBLIOGRAFÍA	72
	ANEXOS	75
A.	Procedimiento para análisis no lineal en ETABS	75
A.1.	Definir los materiales	75
A.2.	Armar las secciones en Section Designer	75
A.3.	Definir rótulas plásticas	76
A.4.	Asignar rótulas plásticas	76
A.5.	Definir estados de carga no lineales	76
A.6.	Correr el programa	77
A.7.	Visualizar las curvas de capacidad	77
B.	NTE E0.30: Diseño Sismorresistente	78
B.1.	Categoría de las Edificaciones y Factor de Uso (U)	78
B.2.	Sistemas Estructurales y Coeficiente Básico de Reducción de las Fuerzas Sísmicas	79
B.3.	Desplazamientos Laterales Relativos Admisibles	79
B.4.	Irregularidades estructurales en planta	80
C.	Diagramas de interacción	81
D.	Parámetros de modelación no lineal	88
D.1.	Elementos de acero estructural sometidos a carga axial	88
D.2.	Columnas de concreto armado	89
D.3.	Muros de concreto armado	90
D.4.	Vigas de concreto armado	91
E.	NTE E0.70: Albañilería	92
E.1.	Resistencia al agrietamiento diagonal	92
E.2.	Control de fisuración	92
F.	Rótulas plásticas estructura base	93
F.1.	Muros de concreto armado	93
F.2.	Columnas de concreto armado	95
G.	Rótulas plásticas edificio reforzado	96
G.1.	Muros de concreto armado	96
G.2.	Columnas de concreto armado	98
H.	Riostras de pandeo restringido	99
I.	Convención de signos elementos tipo barras	100

ÍNDICE DE TABLAS

4.1.	Story Data	28
4.2.	Propiedades de los materiales	31
4.3.	Secciones de muros de concreto armado	32
4.4.	Peso sísmico acumulado por nivel	33
4.5.	Relaciones modales de masa participante	33
5.1.	Propiedades de los materiales	44
5.2.	Secciones de albañilería	45
5.3.	Peso sísmico acumulado por nivel	46
5.4.	Relaciones de masa modal participante	46
5.5.	Resistencia al corte secciones de albañilería	49
5.6.	Secciones de muros de concreto armado	59
5.7.	Peso sísmico acumulado	60
5.8.	Relaciones de masa modal participante	60
B.1.	Tabla N°5 Categoría de las Edificaciones y Factor de Uso (U)	78
B.2.	Tabla N°5 Sistemas Estructurales	79
B.3.	Tabla N°11 Límites para la distorsión entre pisos	79
B.4.	Tabla N°9 Irregularidades estructurales en planta	80
D.1.	Parámetros no lineales de modelación para elementos de acero estructural sometidos a carga axial ASCE 41-13	88
D.2.	Parámetros no lineales de modelación para columnas de concreto armado ASCE 41-13	89
D.3.	Parámetros no lineales de modelación para muros de concreto armado ASCE 41-13	90
D.4.	Parámetros no lineales de modelación para vigas de concreto armado ASCE 41-13	91
F.1.	Parámetros rótulas muros de concreto armado según estándar ASCE 41-13 (Parte 1)	93
F.2.	Parámetros rótulas muros de concreto armado según estándar ASCE 41-13 (Parte 2)	94
F.3.	Parámetros rótulas columnas de concreto armado del edificio según estándar ASCE 41-13	95
G.1.	Parámetros rótulas muros de concreto armado según ASCE 41-13 (Parte 1)	96
G.2.	Parámetros rótulas muros de concreto armado según estándar ASCE 41-13 (Parte 2)	97
G.3.	Parámetros rótulas columnas de concreto armado según estándar ASCE 41-13	98
H.1.	Parámetros rótulas BRB's según estándar ASCE 41-13	99

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

2.1.	Mapa sísmico del Perú, periodo 1960 al 2011	6
2.2.	Muro sólido en voladizo	9
2.3.	Método del marco equivalente	9
2.4.	Modelos de plasticidad para elementos viga-columna	10
2.5.	Curva esfuerzo-deformación hormigón no confinado a compresión	11
2.6.	Curva esfuerzo-deformación hormigón no confinado a tracción	12
2.7.	Curva esfuerzo-deformación acero de refuerzo	13
2.8.	Comparación resistencia al corte muros albañilería	14
2.9.	Curva de capacidad a corte de la albañilería	15
2.10.	Ilustración curva de capacidad	16
2.11.	Conversión formato ADRS	18
2.12.	Punto de desempeño	18
2.13.	Comparativa arriostramiento convencional y BRB	21
2.14.	Componentes de BRB	22
3.1.	Plano de carga piso tipo	23
3.2.	Espectro elástico de pseudo aceleraciones	25
4.1.	Vista 3D edificio y detalle de niveles	27
4.2.	Detalle de los niveles en ETABS	28
4.3.	Planta de estructura piso tipo	29
4.4.	Planta estructura piso tipo, según materialidad	30
4.5.	Secciones de los elementos estructurales	31
4.6.	Desplazamientos laterales	34
4.7.	Verificación irregularidad torsional en planta	34
4.8.	Vista 3D Modelo CS-TA-FR-V0.edb	35
4.9.	Distribución de refuerzos muro M4300E4a	36
4.10.	Distribución de refuerzos columnas	36
4.11.	Distribución de refuerzos vigas	36
4.12.	Estado de carga CGNL	37
4.13.	Estado de carga Pushover en X	37
4.14.	Estado de carga Pushover Y	38
4.15.	Curva de Capacidad en X	39
4.16.	Curva de Capacidad en Y	39
4.17.	Curva de Demanda-Capacidad en X	40

4.18.	Curva de Demanda-Capacidad en Y	40
5.1.	Planta estructura nivel 1	43
5.2.	Planta estructura nivel 5	43
5.3.	Muros de albañilería	44
5.4.	Desplazamientos laterales	47
5.5.	Verificación irregularidad torsional en planta	47
5.6.	vista 3D del Modelo CSA-TA-FR-V0.edb	48
5.7.	Estado de carga CGNL	50
5.8.	Estado de carga Pushover en X	50
5.9.	Estado de carga Pushover Y	51
5.10.	Curva de Capacidad en X	52
5.11.	Curva de Capacidad en Y	52
5.12.	Curva de demanda-capacidad en X	53
5.13.	Curva de demanda-capacidad en Y	53
5.14.	Comparación curvas de Capacidad en X	54
5.15.	Comparación curvas de Capacidad en Y	54
5.16.	Comparación curva de Demanda-Capacidad en X	55
5.17.	Comparación curva de Demanda-Capacidad en Y	55
5.18.	Vista 3D del Modelo CSR-TA-SH-V0.edb	56
5.19.	Eliminación de segmento de muro M11300E1	57
5.20.	Nuevos muros eje 9	57
5.21.	Unión entre bloques	58
5.22.	Marcos metálicos y BRB's eje paralelo a eje A	58
5.23.	Desplazamientos laterales	61
5.24.	Verificación irregularidad torsional en planta	61
5.25.	Vista 3D edificio reforzado	62
5.26.	Estado de carga CGNL	63
5.27.	Estado de carga Pushover en X	63
5.28.	Estado de carga Pushover Y	64
5.29.	Curva de capacidad en X	65
5.30.	Curva de Capacidad en Y	65
5.31.	Comparación curvas de Capacidad en X	66
5.32.	Comparación curvas de Capacidad en Y	66
5.33.	Curva de Demanda-Capacidad en X	67
5.34.	Curva de Demanda-Capacidad en Y	67
5.35.	Comparación curva de Demanda-Capacidad en X	68
5.36.	Comparación curva de Demanda-Capacidad en Y	68
C.1.	Diagrama de interacción M11300E1	81
C.2.	Diagrama de interacción M4200E1/M4200E4a	81
C.3.	Diagrama de interacción M4200E1/M4200E4a	82
C.4.	Diagrama de interacción M4200E4b/M4200E5/M4200E6a	82
C.5.	Diagrama de interacción M4300E4b	83
C.6.	Diagrama de interacción M3100EA/M3100EC	83
C.7.	Diagrama de interacción M2500E11	84
C.8.	Diagrama de interacción M1940ED	84
C.9.	Diagrama de interacción M750EG/M750E5-1/M750E6-2	85
C.10.	Diagrama de interacción M1200EF	85

C.11.	Diagrama de interacción M600EI	86
C.12.	Diagrama de interacción M2700EH	86
C.13.	Diagrama de interacción M5400EH	87

En este capítulo se establecen los fundamentos esenciales para comprender el presente trabajo de título. Se delimita el contexto general del proyecto, reconociendo la problemática y la relevancia de llevarlo a cabo. También, se definen los objetivos que dirigieron el proceso y los alcances del trabajo. Además, se especifica la metodología general utilizada y las modificaciones implementadas. Esto se debe a que el trabajo dentro de una empresa de ingeniería está sujeto a variaciones, ya que la práctica ingenieril implica procesos iterativos en los cuales la planificación inicial puede evolucionar a medida que surgen nuevos datos, requerimientos del cliente o desafíos técnicos.

1.1. Antecedentes generales

Pedrasa Ingeniería Estructural, una empresa emergente en el ámbito del diseño y gestión de proyectos estructurales, se destaca por su equipo profesional altamente calificado, reconocidos por su excelencia en el diseño y revisión estructural en una amplia variedad de proyectos, desde edificaciones en altura, complejos hospitalarios, centros comerciales, naves industriales prefabricadas, entre otros. Además, la empresa se caracteriza por su participación en proyectos nacionales como en desafíos internacionales, entregando los más altos estándares en sus soluciones estructurales.

Respecto al contexto de la industria en la que se encuentra inserta la empresa, se establece como negocio objetivo el Sector de Ingeniería y Construcción, con fuerte especialización en el segmento habitacional. En específico, la industria de desarrollo inmobiliario, al igual que el de la construcción, se caracteriza por su estrecha correlación con las condiciones del mercado financiero. En el caso de Chile, según las proyecciones de la Cámara Chilena de Construcción (CChC, 2024) el sector inmobiliario seguirá viéndose afectado en 2024 por una disminución en la demanda, la cual se presenta desde 2021 debido a la pérdida de poder adquisitivo junto a créditos hipotecarios de mayor costo.

Finalmente, se destaca que debido a la calidad de pequeña empresa, se tienen ventajas competitivas dentro de la industria, destacándose la flexibilidad en la toma de decisiones financieras, gran potencial de especialización y una menor dependencia del ciclo económico, posibilitando la diversificación en mercados latinoamericanos y en consecuencia, tener un flujo de trabajo estable.

1.2. Descripción del problema

Una empresa del rubro de la salud es propietaria de un edificio de hormigón armado de la década de los 80's, el cual está situado en el municipio de San Borja, Lima, Perú. Este edificio actualmente se encuentra completamente operativo, brindando servicios clínicos para procedimientos de baja, mediana y alta complejidad. Donde, la estructura tendrá modificaciones arquitectónicas y producto de esto, se identificó una alta incertidumbre respecto a las características estructurales originales dado la inexistencia de planos estructurales y una estructura sismorresistente, lo cual representa un riesgo significativo considerando que el Perú es un país altamente sísmico.

1.3. Descripción y justificación del proyecto

A partir del problema planteado, la empresa del rubro de la salud contrata los servicios de Pedrasa Ingeniería Estructural con el objeto de desarrollar el proyecto de reforzamiento sísmico del edificio. Esto se planea llevar a cabo mediante un proceso sistemático que incluye la recopilación de datos sobre las características estructurales del edificio a partir de estudios de campo destructivos y no destructivos, análisis estructural tipo modal espectral y estático no lineal en el software ETABS, con el objeto de evaluar el desempeño sísmico tanto de la estructura original como reforzada sísmicamente. Además, se debe detallar que la consultora Seismic Intelligence SpA presta asesoría respecto al análisis de desempeño sísmico y los sistemas de disipación de energía.

La importancia de desarrollar el proyecto radica en evaluar el desempeño sísmico del edificio que se encuentra categorizado como edificación esencial (A2) y está ubicado en zona sísmica de mayor demanda (Z4) según la norma técnica E.030: *Diseño Sismorresistente* del Reglamento Nacional de Edificación del Perú, en el que se detalla la filosofía sismorresistente, que tiene como eje principal el resguardo de la vida. También, considerando que este tipo de establecimientos presentan sistemas no estructurales tales como líneas vitales y equipamiento, que afectan de manera directa la continuidad de operación, es preciso la búsqueda de compatibilidad del desempeño sísmico entre estos sistemas y la estructura en los cuales están contenidos (OPS, 2017).

Por otro lado, se destaca que el enfoque convencional para el diseño sísmico de edificios, indicado en las normativas se basa en asumir que los componentes estructurales se comportan de forma lineal para el sismo de servicio, es decir, solo se contempla el comportamiento hasta el límite elástico. El objetivo principal de este enfoque es limitar las deformaciones y prevenir el daño estructural para el sismo de servicio. Sin embargo, su desventaja radica en la incapacidad de anticipar la respuesta del edificio frente a un terremoto de gran potencial destructivo.

Debido al constante progreso en las técnicas de análisis no lineal y su acceso mediante programas comerciales, se dispone de una herramienta que permite estimar el desempeño de un sistema estructural frente a terremotos de gran magnitud, este análisis también logra exponer los puntos críticos de un diseño que pueden permanecer ocultos en un análisis modal espectral y en consecuencia, permite tanto diseñar como verificar sistemas de reforzamiento sísmico óptimos.

Finalmente, cabe destacar que el modelamiento de estructuras se basa en análisis prescriptivos, en los cuales se deben asumir las características de los materiales y se deben establecer los criterios pertinentes, siendo de vital importancia la experticia del equipo de trabajo al momento de abordar estas temáticas.

1.4. Objetivos

En esta sección se detallan el objetivo general y los objetivos específicos del trabajo de título.

1.4.1. Objetivo general

El objetivo general de este trabajo de título es analizar no linealmente un edificio de hormigón armado existente, tras las modificaciones generadas por el reforzamiento sísmico propuesto según las deficiencias identificadas en su estado original. Para ello, se realizará un análisis estático no lineal con el fin de cuantificar el impacto de la propuesta de reforzamiento.

1.4.2. Objetivos específicos

Los objetivos específicos se enumeran a continuación:

- Recopilar antecedentes respecto a las propiedades de las secciones estructurales tanto originales como las asociadas a la propuesta de reforzamiento sísmico a partir de los levantamientos estructurales existentes, modelos previos y pre-diseños del reforzamiento. Los datos permitirán construir los modelos lineales, requeridos para realizar el análisis modal espectral tanto de la estructura original como la reforzada sísmicamente en el software ETABS.
- Desarrollar un modelo estático no lineal en ETABS según lo establecido en el estándar ASCE 41-13: *Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings* tanto para la estructura original como la reforzada, configurando estados de carga no lineales y la implementación de las rótulas de plasticidad concentrada. A partir de este modelo, se podrá determinar la curva de capacidad de la estructura para las direcciones longitudinal y transversal.
- Comparar la curva de capacidad respecto a la demanda sísmica según las disposiciones de la norma técnica E.030: *Diseño Sismorresistente* a partir de lo establecido en ATC-40: *Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings*, tanto para la estructura original como la reforzada, para determinar, si es posible, el punto de desempeño sísmico asociado.

1.5. Alcances

El alcance esperable va desde el levantamiento de información y extracción de datos estructurales, análisis modal espectral y estático no lineal tanto de la estructura original como la reforzada sísmicamente. Donde, es relevante mencionar que la tarea de determinar el tipo de reforzamiento sísmico y su distribución no forma parte de las responsabilidades de la estudiante.

Finalmente, el trabajo se enfocará en analizar la respuesta no lineal de la estructura y adicionalmente, conocer el nivel de desempeño obtenido a partir de la propuesta de reforzamiento sísmico. Además, de comentar aspectos relevantes en materia estructural y concluir al respecto.

1.6. Metodología de trabajo

La siguiente metodología aplica para el desarrollo del análisis tanto para la estructura original como la reforzada sísmicamente. En primer lugar, se lleva a cabo la recopilación de antecedentes del edificio obtenidos mediante levantamientos estructurales, informes y modelos elaborados por Pedrasa Ingeniería Estructural, organizando la información proporcionada e identificando las variables relevantes para la modelación.

Concluida la etapa de extracción de datos, se da comienzo a la etapa de modelación lineal mediante el ingreso de la información recopilada. En específico, se desarrolla un modelo de elementos finitos y barras de la estructura en ETABS v.16.2.1, para el cual es necesario crear la geometría tridimensional de la estructura, definiendo las propiedades de los materiales y secciones, donde los elementos incluidos corresponden a muros, columnas, vigas y losas. También, se ingresan en el modelo los parámetros requeridos para el análisis sísmico, aplicando los estados de carga y sus respectivas combinaciones.

A partir de lo anterior, se realiza el análisis modal espectral, obteniéndose la respuesta de la estructura a las cargas aplicadas y, en consecuencia, se entregan como resultados los periodos de vibración, desplazamientos y esfuerzos internos, entre otros. Análogamente, se realiza un segundo modelo lineal pero considerando el método del marco equivalente. Posteriormente, se desarrollará la modelación no lineal, la cual toma como base el modelo lineal con los elementos tipo barra, incorporando rótulas de plasticidad concentrada y estados de carga no lineales, en los cuales se asigna como punto de control de desplazamiento un punto cercano al centro de masa del techo del edificio y se aplican patrones de carga asociados a las formas modales. Producto de este análisis, se obtiene la curva de capacidad de la estructura en la dirección longitudinal y transversal, las cuales se comparan respecto a la demanda sísmica a través de la transformación en formato ADRS (Acceleration-Displacement Response Spectra) según las disposiciones de ATC-40: *Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings* y que permite determinar el nivel de desempeño sísmico.

Finalmente, un aspecto que sufrió modificaciones fue el factor de modelar la albañilería simple de la fachada y presente en divisiones interiores, lo cual durante la modelación de la estructura original no fue considerado, pero sí de manera posterior en el análisis de la estructura reforzada. Para esto, se debe llevar a cabo una revisión bibliográfica con el objeto de definir el modelo constitutivo y los parámetros relevantes para la modelación no lineal de la albañilería simple, determinados a partir de estudios experimentales con materiales de similares características. Cabe mencionar, que durante la modelación de la estructura reforzada se analiza no linealmente en primera instancia el impacto de la albañilería a través de un modelo base y posteriormente, se estudia el caso asociado a las modificaciones planteadas según el tipo de reforzamiento sísmico propuesto.

En este capítulo, se aborda el marco teórico del trabajo de título, que tiene como objeto incluir conceptos que faciliten la comprensión del documento. En primer lugar, se exploran las características sísmicas específicas del Perú, considerando su ubicación geográfica y su contexto tectónico, lo cual proporciona el fundamento para comprender la amenaza sísmica en la región.

También, se examinan las normativas a nivel nacional y estándares internacionales que se consideraron. También, se profundiza respecto al análisis no lineal, abarcando los modelos de componentes estructurales y características de los materiales. Además, se dedica una sección al estudio de los sistemas de protección sísmica. En particular, se profundiza en el sistema Buckling Restrained Brace (BRB), examinando sus características, aplicaciones y beneficios en términos de protección sísmica.

2.1. Características sismotectónicas del Perú

El Perú, ubicado en el borde occidental de América del Sur, es una región de alta actividad sísmica debido a la convergencia de las placas de Nazca (oceánica) y Sudamericana (continental). Este proceso de subducción se lleva a cabo a una velocidad de 7 a 9 cm por año y presenta dos modos: subhorizontal en las regiones norte y centro, y normal en la región sur. La Placa de Nazca es heterogénea, con subducción subhorizontal en el norte y centro del Perú, y normal en el sur (IGP, 2014).

La Placa Sudamericana ha sido significativamente modificada por la subducción de la Placa de Nazca, engrosando la corteza y formando extensos sistemas de fallas geológicas. La Cordillera de los Andes, el principal resultado de esta deformación, se extiende desde Venezuela hasta Chile. Los principales sismos en Perú se originan en la zona de interacción entre las placas de Nazca y Sudamericana. Las áreas sismogénicas se dividen en tres: límite asísmico superior, caracterizado por sismos pequeños; zona sismogénica, donde se produce el contacto directo entre placas y se origina la mayor actividad sísmica; y el límite asísmico inferior (IGP, 2014).

Los principales sistemas de fallas se encuentran en el Altiplano, la zona Subandina, al pie de los nevados y entre los límites de la Cordillera Occidental y la zona costanera. Estas características sismotectónicas son fundamentales para comprender la dinámica sísmica del Perú (IGP, 2014).

2.2. Mapa de sismicidad para del Perú

El Mapa Sísmico del Perú (Ver Figura 2.1) presenta la distribución espacial de los eventos con magnitudes igual o mayores a 4.0 en la escala magnitud momento (M_w) ocurridos durante el periodo 1960-2011. Donde, la información recopilada corresponde a los catálogos del Instituto Geofísico del Perú y de Engdahl & Villaseñor (2002).

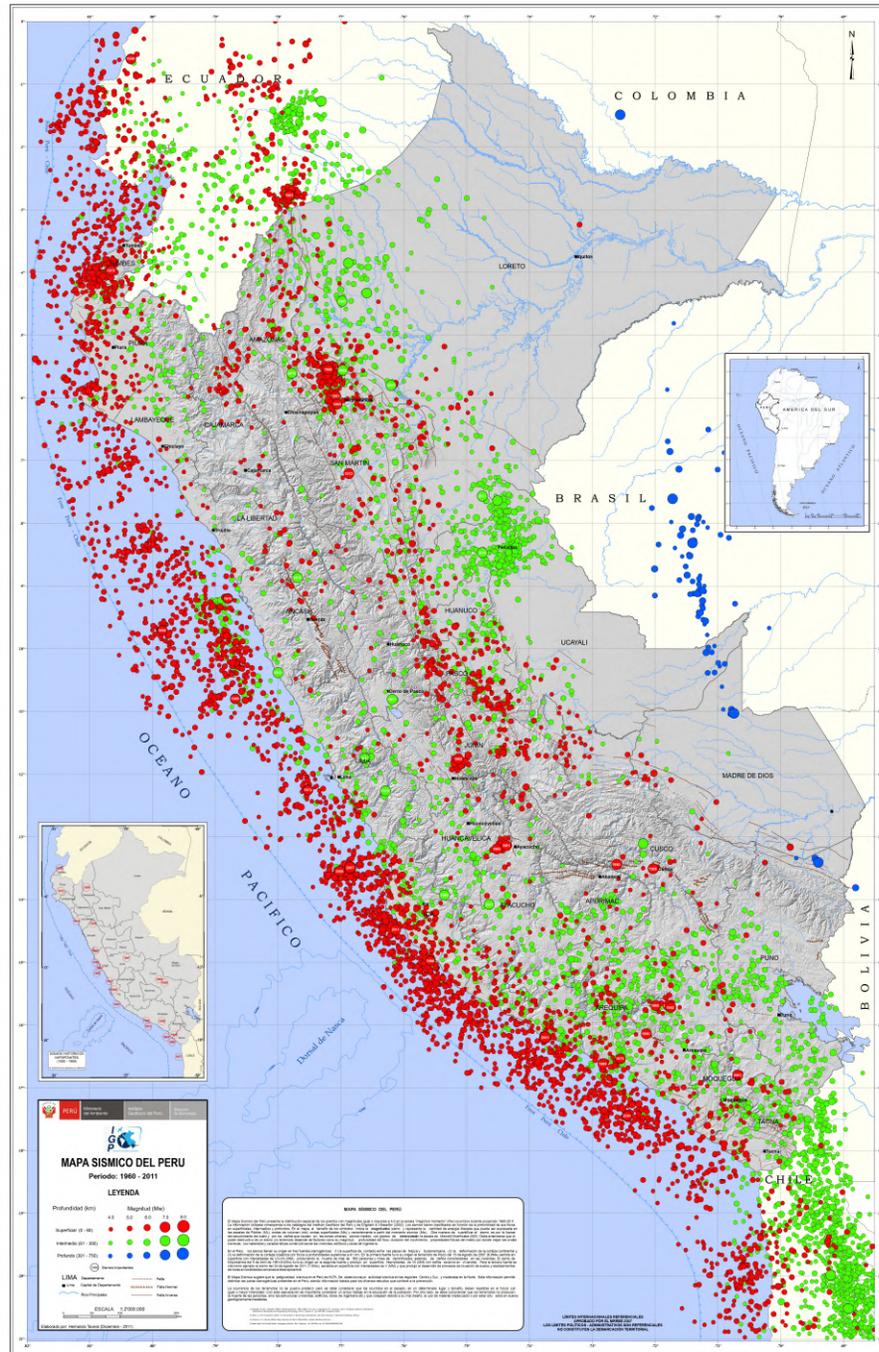


Figura 2.1: Mapa sísmico del Perú, periodo 1960 al 2011
Fuente: IGP (2011)

2.3. Normas técnicas del Perú

En el Perú, el Departamento de Normalización es responsable de desarrollar las Normas Técnicas de Edificación del Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE) y de evaluar la aprobación de los Sistemas Constructivos No Convencionales. Las Normas del Reglamento Nacional de Edificaciones se elaboran a través de Comités Técnicos, que incluyen representantes que provienen de diversas instituciones. Entre estas instituciones se contemplan: universidades, institutos de investigación y consultores de prestigio en el país.

El Comité Técnico especializado en Perú tiene la responsabilidad de redactar el Proyecto de propuesta de las Normas del Reglamento Nacional de Edificaciones, el cual luego se somete a discusión pública y es aprobado por el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento.

A continuación, se listan las normas consultadas:

- **NTE E.020 (DS 011-2006): Cargas**

Establece las directrices del cálculo de cargas en edificaciones. Esta norma se complementa con la NTE E.030 Diseño Sismorresistente y con las normas atinentes a los distintos materiales estructurales.

- **NTE E.030 (DS 355-2018): Diseño Sismorresistente**

Establece las condiciones mínimas para el Diseño Sismorresistente de las edificaciones. Su aplicación es obligatoria a nivel nacional, contemplando el diseño de edificaciones nuevas, reforzamiento de existentes y la reparación de estructuras dañadas por sismos.

Cabe mencionar que en su Artículo 23, permite la utilización de sistemas de aislamiento sísmico o de sistemas de disipación de energía, siempre y cuando se cumplan las disposiciones del capítulo II de la norma y, en la medida que sean aplicables, los requisitos del estándar ASCE/SEI 7: *Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures*.

- **NTE E.060 (DS 010-2009): Concreto Armado**

Establece los requisitos y exigencias mínimas para el análisis, el diseño, los materiales, la construcción, el control de calidad y la supervisión de estructuras de concreto armado, preesforzado y simple.

- **NTE E.070 (DS 011-2006): Albañilería**

Establece los requisitos y las exigencias mínimas para el análisis, el diseño, los materiales, la construcción, el control de calidad y la inspección de las edificaciones de albañilería.

- **NTE E.090 (DS 011-2006): Estructuras Metálicas**

Establece las exigencias mínimas. Considera diseño, fabricación y montaje de estructuras metálicas para edificaciones, aceptando los criterios de 1 método de Factores de Carga y Resistencia (LRFD) y el método por Esfuerzos Permisibles (ASD).

2.4. Estándares norteamericanos

Organizaciones reconocidas a nivel internacional, desempeñan un papel crucial en el desarrollo de estándares y normativas que guían el diseño, construcción y evaluación de estructuras. Entre estas organizaciones, se puede mencionar a la Sociedad Estadounidense de Ingenieros Civiles (ASCE), el Instituto Americano del Concreto (ACI), el Consejo de Tecnología Aplicada (ATC), el Instituto Americano de la Construcción en Acero (AISC), Agencia Federal para el Manejo de Emergencias (FEMA) y el Programa Nacional de Reducción de Riesgos de Terremotos (NEHRP).

A continuación, se entrega el detalle de aquellos que fueron consultados durante el proceso:

ASCE/SEI 41	:	Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings
ASCE/SEI 7	:	Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures
ACI 318	:	Building Code Requirements for Structural Concrete
ATC-40	:	Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings
ANSI/AISC 360	:	Specification for Structural Steel Buildings
ANSI/AISC 341	:	Seismic Provisions for Structural Steel Buildings
FEMA-356	:	Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings
NEHRP	:	Nonlinear Structural Analysis For Seismic Design, a Guide for Practicing Engineers

2.5. Método de marco equivalente

Se puede demostrar que para muros sólidos en voladizo, el desplazamiento lateral del punto centroidal del muro se puede estimar conforme a la ecuación:

$$\delta = \frac{F \cdot h^3}{3E \cdot I} + \frac{F \cdot h}{G \cdot A_c} \quad (2.1)$$

Donde

A_c : Área sección transversal

G : Módulo de corte

I : Momento de inercia de la sección transversal

F : Fuerza aplicada

E : Módulo de elasticidad

h : Altura del muro

Esta solución se obtiene a partir de aplicar la teoría de vigas de Bernoulli-Euler para un material elástico lineal, homogéneo e isotrópico.

El método de marco equivalente trata de simplificar la complejidad de los muros sólidos (Ver Figura 2.2) transformándolos en un marco. En lugar de tratar el muro como una sola entidad, se modela como un conjunto de vigas y columnas conectadas. Esto permite aplicar métodos de análisis estructural de marcos que están mejor desarrollados (Tena, 2007).

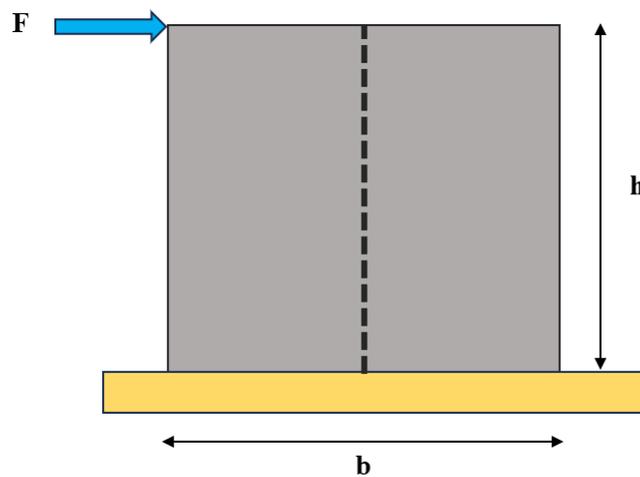


Figura 2.2: Muro sólido en voladizo
Fuente: Tena, A. (2007)

En específico, los muros se idealizan como columnas anchas ubicadas en el eje centroidal del muro. En estas columnas anchas se incluyen las deformaciones por cortante y la porción de las vigas que se encuentran dentro de la mitad correspondiente del muro modelado como columna ancha son infinitamente rígidas a flexión, y esto se ilustra a continuación en la Figura 2.3.

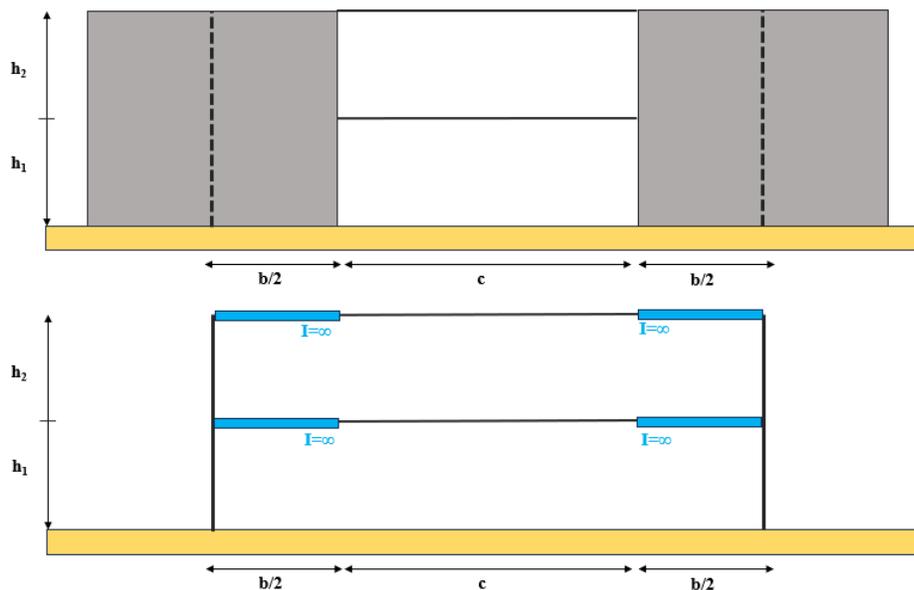


Figura 2.3: Método del marco equivalente
Fuente: Adaptado de Tena, A. (2007)

2.6. Análisis no lineal

La modelación de la respuesta no lineal de los muros estructurales puede realizarse mediante el uso de modelos microscópicos o macroscópicos. La modelación macroscópica busca predecir el comportamiento global de una estructura, como un muro de hormigón armado, mediante hipótesis y simplificaciones específicas. En particular, los modelos macroscópicos simplifican los grados de libertad de los elementos, lo que reduce el tamaño de las matrices de rigidez y reduce los tiempos de análisis, ofreciendo una precisión razonable para aplicaciones prácticas. Por otro lado, los modelos microscópicos permiten obtener la respuesta local de una manera detallada (Kolozvari et al., 2018).

2.6.1. Modelos de componentes estructurales inelásticos

Los tipos de modelos de análisis estructural de componentes no lineales pueden diferenciarse por la forma en que se distribuye la plasticidad a través de las secciones transversales de los miembros y a lo largo de su longitud (Deierlein et al., 2010).

Donde uno de los modelos más simples concentran las deformaciones inelásticas en los extremos del elementos, tal como se muestra en la Figura 2.4.a que contempla un rótula rígida-plástica y la Figura 2.4.b que presenta un resorte con propiedades histeréticas (Deierlein et al., 2010).

Por otro lado, para los modelos de plasticidad distribuida se tiene en la Figura 2.4.c que corresponde a una formulación eficiente de plasticidad distribuida en los extremos del elemento, mientras que la Figura 2.4.d distribuye la plasticidad a través de secciones transversales a lo largo del elemento (Deierlein et al., 2010).

Finalmente, el modelo más complejo es el que se muestra en Figura 2.4.e en el cual se distribuye la plasticidad mediante discretización a lo largo del cuerpo volumétrico mediante elementos finitos y con propiedades constitutivas no lineales del tipo histeréticas (Deierlein et al., 2010).

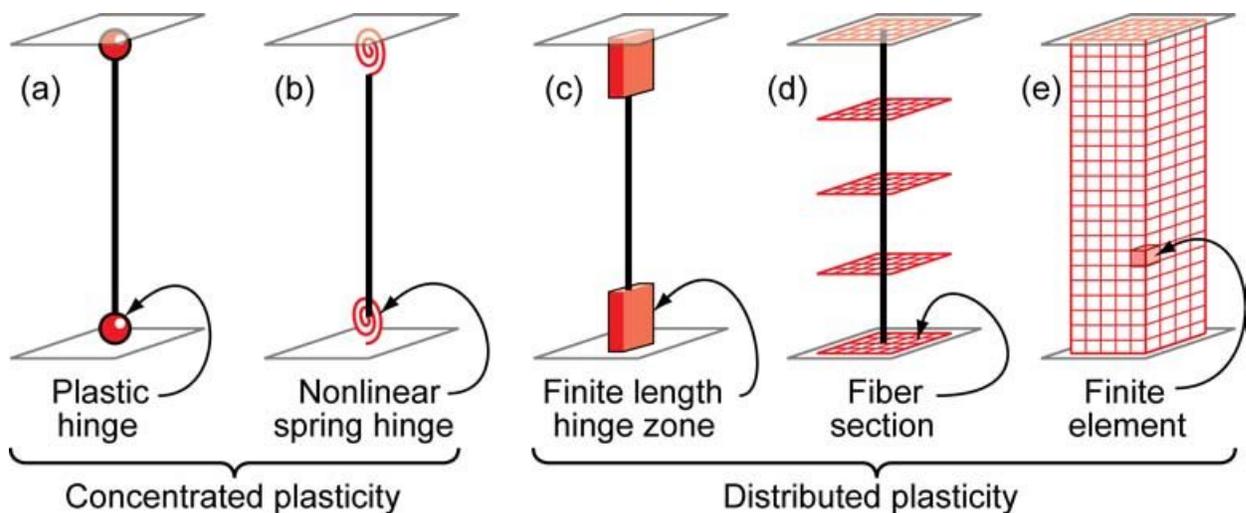


Figura 2.4: Modelos de plasticidad para elementos viga-columna
Fuente: Deierlein et al. (2010)

2.6.2. Modelos inelásticos de los materiales

En esta sección se detallan los modelos constitutivos utilizados, los cuales son fundamentales en el análisis estructural dado que describen el comportamiento de los materiales. La selección se basó en la similitud de comportamiento respecto a los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio.

2.6.2.1. Modelo constitutivo del hormigón

Compresión

Para el comportamiento del hormigón no confinado a compresión, Mander et al. (1988) propone la siguiente función:

$$f(\varepsilon) = \begin{cases} \frac{f'_c \cdot x \cdot r}{r - 1 + x^r} & , \quad \varepsilon \leq 2 \cdot \varepsilon'_c \\ \frac{2 \cdot f'_c \cdot r}{r - 1 + x^r} \cdot \frac{\varepsilon_u - \varepsilon}{\varepsilon_u - 2 \cdot \varepsilon'_c} & , \quad 2 \cdot \varepsilon'_c < \varepsilon \leq \varepsilon_u \end{cases} \quad (2.2)$$

En la que

$$x = \frac{\varepsilon}{\varepsilon'_c} \quad (2.3)$$

$$r = \frac{E_c}{E_c - \frac{f'_c}{\varepsilon'_c}} \quad (2.4)$$

Donde

f'_c : Resistencia a la compresión del hormigón

E_c : Módulo de elasticidad del hormigón

ε'_c : Deformación unitaria máxima del hormigón

ε_u : Deformación unitaria última

A continuación, la Figura 2.5 presenta la curva esfuerzo-deformación del modelo constitutivo.

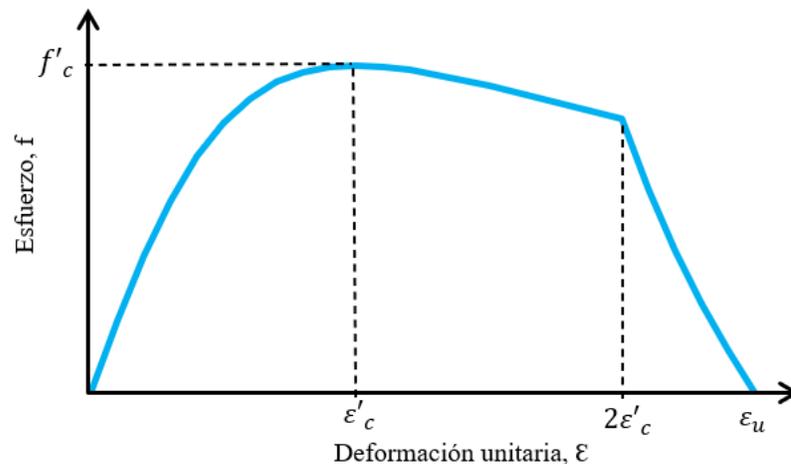


Figura 2.5: Curva esfuerzo-deformación hormigón no confinado a compresión
Fuente: Adaptado de Mander et al. (1988)

Tracción

Para el comportamiento del hormigón no confinado a tracción, Belarbi y Hsu et al. (1995) proponen la siguiente función:

$$f_t(\varepsilon) = \begin{cases} \frac{f_{cr}}{\varepsilon_{cr}} \cdot \varepsilon & , \varepsilon \leq \varepsilon_{cr} \\ f_{cr} \cdot \left(\frac{\varepsilon_{cr}}{\varepsilon}\right)^\beta & , \varepsilon > \varepsilon_{cr} \end{cases} \quad (2.5)$$

En la que

$$f_{cr} = 0.31 \sqrt{f'_c(\text{MPa})} \quad (2.6)$$

$$\beta = 0.6 \quad (2.7)$$

Donde

f'_c : Resistencia a la compresión del hormigón

f_{cr} : Resistencia a la tracción del hormigón

ε_{cr} : Deformación unitaria promedio de fisuración

β : Coeficiente decaimiento de la curva para el hormigón no confinado

A continuación, la Figura 2.6 presenta la curva esfuerzo-deformación del modelo constitutivo.

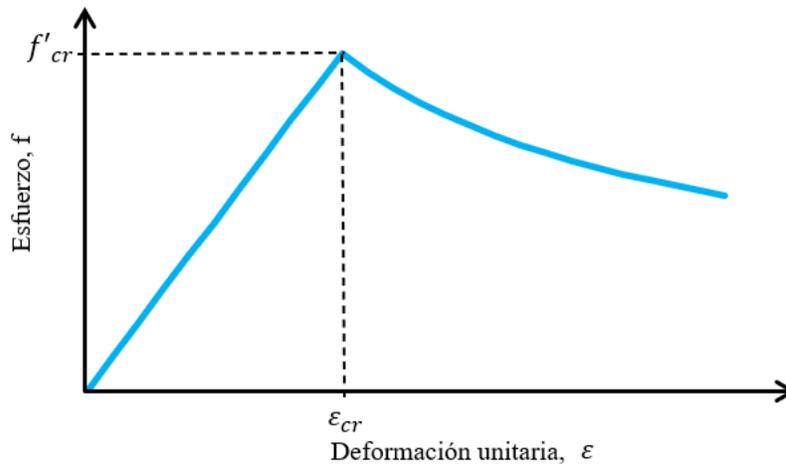


Figura 2.6: Curva esfuerzo-deformación hormigón no confinado a tracción
Fuente: Adaptado de Belarbi et al. (1995)

2.6.2.2. Modelo constitutivo del acero de refuerzo

Para el comportamiento del acero de refuerzo, Park y Paulay et al. (1975) proponen la siguiente función:

$$f(\varepsilon) = \begin{cases} E_s \cdot \varepsilon & , \quad \varepsilon \leq \varepsilon_y \\ f_y & , \quad \varepsilon_y < \varepsilon \leq \varepsilon_{sh} \\ f_y \cdot \left(\frac{m \cdot u + 2}{60 \cdot u + 2} + \frac{u \cdot (60 - m)}{2 \cdot (30 \cdot r + 1)^2} \right) & , \quad \varepsilon_{sh} < \varepsilon \leq \varepsilon_u \end{cases} \quad (2.8)$$

En la que

$$m = \frac{\frac{f_{su}}{f_y} \cdot (30 \cdot r + 1)^2 - 60 \cdot r - 1}{15 \cdot r^2} \quad (2.9)$$

$$r = \varepsilon_{su} - \varepsilon_{sh} \quad (2.10)$$

$$u = \varepsilon - \varepsilon_{sh} \quad (2.11)$$

Donde

E_s : Módulo de elasticidad del acero

f_y : Esfuerzo de fluencia nominal

f_{su} : Esfuerzo último

ε_y : Deformación unitaria de fluencia

ε_{sh} : Deformación unitaria en la cual se inicia la región de endurecimiento

ε_{su} : Deformación unitaria última

A continuación, la Figura 2.7 presenta la curva esfuerzo-deformación del modelo constitutivo.

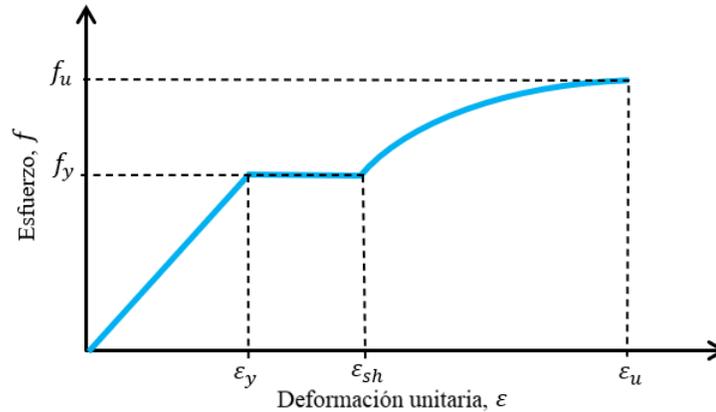


Figura 2.7: Curva esfuerzo-deformación acero de refuerzo

Fuente: Adaptado de Park y Paulay et al. (1975)

2.6.3. Tipos de albañilería

La albañilería se clasifica según:

1. **Función estructural:** Los muros se clasifican en portantes y no portantes, donde los primeros no reciben carga vertical y por lo tanto deben diseñarse ante cargas perpendiculares al plano, acomodando deformaciones. Por otro lado, los muros portantes se utilizan como elementos estructurales de una edificación y en consecuencia, están sujetos a todo tipo de sollicitación (San Bartolomé, 1994).
2. **Distribución del refuerzo:** Los muros se clasifican en muros no reforzados o de albañilería simple y muros reforzados. Donde la resistencia a corte (V) y la rigidez en el plano de muros no reforzados se pueden comparar con los no reforzados (Ver Figura 2.8), donde los muros no reforzados desarrollan falla frágil debido a que no se controla el agrietamiento mediante el uso de refuerzo (San Bartolomé, 1994).

