

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL

**“Incremento del comportamiento estructural de edificación esencial
deficiente usando encamisado de vigas y columnas y análisis no lineal”**

Área de investigación:

Estructuras – Ingeniería Estructural

Autor:

Br. Rodolfo Julio Solano Loza

Jurado evaluador:

Presidente: López Otiniano, Stewart

Secretario: Salazar Perales, Alvaro

Vocal: Henríquez Ulloa, Paul

Asesor:

Ing. Enrique Luján Silva

Código Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-8960-8810>

TRUJILLO - PERÚ

2021

Fecha de sustentación: 25/11/2021

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL

**“Incremento del comportamiento estructural de edificación esencial
deficiente usando encamisado de vigas y columnas y análisis no lineal”**

Área de investigación:

Estructuras – Ingeniería Estructural

Autor:

Br. Rodolfo Julio Solano Loza

Jurado evaluador:

Presidente: López Otiniano, Stewart

Secretario: Salazar Perales, Alvaro

Vocal: Henríquez Ulloa, Paul

Asesor:

Ing. Enrique Luján Silva

Código Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-8960-8810>

TRUJILLO - PERÚ

2021

Fecha de sustentación: 25/11/2021

JURADO CALIFICADOR:

TESIS: INCREMENTO DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE EDIFICACIÓN ESENCIAL DEFICIENTE USANDO ENCAMISADO DE VIGAS Y COLUMNAS Y ANÁLISIS NO LINEAL

AUTOR:

Br. SOLANO LOZA, Rodolfo Julio



Ing. Stewart Lopez Otiniano
Presidente
CIP: 210125



Ing. Alvaro Salazar Perales
Secretario
CIP: 097281



Ing. Paul Henriquez Ulloa
Vocal
CIP: 118101



Ing. Enrique Lujan Silva
Asesor
CIP: 054460

DEDICATORIA

Esta tesis va dedicada a Salvador, mi hijo, quien ha sido mi mayor motivación para nunca rendirme y siempre esforzarme para lograr mis metas y poder llegar a ser un ejemplo para él.

En este logro y en todos los que vengan, siempre estarás presente.

A Cathy, mi compañera de vida, quien, desde hace años, ha sido un soporte incondicional para mí, siempre presente en los buenos y malos momentos, por tu gran ayuda y constante apoyo en la culminación de esta tesis y cada proyecto de mi vida.

A mis padres Julio y Carola, quienes a su manera, han sido pilar fundamental en mi formación, tanto personal como profesional. Gracias por su cariño, paciencia y comprensión.

A mi asesor, por el tiempo, dedicación y paciencia en la revisión y elaboración de este documento.

Br. Rodolfo Julio Solano Loza

AGRADECIMIENTO

Mi agradecimiento hacia la Universidad Privada Antenor Orrego por haberme aceptado ser parte de ella y poder haber estudiado tan hermosa carrera, así como también a los docentes que en su momento compartieron sus conocimientos y su apoyo para poder desarrollarme posteriormente en esta profesión.

A mi asesor de tesis, el ingeniero Enrique Lujan, por su gran paciencia y amabilidad con el proceso de desarrollo de la tesis; sin esa disponibilidad suya, pese a tener muchos otros compromisos, no hubiera sido posible la realización de este importante logro.

Quiero extender mi más sincero agradecimiento a mi familia nuclear, Cathy y Salvador, por ser siempre ese impulso en cada proyecto que se va desarrollando día a día, incluso cuando las cosas parecían desmoronarse, han sido siempre esa fuerza que me impide bajar los brazos y salir siempre adelante con la toda la intención de crecer y ser una mejor persona.

Así mismo, mi agradecimiento a mis padres que siempre han sido el más claro ejemplo de trabajo, esfuerzo y dedicación. De igual manera a mis hermanas por ser un gran ejemplo e inspiración desde pequeños.

Finalmente, gracias a todas esas personas y seres queridos que me apoyaron en la realización de la tesis, porque si ellos, este proyecto no habría sido posible

RESUMEN

La presente tesis de investigación detalla el análisis estructural de una institución educativa como lo es la facultad de Ingeniería Industrial de la Universidad Nacional de San Agustín, teniendo como pretensión principal aportar soluciones prácticas que permitan mejorar las deficiencias estructurales que se presentan usando el método del encamisado de columnas para reforzar la estructura, ya que, según la normativa sísmica del Perú, está catalogada como una edificación esencial y debería tener la capacidad de resistir plenamente un sismo de gran magnitud. En el proceso de la investigación, se llevaron a cabo inspecciones de campo y pruebas técnicas para evaluar el comportamiento sísmico de la estructura y poder plantear el reforzamiento adecuado para garantizar su operatividad durante y después de un eventual sismo. Los datos obtenidos son resueltos y desarrollados a través del programa de modelamiento ETABS, determinando entonces la vulnerabilidad de columnas y vigas y su exposición a sufrir daño mediante la presencia de un sismo severo. Para asegurar un mejor desempeño de las estructuras, se consideró más conveniente aplicar un análisis estático no lineal, ya que con este método se puede realizar la predicción y verificación del comportamiento en el rango inelástico estando ya diseñada la estructura, y de esta manera modelarla y determinar sus resultados mucho antes de un sismo. Finalmente, luego de haber realizado los análisis y estudios correspondientes, se pudo demostrar que la estructura presenta un comportamiento sísmico deficiente antes de ser reforzada. Luego, se determinó que la estructura, después de ser sometida al reforzamiento planteado basado en el encamisado de columnas, presenta un comportamiento estructural satisfactorio, superior al visto en el caso de la estructura sin reforzamiento.

ABSTRACT

This research thesis details the structural analysis of an educational institution such as the Faculty of Industrial Engineering of the National University of San Agustín, having as its main objective to provide practical solutions that allow to improve the structural deficiencies that are presented using the method of the cladding of columns to reinforce the structure, since, according to the seismic regulations of Peru, it is classified as an essential building and should have the capacity to fully resist an earthquake of great magnitude. In the process of the investigation, field inspections and technical tests were carried out to evaluate the seismic behavior of the structure in order to propose the appropriate reinforcement to guarantee its operation during and after an eventual earthquake. The data obtained are resolved and developed through the ETABS modeling program, then determining the vulnerability of columns and beams and their exposure to damage due to the presence of a severe earthquake. To ensure a better performance of the structures, it was considered more convenient to apply a nonlinear static analysis, since with this method the prediction and verification of the behavior in the inelastic range can be carried out with the structure already designed, and in this way, model and determine results long before an earthquake. Finally, after having carried out the corresponding analyzes and studies, it was possible to demonstrate that the structure has poor seismic behavior before being reinforced. Then, it was determined that the structure, due to the proposed reinforcement based on the cladding of columns, presents a satisfactory structural behavior, superior to the other case of the structure without reinforcement.

TABLA DE CONTENIDO

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	3
1.1 PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	3
1.1.1 Realidad problemática	3
1.1.2 Enunciado del problema	5
1.2 OBJETIVOS	6
1.2.1 Objetivo general.....	6
1.2.2 Objetivo específico	6
1.3 JUSTIFICACIÓN.....	6
1.3.1 Importancia del estudio.....	6
1.3.2 Justificación de estudio.....	7
CAPÍTULO II: MARCO DE REFERENCIA	7
2.1. ANTECEDENTES.....	7
2.2. MARCO TEÓRICO	12
2.3. MARCO CONCEPTUAL.....	15
2.4. SISTEMA DE HIPÓTESIS	18
2.4.1. Hipótesis general.....	18
2.4.2. Hipótesis específicas.....	18
2.5. VARIABLES.....	19
2.5.1. Identificación de la variable independiente	19
2.5.2. Identificación de la variable dependiente	19
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA EMPLEADA.....	20
3.1. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN.....	20
3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA DE ESTUDIO.....	20
3.2.1. Población.....	20
3.2.2. Muestra.....	21
3.3. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	21
3.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN	22
3.4.1. Instrumentos de recolección de datos.....	22
3.5. PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS	23
3.5.1. Procedimientos para la recolección de datos	23
3.5.2. Técnicas de procesamiento y análisis de datos	23
CAPÍTULO IV: PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.....	24
4.1. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	24
4.1.1. Evaluación y definición en ETABS de los materiales involucrados	29
4.1.2. Evaluación de las secciones transversales de los elementos estructurales	

4.1.3.	Aplicación de las cargas de tipo muerta.....	30
4.1.4.	Aplicación de las cargas de tipo viva.....	31
4.1.5.	Conformación del modelo tridimensional de análisis	32
4.1.6.	Evaluación del análisis modal discreto	33
4.1.7.	Definición de la demanda sísmica	34
4.1.8.	Definición del sistema estructural	36
4.1.9.	Definición del factor de reducción.....	37
4.1.10.	Evaluación de la rigidez del sistema estructural.....	37
4.2.	RESULTADOS DEL ANÁLISIS ESTÁTICO NO LINEAL.....	38
4.2.1.	Comportamiento no lineal de los materiales	38
4.2.2.	Cálculo y evaluación de los pesos faltantes	39
4.2.3.	Diagramas momento curvatura de las secciones.....	40
4.2.4.	Longitud de rotula plástica.....	43
4.2.5.	Definición de los modelos puntal tirante.....	44
4.2.6.	Definición del modelo.....	45
4.2.7.	Modelo de fibras para columnas	46
4.2.8.	Curva de capacidad	47
4.2.9.	Comportamiento	48
4.2.10.	Comportamiento de las columnas del primer nivel.....	50
4.2.11.	Punto de desempeño	56
4.2.12.	Reforzamiento estructural propuesto en columnas	59
4.2.13.	Formas de modo de la estructura	61
4.2.14.	Máximas distorsiones laterales inelásticas	63
4.2.15.	Curva de capacidad de la estructura analizada.....	63
4.2.16.	Objetivos de desempeño sísmico	64
4.2.17.	Determinación del punto de desempeño en X.....	66
4.2.18.	Determinación del punto de desempeño en dirección Y	69
	CAPÍTULO V: DISCUSIÓN DE RESULTADOS	71
5.1.	CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS	71
5.1.1.	Hipótesis general.....	71
5.1.2.	Hipótesis específicas.....	72
5.2.	CONCLUSIONES	76
5.2.1.	Conclusión general.....	76
5.2.2.	Conclusiones específicas	77
5.3.	RECOMENDACIONES.....	78
5.4.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	81

TABLA DE FIGURAS

Figura 1	Vista frontal de la facultad de industrial de tres niveles.	4
Figura 2	Secuencia de reforzamiento incremental.	12
Figura 3	Edificación educativa típica de dos niveles.	13
Figura 4	Reforzamiento estructura mediante arriostres concéntricos.	14
Figura 5	Reforzamiento estructura mediante arriostres concéntricos.	14
Figura 6	Mapa de zonificación sísmica del Perú.	15
Figura 7	Enfoque del diseño tradicional basado en el daño estructural.	17
Figura 8	Vista tridimensional de la edificación analizada.	24
Figura 9	Vista lateral izquierda en perspectiva de la edificación estudiada.	24
Figura 10	Plano de planta de la edificación analizada.	25
Figura 11	Plano de aligerados del primer nivel y pisos típicos.	26
Figura 12	Plano de aligerados del segundo nivel y aligerados típicos encontrados en la estructura. 27	
Figura 13	Plano de aligerados del tercer nivel y aligerados típicos encontrados en la estructura. 28	
Figura 14	Propiedades mecánicas típicas del concreto usado en este estudio.	29
Figura 15	Propiedades mecánicas típicas de la albañilería en este estudio.	29
Figura 16	Dimensiones de los elementos estructurales presentes.	30
Figura 17	Cargas de tipo muerta provenientes de acabados y tabiquería móvil.	30
Figura 18	Aplicación de las cargas tipo viva normativas tanto en pisos típicos como en azoteas. 31	
Figura 19	Vista tridimensional del modelos analizado.	32
Figura 20	Formas modales típicas de las primeras cuatro formas de modo.	33
Figura 21	Espectro de diseño característico para la estructura y zona de estudio - concreto. 35	
Figura 22	Espectro de diseño característico para la estructura y zona de estudio - Albañilería. 36	
Figura 23	Cortantes de entrepiso en la estructura analizada debido a la demanda sísmica. 36	
Figura 24	Distorsiones máximas de entrepiso típicas debidas a la demanda sísmica, en direcciones X e Y.	37
Figura 25	Diagrama esfuerzo deformación del acero de construcción típico de grado 60.	38

Figura 26	Diagrama esfuerzo deformación del concreto de 210 kg/cm ²	39
Figura 27	Diagrama momento curvatura de la columna 25x45 en el eje mayor.....	40
Figura 28	Diagrama momento curvatura de la columna 25x45 en el eje menor.....	41
Figura 29	Diagrama momento curvatura de la columna 25x45 en el eje mayor.....	41
Figura 30	Diagrama momento curvatura de la columna 25x45 en el eje menor.....	42
Figura 31	Diagrama momento curvatura de la viga 25x50 en el eje menor.	42
Figura 32	Modelo tridimensional puntal tirante.....	45
Figura 33	Modelo de fibras de la sección analizada.....	46
Figura 34	Curva de capacidad de la estructura en dirección X.....	47
Figura 35	Curva de capacidad de la estructura en dirección Y.....	47
Figura 36	Comportamiento de la estructura en dirección X.....	48
Figura 37	Comportamiento de la estructura en dirección X.....	48
Figura 38	Comportamiento de la estructura en dirección X.....	49
Figura 39	Elevación del eje vertical 3.	49
Figura 40	Curvas de comportamiento de la columna C2, momento M3 y carga axial P.....	50
Figura 41	Curvas de comportamiento de la columna C7, momento M3 y carga axial P.....	50
Figura 42	Curvas de comportamiento de la columna C4, momento M3 y carga axial P.....	51
Figura 43	Comportamiento del concreto presente en una fibra de análisis.....	51
Figura 44	Comportamiento monotónico de una fibra de acero.	52
Figura 45	Comportamiento de la estructura en dirección X.....	52
Figura 46	Comportamiento de la estructura en dirección Y	53
Figura 47	Eje central E de la estructura analizada, donde hay presentes muros de albañilería confinada. 53	
Figura 48	Curva de comportamiento de un muro de albañilería confinada central del primer nivel. 54	
Figura 49	Curva de comportamiento de un muro de albañilería confinada central del segundo nivel. 54	
Figura 50	Curva de comportamiento de un muro de albañilería confinada central del tercer nivel. 55	
Figura 51	Curva de comportamiento de columna central del primer nivel.....	55
Figura 52	Vista panorámica de la edificación analizada.	57
Figura 53	Vista panorámica de la edificación analizada.	59

Figura 54	Elementos estructurales a reforzar.	59
Figura 55	Discretización de las secciones reforzadas.....	60
Figura 56	Diagrama de interacción y demanda sísmica de la sección 01.....	60
Figura 57	Diagrama de interacción y demanda sísmica de la sección 02.....	61
Figura 58	Primera forma de modo de la estructura analizada.	61
Figura 59	Segunda forma de modo de la estructura analizada.	62
Figura 60	Máximas distorsiones laterales de la estructura reforzada.	63
Figura 61	Curva de capacidad de la estructura analizada en dirección X.....	63
Figura 62	Curva de capacidad de la estructura analizada en dirección Y.....	64
Figura 63	Objetivos de desempeño sísmico.	64
Figura 64	Niveles de desempeño sísmico en función de la curva de capacidad.....	65
Figura 65	Niveles de desempeño sísmico en función de los desplazamientos.	65
Figura 66	Curva de capacidad de la estructura reforzada en dirección X.....	68
Figura 67	Punto de desempeño de la estructura reforzada en dirección X.....	68
Figura 68	Punto de desempeño de la estructura analizada en dirección Y.....	70
Figura 69	Desempeño de la estructura analizada en dirección Y.....	70

GENERALIDADES

1. TÍTULO

Incremento del comportamiento estructural de edificación esencial deficiente usando encamisado de vigas y columnas y análisis no lineal

2. EQUIPO INVESTIGADOR:

2.1 Autor

Rodolfo Solano Loza

2.2 Asesor:

Enrique Lujan Silva

3. TIPO DE INVESTIGACIÓN

Investigación aplicada

4. LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

Ingeniería estructural

5. UNIDAD ACADÉMICA

Escuela Profesional de Ingeniería Civil

Facultad de Ingeniería

Universidad Privada Antenor Orrego

6. INSTITUCIÓN Y LOCALIDAD DONDE SE DESARROLLARÁ EL PROYECTO

Universidad Nacional de San Agustín

Arequipa, Perú

7. DURACIÓN TOTAL DEL PROYECTO

ETAPAS	Fechas		Dedicación	
	Inicio	Termino	Semanas	Horas
Recolección de datos	29/03/2021	29/04/2021	4	8
Análisis de datos	30/05/2021	30/06/2021	4	8
Elaboración del informe	31/06/2021	1/07/2021	4	8

8. RECURSOS

	Cu	N	Total
Esclerómetro	250	6	1500
Planos	150	5	750
Modelado	500	3	1500
Papel	20	3	60
Impresiones	50	3	150
			3960

- ❖ El personal requerido para esta investigación consta del tesista, el asesor y ayudantes técnicos para el muestreo.