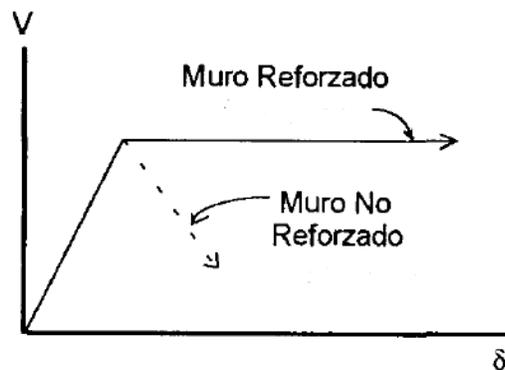


Figura 2.8: Comparación resistencia al corte muros albañilería
Fuente: Adaptado de San Bartolomé, A. (1994)

2.6.4. Curva de capacidad a corte de la albañilería

La tesis de Coral, M. (2018), cuyo objetivo principal era analizar el comportamiento sísmico de muros de albañilería confinada construidos con ladrillos King Kong 18 huecos, los cuales son de uso frecuente en las construcciones del Perú. Donde, el resultado obtenido fue la curva de capacidad a corte (Ver Figura 2.9). Esta curva especifica los puntos de fluencia, resistencia máxima y última.

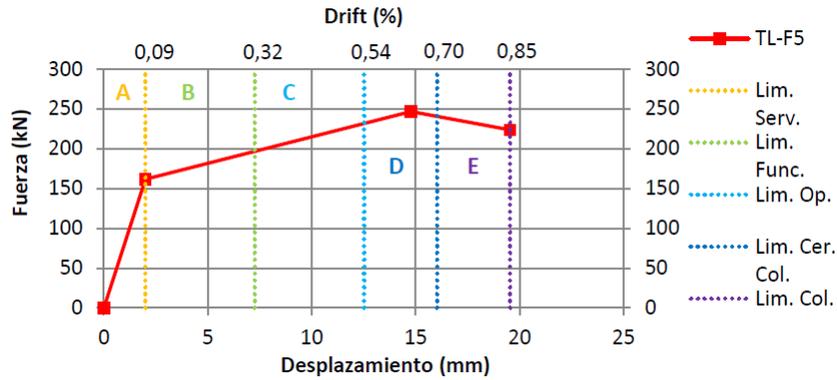


Figura 2.9: Curva de capacidad a corte de la albañilería
Fuente: Coral, M. (2018)

La descripción de los daños producidos se visualiza mediante división de la curva trilineal en 5 áreas:

- **Zona A:** El muro presenta un comportamiento elástico. Los daños se manifiestan como fisuras horizontales en los elementos de confinamiento vertical y el inicio de grietas horizontales en el paño de albañilería (Coral, 2018).
- **Zona B:** Comienza la fase post-elástica. Aparecen grietas diagonales en la parte media del muro, con grosores menores a 1 mm (Coral, 2018).
- **Zona C:** El muro continúa en la fase post-elástica, con un aumento en el tamaño de las grietas diagonales, que ahora miden entre 1 y 5 mm. Nuevas fisuras diagonales se desarrollan en la mitad superior del muro (Coral, 2018).
- **Zona D:** En la fase post-elástica se alcanza la máxima resistencia, seguido de una pérdida de rigidez y resistencia. En esta etapa, se generan grietas diagonales de entre 7 y 10 mm de grosor, que se originan desde las esquinas superiores del muro (Coral, 2018).
- **Zona E:** El muro experimenta una degradación completa de su resistencia, acercándose al colapso. Se observa aplastamiento en una de las esquinas inferiores debido a las grietas diagonales, con fisuras similares a las de la Zona D (Coral, 2018).

2.6.5. Métodos de análisis

Los procedimientos de análisis de respuesta no lineal actualmente utilizados para la evaluación y diseño basados en desempeño pueden clasificarse ampliamente en dos grupos:

- **Análisis estático no lineal**

El análisis estático no lineal monotónico, también conocido como Pushover. Consiste en aplicar un perfil de fuerzas laterales bajo una carga gravitacional constante, para encontrar la curva de capacidad de la estructura. Este proceso es iterativo, modificando gradualmente el modelo para reflejar la reducción de la resistencia de los elementos hasta alcanzar un límite predeterminado (Kappos et al. 2012).

Los conceptos clave en este análisis son la demanda y la capacidad sísmica. La demanda sísmica representa el movimiento sísmico al que se somete el edificio, y la capacidad se refiere a la capacidad de la estructura para resistir esta demanda, dependiendo de las propiedades y capacidades de los materiales utilizados. Cabe mencionar, que los resultados de este análisis incluyen el perfil de desplazamientos y la curva de capacidad, la cual se genera frecuentemente para las dos direcciones en estudio (Kappos et al. 2012).

- **Análisis dinámico no lineal**

El análisis dinámico difiere del análisis estático al considerar fuerzas que varían en el tiempo, como en vibraciones o sismos, lo que introduce una mayor variabilidad en la respuesta estructural. Este tipo de análisis complementa al estático, ya que permite tratar las cargas dinámicas en periodos cortos como si fueran estáticas. Por ende, es crucial desarrollar modelos que puedan simular este comportamiento para comprender mejor la respuesta estructural (Kappos et al. 2012).

En el análisis dinámico lineal, se establece un equilibrio dinámico entre masa, rigidez y amortiguamiento, expresado en una ecuación diferencial. La solución proporciona desplazamiento, velocidad y aceleración. A medida que cambian las fuerzas, la estructura disipa energía conforme a su deformación, mediante daño, lo que afecta su desempeño (Kappos et al. 2012).

2.6.6. Curva de capacidad

La curva de capacidad (Ver Figura 2.10) representa la relación entre el desplazamiento lateral de una estructura y la resistencia a la carga lateral obtenida a partir de un análisis estático no lineal, logrando cuantificar así la capacidad de la estructura para absorber la acción sísmica que es representada por fuerzas incrementales que aplica el método al sistema estructural iterativamente hasta alcanzar un punto de colapso (ATC-40, 1996).

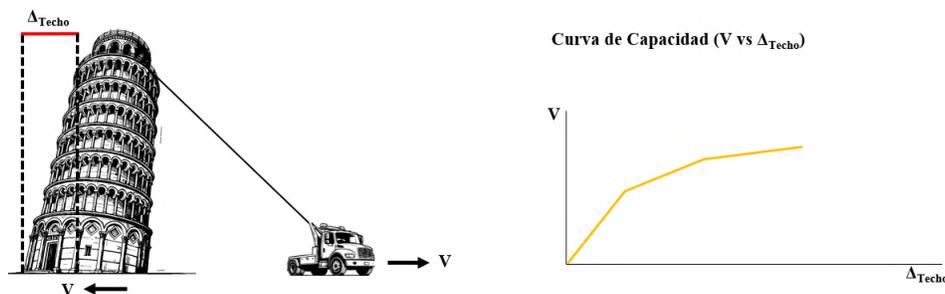


Figura 2.10: Ilustración curva de capacidad
Fuente: Adaptado ATC-40 (1996)

2.6.7. Conversión a espectros ADRS

La aplicación de la técnica del Espectro-Capacidad requiere que tanto los espectros de respuesta de demanda como las curvas de capacidad estructural se tracen en el dominio de aceleración espectral frente a desplazamiento espectral. Los espectros trazados en este formato se conocen como Espectros de Respuesta Aceleración-Desplazamiento (ADRS).

Cada punto en una curva de espectro de respuesta tiene asociada una aceleración espectral ($S_a[g]$), una velocidad espectral, S_v , un desplazamiento espectral (S_d) y un período (T). Para convertir un espectro del formato estándar S_a vs. T encontrado en el código de construcción al formato ADRS, es necesario determinar el valor de S_d para cada punto en la curva (S_{a_i}, T_i). Esto se puede hacer con la ecuación:

$$S_{d_i} = \frac{T_i^2}{4\pi^2} \cdot S_{a_i} \quad (2.12)$$

La aceleración y desplazamiento espectral en el período T_i están dadas por:

$$S_{a_i} = \frac{2\pi}{T_i} \cdot S_v \quad (2.13)$$

$$S_{d_i} = \frac{T_i}{2\pi} \cdot S_v \quad (2.14)$$

Para desarrollar el espectro de capacidad a partir de la curva de capacidad, es necesario hacer una conversión punto por punto a coordenadas espectrales del primer modo. Cualquier punto V_i, Δ_{Techo} en la curva de capacidad se convierte al punto correspondiente (S_{a_i}, S_{d_i}) en el espectro de capacidad usando las ecuaciones:

$$S_{a_i} = \frac{V_i}{W} / \alpha_1 \quad (2.15)$$

$$S_{d_i} = \frac{\Delta_{Techo}}{PF_1 \times \phi_{1,Techo}} \quad (2.16)$$

Donde α_1 y PF_1 son respectivamente el coeficiente de masa modal y los factores de participación para el primer modo natural de la estructura, $\phi_{1,Techo}$ es la amplitud en el nivel del techo del primer modo en la dirección del análisis (ATC-40, 1996).

$$PF_1 = \left[\frac{\sum_{i=1}^N (w_i \phi_{i1}) / g}{\sum_{i=1}^N (w_i \phi_{i1}^2) / g} \right] \quad (2.17)$$

$$\alpha_1 = \frac{[\sum_{i=1}^N (w_i \phi_{i1}) / g]^2}{\sum_{i=1}^N w_i / g \sum_{i=1}^N (w_i \phi_{i1}^2) / g} \quad (2.18)$$

N : Último nivel de la estructura

w_i/g : Masa asignada para el nivel i

También, se debe considerar que para estructuras con largos períodos fundamentales, los efectos de los modos superiores pueden ser más críticos en algunos componentes de la estructura que los efectos del modo fundamental. Donde, los valores de V vs Δ_{Techo} para los modos superiores se convierten en curvas S_a vs S_d usando los factores de participación modal superiores y los pesos modales efectivos (ATC-40, 1996).

Finalmente, a modo de resumen se representa gráficamente lo planteado previamente en la Figura 2.11.

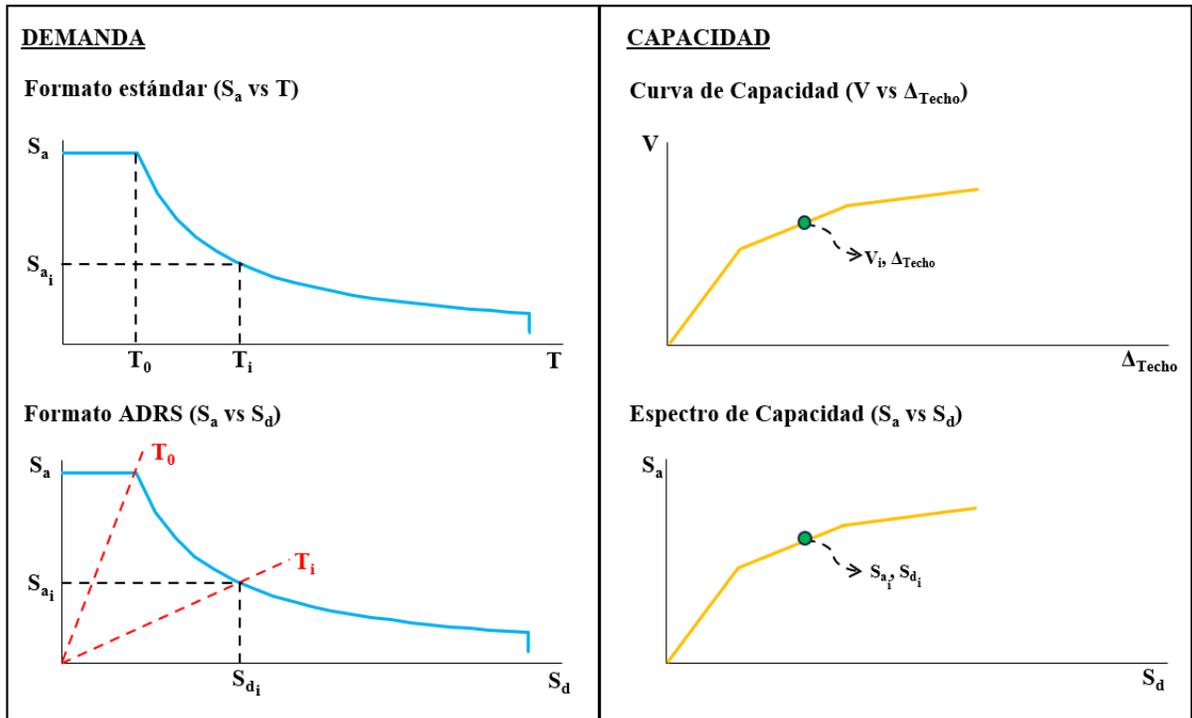


Figura 2.11: Conversión formato ADRS
Fuente: Adaptado ATC-40 (1996)

2.6.8. Punto de desempeño

El punto de intersección del pseudo espectro de aceleraciones y el espectro de capacidad entrega como resultado la máxima respuesta de la estructura. Este punto de encuentro entre los espectros se conoce como punto de desempeño (Ver Figura 2.12) y los factores de reducción del espectro dependen del amortiguamiento considerado (ATC-40, 1996).

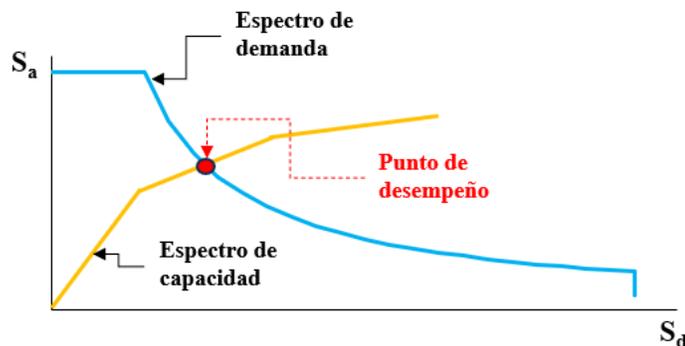


Figura 2.12: Punto de desempeño
Fuente: Adaptado ATC-40 (1996)

2.7. Niveles de desempeño estructural

Los niveles de desempeño estructural se definen por niveles y rangos los cuales son denominados con la abreviación SP-n, SP: structural performance y n: número designado de desempeño (ATC-40, 1996).

- **Ocupación inmediata (SP-1):** Se refiere al estado del edificio después de un terremoto en el cual solo se ha sufrido un daño estructural mínimo. Los sistemas principales de resistencia vertical y lateral del edificio conservan casi todas sus características y capacidades originales. El riesgo de lesiones graves por fallos estructurales es muy bajo, y el edificio debería ser seguro para la entrada, salida y ocupación sin restricciones (ATC-40, 1996).
- **Control de Daños (SP-2):** Este concepto no denota un nivel específico, sino una gama de estados de daño tras un terremoto, que pueden ir desde SP-1, Ocupación Inmediata, hasta SP-3, Seguridad de Vida. Sirve como referencia para diversas situaciones en las que puede ser necesario limitar el daño estructural más allá del nivel de Seguridad de Vida, sin que la ocupación sea una preocupación. Ejemplos de control de daños incluyen la protección de elementos arquitectónicos importantes en edificios históricos o de objetos valiosos (ATC-40, 1996).
- **Seguridad de Vida (SP-3):** Este término describe el estado en el que, tras un terremoto, la estructura puede haber sufrido daños importantes, pero aún mantiene suficiente integridad para evitar un colapso total o parcial. Los componentes estructurales principales no se han desprendido ni caído, lo que garantiza que no haya amenazas significativas para la seguridad de las personas dentro o fuera del edificio. Aunque pueden ocurrir lesiones durante el terremoto, el riesgo de daños estructurales que amenacen la vida es muy bajo. Se espera que antes de la reocupación del edificio sean necesarias reparaciones estructurales importantes, aunque estos daños pueden no ser siempre económicamente reparables (ATC-40, 1996).
- **Seguridad Limitada (SP-4):** Este concepto no define un nivel específico, sino un rango de estados de daño post-terremoto que es menos severo que SP-3, Seguridad de Vida, pero mejor que SP-5, Estabilidad Estructural. Actúa como una guía para situaciones en las que una rehabilitación no puede cumplir con todos los requisitos estructurales de la Seguridad de Vida, pero supera el nivel de Estabilidad Estructural. Estos casos incluyen situaciones en las que alcanzar el nivel completo de Seguridad de Vida no es costeable, o cuando solo se corrigen algunas deficiencias estructurales críticas (ATC-40, 1996).
- **Estabilidad Estructural (SP-5):** Este nivel indica el estado de daño estructural después de un terremoto en el que el sistema estructural del edificio está casi colapsando parcial o totalmente. La estructura ha sufrido daños considerables, posiblemente incluyendo una degradación significativa en la rigidez y resistencia del sistema de fuerzas laterales. No obstante, todos los componentes críticos del sistema de carga gravitacional siguen soportando su peso. A pesar de que el edificio retiene su estabilidad general, existe un riesgo considerable de lesiones debido a objetos que puedan caer tanto dentro como fuera del edificio, y réplicas fuertes pueden causar el colapso. Se anticipa que serán necesarias reparaciones estructurales importantes antes de que el edificio pueda ser reocupado (ATC-40, 1996).
- **No Considerado (SP-6):** Esta es una referencia para situaciones donde únicamente se lleva a cabo una evaluación sísmica no estructural (ATC-40, 1996).

2.8. Niveles de amenaza sísmica

El movimiento sísmico del suelo se combina con un nivel de desempeño deseado para establecer un objetivo de desempeño. Este movimiento puede expresarse mediante un enfoque probabilístico o un enfoque determinístico (ATC-40, 1996). Se definen tres niveles de movimiento sísmico del suelo:

- **Sismo de Servicio (SE):** Se establece mediante un enfoque probabilístico, definiendo el nivel de sacudida del suelo con un 50% de probabilidad de excederse en 50 años. Este nivel es generalmente la mitad del nivel del Sismo de Diseño (ATC-40, 1996).
- **Sismo de Diseño (DE):** Se determina usando un enfoque probabilístico, estableciendo el nivel de movimiento del suelo con un 10% de probabilidad de excederse en un periodo de 50 años (ATC-40, 1996).
- **Sismo Máximo (ME):** Se define como el nivel máximo de sacudida del suelo esperado en el sitio del edificio. Este nivel es generalmente 1.5 veces mayor que el del sismo de diseño (ATC-40, 1996).

2.9. Rehabilitación sísmica

En muchas zonas sísmicas del mundo, numerosos edificios no cumplen con los códigos modernos de diseño sismorresistente, lo que los hace vulnerables a terremotos. Para mejorar la seguridad estructural, se establecen objetivos y se implementan estrategias de rehabilitación basadas en la evaluación de deficiencias. Estas medidas pueden mejorar características como resistencia, ductilidad y rigidez. En específico, la rehabilitación sísmica se refiere a mejorar construcciones existentes que no cumplen con los estándares modernos de seguridad, mientras que la reparación se utiliza para restaurar estructuras dañadas debido a eventos sísmicos. También, aunque la rehabilitación se centra en aspectos estructurales, también es crucial considerar otros factores como costos y la interferencia con instalaciones existentes (FEMA-356, 2000).

Las estrategias de rehabilitación que permiten alcanzar los objetivos de desempeño planteados, se pueden categorizar como:

- **Modificación local:** Esta categoría abarca la implementación de modificaciones puntuales en elementos estructurales para mejorar las conexiones o aumentar tanto la resistencia como la capacidad de deformación, sin alterar la configuración global de la estructura. Por ejemplo, es posible encamisar elementos de hormigón armado o aplicar materiales compuestos (FEMA-356, 2000).
- **Refuerzo global:** Si la respuesta inelástica global de la estructura comienza a niveles de resistencia mucho menores que los diseñados para la rehabilitación, es necesario aumentar la resistencia globalmente. Para ello, se pueden reforzar los elementos existentes para la modificación local de componentes o incorporar nuevos elementos estructurales (FEMA-356, 2000).
- **Eliminación o reducción de irregularidades existentes:** Esta estrategia es efectiva cuando la evaluación y análisis de los perfiles de desplazamiento y las demandas de deformación inelástica revelan que las irregularidades afectan significativamente la respuesta de la estructura (FEMA-356, 2000).

- **Aislamiento sísmico:** La incorporación de aisladores, permite modificar favorablemente las propiedades dinámicas de la estructura. Esta técnica es más efectiva para edificios rígidos (FEMA-356, 2000).
- **Incorporación de disipadores de energía:** Estos dispositivos se integran en la estructura como nuevos componentes y permiten disipar energía mediante procesos histeréticos, logrando así reducir la demanda de desplazamientos y aceleraciones (FEMA-356, 2000).

2.10. Protección Sísmica

Los sistemas de protección sísmica se pueden clasificar en tres categorías: sistemas activos, sistemas semiactivos y sistemas pasivos. Donde, los sistemas activos incluyen sensores de movimiento, sistemas de control, procesamiento de datos y actuadores dinámicos. Son capaces de monitorear la respuesta sísmica en tiempo real, detectando movimientos y aplicando fuerzas para contrarrestar los efectos sísmicos. Por otro lado, los sistemas semiactivos al igual que los sistemas activos, cuentan con un mecanismo de monitoreo en tiempo real de la respuesta estructural, la diferencia es que estos sistemas no aplican fuerzas de control directamente sobre la estructura (Rodríguez, 2024).

Finalmente, los sistemas pasivos son los dispositivos de protección sísmica comúnmente más utilizados en la actualidad, dentro de esta categoría están los sistemas de aislación sísmica de base y los disipadores de energía, la gran diferencia que tiene este tipo de sistemas en comparación con los sistemas activos y semiactivos es que no necesitan de una fuente externa de energía para poder operar (Rodríguez, 2024).

2.10.1. Buckling Restrained Braces (BRB's)

Son sistemas de disipación de energía que fueron desarrollados para prevenir el pandeo local o global de las riostras sometidas a cargas axiales cíclicas, logrando un ciclo de histéresis más robusto y estable, tal como se muestra en la Figura 2.13.

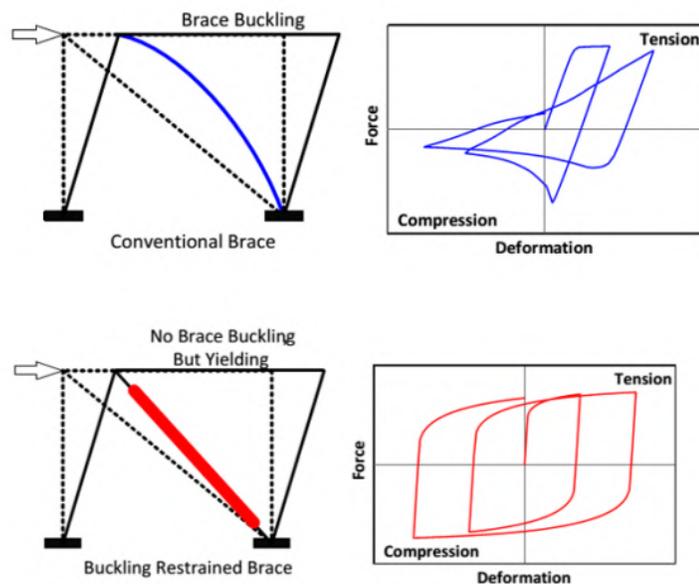


Figura 2.13: Comparativa arriostramiento convencional y BRB
Fuente: Yi, Z. et al. (2016)

Estos dispositivos se componen por un núcleo de acero que es el elemento que resiste los esfuerzos axiales y está diseñado para fluir a compresión y tracción, una funda de acero rellena de hormigón o grouting que le brinda soporte lateral al núcleo de acero evitando el pandeo local y/o global y un material antiadherente que cubre al núcleo de acero permitiendo una libre deformación tanto a tracción como a compresión y evita que la carga axial se transfiera como esfuerzo de corte al grouting de relleno (Ver detalles en la Figura 2.14). De esta forma, los BRB's concentran las deformaciones inelásticas y disipan energía en su núcleo (Medalla et al. 2015).

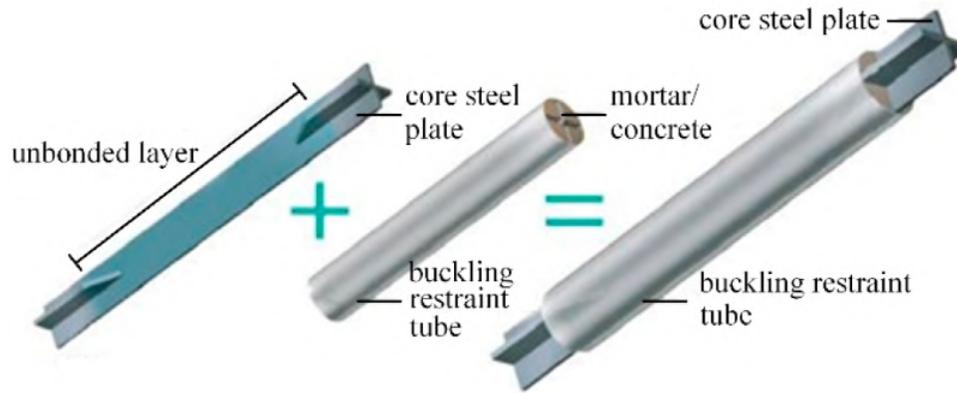


Figura 2.14: Componentes de BRB
Fuente: Huang, Y. et al. (2022)

En este capítulo se detallan los parámetros y procedimientos aplicados tanto para la estructura original como para la reforzada sísmicamente. Se especifican las cargas aplicadas, incluyendo cargas muertas, vivas y sísmicas, así como las combinaciones de carga utilizadas en el análisis estructural. También, se describen los parámetros sísmicos considerados para el análisis modal espectral según lo establecido en la NTE E.030 y la secuencia básica de modelación no lineal en ETABS.

3.1. Cargas

Se considera el peso propio de elementos estructurales y no estructurales del proyecto según lo estipulado en la NTE E.020. A continuación, se expone el plano de carga del piso tipo (Ver Figura 3.1), detallando las cargas asociadas a los tres tipos de sectores contemplados.

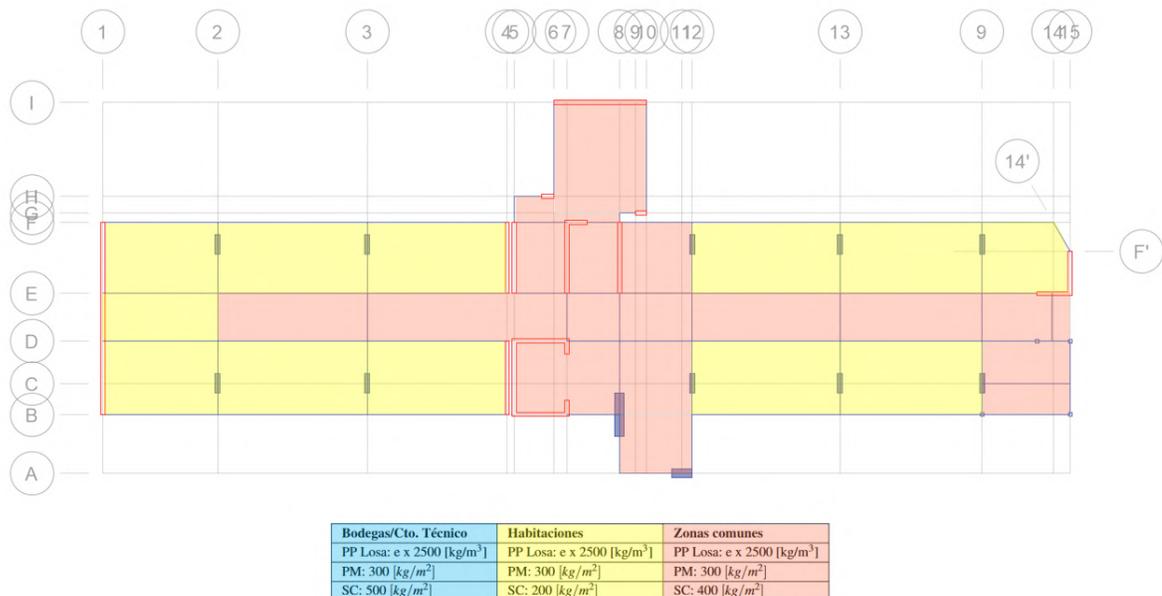


Figura 3.1: Plano de carga piso tipo

Donde

- e: Espesor de losa
- PP: Peso propio
- PM: Carga muerta adicional
- SC: Sobrecarga de uso

3.2. Combinaciones de carga

Las combinaciones de carga utilizadas son las que se indican en la norma de concreto NTE E.060:

- 1.4PP + 1.7SC
- 1.25PP + 1.25SC + SX
- 1.25PP + 1.25SC - SX
- 1.25PP + 1.25SC + SY
- 1.25PP + 1.25SC - SY
- 0.9PP ± SX
- 0.9PP ± SY

Donde

PP: Peso propio (estructura y cargas muertas adicionales)

SC: Sobrecarga de uso

SX: Sismo en la dirección X

SY: Sismo en la dirección Y

Por otro lado, para el caso de elementos de acero se considera lo estipulado en el Artículo 1.4 de la NTE E.090.

3.3. Parámetros sísmicos

La selección de los parámetros sísmicos para el análisis elástico modal espectral se realizó en base a los requerimientos descritos en NTE E.030, considerando:

- **Zonificación y Factor de zona (Z):** Dado que la estructura se encuentra ubicada en la provincia de Lima, se tendrá una zonificación Z4 según lo señalado en el Anexo II de la norma. Además, esta zonificación tiene asociada el valor $Z=0.45$, el cual se interpreta como la aceleración máxima horizontal en suelo rígido con una probabilidad de excedencia de 10% en 50 años.
- **Parámetros de sitio (S, T_P y T_L):** El sistema de cimentación de la estructura se encuentra sobre un depósito natural de arena gravosa, la cual clasifica como suelo tipo S1 (Roca o suelos muy rígidos). A partir de esto, junto a la zonificación, se obtiene el factor de amplificación del suelo (S), al cual le corresponde un valor de $S=1.0$. Además, según el perfil de suelo se tiene que los periodos $T_P=0.4$ [s] y $T_L=2.5$ [s].
- **Categoría de la edificación y factor de importancia (U):** Según la Tabla N°5 de la norma (Ver Anexo B.1), se tiene que la estructura clasifica como A2 y por lo tanto, tiene asociado un factor de importancia $U=1.5$.

- **Sistema estructural:** Dado que se tiene un sistema en que la resistencia sísmica proviene predominante de muros estructurales, sobre los cuales actúa al menos el 70% de la fuerza cortante en la base, se clasifica como muros Estructurales.
- **Coefficiente básico de reducción (R_0):** Según la Tabla N°7 (Ver Anexo B.2) de la norma, el sistema estructural de muros estructurales tiene asociado un coeficiente básico de reducción $R_0 = 6$.
- **Estimación del peso (P):** El peso se calcula adicionando un porcentaje de la carga viva o sobrecarga a la carga permanente y total de la edificación, en específico para edificaciones de la categoría A, se toma el 50% de la sobrecarga. Cabe señalar, que se agrega al modelo la combinación de carga PP+0.5SC.
- **Espectro elástico de pseudo aceleraciones:** Según lo presentado previamente junto a considerar un coeficiente de reducción de la fuerza sísmica $R=1$, cuya gráfica se presenta en la Figura 3.2.

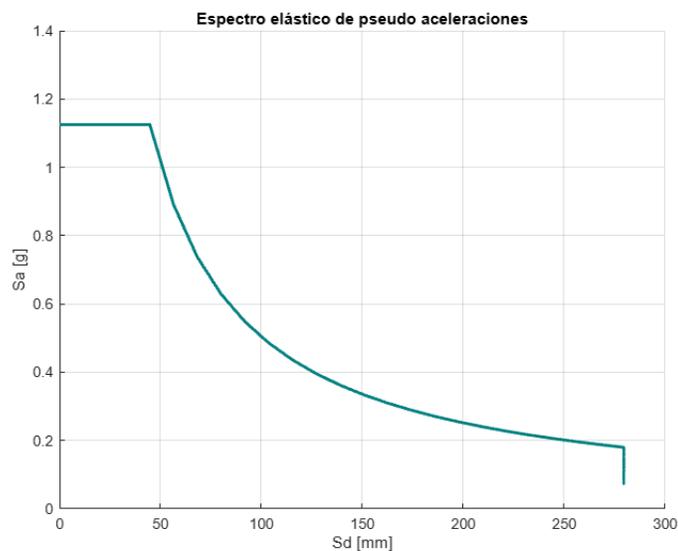


Figura 3.2: Espectro elástico de pseudo aceleraciones

3.4. Procedimiento para análisis no lineal en ETABS

A continuación, se presenta la secuencia de modelación básica para un análisis no lineal estático.

1. Definir los materiales.
2. Armar las secciones en Section Designer.
3. Definir las rótulas plásticas.
4. Asignar las rótulas plásticas.
5. Definir los estados de carga no lineales.
6. Correr el programa.
7. Visualizar las curvas de capacidad.

Finalmente, en el Anexo A es posible consultar detalles asociados a la interfaz de ETABS.

En el siguiente capítulo, se expone el desarrollo asociado a la evaluación sísmica de la estructura original, especificando en primer lugar los antecedentes considerados para la caracterización de los materiales y los elementos estructurales. También, se presentan los resultados asociados al análisis modal espectral. Además, se detalla el procedimiento asociado al análisis estático no lineal, considerando las distintas etapas de la modelación, entre las que se tiene: definición de la estructura, estados de carga, rótulas plásticas y su asignación. Finalmente, se presenta el análisis de resultados y los comentarios.

4.1. Antecedentes

Se consideran como antecedentes para este documento la información recopilada y de elaboración propia por parte de la empresa, que corresponden a los siguientes documentos:

- **Planos de arquitectura:** Estos planos entregan vistas de la distribución original de los elementos estructurales, pero sin detallar sus características tanto geométricas como de materialidad. Dada la gran incertidumbre de la estructura, el mandante solicitó a una empresa externa el primer levantamiento estructural del 2018.
- **Plano levantamiento estructural (2018):** Este levantamiento logró recopilar de forma parcial la geometría y características de algunos elementos a la vista. También, se realizaron diamantinas con ensayos de carbonatación, permitiendo conocer la calidad y estado del concreto de sectores específicos.
- **Informe técnico y plano de levantamiento estructural (2023):** Este levantamiento siguió los requerimientos mínimos solicitados por Pedrasa Ingeniería Estructural y que logra incorporar la totalidad de tipologías de los elementos, posibilitando la extrapolación con los elementos restantes. Además, se presentan los certificados de laboratorio que verifican la resistencia a compresión del concreto y a tracción del acero.
- **Informe cierre levantamiento estructural (2023):** Este informe deja registro de los levantamientos estructurales realizados, entregando comentarios respecto a los resultados y las consideraciones relevantes para la posterior propuesta de reforzamiento sísmico.

- **Modelo CS-TA-SH-V0.edb (2023):** Este modelo es desarrollado en ETABS por Pedrasa Ingeniería Estructural, según la información proporcionada por los levantamientos estructurales de las empresas externas. En específico, se utilizó una modelación de elementos finitos para los muros y tipo barra para los elementos restantes. A continuación, en la Figura 4.1 se tiene una vista 3D del edificio.

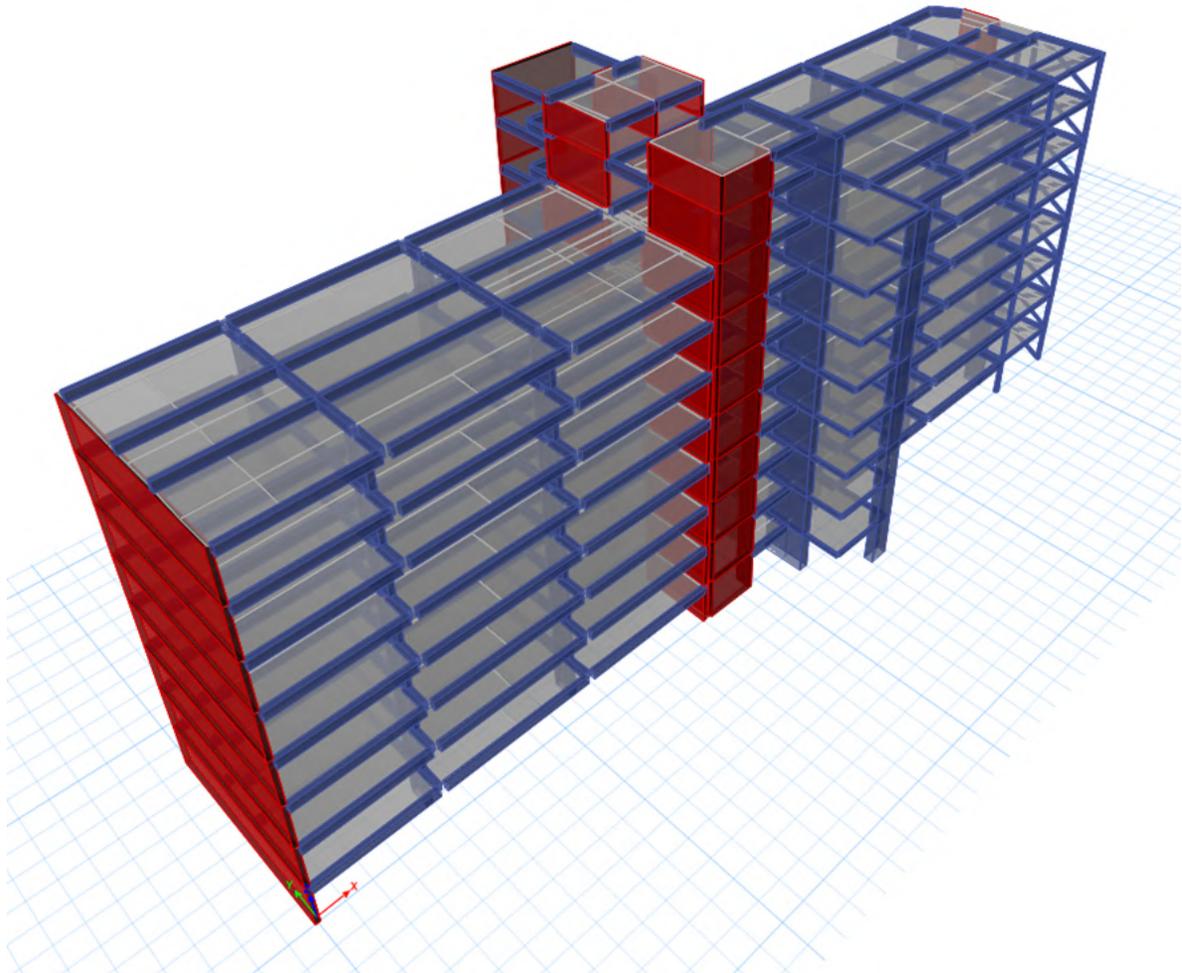


Figura 4.1: Vista 3D edificio
Fuente: Modelo CS-TA-SH-V0.edb

- **Compilado fotográfico:** Archivos obtenidos a partir de las visitas a terreno.
- **Presentaciones:** Asociadas a las reuniones con el mandante y modificaciones posteriores.

4.1.1. Estructuración

El edificio está compuesto por un sistema estructural de concreto armado, tabiquería de albañilería simple y losas aligeradas. En particular, presenta un semisótano, 7 niveles y azotea, ubicándose sobre esta última las salas de máquinas, a las cuales se les asignan los niveles 8 y 9 en el Story Data de ETABS. A continuación, en la Figura 4.2 se entrega el detalle de los niveles modelados.

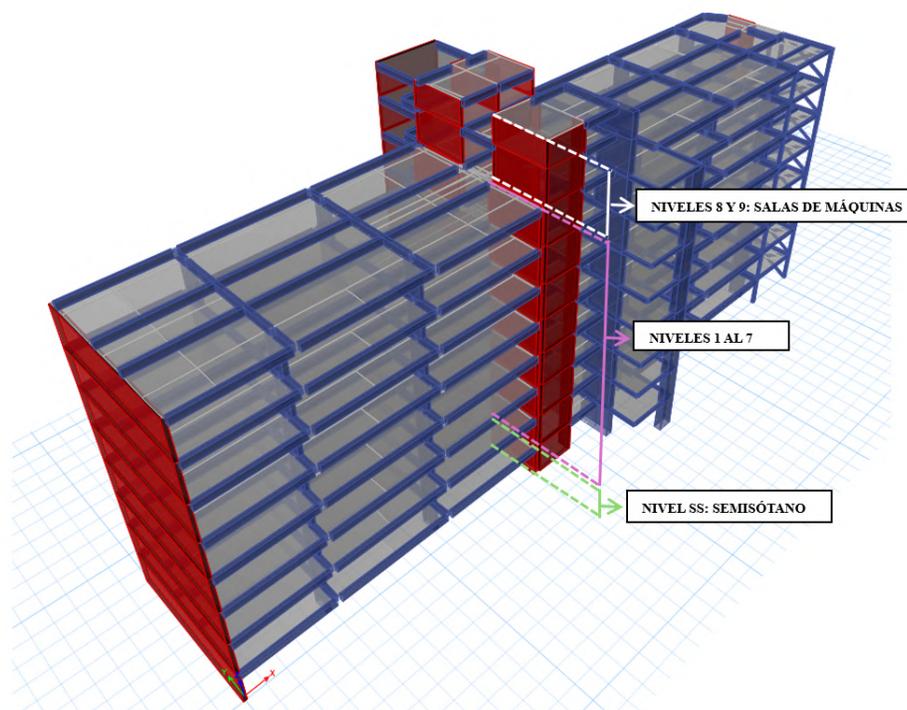


Figura 4.2: Detalle de los niveles en ETABS
Fuente: Adaptado de Modelo CS-TA-SH-V0.edb

También, en la Tabla 4.1 se entrega el desglose del Story Data del modelo, donde se especifica el nivel, altura asociada y elevación respecto a cota de terreno. Donde, se da cuenta que la altura total de edificio es de 26.15 [m].

Tabla 4.1: Story Data

Nivel	Altura [m]	Elevación [m]
9	1.8	26.15
8	2.5	24.35
7	2.8	21.85
6	2.8	19.05
5	2.8	16.25
4	2.8	13.45
3	2.8	10.65
2	2.8	7.85
1	2.8	5.05
SS	2.7	2.25
BASE	-	-0.45

En la Figura 4.3, se expone la vista en planta de la estructura para el piso tipo, el cual comprende desde el nivel SS hasta el nivel 7 y que tiene una longitud de 56.8 [m], se pueden distinguir dos módulos y una junta de dilatación de aproximadamente 6 [cm] rellena con Tecnopor, que fue verificada en al menos 3 niveles durante el levantamiento de 2023.

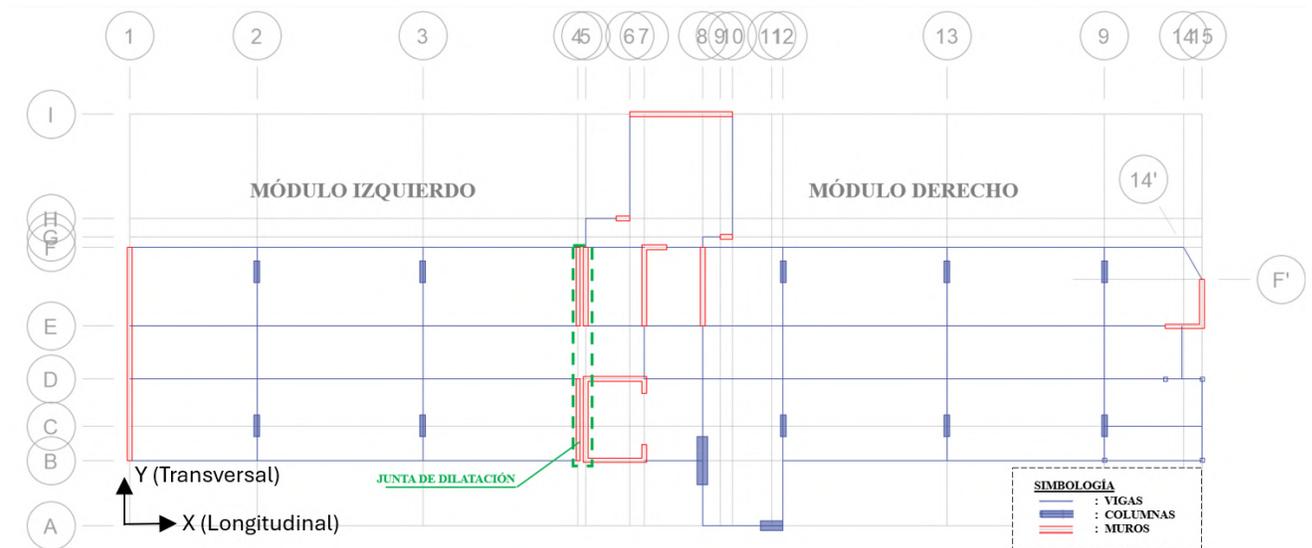


Figura 4.3: Planta de estructura piso tipo
Fuente: Adaptado de modelo CS-TA-SH-V0.edb

El módulo izquierdo no cuenta con marcos sísmicos definidos ni muros estructurales de consideración en la dirección longitudinal frente a las solicitaciones sísmicas. Por otro lado, el módulo derecho cuenta con muros estructurales que aportan resistencia frente a las cargas sísmicas, pero se encuentran concentradas entre los ejes 5 y 10, lo cual genera una irregularidad torsional en planta que no está permitida en la NTE E.030 para el tipo de edificación.