9. PRESUPUESTO

9.1. Bienes

Para la consecución de los objetivos de esta tesis se requiere de un esclerómetro, cinta métrica, planos de estructuras y de arquitectura.

9.2. Servicios

Los servicios requeridos serán el de esclerometría y modelado no lineal.

10. FINANCIAMIENTO

El presente trabajo será financiado exclusivamente con los recursos propios del tesista.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1 PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1.1 Realidad problemática

En los últimos años, numerosos eventos sísmicos han sacado a relucir la vulnerabilidad sísmica de numerosas estructuras al verse sometidos a la prueba de movimientos telúricos de gran magnitud y niveles de aceleraciones del terreno considerables. Uno de los casos más notables de los últimos años es sin duda el ocurrido en el sismo de México del 2017. Este evento se caracterizó por la ocurrencia de dos terremotos de gran magnitud, el primero ocurrido el 11 de noviembre de ese año y el segundo ocurrido el 19 de noviembre, apenas unos días después del primero. El resultado de ambos movimientos telúricos fue calamitosos, pues el saldo resultó en más 500 edificios colapsados y numerosas personas heridas y fallecidas. Es importante destacar que entre las estructuras colapsadas se encontraron varias instituciones educativas, entre ellas un colegio infantil.

Otro evento de gran importancia fue el ocurrido en el año 2016 en el vecino país del Ecuador, con una magnitud de 7.8 Mw. El resultado de este evento fue desastroso pues provocó el colapso de numerosas estructuras, entre ellas colegios, hospitales, viviendas, entre otras.

El Perú, lamentablemente, no es ajeno a esta situación, pues al igual que los países recientemente mencionados, se encuentra ubicado dentro de una peligrosa cadena de gran actividad sísmica y volcánica, conocida como cinturón de fuego del Pacífico, que de acuerdo con el *Pacific Earthquake Engineering Research (PEER)*, presenta más del 80% de la actividad sísmica y volcánica de mundo, por lo que los niveles de peligro sísmico esperados son muy altos.

Además, si se toma en cuenta que gran parte de la infraestructura existente en el país fue construida previa a la aparición de las más recientes normas de diseño sísmico vigentes en el país, se puede concluir que actualmente el riesgo de experimentar grandes pérdidas de vidas humanas y materiales es elevado.

Lamentablemente el escenario visualizado hasta este punto se confirma si se toma en cuenta que el país ya ha sido sometido a niveles de aceleración del terreno de gran intensidad, encontrando grandes niveles de destrucción, con grandes pérdidas de vidas humanas y materiales. Debido a lo mencionado hasta aquí, este trabajo de investigación pretende aportar soluciones prácticas que permitan mejorar notablemente las deficiencias estructurales presentes en la infraestructura existente del país, especialmente en las edificaciones esenciales, ya que de acuerdo con la norma peruana de diseño sísmico, este tipo de estructuras debería de sobrevivir a la ocurrencia de un sismo de gran magnitud y servir de albergue y refugio a la gran cantidad de personas que se espera hayan perdido sus viviendas y su modo de vida.



Figura 1 Vista frontal de la facultad de industrial de tres niveles.
Fuente: Elaboración Propia.

Un caso de especial interés es la facultad de relaciones industriales de la Universidad Nacional de San Agustín pues al ser una estructura educativa es una edificación esencial, de acuerdo con la actual normativa sísmica del Perú, por lo que debería tener la capacidad de tolerar con éxito un sismo de gran magnitud. Sin embargo, y lamentablemente, esta edificación se erigió en los años 80, mucho antes de que se desarrolle e implemente la actual normativa, arrobada en el año 2018, por lo que se presupone una carencia importante de niveles de rigidez necesarios, de acuerdo con las exigencias de la norma mencionada. Además, del estudio de campo preliminar realizado por el

autor de este trabajo de investigación se ha observado que las secciones transversales son muy pequeñas para el sistema estructural que esta estructura presenta, asimismo, se ha podido observar, con toda claridad, a existencia de vigas en una dirección, por lo que se anticipa un comportamiento sísmico inadecuado..

En este trabajo de investigación se propone el uso del método del encamisado de columnas como un método práctico, económico y accesible para poder reforzar la estructura existente y garantizar su operatividad durante y después de la ocurrencia de un sismo de gran magnitud.

De acuerdo con lo que se acaba de comentar se realiza la formulación del problema de investigación que se tratará de resolver a lo largo del presente trabajo de investigación.

1.1.2 Enunciado del problema

1.1.1.1. Problema General

¿En qué medida el comportamiento estructural de la facultad de Relaciones Industriales de la Universidad Nacional de San Agustín se ve favorecido tras la aplicación de la técnica de encamisado de columnas y su análisis no lineal?

1.1.1.2. Problema Específico

- ¿Qué tipo de reforzamiento estructural se sugiere como el más apropiado para la facultad de Relaciones Industriales de la Universidad Nacional de San Agustín?
- ¿Cuál es el desempeño sísmico de la estructura conformada por concreto armado dentro de la facultad de Relaciones Industriales en conformidad con lo descrito en la NTE E.030?
- ¿Cuál es la diferencia entre las capacidades de deformación de la estructura antes y después del encamisado de columnas en la facultad de Relaciones Industriales de la Universidad Nacional de San Agustín?

- ¿Qué mejoras de desempeño sísmico se logra mediante el reforzamiento de la facultad de Relaciones Industriales de la Universidad Nacional de San Agustín?

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo general

Estimar la variación en el comportamiento estructural de la facultad de Relaciones Industriales de la Universidad Nacional de San Agustín tras la aplicación de la técnica de encamisado de columnas y su análisis no lineal.

1.2.2 Objetivo específico

- Determinar un tipo reforzamiento estructural adecuado para aplicar en la facultad de Relaciones Industriales de la Universidad Nacional de San Agustín que incluya el encamisado de columnas.
- Analizar según se describe en la NTE E.030 al comportamiento sísmico de la actual estructura de concreto armado de la facultad de Relaciones Industriales de la Universidad Nacional de San Agustín.
- Contrastar las capacidades de deformación de la estructura de concreto armado, antes y después del encamisado de columnas de la facultad de Relaciones Industriales de la Universidad Nacional de San Agustín, haciendo uso del análisis estático no-lineal.
- Examinar las mejoras del punto de desempeño de la estructura actual y con el reforzamiento de concreto armado de la facultad de Relaciones Industriales de la Universidad Nacional de San Agustín, haciendo uso del método del coeficiente de desplazamiento.

1.3 JUSTIFICACIÓN

1.3.1 Importancia del estudio

La importancia del estudio radica en que el método de reforzamiento propuesto evitara el colapso de la estructura

analizada, salvando así a integridad de los ocupantes al momento de ocurrido el sismo, además de evitar pérdidas materiales.

1.3.2 Justificación de estudio

Con este estudio se pretende mejorar el comportamiento sísmico de estructuras reforzadas en una edificación esencial, ya que es importante controlar de alguna manera las posibles fallas estructurales y parámetros establecidos en la norma sismorresistente, por lo cual es conveniente fomentar el uso de un análisis más sofisticado mediante el cual, podamos asegurar un mejor desempeño de las estructuras.

Es por eso que la aplicación y fomento de un análisis estático no lineal, toma importancia en nuestro medio, ya que aun estando ya diseñada la estructura, mediante la metodología de análisis estático no lineal, se podrá realizar la predicción y verificación del comportamiento en el rango inelástico, el cual puede evaluar el desempeño esperado del sistema estructural, para luego modelarla y determinar sus resultados sin necesidad de ocurrencia de un sismo severo, ya que es factible la aplicación de este método para trabajos en oficinas de diseño.

CAPÍTULO II: MARCO DE REFERENCIA

2.1. ANTECEDENTES

En esta investigación se hace referencia a diferentes autores de niveles internacionales y nacionales que nos dan un mejor entendimiento sobre esta investigación.

A nivel internacional de acuerdo a Ahded Habib & Ozgur, (2020) en su Artículo publicado ***“Reparación y fortalecimiento de columnas con revestimiento RC: una breve revisión del estado de la técnica”***, el reacondicionamiento sísmico y/o el refuerzo de columnas RC ha sido un área de investigación popular durante décadas. Actualmente, el revestimiento de hormigón

armado se considera la técnica más común para la reparación y el fortalecimiento de columnas RC deficientes y / o dañadas. En general, esta técnica es una solución práctica para recuperar y mejorar la capacidad de carga y la rigidez de las columnas de hormigón armado en países propensos a terremotos. Es un método simple que se puede aplicar a cualquier sección transversal de columna para rehabilitar elementos estructurales al revestir el miembro antiguo con una chaqueta rígida. La importancia de este enfoque proviene de su capacidad para mejorar la capacidad de carga, la resistencia y la rigidez de cualquier sección de columna de manera significativa sin la necesidad de mano de obra experimentada o procesos de instalación complicados. Este artículo resume y compara las conclusiones generales de investigaciones recientes sobre el reacondicionamiento de columnas utilizando revestimientos de hormigón armado. Como parte de este estudio, se revisaron estudios experimentales, analíticos y numéricos y se recopilaron y discutieron sus hallazgos.

Asimismo, de acuerdo a Shuang & And Jintao, (2019) en su Artículo publicado “**Modernización de estructuras de marcos existentes para aumentar su economía y sostenibilidad en regiones de alto riesgo sísmico**”, el estudio propone un método de reacondicionamiento con un diseño óptimo de amortiguadores viscosos para mejorar la capacidad estructural resistente a terremotos. El método de actualización utiliza en primer lugar un modelo de marco 2D y coloca los amortiguadores viscosos en la estructura para satisfacer los requisitos de rendimiento bajo intensidades de terremoto de diseño específicas del código y luego realiza un diseño óptimo para aumentar la capacidad de resistencia al colapso estructural. El análisis de patrones de falla y el análisis de fragilidad muestran que el diseño óptimo conduce a un mejor desempeño que la estructura del marco original. Para estructuras regulares, se demuestra que el patrón óptimo de colocación del amortiguador viscoso obtenido de un modelo de marco 2D se puede utilizar directamente en la actualización del modelo de marco 3D. Los análisis de pérdidas económicas y tiempo de reparación se llevan a cabo para la estructura de marco modernizada bajo diferentes intensidades de terremoto, incluidos los terremotos frecuentes, los

terremotos ocasionales y los terremotos poco frecuentes. Aunque el método propuesto se basa en análisis de historial de tiempo, parece que el costo computacional es aceptable porque se adopta el modelo de marco 2D para determinar el patrón óptimo de colocación del amortiguador viscoso; mientras tanto, el propietario puede conocer claramente los beneficios económicos de la modernización bajo diferentes intensidades de terremoto. La actualización también hace que el marco tenga problemas ambientales reducidos (como la emisión de carbono) en comparación con el marco original en el proceso de reparación después de que ocurra un terremoto raro.

Por otro lado para los autores Loa, Muñoz, & Santa Cruz, (2017) en su artículo titulado **“Evaluación sísmica de técnicas de reacondicionamiento sísmico incremental para escuelas típicas peruanas: enfoque teórico”**, las escuelas típicas peruanas fueron construidas con un código sísmico ahora desactualizado que no garantiza la seguridad de la población estudiantil. Este tipo de edificios presenta una falla estructural indeseable conocida como columna corta, es decir, columnas delgadas parcialmente restringidas por muros de relleno. El objetivo de este artículo es evaluar técnicas de reacondicionamiento de bajo costo propuestas por un estudio previo de acuerdo con la Metodología de reacondicionamiento incremental propuesta por FEMA 395. Análisis dinámico incremental, IDA se utiliza para analizar la estructura original y reacondicionada en términos de respuesta estructural y daño estado para diferentes niveles de intensidad. Los resultados de estos análisis revelan la efectividad de las intervenciones en términos de valores económicos.

De igual manera, para el autor Aguilar Iza, (2016) en su tesis **“Evaluación estructural mediante el FEMA 154 del NEC y propuesta de reforzamiento de la institución Honrar la vida del D.M.Q.”**, el objetivo es la evaluación estructural a la institución Honrar la Vida, ubicada en el gobierno local Metropolitano de acuerdo al formato FEMA 154 del NEC, así dar propuestas de reforzamiento más adecuada, la metodología que se realizó es la visita preliminar, levantamiento estructural, ensayos destructivos, aplicación del

formato FEMA 154, después de obtener los datos de los ensayos, hace análisis estático lineal y el análisis dinámico lineal, llega a la conclusión que la aplicación del formato FEMA 154, que dicha estructura posee un alto grado de vulnerabilidad puesto que su puntuación es de -0.1 encontrándose dentro de las calificaciones menores a dos, la aplicación de los niveles de investigación BS1 y SS1 conlleva mucha incertidumbre en los resultados, es por ello que se debe realizar ensayos para determinar las características mecánicas de los materiales y determinar los armados de los elementos estructurales.

A nivel nacional, según el autor Loa Canales G. , (2017) en su tesis ***“Evaluación del desempeño sísmico de tres opciones de reforzamiento incremental en edificaciones educativas típicas construidas antes de 1997”***, el objetivo es evaluar el desempeño sísmico de tres técnicas de reforzamiento en etapas incrementales en las edificaciones ya construidas antes del 1997, esta propuesta de reforzamiento es mediante métodos de análisis no lineal de la estructura: método de espectro de capacidad y el método IDA, llego a la conclusión de que las estructuras educativas con o sin juntas adecuadas no tienen un adecuado desempeño sísmico, as mismo la dirección transversal de los módulos 780 PRE no tiene el desempeño sísmico esperado, también el reforzamiento optimo consistirá en solo la primera fase basándose en el análisis costo – beneficio para la estructura por ultimo ambos métodos estiman con cualquier método de reforzamiento la estructura podrá llegar a un daño operacional y funcional para un sismo ocasional y raro.

De tal manera que el autor Rojas Nicho, (2019) en su tesis ***“Desempeño sísmico del sistema de reforzamiento de encamisado de concreto y metálico en edificio multifamiliar, Huaral, Lima, 2019”***, el objetivo de esta investigación es analizar el desempeño sísmico de un edificio multifamiliar en Pacasmayo – Huaral, así mismo hace una propuesta de reforzamiento con el sistema de encamisado de concreto y encamisado metálico, para hacer esta investigación, el autor seleccionó un edificio multifamiliar de tres niveles de muros de albañilería confinada en dirección X y Y. También

realizó las pruebas de diamantina y la esclerometría y el estudio de mecánica de suelos para poder saber la capacidad portante del suelo, luego hace un modelamiento con los dos sistemas de reforzamiento, obteniendo como resultado del modelamiento dice que el ensanche de columnas en dirección X logra mejorar significativamente el desempeño sísmico en relación a la rigidez lateral obtuvo que la rigidez en el eje X con encamisado metálico incrementa 0.92% y con encamisado de concreto obtuvo 3.66%, asimismo la rigidez en el eje Y con el encamisado metálico aumenta 5.14% y con encamisado de concreto se obtuvo 7.36%.

Por su parte, según los autores Rojas Ruiz & Tito Apaza, (2018) en sus tesis **“Diseño del reforzamiento estructural del pabellón C en la I.E. N°629-6034 Carbonell, San Juan de Miraflores, Lima, 2018”**, tiene como objetivo obtener el diseño del reforzamiento estructural del pabellón C en la I.E. 629-6034 Carbonell ubicado en San Juan de Miraflores, la metodología de esta investigación es de tipo aplicada por que se pone en práctica los conocimientos teóricos para obtener el diseño del reforzamiento estructural, el nivel es descriptivo, el diseño es no experimental debido a que no se manipula la variable de estudio, la población de estudio es la estructura del pabellón, realizo el análisis sísmico dinámico con lo cual hizo la verificación de las derivas máximas de 5/1000, llega a la conclusión de que los elementos estructurales de albañilería, elementos de confinamiento y elemento de concreto armado necesitan ser reforzados.

Por otro lado, según los autores Martinez Giron & Sedano Taipe, (2019) en sus tesis titulada **“Análisis del Riesgo Sísmico y Propuesta de Reforzamiento de la Institución Educativa Aichi Nagoya en Ate, Lima, 2019”**, el presente investigación tuvo como objetivo determinar el nivel de riesgo sísmico de la institución educativa Aichi Nagoya en Ate, Lima, 2019, con la finalidad de hacer el reforzamiento sísmico, la metodología para la recopilación de la información del centro educativo hizo el estudio de mecánicas de suelos, la extracción de los testigos de diamantina luego hacer el modelamiento estructural a través del software ETABS, concluye que la estructura de la institución tiene una vulnerabilidad alta por lo que presenta

baja rigidez de sus elementos resistentes a fuerzas laterales en el eje longitudinal, asimismo presencian inestabilidad de tabiques por lo que la estructura sufrirá fallas estructurales en un movimiento sísmico, para ello se debe implementar el reforzamiento sísmico, en el que el autor de esta investigación propone el encamisado en columnas, la introducción de aletas tipo placas y la incorporación de muros de albañilería.

2.2. MARCO TEÓRICO

El reforzamiento incremental es un proceso de reforzamiento estructural pensado para ser implementado en etapas dentro de una edificación. En este sentido, el diseñador propone que el reforzamiento se implemente en diferentes etapas, de tal forma que dentro del periodo establecido se tenga el reforzamiento deseado.

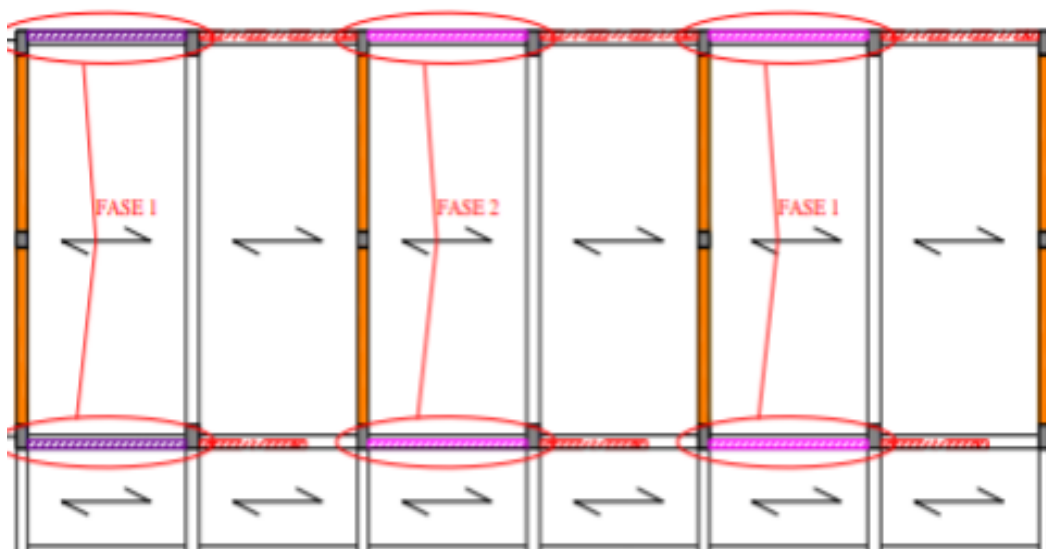


Figura 2 Secuencia de reforzamiento incremental.
FUENTE: Muñoz Peláez (2015).

Es por ello que el reforzamiento incremental puede implementarse con cualquier tipología de reforzamiento. Es decir, puede realizarse usando reforzamiento con encamisado de columnas, disipadores de energía, o mediante el uso de arriostres concéntricos. La condición para su implementación está basada únicamente en la secuencia necesaria para su implementación.

De manera que el presente trabajo de investigación usará la técnica del reforzamiento estructural mediante la implementación de los arriostres concéntricos en una serie de etapas, tal como se muestra en la figura 2. En esta figura se aprecia que la estructura requiere de reforzamiento total que es implementada en dos etapas, fase 1 y fase 2.

Por ende, el sistema de arriostramiento concéntrico es un sistema estructural basado en el método punta tirante. Este sistema está inspirado en los típicos sistemas estructurales reticulares de las cerchas planas. Su objetivo consiste en el incremento de la rigidez y resistencia lateral. Es ampliamente recomendado en instituciones educativas tales como colegios.



Figura 3 *Edificación educativa típica de dos niveles.*
FUENTE: Muñoz Peláez (2015).

Siendo así la institución educativa típica se muestra en la figura 3. En este tipo de edificaciones usual encontrar sistemas duales, basados en pórticos de concreto armado en una dirección y albañilería confinada en otra. La deficiencia más común en este tipo de edificaciones es la falta de rigidez lateral en la dirección de los pórticos, pues las dimensiones que poseen, tanto las columnas, como las vigas, son insuficientes.

En este sentido, resulta útil la aplicación de este tipo estructural pues logra incrementar de manera notable la rigidez lateral, así como la resistencia

lateral. En las siguientes figuras que se muestra la aplicación del este sistema de reforzamiento a la edificación de análisis.

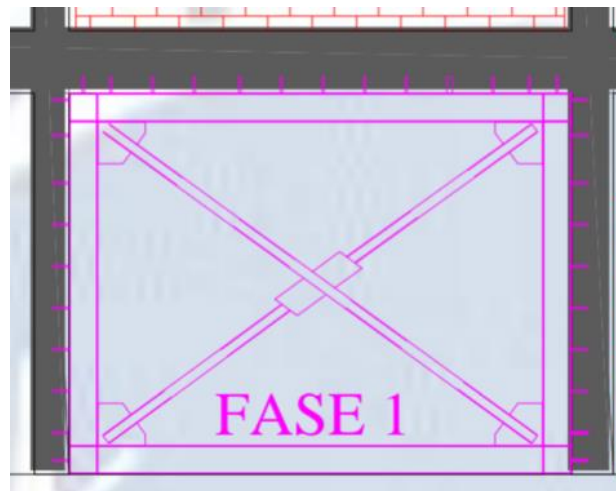


Figura 4 Reforzamiento estructura mediante arriostres concéntricos.
FUENTE: Muñoz Peláez (2015).

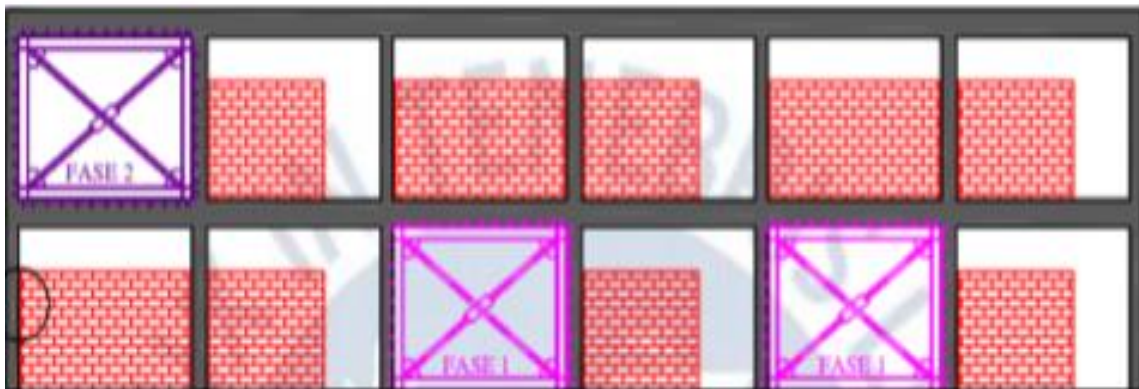


Figura 5 Reforzamiento estructura mediante arriostres concéntricos.
FUENTE: Muñoz Peláez (2015).

Por consiguiente, para el desarrollo de este trabajo se harán uso de normas peruanas e internacionales. Las normas peruanas usadas serán la norma de cargas, norma de diseño en concreto armado, norma de diseño en acero, norma de diseño sísmico, norma de mecánica de suelos. En cuanto a las normas internacionales, se usarán el ASCE 7-16 y el FEMA P58.

2.3. MARCO CONCEPTUAL

Por tanto el peligro sísmico y la microzonificación sísmica de acuerdo con la información de investigaciones científicas, el Perú es un país altamente sísmico que forma parte de los países que se encuentran dentro del llamado “Cinturón de fuego del Pacífico” que se caracteriza por concentrar el 75% de volcanes activos e inactivos del planeta, pues es una zona extensa de subducción, la más grande de todo el mundo. Históricamente, han ocurrido aproximadamente el 80% de los sismos de gran magnitud y han ocasionado daños y pérdidas personales como materiales. Por ello, en ingeniería, se viene estudiando y trabajando en la prevención y reducción de daños y pérdidas como consecuencia de los sismos.

Se denomina peligro sísmico a la probabilidad de ocurrencia de sismos en un área y tiempo determinado. De acuerdo con la Norma Técnica E.030 Diseño Sismorresistente del 2018, el Perú está dividido en cuatro zonas sísmicas, tal como se indica en la siguiente figura.

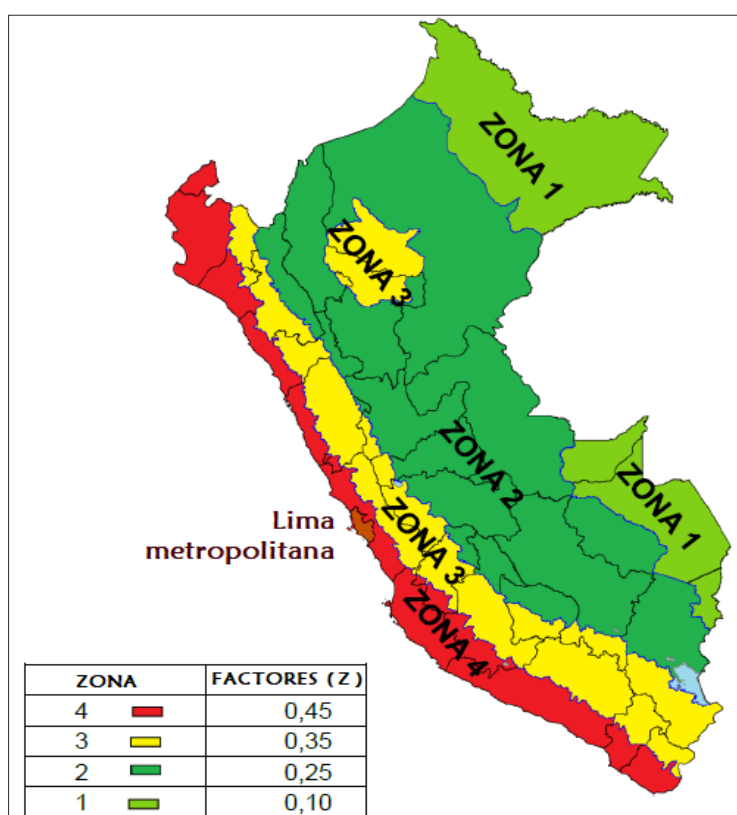


Figura 6 Mapa de zonificación sísmica del Perú.
FUENTE: Norma E-030.

Como se observa en la figura, el departamento de Ancash, provincia de Huaraz, distrito de Huaraz se encuentra en la Zona 3 (color Amarillo), en consecuencia, El factor de zona es $Z = 0.35$, el cual se expresa como una fracción de la aceleración máxima horizontal de la gravedad en suelo rígido con una probabilidad del 10% de ser excedida en 50 años, según (Ministerio de Vivienda, 2020).

Según estudios del Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI, 2018), todas las ciudades costeras se encuentran en permanente exposición al peligro de sismos y tsunamis. Específicamente una de las zonas de mayor peligro es la costa central del Perú, que abarca las regiones de Ica, Lima y Ancash. Estos estudios advierten que de liberarse la energía sísmica que se viene acumulando desde el año 1746, podría desencadenar un gran terremoto de grado 8.5 a 8.8Mw (magnitud de momento). Asimismo, de acuerdo con la metodología basada en cálculos estadísticos y utilizando un catálogo sísmico homogéneo propuestos por Wiemer y Zúñiga en 1994, y posteriormente Condori y Tavera en 2012, afirman que existe una probabilidad mayor de 70% de ocurrir un sismo en los próximos 75 años.

En consecuencia el enfoque tradicional, está basado en la capacidad que tiene la propia estructura de disipar la energía introducida por el sismo a través de una combinación de propiedades conocidas como ductilidad, resistencia y rigidez (Aguilar Falconi, 2015).

Es de esperar que la estructura tenga un comportamiento elástico ante sismos leves e inelástico cuando esté sujeto a sismos moderados o de gran magnitud. Este comportamiento inelástico está caracterizado por la disipación de energía a través de las deformaciones no recuperables que se agravan conforme se incrementa la deriva de entrepiso; teniendo como consecuencia daño estructural y no estructural, que en muchos casos resulta ser cuantioso (Gaxiola et. al. 2015).

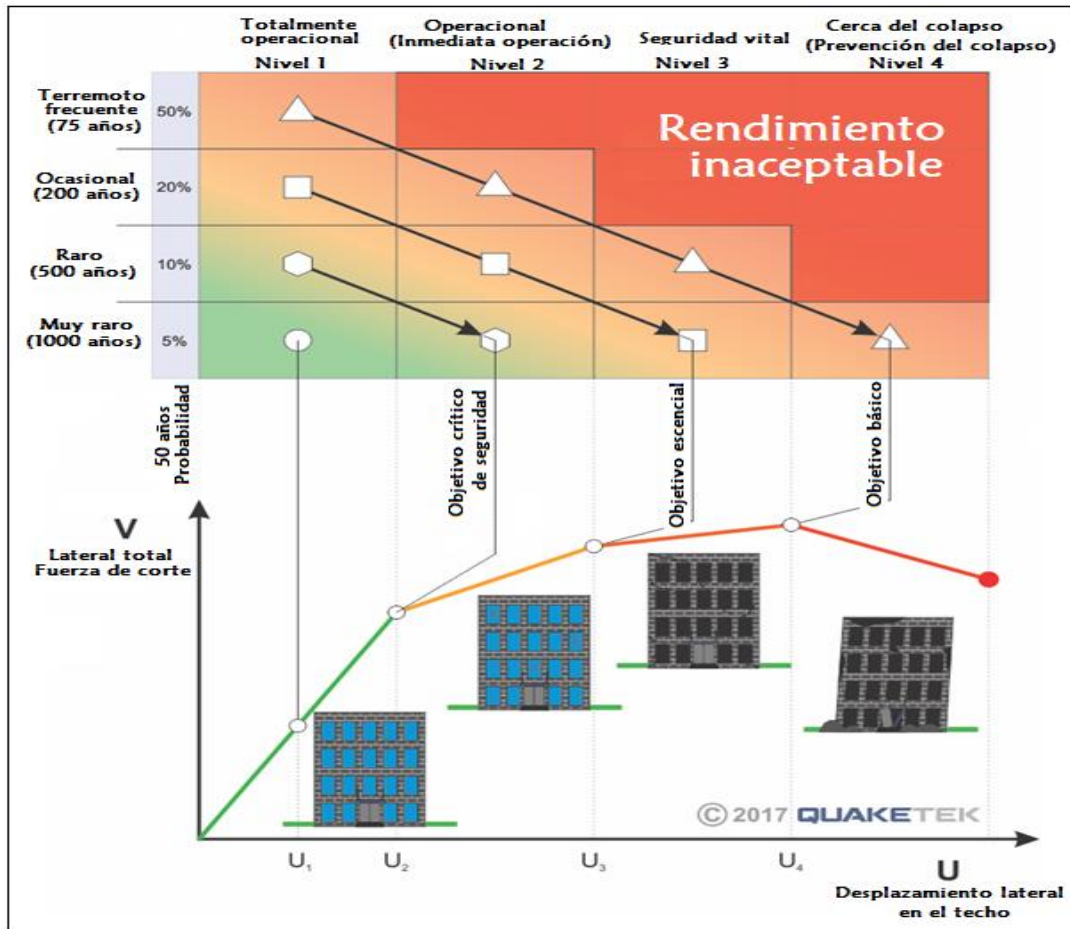


Figura 7 Enfoque del diseño tradicional basado en el daño estructural.
FUENTE: Quaketek, 2017.

El enfoque tradicional de diseño sísmico toma entre sus consideraciones el hecho de que dentro del estado del arte de la ingeniería estructural no es posible determinar con toda precisión la demanda sísmica esperada en un sitio específico, por lo que el uso de un modelo determinístico resulta de una aplicación limitada. Al no tener la demanda sísmica plenamente establecida, nos es posible obtener la respuesta sísmica de manera cerrada, aun cuando el modelo considerado sea muy refinado.

Ante esta situación aun cuando los niveles de aceleraciones se han establecido con cierto nivel de probabilidad de excedencia, existe la probabilidad de que estos valores sean excedidos y de manera amplia, como se ha observado en muchos eventos sísmicos como los ocurridos en

Northridge, Kobe, Chichi, Ecuador, entre otros. Esta posibilidad obliga a los ingenieros a diseñar estructuras con capacidad de tolerar demandas sísmicas no previstas y más aún, obliga a buscar diseños con un comportamiento sísmico adecuado, es decir, que pueda tolerar demandas adicionales mediante la formación de rotulas plásticas.

2.4. SISTEMA DE HIPÓTESIS

2.4.1. Hipótesis general

La aplicación del encamisado de columnas como técnica de reforzamiento en la estructura analizada permitirá una mejora sustancial y cuantitativa en el comportamiento sísmico de la estructura como un todo de la facultad de Relaciones Industriales de la universidad nacional de San Agustín.