Cabe señalar, que el modelo CS-TA-SH-V0.edb que es utilizado de guía para la modelación estática no lineal presentada posteriormente en este capítulo, no contempla los elementos de albañilería presentes en la fachada y divisiones interiores, los cuales si bien tienen un rol subsidiario de las deficiencias estructurales mencionadas previamente, no aseguran el comportamiento sísmico de la estructura. Debido a que las capacidades de los elementos de albañilería son menores en comparación con las del concreto y tienen una alta fragilidad, es probable que sufran daños en las etapas iniciales de la liberación de energía durante eventos sísmicos significativos.

Finalmente, Pedrasa Ingeniería Estructural plantea en el informe de cierre de levantamiento estructural de 2023, la necesidad de realizar una medición de vibraciones ambientales, con el fin de evaluar la separación real entre los módulos y su comportamiento, debido a posibles dilataciones deficientes y/o trabazones entre módulos. Además, de cuantificar el impacto real de la tabiquería de albañilería en el comportamiento global del sistema y para la calibración de los modelos de análisis. En consecuencia, los resultados de esta medición permitirán calibrar los modelos posteriores que contemplan el reforzamiento sísmico.

4.1.2. Materiales

Dado que la calidad de los materiales del edificio no se encontraba especificada, debido a la falta de planos y/o memorias estructurales originales, se analizaron los datos obtenidos a partir de los ensayos de las diamantinas y la toma de muestras de acero de refuerzo.

Los ensayos de las diamantinas realizadas durante los levantamientos, muestran que el módulo izquierdo tiene una capacidad de alrededor 210 kg/cm^2 , en cambio el módulo derecho se observa una gran variabilidad de capacidades, pero obteniendo un promedio de 180 kg/cm^2 (Ver Figura 4.4), lo cual podría estar relacionado a una etapa constructiva posterior del módulo izquierdo. Además, se tienen carbonataciones mayores a 10 [mm], lo cual implica un deterioro significativo en el concreto existente.

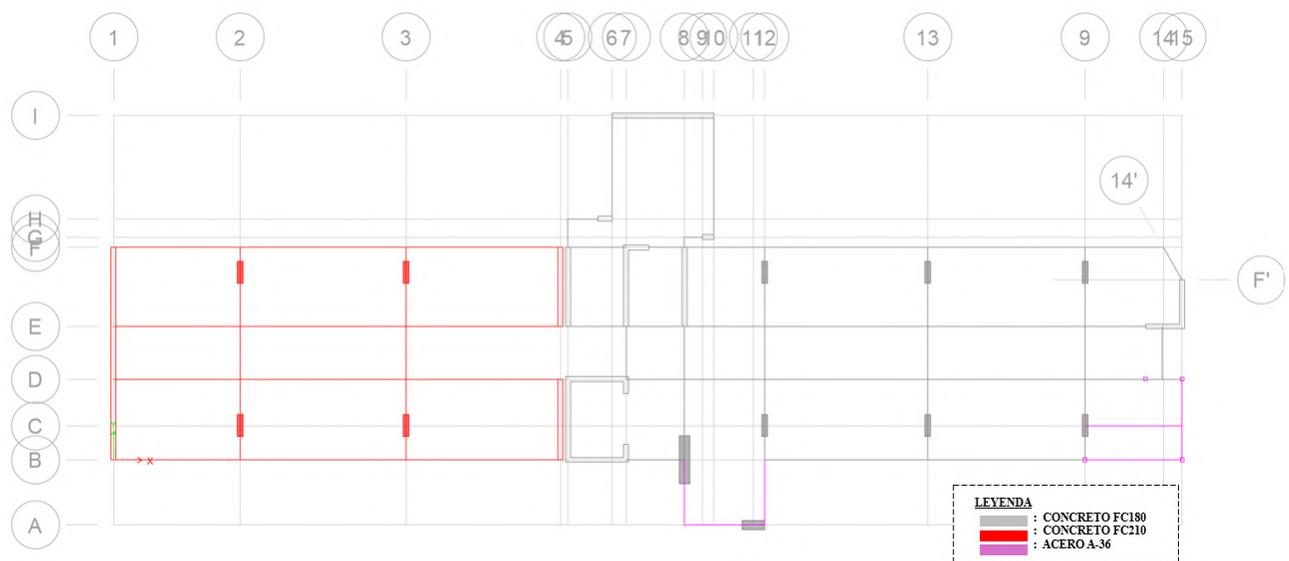


Figura 4.4: Planta estructura piso tipo, según materialidad

Fuente: Adaptado de Modelo CS-TA-SH-V0.edb

Por otro lado, las probetas de acero ensayadas presentaron un esfuerzo de fluencia promedio de 4500 kg/cm^2 . Además, se cuenta con la presencia de acero estructural A36, el cual fue incorporado en un proyecto posterior que comprendía la construcción de la escalera de escape ubicada en la esquina inferior del módulo derecho. En esta área se presenta una zona con estructuras metálicas y conexiones. Cabe agregar, que se dispone de planos que detallan la geometría de la estructura metálica.

A modo de resumen, se presenta la Tabla 4.2 con las propiedades de los materiales obtenidas a partir de los levantamientos estructurales.

Tabla 4.2: Propiedades de los materiales
Fuente: Elaboración propia

Hormigón FC180		
Resistencia a la compresión (f'_c)	: 180	kg/cm^2
Módulo de elasticidad (E_c)	: 280206	kg/cm^2
Densidad (γ_c)	: 2500	kg/m^3
Módulo de Poisson (μ_c)	: 0.2	-
Hormigón FC210		
Resistencia a la compresión (f'_c)	: 210	kg/cm^2
Módulo de elasticidad (E_c)	: 217370	kg/cm^2
Densidad (γ_c)	: 2500	kg/m^3
Módulo de Poisson (μ_c)	: 0.2	-
Acero FY4500		
Esfuerzo de fluencia (F_y)	: 4500	kg/cm^2
Módulo de elasticidad (E_s)	: 2100000	kg/cm^2
Densidad (γ_s)	: 7850	kg/m^3
Acero FY2530		
Esfuerzo de fluencia (F_y)	: 2530	kg/cm^2
Módulo de elasticidad (E_s)	: 2100000	kg/cm^2
Densidad (γ_s)	: 7850	kg/m^3

4.1.3. Elementos estructurales

Los elementos estructurales que componen el edificio se pueden clasificar como: muros, columnas y vigas de hormigón armado. Adicionalmente, se presentan riostras, columnas y vigas compuestas a partir de perfiles de acero. Según la información proporcionada por los planos de los levantamientos estructurales, se puede rotular la planta de piso tipo junto a la elevación del eje 15 para abarcar todas las secciones constituyentes, tal como se muestra en la Figura 4.5.

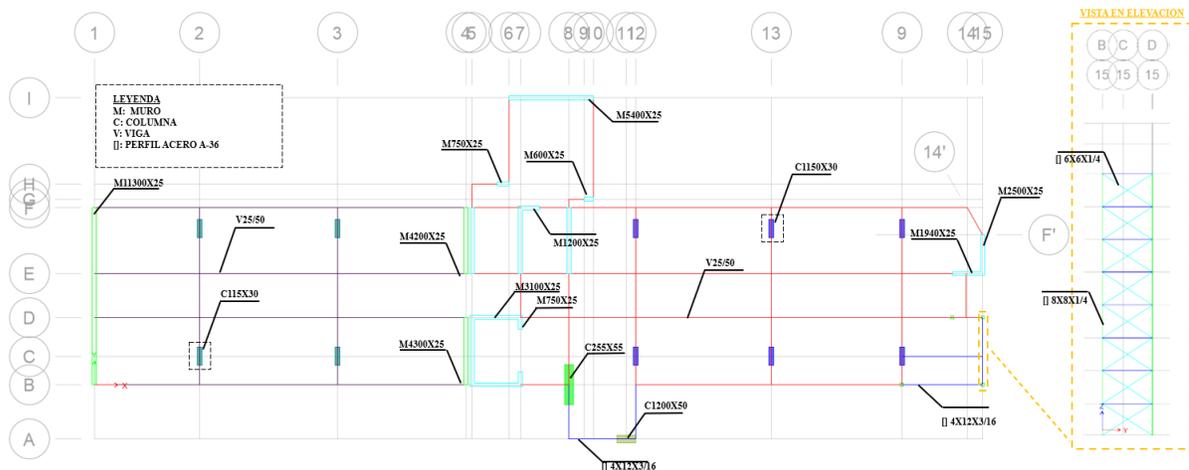


Figura 4.5: Secciones de los elementos estructurales
Fuente: Adaptado de Modelo CS-TA-SH-V0.edb

Por otro lado, en la Tabla 4.3 se detallan las secciones de muros de concreto armado consideradas. Cabe destacar, que durante los levantamientos no se levantó armaduras de borde, por lo que se asume armadura distribuida en borde como el caso más desfavorable.

Tabla 4.3: Secciones de muros de concreto armado
Fuente: Elaboración propia

ID Muro	$f'_c [kg/cm^2]$	Longitud de muros		e [cm]	Armadura	
		Lwx [cm]	Lwy [cm]		Horizontal	Vertical
M11300E1	210	0	1130	25	$\phi 3/8@25$	$\phi 3/8@25$
M4200E4a	210	0	420	25	$\phi 3/8@25$	$\phi 3/8@25$
M4300E4a	210	0	430	25	$\phi 3/8@25$	$\phi 3/8@25$
M4200E4b	180	0	420	25	$\phi 3/8@25$	$\phi 3/8@25$
M4300E4b	180	0	430	25	$\phi 3/8@25$	$\phi 3/8@25$
M4200E5	180	0	420	25	$\phi 3/8@25$	$\phi 3/8@25$
M4200E6a	180	0	420	25	$\phi 3/8@25$	$\phi 3/8@25$
M3100EA	180	310	0	25	$\phi 3/8@25$	$\phi 3/8@25$
M3100EC	180	310	0	25	$\phi 3/8@25$	$\phi 3/8@25$
M2500E11	180	0	250	25	$\phi 3/8@25$	$\phi 3/8@25$
M1940ED	180	194	0	25	$\phi 3/8@25$	$\phi 3/8@25$
M750EG	180	75	0	25	$\phi 3/8@25$	$\phi 3/8@25$
M1200EF	180	120	0	25	$\phi 3/8@25$	$\phi 3/8@25$
M600EI	180	0	60	25	$\phi 3/8@25$	$\phi 3/8@25$
M750E5-1	180	0	75	25	$\phi 3/8@25$	$\phi 3/8@25$
M750E5-2	180	0	75	25	$\phi 3/8@25$	$\phi 3/8@25$
M5400EH	180	540	0	25	$\phi 3/8@25$	$\phi 3/8@25$

4.2. Análisis sísmico

En primer lugar, en esta sección se toma como base el Modelo CS-TA-SH-V0.edb, a partir del cual se le aplican las modificaciones pertinentes con el objeto de consolidar la información respecto a los modelos constitutivos desarrollados en el marco teórico con los datos presentados previamente en los antecedentes, específicamente verificando la correcta asignación de secciones y propiedades.

4.2.1. Resultados

En las siguientes secciones se detallan los resultados obtenidos a partir del modelo lineal de la estructura original y el análisis modal espectral.

4.2.1.1. Peso sísmico

En la Tabla 4.4 se presenta el peso sísmico acumulado para cada nivel de la estructura.

Tabla 4.4: Peso sísmico acumulado por nivel

Nivel	Combinación de carga	Peso sísmico acumulado [t]
9	PP+0.5SC	57
8	PP+0.5SC	156
7	PP+0.5SC	841
6	PP+0.5SC	1584
5	PP+0.5SC	2332
4	PP+0.5SC	3081
3	PP+0.5SC	3829
2	PP+0.5SC	4577
1	PP+0.5SC	5326
SS	PP+0.5SC	6069

Por lo tanto, el peso sísmico total de la estructura corresponde a 6069 [t].

4.2.1.2. Relaciones de masa modal participante

En la Tabla 4.5 se exponen las relaciones de masa modal participante.

Tabla 4.5: Relaciones de masa modal participante

Modo	Período [s]	UX	UY	RZ
1	0.942	0.6832	0.0059	0.0010
2	0.746	0.0077	0.4607	0.2193
3	0.321	0.0003	0.2203	0.4723

Donde

UX: Relación de participación modal en la dirección del eje X

UY: Relación de participación modal en la dirección del eje Y

RZ: Relación de participación modal en la rotación respecto al eje Z

En consecuencia, se tiene que la forma modal fundamental para la dirección X corresponde al primer modo, el cual tiene un periodo de 0.942 [s]. También, para la dirección Y se tiene que la forma modal predominante es el segundo modo con un periodo de 0.746 [s].

4.2.1.3. Desplazamientos laterales

La Figura 4.6 expone las derivas de entrepiso tanto para la dirección longitudinal como transversal de la estructura, donde se considera el valor de referencia máximo establecido en la NTE E0.30 (Ver Anexo B.3).

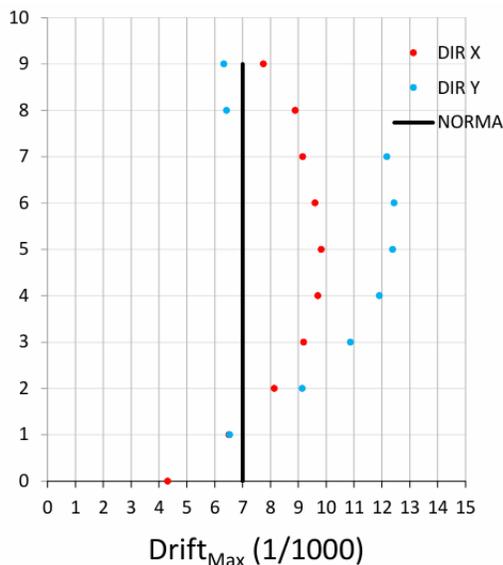


Figura 4.6: Desplazamientos laterales

4.2.1.4. Verificación de irregularidades

La Figura 4.7 presenta las distorsiones de entrepiso tanto para la dirección longitudinal como transversal de la estructura, donde se consideran los valores de referencia máximos según establecido en la NTE E0.30 (Ver Anexo B.4).

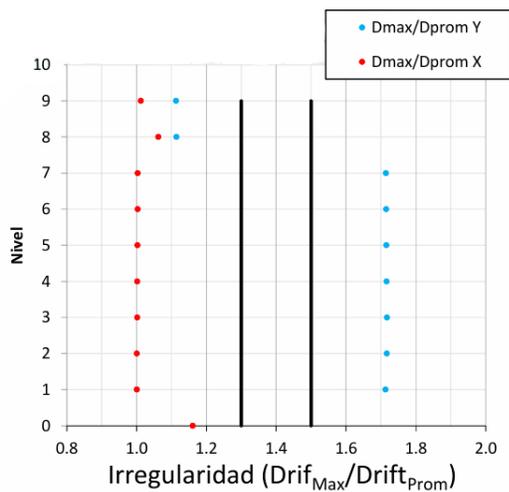


Figura 4.7: Verificación irregularidad torsional en planta

4.3. Análisis estático no lineal

Tomando como base el Modelo CS-TA-SH-V0.edb, se genera un nuevo modelo CS-TA-FR-V0.edb en el que todos los elementos son de tipo barras y esto se realiza según el método de marco equivalente. A continuación, en la Figura 4.8 se expone una vista 3D del edificio.

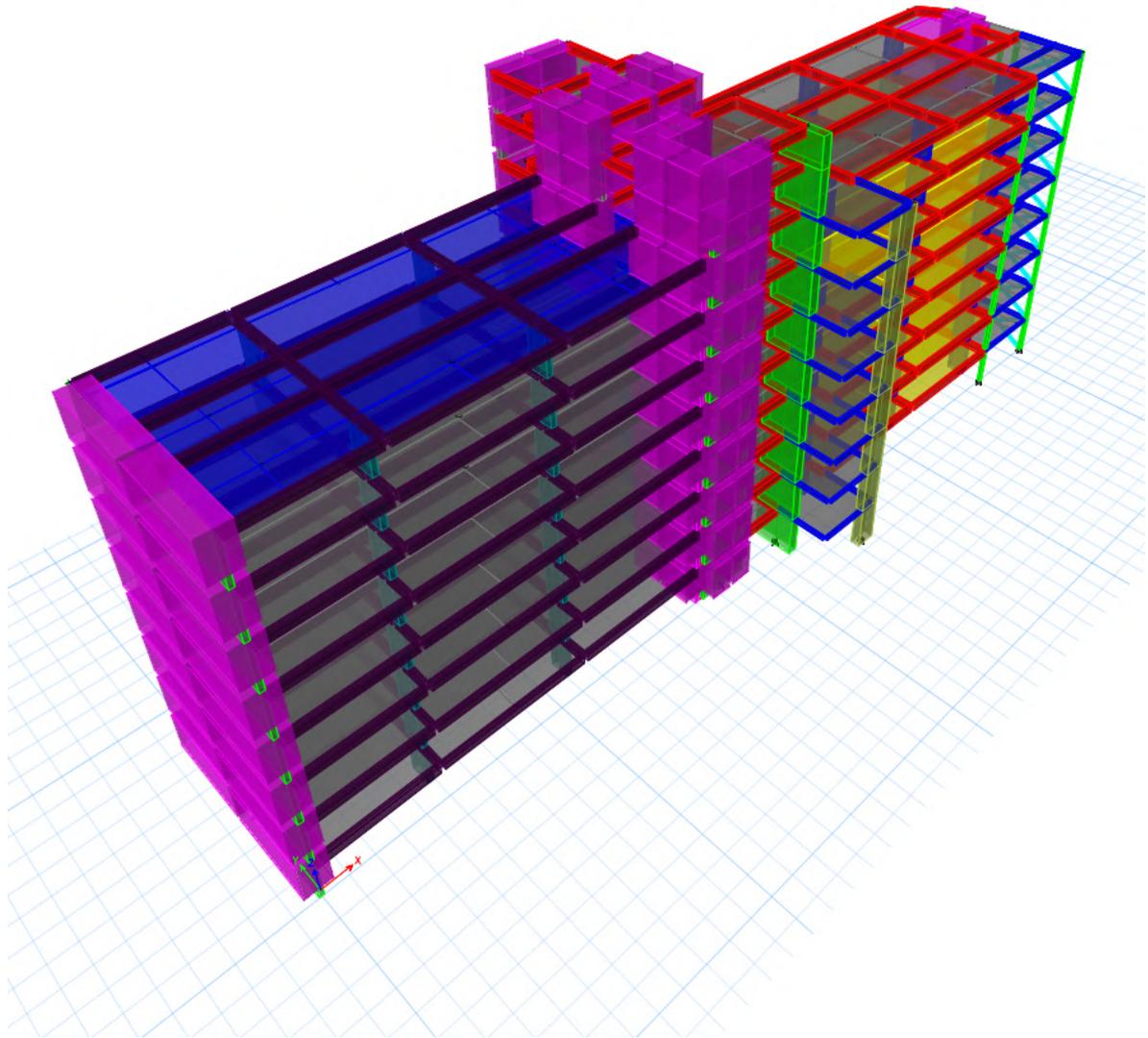


Figura 4.8: Vista 3D del Modelo CS-TA-FR-V0.edb

4.3.1. Detallamiento estructural

Los levantamientos estructurales realizados durante 2018 y 2023, lograron entregar detalles respecto a la geometría y armadura de los elementos estructurales, pero dado que fue realizada a un número acotado de elementos, se debe realizar una extrapolación estructural con el fin de armar todos los elementos en el Modelo CS-TA-FR-V0.edb.

Por un lado, para los muros se tiene una distribución de refuerzos uniforme para todas las secciones inspeccionadas, en específico una distribución @0.25 [m] tanto para acero vertical como horizontal. Adicionalmente, en el Anexo C se detallan los diagramas de interacción. A continuación, en la Figura 4.9 se presenta una vista en corte de una sección de muro tipo.

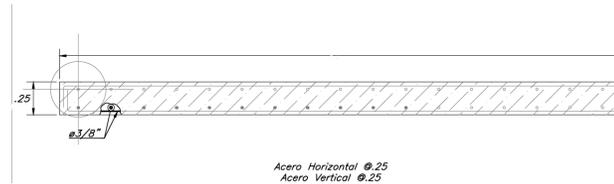


Figura 4.9: Distribución de refuerzos muro tipo

Por otro lado, para columnas se obtuvo la distribución de refuerzos para dos de tipos de secciones de columnas como se expone en la Figura 4.10.

COLUMNAS	
SECCIÓN	DISTRIBUCIÓN DE REFUERZOS
C1.15x0.30	<p>Acero Horizontal $5\varnothing$ 10, rto \varnothing.20 Acero Vertical \varnothing.20 r=5.5-6.5cm</p>
C2.55x0.55	<p>P-07</p>

Figura 4.10: Distribución de refuerzos columnas

En relación a las vigas se presentan sus distribuciones en la siguiente Figura 4.11.

VIGAS	
SECCIÓN	DISTRIBUCIÓN DE REFUERZOS
V25/50	<p>P-21</p>
	<p>P-28</p>
	<p>P-19</p>
	<p>1 \varnothing 5/8" 3/8" \varnothing 20 r=7-8cm V1-3</p>
	<p>P-21</p>

Figura 4.11: Distribución de refuerzos vigas

Finalmente, las secciones restantes se interpolaron según la similitud con los elementos conocidos, tanto en ubicación como en dimensiones.

4.3.2. Asignación estados de carga

Se define el estado de carga inicial “CGNL”, asociado a las cargas gravitacionales, el que se puede estimar como la suma de la carga de peso propio y el 50 % de la sobrecarga.

The screenshot shows the 'Load Case Data' dialog box with the following settings:

- General:** Load Case Name: CGNL; Load Case Type: Nonlinear Static; Exclude Objects in this Group: Not Applicable; Mass Source: MsSrc1.
- Initial Conditions:** Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State; Continue from State at End of Nonlinear Case (Loads at End of Case ARE Included).
- Loads Applied:** A table with columns 'Load Type', 'Load Name', and 'Scale Factor'.

Load Type	Load Name	Scale Factor
Load Pattern	CM	1
Load Pattern	CV	0.5
- Other Parameters:** Modal Load Case: Modal; Geometric Nonlinearity Option: None; Load Application: Full Load; Results Saved: Final State Only; Nonlinear Parameters: User Defined.

Figura 4.12: Estado de carga CGNL

Por otro lado, el estado de carga denominado “Pushover X” considera el primer modo como su patrón de carga.

The screenshot shows the 'Load Case Data' dialog box with the following settings:

- General:** Load Case Name: Pushover X; Load Case Type: Nonlinear Static; Exclude Objects in this Group: Not Applicable; Mass Source: MsSrc1.
- Initial Conditions:** Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State; Continue from State at End of Nonlinear Case (Loads at End of Case ARE Included); Nonlinear Case: CGNL.
- Loads Applied:** A table with columns 'Load Type', 'Load Name', and 'Scale Factor'.

Load Type	Load Name	Scale Factor
Mode	1	1
- Other Parameters:** Modal Load Case: Modal; Geometric Nonlinearity Option: None; Load Application: Displacement Control; Results Saved: Multiple States; Nonlinear Parameters: User Defined.

Figura 4.13: Estado de carga Pushover en X

Análogamente, el estado de carga denominado “Pushover Y” establece el segundo modo como su patrón de carga.

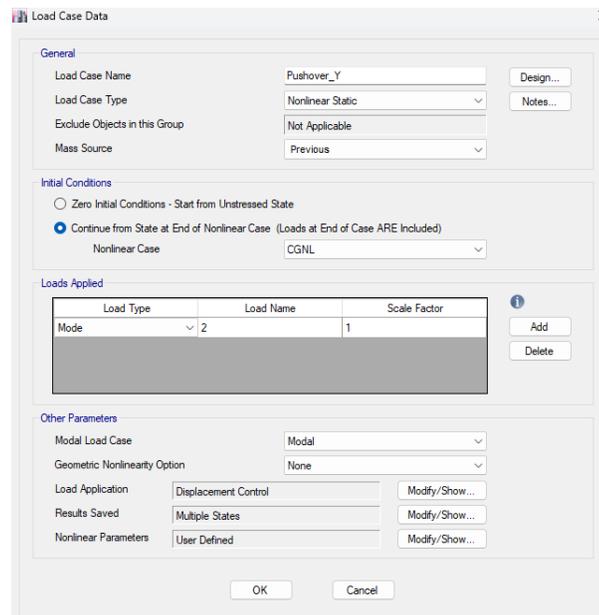


Figura 4.14: Estado de carga Pushover Y

4.3.3. Definición de rótulas

Las consideraciones al momento de la generación de rótulas plásticas según el estándar ASCE 41-13 (Ver Anexo D) de forma manual fueron:

- Muros: Rótulas tipo M2 y M3, ubicadas a 0.1 y 0.9 de la longitud.
- Columnas: Rótulas tipo M2 y M3, ubicadas a 0.05 y 0.95 de la longitud.
- Vigas: Rótulas tipo M3, ubicadas a 0.05 y 0.95 de la longitud.
- Riostras: Rótulas tipo P, ubicadas a 0.05 y 0.95 de la longitud.

4.3.4. Resultados

En primer lugar, la curva de capacidad en la dirección longitudinal asociada a la primera forma modal se presenta en la Figura 4.15. Donde, se obtuvo una relación Corte/Peso Sísmico última del 9.5% para una deformación de techo del 0.50%.

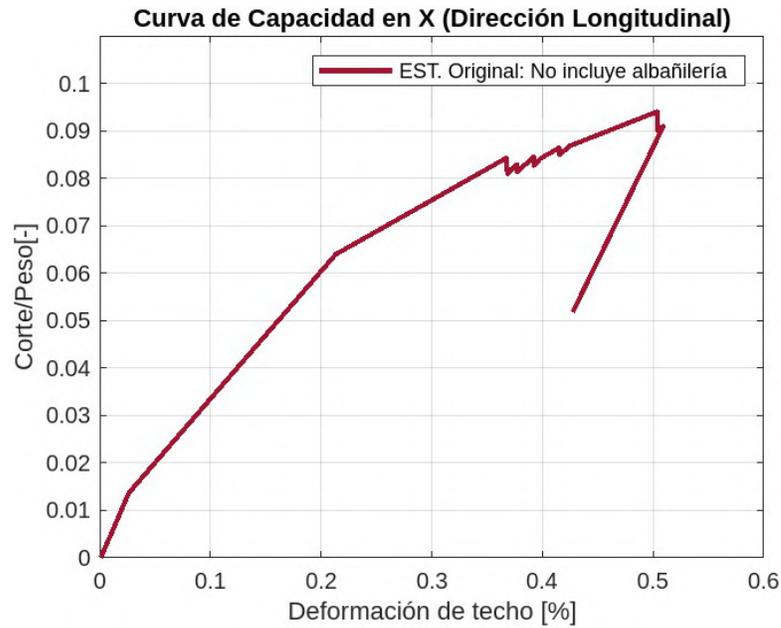


Figura 4.15: Curva de Capacidad en X

De forma análoga, para la dirección transversal se obtuvo la curva de capacidad de la estructura para el segundo modo fundamental se expone en la Figura 4.16. En específico, se tiene una relación Corte/Peso Sísmico última del 16.5% para una deformación de techo del 0.37%.

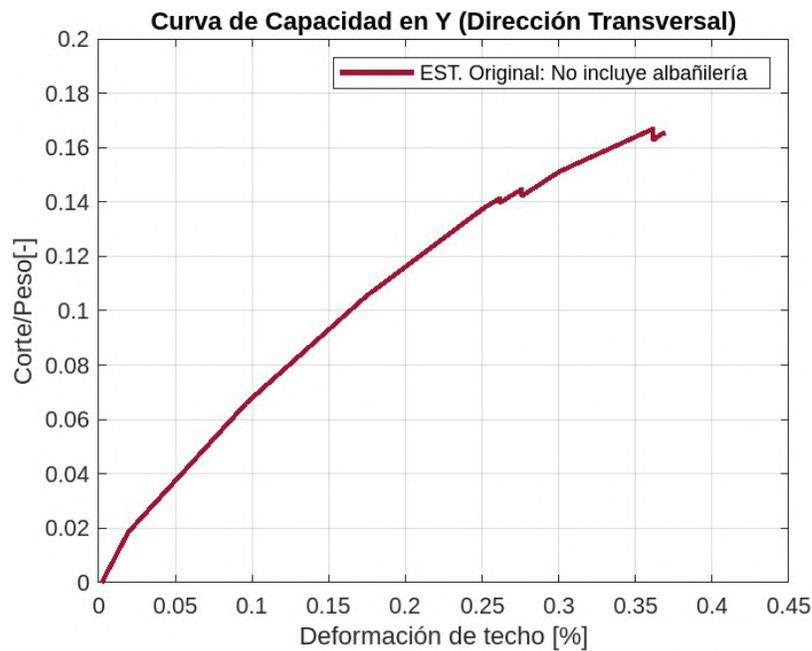


Figura 4.16: Curva de Capacidad en Y

Aplicando la conversión a formato ADRS de las curvas de capacidad y de demanda, se tiene la curva de demanda-capacidad para la dirección longitudinal en la Figura 4.17.

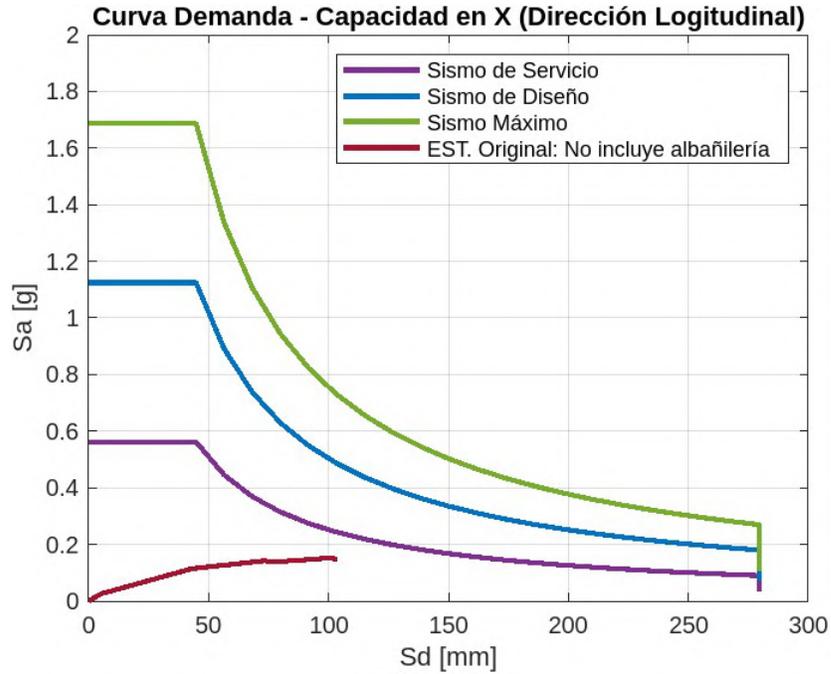


Figura 4.17: Curva de Demanda-Capacidad en X

De forma análoga, para la dirección transversal se presenta la curva en la Figura 4.18.

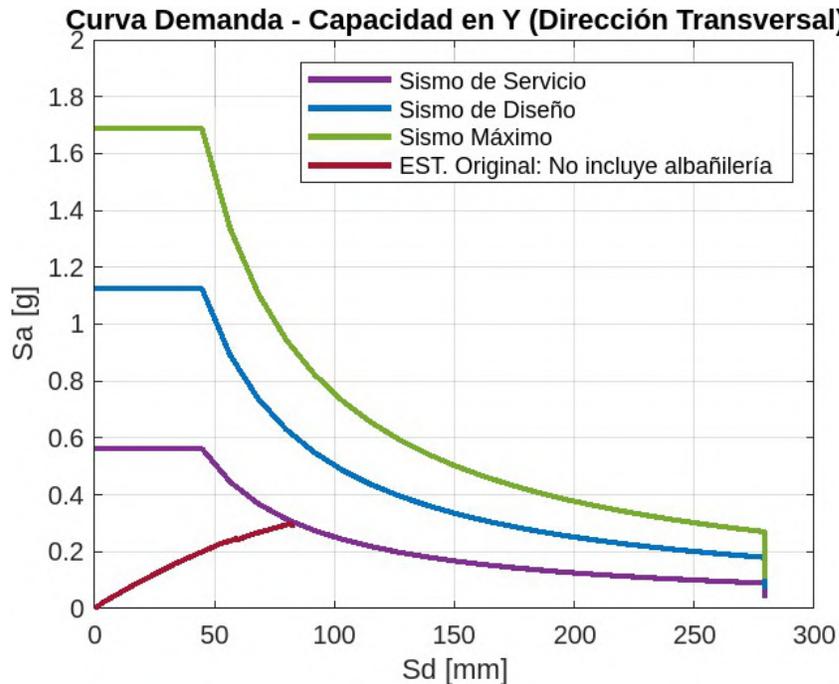


Figura 4.18: Curva de Demanda-Capacidad en Y

Finalmente, se menciona que no se obtienen puntos de desempeño asociados a las demandas presentadas en las Figuras 4.17 y 4.18.

4.4. Comentarios

A continuación, se mencionan los comentarios asociados al análisis de la estructura original:

- En las etapas iniciales de prueba del modelo estático no lineal, se presentaron errores de convergencia debido a que las vigas no soportaban el estado de carga inicial. Para abordar este problema, Pedrasa Ingeniería Estructural decidió ajustar las capacidades de las vigas para que fueran un 10% mayor a las respectivas solicitaciones. Este enfoque permitió evitar la falla temprana de las vigas que provocaba la caída del modelo, con el objetivo de centrarse en el análisis de la falla de los elementos resistentes verticales, lo cual es crucial para entender el comportamiento global de la estructura.
- Si bien ETABS puede asignar automáticamente las rótulas plásticas para todos los elementos, esta herramienta no se puede utilizar en edificaciones existentes que no hayan sido diseñadas según los estándares norteamericanos, ya que la generación automática tiene como paso previo el diseño de los elementos mediante el diseño interactivo de ETABS. Es por esto, que durante este trabajo de título se realizaron los cálculos de forma manual casi en su totalidad, exceptuando el cálculo de momento de fluencia de las secciones.
- Posterior a la finalización de la etapa de modelación de la estructura original, se informaron los resultados de la medición de vibraciones en ambientales. Donde, los periodos obtenidos son alrededor la mitad de los considerados en el modelamiento de la estructura original, lo cual da cuenta del impacto real de la tabiquería de albañilería en la rigidez global del sistema y por lo tanto, se deben modelar estos elementos para la correcta calibración de los modelos.
- Se tiene que el desarrollo asociado a la modelación no lineal entrega un primer acercamiento simplificado al comportamiento de la estructura, cuantificando las deficiencias estructurales previamente identificadas.

En el presente capítulo, se expone el desarrollo asociado a la evaluación sísmica del edificio reforzado sísmicamente, contemplando los antecedentes previos de la estructura original y la documentación relevante posterior. Además, se detalla el procedimiento asociado al análisis estático no lineal, considerando las distintas etapas de la modelación, entre las que se tiene: definición de la estructura, estados de carga, rótulas plásticas y su asignación. Finalmente, se presenta el análisis de resultados y los comentarios.

5.1. Estructura base

Para establecer un punto de comparación para la modelación del edificio reforzado sísmicamente, es necesario implementar un modelo base que incluya la albañilería pero que no incorpore el reforzamiento. Esto se debe a que el modelo no lineal presentado en la sección de la estructura original no es compatible con los periodos obtenidos en el estudio de vibraciones ambientales.

5.1.1. Antecedentes

Se consideran de forma adicional a los antecedentes de la estructura original los siguientes documentos:

- **Informe vibraciones ambientales (2024):** Este informe da cuenta de la necesidad de modelar la tabiquería de albañilería, dado que los periodos de la estructura obtenidos son considerablemente menores a los asociados al modelo de la estructura original.
- **Modelo CSA-TA-SH-V0.edb (2024):** Este modelo es desarrollado en ETABS por Pedrasa Ingeniería Estructural, tomando de base el Modelo CS-TA-SH-V0.edb y agregando las unidades de albañilería. En específico, se utilizó una modelación de elementos finitos para muros y tipo barras para los elementos restantes.

5.1.1.1. Estructuración

En primer lugar, considerando como base la estructura original, se agregan las unidades de albañilería en fachada y divisiones interiores, en particular se tiene una distribución no uniforme a través de los niveles de la estructura. A continuación, en la Figura 5.1 se presenta una vista en planta para el nivel 1.



Figura 5.1: Planta estructura nivel 1
Fuente: Adaptado de modelo CSA-TA-SH.V0.edb

Análogamente, se expone la vista en planta para el nivel 5 se expone la planta en la Figura 5.2:



Figura 5.2: Planta estructura nivel 5
Fuente: Adaptado de modelo CSA-TA-SH.V0.edb

5.1.1.2. Materiales

En la Tabla 5.1 se detallan los materiales considerados para la modelación, en específico se agregan las propiedades de la albañilería.

Tabla 5.1: Propiedades de los materiales
Fuente: Elaboración propia

Hormigón FC180		
Resistencia a la compresión (f'_c)	:	180 kg/cm^2
Módulo de elasticidad (E_c)	:	280206 kg/cm^2
Densidad (γ_c)	:	2500 kg/m^3
Módulo de Poisson (μ_c)	:	0.2 -
Hormigón FC210		
Resistencia a la compresión (f'_c)	:	210 kg/cm^2
Módulo de elasticidad (E_c)	:	217370 kg/cm^2
Densidad (γ_c)	:	2500 kg/m^3
Módulo de Poisson (μ_c)	:	0.2 -
Acero FY4500		
Esfuerzo de fluencia (F_y)	:	4500 kg/cm^2
Módulo de elasticidad (E_s)	:	2100000 kg/cm^2
Densidad (γ_s)	:	7850 kg/m^3
Acero FY2530		
Esfuerzo de fluencia (F_y)	:	2530 kg/cm^2
Módulo de elasticidad (E_s)	:	2100000 kg/cm^2
Densidad (γ_s)	:	7850 kg/m^3
Albañilería FM65		
Resistencia a la Compresión Axial (f'_m)	:	65 kg/cm^2
Resistencia al Corte de Ensayo en Muretes (v_m)	:	8.1 kg/cm^2
Módulo de elasticidad (E_m)	:	32500 kg/cm^2
Densidad (γ_m)	:	1900 kg/m^3
Módulo de Poisson (μ_m)	:	0.25 -

5.1.1.3. Elementos estructurales

Considerando los elementos estructurales ya definidos en la estructura original, se agregan las secciones de muros de albañilería, donde la Figura 5.3 muestra la distribución.

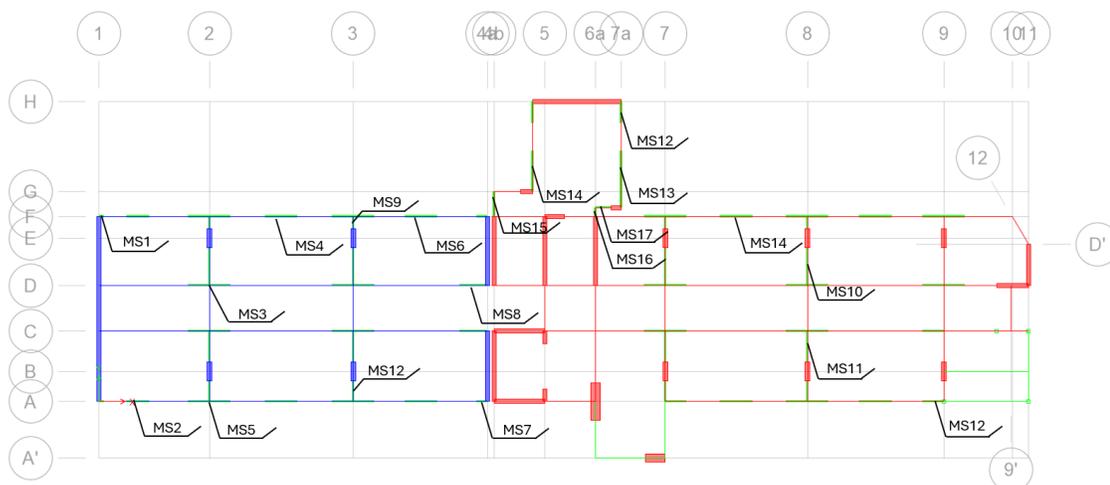


Figura 5.3: Muros de albañilería

En la tabla 5.2 se detallan las secciones de albañilería consideradas en la modelación.

Tabla 5.2: Secciones de albañilería
Fuente: Elaboración propia

ID Muro	L [cm]	H [cm]	t_w [cm]	f'_m [kg/cm ²]
MS1	30.0	270	14	65
	30.0	280	14	65
MS2	140.0	270	14	65
	140.0	280	14	65
MS3	260.0	270	14	65
	260.0	280	14	65
MS4	200.0	270	14	65
	200.0	280	14	65
MS5	260.0	270	14	65
	260.0	280	14	65
MS6	200.0	270	14	65
	200.0	280	14	65
MS7	67.5	270	14	65
	67.5	280	14	65
MS8	170.0	270	14	65
	170.0	280	14	65
MS9	75.0	270	14	65
	75.0	280	14	65
MS10	230.0	270	14	65
	230.0	280	14	65
MS11	190.0	270	14	65
	190.0	280	14	65
MS12	130.0	270	14	65
	130.0	280	14	65
MS13	347.5	270	14	65
	347.5	280	14	65
MS14	250.0	270	14	65
	250.0	280	14	65
MS15	152.5	270	14	65
	152.5	280	14	65
MS16	55.0	270	14	65
	55.0	280	14	65
MS17	96.1	270	14	65
	96.1	280	14	65

5.1.2. Análisis sísmico

En primer lugar, en esta sección se toma como base el Modelo CSA-TA-SH-V0.edb, a partir del cual se le aplican las modificaciones pertinentes con el objeto de consolidar la información, específicamente verificando la correcta asignación de secciones y propiedades.

5.1.2.1. Resultados

En las siguientes secciones se detallan los resultados obtenidos a partir del modelo lineal de la estructura base y el análisis modal espectral.

5.1.2.1.1. Peso sísmico

A continuación, la Tabla 5.3 detalla el peso sísmico acumulado para cada nivel de la estructura.

Tabla 5.3: Peso sísmico acumulado por nivel

Nivel	Combinación de carga	Peso sísmico acumulado [t]
9	PP + 0.5SC	45
8	PP + 0.5SC	143
7	PP + 0.5SC	854
6	PP + 0.5SC	1622
5	PP + 0.5SC	2395
4	PP + 0.5SC	3135
3	PP + 0.5SC	3909
2	PP + 0.5SC	4680
1	PP + 0.5SC	5454
SS	PP + 0.5SC	6171

Por lo tanto, el peso sísmico total de la estructura corresponde a 6171 [t].

5.1.2.1.2. Relaciones de masa modal participante

En la Tabla 5.4 se exponen las relaciones de masa modal participante para las primeras tres formas modales.

Tabla 5.4: Relaciones de masa modal participante

Modo	Período [s]	UX	UY	RZ
1	0.574	0.7080	0.0192	0.0186
2	0.567	0.0038	0.4603	0.2224
3	0.307	0.0011	0.2330	0.4702

Donde

UX: Relación de participación modal en la dirección del eje X

UY: Relación de participación modal en la dirección del eje Y

RZ: Relación de participación modal en la rotación respecto al eje Z

En consecuencia, se tiene que la forma modal fundamental para la dirección X corresponde al primer modo, el cual tiene un periodo de 0.574 [s]. También, para la dirección Y se tiene que la forma modal predominante es el segundo modo con un periodo de 0.567 [s].

5.1.2.1.3. Desplazamientos laterales

En la Figura 5.4 presenta las derivas de entrepiso tanto para la dirección longitudinal como transversal de la estructura, donde se considera el valor de referencia máximo establecido en la NTE E0.30 (Ver Anexo B.3).

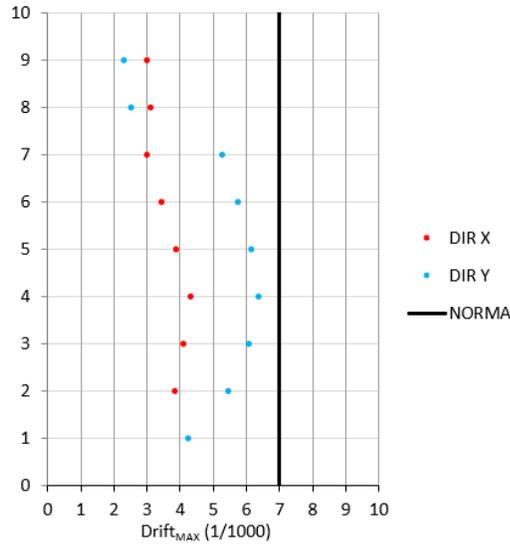


Figura 5.4: Desplazamientos laterales

5.1.2.1.4. Verificación de irregularidades

La Figura 5.5 muestra las distorsiones de entrepiso tanto para la dirección longitudinal como transversal de la estructura, donde se consideran los valores de referencia máximos según establecido en la NTE E0.30 (Ver Anexo B.4).

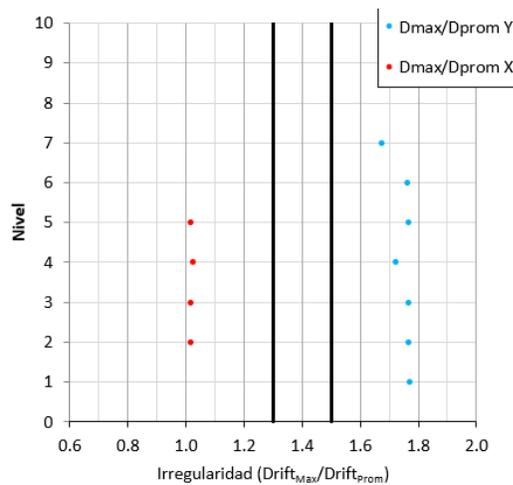


Figura 5.5: Verificación irregularidad torsional en planta

5.1.3. Análisis estático no lineal

Considerando como base el Modelo CSA-TA-SH-V0.edb, se genera un nuevo modelo CSA-TA-FR-V0.edb en el que todos los elementos son de tipo barras y esto se realiza según el método de marco equivalente. A continuación, en la Figura 5.6 se expone una vista 3D del edificio.

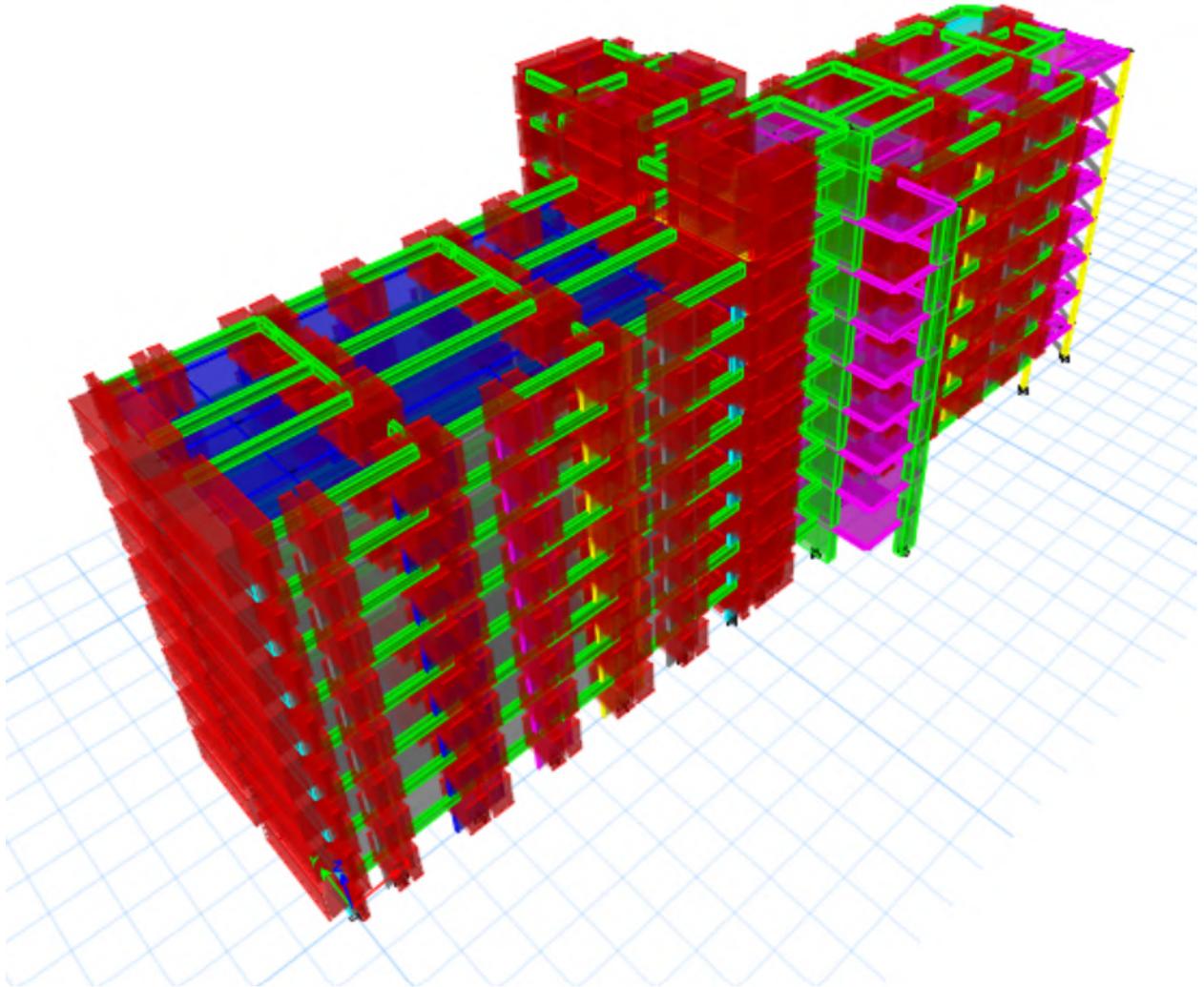


Figura 5.6: vista 3D del Modelo CSA-TA-FR-V0.edb

5.1.3.1. Detallamiento estructural

A partir del Anexo E, la Tabla 5.5 detalla las resistencias a corte (V_m) de las secciones de albañilería, contemplando el control de fisuración (CF).

Tabla 5.5: Resistencia al corte secciones de albañilería
Fuente: Elaboración propia

ID Muro	L [cm]	H [cm]	t_w [cm]	f'_m [kg/cm ²]	α	V' [kg/cm ²]	V_m [tonf]	V_{mCF} [tonf]	Δ [cm]
MS1	30.0	270	14	65	0.33	8.1	0.56	0.31	0.27
	30.0	280	14	65	0.33	8.1	0.56	0.31	0.28
MS2	140.0	270	14	65	0.78	8.1	6.15	3.38	0.27
	140.0	280	14	65	0.75	8.1	5.93	3.26	0.28
MS3	260.0	270	14	65	1.00	8.1	14.67	8.07	0.27
	260.0	280	14	65	1.00	8.1	14.67	8.07	0.28
MS4	200.0	270	14	65	1.00	8.1	11.29	6.21	0.27
	200.0	280	14	65	1.00	8.1	11.29	6.21	0.28
MS5	260.0	270	14	65	1.00	8.1	14.67	8.07	0.27
	260.0	280	14	65	1.00	8.1	14.67	8.07	0.28
MS6	200.0	270	14	65	1.00	8.1	11.29	6.21	0.27
	200.0	280	14	65	1.00	8.1	11.29	6.21	0.28
MS7	67.5	270	14	65	0.38	8.1	1.43	0.79	0.27
	67.5	280	14	65	0.36	8.1	1.38	0.76	0.28
MS8	170.0	270	14	65	0.94	8.1	9.06	4.98	0.27
	170.0	280	14	65	0.91	8.1	8.74	4.81	0.28
MS9	75.0	270	14	65	0.42	8.1	1.76	0.97	0.27
	75.0	280	14	65	0.40	8.1	1.70	0.94	0.28
MS10	230.0	270	14	65	1.00	8.1	12.98	7.14	0.27
	230.0	280	14	65	1.00	8.1	12.98	7.14	0.28
MS11	190.0	270	14	65	1.00	8.1	10.72	5.90	0.27
	190.0	280	14	65	1.00	8.1	10.72	5.90	0.28
MS12	130.0	270	14	65	0.72	8.1	5.30	2.91	0.27
	130.0	280	14	65	0.70	8.1	5.11	2.81	0.28
MS13	347.5	270	14	65	1.00	8.1	19.61	10.79	0.27
	347.5	280	14	65	1.00	8.1	19.61	10.79	0.28
MS14	250.0	270	14	65	1.00	8.1	14.11	7.76	0.27
	250.0	280	14	65	1.00	8.1	14.11	7.76	0.28
MS15	152.5	270	14	65	0.85	8.1	7.29	4.01	0.27
	152.5	280	14	65	0.82	8.1	7.03	3.87	0.28
MS16	55.0	270	14	65	0.33	8.1	1.02	0.56	0.27
	55.0	280	14	65	0.33	8.1	1.02	0.56	0.28
MS17	96.1	270	14	65	0.53	8.1	2.90	1.59	0.27
	96.1	280	14	65	0.51	8.1	2.79	1.54	0.28

5.1.3.2. Asignación estados de carga

Se define el estado de carga inicial “CGNL”, asociado a las cargas gravitacionales, el que se puede estimar como la suma de la carga de peso propio y el 50% de la sobrecarga.

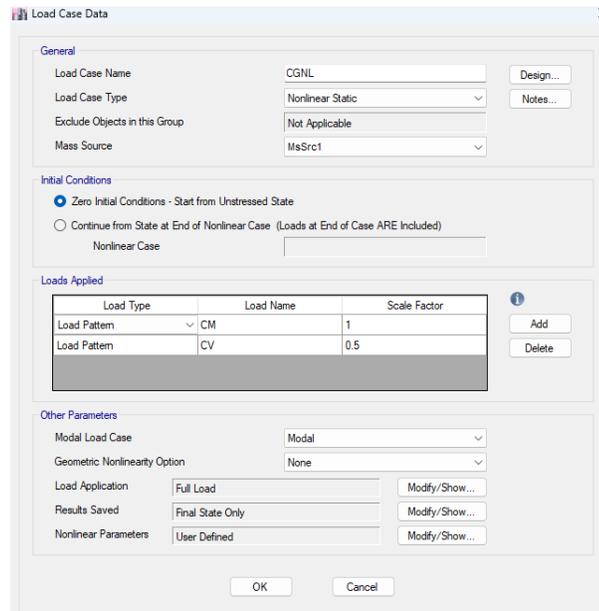


Figura 5.7: Estado de carga CGNL

Por otro lado, el estado de carga denominado “Pushover X” considera el primer modo como su patrón de carga.

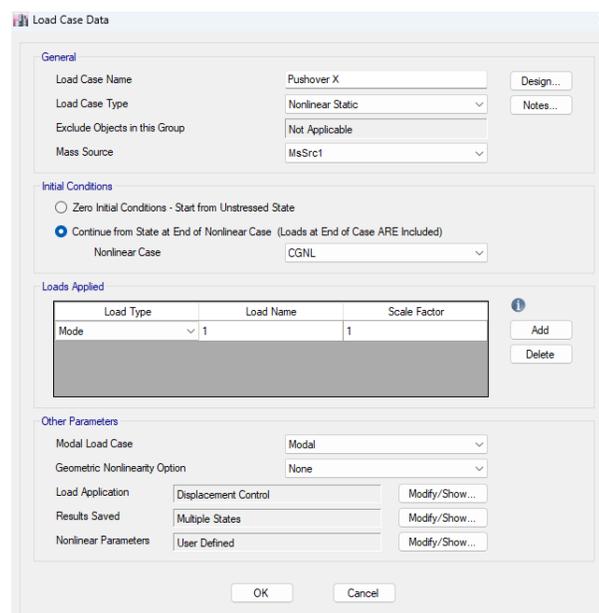


Figura 5.8: Estado de carga Pushover en X

Análogamente, el estado de carga denominado “Pushover Y” establece el segundo modo como su patrón de carga.

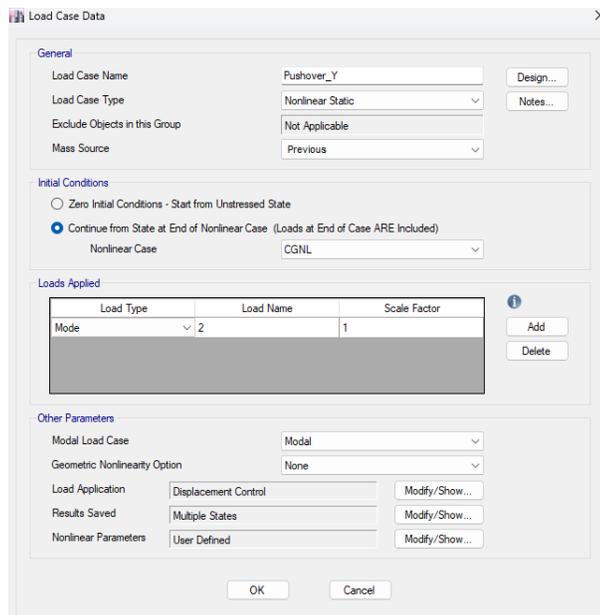


Figura 5.9: Estado de carga Pushover Y

5.1.3.3. Definición de rótulas

Las consideraciones al momento de la generación de rótulas plásticas según el estándar ASCE 41-13 (Ver Anexo D) de forma manual fueron:

- Muros: Rótulas tipo M2 y M3, ubicadas a 0.1 y 0.9 de la longitud.
- Columnas: Rótulas tipo M2 y M3, ubicadas a 0.05 y 0.95 de la longitud.
- Vigas: Rótulas tipo M3, ubicadas a 0.05 y 0.95 de la longitud.
- Riostras: Rótulas tipo P, ubicadas a 0.05 y 0.95 de la longitud.

También, se entrega el detalle de las rótulas plásticas generadas en el Anexo F.

5.1.3.4. Resultados

En primer lugar, la curva de capacidad en la dirección longitudinal asociada a la primera forma modal se muestra en la Figura 5.10. Resultando en una relación Corte Basal/Peso Sísmico última del 11.2% para una deformación de techo máxima del 0.38%.

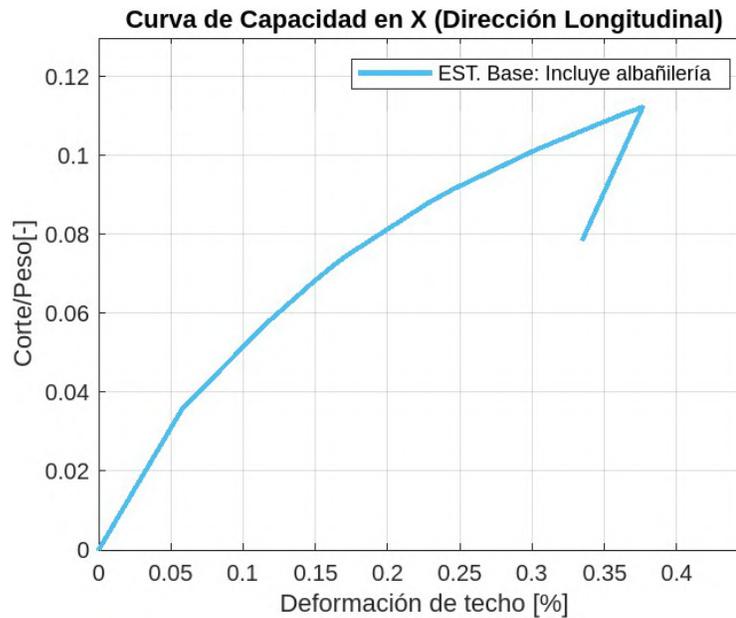


Figura 5.10: Curva de Capacidad en X

De forma análoga, la Figura 5.11 expone para el segundo modo fundamental la curva de capacidad de la estructura en la dirección transversal. Donde, se obtuvo una relación Corte Basal/Peso Sísmico última del 19.2% para una deformación de techo máxima del 0.32%.

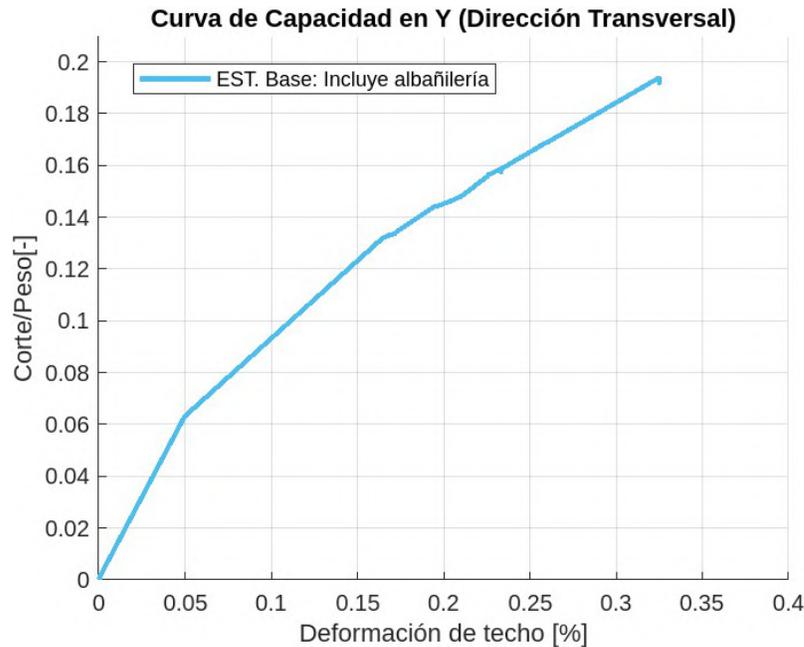


Figura 5.11: Curva de Capacidad en Y

Aplicando la conversión a formato ADRS de las curvas de capacidad y de demanda, se tiene la curva de demanda-capacidad para la dirección longitudinal que se expone en la Figura 5.12.

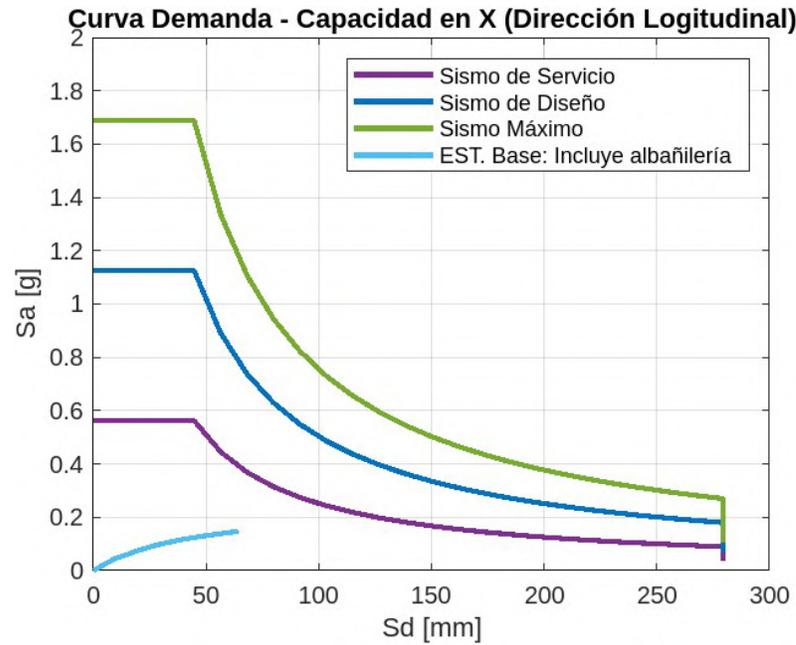


Figura 5.12: Curva de demanda-capacidad en X

Por otro lado, para la dirección transversal se presenta la curva de demanda-capacidad en la Figura 5.13.

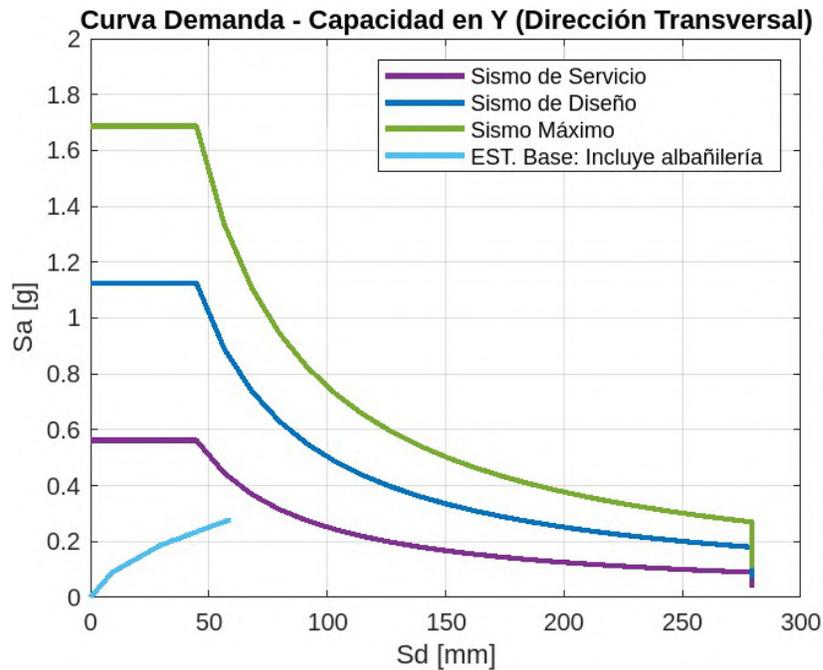


Figura 5.13: Curva de demanda-capacidad en Y

Finalmente, se menciona que no se obtienen puntos de desempeño asociados a las demandas presentadas en las Figuras 5.12 y 5.13.

También, se puede realizar una comparación entre los resultados de la estructura original con la estructura base. Donde, las curvas de capacidad en la dirección longitudinal se muestran en la Figura 5.14.

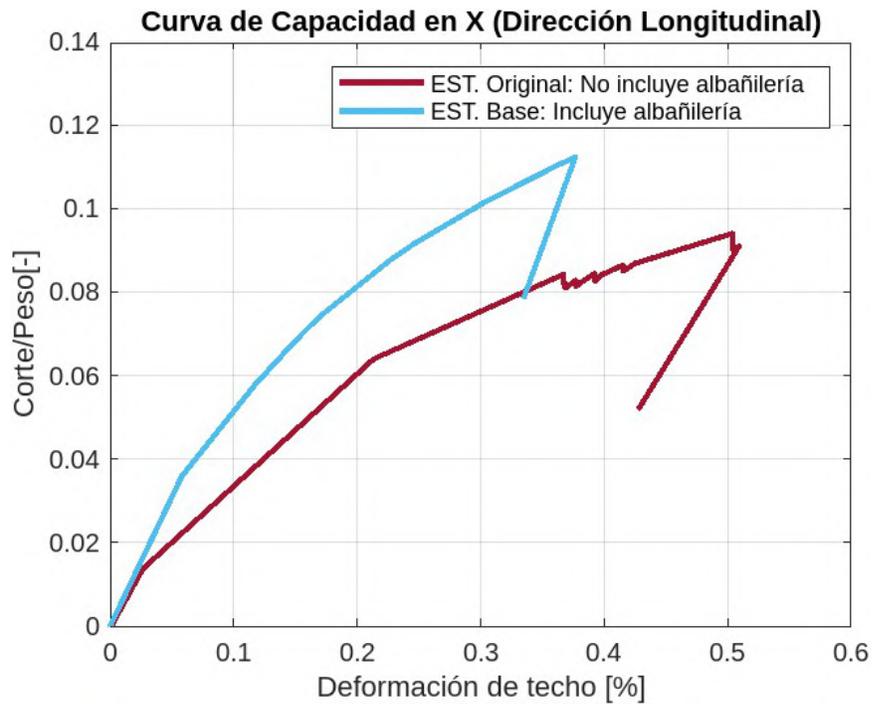


Figura 5.14: Comparación curvas de Capacidad en X

De forma análoga, en la Figura 5.15 se muestra la comparación para la dirección transversal.

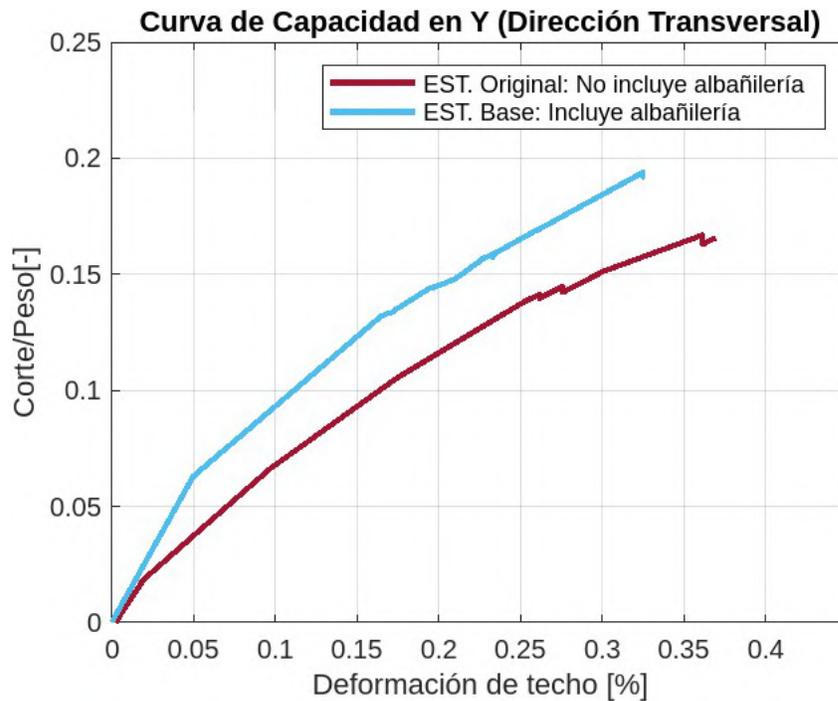


Figura 5.15: Comparación curvas de Capacidad en Y

Aplicando la conversión a formato ADRS de las curvas de capacidad y de demanda, se tiene en la Figura 5.16 la comparación de las curvas de demanda-capacidad para la dirección longitudinal.

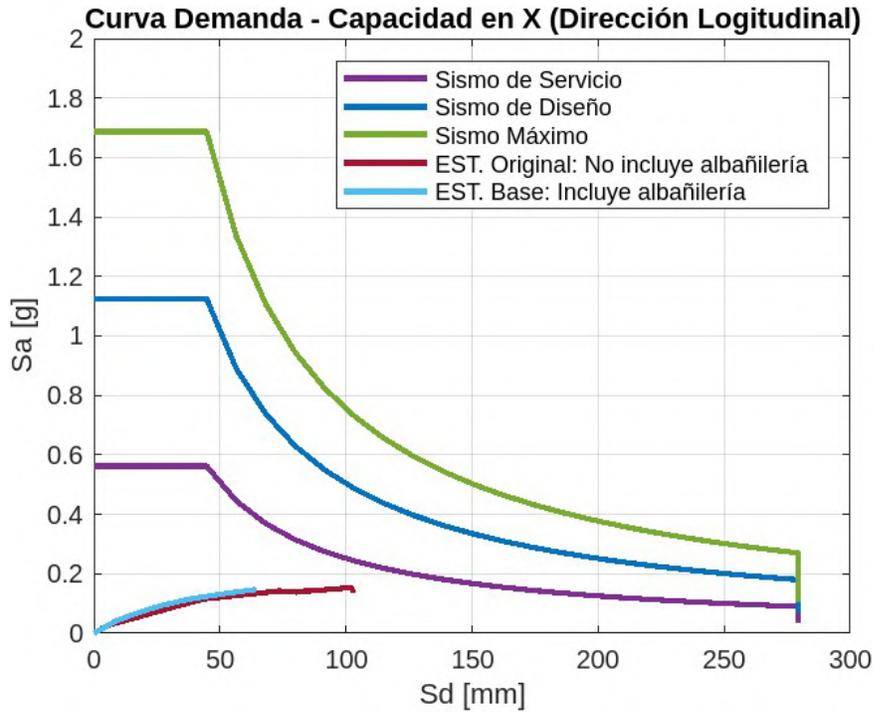


Figura 5.16: Comparación curva de Demanda-Capacidad en X

Finalmente, en la Figura 5.17 se expone la curva demanda-capacidad para la dirección transversal.

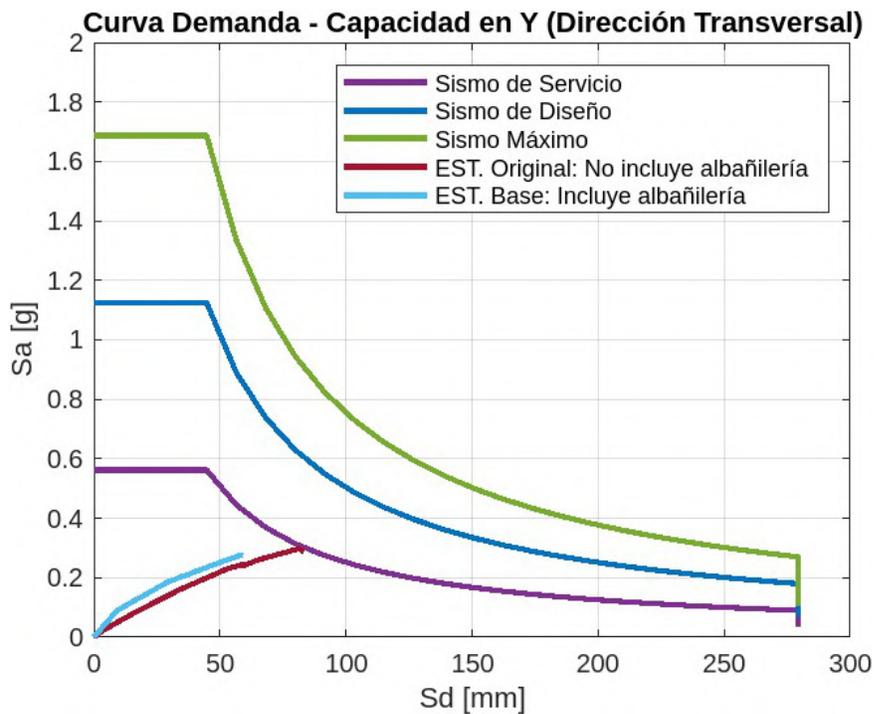


Figura 5.17: Comparación curva de Demanda-Capacidad en Y

5.2. Reforzamiento sísmico

En las siguientes secciones se abarcan los antecedentes y la estructuración asociada a la propuesta de reforzamiento sísmico.

5.2.1. Antecedentes

Se consideran de forma adicional a los antecedentes de la estructura original los siguientes documentos:

- **Evaluación conceptual del refuerzo (2024):** Evaluación conceptual del efecto de incorporar el refuerzo de BRB's en la estructura base.
- **Pre-diseño BRB's en la estructura original:** Informe que proporciona las resistencias ajustadas de las diagonales con pandeo restringido.
- **Modelo CSR-TA-SH-V0.edb (2024):** Este modelo es desarrollado en ETABS 2016 por Pedrasa Ingeniería Estructural, tomando de base el Modelo CSA-TA-SH-V0.edb y aplicando modificaciones con el objeto implementar BRB's. En específico, se utilizó una modelación de elementos finitos para muros y tipo barras para los elementos restantes. A continuación, en la Figura 5.18 se presenta una vista 3D del edificio.

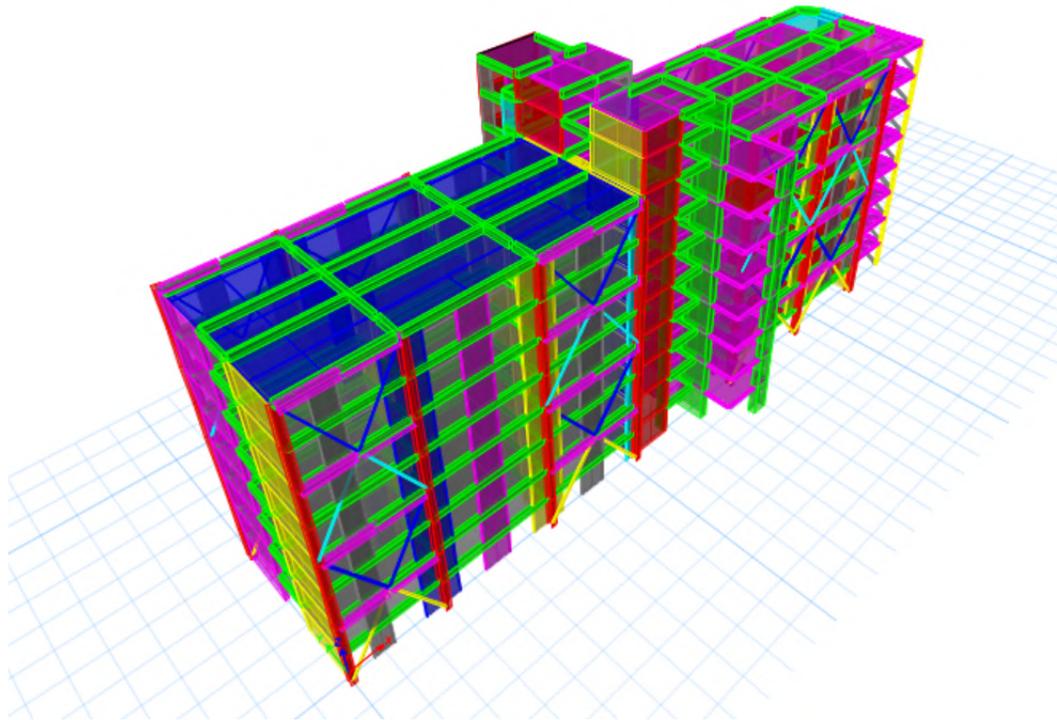


Figura 5.18: Vista 3D del Modelo CSR-TA-SH-V0.edb

- **Actualización Pre-diseño BRB's:** A partir del Modelo CSR-TA-SH-V0.edb se realiza una evaluación conceptual que considera el efecto de incorporar el refuerzo del tipo diagonales con pandeo restringido.

5.2.1.1. Estructuración

A partir de los resultados obtenidos previamente al analizar las estructuras original y base, se aprecia la necesidad de aumentar la capacidad estructural junto a eliminar la irregularidad torsional en planta. En consecuencia, se realizaron las siguientes modificaciones:

- Eliminación de segmento de muro en el Eje 1.

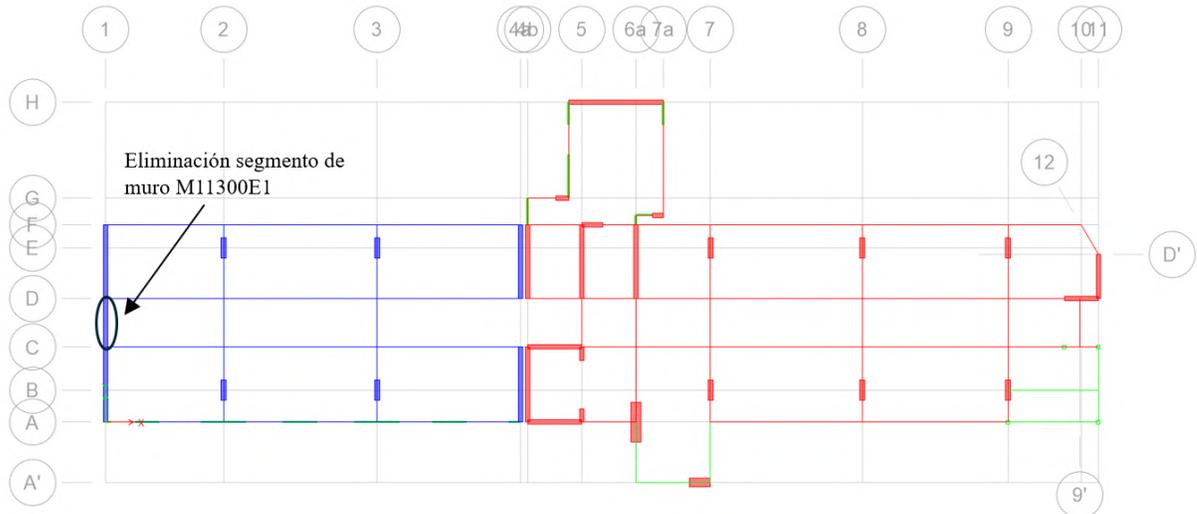


Figura 5.19: Eliminación de segmento de muro M11300E1

- Se agregan muros en el eje 9.

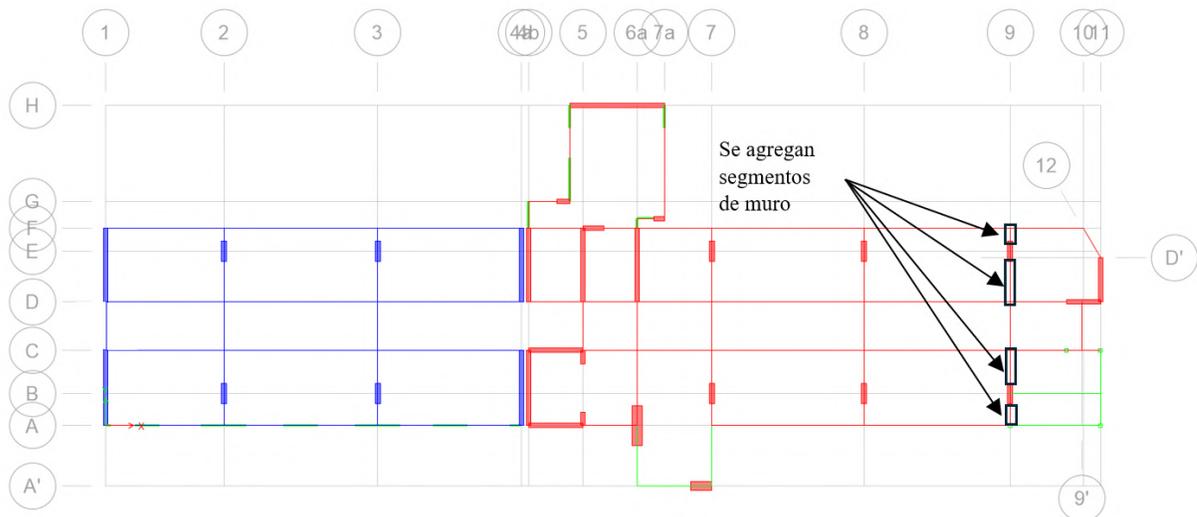


Figura 5.20: Nuevos muros eje 9

- Unión entre elementos de juntas para asegurar la transferencia de cargas.



Figura 5.21: Unión entre bloques

- Refuerzo en la dirección X con marcos metálicos y BRB's. En particular, considera la intervención de 8 vanos con un total de 64 unidades de diagonales.

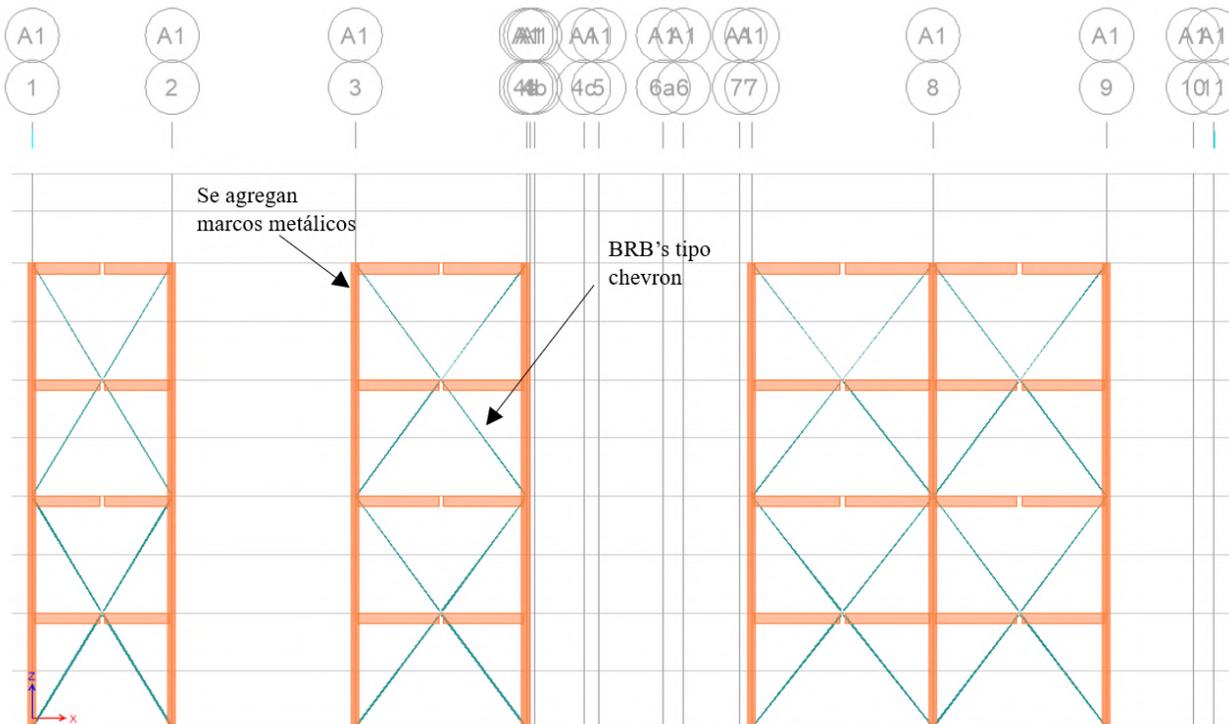


Figura 5.22: Marcos metálicos y BRB's eje paralelo a eje A

Por otro lado, respecto a la dirección Y no es factible la incorporación de BRB's por la realidad de uso de los recintos.

5.2.1.2. Elementos estructurales

En la Tabla 5.6 se detallan las secciones de muros de concreto armado consideradas.

Tabla 5.6: Secciones de muros de concreto armado

ID Muro	f'c [kg/cm ²]	Longitud de muros		e [cm]	Armadura	
		Lwx [cm]	Lwy [cm]		Horizontal	Vertical
M4200E1	210	0	420	25	φ 3/8@25	φ 3/8@25
M4300E1	210	0	430	25	φ 3/8@25	φ 3/8@25
M4200E4a	210	0	420	25	φ 3/8@25	φ 3/8@25
M4300E4a	210	0	430	25	φ 3/8@25	φ 3/8@25
M4200E4b	180	0	420	25	φ 3/8@25	φ 3/8@25
M4300E4b	180	0	430	25	φ 3/8@25	φ 3/8@25
M4200E5	180	0	420	25	φ 3/8@25	φ 3/8@25
M4200E6a	180	0	420	25	φ 3/8@25	φ 3/8@25
M3100EA	180	310	0	25	φ 3/8@25	φ 3/8@25
M3100EC	180	310	0	25	φ 3/8@25	φ 3/8@25
M2500E11	180	0	250	25	φ 3/8@25	φ 3/8@25
M1940ED	180	194	0	25	φ 3/8@25	φ 3/8@25
M750EG	180	75	0	25	φ 3/8@25	φ 3/8@25
M1200EF	180	120	0	25	φ 3/8@25	φ 3/8@25
M600EI	180	0	60	25	φ 3/8@25	φ 3/8@25
M750E5-1	180	0	75	25	φ 3/8@25	φ 3/8@25
M750E5-2	180	0	75	25	φ 3/8@25	φ 3/8@25
M5400EH	180	540	0	25	φ 3/8@25	φ 3/8@25

5.2.2. Análisis sísmico

En primer lugar, en esta sección se toma como base el Modelo CSR-TA-SH-V0.edb, a partir del cual se le aplican las modificaciones pertinentes con el objeto de consolidar la información, específicamente verificando la correcta asignación de secciones y propiedades.