2.4.2. Hipótesis específicas

- De acuerdo con los datos y evaluaciones preliminares Se prevé que la estructura analizada de la facultad de relaciones industriales de la Universidad Nacional de San Agustín presenta un comportamiento sísmico deficiente frente a la acción de sismos con un periodo de retorno consecuente con la norma peruana de diseño sísmico.
- El reforzamiento estructural propuesto, basado en la técnica del encamisado de columnas de concreto armado, en la facultad de relaciones industriales de la Universidad Nacional de San Agustín, presenta un adecuado comportamiento estructural a nivel local, también provoca que el sistema estructural completo presente un nivel de comportamiento estructural satisfactoria superior al visto en el caso de la estructura sin reforzamiento.
- La capacidad de deformación lateral se incrementará de manera sustancial con la técnica de reforzamiento propuesto basado en el encamisado de columnas En la Facultad de relaciones industriales de la Universidad Nacional de San Agustín.

- El uso del método del coeficiente de desplazamientos permitirá determinar con certeza razonable el desempeño sísmico de la estructura sin reforzamiento y la estructura reforzada de la facultad de relaciones industriales de la Universidad Nacional de San Agustín.

2.5. VARIABLES

2.5.1. Identificación de la variable independiente

De acuerdo con Hernández Sampieri et. al (2018), la variable independiente es la magnitud susceptible ser variada durante el diseño de un experimento. Usualmente se trata de medir su efecto en la variable dependiente. De acuerdo con la definición presentada, a continuación se muestra la variable independiente.

Encamisado de las columnas

Dimensiones

- Área de la sección transversal
- Dimensiones de la sección

2.5.2. Identificación de la variable dependiente

De acuerdo con Hernández Sampieri et. al (2018) la variable dependiente es aquella magnitud, escalar o vectorial, cuyo efecto se quiere medir dentro del diseño del experimento. De acuerdo con esta definición, se presenta la variable dependiente que se desea estudiar en este estudio.

Comportamiento estructural de edificación esencial

Dimensiones

- Desplazamiento lateral
- Distorsiones laterales
- Fuerza cortante

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA EMPLEADA

3.1. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN

De acuerdo con los estudios y recomendaciones dadas por Hernández Sampieri y Ramos Borja una investigación es de tipo aplicada si pretende resolver un problema práctico de la sociedad usando las herramientas de la técnica y el conocimiento disponible hasta ese momento es decir su objetivo no es tanto obtener nuevo conocimiento sino resolver problemas específicos y prácticos de la sociedad debido a estas características la ingeniería en general es una de las disciplinas que hace uso de la investigación aplicada de acuerdo con lo comentado que las recomendaciones de tales autores se entienden que la presente investigación es una investigación de tipo aplicada

De acuerdo con los autores señalados en el párrafo anterior, una investigación tiene tres niveles; siendo esto su nivel exploratorio un nivel correlacional y un nivel explicativo, el presente trabajo de investigación pretende dar respuesta a la interrogante: De qué forma se puede mejorar la respuesta sísmica de la edificación analizada usando el encamisado de columnas, en este sentido el presente trabajo de investigación califica como una investigación explicativa pues pretende dar no solo una solución sino explicar por qué esta solución representa la mejor opción y cómo esta ha logrado cumplir con los objetivos de un trabajo de investigación propuesto.

3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA DE ESTUDIO

3.2.1. Población

La unidad de análisis es la estructura de la facultad de Relaciones Industriales de la UNAM. Por tanto, al ser la población el total de unidades de análisis, resulta que la población está conformada por la estructura analizada en su totalidad. La cual cuenta con 6 placas y 21 columnas como elementos verticales.

3.2.2. Muestra

Como el objeto de estudio es la estructura de la facultad de ingeniería industrial de la universidad Nacional de San Agustín (UNSA), y se desea estudiar el comportamiento sísmico de toda la estructura, se tomará una muestra unitaria como estudio que en este caso coincide con la población.

De igual forma se aplicará una fórmula estadística para una muestra representativa, pero por motivos anteriormente mencionados, se tomará el estudio de las columnas comprendidas en un solo eje.

3.3. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

Acuerdo con autores como Hernández-Sampieri y Ramos Borja existen esencialmente dos tipos de diseños de investigación dentro de las ciencias fácticas conviene aclarar al lector que las ciencias fácticas son una denominación dada por Mario Bunge y a las ciencias naturales y todos sus derivados entre ellas por supuesto las ingenierías y más específicamente en la ingeniería civil de acuerdo con esto el diseño de investigación puede ser experimental y no experimental en el presente trabajo de investigación se pretende estudiar dos casos específicos, la de la edificación en su estado actual y la respuesta sísmica de la edificación a la que se me agradó elementos de reforzamiento básicos. Estos son dentro del contexto del presente Trabajo de investigación encamisado de columnas tomando en cuenta de esto y que de acuerdo con Hernández, un diseño de investigación experimental si existe una manipulación deliberada de la variable independiente se concluye que el presente Trabajo de investigación tendrá un diseño experimental.

Diseño de investigación seguido para el presente trabajo consiste esencialmente tres partes. La primera parte es la recopilación de la información referida a la estructura estudio la información en esta parte del estudio se refiere a información de campo, información bibliográfica y estudio de las condiciones de cimentación. Segunda parte consiste en el modelado del comportamiento estructural de la edificación analizada en un

software de análisis que tenga un nivel de confianza razonable y que sea de uso difundido dentro de la comunidad de ingeniería civil con la finalidad de que los resultados mostrados en este trabajo puedan ser replicados y verificados tal como es la naturaleza de un trabajo de investigación. La tercera etapa consiste en la propuesta de reforzamiento mediante encamisado de columnas y su posterior evaluación de parámetros de respuesta mediante el uso del mismo software finalmente los resultados obtenidos son contrastados y se verifican los parámetros de respuesta sísmica, y, si existe una mejora o desmejora en cada caso.

3.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN

Entre las técnicas empleadas para desarrollar el presente trabajo de investigación se pueden mencionar las técnicas de recolección de datos, las técnicas de procesamiento y las técnicas de post procesamiento.

Entre las técnicas de recopilación de datos se tienen la técnica documentaria, basada exclusivamente en la búsqueda de información escrita sobre el objeto de estudio, tales como planos, memorias de cálculo entre otras. Cabe mencionar que, para este caso, se han optado por la revisión de planos existentes.

Otra de las técnicas empleadas para la recopilación y recolección de data de la estructura es el estudio de campo. Esta técnica consiste en apersonarse a la zona de estudio y hacerse de datos de primera mano como geometría, materiales, suelos entre otros. Para esto nos apoyamos de instrumentos de medición, como winchas, laser, esclerómetro entre otros.

3.4.1. Instrumentos de recolección de datos

Los instrumentos usados para la realización del presente trabajo de investigación consisten en todos aquellos artilugios necesarios para la toma de datos y su procesamiento en oficina. A continuación, enumeramos cada uno de los instrumentos a emplearse en el desarrollo de este trabajo de investigación.

- Wincha
- Nivel Laser
- Hojas de recolección de datos
- Hoja de procesamiento de datos
- Software de análisis no lineal ETABS

3.5. PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS

3.5.1. Procedimientos para la recolección de datos

La recolección de datos se dará inicio mediante la lectura de los planos y las especificaciones técnicas. Posteriormente, esta información será contrastada mediante estudios de campo, lo que incluye mediciones de las dimensiones de la estructura, los elementos estructurales, las cuantías de acero, entre otras.

3.5.2. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

La información obtenida de campo y del análisis de los planos será modelada en un software de análisis no lineal de estructuras, en este caso ETABS. En este se representará la distribución espacial de las masas y rigideces, así como la aplicación de las cargas actuantes. Se usarán análisis estático lineal de primer orden, análisis estático lineal de segundo orden, análisis inelásticos de primer orden y análisis inelástico de segundo orden, de acuerdo con las recomendaciones dadas por diferentes autores entre ellos McGuire and Gallagher y Christfield.

CAPÍTULO IV: PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

4.1. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS



Figura 8 Vista tridimensional de la edificación analizada.



Figura 9 Vista lateral izquierda en perspectiva de la edificación estudiada.

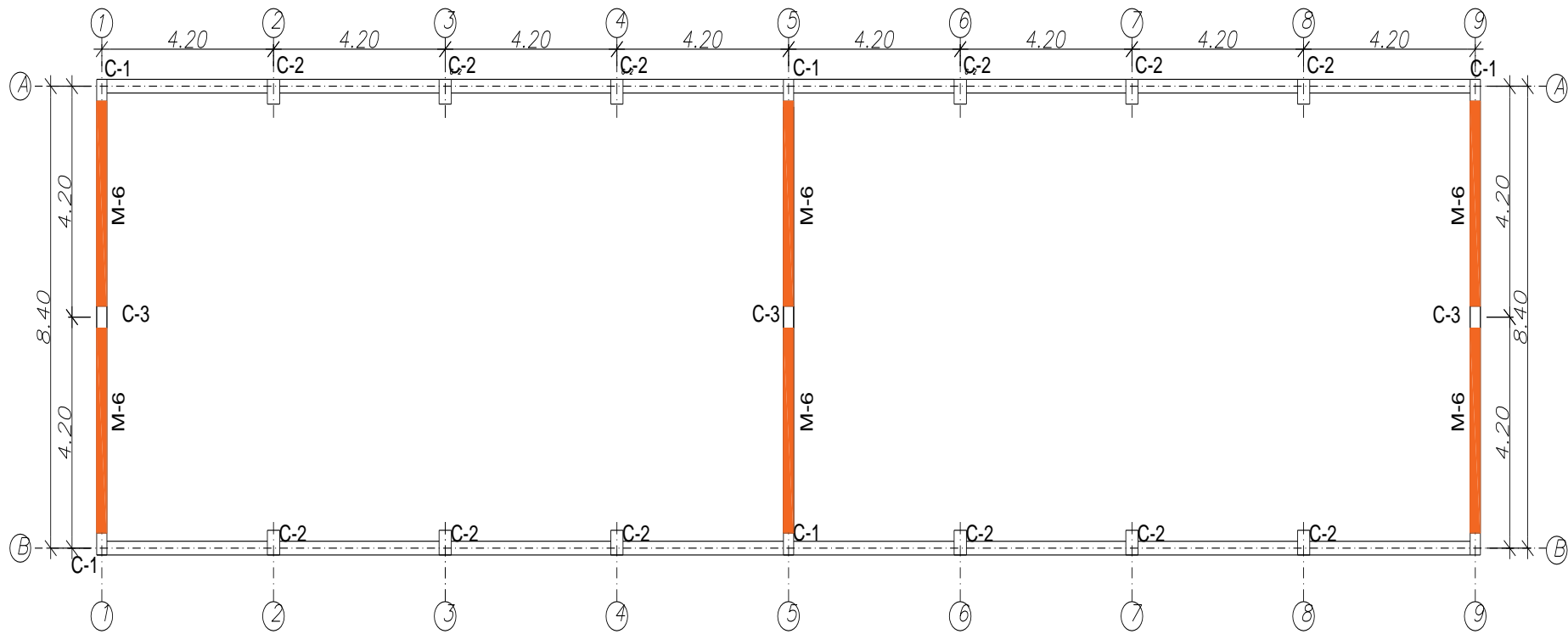


Figura 10 Plano de planta de la edificación analizada.
Fuente: propia

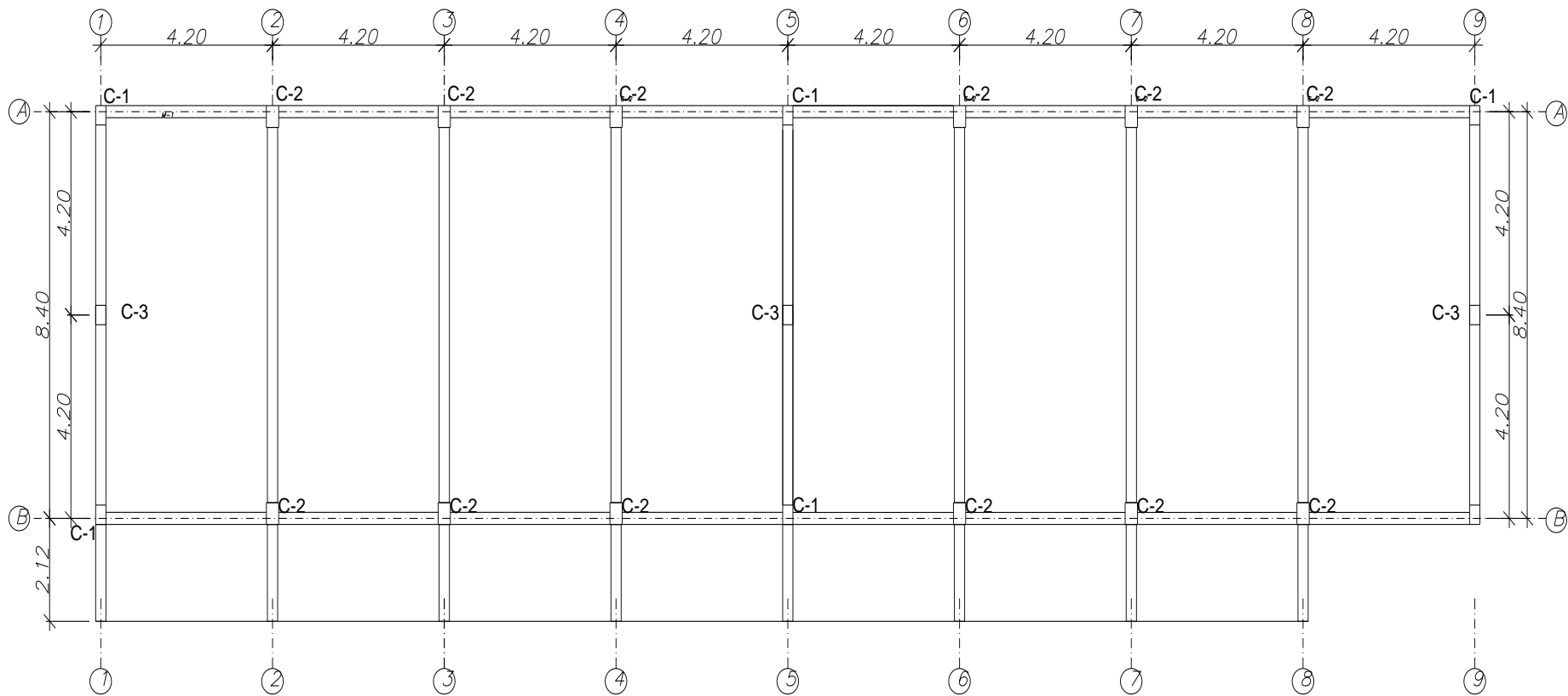


Figura 11 Plano de aligerados del primer nivel y pisos típicos.
Fuente: propia

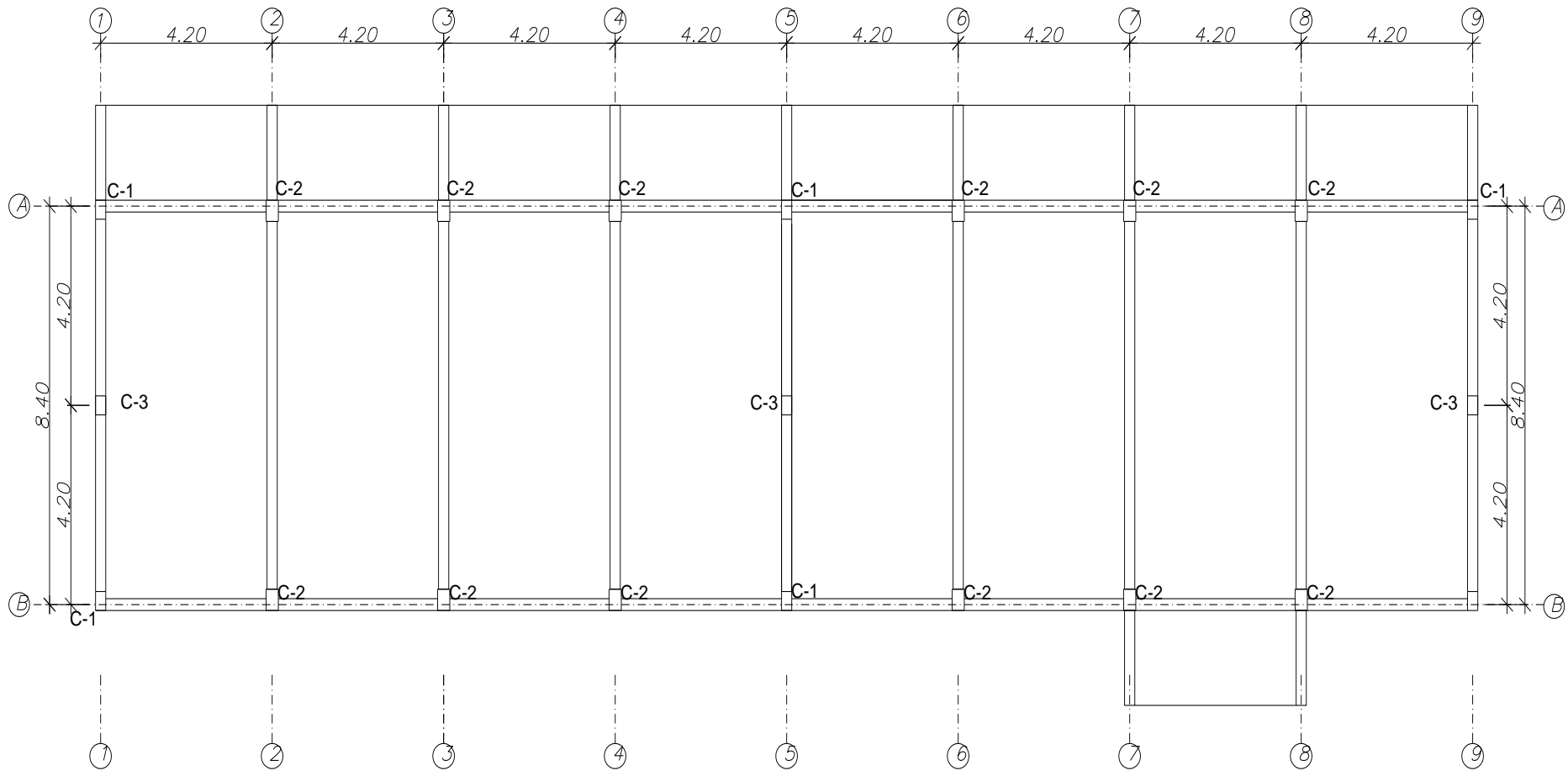


Figura 12 Plano de aligerados del segundo nivel y aligerados típicos encontrados en la estructura.
Fuente: propia