5.2.2.1. Resultados

En las siguientes secciones se detallan los resultados obtenidos a partir del modelo lineal de la estructura reforzada y el análisis modal espectral.

5.2.2.1.1. Peso sísmico

A continuación, se presenta el peso sísmico acumulado para cada nivel de la estructura.

Tabla 5.7: Peso sísmico acumulado

Nivel	Combinación de carga	Peso sísmico acumulado [t]
9	PP + 0.5SC	45
8	PP + 0.5SC	143
7	PP + 0.5SC	887
6	PP + 0.5SC	1693
5	PP + 0.5SC	2460
4	PP + 0.5SC	3238
3	PP + 0.5SC	3904
2	PP + 0.5SC	4715
1	PP + 0.5SC	5437
SS	PP + 0.5SC	6192

Por lo tanto, el peso sísmico total de la estructura corresponde a 6192 [t].

5.2.2.1.2. Relaciones de masa modal participante

En la siguiente tabla se exponen las relaciones de masa modal participante para las primeras tres formas modales.

Tabla 5.8: Relaciones de masa modal participante

Modo	Período [s]	UX	UY	RZ
1	0.397	0.0529	0.6155	0.0565
2	0.366	0.7086	0.0537	0.0001
3	0.349	0.0041	0.0505	0.7657

Donde

UX: Relación de participación modal en la dirección del eje X

UY: Relación de participación modal en la dirección del eje Y

RZ: Relación de participación modal en la rotación respecto al eje Z

En consecuencia, se tiene que la forma modal fundamental para la dirección X corresponde al segundo modo, el cual tiene un periodo de 0.366 [s]. También, para la dirección Y se tiene que la forma modal predominante es el primer modo con un periodo de 0.397 [s].

5.2.2.1.3. Desplazamientos laterales

Se presentan las derivas de entrepiso tanto para la dirección longitudinal como transversal de la estructura, donde se considera el valor de referencia máximo establecido en la NTE E0.30 (Ver Anexo B.3).

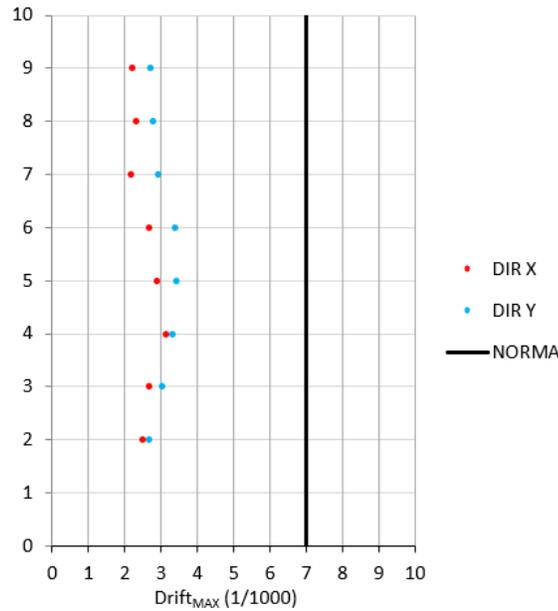


Figura 5.23: Desplazamientos laterales

5.2.2.1.4. Verificación de irregularidades

La Figura 5.24 muestra el gráfico para distorsiones de entrepiso tanto para la dirección longitudinal como transversal de la estructura, las cuales no se observan ya que los drifts son menores a 0.35 %, donde se consideran los valores de referencia máximos según establecido en la NTE E0.30 (Ver Anexo B.4).

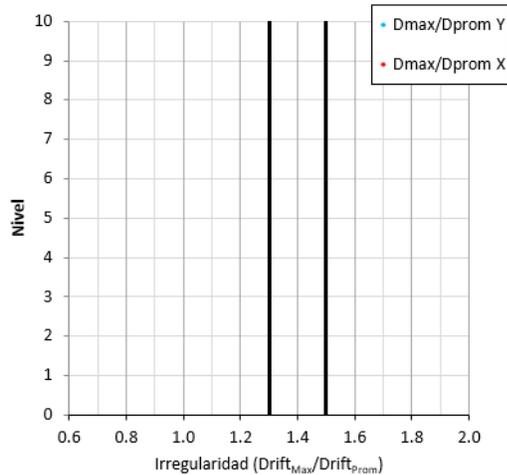


Figura 5.24: Verificación irregularidad torsional en planta

5.2.3. Análisis estático no lineal

Tomando como base el Modelo CSR-TA-SH-V0.edb, se genera un nuevo modelo CSR-TA-FR-V0.edb en el que todos los elementos son de tipo barras y esto se realiza según el método de marco equivalente. A continuación, en la Figura 5.25 se expone una vista 3D del edificio.

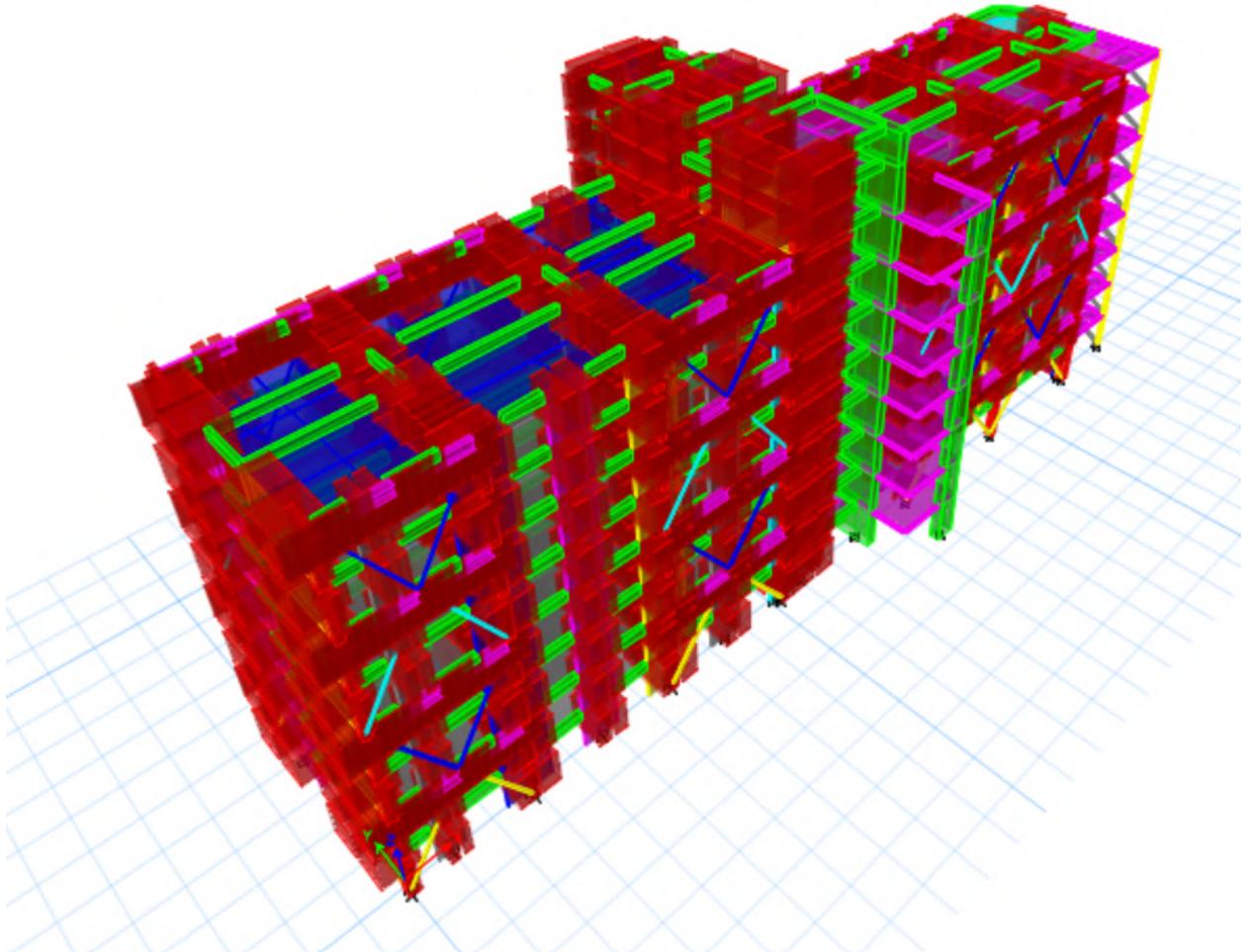


Figura 5.25: Vista 3D edificio reforzado

5.2.3.1. Asignación estados de carga

Se define el estado de carga inicial “CGNL” para el análisis no lineal, asociado a las cargas gravitacionales, el que se puede estimar como la suma de la carga de peso propio y el 50% de la sobrecarga.

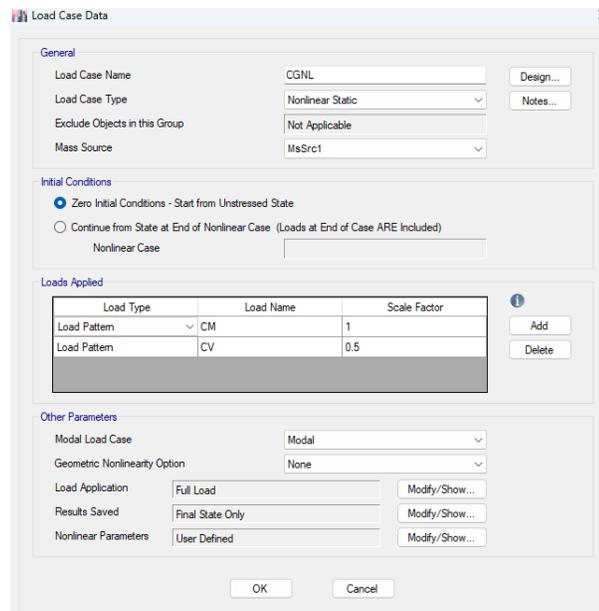


Figura 5.26: Estado de carga CGNL

Por otro lado, el estado de carga denominado “Pushover X” considera el segundo modo como su patrón de carga.

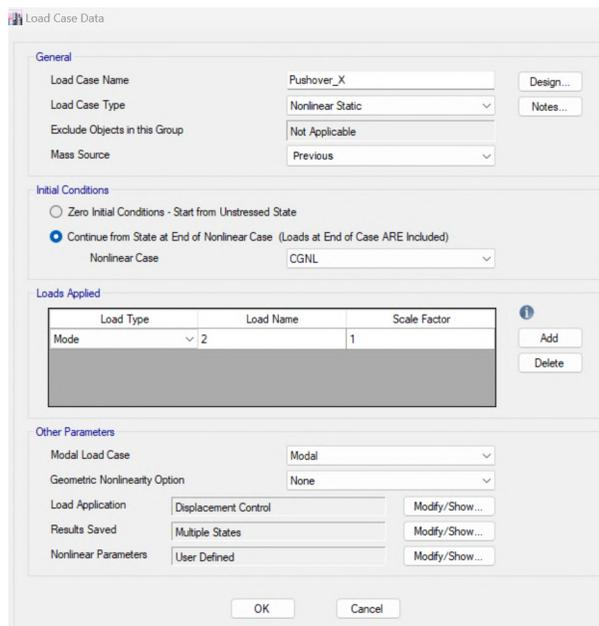


Figura 5.27: Estado de carga Pushover en X

Análogamente, el estado de carga denominado “Pushover Y” establece el primer modo como su patrón de carga.

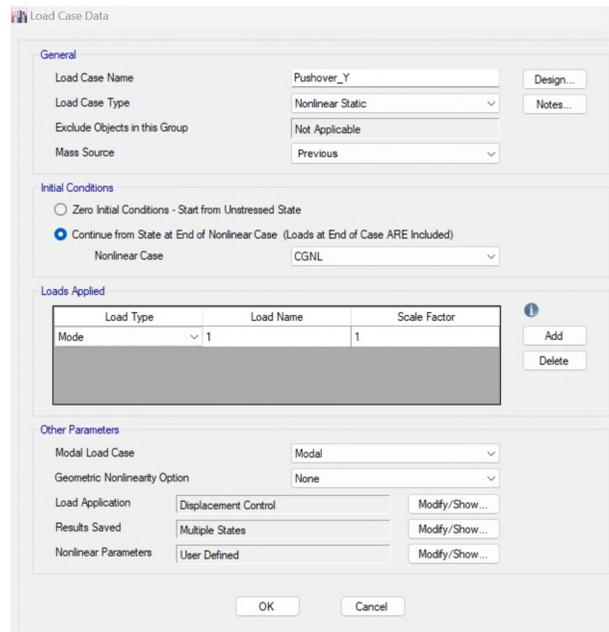


Figura 5.28: Estado de carga Pushover Y

5.2.3.2. Definición de rótulas

Las consideraciones al momento de la generación de rótulas plásticas según el estándar ASCE 41-13 (Ver Anexo D) de forma manual fueron:

- Muros: Rótulas tipo M2 y M3, ubicadas a 0.1 y 0.9 de la longitud.
- Columnas: Rótulas tipo M2 y M3, ubicadas a 0.05 y 0.95 de la longitud.
- Vigas: Rótulas tipo M3, ubicadas a 0.05 y 0.95 de la longitud.
- Riostras: Rótulas tipo P, ubicadas a 0.05 y 0.95 de la longitud.

También, se entrega el detalle de las rótulas plásticas generadas para los elementos de concreto armado en el Anexo G y para los riostras de pandeo restringido en el Anexo H.

5.2.3.3. Resultados

En primer lugar, la curva de capacidad en la dirección longitudinal asociada al segundo modo se muestra en la Figura 5.29. Donde, se obtiene una relación Corte Basal/Peso Sísmico última del 59.7 % para una deformación de techo máxima del 0.56 %.

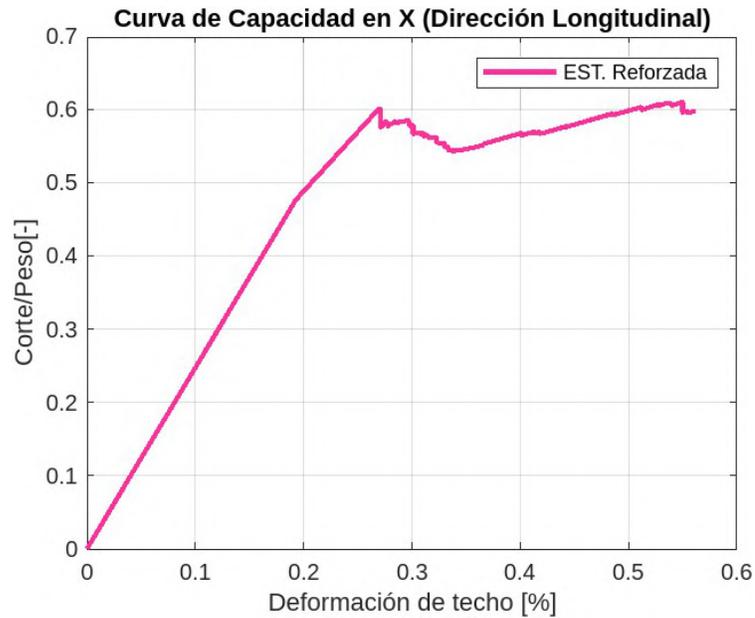


Figura 5.29: Curva de capacidad en X

De forma análoga, para la dirección transversal se obtuvo la siguiente curva de capacidad de la estructura para el primer modo fundamental se expone en la Figura 5.30. En específico, se tiene una relación Corte Basal/Peso Sísmico última del 37.8 % para una deformación de techo máxima del 0.42 %.

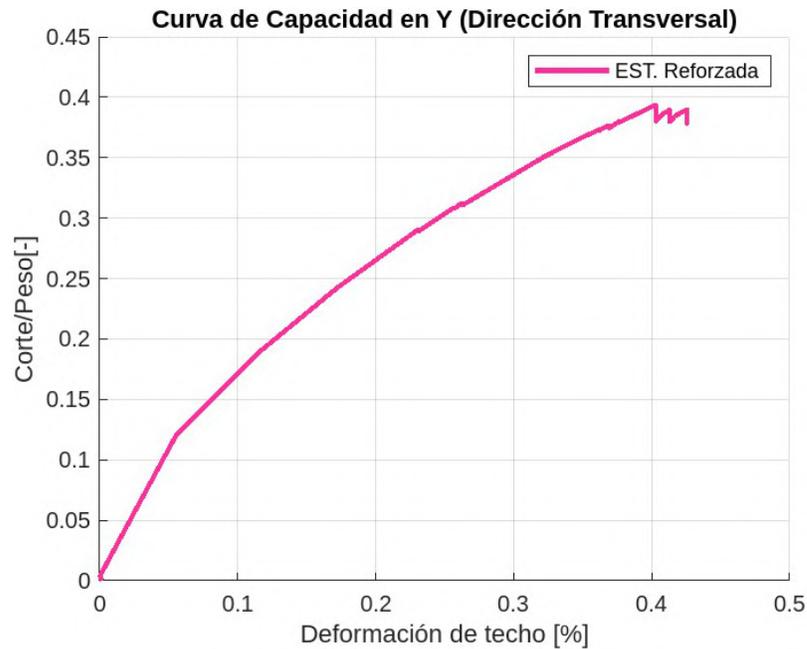


Figura 5.30: Curva de Capacidad en Y

También, se puede realizar una comparación entre los resultados de la estructura base con la estructura reforzada. Donde, las curvas de capacidad en la dirección longitudinal se muestran en la Figura 5.31.

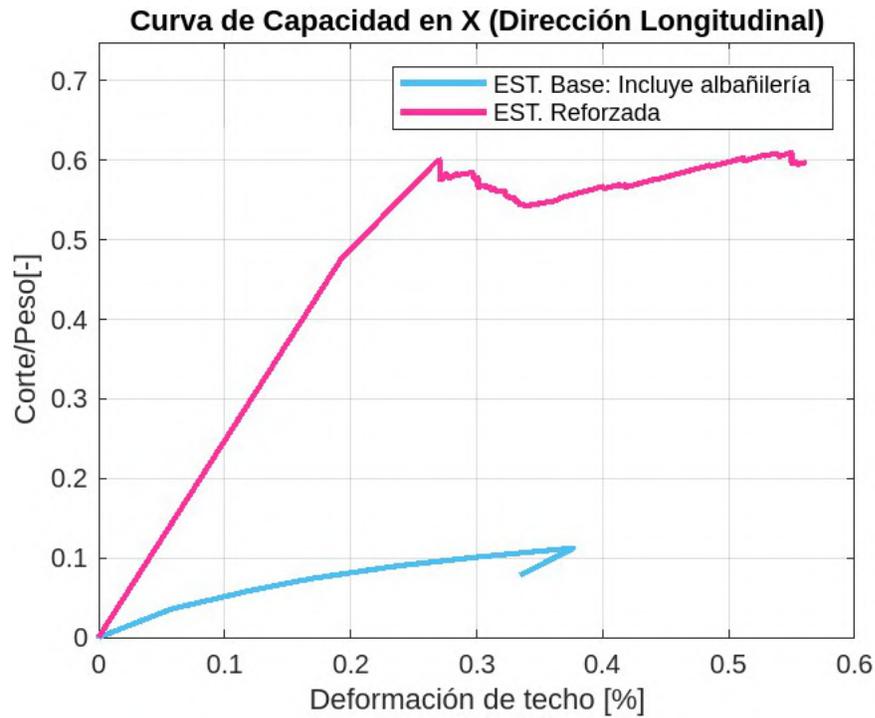


Figura 5.31: Comparación curvas de Capacidad en X

Análogamente, en la Figura 5.32 se muestra la comparación para la dirección transversal.

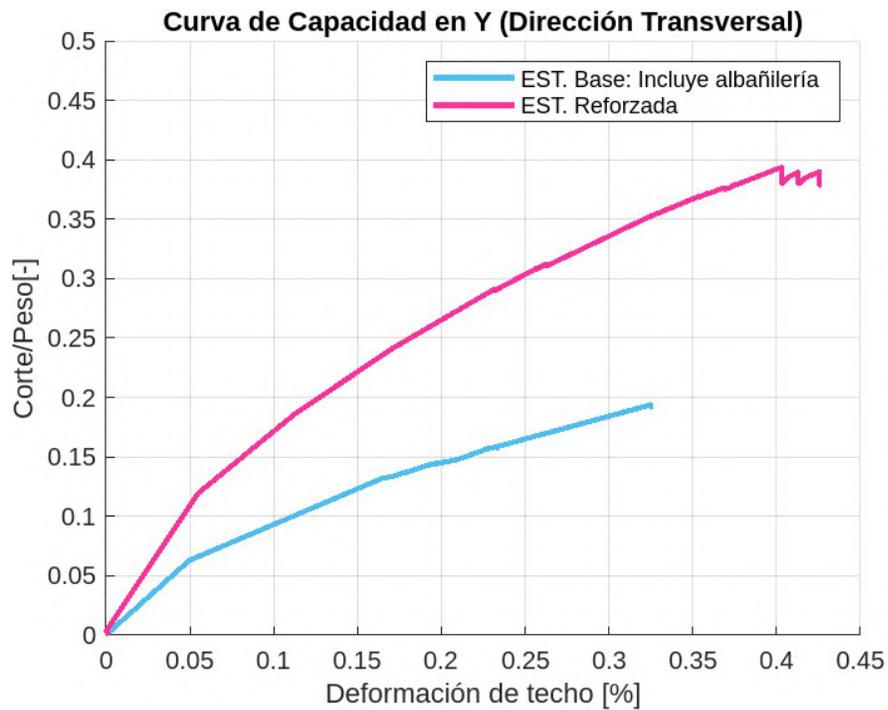


Figura 5.32: Comparación curvas de Capacidad en Y

Aplicando la conversión a formato ADRS de las curvas de capacidad y de demanda, se tiene la curva de demanda-capacidad para la dirección longitudinal en la Figura 5.33.

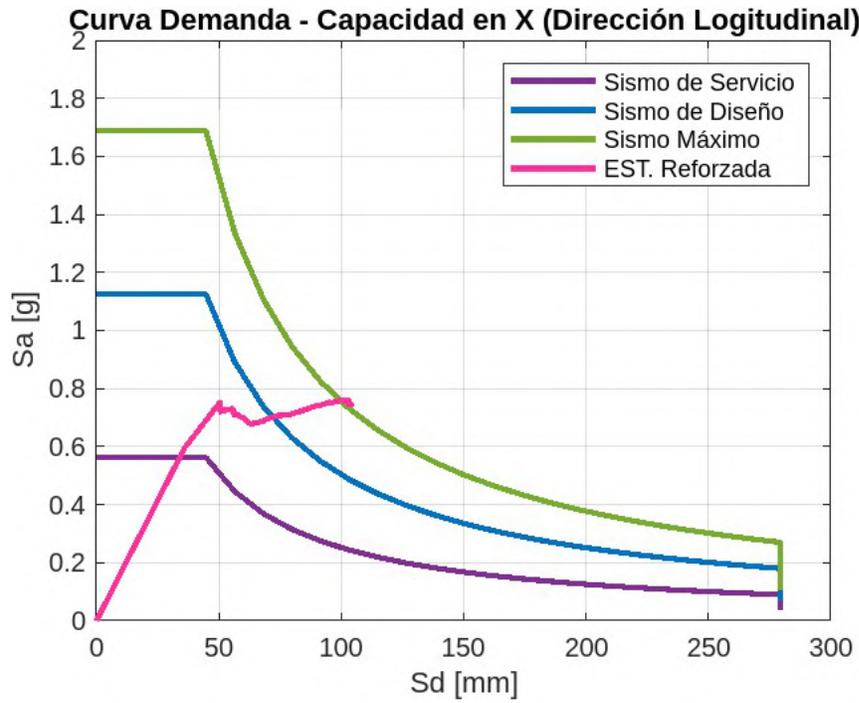


Figura 5.33: Curva de Demanda-Capacidad en X

De forma análoga, para la dirección transversal se presenta la curva en la Figura 5.34.

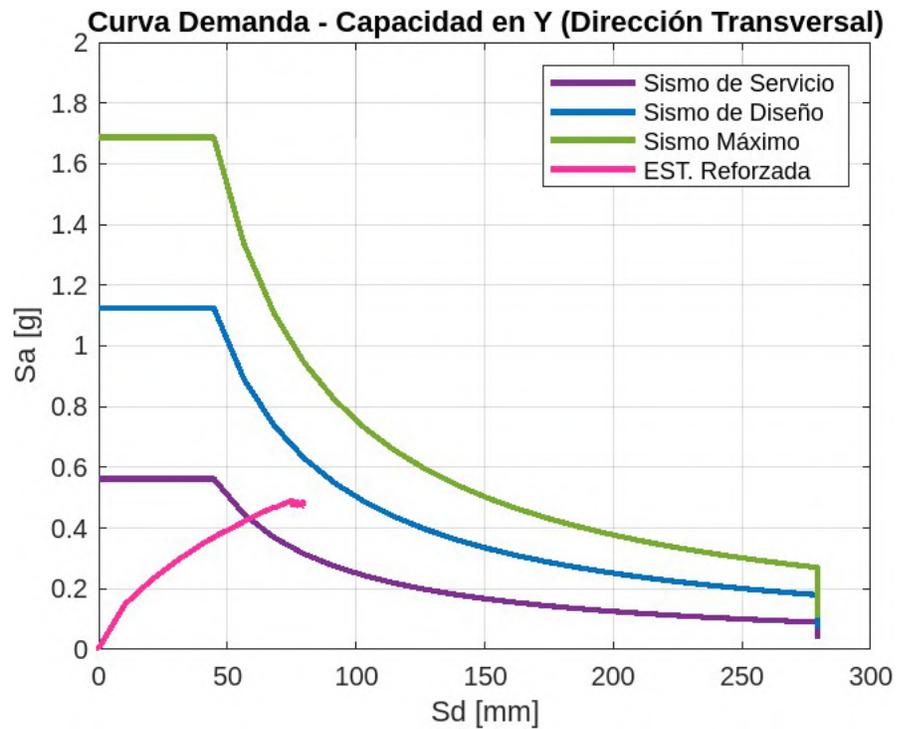


Figura 5.34: Curva de Demanda-Capacidad en Y

Por otro lado, se tiene en la Figura 5.35 la comparación de las curvas de demanda-capacidad para la dirección longitudinal.

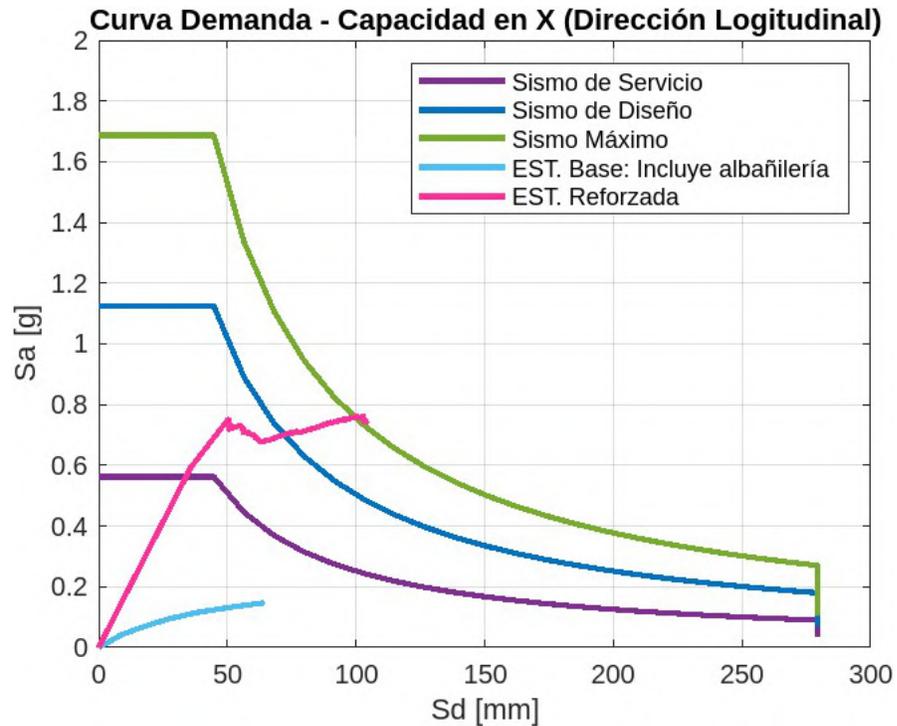


Figura 5.35: Comparación curva de Demanda-Capacidad en X

También, en la Figura 5.36 se expone la curva demanda-capacidad para la dirección transversal.

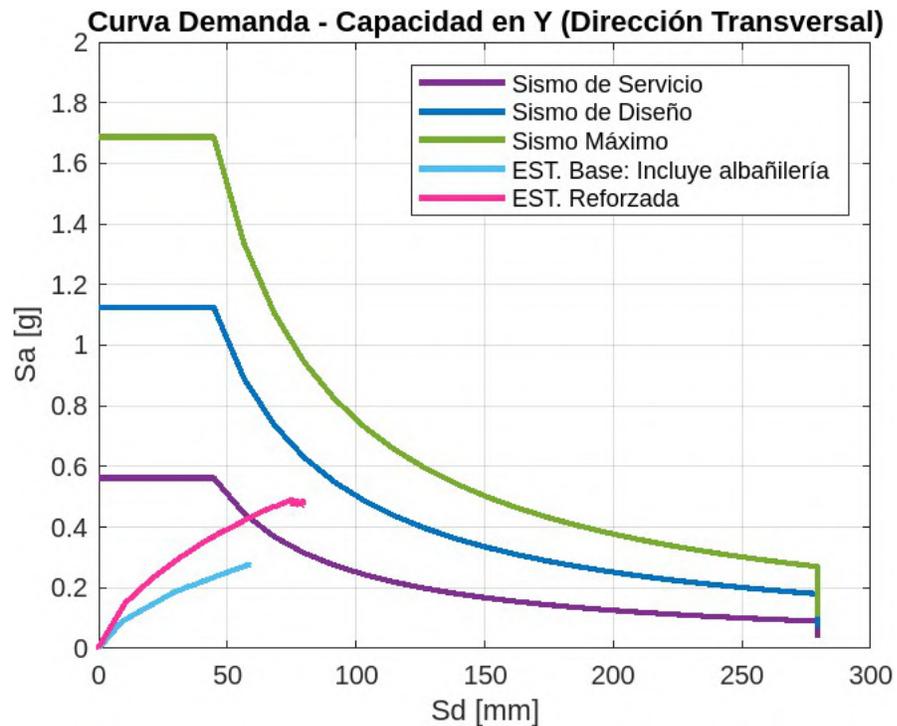


Figura 5.36: Comparación curva de Demanda-Capacidad en Y

5.3. Comentarios

A continuación, se mencionan los comentarios asociados al análisis de la estructura reforzada:

- En esta etapa se da cuenta de la incerteza respecto a la transferencia de esfuerzos en elementos que se ubicaban en el mismo lugar geométrico. Esto debido al agregar las unidades de albañilería considerando el método de marco equivalente, lo cual provocó que las vigas infinitamente rígidas se superpusieran a elementos tipo viga de la estructura original. En consecuencia, se opta por eliminar los casos de superposición, manteniendo las vigas infinitamente rígidas.
- La estructura base contemplaba elementos tipo vigas de albañilería en fachadas, inicialmente se agregaron al modelo, pero al utilizar elementos tipo barra no se logró un correcto funcionamiento del modelo. En consecuencia, se optó por eliminar estos elementos, agregando cargas distribuidas equivalentes y asignando cachos rígidos.
- Durante la modelación de la estructura base, se utilizaron rótulas de corte V2 y V3 para los elementos de albañilería, estas rótulas fueron ingresadas considerando un decaimiento abrupto posterior a la fluencia (debido al comportamiento frágil), pero esto ocasionó problemas numéricos. Debido a esto, se ajusta el comportamiento de la rótula agregando un estado intermedio que reduzca el cambio de pendiente.
- En la modelación de la estructura que incluye el reforzamiento, se cambiaron las rótulas de corte en los elementos de albañilería por rótulas a momento M3 y M2 equivalentes.

En primer lugar, se puede mencionar que se logró cumplir satisfactoriamente con el objetivo general del trabajo de título, desarrollándose en total tres modelos estáticos no lineales. Donde, la recopilación exhaustiva de antecedentes y su implementación secuencial en los modelos implementados en el software ETABS, fueron pasos esenciales para llevar a cabo tanto el análisis modal espectral como el análisis estático no lineal. En específico, se obtuvieron las curvas de capacidad para las direcciones longitudinal y transversal, lográndose cuantificar el impacto de la modelación de los elementos de albañilería y posteriormente, el asociado a la implementación de las modificaciones de la propuesta de reforzamiento.

Por otro lado, la implementación de modelos no lineales facilita el diseño de soluciones de reforzamiento óptimas, buscando que la intervención sea tanto eficiente en costos como efectiva en mejorar el nivel de desempeño de la estructura frente a eventos sísmicos. Sin embargo, la modelación no lineal en ETABS presenta diversos desafíos que afectan su implementación efectiva en proyectos de ingeniería.

Uno de los principales retos es la convergencia del modelo, un problema que surgió frecuentemente durante la simulación de los distintos escenarios en este trabajo. La convergencia es fundamental para garantizar la precisión y estabilidad de los resultados, por lo que se debieron realizar constantes inspecciones y ajustes manuales con el objeto de resolver las causas subyacentes. Además, el tiempo de simulación puede extenderse considerablemente, debido a la necesidad de realizar múltiples iteraciones para cada paso de carga no lineal, lo que aumenta significativamente los recursos computacionales requeridos. Por tanto, se hace evidente la necesidad de optimizar los modelos y considerar estrategias de simplificación que no comprometan la precisión, a fin de gestionar mejor estos desafíos sin afectar la calidad del análisis.

En cuanto a los resultados obtenidos para la estructura reforzada sísmicamente, se observa que no se logra compatibilizar adecuadamente el comportamiento en las direcciones analizadas. En particular, en la Curva de Demanda-Capacidad para la dirección longitudinal (Ver Figura 5.33), se obtiene un punto de desempeño para cada nivel de demanda evaluado. Sin embargo, para la dirección transversal, solo se obtiene el punto correspondiente al sismo de servicio, presentándose un comportamiento frágil, similar al observado en la estructura sin reforzamiento (Ver Figura 5.36).

En consecuencia, no se puede garantizar la estabilidad estructural ni la continuidad operativa de acuerdo con las normativas vigentes en la propuesta de reforzamiento sísmico analizada en este trabajo de título, constituyendo de esta forma solo una primera aproximación al comportamiento de la edificación y no la propuesta definitiva. Donde, es imperativo evaluar otras alternativas que ofrezcan resultados satisfactorios, las cuales se encuentran en fase de estudio por parte de la empresa y que sus posteriores resultados asociados superan los alcances del presente trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

- American Concrete Institute. (2019). *Building code requirements for structural concrete (ACI 318-19) and commentary* [Requisitos de reglamento para concreto estructural (ACI 318-19) y comentario].
- American Society of Civil Engineers. (2013). *Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings* [Evaluación sísmica y rehabilitación de edificios existentes].
- American Institute of Steel Construction. (2016). *Seismic provisions for structural steel buildings* [Disposiciones sísmicas para edificios acero estructural]. <https://www.aisc.org/globalassets/aisc/publications/standards/seismic-provisions-for-structural-steel-buildings-ansi-aisc-341-16.pdf>
- American Society of Civil Engineers. (2016). *Minimum design loads and associated criteria for buildings and other structures* [Cargas mínimas de diseño y criterios asociados para edificios y otras estructuras]. Structural Engineering Institute.
- Applied Technology Council & California Seismic Safety Commission. (1996). *Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings* [Evaluación sísmica y rehabilitación de edificios de concreto].
- Belarbi, A. & Hsu, T. (1995). *Constitutive laws of softened concrete in biaxial tension compression* [Leyes constitutivas de hormigón reblandecido en compresión biaxial bajo tensión]. *ACI Structural Journal*, 92(5), 562-573. <https://doi.org/10.14359/907>
- Computers & Structures, Inc. (11 de febrero de 2021). *ETABS - 28 Nonlinear static procedures - Pushover analysis: Watch & learn* [Video; ETABS – 28 Procedimientos estáticos no lineales – Análisis pushover: Ver y aprender]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=TqkDclt3JW8>
- Computers & Structures, Inc. (s.f.). *Local axes – Frames* [Ejes locales - Marcos]. https://docs.csiamerica.com/help-files/etabs/Menu/Assign/Frame/Local_Axes_Frames.htm
- Computers & Structures, Inc. (2016). *CSI analysis reference manual for SAP2000, ETABS, SAFE and CSiBridge* [Manual de referencia de análisis CSI para SAP2000, ETABS, SAFE y CSiBridge]. <https://ottegroup.com/wp-content/uploads/2021/02/ETABS2016-Analysis-Reference.pdf>

- Coral, M. O. (2018). *Ensayos cíclicos en muros de albañilería confinada contruidos con ladrillos King Kong de fabricación industrial* [Tesis de pregrado, Pontificia Universidad Católica del Perú]. Repositorio Digital de Tesis y Trabajos de Investigación PUCP. <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/13133>
- Deierlein, G. G., Reinhorn, A. M. & Willford, M. R. (2010). *NEHRP Seismic design technical brief No. 4: Nonlinear structural analysis for seismic design: A guide for practicing engineers* [Informe técnico de diseño sísmico NEHRP N.º 4: Análisis estructural no lineal para el diseño sísmico: Una guía para ingenieros en ejercicio]. National Institute of Standards and Technology, U.S. Department of Commerce. <https://www.nehrp.gov/pdf/nistgcr10-917-5.pdf>
- Federal Emergency Management Agency & American Society of Civil Engineers. (2000). *Prestandard and commentary for the seismic rehabilitation of buildings* [Preestándar y comentario para la rehabilitación sísmica de edificios]. <https://www.nehrp.gov/pdf/fema356.pdf>
- Gerencia de Estudios y Políticas Públicas de la Cámara Chilena de la Construcción. (2024). *MACH 65. Informe Macroeconomía y Construcción*. Enero 2024. <https://cchc.cl/documents/d/guest/informe-mach-macroeconomia-y-construccion-n-65-2024-santiago-chile>
- Huang, Y., Wu, Q. & Tang, T. (2022). *Seismic performance and design of the fully assembled precast concrete frame with buckling-restrained braces* [Comportamiento sísmico y diseño del marco de hormigón prefabricado completamente ensamblado con riostras de pandeo restringido]. *Buildings*, 12(11), 1818. <https://doi.org/10.3390/buildings12111818>
- Instituto Geofísico del Perú. (2011). *Mapa sísmico del Perú*. Sistema de Información para la Gestión del Riesgo de Desastres. Recuperado el 26 de mayo de 2024, de <https://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/documento/1118>
- Kappos, A. J., Saiidi, M. S., Nuray, M. N. & Isakovic, T. (Eds.) (2012). *Seismic design and assessment of bridges. Inelastic methods of analysis and case studies* [Diseño sísmico y evaluación de puentes. Métodos inelásticos de análisis y estudios de caso]. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-94-007-3943-7>
- Kolozvari, K., Biscombe, L., Dashti, F., Dhakal, R. P., Gogus, A., Gullu, M. F., Henry, R. S., Massone, L. M., Orakcal, K., Rojas, F., Shegay, A. & Wallace, J. (2019). *State-of-the-art in nonlinear finite element modeling of isolated planar reinforced concrete walls* [Estado del arte de la modelación no lineal en elementos finitos de muros planos aislados de hormigón armado]. *Engineering Structures*, 194(1), 46-65. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2019.04.097>
- Mander, J. B. (1983). *Seismic design of bridge piers* [Tesis doctoral, University of Canterbury; Diseño sísmico de pilares de puentes]. UC Library. <https://ir.canterbury.ac.nz/items/d10040fc-f769-4586-9e45-1fc18b42c236>
- Medalla, M., Peña, C., Hidalgo, P. & Bravo, M. E. (18-20 de marzo de 2015). *Aplicación industrial de riostras de pandeo restringido (BRB) en Chile* [Presentación de artículo]. XI Chileno de Sismología e Ingeniería Sísmica ACHISINA 2015, Santiago de Chile, Chile. https://www.researchgate.net/publication/281239618_APLICACION_INDUSTRIAL_DE_RIOSTRAS_DE_PANDEO_RESTRINGIDO_BRB_EN_CHILE

- Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción. (2020). *Norma E.020: Cargas*. Recuperado el 13 de marzo de 2024, de <https://drive.google.com/file/d/15atg-9w0OEXjR5C1m6IXUFihwYeUh1aN/view>
- Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción. (2020) *Norma E.030: Diseño sismorresistente*. Recuperado el 13 de marzo de 2024, de <https://drive.google.com/file/d/1W14N6JldWPN8wUZSqWZnUphg6C559bi-/view>
- Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción. (2020). *Norma E.060: Concreto armado*. Recuperado el 13 de marzo de 2024, de <https://drive.google.com/file/d/19EYUVMgwm6rDs47GV374avco2yIU5Kz/view>
- Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción. (2020) *Norma E.070: Albañilería*. Recuperado el 13 de marzo de 2024, de <https://drive.google.com/file/d/15N2ZQwZGegdoui4rrjTR6uq5blTu7uyv/view>
- Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción. (2020). *Norma E.090: Estructuras metálicas*. Recuperado el 13 de marzo de 2024, de https://drive.google.com/file/d/1xWH8ciDZd_QB7EK0xOOLGr4qiYWURSKJ/view
- Organización Panamericana de la Salud. (2017). *Fijación de elementos no estructurales en establecimientos de salud en Perú. Una herramienta práctica para la verificación de la sujeción de elementos no estructurales en hospitales y otros establecimientos de salud*. <https://iris.paho.org/handle/10665.2/34449>
- Tena Colunga, A. (2007). *Análisis de estructuras con métodos matriciales*. Limusa.
- Paulay, T. & Priestley, M. J. (1992). *Seismic design of reinforced concrete and masonry buildings* [Diseño sísmico de edificios de hormigón armado y mampostería]. John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/9780470172841>
- Rodríguez, M. (s.f.). *Sistemas de protección sísmica*. Sísmica Institute. Recuperado el 26 de septiembre de 2024, de <https://sismica-institute.com/sistemas-de-proteccion-sismica/>
- San Bartolomé, Á. (1994). *Construcciones de albañilería. Comportamiento sísmico y diseño estructural*. Fondo Editorial de la Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Tavera, H., Bernal, I., Condori, C., Ordaz, M., Zevallos, A. & Ishizawa, O. (2014). *Re-evaluación del peligro sísmico probabilístico para el Perú*. Subdirección de Ciencias de la Tierra Sólida, Instituto Físico del Perú y Banco Mundial. <https://repositorio.igp.gob.pe/serve/api/core/bitstreams/d72c0232-bf8a-400b-99a7-3e4e1dfa6ec5/content>
- Yi, Z. (2016). Assessment using FEA of the influence of detailing parameters on performance of buckling restrained braces [Tesis doctoral, Politehnica University of Timișoara; Evaluación mediante FEA de la influencia de los parámetros de detalle en el desempeño de las riostras de pandeo restringido]. https://www.ct.upt.ro/suscos/files/2014-2016/Ziyong_Yi_Dissertation.pdf

En este capítulo se proporciona información complementaria que fue utilizada en el proceso.

Anexo A. Procedimiento para análisis no lineal en ETABS

A.1. Definir los materiales

1. Clic en «**Define**»
2. Clic en «**Material Properties**»
3. Clic en «**Add New Material**»
4. Clic en «**Modify/Show Material Property Design Data**»:
Automático:
 - Revisar «**Nonlinear Material Data**»
 - Clic «**Show Stress-strain Plot**»

Manual:

- En este caso se debe seleccionar la opción «**User Defined**», en donde se ingresan los valores individuales.

A.2. Armar las secciones en Section Designer

1. Clic en «**Define**»
2. Clic en «**Section Properties**»
3. Clic en «**Frame Sections**»
4. Clic en «**Add New Property**»
5. Seleccionar en **Shape Type** la opción «**SD Section**»
En esta sección se ingresan las propiedades de la sección, especificando los materiales y la armadura. Cabe mencionar, que todas las secciones que fueron armadas consideraron la disposición de su eje fuerte respecto al eje local 3 y en consecuencia, se rotaron los ejes locales ($\theta = 90^\circ$) de los elementos en la vista general que estaban orientados respecto al eje local 2 (Ver Anexo I).

A.3. Definir rótulas plásticas

1. Clic en «**Define**»
2. Clic en «**Section Properties**»
3. Clic en «**Frame/Wall Nonlinear Hinges**»
4. Clic en «**Add New Property**»

En esta sección, la asignación de rótulas será distinto para cada elemento estructural, debido a sus distintas formas y propiedades (dimensiones, armaduras y confinamiento) las rótulas se formarán con distintos esfuerzos. Para esto, es necesario determinar el valor de los momentos de fluencia de las secciones tanto para el eje fuerte ($\theta = 0^\circ$) como débil ($\theta = 90^\circ$) de la sección en estudio, lo cual se puede obtener desde **Section Designer** a partir del **Moment Curvature Plot**.

Posteriormente, una vez determinado los valores de los momentos se procede a definir las rótulas por elementos, para esto es necesario revisar las tablas del ASCE 41-13 que entregan los parámetros no lineales de modelación (Ver Anexo D). Con estos parámetros se definen las rótulas como se muestra a continuación, donde se tiene el ejemplo para la generación de una rótula tipo M2 (momento flector según eje local 2) y M3 (momento flector según eje local 3) de un muro.

A.4. Asignar rótulas plásticas

1. Clic en el elemento al que se le asignará la rótula.
2. Clic en «**Assign**»
3. Clic en «**Frame**»
4. Clic en «**Hinges**»
5. Seleccionar en **Hinge Property** las rótulas del elemento, especificando el valor para **Relative Distance**.

A.5. Definir estados de carga no lineales

1. Clic en «**Define**»
2. Clic en «**Load Cases**»
3. Clic en «**Add New Case**»

En esta sección se define el estado de carga inicial “CGNL” para el análisis no lineal, asociado a las cargas gravitacionales.

Por otro lado, el estado de carga denominado “**Pushover X**”, considera el modo con mayor participación en la dirección longitudinal como su patrón de carga. Este estado tiene la particularidad de que se ejecuta considerando el efecto de las cargas gravitacionales definido previamente en “CGNL”.

Además, las cargas se aplican de forma incremental hasta que alcanzan un desplazamiento objetivo, el cual se monitorea a partir de un punto de control ubicado en el centro de masa de la azotea.

Análogamente, el último estado de carga es el denominado “**Pushover Y**”, estableciendo modo con mayor participación en la dirección transversal como su patrón de carga.

A.6. Correr el programa

1. Clic en «**Analyze**»
2. Clic en «**Set Load Cases To Run**»
Se seleccionan los casos a correr.
3. Clic en «**Run Now**»

A.7. Visualizar las curvas de capacidad

1. Clic en «**Display**»
2. Clic en «**Static Pushover Curve**»
3. También, se puede seleccionar «**Hinge Results**»
Se puede revisar el comportamiento individual de las rótulas.

Anexo B. NTE E0.30: Diseño Sismorresistente

Cada estructura está clasificada según las categorías indicadas en la Tabla N°5. El factor de uso (U), se usa según la clasificación que se realice. Para edificios con aislamiento sísmico en la base se puede considerar U=1.

B.1. Categoría de las Edificaciones y Factor de Uso (U)

Tabla B.1: Tabla N°5 Categoría de las Edificaciones y Factor de Uso (U)
Fuente: NTE E0.30

Tabla N°5 CATEGORÍA DE LAS EDIFICACIONES Y FACTOR U		
CATEGORÍA	DESCRIPCIÓN	FACTOR U
A Edificaciones Esenciales	A1: Establecimientos del sector salud (públicos y privados) del segundo y tercer nivel, según lo normado por el Ministerio de Salud.	Ver nota 1
	A2: Edificaciones esenciales para el manejo de las emergencias, el funcionamiento del gobierno y en general aquellas edificaciones que puedan servir de refugio después de un desastre. Se incluyen las siguientes edificaciones: -Establecimientos de salud no comprendidos en la categoría A1. -Puertos, aeropuertos, estaciones ferroviarias de pasajeros, sistemas masivos de transporte, locales municipales, centrales de comunicaciones. -Estaciones de bomberos, cuarteles de las fuerzas armadas y policía. -Instalaciones de generación y transformación de electricidad, reservorios y plantas de tratamiento de agua. -Instituciones educativas, institutos superiores tecnológicos y universidades. -Edificaciones cuyo colapso puede representar un riesgo adicional, tales como grandes hornos, fábricas y depósitos de materiales inflamables o tóxicos. -Edificios que almacenen archivos e información esencial del estado.	1,5
B Edificaciones Importantes	Edificaciones donde se reúnen gran cantidad de personas tales como cines, teatros, estadios, coliseos, centros comerciales, terminales de buses de pasajeros, establecimientos penitenciarios, o que guardan patrimonios valiosos como museos y bibliotecas. También se consideran depósitos de granos y otros almacenes importantes para el abastecimiento.	1,3
C Edificaciones Comunes	Edificaciones comunes tales como: viviendas, oficinas, hoteles, restaurantes, depósitos e instalaciones industriales cuya falla no acarree peligros adicionales de incendios o fugas de contaminantes.	1,0
D Edificaciones Temporales	Construcciones provisionales para depósitos, casetas y otras similares.	Ver nota 2
Nota 1: Las nuevas edificaciones de categoría A1 tienen aislamiento sísmico en la base cuando se encuentren en las zonas sísmicas 4 y 3. En las zonas sísmicas 1 y 2, la entidad responsable puede decidir si usa o no aislamiento sísmico. Si no se utiliza aislamiento sísmico en las zonas sísmicas 1 y 2, el valor de U es como mínimo 1,5.		
Nota 2: En estas edificaciones se provee resistencia y rigidez adecuadas para acciones laterales, a criterio del proyectista.		

B.2. Sistemas Estructurales y Coeficiente Básico de Reducción de las Fuerzas Sísmicas

Tabla B.2: Tabla N°5 Sistemas Estructurales
Fuente: NTE E0.30

Tabla N°7 SISTEMAS ESTRUCTURALES	
Sistema Estructural	Coeficiente Básico de Reducción R0(*)
Acero:	
Pórticos Especiales Resistentes a Momentos (SMF)	8
Pórticos Intermedios Resistentes a Momentos (IMF)	5
Pórticos Ordinarios Resistentes a Momentos (OMF)	4
Pórticos Especiales Concéntricamente Arriostrados (SCBF)	7
Pórticos Ordinarios Concéntricamente Arriostrados (OCBF)	4
Pórticos Excéntricamente Arriostrados (EBF)	8
Concreto Armado:	
Pórticos	8
Dual	7
De muros estructurales	6
Muros de ductilidad limitada	4
Albañilería Armada o Confinada	3
Madera	7 (**)
(*) Estos coeficientes se aplican únicamente a estructuras en las que los elementos verticales y horizontales permitan la disipación de la energía manteniendo la estabilidad de la estructura. No se aplican a estructuras tipo péndulo invertido.	
(**) Para diseño por esfuerzos admisibles.	

B.3. Desplazamientos Laterales Relativos Admisibles

El máximo desplazamiento relativo entrepiso, calculado según el artículo 31, no excede la fracción de la altura de entrepiso (distorsión) que se indica en la siguiente tabla:

Tabla B.3: Tabla N°11 Límites para la distorsión entre pisos
Fuente: NTE E0.30

Material Predominante	(Δ_i/h_{ei})
Concreto Armado	0.007
Acero	0.010
Albañilería	0.005
Madera	0.010
Edificios de concreto armado con muros de ductilidad limitada	0.005

B.4. Irregularidades estructurales en planta

Tabla B.4: Tabla N°9 Irregularidades estructurales en planta
Fuente: NTE E0.30

<p align="center">Tabla N°9 IRREGULARIDADES ESTRUCTURALES EN PLANTA</p>	<p align="center">Factor de Irregularidad Ip</p>
<p>Irregularidad Torsional Existe irregularidad torsional cuando, en cualquiera de las direcciones de análisis, el máximo desplazamiento relativo de entrepiso en un extremo del edificio (Δ_{max}) en esa dirección, calculado incluyendo excentricidad accidental, es mayor que 1,3 veces el desplazamiento relativo promedio de los extremos del mismo entrepiso para la misma condición de carga (Δ_{prom}). Este criterio sólo se aplica en edificios con diafragmas rígidos y sólo si el máximo desplazamiento relativo de entrepiso es mayor que 50% del desplazamiento permisible indicado en la Tabla N°11.</p>	<p align="center">0,75</p>
<p>Irregularidad Torsional Extrema (Ver Tabla N°10) Existe irregularidad torsional extrema cuando, en cualquiera de las direcciones de análisis, el máximo desplazamiento relativo de entrepiso en un extremo del edificio (Δ_{max}) en esa dirección, calculado incluyendo excentricidad accidental, es mayor que 1,5 veces el desplazamiento relativo promedio de los extremos del mismo entrepiso para la misma condición de carga (Δ_{prom}). Este criterio sólo se aplica en edificios con diafragmas rígidos y sólo si el máximo desplazamiento relativo de entrepiso es mayor que 50% del desplazamiento permisible indicado en la Tabla N°11.</p>	<p align="center">0,60</p>
<p>Esquinas Entrantes La estructura se califica como irregular cuando tiene esquinas entrantes cuyas dimensiones en ambas direcciones son mayores que 20% de la correspondiente dimensión total en planta.</p>	<p align="center">0,90</p>
<p>Discontinuidad del Diafragma La estructura se califica como irregular cuando los diafragmas tienen discontinuidades abruptas o variaciones importantes en rigidez, incluyendo aberturas mayores que 50% del área bruta del diafragma. También existe irregularidad cuando, en cualquiera de los pisos y para cualquiera de las direcciones de análisis, se tiene alguna sección transversal del diafragma con un área neta resistente menor que 25% del área de la sección transversal total de la misma dirección calculada con las dimensiones totales de la planta.</p>	<p align="center">0,85</p>
<p>Sistemas no Paralelos Se considera que existe irregularidad cuando en cualquiera de las direcciones de análisis los elementos resistentes a fuerzas laterales no son paralelos. No se aplica si los ejes de los pórticos o muros forman ángulos menores que 30° ni cuando los elementos no paralelos resisten menos que 10% de la fuerza cortante del piso.</p>	<p align="center">0,90</p>

Anexo C. Diagramas de interacción

M11300E1

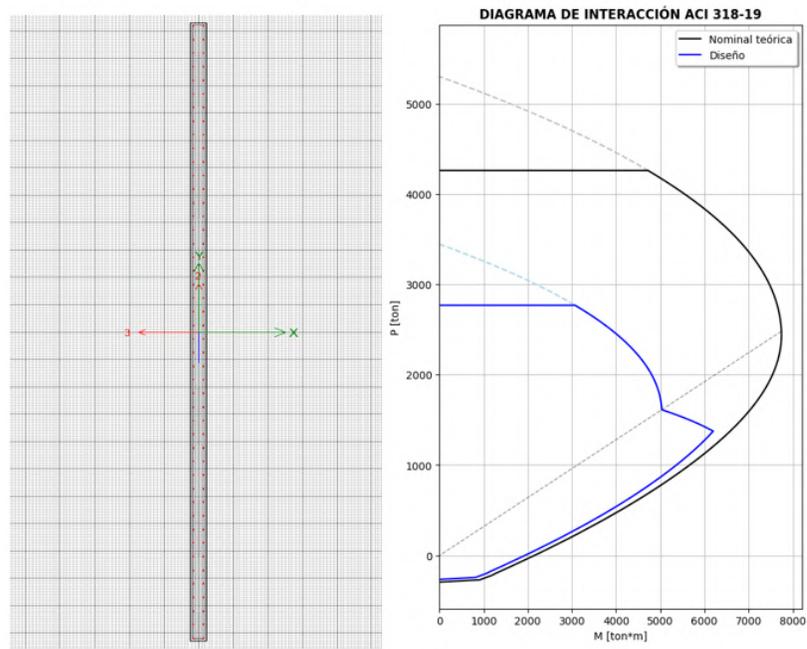


Figura C.1: Diagrama de interacción M11300E1

M4200E1/M4200E4a

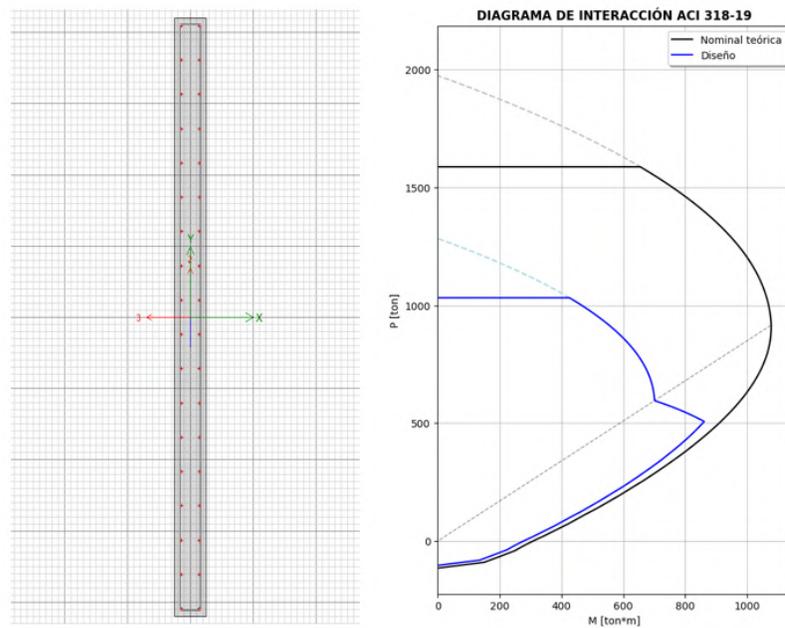


Figura C.2: Diagrama de interacción M4200E1/M4200E4a

M4300E1/M4300E4a

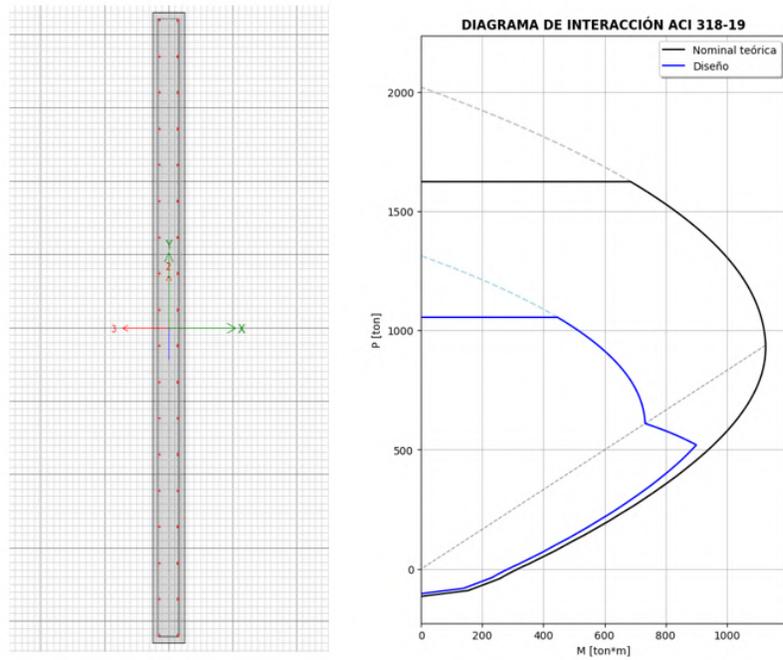


Figura C.3: Diagrama de interacción M4200E1/M4200E4a

M4200E4b/M4200E5/M4200E6a

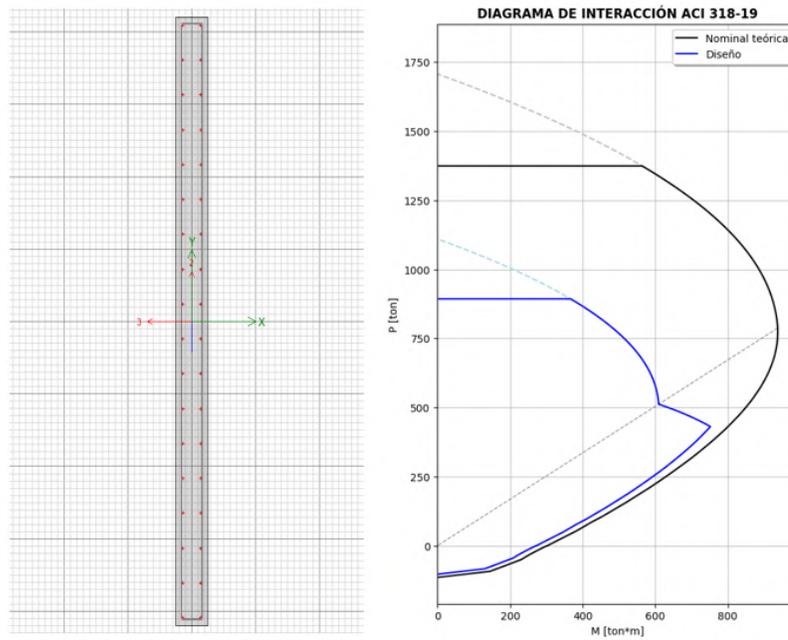


Figura C.4: Diagrama de interacción M4200E4b/M4200E5/M4200E6a

M4300E4b

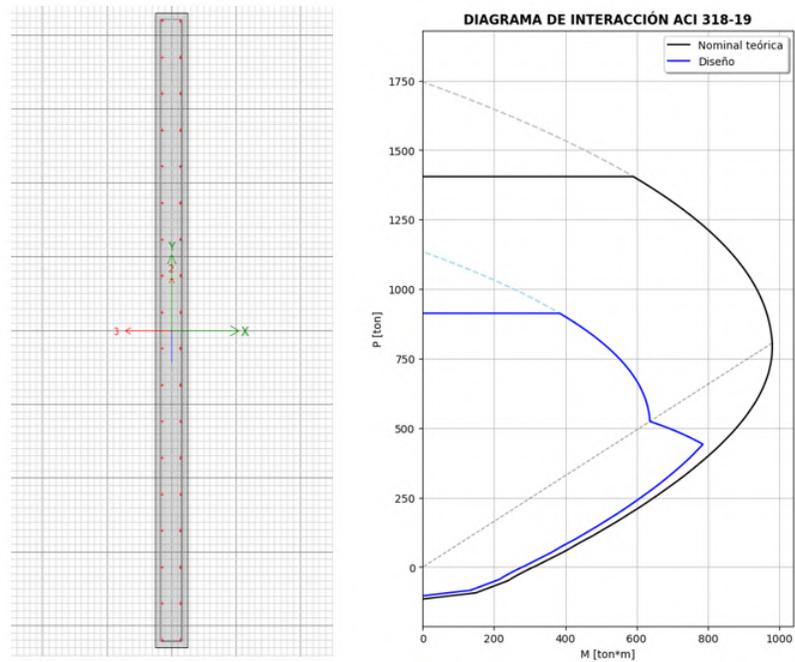


Figura C.5: Diagrama de interacción M4300E4b

M3100EA/M3100EC

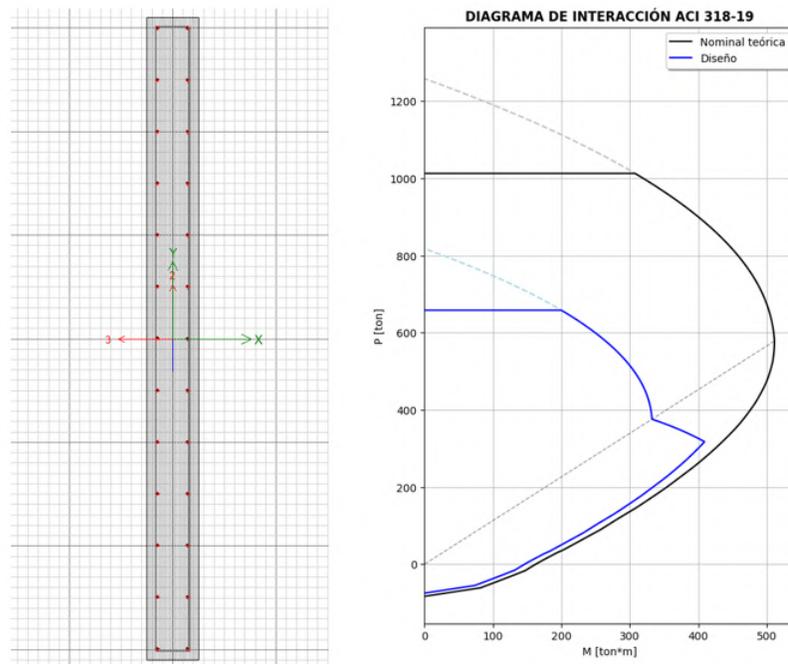


Figura C.6: Diagrama de interacción M3100EA/M3100EC

M2500E11

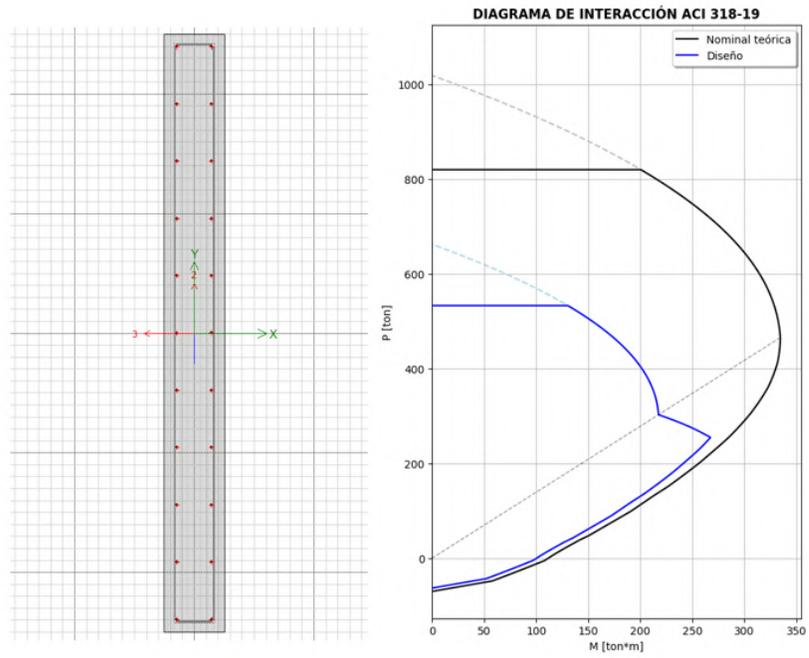


Figura C.7: Diagrama de interacción M2500E11

M1940ED

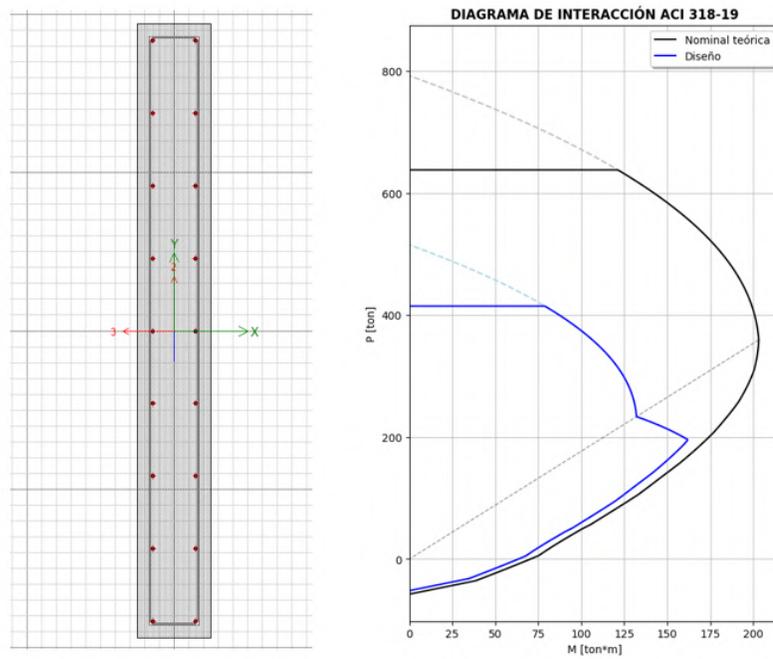


Figura C.8: Diagrama de interacción M1940ED

M750EG/M750E5-1/M750E6-2

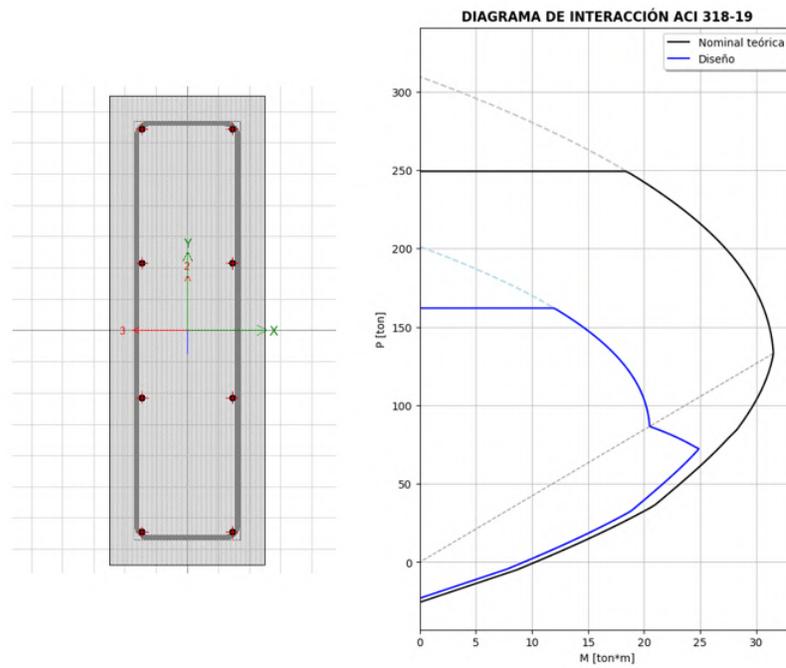


Figura C.9: Diagrama de interacción M750EG/M750E5-1/M750E6-2

M1200EF

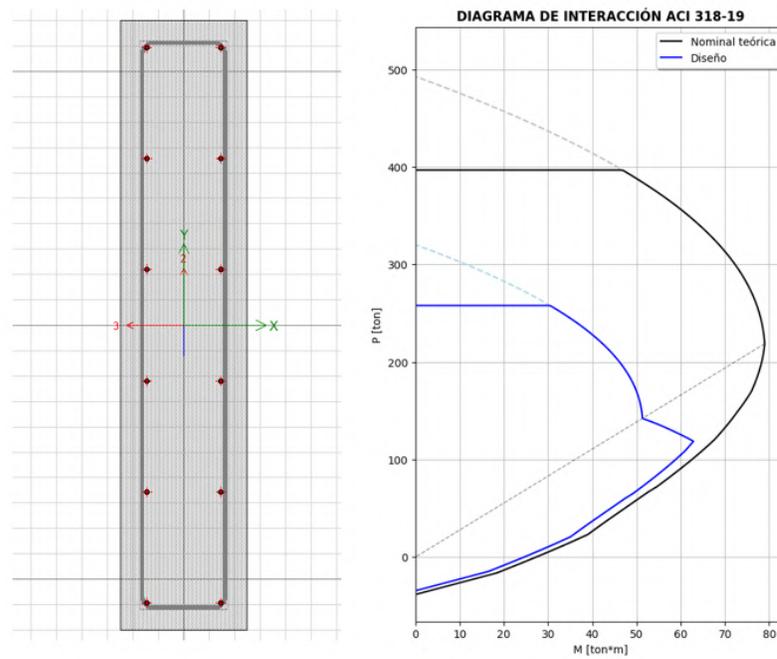


Figura C.10: Diagrama de interacción M1200EF

M600EI

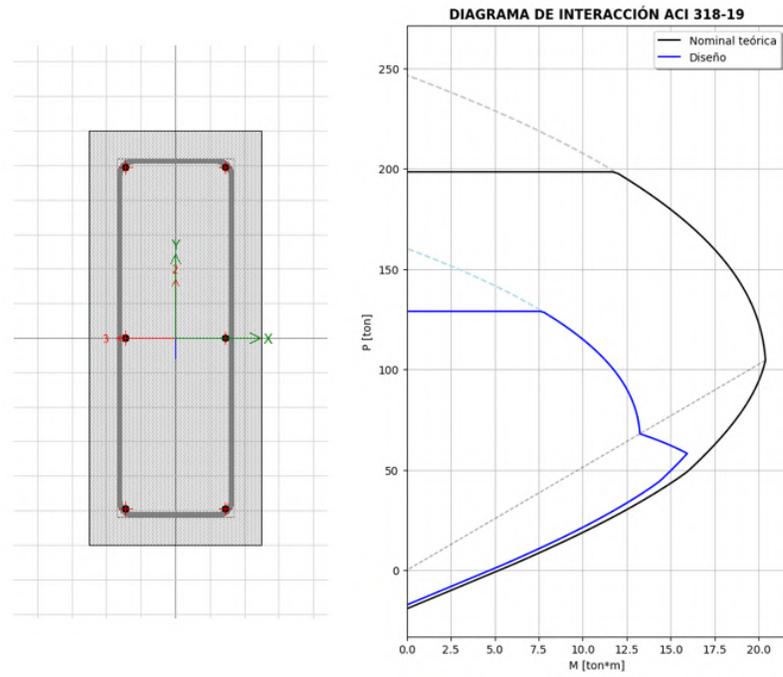


Figura C.11: Diagrama de interacción M600EI

M2700EH

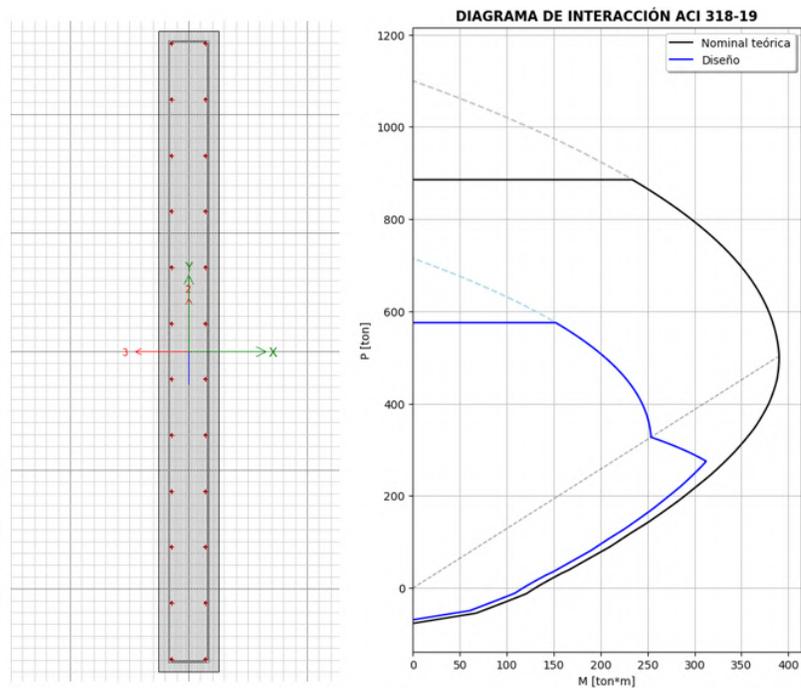


Figura C.12: Diagrama de interacción M2700EH

M5400EH

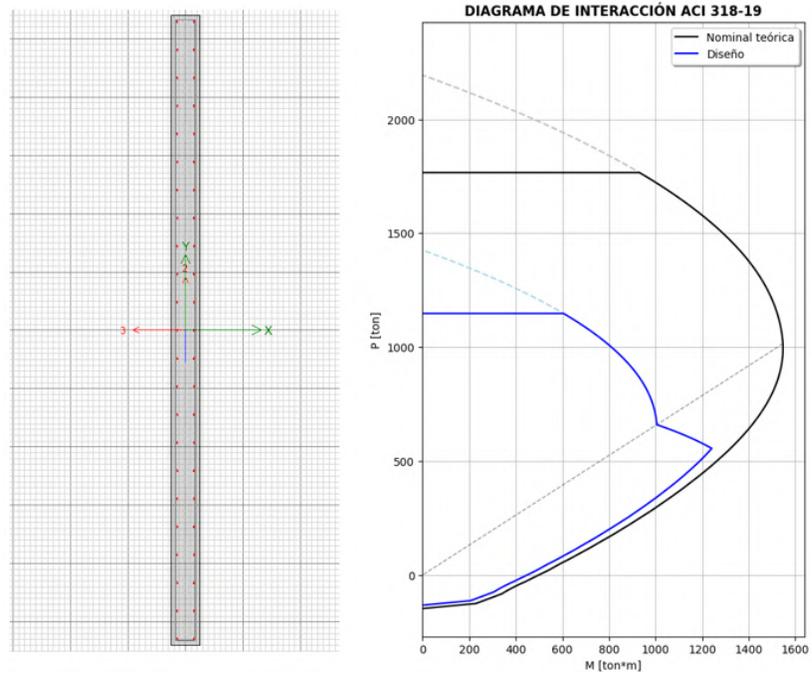


Figura C.13: Diagrama de interacción M5400EH

Anexo D. Parámetros de modelación no lineal

D.1. Elementos de acero estructural sometidos a carga axial

Tabla D.1: Parámetros no lineales de modelación para elementos de acero estructural sometidos a carga axial
Fuente: ASCE 41-13

Table 9-7. Modeling Parameters and Acceptance Criteria for Nonlinear Procedures—Structural Steel Components—Axial Actions

Component/Action	Modeling Parameters			Acceptance Criteria		
	Plastic Deformation		Residual Strength Ratio	Plastic Deformation		
	a	b		IO	LS	CP
Braces in Compression (except EBF braces)^{a,b}						
a. Slender $\frac{KL}{r} \geq 4.2\sqrt{E/F_y}$						
1. W, I, 2L in-plane ^c , 2C in-plane ^c	0.5 Δ_c	10 Δ_c	0.3	0.5 Δ_c	8 Δ_c	10 Δ_c
2. 2L out-of-plane ^c , 2C out-of-plane ^c	0.5 Δ_c	9 Δ_c	0.3	0.5 Δ_c	7 Δ_c	9 Δ_c
3. HSS, pipes, tubes	0.5 Δ_c	9 Δ_c	0.3	0.5 Δ_c	7 Δ_c	9 Δ_c
4. Single angle	0.5 Δ_c	12 Δ_c	0.3	0.5 Δ_c	9 Δ_c	12 Δ_c
b. Stocky ^d $\frac{KL}{r} \leq 2.1\sqrt{E/F_y}$						
1. W, I, 2L in-plane ^c , 2C in-plane ^c	1 Δ_c	8 Δ_c	0.5	0.5 Δ_c	7 Δ_c	8 Δ_c
2. 2L out-of-plane ^c , 2C out-of-plane ^c	1 Δ_c	7 Δ_c	0.5	0.5 Δ_c	6 Δ_c	7 Δ_c
3. HSS, pipes, tubes	1 Δ_c	7 Δ_c	0.5	0.5 Δ_c	6 Δ_c	7 Δ_c
c. Intermediate	Linear interpolation between the values for slender and stocky braces (after application of all applicable modifiers) shall be used.					
Braces in Tension (except EBF braces)^{e,f,g}						
1. W	10 Δ_T	13 Δ_T	0.6	0.5 Δ_T	10 Δ_T	13 Δ_T
2. 2L	9 Δ_T	12 Δ_T	0.6	0.5 Δ_T	9 Δ_T	12 Δ_T
3. HSS	9 Δ_T	11 Δ_T	0.6	0.5 Δ_T	8 Δ_T	11 Δ_T
4. Pipe	8 Δ_T	9 Δ_T	0.6	0.5 Δ_T	7 Δ_T	9 Δ_T
5. Single angle	10 Δ_T	11 Δ_T	0.6	0.5 Δ_T	8 Δ_T	10 Δ_T
Beams, columns in tension (except EBF beams, columns) ^f	5 Δ_T	7 Δ_T	1.0	0.5 Δ_T	6 Δ_T	7 Δ_T
Buckling-restrained braces ^{h,i,j}	13.3 Δ_y	13.3 Δ_y	1.0	3.0 Δ_y	10 Δ_y	13.3 Δ_y

^a Δ_c is the axial deformation at expected buckling load.

^bIn addition to consideration of connection capacity in accordance with Section 9.5.2.4.1, values for braces shall be modified for connection robustness as follows: Where brace connections do not satisfy the requirements of AISC 341, Section F2.6, the acceptance criteria shall be multiplied by 0.8, unless the connections and their behavior have been explicitly included in the model.

^cStitches for built-up members: Where the stitches for built-up braces do not satisfy the requirements of AISC 341, Section F2.5b, the values of a, b, and all acceptance criteria shall be multiplied by 0.5.

^dSection compactness: Modeling parameters and acceptance criteria apply to brace sections that are concrete-filled or seismically compact according to Table D1.1 of AISC 341. Where the brace section is noncompact according to Table B4.1 of AISC 360, the acceptance criteria shall be multiplied by 0.5. For intermediate compactness conditions, the acceptance criteria shall be multiplied by a value determined by linear interpolation between the seismically compact and the noncompact cases.

^e Δ_T is the axial deformation at expected tensile yielding load.

^fFor tension-only bracing, acceptance criteria shall be divided by 2.0. For rod bracing, the modeling parameters and acceptance criteria specified for pipe in tension shall be used, and then acceptance criteria shall be divided by 2.0.

^gIn addition to consideration of connection capacity in accordance with Section 9.5.2.4.1, values for braces shall be modified for connection robustness as follows: Where brace connections do not satisfy the requirements of AISC 341, Section F2.6, the acceptance criteria shall be multiplied by 0.8 except for IO, unless the connections and their behavior have been explicitly included in the model.

^h Δ_y is the axial deformation at the expected brace capacity per Section 9.5.4.2.2

ⁱMaximum strain of the BRB core shall not exceed 2.5%.

^jIf testing to demonstrate compliance with Section 9.5.4.4.3 is not available, the acceptance criteria and modeling parameters shall be multiplied by 0.7.

D.2. Columnas de concreto armado

Tabla D.2: Parámetros no lineales de modelación para columnas de concreto armado

Fuente: ASCE 41-13

Table 10-8. Modeling Parameters and Numerical Acceptance Criteria for Nonlinear Procedures—Reinforced Concrete Columns

Conditions			Modeling Parameters ^a			Acceptance Criteria ^a		
			Plastic Rotations Angle (radians)		Residual Strength Ratio	Plastic Rotations Angle (radians)		
			a	b		IO	LS	CP
Condition i. ^b								
$\frac{P}{A_g f'_c}$	$\rho = \frac{A_s}{b_v s}$							
≤ 0.1	≥ 0.006		0.035	0.060	0.2	0.005	0.045	0.060
≥ 0.6	≥ 0.006		0.010	0.010	0.0	0.003	0.009	0.010
≤ 0.1	$= 0.002$		0.027	0.034	0.2	0.005	0.027	0.034
≥ 0.6	$= 0.002$		0.005	0.005	0.0	0.002	0.004	0.005
Condition ii. ^b								
$\frac{P}{A_g f'_c}$	$\rho = \frac{A_s}{b_v s}$	$\frac{V}{b_v d \sqrt{f'_c}}$ ^d						
≤ 0.1	≥ 0.006	≤ 3 (0.25)	0.032	0.060	0.2	0.005	0.045	0.060
≤ 0.1	≥ 0.006	≥ 6 (0.5)	0.025	0.060	0.2	0.005	0.045	0.060
≥ 0.6	≥ 0.006	≤ 3 (0.25)	0.010	0.010	0.0	0.003	0.009	0.010
≥ 0.6	≥ 0.006	≥ 6 (0.5)	0.008	0.008	0.0	0.003	0.007	0.008
≤ 0.1	≤ 0.0005	≤ 3 (0.25)	0.012	0.012	0.2	0.005	0.010	0.012
≤ 0.1	≤ 0.0005	≥ 6 (0.5)	0.006	0.006	0.2	0.004	0.005	0.006
≥ 0.6	≤ 0.0005	≤ 3 (0.25)	0.004	0.004	0.0	0.002	0.003	0.004
≥ 0.6	≤ 0.0005	≥ 6 (0.5)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Condition iii. ^b								
$\frac{P}{A_g f'_c}$	$\rho = \frac{A_s}{b_v s}$							
≤ 0.1	≥ 0.006		0.0	0.060	0.0	0.0	0.045	0.060
≥ 0.6	≥ 0.006		0.0	0.008	0.0	0.0	0.007	0.008
≤ 0.1	≤ 0.0005		0.0	0.006	0.0	0.0	0.005	0.006
≥ 0.6	≤ 0.0005		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Condition iv. Columns controlled by inadequate development or splicing along the clear height ^b								
$\frac{P}{A_g f'_c}$	$\rho = \frac{A_s}{b_v s}$							
≤ 0.1	≥ 0.006		0.0	0.060	0.4	0.0	0.045	0.060
≥ 0.6	≥ 0.006		0.0	0.008	0.4	0.0	0.007	0.008
≤ 0.1	≤ 0.0005		0.0	0.006	0.2	0.0	0.005	0.006
≥ 0.6	≤ 0.0005		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

NOTE: f'_c is in lb/in.² (MPa) units.

^aValues between those listed in the table should be determined by linear interpolation.

^bRefer to Section 10.4.2.2.2 for definition of conditions i, ii, and iii. Columns are considered to be controlled by inadequate development or splices where the calculated steel stress at the splice exceeds the steel stress specified by Eq. (10-2). Where more than one of conditions i, ii, iii, and iv occurs for a given component, use the minimum appropriate numerical value from the table.

^cWhere $P > 0.7A_s f'_c$, the plastic rotation angles should be taken as zero for all performance levels unless the column has transverse reinforcement consisting of hoops with 135-degree hooks spaced at $\leq d/3$ and the strength provided by the hoops (V_h) is at least 3/4 of the design shear. Axial load P should be based on the maximum expected axial loads caused by gravity and earthquake loads.

^d V is the design shear force from NSP or NDP.

D.3. Muros de concreto armado

Tabla D.3: Parámetros no lineales de modelación para muros de concreto armado
Fuente: ASCE 41-13

Table 10-19. Modeling Parameters and Numerical Acceptance Criteria for Nonlinear Procedures—R/C Shear Walls and Associated Components Controlled by Flexure

Conditions			Plastic Hinge Rotation (radians)		Residual Strength Ratio	Acceptable Plastic Hinge Rotation* (radians)		
			a	b		Performance Level		
					c	IO	LS	CP
i. Shear walls and wall segments								
$(A_s - A_s')f_y + P$	V	Confined Boundary ^b	0.015					
$t_w t_w f_c'$	$t_w t_w \sqrt{f_c'}$							
≤ 0.1	≤ 4	Yes	0.010	0.020	0.75	0.005	0.015	0.020
≤ 0.1	≥ 6	Yes	0.009	0.015	0.40	0.004	0.010	0.015
≥ 0.25	≤ 4	Yes	0.005	0.012	0.60	0.003	0.009	0.012
≥ 0.25	≥ 6	Yes	0.008	0.010	0.30	0.0015	0.005	0.010
≤ 0.1	≤ 4	No	0.006	0.015	0.60	0.002	0.008	0.015
≤ 0.1	≥ 6	No	0.003	0.010	0.30	0.002	0.006	0.010
≥ 0.25	≤ 4	No	0.002	0.005	0.25	0.001	0.003	0.005
≥ 0.25	≥ 6	No	0.002	0.004	0.20	0.001	0.002	0.004
ii. Shear wall coupling beams ^c								
Longitudinal reinforcement and transverse reinforcement ^d		V	0.050					
		$t_w t_w \sqrt{f_c'}$						
Conventional longitudinal reinforcement with conforming transverse reinforcement		≤ 3	0.025	0.040	0.75	0.010	0.025	0.050
		≥ 6	0.020	0.035	0.50	0.005	0.020	0.040
Conventional longitudinal reinforcement with nonconforming transverse reinforcement		≤ 3	0.020	0.025	0.50	0.006	0.020	0.035
		≥ 6	0.010	0.050	0.25	0.005	0.010	0.025
Diagonal reinforcement		NA	0.030	0.050	0.80	0.006	0.030	0.050

^aLinear interpolation between values listed in the table shall be permitted.

^bA boundary element shall be considered confined where transverse reinforcement exceeds 75% of the requirements given in ACI 318 and spacing of transverse reinforcement does not exceed $8d_b$. It shall be permitted to take modeling parameters and acceptance criteria as 80% of confined values where boundary elements have at least 50% of the requirements given in ACI 318 and spacing of transverse reinforcement does not exceed $8d_b$. Otherwise, boundary elements shall be considered not confined.

^cFor coupling beams spanning < 8 ft 0 in., with bottom reinforcement continuous into the supporting walls, acceptance criteria values shall be permitted to be doubled for LS and CP performance.