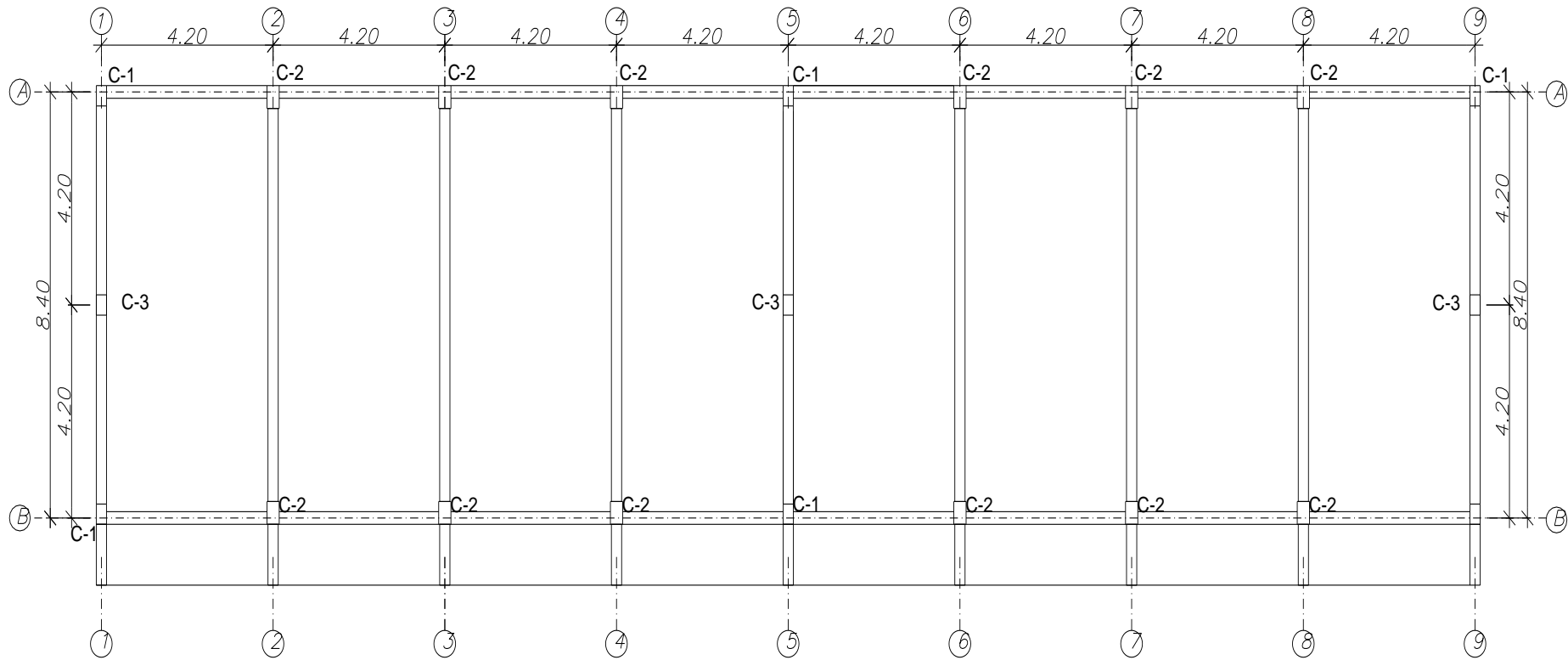
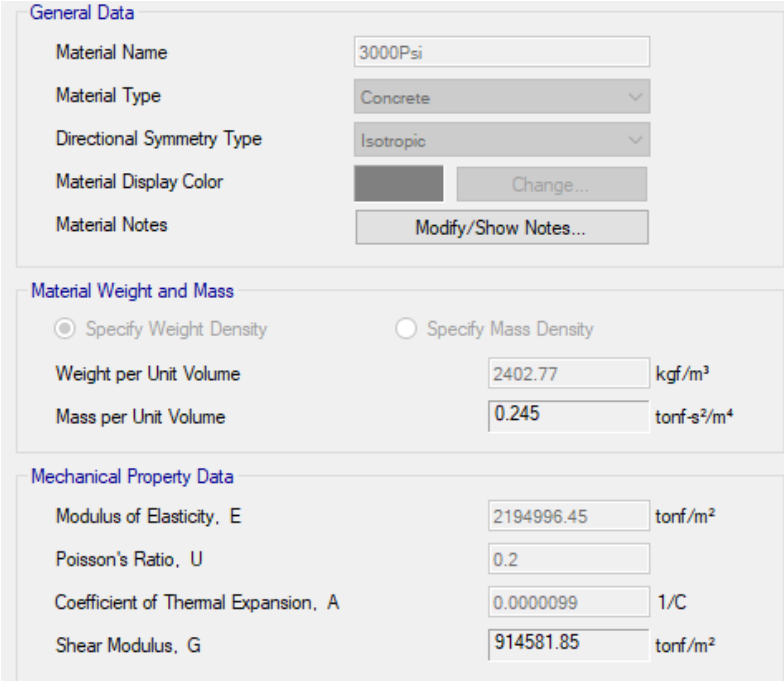


Figura 13 Plano de aligerados del tercer nivel y aligerados típicos encontrados en la estructura.
Fuente: propia

4.1.1. Evaluación y definición en ETABS de los materiales involucrados

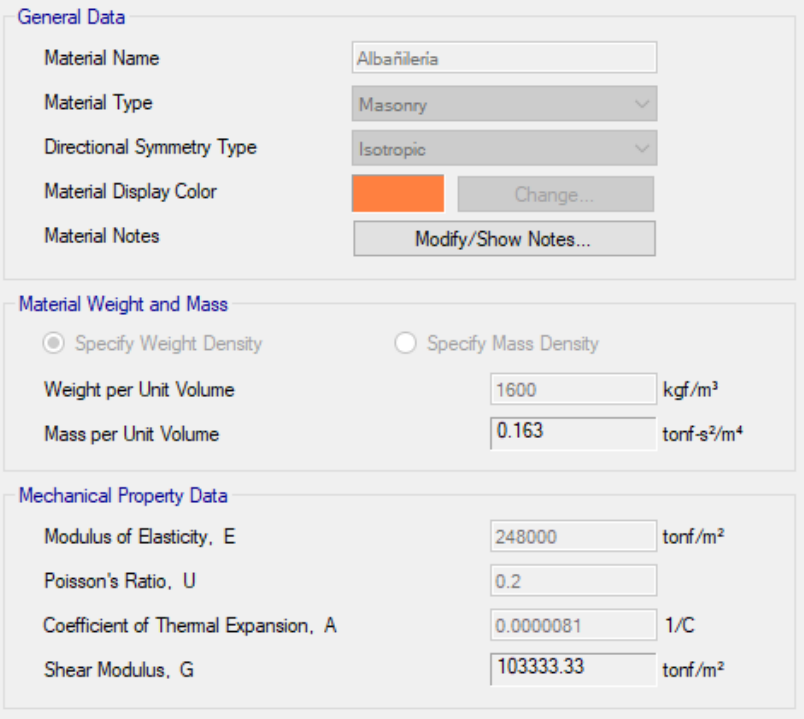


General Data	
Material Name	3000Psi
Material Type	Concrete
Directional Symmetry Type	Isotropic
Material Display Color	Change...
Material Notes	Modify/Show Notes...

Material Weight and Mass	
<input checked="" type="radio"/> Specify Weight Density	<input type="radio"/> Specify Mass Density
Weight per Unit Volume	2402.77 kgf/m ³
Mass per Unit Volume	0.245 tonf-s ² /m ⁴

Mechanical Property Data	
Modulus of Elasticity, E	2194996.45 tonf/m ²
Poisson's Ratio, U	0.2
Coefficient of Thermal Expansion, A	0.0000099 1/C
Shear Modulus, G	914581.85 tonf/m ²

Figura 14 Propiedades mecánicas típicas del concreto usado en este estudio.
Fuente: Elaboración propia.



General Data	
Material Name	Albañilería
Material Type	Masonry
Directional Symmetry Type	Isotropic
Material Display Color	Change...
Material Notes	Modify/Show Notes...

Material Weight and Mass	
<input checked="" type="radio"/> Specify Weight Density	<input type="radio"/> Specify Mass Density
Weight per Unit Volume	1600 kgf/m ³
Mass per Unit Volume	0.163 tonf-s ² /m ⁴

Mechanical Property Data	
Modulus of Elasticity, E	248000 tonf/m ²
Poisson's Ratio, U	0.2
Coefficient of Thermal Expansion, A	0.0000081 1/C
Shear Modulus, G	103333.33 tonf/m ²

Figura 15 Propiedades mecánicas típicas de la albañilería en este estudio.
Fuente: propia

4.1.2. Evaluación de las secciones transversales de los elementos estructurales

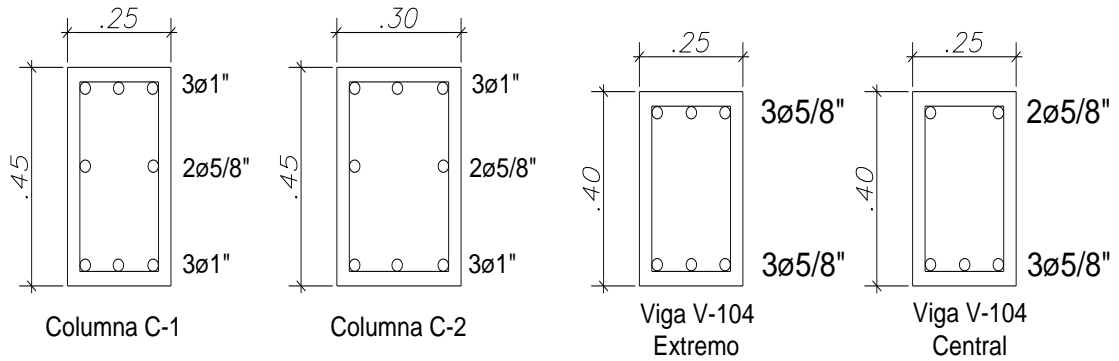


Figura 16 Dimensiones de los elementos estructurales presentes.

4.1.3. Aplicación de las cargas de tipo muerta

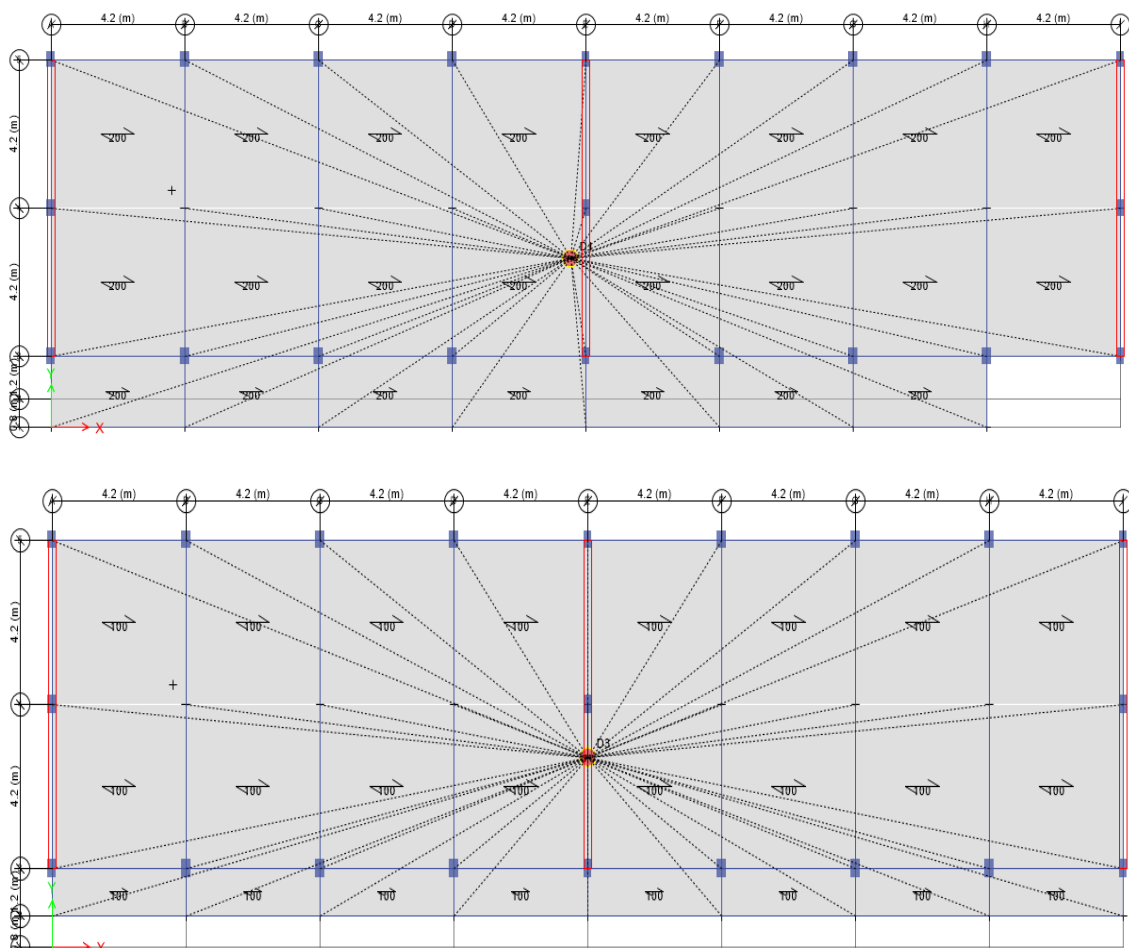


Figura 17 Cargas de tipo muerta provenientes de acabados y tabiquería móvil
Fuente: propia ETABS v.2018

4.1.4. Aplicación de las cargas de tipo viva

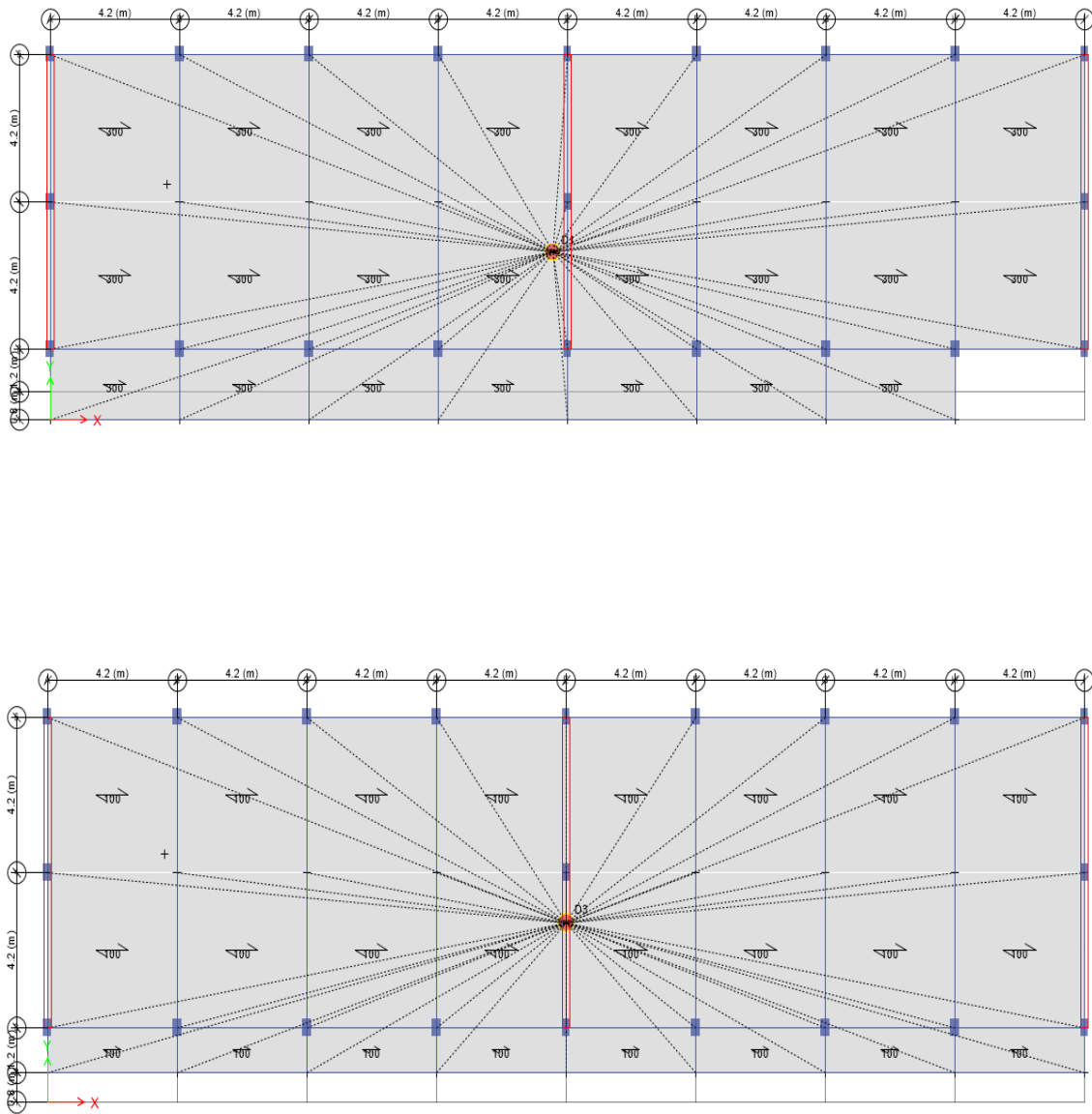


Figura 18 Aplicación de las cargas tipo viva normativas tanto en pisos típicos como en azoteas.

Fuente: Elaboración propia.

4.1.5. Conformación del modelo tridimensional de análisis

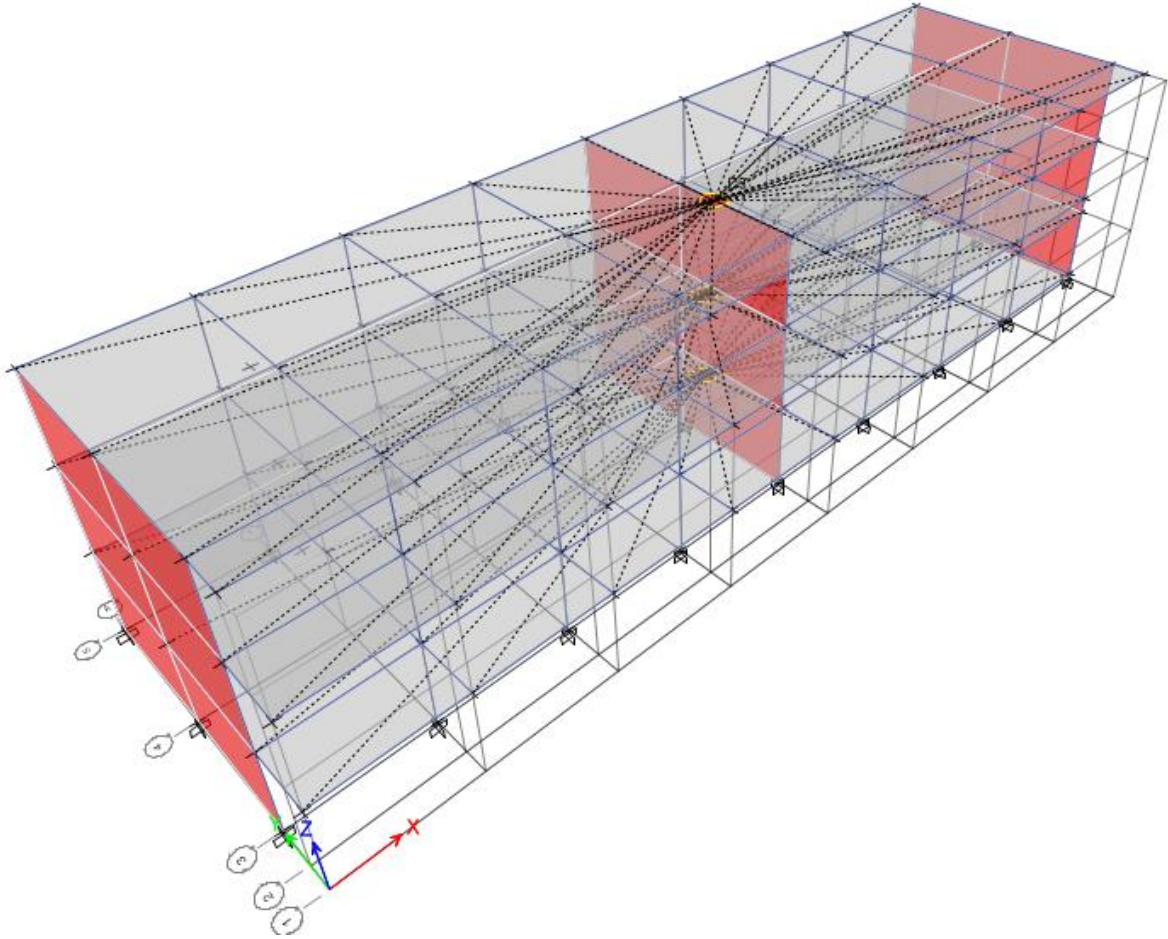


Figura 19 Vista tridimensional del modelos analizado.
Fuente: propia.

4.1.6. Evaluación del análisis modal discreto

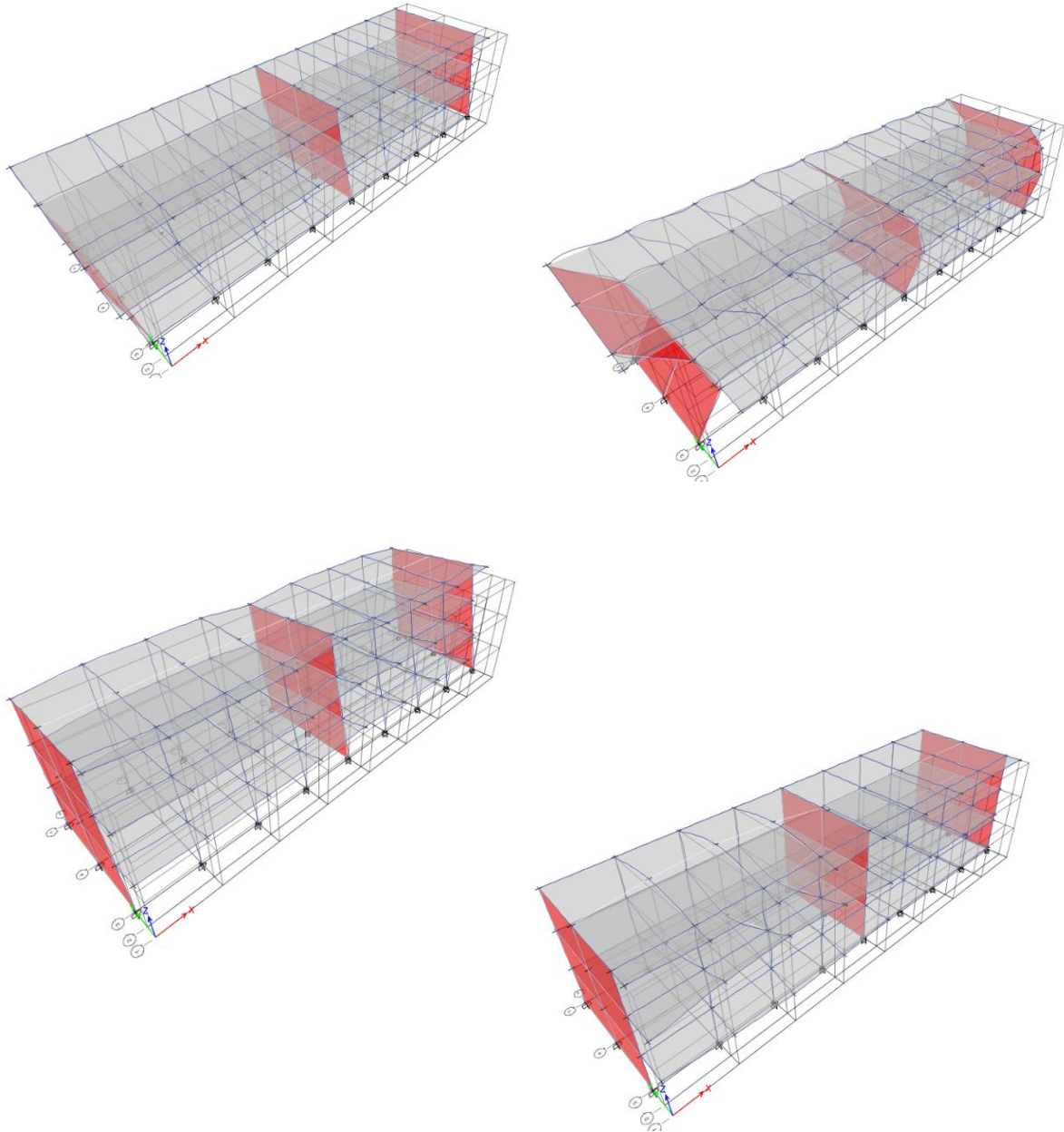


Figura 20 Formas modales típicas de las primeras cuatro formas de modo.
Fuente: propia.

Tabla 1.

Parámetros asociadas a las primeras doce formas modales.

Modo	Periodo sec	Frecuencia cyc/sec	Circular Frecuencia rad/sec	Eigenvalue rad ² /sec ²
1	0.742	1.348	8.47	71.75
2	0.244	4.102	25.77	664.23
3	0.175	5.705	35.84	1284.68
4	0.153	6.520	40.96	1678.04
5	0.153	6.534	41.06	1685.69
6	0.151	6.610	41.53	1724.87
7	0.151	6.619	41.59	1729.70
8	0.150	6.655	41.82	1748.51
9	0.149	6.716	42.20	1780.83
10	0.148	6.743	42.37	1795.05
11	0.141	7.070	44.42	1973.12
12	0.140	7.119	44.73	2000.52

Fuente: Propia

4.1.7. Definición de la demanda sísmica

4.1.1.1. Pórticos de concreto armado

Z	0.35	Factor de zona
S	1.15	Factor de suelo
T _p	0.60	Periodo corto
T _l	2.00	Periodo largo
U	1.50	Factor de uso
R _o	8.00	Factor de reducción básico
I _a	1.00	Irregularidad en altura
I _p	1.00	Irregularidad en planta
R	8.00	Factor de reducción $R=R_o \cdot I_a \cdot I_b$

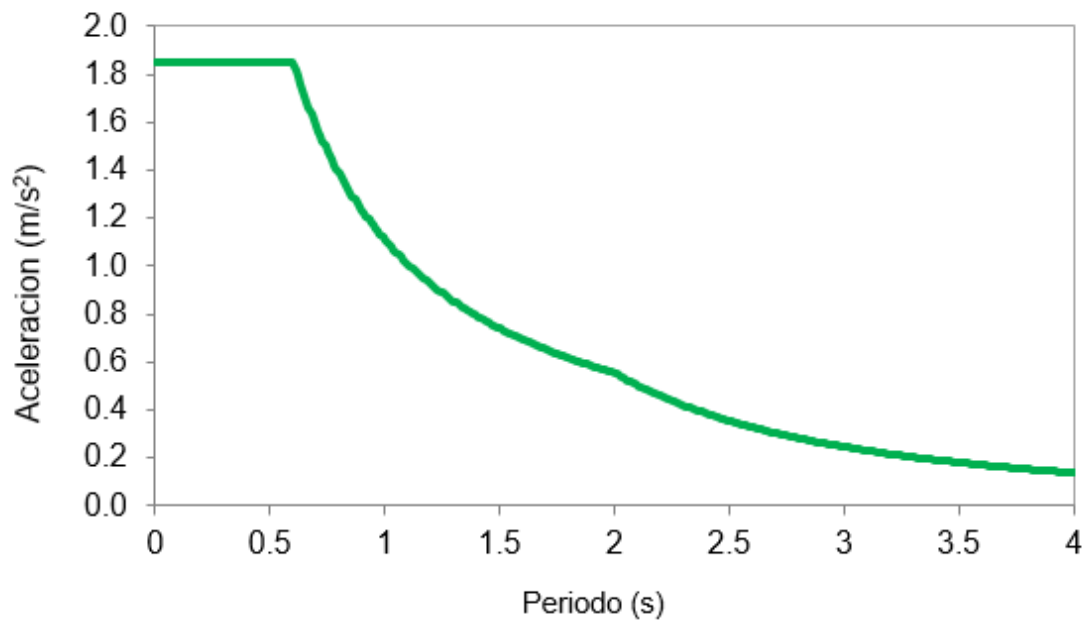


Figura 21 Espectro de diseño característico para la estructura y zona de estudio - concreto.

Fuente: propia

4.1.1.2. Albañilería confinada

Z	0.35	Factor de zona
S	1.15	Factor de suelo
T _p	0.60	Periodo corto
T _l	2.00	Periodo largo
U	1.50	Factor de uso
R _o	3.00	Factor de reducción básico
I _a	1.00	Irregularidad en altura
I _p	1.00	Irregularidad en planta
R	3.00	Factor de reducción $R=R_o \cdot I_a \cdot I_b$

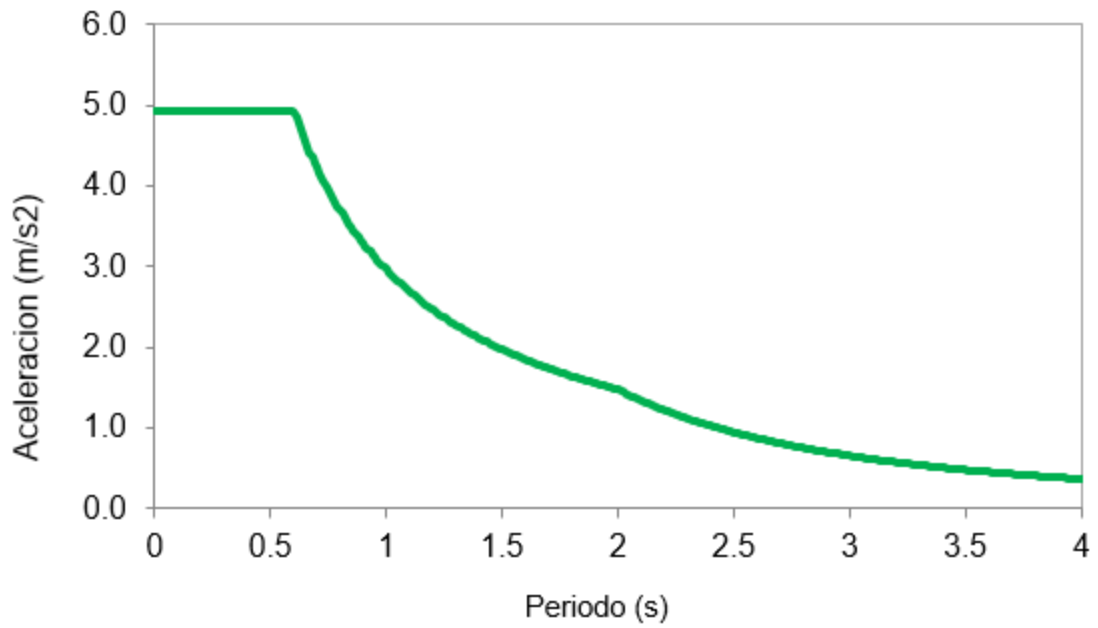


Figura 22 Espectro de diseño característico para la estructura y zona de estudio - Albañilería.