^dConventional longitudinal reinforcement consists of top and bottom steel parallel to the longitudinal axis of the coupling beam. Conforming transverse reinforcement consists of (a) closed stirrups over the entire length of the coupling beam at a spacing $\leq d/3$, and (b) strength of closed stirrups $V_s \geq 3/4$ of required shear strength of the coupling beam.

D.4. Vigas de concreto armado

Tabla D.4: Parámetros no lineales de modelación para vigas de concreto armado
Fuente: ASCE 41-13

Table 10-7. Modeling Parameters and Numerical Acceptance Criteria for Nonlinear Procedures—Reinforced Concrete Beams

Conditions			Modeling Parameters ^a			Acceptance Criteria ^a		
			Plastic Rotations Angle (radians)		Residual Strength Ratio	Plastic Rotations Angle (radians)		
			a	b		Performance Level		
					IO	LS	CP	
Condition i. Beams controlled by flexure ^b								
$\rho - \rho'$	Transverse reinforcement ^c	$\frac{V}{b_w d \sqrt{f'_c}}$ ^d						
ρ_{bal}		$b_w d \sqrt{f'_c}$						
≤ 0.0	C	≤ 3 (0.25)	0.025	0.05	0.2	0.010	0.025	0.05
≤ 0.0	C	≥ 6 (0.5)	0.02	0.04	0.2	0.005	0.02	0.04
≥ 0.5	C	≤ 3 (0.25)	0.02	0.03	0.2	0.005	0.02	0.03
≥ 0.5	C	≥ 6 (0.5)	0.015	0.02	0.2	0.005	0.015	0.02
≤ 0.0	NC	≤ 3 (0.25)	0.02	0.03	0.2	0.005	0.02	0.03
≤ 0.0	NC	≥ 6 (0.5)	0.01	0.015	0.2	0.0015	0.01	0.015
≥ 0.5	NC	≤ 3 (0.25)	0.01	0.015	0.2	0.005	0.01	0.015
≥ 0.5	NC	≥ 6 (0.5)	0.005	0.01	0.2	0.0015	0.005	0.01
Condition ii. Beams controlled by shear ^b								
Stirrup spacing $\leq d/2$			0.0030	0.02	0.2	0.0015	0.01	0.02
Stirrup spacing $> d/2$			0.0030	0.01	0.2	0.0015	0.005	0.01
Condition iii. Beams controlled by inadequate development or splicing along the span ^b								
Stirrup spacing $\leq d/2$			0.0030	0.02	0.0	0.0015	0.01	0.02
Stirrup spacing $> d/2$			0.0030	0.01	0.0	0.0015	0.005	0.01
Condition iv. Beams controlled by inadequate embedment into beam-column joint ^b								
			0.015	0.03	0.2	0.01	0.02	0.03

NOTE: f'_c in lb/in.² (MPa) units.

^aValues between those listed in the table should be determined by linear interpolation.

^bWhere more than one of conditions i, ii, iii, and iv occur for a given component, use the minimum appropriate numerical value from the table.

^c"C" and "NC" are abbreviations for conforming and nonconforming transverse reinforcement, respectively. Transverse reinforcement is conforming if, within the flexural plastic hinge region, hoops are spaced at $\leq d/3$, and if, for components of moderate and high ductility demand, the strength provided by the hoops (V_s) is at least 3/4 of the design shear. Otherwise, the transverse reinforcement is considered nonconforming.

^d V is the design shear force from NSP or NDP.

Anexo E. NTE E0.70: Albañilería

E.1. Resistencia al agrietamiento diagonal

La resistencia al corte (V_m) de los muros de albañilería se calculará en cada entrepiso mediante las siguientes expresiones:

Unidades de Arcilla y de Concreto:

$$V_m = 0.5 v'_m \cdot \alpha \cdot t \cdot L + 0.23 P_g$$

Donde:

v'_m = resistencia característica a corte de la albañilería

P_g = carga gravitacional de servicio, con sobrecarga reducida

t = espesor efectivo del muro

L = longitud total del muro (incluyendo a las columnas en el caso de muros confinados).

α = factor de reducción de resistencia al corte por efectos de esbeltez, calculado como:

$$\frac{1}{3} \leq \alpha = \frac{V_e \cdot L}{M_e} \leq 1$$

Donde:

V_e = fuerza cortante del muro obtenida del análisis elástico

M_e = momento flector del muro obtenido del análisis elástico

E.2. Control de fisuración

Esta disposición tiene por propósito evitar que los muros se fisuren ante los sismos moderados, que son los más frecuentes. Para el efecto se considerarán las fuerzas cortantes producidas por el sismo moderado.

Para todos los muros de albañilería deberá verificarse que en cada entrepiso se satisfaga la siguiente expresión que controla la ocurrencia de fisuras por corte:

$$V_e \leq 0.55 V_m = \text{Fuerza Cortante Admisible}$$

Donde: “ V_e ” es la fuerza cortante producida por el “sismo moderado” en el muro en análisis y “ V_m ” es la fuerza cortante asociada al agrietamiento diagonal de la albañilería.

Anexo F. Rótulas plásticas estructura base

F.1. Muros de concreto armado

Tabla F.1: Parámetros rótulas muros de concreto armado según estándar ASCE 41-13 (Parte 1)

ID Rótula	Nivel	e [cm]	h_w [cm]	l_w [cm]	f'_c [kgf/cm ²]	CM [tonf]	CV [tonf]	P[kgf]	$\frac{A_s - A_s' f_c + P}{k_s d f_c}$	V_s [tonf]	V_p [tonf]	$\frac{v}{k_s d \sqrt{f'_c}}$	a [rad]	b [rad]	c	IO [rad]	LS [rad]	CP [rad]
M11300E1_SS	SS	25	270	1130	210	334.17	87.04	377691.10	0.0637	210.64	721.10	0.5513	0.0030	0.0100	0.3000	0.0020	0.0060	0.0100
M11300E1_1	1	25	280	1130	210	295.27	77.16	333848.90	0.0563	228.66	796.51	0.6090	0.0030	0.0100	0.3000	0.0020	0.0060	0.0100
M11300E1_2	2	25	280	1130	210	252.68	66.18	285769.95	0.0482	194.28	743.58	0.5685	0.0030	0.0100	0.3000	0.0020	0.0060	0.0100
M11300E1_3	3	25	280	1130	210	210.33	55.28	237964.90	0.0401	167.41	670.66	0.5127	0.0030	0.0100	0.3000	0.0020	0.0060	0.0100
M11300E1_4	4	25	280	1130	210	167.60	44.17	189689.55	0.0320	155.67	599.31	0.4582	0.0037	0.0112	0.3738	0.0020	0.0065	0.0112
M11300E1_5	5	25	280	1130	210	122.89	32.10	138944.80	0.0234	120.14	472.30	0.3611	0.0055	0.0141	0.5451	0.0020	0.0076	0.0141
M11300E1_6	6	25	280	1130	210	79.96	20.83	90377.60	0.0152	83.96	323.06	0.2470	0.0060	0.0150	0.6000	0.0020	0.0080	0.0150
M11300E1_7	7	25	280	1130	210	37.31	9.27	41951.40	0.0071	44.00	155.29	0.1187	0.0060	0.0150	0.6000	0.0020	0.0080	0.0150
M4200E4a_SS	SS	25	270	420	210	187.34	62.43	218554.55	0.0991	10.05	127.02	0.2613	0.0060	0.0150	0.6000	0.0020	0.0080	0.0150
M4200E4a_1	1	25	280	420	210	170.45	57.75	199319.90	0.0904	10.70	104.13	0.2142	0.0060	0.0150	0.6000	0.0020	0.0080	0.0150
M4200E4a_2	2	25	280	420	210	137.64	45.94	160616.10	0.0728	9.85	75.85	0.1560	0.0060	0.0150	0.6000	0.0020	0.0080	0.0150
M4200E4a_3	3	25	280	420	210	110.80	36.49	129041.45	0.0585	7.53	57.14	0.1175	0.0060	0.0150	0.6000	0.0020	0.0080	0.0150
M4200E4a_4	4	25	280	420	210	92.43	30.94	107902.40	0.0489	7.96	53.26	0.1095	0.0060	0.0150	0.6000	0.0020	0.0080	0.0150
M4200E4a_5	5	25	280	420	210	73.17	25.13	85731.30	0.0389	5.94	29.86	0.0614	0.0060	0.0150	0.6000	0.0020	0.0080	0.0150
M4200E4a_6	6	25	280	420	210	44.62	14.93	52082.70	0.0236	5.13	16.73	0.0344	0.0060	0.0150	0.6000	0.0020	0.0080	0.0150
M4200E4a_7	7	25	280	420	210	16.50	4.35	18672.85	0.0085	10.36	42.87	0.0882	0.0060	0.0150	0.6000	0.0020	0.0080	0.0150
M4300E4a_SS	SS	25	270	430	210	169.31	54.37	196496.05	0.0870	11.27	136.12	0.2735	0.0060	0.0150	0.6000	0.0020	0.0080	0.0150
M4300E4a_1	1	25	280	430	210	153.73	50.25	178856.80	0.0792	12.15	116.27	0.2336	0.0060	0.0150	0.6000	0.0020	0.0080	0.0150
M4300E4a_2	2	25	280	430	210	126.34	40.76	146714.60	0.0650	9.39	84.17	0.1691	0.0060	0.0150	0.6000	0.0020	0.0080	0.0150
M4300E4a_3	3	25	280	430	210	102.49	32.54	118763.90	0.0526	7.54	62.89	0.1264	0.0060	0.0150	0.6000	0.0020	0.0080	0.0150
M4300E4a_4	4	25	280	430	210	86.19	27.80	100092.55	0.0443	7.74	57.97	0.1165	0.0060	0.0150	0.6000	0.0020	0.0080	0.0150
M4300E4a_5	5	25	280	430	210	68.89	22.85	80316.85	0.0356	6.77	33.00	0.0663	0.0060	0.0150	0.6000	0.0020	0.0080	0.0150
M4300E4a_6	6	25	280	430	210	42.41	13.62	49225.75	0.0218	7.33	17.80	0.0358	0.0060	0.0150	0.6000	0.0020	0.0080	0.0150
M4300E4a_7	7	25	280	430	210	15.66	4.28	17796.75	0.0079	12.44	43.88	0.0882	0.0060	0.0150	0.6000	0.0020	0.0080	0.0150
M4200E4b_SS	SS	25	270	420	180	149.71	39.37	169389.15	0.0896	20.40	185.43	0.4120	0.0046	0.0126	0.4553	0.0020	0.0070	0.0126
M4200E4b_1	1	25	280	420	180	134.99	35.42	152698.05	0.0808	34.69	174.80	0.3884	0.0050	0.0133	0.4970	0.0020	0.0073	0.0133
M4200E4b_2	2	25	280	420	180	118.94	31.03	134459.05	0.0711	40.02	137.70	0.3059	0.0060	0.0150	0.6000	0.0020	0.0080	0.0150
M4200E4b_3	3	25	280	420	180	102.32	26.42	115530.80	0.0611	42.72	109.26	0.2428	0.0060	0.0150	0.6000	0.0020	0.0080	0.0150
M4200E4b_4	4	25	280	420	180	85.53	21.74	96403.85	0.0510	42.43	103.18	0.2292	0.0060	0.0150	0.6000	0.0020	0.0080	0.0150
M4200E4b_5	5	25	280	420	180	68.41	16.93	76872.10	0.0407	39.14	71.51	0.1589	0.0060	0.0150	0.6000	0.0020	0.0080	0.0150
M4200E4b_6	6	25	280	420	180	50.88	11.95	56854.60	0.0301	35.91	49.19	0.1093	0.0060	0.0150	0.6000	0.0020	0.0080	0.0150
M4200E4b_7	7	25	280	420	180	33.21	6.90	36657.75	0.0194	36.32	37.20	0.0826	0.0060	0.0150	0.6000	0.0020	0.0080	0.0150
M4200E4b_8	8	25	250	420	180	16.26	2.28	17398.20	0.0092	34.82	30.71	0.0774	0.0060	0.0150	0.6000	0.0020	0.0080	0.0150
M4200E4b_9	9	25	180	420	180	5.64	0.66	5973.10	0.0032	15.31	10.29	0.0340	0.0060	0.0150	0.6000	0.0020	0.0080	0.0150
M4300E4b_SS	SS	25	270	430	180	179.70	54.27	206832.55	0.0999	42.61	229.11	0.4972	0.0030	0.0101	0.3050	0.0020	0.0060	0.0101
M4300E4b_1	1	25	280	430	180	160.67	47.69	184511.95	0.0954	66.84	238.04	0.5166	0.0030	0.0100	0.3000	0.0020	0.0060	0.0100
M4300E4b_2	2	25	280	430	180	140.55	40.82	160963.80	0.0832	62.66	197.74	0.4291	0.0043	0.0121	0.4251	0.0020	0.0068	0.0121
M4300E4b_3	3	25	280	430	180	120.47	34.02	137476.30	0.0710	59.56	160.31	0.3479	0.0057	0.0145	0.5684	0.0020	0.0078	0.0145
M4300E4b_4	4	25	280	430	180	101.30	27.69	115144.90	0.0595	57.17	148.33	0.3219	0.0060	0.0150	0.6000	0.0020	0.0080	0.0150
M4300E4b_5	5	25	280	430	180	82.08	21.39	92777.05	0.0479	49.28	104.94	0.2277	0.0060	0.0150	0.6000	0.0020	0.0080	0.0150
M4300E4b_6	6	25	280	430	180	61.48	14.53	68738.65	0.0355	40.06	71.97	0.1562	0.0060	0.0150	0.6000	0.0020	0.0080	0.0150
M4300E4b_7	7	25	280	430	180	39.71	7.47	43443.35	0.0225	33.49	46.48	0.1009	0.0060	0.0150	0.6000	0.0020	0.0080	0.0150
M4300E4b_8	8	25	250	430	180	16.57	2.10	17618.35	0.0091	22.24	37.96	0.0824	0.0060	0.0150	0.6000	0.0020	0.0080	0.0150
M4300E4b_9	9	25	180	430	180	6.30	0.81	6700.50	0.0035	31.33	27.42	0.0680	0.0060	0.0150	0.6000	0.0020	0.0080	0.0150
M4200E5_SS	SS	25	270	420	180	159.20	50.80	184603.25	0.0977	57.31	211.31	0.4695	0.0035	0.0109	0.3539	0.0020	0.0064	0.0109
M4200E5_1	1	25	280	420	180	142.51	44.77	164892.50	0.0872	55.00	188.81	0.4195	0.0044	0.0124	0.4421	0.0020	0.0069	0.0124
M4200E5_2	2	25	280	420	180	124.49	38.38	143681.85	0.0760	41.99	148.67	0.3303	0.0060	0.0150	0.5994	0.0020	0.0080	0.0150
M4200E5_3	3	25	280	420	180	106.58	32.10	122625.35	0.0649	31.82	115.55	0.2567	0.0060	0.0150	0.6000	0.0020	0.0080	0.0150
M4200E5_4	4	25	280	420	180	89.23	26.06	102258.90	0.0541	27.62	105.40	0.2342	0.0060	0.0150	0.6000	0.0020	0.0080	0.0150
M4200E5_5	5	25	280	420	180	71.74	19.95	81711.60	0.0432	23.08	84.16	0.1870	0.0060	0.0150	0.6000	0.0020	0.0080	0.0150
M4200E5_6	6	25	280	420	180	53.64	13.59	60434.80	0.0320	13.41	55.68	0.1237	0.0060	0.0150	0.6000	0.0020	0.0080	0.0150
M4200E5_7	7	25	280	420	180	34.94	7.29	38582.80	0.0204	5.65	29.13	0.0647	0.0060	0.0150	0.6000	0.0020	0.0080	0.0150
M4200E5_8	8	25	250	420	180	15.00	2.47	16229.10	0.0086	11.37	56.44	0.1254	0.0060	0.0150	0.6000	0.0020	0.0080	0.0150
M4200E5_9	9	25	180	420	180	5.83	0.96	6312.75	0.0033	8.52	29.66	0.0659	0.0060	0.0150	0.6000	0.0020	0.0080	0.0150
M4200E6a_SS	SS	25	270	420	180	270.44	84.33	312601.05	0.1654	33.40	267.27	0.5938	0.0026	0.0074	0.2564	0.0016	0.0043	0.0074
M4200E6a_1	1	25	280	420	180	241.80	74.44	279018.70	0.1476	32.17	315.39	0.7007	0.0027	0.0081	0.2682	0.0017	0.0047	0.0081
M4200E6a_2	2	25	280	420	180	209.90	63.66	241731.85	0.1279	36.48	295.68	0.6569	0.0028	0.0089	0.2814	0.0018	0.0053	0.0089
M4200E6a_3	3	25	280	420	180	177.25	52.80	203654.85	0.1078	45.45	280.72	0.6237	0.0029	0.0097	0.2948	0.0019	0.0058	0.0097
M4200E6a_4	4	25	280	420	180	146.13	42.45	167357.40	0.0885	55.93	307.69	0.6836	0.0030	0.0100	0.3000	0.0020	0.0060	0.0100
M4200E6a_5	5	25	280	420	180	113.06	31.22	128672.85	0.0681	59.45	262.89	0.5841	0.0030	0.0100	0.3000	0.0020	0.0060	0.0100
M4200E6a_6	6	25	280	420														

Tabla F.2: Parámetros rótulas muros de concreto armado según estándar ASCE
41-13 (Parte 2)

ID Rótula	Nivel	e [cm]	h_w [cm]	l_w [cm]	f'_c [kgf/cm ²]	CM [tonf]	CV [tonf]	P[kgf]	$\frac{(A_c - A_s) f'_c + P}{s_w s_w \sqrt{f'_c}}$	V_x [tonf]	V_y [tonf]	$\frac{V}{s_w s_w \sqrt{f'_c}}$	a [rad]	b [rad]	c	IO [rad]	LS [rad]	CP [rad]
M3100EC_SS	SS	25	270	310	180	80.89	18.01	89900.75	0.0644	365.01	32.71	1.0987	0.0030	0.0100	0.3000	0.0020	0.0060	0.0100
M3100EC_1	1	25	280	310	180	71.13	15.37	78818.50	0.0565	324.15	56.37	0.9757	0.0030	0.0100	0.3000	0.0020	0.0060	0.0100
M3100EC_2	2	25	280	310	180	62.61	13.57	69396.45	0.0497	233.96	60.55	0.7043	0.0030	0.0100	0.3000	0.0020	0.0060	0.0100
M3100EC_3	3	25	280	310	180	54.50	12.04	60518.75	0.0434	175.06	55.75	0.5270	0.0030	0.0100	0.3000	0.0020	0.0060	0.0100
M3100EC_4	4	25	280	310	180	45.63	10.20	50730.00	0.0364	177.17	48.12	0.5333	0.0030	0.0100	0.3000	0.0020	0.0060	0.0100
M3100EC_5	5	25	280	310	180	36.93	8.33	41099.80	0.0295	104.80	41.49	0.3155	0.0060	0.0150	0.6000	0.0020	0.0080	0.0150
M3100EC_6	6	25	280	310	180	29.57	6.93	33032.70	0.0237	61.68	34.72	0.1857	0.0060	0.0150	0.6000	0.0020	0.0080	0.0150
M3100EC_7	7	25	280	310	180	22.41	5.61	25211.65	0.0181	58.46	29.54	0.1760	0.0060	0.0150	0.6000	0.0020	0.0080	0.0150
M3100EC_8	8	25	250	310	180	12.58	5.05	15105.95	0.0108	21.96	62.70	0.1888	0.0060	0.0150	0.6000	0.0020	0.0080	0.0150
M3100EC_9	9	25	180	310	180	4.99	0.92	5452.15	0.0039	98.53	47.04	0.2966	0.0060	0.0150	0.6000	0.0020	0.0080	0.0150
M2500E11_SS	SS	25	270	250	180	131.31	40.58	151597.95	0.1348	72.16	228.09	0.8514	0.0028	0.0086	0.2768	0.0018	0.0051	0.0086
M2500E11_1	1	25	280	250	180	119.70	37.53	138466.30	0.1231	73.53	177.79	0.6636	0.0028	0.0091	0.2846	0.0018	0.0054	0.0091
M2500E11_2	2	25	280	250	180	108.34	34.57	125620.20	0.1117	47.81	136.57	0.5098	0.0029	0.0095	0.2922	0.0019	0.0057	0.0095
M2500E11_3	3	25	280	250	180	93.64	30.13	108700.80	0.0966	35.76	106.87	0.3989	0.0048	0.0130	0.4784	0.0020	0.0072	0.0130
M2500E11_4	4	25	280	250	180	74.94	24.06	86968.40	0.0773	33.48	104.78	0.3911	0.0049	0.0132	0.4922	0.0020	0.0073	0.0132
M2500E11_5	5	25	280	250	180	53.33	16.72	61684.95	0.0548	21.92	67.21	0.2509	0.0060	0.0150	0.6000	0.0020	0.0080	0.0150
M2500E11_6	6	25	280	250	180	36.06	11.24	41675.35	0.0370	12.27	40.17	0.1499	0.0060	0.0150	0.6000	0.0020	0.0080	0.0150
M2500E11_7	7	25	280	250	180	13.16	3.60	14959.30	0.0133	17.51	34.89	0.1302	0.0060	0.0150	0.6000	0.0020	0.0080	0.0150
M1940E11_SS	SS	25	270	194	180	134.72	49.19	159311.05	0.1825	132.70	32.28	0.6383	0.0025	0.0067	0.2450	0.0015	0.0038	0.0067
M1940E1_1	1	25	280	194	180	120.83	43.79	142731.70	0.1635	89.15	60.83	0.5000	0.0026	0.0075	0.2577	0.0016	0.0043	0.0075
M1940E1_2	2	25	280	194	180	95.74	33.69	112581.65	0.1290	68.79	49.76	0.3299	0.0052	0.0131	0.5324	0.0018	0.0070	0.0131
M1940E1_3	3	25	280	194	180	74.94	25.43	87651.00	0.1004	54.51	39.87	0.2622	0.0060	0.0150	0.5991	0.0020	0.0080	0.0150
M1940E1_4	4	25	280	194	180	62.37	20.62	72684.90	0.0833	59.47	30.37	0.2861	0.0060	0.0150	0.6000	0.0020	0.0080	0.0150
M1940E1_5	5	25	280	194	180	57.25	19.30	66901.35	0.0766	38.72	20.28	0.1862	0.0060	0.0150	0.6000	0.0020	0.0080	0.0150
M1940E1_6	6	25	280	194	180	35.45	11.42	41154.95	0.0471	30.51	8.99	0.1468	0.0060	0.0150	0.6000	0.0020	0.0080	0.0150
M1940E1_7	7	25	280	194	180	19.82	6.09	22860.50	0.0262	13.07	13.91	0.0669	0.0060	0.0150	0.6000	0.0020	0.0080	0.0150
M750EG_SS	SS	25	270	75	180	42.93	11.87	48868.50	0.1448	16.45	3.52	0.2046	0.0048	0.0120	0.4955	0.0017	0.0065	0.0120
M750EG_1	1	25	280	75	180	37.80	10.42	43014.25	0.1274	15.76	10.14	0.1961	0.0053	0.0132	0.5360	0.0018	0.0071	0.0132
M750EG_2	2	25	280	75	180	31.65	8.58	35935.85	0.1065	18.23	13.02	0.2268	0.0058	0.0146	0.5849	0.0020	0.0078	0.0146
M750EG_3	3	25	280	75	180	25.89	6.92	29355.35	0.0870	18.83	14.10	0.2342	0.0060	0.0150	0.6000	0.0020	0.0080	0.0150
M750EG_4	4	25	280	75	180	20.46	5.35	23134.95	0.0685	20.22	14.13	0.2516	0.0060	0.0150	0.6000	0.0020	0.0080	0.0150
M750EG_5	5	25	280	75	180	15.36	3.91	17317.45	0.0513	17.37	12.97	0.2161	0.0060	0.0150	0.6000	0.0020	0.0080	0.0150
M750EG_6	6	25	280	75	180	10.54	2.57	11825.75	0.0350	15.44	11.57	0.1921	0.0060	0.0150	0.6000	0.0020	0.0080	0.0150
M750EG_7	7	25	280	75	180	5.96	1.32	6626.65	0.0196	11.69	9.63	0.1455	0.0060	0.0150	0.6000	0.0020	0.0080	0.0150
M750EG_8	8	25	250	75	180	1.79	0.22	1894.25	0.0056	17.35	12.51	0.2158	0.0060	0.0150	0.6000	0.0020	0.0080	0.0150
M1200EF_SS	SS	25	270	120	180	48.46	12.66	54793.45	0.0995	53.62	5.49	0.4170	0.0045	0.0124	0.4466	0.0020	0.0070	0.0124
M1200EF_1	1	25	280	120	180	43.47	11.30	49115.90	0.0910	47.44	7.60	0.3689	0.0053	0.0139	0.5313	0.0020	0.0075	0.0139
M1200EF_2	2	25	280	120	180	39.06	10.23	44175.00	0.0818	48.85	6.90	0.3799	0.0051	0.0135	0.5119	0.0020	0.0074	0.0135
M1200EF_3	3	25	280	120	180	34.41	9.05	38934.85	0.0721	48.90	6.86	0.3802	0.0051	0.0135	0.5113	0.0020	0.0074	0.0135
M1200EF_4	4	25	280	120	180	28.65	7.34	32319.40	0.0599	53.90	7.52	0.4191	0.0044	0.0124	0.4427	0.0020	0.0070	0.0124
M1200EF_5	5	25	280	120	180	22.71	5.54	25482.60	0.0472	44.61	7.13	0.3469	0.0057	0.0145	0.5702	0.0020	0.0078	0.0145
M1200EF_6	6	25	280	120	180	18.11	4.30	20262.60	0.0375	38.48	6.79	0.2992	0.0060	0.0150	0.6000	0.0020	0.0080	0.0150
M1200EF_7	7	25	280	120	180	14.56	3.23	16180.60	0.0300	27.60	6.13	0.2146	0.0060	0.0150	0.6000	0.0020	0.0080	0.0150
M1200EF_8	8	25	250	120	180	7.56	2.42	8772.20	0.0162	42.63	10.96	0.3315	0.0060	0.0150	0.5974	0.0020	0.0080	0.0150
M1200EF_9	9	25	180	120	180	4.16	1.17	4747.20	0.0088	32.32	3.37	0.2514	0.0060	0.0150	0.6000	0.0020	0.0080	0.0150
M600E1_SS	SS	25	270	60	180	46.15	12.97	52634.60	0.1949	13.68	3.54	0.2128	0.0035	0.0087	0.3785	0.0014	0.0048	0.0087
M600E1_1	1	25	280	60	180	39.52	11.14	45090.50	0.1670	17.26	9.74	0.2684	0.0042	0.0105	0.4437	0.0016	0.0058	0.0105
M600E1_2	2	25	280	60	180	31.29	8.51	35545.70	0.1317	17.76	12.20	0.2763	0.0052	0.0129	0.5261	0.0018	0.0069	0.0129
M600E1_3	3	25	280	60	180	29.08	8.05	33104.30	0.1226	16.77	13.58	0.2608	0.0054	0.0135	0.5472	0.0018	0.0072	0.0135
M600E1_4	4	25	280	60	180	17.76	4.85	20181.30	0.0747	16.44	14.72	0.2557	0.0060	0.0150	0.6000	0.0020	0.0080	0.0150
M600E1_5	5	25	280	60	180	13.88	3.73	15747.25	0.0583	13.78	14.01	0.2179	0.0060	0.0150	0.6000	0.0020	0.0080	0.0150
M600E1_6	6	25	280	60	180	9.31	2.41	10516.25	0.0389	11.11	12.14	0.1888	0.0060	0.0150	0.6000	0.0020	0.0080	0.0150
M600E1_7	7	25	280	60	180	4.23	1.01	4734.05	0.0175	7.53	9.79	0.1523	0.0060	0.0150	0.6000	0.0020	0.0080	0.0150
M750E5-1_SS	SS	25	270	75	180	19.26	4.24	21376.70	0.0633	1.20	11.10	0.1381	0.0060	0.0150	0.6000	0.0020	0.0080	0.0150
M750E5-1_1	1	25	280	75	180	16.30	3.20	17902.70	0.0530	1.96	15.53	0.1932	0.0060	0.0150	0.6000	0.0020	0.0080	0.0150
M750E5-1_2	2	25	280	75	180	15.07	3.11	16622.85	0.0493	1.79	17.00	0.2116	0.0060	0.0150	0.6000	0.0020	0.0080	0.0150
M750E5-1_3	3	25	280	75	180	13.77	3.04	15288.85	0.0453	1.80	16.88	0.2100	0.0060	0.0150	0.6000	0.0020	0.0080	0.0150
M750E5-1_4	4	25	280	75	180	11.41	2.51	12664.80	0.0375	1.90	16.44	0.2045	0.0060	0.0150	0.6000	0.0020	0.0080	0.0150
M750E5-1_5	5	25	280	75	180	9.12	1.94	10090.95	0.0299	2.00	14.04	0.1747	0.0060	0.0150	0.6000	0.0020	0.0080	0.0150
M750E5-1_6	6	25	280	75	180	8.24	1.86	9165.65	0.0272	2.24	11.51	0.1432	0.0060	0.0150	0.6000	0.0020	0.0080	0.0150
M750E5-1_7	7	25	280	75	180	8.33	1.85	9249.95	0.0274	2.37	9.25	0.1151	0.0060	0.0150	0.6000	0.0020	0.0080	0.0150
M750E5-1_8	8	25	250	75	180	4.33	2.28	5473.70	0.0162	2.57	7.13	0.0887	0.0060	0.0150	0.6000	0.0020	0.0080	0.01

F.2. Columnas de concreto armado

Tabla F.3: Parámetros rótulas columnas de concreto armado según estándar ASCE 41-13

ID Rótula	Nivel	b_w [cm]	h_c [cm]	H [cm]	Γ_c [kgf/cm ²]	CM [tonf]	CV [tonf]	P [kgf]	$\frac{P}{A_{gt}}$	V_x [tonf]	V_y [tonf]	$\frac{V}{b_w d \sqrt{f_c}}$	a [rad]	b [rad]	c	IO [rad]	LS [rad]	CP [rad]
C1150EE-E2_SS	SS	30	270	115	210	264.73	113.67	321565.70	0.4438	2.49	9.28	0.0581	0.0169	0.0256	0.0624	0.0036	0.0202	0.0256
C1150EE-E2_1	1	30	280	115	210	243.24	105.19	295836.90	0.4083	0.15	0.72	0.0045	0.0184	0.0292	0.0768	0.0038	0.0228	0.0292
C1150EE-E2_2	2	30	280	115	210	192.57	83.80	234468.60	0.3236	0.19	1.07	0.0067	0.0221	0.0376	0.1104	0.0041	0.0289	0.0376
C1150EE-E2_3	3	30	280	115	210	149.76	65.87	182690.25	0.2522	0.15	0.91	0.0057	0.0253	0.0448	0.1392	0.0044	0.0341	0.0448
C1150EE-E2_4	4	30	280	115	210	120.45	53.78	147337.65	0.2034	0.33	1.05	0.0066	0.0275	0.0497	0.1588	0.0046	0.0376	0.0497
C1150EE-E2_5	5	30	280	115	210	105.03	47.82	128941.25	0.1780	0.17	0.79	0.0050	0.0286	0.0522	0.1688	0.0047	0.0394	0.0522
C1150EE-E2_6	6	30	280	115	210	64.95	29.74	79819.45	0.1102	0.21	0.92	0.0058	0.0316	0.0590	0.1960	0.0050	0.0443	0.0590
C1150EE-E2_7	7	30	280	115	210	28.02	13.06	34551.45	0.0477	0.15	0.48	0.0030	0.0320	0.0600	0.2000	0.0050	0.0450	0.0600
C1150EB-E2_SS	SS	30	270	115	210	208.82	88.09	252867.45	0.3490	2.61	9.63	0.0603	0.0210	0.0351	0.1004	0.0040	0.0271	0.0351
C1150EB-E2_1	1	30	280	115	210	194.05	82.51	235306.75	0.3248	0.25	0.47	0.0029	0.0221	0.0375	0.1100	0.0041	0.0288	0.0375
C1150EB-E2_2	2	30	280	115	210	155.79	66.75	189162.55	0.2611	0.48	1.80	0.0113	0.0249	0.0439	0.1356	0.0044	0.0334	0.0439
C1150EB-E2_3	3	30	280	115	210	123.49	53.56	150273.30	0.2074	0.40	1.59	0.0099	0.0273	0.0493	0.1572	0.0046	0.0373	0.0493
C1150EB-E2_4	4	30	280	115	210	101.88	45.02	124392.20	0.1717	0.52	1.48	0.0093	0.0288	0.0528	0.1712	0.0047	0.0398	0.0528
C1150EB-E2_5	5	30	280	115	210	88.95	40.07	108980.65	0.1504	0.33	1.12	0.0070	0.0298	0.0550	0.1800	0.0048	0.0414	0.0550
C1150EB-E2_6	6	30	280	115	210	54.98	25.01	67480.80	0.0931	0.42	1.29	0.0081	0.0320	0.0600	0.2000	0.0050	0.0450	0.0600
C1150EB-E2_7	7	30	280	115	210	23.86	11.03	29375.35	0.0405	0.22	0.35	0.0022	0.0320	0.0600	0.2000	0.0050	0.0450	0.0600
C1150EE-E3_SS	SS	30	270	115	210	283.17	123.50	344923.70	0.4761	1.25	7.60	0.0476	0.0155	0.0224	0.0496	0.0035	0.0179	0.0224
C1150EE-E3_1	1	30	280	115	210	259.69	114.36	316869.15	0.4374	0.16	1.19	0.0075	0.0172	0.0263	0.0652	0.0037	0.0207	0.0263
C1150EE-E3_2	2	30	280	115	210	205.76	91.48	251499.00	0.3471	0.18	1.45	0.0091	0.0211	0.0353	0.1012	0.0040	0.0272	0.0353
C1150EE-E3_3	3	30	280	115	210	160.04	72.25	196158.65	0.2708	0.12	1.08	0.0068	0.0245	0.0429	0.1316	0.0043	0.0327	0.0429
C1150EE-E3_4	4	30	280	115	210	128.97	59.52	158732.50	0.2191	0.19	1.31	0.0082	0.0268	0.0481	0.1524	0.0045	0.0364	0.0481
C1150EE-E3_5	5	30	280	115	210	111.77	52.94	138240.50	0.1908	0.12	0.82	0.0051	0.0280	0.0509	0.1636	0.0046	0.0384	0.0509
C1150EE-E3_6	6	30	280	115	210	69.12	33.12	85677.00	0.1183	0.15	0.89	0.0056	0.0312	0.0582	0.1928	0.0049	0.0437	0.0582
C1150EE-E3_7	7	30	280	115	210	29.67	14.73	37034.15	0.0511	0.11	0.87	0.0054	0.0320	0.0600	0.2000	0.0050	0.0450	0.0600
C1150EB-E3_SS	SS	30	270	115	210	213.30	92.49	259544.50	0.3582	1.28	7.86	0.0492	0.0206	0.0342	0.0968	0.0040	0.0264	0.0342
C1150EB-E3_1	1	30	280	115	210	198.40	86.70	241749.95	0.3337	0.19	1.52	0.0095	0.0217	0.0366	0.1064	0.0041	0.0282	0.0366
C1150EB-E3_2	2	30	280	115	210	159.79	70.10	194838.85	0.2689	0.24	2.05	0.0129	0.0246	0.0431	0.1324	0.0043	0.0328	0.0431
C1150EB-E3_3	3	30	280	115	210	127.23	56.18	155319.35	0.2144	0.19	1.64	0.0103	0.0270	0.0486	0.1544	0.0045	0.0368	0.0486
C1150EB-E3_4	4	30	280	115	210	105.58	47.20	129182.65	0.1783	0.26	1.64	0.0103	0.0286	0.0522	0.1688	0.0047	0.0394	0.0522
C1150EB-E3_5	5	30	280	115	210	92.35	42.07	113379.35	0.1565	0.15	1.07	0.0067	0.0295	0.0544	0.1776	0.0048	0.0410	0.0544
C1150EB-E3_6	6	30	280	115	210	57.28	26.24	70399.90	0.0972	0.17	1.19	0.0074	0.0320	0.0600	0.2000	0.0050	0.0450	0.0600
C1150EB-E3_7	7	30	280	115	210	24.86	11.53	30622.55	0.0423	0.09	0.68	0.0042	0.0320	0.0600	0.2000	0.0050	0.0450	0.0600
C1150EE-E7_SS	SS	30	270	115	180	239.94	83.84	281861.50	0.4539	3.78	17.56	0.1187	0.0164	0.0246	0.0584	0.0036	0.0195	0.0246
C1150EE-E7_1	1	30	280	115	180	205.01	71.79	240900.55	0.3879	3.44	4.80	0.0324	0.0193	0.0312	0.0848	0.0038	0.0243	0.0312
C1150EE-E7_2	2	30	280	115	180	159.89	55.67	187720.40	0.3023	4.35	9.23	0.0624	0.0231	0.0398	0.1192	0.0042	0.0305	0.0398
C1150EE-E7_3	3	30	280	115	180	124.88	43.05	146404.90	0.2358	4.51	9.16	0.0619	0.0260	0.0464	0.1456	0.0045	0.0352	0.0464
C1150EE-E7_4	4	30	280	115	180	104.97	36.18	123061.50	0.1982	4.10	9.68	0.0655	0.0277	0.0502	0.1608	0.0046	0.0379	0.0502
C1150EE-E7_5	5	30	280	115	180	82.35	28.64	96672.85	0.1557	4.04	6.70	0.0453	0.0295	0.0544	0.1776	0.0048	0.0410	0.0544
C1150EE-E7_6	6	30	280	115	180	49.57	17.22	58174.05	0.0937	4.21	6.46	0.0437	0.0320	0.0600	0.2000	0.0050	0.0450	0.0600
C1150EE-E7_7	7	30	280	115	180	20.15	6.94	23619.00	0.0380	4.79	2.78	0.0324	0.0320	0.0600	0.2000	0.0050	0.0450	0.0600
C1150EB-E7_SS	SS	30	270	115	180	281.14	114.06	338172.05	0.5446	2.21	18.44	0.1247	0.0124	0.0155	0.0220	0.0032	0.0130	0.0155
C1150EB-E7_1	1	30	280	115	180	239.70	97.11	288258.05	0.4642	5.19	6.54	0.0442	0.0160	0.0236	0.0544	0.0035	0.0188	0.0236
C1150EB-E7_2	2	30	280	115	180	189.11	76.10	227159.20	0.3658	6.33	11.25	0.0761	0.0203	0.0334	0.0936	0.0039	0.0258	0.0334
C1150EB-E7_3	3	30	280	115	180	149.07	59.40	178772.10	0.2879	6.83	10.78	0.0729	0.0237	0.0412	0.1248	0.0042	0.0315	0.0412
C1150EB-E7_4	4	30	280	115	180	127.87	50.60	153170.55	0.2467	5.96	11.00	0.0744	0.0255	0.0453	0.1412	0.0044	0.0344	0.0453
C1150EB-E7_5	5	30	280	115	180	99.04	39.17	118620.40	0.1910	5.96	8.44	0.0571	0.0280	0.0509	0.1636	0.0046	0.0384	0.0509
C1150EB-E7_6	6	30	280	115	180	59.70	23.47	71437.40	0.1150	6.08	8.49	0.0574	0.0313	0.0585	0.1940	0.0049	0.0439	0.0585
C1150EB-E7_7	7	30	280	115	180	24.36	9.48	29097.15	0.0469	8.07	5.60	0.0545	0.0320	0.0600	0.2000	0.0050	0.0450	0.0600
C1150EE-E8_SS	SS	30	270	115	180	323.56	116.23	381675.25	0.6146	4.04	23.91	0.1617	0.0100	0.0100	0.0000	0.0030	0.0090	0.0100
C1150EE-E8_1	1	30	280	115	180	277.38	99.87	327320.00	0.5271	1.00	7.04	0.0476	0.0132	0.0173	0.0292	0.0033	0.0143	0.0173
C1150EE-E8_2	2	30	280	115	180	216.34	77.35	255013.25	0.4106	1.57	13.56	0.0917	0.0183	0.0289	0.0756	0.0038	0.0226	0.0289
C1150EE-E8_3	3	30	280	115	180	169.19	59.85	199113.10	0.3206	1.71	13.65	0.0923	0.0223	0.0379	0.1116	0.0041	0.0291	0.0379
C1150EE-E8_4	4	30	280	115	180	143.08	50.50	168333.25	0.2711	1.80	14.46	0.0978	0.0245	0.0429	0.1316	0.0043	0.0327	0.0429
C1150EE-E8_5	5	30	280	115	180	113.38	40.36	133563.30	0.2151	1.53	11.06	0.0748	0.0269	0.0485	0.1540	0.0045	0.0367	0.0485
C1150EE-E8_6	6	30	280	115	180	68.37	24.23	80479.45	0.1296	1.23	10.79	0.0729	0.0307	0.0570	0.1880	0.0049	0.0428	0.0570
C1150EE-E8_7	7	30	280	115	180	27.86	9.76	32745.50	0.0527	1.15	6.15	0.0416	0.0320	0.0600	0.2000	0.0050	0.0450	0.0600
C1150EB-E8_SS	SS	30	270	115	180	343.10	127.21	406702.05	0.6549	4.32	24.42	0.1651	0.0100	0.0100	0.0000	0.0030	0.0090	0.0100
C1150EB-E8_1	1	30	280	115	180	291.41	108.10	345456.85	0.5563	0.79	7.83	0.0529	0.0119	0.0144	0.0176	0.0032	0.0122	0.0144
C1150EB-E8_2	2	30	280	115	180	227.87	84.23	269983.45	0.4348	1.55	14.26	0.0964	0.0173	0.0265	0.0660	0.0037	0.0209	0.0265
C1150EB-E8_3	3	30	280	115	180	177.05	65.04	209573.10	0.3375	1.64	14.37	0.0972	0.0216	0.0363	0.1052	0.0041	0.0279	0.0363
C1150EB-E8_4	4	30	280	115	180	150.63	55.23	178245.20	0.2870	1.81	14.91	0.1008	0.0238	0.0413	0.1252	0.0043	0.0315	0.0413

Anexo G. Rótulas plásticas edificio reforzado

G.1. Muros de concreto armado

Tabla G.1: Parámetros rótulas muros de concreto armado según ASCE 41-13
(Parte 1)