Fuente: propia

4.1.8. Definición del sistema estructural

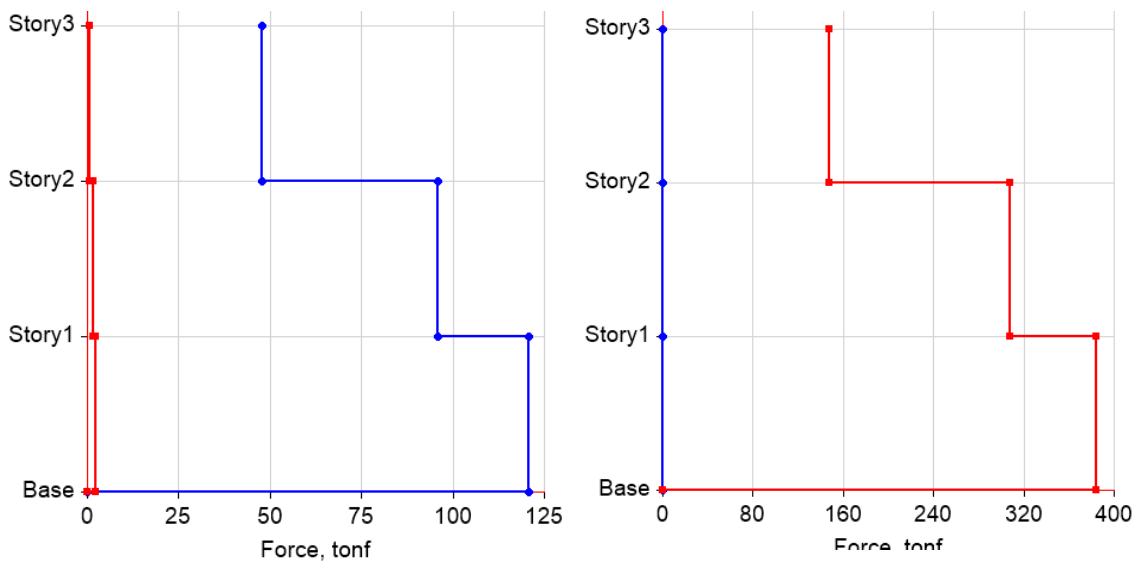


Figura 23 Cortantes de entrepiso en la estructura analizada debido a la demanda sísmica.

Fuente: propia

4.1.9. Definición del factor de reducción

$$R = I_a \cdot I_b \cdot R_o$$

$$I_a = 1.0, I_b = 1.0$$

$$R_x = 8, R_y = 3$$

4.1.10. Evaluación de la rigidez del sistema estructural

Tabla 2

Máximas distorsiones de entrepiso típicos debidos a la demanda sísmica.

Story	Elevación m	Sx		Sy	
		X-Dir	Y-Dir	X-Dir	Y-Dir
Story3	9	0.016816	0.0001	0	0.001564
Story2	6	0.029985	0.00016	0.000111	0.002196
Story1	3	0.026125	0.000167	0	0.002056
Base	0	0	0	0	0

Fuente: propia

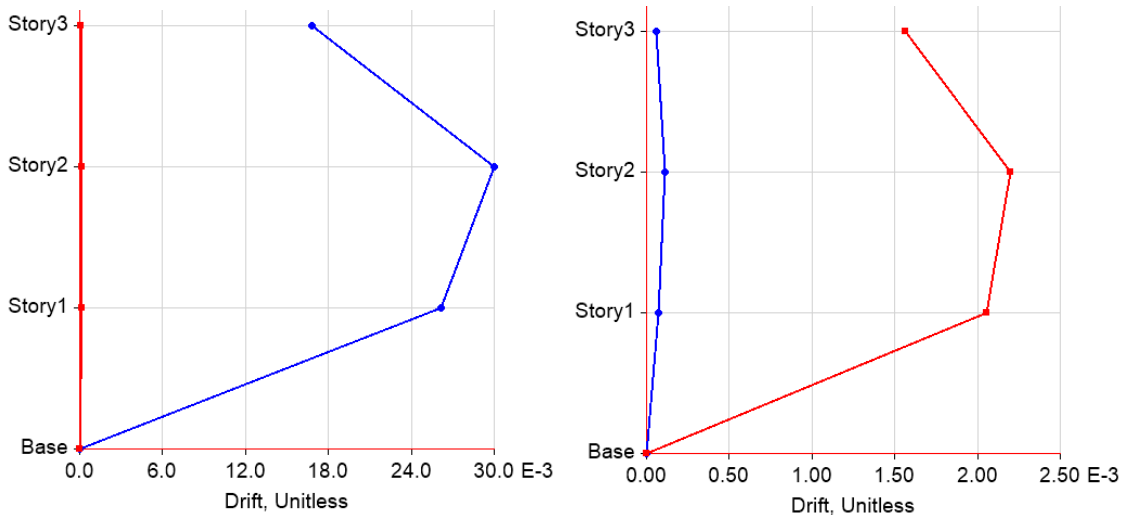


Figura 24 Distorsiones máximas de entrepiso típicas debidas a la demanda sísmica, en direcciones X e Y.

Fuente: propia

4.2. RESULTADOS DEL ANÁLISIS ESTÁTICO NO LINEAL

4.2.1. Comportamiento no lineal de los materiales

4.2.1.1. Acero

Módulo de elasticidad : $E=2.1 (10)^6 \text{ kg/cm}^2$

Esfuerzo de fluencia : $f_y=4200 \text{ kg/cm}^2$

Deformación unitaria : $e_y=0.0021$

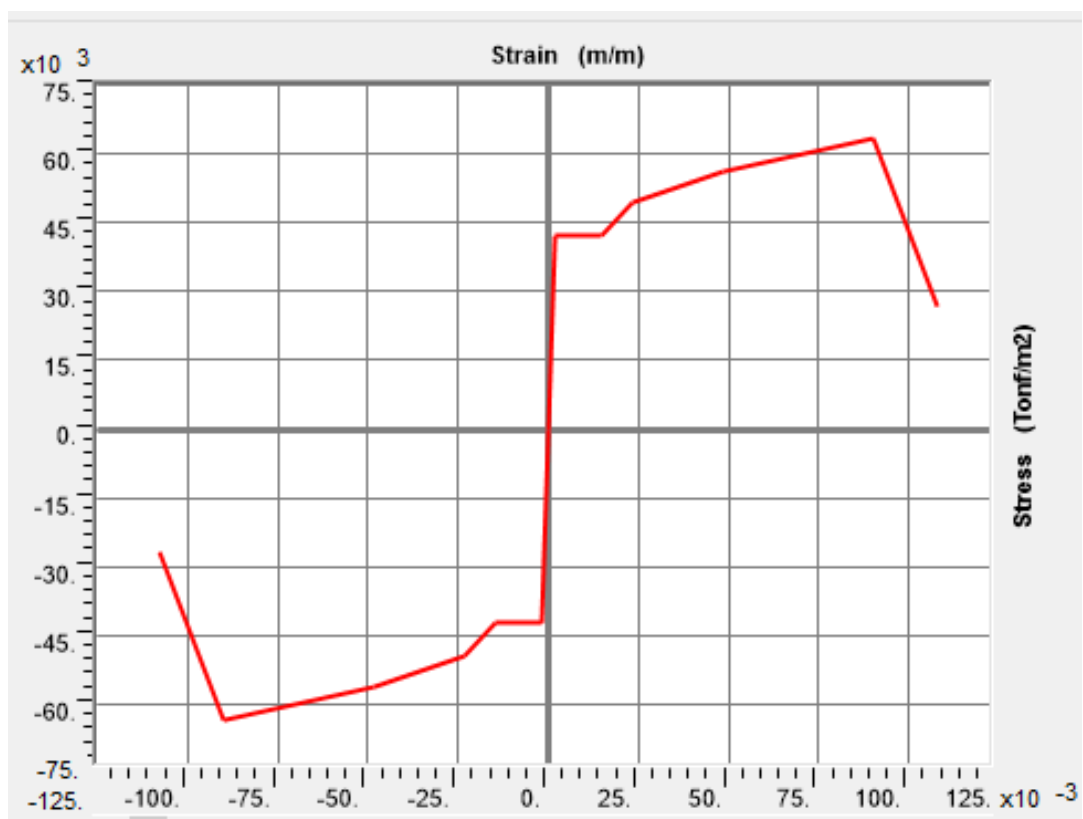


Figura 25 Diagrama esfuerzo deformación del acero de construcción típico de grado 60.

Fuente: Elaboración propia ETABS V.2018.

4.2.1.2. Concreto

Resistencia a la compresión : $f_c=210 \text{ kg/cm}^2$.

Resistencia a la tracción : $f_t=30 \text{ kg/cm}^2$

Módulo de elasticidad : $E=15000\sqrt{f_c}=217370$

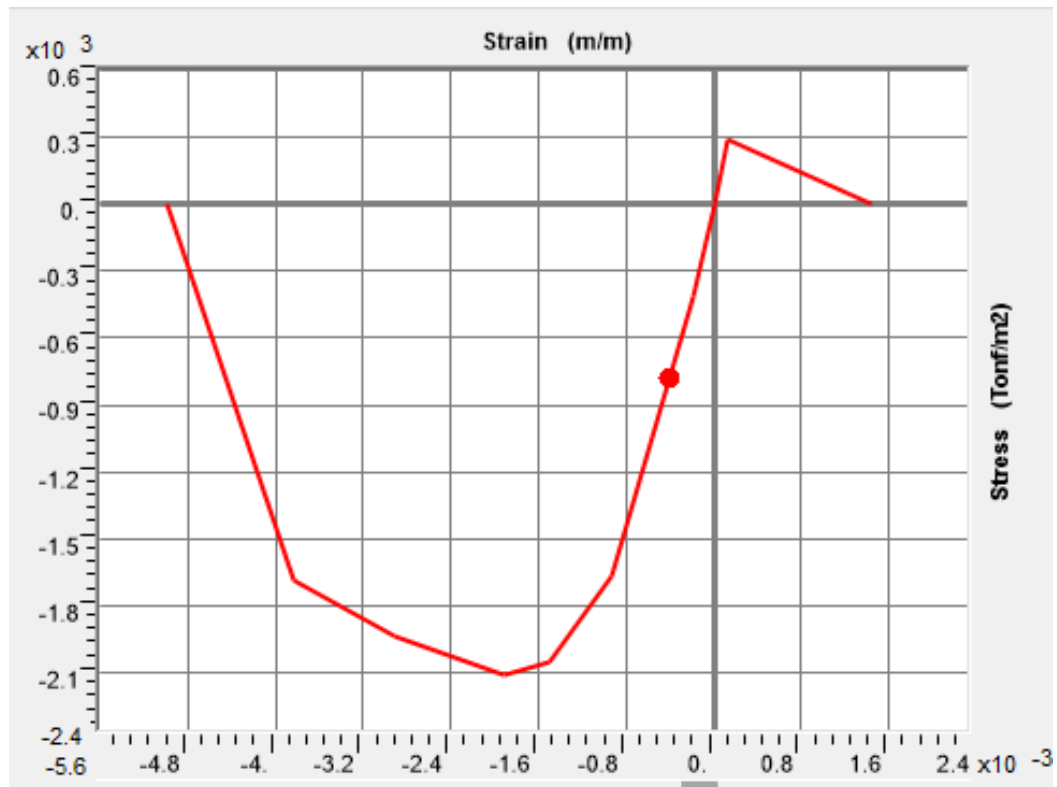


Figura 26 Diagrama esfuerzo deformación del concreto de 210 kg/cm^2 .
Fuente: Elaboración propia ETABS V.2018.

4.2.2. Cálculo y evaluación de los pesos faltantes

Tabla 3: Cargas gravitacionales con modelos puntal tirante.

Nivel	D tonf	L tonf	D+0.5LL tonf
Story3	232.1065	32.26	329.59
Story2	511.8736	137.09	637.69
Story1	791.6406	241.92	820.06

Tabla 4: Cargas muertas encontradas sin muros basados en elementos Shell

Nivel	D tonf	L tonf	D+0.5LL tonf
Story3	246.9436	32.26	225.82
Story2	541.5478	137.09	536.94
Story1	836.1519	241.92	848.07

Tabla 5: Cargas faltantes por metro cuadrado en el modelo puntal tirante

Masas por piso				
Modelo 1 (t)	Modelo 2 (t)	Dif (t)	Área (m ²)	C.U (t/m ²)
248.24	263.07	14.84	360.00	0.04
332.18	347.02	14.84	360.00	0.04
332.18	347.02	14.84	360.00	0.04

4.2.3. Diagramas momento curvatura de las secciones

4.2.3.1. Columnas

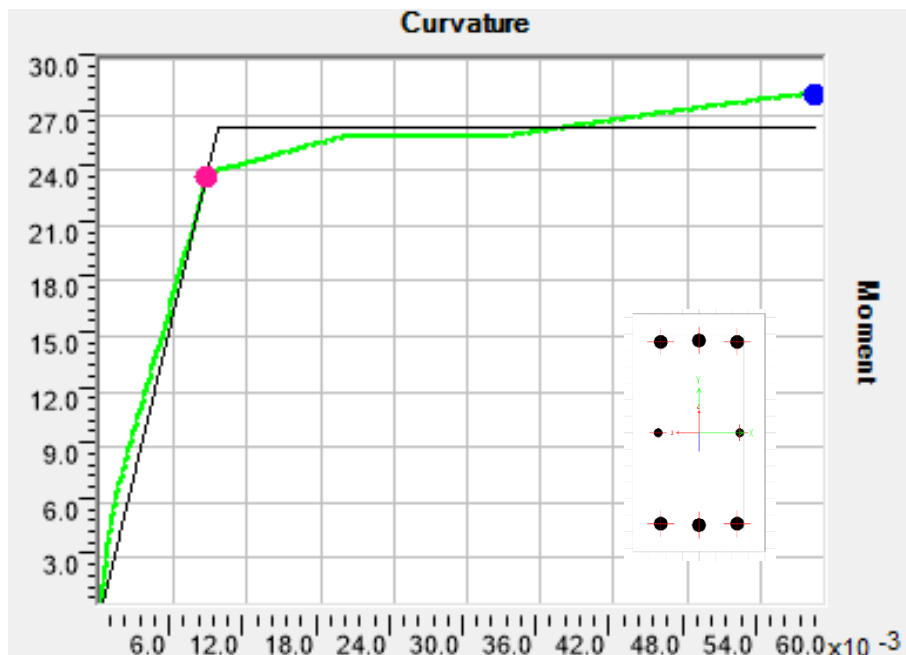


Figura 27 Diagrama momento curvatura de la columna 25x45 en el eje mayor.

Fuente: Elaboración propia ETABS V.2018.

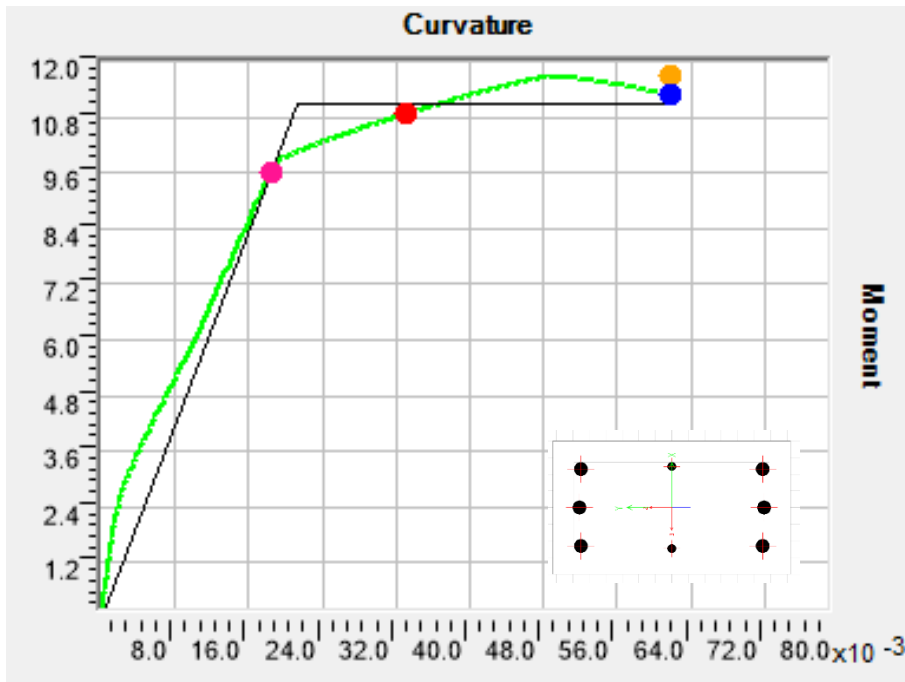


Figura 28 Diagrama momento curvatura de la columna 25x45 en el eje menor.

Fuente: Elaboración propia ETABS V.2018.