ID Rótula	Nivel	e [cm]	h_w [cm]	l_w [cm]	f'_c [kgf/cm ²]	CM [tonf]	CV [tonf]	P[kgf]	$\frac{A_s - A_s^0}{A_s}$	V_s [tonf]	V_c [tonf]	$\frac{v}{v_{lim}}$	a [rad]	b [rad]	c	IO [rad]	LS [rad]	CP [rad]
M4200E1_SS	SS	25	270	420	210	133.30	37.17	151881.70	0.0689	74.56	300.54	0.6182	0.0030	0.0100	0.3000	0.0020	0.0060	0.0100
M4200E1_1	1	25	280	420	210	113.94	31.84	129855.30	0.0589	76.98	302.23	0.6217	0.0030	0.0100	0.3000	0.0020	0.0060	0.0100
M4200E1_2	2	25	280	420	210	99.69	28.04	113712.85	0.0516	64.82	247.75	0.5096	0.0030	0.0100	0.3000	0.0020	0.0060	0.0100
M4200E1_3	3	25	280	420	210	81.90	23.41	93603.50	0.0425	82.28	225.91	0.4647	0.0036	0.0110	0.3623	0.0020	0.0064	0.0110
M4200E1_4	4	25	280	420	210	65.31	18.06	74341.70	0.0337	83.09	219.81	0.4522	0.0038	0.0114	0.3844	0.0020	0.0066	0.0114
M4200E1_5	5	25	280	420	210	46.51	12.92	52962.75	0.0240	50.68	170.17	0.3500	0.0056	0.0144	0.5646	0.0020	0.0078	0.0144
M4200E1_6	6	25	280	420	210	32.67	9.16	37249.90	0.0169	29.90	99.54	0.2048	0.0060	0.0150	0.6000	0.0020	0.0080	0.0150
M4200E1_7	7	25	280	420	210	14.51	4.28	16650.40	0.0076	30.32	46.68	0.0960	0.0060	0.0150	0.6000	0.0020	0.0080	0.0150
M4300E1_SS	SS	25	270	430	210	143.53	39.34	163200.85	0.0723	78.55	317.56	0.6380	0.0030	0.0100	0.3000	0.0020	0.0060	0.0100
M4300E1_1	1	25	280	430	210	126.47	34.88	143905.20	0.0637	80.77	323.82	0.6506	0.0030	0.0100	0.3000	0.0020	0.0060	0.0100
M4300E1_2	2	25	280	430	210	110.02	30.54	125289.10	0.0555	66.73	264.64	0.5317	0.0030	0.0100	0.3000	0.0020	0.0060	0.0100
M4300E1_3	3	25	280	430	210	92.62	26.10	105672.90	0.0468	85.97	242.43	0.4871	0.0032	0.0104	0.3228	0.0020	0.0062	0.0104
M4300E1_4	4	25	280	430	210	70.24	19.10	79789.75	0.0353	84.50	234.88	0.4719	0.0035	0.0108	0.3496	0.0020	0.0063	0.0108
M4300E1_5	5	25	280	430	210	51.42	13.99	58420.85	0.0259	52.75	180.96	0.3636	0.0054	0.0140	0.5407	0.0020	0.0076	0.0140
M4300E1_6	6	25	280	430	210	34.23	9.49	38971.60	0.0173	34.69	106.13	0.2132	0.0060	0.0150	0.6000	0.0020	0.0080	0.0150
M4300E1_7	7	25	280	430	210	16.94	4.65	19267.50	0.0085	34.78	50.58	0.1016	0.0060	0.0150	0.6000	0.0020	0.0080	0.0150
M4200E4a_SS	SS	25	270	420	210	147.31	42.43	168526.35	0.0764	30.89	160.22	0.3296	0.0060	0.0150	0.6000	0.0020	0.0080	0.0150
M4200E4a_1	1	25	280	420	210	134.19	40.65	154516.95	0.0701	26.34	143.93	0.2961	0.0060	0.0150	0.6000	0.0020	0.0080	0.0150
M4200E4a_2	2	25	280	420	210	101.64	28.45	115859.90	0.0525	21.54	114.00	0.2345	0.0060	0.0150	0.6000	0.0020	0.0080	0.0150
M4200E4a_3	3	25	280	420	210	84.54	23.44	96260.85	0.0437	18.22	95.59	0.1966	0.0060	0.0150	0.6000	0.0020	0.0080	0.0150
M4200E4a_4	4	25	280	420	210	65.13	16.37	73312.50	0.0332	17.06	94.85	0.1951	0.0060	0.0150	0.6000	0.0020	0.0080	0.0150
M4200E4a_5	5	25	280	420	210	48.81	12.39	57009.70	0.0240	15.87	82.17	0.1690	0.0060	0.0150	0.6000	0.0020	0.0080	0.0150
M4200E4a_6	6	25	280	420	210	35.86	9.87	40791.70	0.0185	11.97	56.21	0.1156	0.0060	0.0150	0.6000	0.0020	0.0080	0.0150
M4200E4a_7	7	25	280	420	210	19.83	6.38	23017.20	0.0104	10.22	34.35	0.0707	0.0060	0.0150	0.6000	0.0020	0.0080	0.0150
M4300E4a_SS	SS	25	270	430	210	108.35	27.47	122086.00	0.0541	42.14	210.65	0.4232	0.0044	0.0123	0.4355	0.0020	0.0069	0.0123
M4300E4a_1	1	25	280	430	210	99.86	26.63	113181.20	0.0501	56.26	263.22	0.5288	0.0030	0.0100	0.3000	0.0020	0.0060	0.0100
M4300E4a_2	2	25	280	430	210	82.41	21.40	93111.30	0.0412	59.94	256.75	0.5158	0.0030	0.0100	0.3000	0.0020	0.0060	0.0100
M4300E4a_3	3	25	280	430	210	69.42	18.20	78516.50	0.0348	66.38	236.91	0.4760	0.0034	0.0107	0.3424	0.0020	0.0063	0.0107
M4300E4a_4	4	25	280	430	210	55.00	14.13	62063.35	0.0275	61.89	224.16	0.4504	0.0039	0.0115	0.3876	0.0020	0.0066	0.0115
M4300E4a_5	5	25	280	430	210	46.43	13.19	53029.50	0.0235	45.66	190.52	0.3828	0.0051	0.0134	0.5069	0.0020	0.0074	0.0134
M4300E4a_6	6	25	280	430	210	28.51	7.69	32350.45	0.0143	35.36	140.22	0.2817	0.0060	0.0150	0.6000	0.0020	0.0080	0.0150
M4300E4a_7	7	25	280	430	210	15.04	4.33	17201.55	0.0076	29.47	95.25	0.1914	0.0060	0.0150	0.6000	0.0020	0.0080	0.0150
M4200E4b_SS	SS	25	270	420	180	166.70	46.29	189846.75	0.0995	39.32	201.55	0.4478	0.0039	0.0115	0.3921	0.0020	0.0066	0.0115
M4200E4b_1	1	25	280	420	180	146.38	39.38	166067.05	0.0879	32.34	173.05	0.3845	0.0050	0.0134	0.5038	0.0020	0.0074	0.0134
M4200E4b_2	2	25	280	420	180	134.23	37.68	153070.10	0.0810	25.47	128.66	0.2859	0.0060	0.0150	0.6000	0.0020	0.0080	0.0150
M4200E4b_3	3	25	280	420	180	112.99	31.57	128770.75	0.0681	21.65	102.99	0.2288	0.0060	0.0150	0.6000	0.0020	0.0080	0.0150
M4200E4b_4	4	25	280	420	180	97.19	28.56	114466.65	0.0590	19.49	100.15	0.2225	0.0060	0.0150	0.6000	0.0020	0.0080	0.0150
M4200E4b_5	5	25	280	420	180	64.86	16.16	72934.45	0.0386	18.47	82.71	0.1838	0.0060	0.0150	0.6000	0.0020	0.0080	0.0150
M4200E4b_6	6	25	280	420	180	50.27	13.03	56778.70	0.0300	16.72	55.07	0.1223	0.0060	0.0150	0.6000	0.0020	0.0080	0.0150
M4200E4b_7	7	25	280	420	180	27.62	4.99	30115.05	0.0159	14.54	26.35	0.0585	0.0060	0.0150	0.6000	0.0020	0.0080	0.0150
M4200E4b_8	8	25	250	420	180	14.76	2.02	15772.70	0.0083	7.14	13.57	0.0301	0.0060	0.0150	0.6000	0.0020	0.0080	0.0150
M4200E4b_9	9	25	180	420	180	5.18	0.66	5508.20	0.0029	7.14	22.56	0.0501	0.0060	0.0150	0.6000	0.0020	0.0080	0.0150
M4300E4b_SS	SS	25	270	430	180	136.21	34.56	153485.50	0.0793	54.60	270.00	0.5859	0.0030	0.0100	0.3000	0.0020	0.0060	0.0100
M4300E4b_1	1	25	280	430	180	125.19	33.10	141736.50	0.0732	69.77	324.41	0.7040	0.0030	0.0100	0.3000	0.0020	0.0060	0.0100
M4300E4b_2	2	25	280	430	180	105.32	27.44	119043.10	0.0615	74.40	312.55	0.6783	0.0030	0.0100	0.3000	0.0020	0.0060	0.0100
M4300E4b_3	3	25	280	430	180	88.89	23.36	100564.80	0.0520	79.92	283.28	0.6147	0.0030	0.0100	0.3000	0.0020	0.0060	0.0100
M4300E4b_4	4	25	280	430	180	71.42	18.62	80726.25	0.0417	73.67	261.63	0.5678	0.0030	0.0100	0.3000	0.0020	0.0060	0.0100
M4300E4b_5	5	25	280	430	180	58.84	16.49	67086.30	0.0347	55.23	215.73	0.4682	0.0036	0.0109	0.3562	0.0020	0.0064	0.0109
M4300E4b_6	6	25	280	430	180	38.47	10.55	43745.95	0.0226	42.18	150.95	0.3276	0.0060	0.0150	0.6000	0.0020	0.0080	0.0150
M4300E4b_7	7	25	280	430	180	22.52	6.59	25816.35	0.0133	33.23	91.23	0.1980	0.0060	0.0150	0.6000	0.0020	0.0080	0.0150
M4300E4b_8	8	25	250	430	180	8.95	3.12	10515.60	0.0054	15.01	62.59	0.1358	0.0060	0.0150	0.6000	0.0020	0.0080	0.0150
M4300E4b_9	9	25	180	430	180	3.19	-0.27	3057.15	0.0016	8.68	22.99	0.0499	0.0060	0.0150	0.6000	0.0020	0.0080	0.0150
M4200E5_SS	SS	25	270	420	180	166.18	50.97	191662.00	0.0999	50.80	199.96	0.4443	0.0040	0.0116	0.3983	0.0020	0.0067	0.0116
M4200E5_1	1	25	280	420	180	148.48	44.84	170904.20	0.0904	54.01	190.24	0.4227	0.0044	0.0123	0.4365	0.0020	0.0069	0.0123
M4200E5_2	2	25	280	420	180	129.77	38.46	148996.35	0.0788	42.22	149.92	0.3331	0.0059	0.0149	0.5946	0.0020	0.0080	0.0149
M4200E5_3	3	25	280	420	180	111.08	32.17	127164.00	0.0673	34.02	120.06	0.2667	0.0060	0.0150	0.6000	0.0020	0.0080	0.0150
M4200E5_4	4	25	280	420	180	92.85	26.08	105883.05	0.0560	31.40	114.38	0.2541	0.0060	0.0150	0.6000	0.0020	0.0080	0.0150
M4200E5_5	5	25	280	420	180	74.41	19.89	84352.95	0.0446	28.30	94.67	0.2103	0.0060	0.0150	0.6000	0.0020	0.0080	0.0150
M4200E5_6	6	25	280	420	180	55.50	13.48	62239.40	0.0329	18.46	63.47	0.1410	0.0060	0.0150	0.6000	0.0020	0.0080	0.0150
M4200E5_7	7	25	280	420	180	36.02	7.15	39593.00	0.0209	10.33	32.08	0.0713	0.0060	0.0150	0.6000	0.0020	0.0080	0.0150
M4200E5_8	8	25	250	420	180	15.57	2.40	16775.80	0.00									

Tabla G.2: Parámetros rótulas muros de concreto armado según estándar ASCE 41-13 (Parte 2)

ID Rótula	Nivel	e [cm]	h_w [cm]	l_w [cm]	f'_c [kgf/cm ²]	CM [tonf]	CV [tonf]	P[kgf]	$\frac{(A_c - A_s) f'_c + P}{s_w \sqrt{f'_c}}$	V_x [tonf]	V_y [tonf]	$\frac{V}{s_w \sqrt{f'_c}}$	a [rad]	b [rad]	c	IO [rad]	LS [rad]	CP [rad]
M2500E11_SS	SS	25	270	250	180	72.58	18.99	82075.90	0.0730	71.76	146.04	0.5451	0.0030	0.0100	0.3000	0.0020	0.0060	0.0100
M2500E11_1	1	25	280	250	180	64.13	16.92	72590.10	0.0645	61.41	104.54	0.3902	0.0049	0.0132	0.4938	0.0020	0.0073	0.0132
M2500E11_2	2	25	280	250	180	55.67	14.75	63049.60	0.0560	40.08	66.30	0.2475	0.0060	0.0150	0.6000	0.0020	0.0080	0.0150
M2500E11_3	3	25	280	250	180	47.13	12.53	53391.30	0.0475	30.69	48.21	0.1800	0.0060	0.0150	0.6000	0.0020	0.0080	0.0150
M2500E11_4	4	25	280	250	180	37.56	9.88	42503.10	0.0378	29.14	45.74	0.1707	0.0060	0.0150	0.6000	0.0020	0.0080	0.0150
M2500E11_5	5	25	280	250	180	28.32	7.45	32047.45	0.0285	27.83	46.70	0.1743	0.0060	0.0150	0.6000	0.0020	0.0080	0.0150
M2500E11_6	6	25	280	250	180	18.88	4.86	21308.20	0.0189	12.94	25.12	0.0938	0.0060	0.0150	0.6000	0.0020	0.0080	0.0150
M2500E11_7	7	25	280	250	180	8.26	1.96	9236.60	0.0082	7.07	14.00	0.0523	0.0060	0.0150	0.6000	0.0020	0.0080	0.0150
M1940ED_SS	SS	25	270	194	180	66.82	20.02	76835.70	0.0880	88.91	25.04	0.4277	0.0043	0.0121	0.4277	0.0020	0.0069	0.0121
M1940ED_1	1	25	280	194	180	56.93	16.47	65168.90	0.0746	57.75	34.25	0.2778	0.0060	0.0150	0.6000	0.0020	0.0080	0.0150
M1940ED_2	2	25	280	194	180	48.37	13.84	55289.65	0.0633	35.17	25.84	0.1692	0.0060	0.0150	0.6000	0.0020	0.0080	0.0150
M1940ED_3	3	25	280	194	180	39.76	11.21	45363.00	0.0520	16.38	18.67	0.0898	0.0060	0.0150	0.6000	0.0020	0.0080	0.0150
M1940ED_4	4	25	280	194	180	32.11	8.99	36603.95	0.0419	47.79	14.65	0.2299	0.0060	0.0150	0.6000	0.0020	0.0080	0.0150
M1940ED_5	5	25	280	194	180	23.13	5.97	26112.00	0.0299	22.90	12.43	0.1101	0.0060	0.0150	0.6000	0.0020	0.0080	0.0150
M1940ED_6	6	25	280	194	180	15.19	3.63	17000.30	0.0195	23.88	8.22	0.1149	0.0060	0.0150	0.6000	0.0020	0.0080	0.0150
M1940ED_7	7	25	280	194	180	8.30	1.55	9082.20	0.0104	14.35	5.52	0.0690	0.0060	0.0150	0.6000	0.0020	0.0080	0.0150
M750EG_SS	SS	25	270	75	180	53.82	15.81	61728.90	0.1829	8.06	3.48	0.1003	0.0038	0.0095	0.4066	0.0014	0.0052	0.0095
M750EG_1	1	25	280	75	180	48.74	14.44	55959.10	0.1388	3.51	4.61	0.0573	0.0050	0.0124	0.5095	0.0017	0.0067	0.0124
M750EG_2	2	25	280	75	180	42.08	12.45	48308.30	0.1351	4.07	5.77	0.0718	0.0051	0.0127	0.5180	0.0018	0.0068	0.0127
M750EG_3	3	25	280	75	180	35.23	10.40	40428.30	0.1198	2.65	6.58	0.0818	0.0055	0.0137	0.5538	0.0019	0.0073	0.0137
M750EG_4	4	25	280	75	180	28.41	8.35	32586.40	0.0966	6.44	7.17	0.0892	0.0060	0.0150	0.6000	0.0020	0.0080	0.0150
M750EG_5	5	25	280	75	180	21.64	6.30	24787.20	0.0734	3.82	7.58	0.0943	0.0060	0.0150	0.6000	0.0020	0.0080	0.0150
M750EG_6	6	25	280	75	180	15.09	4.35	17261.35	0.0511	5.15	7.35	0.0915	0.0060	0.0150	0.6000	0.0020	0.0080	0.0150
M750EG_7	7	25	280	75	180	8.67	2.44	9887.55	0.0293	1.65	6.92	0.0861	0.0060	0.0150	0.6000	0.0020	0.0080	0.0150
M750EG_8	8	25	250	75	180	3.06	0.81	3469.55	0.0103	6.40	10.91	0.1357	0.0060	0.0150	0.6000	0.0020	0.0080	0.0150
M1200EF_SS	SS	25	270	120	180	50.83	14.70	58179.15	0.1077	31.08	13.38	0.2417	0.0058	0.0145	0.5819	0.0019	0.0077	0.0145
M1200EF_1	1	25	280	120	180	44.95	12.88	51388.80	0.0952	17.34	17.81	0.1385	0.0060	0.0150	0.6000	0.0020	0.0080	0.0150
M1200EF_2	2	25	280	120	180	39.77	11.32	45432.95	0.0841	12.49	16.18	0.1258	0.0060	0.0150	0.6000	0.0020	0.0080	0.0150
M1200EF_3	3	25	280	120	180	34.46	9.65	39282.40	0.0727	6.73	14.61	0.1136	0.0060	0.0150	0.6000	0.0020	0.0080	0.0150
M1200EF_4	4	25	280	120	180	28.67	7.77	32557.65	0.0603	19.75	14.32	0.1536	0.0060	0.0150	0.6000	0.0020	0.0080	0.0150
M1200EF_5	5	25	280	120	180	22.97	5.94	25939.05	0.0480	10.76	13.17	0.1024	0.0060	0.0150	0.6000	0.0020	0.0080	0.0150
M1200EF_6	6	25	280	120	180	17.77	4.36	19945.10	0.0369	12.16	10.12	0.0945	0.0060	0.0150	0.6000	0.0020	0.0080	0.0150
M1200EF_7	7	25	280	120	180	13.11	2.68	14446.30	0.0268	5.13	7.96	0.0619	0.0060	0.0150	0.6000	0.0020	0.0080	0.0150
M1200EF_8	8	25	250	120	180	4.72	1.48	5456.50	0.0101	11.36	13.77	0.1070	0.0060	0.0150	0.6000	0.0020	0.0080	0.0150
M1200EF_9	9	25	180	120	180	2.03	0.52	2289.90	0.0042	8.74	6.38	0.0680	0.0060	0.0150	0.6000	0.0020	0.0080	0.0150
M600EL_SS	SS	25	270	60	180	40.26	11.51	46010.30	0.1704	9.03	4.95	0.1405	0.0041	0.0103	0.4357	0.0015	0.0057	0.0103
M600EL_1	1	25	280	60	180	38.18	10.89	43620.45	0.1616	9.24	8.95	0.1437	0.0044	0.0109	0.4564	0.0016	0.0059	0.0109
M600EL_2	2	25	280	60	180	28.58	7.81	32482.15	0.1203	7.29	9.68	0.1506	0.0055	0.0136	0.5526	0.0019	0.0073	0.0136
M600EL_3	3	25	280	60	180	30.91	8.52	35169.10	0.1303	5.44	9.11	0.1417	0.0052	0.0130	0.5294	0.0018	0.0070	0.0130
M600EL_4	4	25	280	60	180	16.71	4.45	18934.90	0.0701	8.00	9.17	0.1427	0.0060	0.0150	0.6000	0.0020	0.0080	0.0150
M600EL_5	5	25	280	60	180	12.83	3.29	14472.25	0.0536	6.01	9.41	0.1464	0.0060	0.0150	0.6000	0.0020	0.0080	0.0150
M600EL_6	6	25	280	60	180	9.30	2.37	10489.20	0.0388	4.58	8.21	0.1277	0.0060	0.0150	0.6000	0.0020	0.0080	0.0150
M600EL_7	7	25	280	60	180	5.00	1.31	5654.25	0.0209	1.85	6.99	0.1088	0.0060	0.0150	0.6000	0.0020	0.0080	0.0150
M600EL_8	8	25	250	60	180	1.75	0.12	1812.25	0.0067	2.68	8.08	0.1257	0.0060	0.0150	0.6000	0.0020	0.0080	0.0150
M750ES-1_SS	SS	25	270	75	180	24.82	6.78	28210.75	0.0836	2.18	9.36	0.1165	0.0060	0.0150	0.6000	0.0020	0.0080	0.0150
M750ES-1_1	1	25	280	75	180	20.27	4.88	22711.90	0.0673	3.21	10.89	0.1354	0.0060	0.0150	0.6000	0.0020	0.0080	0.0150
M750ES-1_2	2	25	280	75	180	19.30	4.86	21732.95	0.0644	4.00	11.17	0.1390	0.0060	0.0150	0.6000	0.0020	0.0080	0.0150
M750ES-1_3	3	25	280	75	180	16.98	4.26	19106.90	0.0566	4.85	11.39	0.1417	0.0060	0.0150	0.6000	0.0020	0.0080	0.0150
M750ES-1_4	4	25	280	75	180	14.67	3.76	16549.25	0.0490	5.06	11.79	0.1467	0.0060	0.0150	0.6000	0.0020	0.0080	0.0150
M750ES-1_5	5	25	280	75	180	10.66	2.26	11784.50	0.0349	4.98	11.48	0.1429	0.0060	0.0150	0.6000	0.0020	0.0080	0.0150
M750ES-1_6	6	25	280	75	180	9.96	2.39	11158.55	0.0331	5.14	11.05	0.1375	0.0060	0.0150	0.6000	0.0020	0.0080	0.0150
M750ES-1_7	7	25	280	75	180	7.83	1.71	8687.60	0.0257	5.14	10.73	0.1335	0.0060	0.0150	0.6000	0.0020	0.0080	0.0150
M750ES-1_8	8	25	250	75	180	3.69	2.22	4804.00	0.0142	5.40	11.58	0.1441	0.0060	0.0150	0.6000	0.0020	0.0080	0.0150
M750ES-1_9	9	25	180	75	180	1.37	0.18	1458.65	0.0043	8.80	19.13	0.2380	0.0060	0.0150	0.6000	0.0020	0.0080	0.0150
M750ES-2_SS	SS	25	270	75	180	17.74	4.16	19825.30	0.0587	3.13	9.29	0.1156	0.0060	0.0150	0.6000	0.0020	0.0080	0.0150
M750ES-2_1	1	25	280	75	180	15.67	3.58	17458.95	0.0517	4.84	10.69	0.1330	0.0060	0.0150	0.6000	0.0020	0.0080	0.0150
M750ES-2_2	2	25	280	75	180	14.49	3.47	16221.95	0.0481	5.49	11.00	0.1369	0.0060	0.0150	0.6000	0.0020	0.0080	0.0150
M750ES-2_3	3	25	280	75	180	12.82	3.12	14380.85	0.0426	6.13	11.25	0.1400	0.0060	0.0150	0.6000	0.0020	0.0080	0.0150
M750ES-2_4	4	25	280	75	180	11.56	2.91	13008.65	0.0385	6.34	11.62	0.1446	0.0060	0.0150	0.6000	0.0020	0.0080	0.0150
M750ES-2_5	5	25	280	75	180	9.33	2.28	10471.25	0.0310	5.87	11.45	0.1424	0.0060	0.0150	0.6000	0.0020	0.0080	0.0150
M750ES-2_6	6	25	280	75	180	8.43	2.24	9544.85	0.0283	5.30	11.22	0.1396	0.0060	0.0150	0.6000	0.0020	0.0080	0.0150
M750ES-2_7	7	25	280	75	180	6.70	1.81	7608.25	0.0225	4.83	10.96	0.1364	0.0060	0.0150	0.6000	0.0020	0.0080	0.0150
M750ES-2_8	8	25	250	75	180	3.64	2.22	4750.75	0.0141	5.06								

G.2. Columnas de concreto armado

Tabla G.3: Parámetros rótulas columnas de concreto armado según estándar ASCE 41-13

ID Rótula	Nivel	b_w [cm]	h_c [cm]	H [cm]	Γ_c [kgf/cm ²]	CM [tonf]	CV [tonf]	P [kgf]	$\frac{P}{A_g f_c}$	V_x [tonf]	V_y [tonf]	$\frac{V}{b_w d \sqrt{f_c}}$	a [rad]	b [rad]	c	IO [rad]	LS [rad]	CP [rad]
C1150EE-E2_SS	SS	30	270	115	210	182.57	78.50	221818.50	0.3062	3.42	16.11	0.1008	0.0229	0.0394	0.1176	0.0042	0.0302	0.0394
C1150EE-E2_1	1	30	280	115	210	170.15	73.67	206980.40	0.2857	0.79	3.54	0.0221	0.0238	0.0414	0.1256	0.0043	0.0316	0.0414
C1150EE-E2_2	2	30	280	115	210	132.45	57.90	161401.30	0.2228	0.96	4.99	0.0312	0.0266	0.0477	0.1508	0.0045	0.0361	0.0477
C1150EE-E2_3	3	30	280	115	210	102.25	45.08	124789.70	0.1722	0.97	5.04	0.0316	0.0288	0.0528	0.1712	0.0047	0.0398	0.0528
C1150EE-E2_4	4	30	280	115	210	82.94	37.52	101697.60	0.1404	0.88	4.67	0.0292	0.0302	0.0560	0.1840	0.0048	0.0421	0.0560
C1150EE-E2_5	5	30	280	115	210	74.26	34.29	91409.25	0.1262	1.01	4.77	0.0299	0.0309	0.0574	0.1896	0.0049	0.0431	0.0574
C1150EE-E2_6	6	30	280	115	210	46.98	21.98	57965.85	0.0800	0.72	3.81	0.0239	0.0320	0.0600	0.2000	0.0050	0.0450	0.0600
C1150EE-E2_7	7	30	280	115	210	19.79	9.36	24467.05	0.0338	0.60	3.08	0.0193	0.0320	0.0600	0.2000	0.0050	0.0450	0.0600
C1150EB-E2_SS	SS	30	270	115	210	173.99	72.60	210289.75	0.2903	3.45	16.16	0.1012	0.0236	0.0410	0.1240	0.0042	0.0313	0.0410
C1150EB-E2_1	1	30	280	115	210	161.03	67.78	194922.55	0.2690	1.19	3.76	0.0236	0.0246	0.0431	0.1324	0.0043	0.0328	0.0431
C1150EB-E2_2	2	30	280	115	210	127.14	54.02	154143.35	0.2128	1.59	5.42	0.0340	0.0244	0.0428	0.1313	0.0043	0.0326	0.0428
C1150EB-E2_3	3	30	280	115	210	99.21	42.64	120532.40	0.1664	1.62	5.26	0.0329	0.0291	0.0534	0.1736	0.0047	0.0402	0.0534
C1150EB-E2_4	4	30	280	115	210	80.66	35.62	98475.00	0.1359	1.35	4.64	0.0290	0.0304	0.0564	0.1856	0.0049	0.0424	0.0564
C1150EB-E2_5	5	30	280	115	210	70.40	31.79	86297.65	0.1191	1.75	4.68	0.0293	0.0312	0.0581	0.1924	0.0049	0.0436	0.0581
C1150EB-E2_6	6	30	280	115	210	43.59	20.00	53587.60	0.0740	1.58	3.94	0.0247	0.0320	0.0600	0.2000	0.0050	0.0450	0.0600
C1150EB-E2_7	7	30	280	115	210	19.01	8.79	23411.15	0.0323	2.07	3.18	0.0199	0.0320	0.0600	0.2000	0.0050	0.0450	0.0600
C1150EE-E3_SS	SS	30	270	115	210	194.35	85.28	236993.55	0.3271	2.15	12.59	0.0788	0.0220	0.0373	0.1092	0.0041	0.0287	0.0373
C1150EE-E3_1	1	30	280	115	210	181.24	80.31	221397.20	0.3056	1.28	2.68	0.0168	0.0229	0.0394	0.1176	0.0042	0.0302	0.0394
C1150EE-E3_2	2	30	280	115	210	141.26	63.48	172999.45	0.2388	1.42	4.00	0.0250	0.0259	0.0461	0.1444	0.0044	0.0350	0.0461
C1150EE-E3_3	3	30	280	115	210	110.08	50.12	135138.35	0.1865	1.75	4.03	0.0252	0.0282	0.0513	0.1652	0.0047	0.0387	0.0513
C1150EE-E3_4	4	30	280	115	210	88.87	41.94	109844.60	0.1516	1.67	3.85	0.0241	0.0297	0.0548	0.1792	0.0048	0.0413	0.0548
C1150EE-E3_5	5	30	280	115	210	79.34	38.47	98574.65	0.1361	1.72	3.65	0.0229	0.0304	0.0564	0.1856	0.0049	0.0424	0.0564
C1150EE-E3_6	6	30	280	115	210	49.69	24.63	62003.05	0.0856	1.81	3.16	0.0198	0.0320	0.0600	0.2000	0.0050	0.0450	0.0600
C1150EE-E3_7	7	30	280	115	210	21.49	10.88	26930.60	0.0372	2.67	2.50	0.0167	0.0320	0.0600	0.2000	0.0050	0.0450	0.0600
C1150EB-E3_SS	SS	30	270	115	210	178.21	76.63	216526.05	0.2989	2.25	12.79	0.0801	0.0232	0.0401	0.1204	0.0042	0.0307	0.0401
C1150EB-E3_1	1	30	280	115	210	165.13	71.61	200936.60	0.2773	1.00	3.34	0.0209	0.0242	0.0423	0.1292	0.0043	0.0323	0.0423
C1150EB-E3_2	2	30	280	115	210	130.91	57.08	159447.60	0.2201	1.41	5.02	0.0314	0.0267	0.0480	0.1520	0.0045	0.0364	0.0480
C1150EB-E3_3	3	30	280	115	210	102.75	45.00	125250.95	0.1729	1.73	5.04	0.0315	0.0288	0.0527	0.1708	0.0047	0.0397	0.0527
C1150EB-E3_4	4	30	280	115	210	84.13	37.59	102920.70	0.1421	1.53	4.50	0.0282	0.0302	0.0558	0.1832	0.0048	0.0420	0.0558
C1150EB-E3_5	5	30	280	115	210	73.62	33.61	90421.05	0.1248	1.78	4.47	0.0280	0.0309	0.0575	0.1900	0.0049	0.0432	0.0575
C1150EB-E3_6	6	30	280	115	210	45.80	21.15	56370.30	0.0778	2.06	4.22	0.0264	0.0320	0.0600	0.2000	0.0050	0.0450	0.0600
C1150EB-E3_7	7	30	280	115	210	20.12	9.31	24778.80	0.0342	2.81	3.91	0.0245	0.0320	0.0600	0.2000	0.0050	0.0450	0.0600
C1150EE-E7_SS	SS	30	270	115	180	173.04	68.79	207439.75	0.3340	4.52	13.30	0.0899	0.0217	0.0366	0.1064	0.0041	0.0282	0.0366
C1150EE-E7_1	1	30	280	115	180	161.66	64.67	193996.15	0.3124	1.71	2.83	0.0191	0.0227	0.0388	0.1152	0.0042	0.0297	0.0388
C1150EE-E7_2	2	30	280	115	180	127.93	50.91	153382.00	0.2470	2.34	3.50	0.0237	0.0255	0.0453	0.1412	0.0044	0.0344	0.0453
C1150EE-E7_3	3	30	280	115	180	100.48	39.39	120171.00	0.1935	2.58	3.31	0.0224	0.0279	0.0506	0.1624	0.0046	0.0382	0.0506
C1150EE-E7_4	4	30	280	115	180	80.58	31.48	96320.30	0.1551	2.09	3.49	0.0236	0.0296	0.0545	0.1780	0.0048	0.0410	0.0545
C1150EE-E7_5	5	30	280	115	180	71.75	28.56	86028.75	0.1385	2.45	2.94	0.0199	0.0303	0.0561	0.1844	0.0048	0.0422	0.0561
C1150EE-E7_6	6	30	280	115	180	45.11	18.09	54155.60	0.0872	2.60	2.80	0.0189	0.0320	0.0600	0.2000	0.0050	0.0450	0.0600
C1150EE-E7_7	7	30	280	115	180	19.86	7.84	23784.10	0.0383	3.49	1.81	0.0236	0.0320	0.0600	0.2000	0.0050	0.0450	0.0600
C1150EB-E7_SS	SS	30	270	115	180	186.82	83.20	228418.80	0.3678	4.08	13.48	0.0911	0.0202	0.0332	0.0928	0.0039	0.0257	0.0332
C1150EB-E7_1	1	30	280	115	180	173.76	77.63	212575.40	0.3423	1.29	3.50	0.0237	0.0214	0.0358	0.1032	0.0040	0.0276	0.0358
C1150EB-E7_2	2	30	280	115	180	139.97	62.08	171012.30	0.2754	1.46	4.70	0.0318	0.0243	0.0425	0.1300	0.0043	0.0324	0.0425
C1150EB-E7_3	3	30	280	115	180	110.94	48.64	135256.25	0.2178	1.83	4.46	0.0302	0.0268	0.0482	0.1528	0.0045	0.0365	0.0482
C1150EB-E7_4	4	30	280	115	180	90.24	39.18	109828.20	0.1769	1.59	4.10	0.0277	0.0286	0.0523	0.1692	0.0047	0.0395	0.0523
C1150EB-E7_5	5	30	280	115	180	79.05	34.65	96379.40	0.1552	1.59	3.59	0.0243	0.0296	0.0545	0.1780	0.0048	0.0410	0.0545
C1150EB-E7_6	6	30	280	115	180	49.33	21.61	60137.35	0.0968	1.66	3.67	0.0248	0.0320	0.0600	0.2000	0.0050	0.0450	0.0600
C1150EB-E7_7	7	30	280	115	180	21.52	9.30	26174.85	0.0421	2.70	2.72	0.0184	0.0320	0.0600	0.2000	0.0050	0.0450	0.0600
C1150EE-E8_SS	SS	30	270	115	180	201.11	82.52	242366.45	0.3903	6.33	16.18	0.1094	0.0192	0.0310	0.0840	0.0038	0.0241	0.0310
C1150EE-E8_1	1	30	280	115	180	188.65	77.86	227579.30	0.3665	1.36	3.74	0.0253	0.0203	0.0334	0.0936	0.0039	0.0258	0.0334
C1150EE-E8_2	2	30	280	115	180	149.16	61.18	179745.25	0.2894	1.57	4.07	0.0275	0.0237	0.0411	0.1244	0.0042	0.0314	0.0411
C1150EE-E8_3	3	30	280	115	180	117.00	47.19	140596.55	0.2264	1.53	3.92	0.0265	0.0265	0.0474	0.1496	0.0045	0.0359	0.0474
C1150EE-E8_4	4	30	280	115	180	94.04	37.69	112888.25	0.1818	1.24	4.01	0.0271	0.0284	0.0518	0.1672	0.0047	0.0391	0.0518
C1150EE-E8_5	5	30	280	115	180	84.61	34.51	101860.65	0.1640	1.43	3.73	0.0252	0.0292	0.0536	0.1744	0.0047	0.0404	0.0536
C1150EE-E8_6	6	30	280	115	180	53.45	21.93	64411.95	0.1037	1.37	3.31	0.0224	0.0318	0.0596	0.1984	0.0050	0.0447	0.0596
C1150EE-E8_7	7	30	280	115	180	23.68	9.53	28447.90	0.0458	0.93	1.52	0.0103	0.0320	0.0600	0.2000	0.0050	0.0450	0.0600
C1150EB-E8_SS	SS	30	270	115	180	199.95	83.07	241482.20	0.3889	6.30	16.23	0.1098	0.0193	0.0311	0.0844	0.0038	0.0242	0.0311
C1150EB-E8_1	1	30	280	115	180	185.85	77.60	224651.30	0.3618	1.40	3.92	0.0265	0.0205	0.0338	0.0952	0.0040	0.0261	0.0338
C1150EB-E8_2	2	30	280	115	180	147.22	61.20	177817.45	0.2863	1.53	4.51	0.0305	0.0238	0.0414	0.1256	0.0043	0.0316	0.0414
C1150EB-E8_3	3	30	280	115	180	116.04	47.66	139873.85	0.2252	1.47	4.36	0.0295	0.0265	0.0475	0.1500	0.0045	0.0360	0.0475
C1150EB-E8_4	4	30	280	115	180	93.29	38.18	112373.90	0.1810	1.22	4.22	0.0285	0.0284	0.0519	0.1676	0.0047	0.0392	0.0519
C1150EB-E8_5	5	30	28															

Anexo H. Riostras de pandeo restringido

A continuación, se presentan los parámetros de la rótulas asociadas a los BRB's, cabe señalar que estos valores corresponden a la primera iteración y se calibrarán posteriormente.

Tabla H.1: Parámetros rótulas BRB's según estándar ASCE 41-13

ID HINGE	Ubicación	As [cm ²]	RyPysc [tonf]	Pnc [tonf]	Pnt [tonf]	E [kgf/cm ²]	L0 [cm]	K [kgf/cm]	Fy [kgf/cm ²]	Δy [cm]	a [cm]	b [cm]	c	IO [cm]	LS [cm]	CP [cm]
BRB1-A1-1	A1-1	93	306	413.8	387.2	2100000	645.3	514505	2530	0.5947	7.9101	7.9101	1.0000	1.7842	5.9475	7.9101
BRB2-A1-1		70	230.3	310.9	291	2100000	653.8	382227	2530	0.6025	8.0135	8.0135	1.0000	1.8076	6.0252	8.0135
BRB3-A1-1		36	118.5	159	149	2100000	653.8	196574	2530	0.6028	8.0176	8.0176	1.0000	1.8085	6.0283	8.0176
BRB4-A1-1		18	59.2	79.9	74.8	2100000	653.8	98287	2530	0.6023	8.0108	8.0108	1.0000	1.8070	6.0232	8.0108
BRB1-A1-3	A1-3	127	417.9	565.3	528.9	2100000	686.7	660245	2530	0.6329	8.4182	8.4182	1.0000	1.8988	6.3295	8.4182
BRB2-A1-3		137	450.8	610.1	570.7	2100000	694.7	704031	2530	0.6403	8.5162	8.5162	1.0000	1.9209	6.4031	8.5162
BRB3-A1-3		56	184.3	247.4	231.8	2100000	694.7	287779	2530	0.6404	8.5176	8.5176	1.0000	1.9213	6.4042	8.5176
BRB4-A1-3		21	69.1	93	87.1	2100000	694.7	107917	2530	0.6403	8.5161	8.5161	1.0000	1.9209	6.4031	8.5161
BRB1-A1-7	A1-7	138	545.1	613.2	573.9	2100000	701.2	702596	2530	0.7758	10.3186	10.3186	1.0000	2.3275	7.7584	10.3186
BRB2-A1-7		122	401.4	541.3	506.7	2100000	709.1	614215	2530	0.6535	8.6918	8.6918	1.0000	1.9606	6.5352	8.6918
BRB3-A1-7		48	157.9	211	198.2	2100000	709.1	241658	2530	0.6534	8.6902	8.6902	1.0000	1.9602	6.5340	8.6902
BRB4-A1-7		20	65.8	88.4	82.8	2100000	709.1	100691	2530	0.6535	8.6913	8.6913	1.0000	1.9605	6.5348	8.6913
BRB1-A1-8	A1-8	96	315.9	425.6	398.5	2100000	690.5	496336	2530	0.6365	8.4650	8.4650	1.0000	1.9094	6.3646	8.4650
BRB2-A1-8		106	348.8	470.2	440.2	2100000	698.5	541761	2530	0.6438	8.5629	8.5629	1.0000	1.9315	6.4383	8.5629
BRB3-A1-8		60	197.4	264.9	248.2	2100000	698.5	306657	2530	0.6437	8.5614	8.5614	1.0000	1.9311	6.4372	8.5614
BRB4-A1-8		22	72.4	97.2	91.1	2100000	698.5	112441	2530	0.6439	8.5638	8.5638	1.0000	1.9317	6.4389	8.5638
BRB1-F1-1	F1-1	95	312.6	422.8	395.6	2100000	645.3	525570	2530	0.5948	7.9106	7.9106	1.0000	1.7844	5.9478	7.9106
BRB2-F1-1		89	292.8	385.8	370.4	2100000	653.8	485974	2530	0.6025	8.0133	8.0133	1.0000	1.8075	6.0250	8.0133
BRB3-F1-1		43	141.5	190.1	178.1	2100000	653.8	234797	2530	0.6026	8.0152	8.0152	1.0000	1.8079	6.0265	8.0152
BRB4-F1-1		16	52.6	70.9	66.4	2100000	653.8	87366	2530	0.6021	8.0074	8.0074	1.0000	1.8062	6.0206	8.0074
BRB1-F1-2	F1-2	109	358.6	483.2	452.4	2100000	704.3	552506	2530	0.649	8.6323	8.6323	1.0000	1.9471	6.4904	8.6323
BRB2-F1-2		111	365.2	491.9	460.6	2100000	712.1	556481	2530	0.6563	8.7284	8.7284	1.0000	1.9688	6.5627	8.7284
BRB3-F1-2		52	171.1	229.2	214.8	2100000	712.1	260694	2530	0.6563	8.7291	8.7291	1.0000	1.9690	6.5633	8.7291
BRB4-F1-2		18	59.2	79.6	74.6	2100000	712.1	90240	2530	0.656	8.7252	8.7252	1.0000	1.9681	6.5603	8.7252
BRB1-F1-7	F1-7	115	378.4	510	477.4	2100000	701.2	585496	2530	0.6463	8.5956	8.5956	1.0000	1.9389	6.4629	8.5956
BRB2-F1-7		104	342.2	460.8	431.5	2100000	709.1	523593	2530	0.6536	8.6924	8.6924	1.0000	1.9607	6.5356	8.6924
BRB3-F1-7		46	151.4	202.7	190	2100000	709.1	231589	2530	0.6537	8.6948	8.6948	1.0000	1.9612	6.5374	8.6948
BRB4-F1-7		16	52.6	70.7	66.3	2100000	709.1	80553	2530	0.653	8.6847	8.6847	1.0000	1.9590	6.5299	8.6847
BRB1-F1-8	F1-8	102	335.6	452.3	423.5	2100000	690.5	527357	2530	0.6364	8.4639	8.4639	1.0000	1.9091	6.3638	8.4639
BRB2-F1-8		108	355.4	479.1	448.5	2100000	698.5	551983	2530	0.6439	8.5633	8.5633	1.0000	1.9316	6.4386	8.5633
BRB3-F1-8		54	177.7	238.2	223.2	2100000	698.5	275991	2530	0.6439	8.5633	8.5633	1.0000	1.9316	6.4386	8.5633
BRB4-F1-8		18	59.2	79.7	74.6	2100000	698.5	91997	2530	0.6435	8.5585	8.5585	1.0000	1.9305	6.4350	8.5585

La resistencia ajustada en compresión y tracción de las diagonales con pandeo restringido se determinan según las ecuaciones H.1 y H.2, respectivamente.

$$P_{nc} = \beta \cdot \omega \cdot R_y \cdot P_{ysc} \quad (H.1)$$

$$P_{nt} = \omega \cdot R_y \cdot P_{ysc} \quad (H.2)$$

Donde:

- P_{nc} : Resistencia ajustada a compresión de la diagonal con pandeo restringido, BRB.
- P_{nt} : Resistencia ajustada a tracción de la diagonal con pandeo restringido, BRB.
- β : Factor de ajuste para la resistencia a compresión.
- ω : Factor de ajuste al endurecimiento por deformación.
- $R_y = 1.3$: Factor de relación entre la tensión de fluencia esperada y mínima del acero, para planchas de acero de calidad ASTM A36, según normativa AISC 341.
- $P_{ysc} = A_s \cdot F_y$: Resistencia axial del núcleo de acero de las diagonales con pandeo restringido, BRB.
- A_s : Área del núcleo de acero de las diagonales con pandeo restringido, BRB.
- $F_y = 2530 \text{ kgf/cm}^2$: Tensión mínima nominal de fluencia del acero de calidad ASTM A36.

Anexo I. Convención de signos elementos tipo barras

La orientación predeterminada de los ejes locales para los objetos tipo barra es diferente para:

- **Objetos Verticales:**

- El eje local 1 está a lo largo del objeto. El eje local 1 positivo está en la misma dirección que el eje Z global positivo, hacia arriba.
- El eje local 2 es perpendicular al objeto. La proyección del eje local 2 positivo sobre el eje X global está en la misma dirección que el eje X global positivo.
- El eje local 3 es perpendicular al objeto. La dirección del eje local 3 positivo se determina aplicando la regla de la mano derecha utilizando las direcciones de los ejes 1 y 2 ya descritas.

- **Objetos Horizontales (Plano X-Y global):**

- El eje local 1 está a lo largo del objeto. La proyección del eje local 1 positivo sobre el eje X global está en la misma dirección que el eje X global positivo. Si el objeto es paralelo al eje Y global de modo que no hay proyección sobre el eje X global, la dirección positiva del eje local 1 es la misma que la dirección del eje Y global positivo.
- El eje local 2 es perpendicular al objeto. El eje local 2 positivo apunta en la misma dirección que el eje Z global, hacia arriba.
- El eje local 3 es perpendicular al objeto y es horizontal. La dirección del eje local 3 positivo se determina aplicando la regla de la mano derecha utilizando las direcciones de los ejes 1 y 2 ya descritas.

- **Otros:**

- El eje local 1 está a lo largo del objeto. El eje local 1 positivo tiene un sentido hacia arriba. La proyección del eje local 1 positivo sobre el eje Z global está en la misma dirección que el eje Z global positivo, hacia arriba.
- El eje local 2 es perpendicular al objeto de marco. El plano local 1-2 es vertical. El eje local 2 positivo tiene un sentido hacia arriba. La proyección del eje local 2 positivo sobre el eje Z global está en la misma dirección que el eje Z global positivo, hacia arriba.
- El eje local 3 es perpendicular al objeto y es horizontal. La dirección del eje local 3 positivo se determina aplicando la regla de la mano derecha utilizando las direcciones de los ejes 1 y 2 ya descritas.