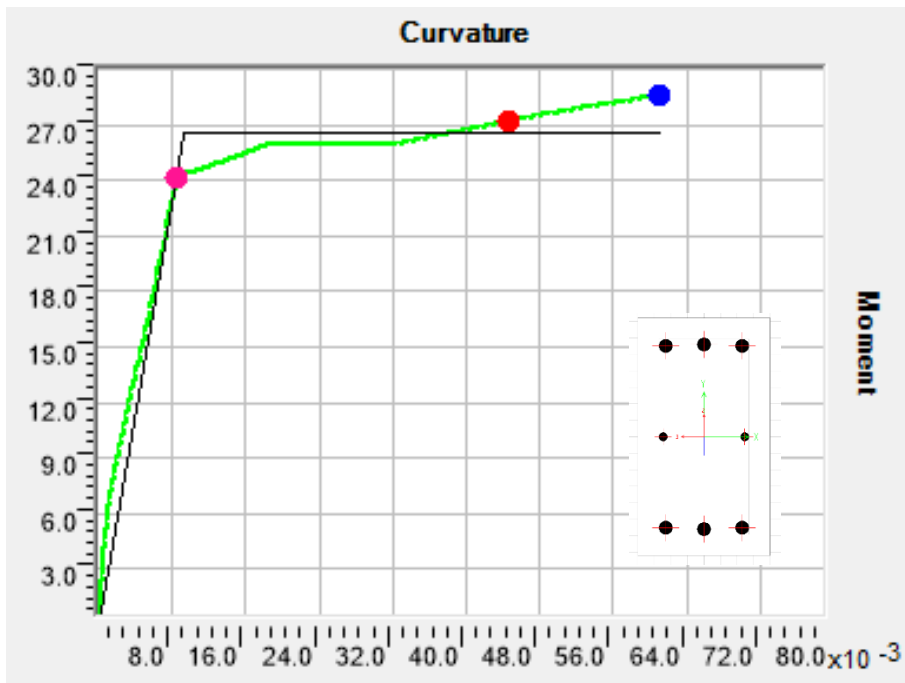


Figura 29 Diagrama momento curvatura de la columna 25x45 en el eje mayor.

Fuente: Elaboración propia ETABS V.2018.

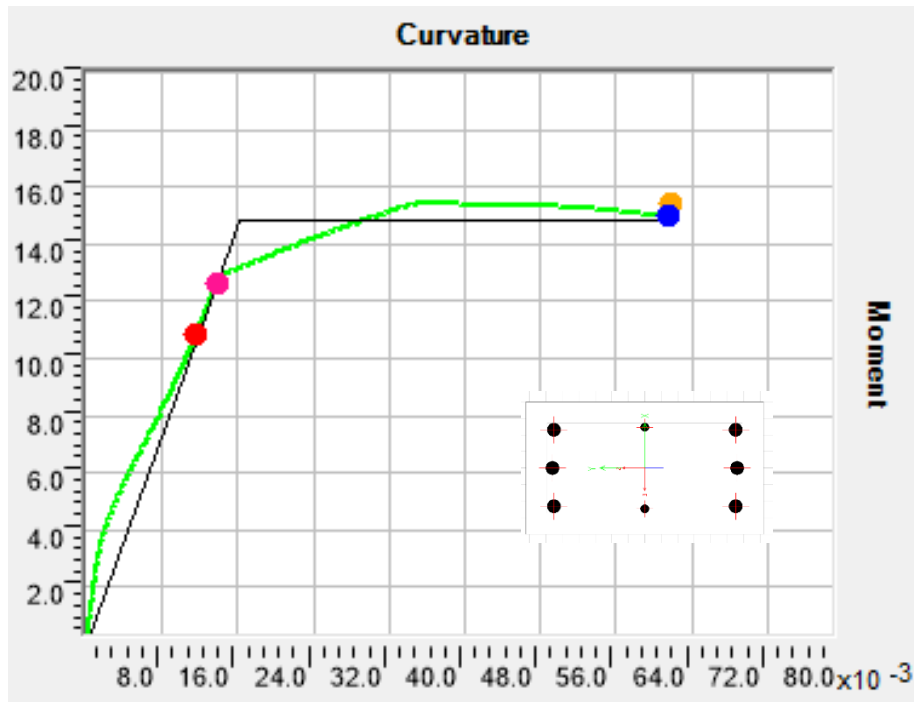


Figura 30 Diagrama momento curvatura de la columna 25x45 en el eje menor.

4.2.3.2. Vigas

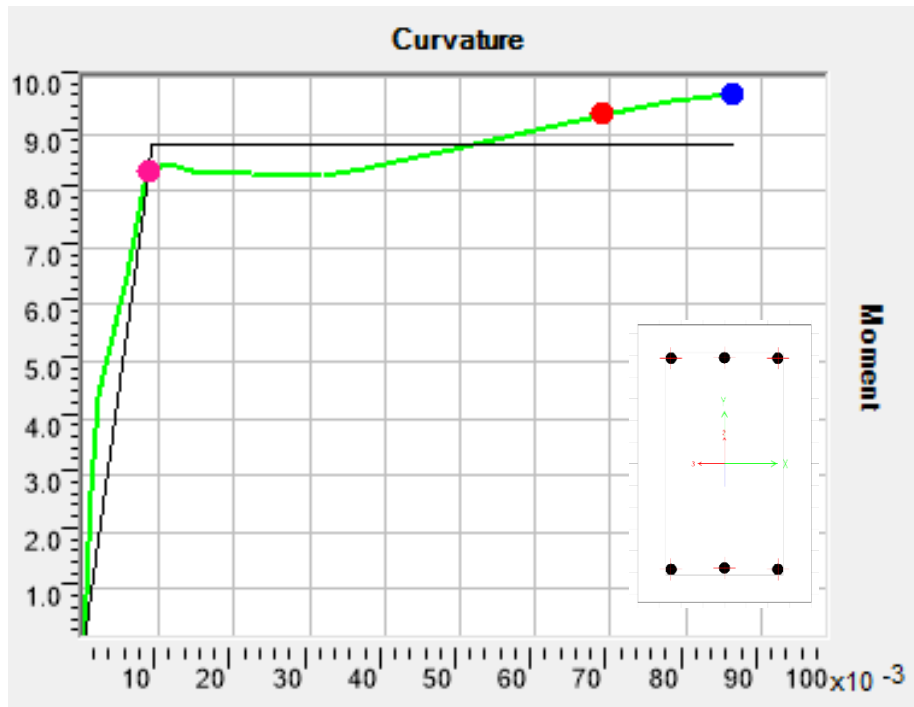


Figura 31 Diagrama momento curvatura de la viga 25x50 en el eje menor.

Fuente: propia ETABS. V.2018

4.2.4. Longitud de rotula plástica

Referencia del Investigador	Expresión de Longitud de Rótula Plástica
(Baker 1956)	$k \cdot (L/d)^{1/4} \cdot d$
(Sawjer Jr 1964)	$0,25 \cdot d + 0,075 \cdot L$
(Mattock 1964)	$0,5 \cdot d + 0,05 \cdot L$
(W. Gene Corley 1966)	$0,5 \cdot d + 0,2 \cdot (d)^{1/2} \cdot (L/d)$
(Park et al 1982)	$0,42 \cdot L$
(Priestley and Park 1987)	$0,08 \cdot L + 6 \cdot d$
(Paulay and Priestley 1992)	$0,08 \cdot L + 0,022 \cdot d \cdot f_y$
(Sheikh and Khoury 1993)	$1,0 \cdot L$
(Watson, S., & Park 1994)	$\frac{L_c}{h} = 1 + 2,8 \frac{P}{d \cdot f_{ck} \cdot A}$
(Panagiotakos and Fardis 2001)	$0,18 \cdot L + 0,021 \cdot d \cdot f_y$
(Bae SJ and Bayrak O 2008)	$\frac{L_p}{h} = \left((0,3 \left(\frac{P}{P_0} \right) + 3 \left(\frac{A_s}{A_g} \right) - 0,1) \right) \cdot \left(\frac{L}{h} \right) + 0,25$
(Berry et al 2008)	$0,05 \cdot L + \frac{0,1 \cdot d \cdot f_y}{\sqrt{f_c}}$
(Bairán J. and Bou I. 2014)	$\left(1 - \frac{M_y}{M_u} + \left(1 - \frac{1}{2} \frac{V_s L_v}{M_u} \right) \frac{z}{L_v} \cotan \theta \right) L_v$

De todas estas expresiones, la más indicada es la dada por Priestley y Paulay, expresada mediante la siguiente expresión:

$$l_p = 0.08 \cdot l + 0.022 \cdot d_b \cdot f_{yd} \text{ (MPa)}$$

En el caso de análisis considerado se tiene que para las columnas:

$$l=3\text{m}, d_b=0.0254, f_{yd}=420 \text{ MPa.}$$

Al sustituir estas expresiones en la expresión mostrada, se obtiene:

$$L_p=0.475=d$$

Es decir, la longitud de rotula plástica es aproximadamente el peralte de la sección analizada.

4.2.5. Definición de los modelos puntal tirante

4.2.5.1. Muro 01

Parámetros que definen la curva fuerza desplazamiento

$lw := 4 \text{ m}$ $hw := 3 \cdot \text{m}$ $tw := 25 \text{ cm}$ *Datos geometricos del muro*

$Ci := 1.925 \cdot \frac{lw}{hw} = 2.567$

$fws := 9 \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$ + *Resistencia a la traccion diagonal*

$Fm := 0.818 \cdot \frac{fws \cdot tw \cdot lw}{Ci} \cdot (1 + \sqrt{Ci^2 + 1})$

$Fm = 118.712 \text{ tonf}$ *Fuerza maxima resistida*

$Fy := 0.6 \cdot Fm = 71.227 \text{ tonf}$ *Fuerza de fluencia*

$\delta m := 0.002 \cdot \sqrt{lw^2 + hw^2} = 0.01 \text{ m}$

$\delta u := 5 \cdot \delta m = 0.05 \text{ m}$ $ke := \frac{Fm}{\delta m} = 11871.2 \frac{\text{tonf}}{\text{m}}$

$Gw := 1080 \cdot \text{MPa}$

$Ke := \frac{Gw \cdot lw \cdot tw}{hw} = 40465.6 \frac{\text{tonf}}{\text{m}}$

$\delta y := \frac{Fy}{Ke} = 0.002 \text{ m}$

Identification

Property Name: M01

Direction: U1

Type: MultiLinear Plastic

NonLinear: Yes

Linear Properties

Effective Stiffness: 11871 tonf/m

Effective Damping: 0 tonf-s/m

Shear Deformation Location

Distance from End-J: m

Multilinear Force-Displ Relation

Pt	Displ (m)	Force (tonf)
1	-0.05	0
2	-0.01	-118.71
3	-0.002	-71.23
4	0	0
5	0.001	0

Max: (-0.05, 0); Min: (-0.01, ...)

Hysteresis Type and Associated Parameters

Hysteresis Type: Pivot

α_1 : 10 β_1 : 0.7 η : 0

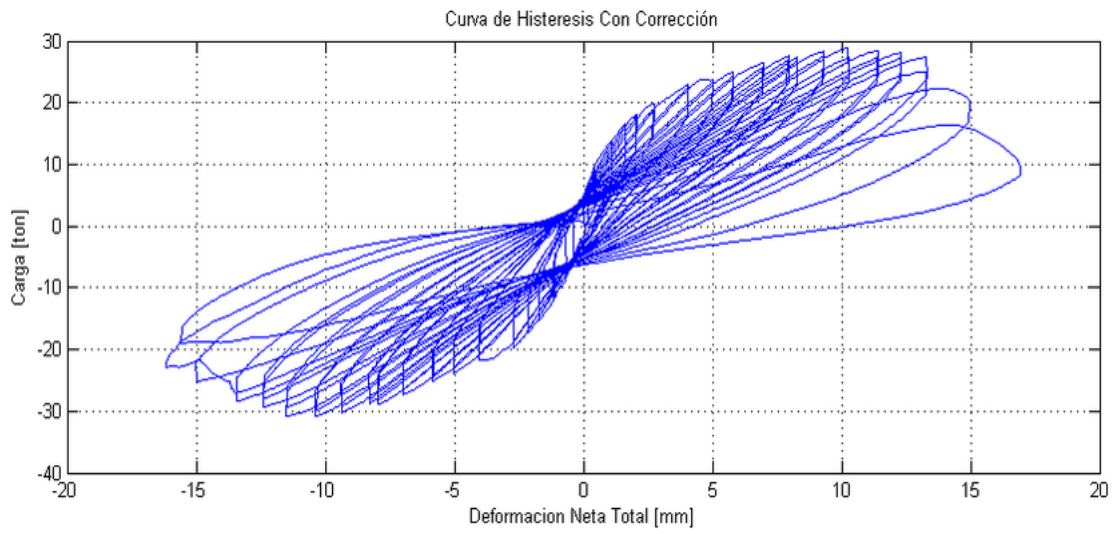
α_2 : 10 β_2 : 0.7

Hysteresis Definition Diagram

Pivot Hysteresis Model

Action

Deformation



4.2.6. Definición del modelo

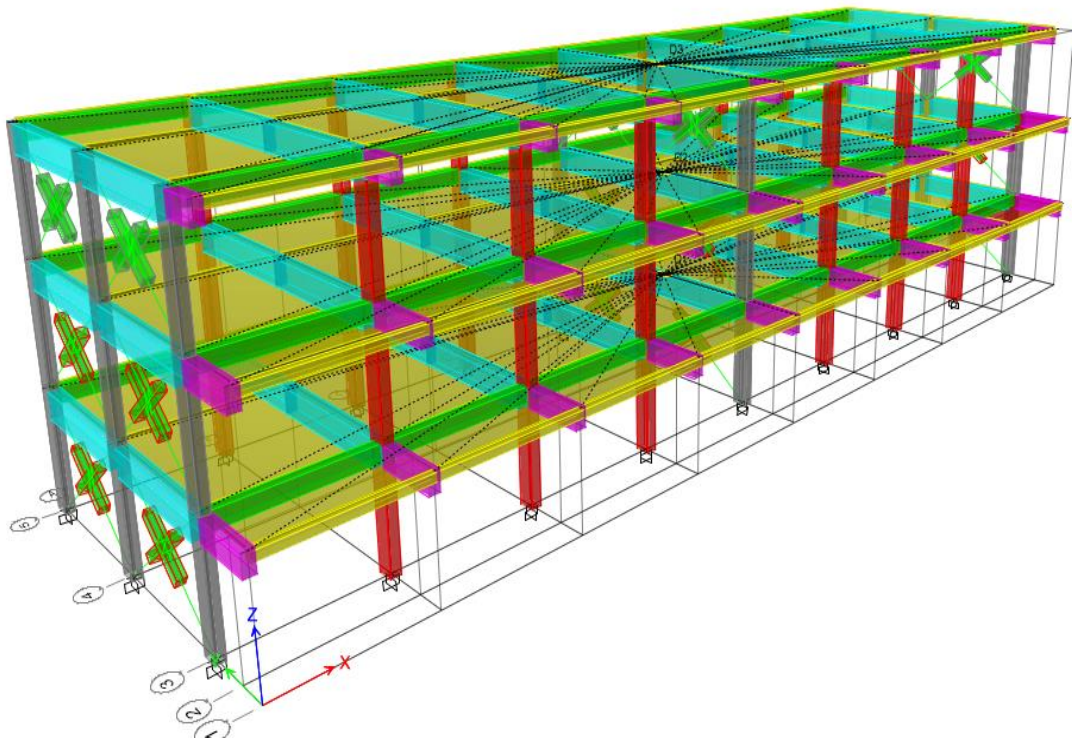
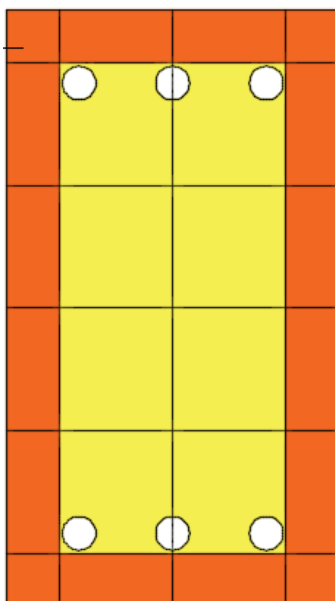


Figura 32 Modelo tridimensional puntal tirante.
Fuente: propia ETABS. V.2018

4.2.7. Modelo de fibras para columnas



Control

Overlay Frame Section on Plot

Section

Make All Fibers Gray

Fiber Definition Data

Fiber	Area m ²	Coord3 m	Coord2 m	Material /// Stress Strain Curve
1	1.6E-03	0.11	0.21	3000Psi /// SSC1
2	3.4E-03	0.04	0.21	3000Psi /// SSC1
3	3.4E-03	-0.04	0.21	3000Psi /// SSC1
4	1.6E-03	-0.11	0.21	3000Psi /// SSC1
5	3.7E-03	0.11	0.14	3000Psi /// SSC1
6	0.01	0.04	0.14	3000Psi /// SSC1
7	0.01	-0.04	0.14	3000Psi /// SSC1
8	3.7E-03	-0.11	0.14	3000Psi /// SSC1
9	3.7E-03	0.11	0.05	3000Psi /// SSC1
10	0.01	0.04	0.05	3000Psi /// SSC1

Sort by Coord3 Sort by Coord2 Add Fiber Delete Selected Fibers

Figura 33 Modelo de fibras de la sección analizada.

Fuente: propia ETABS V.2018

4.2.8. Curva de capacidad

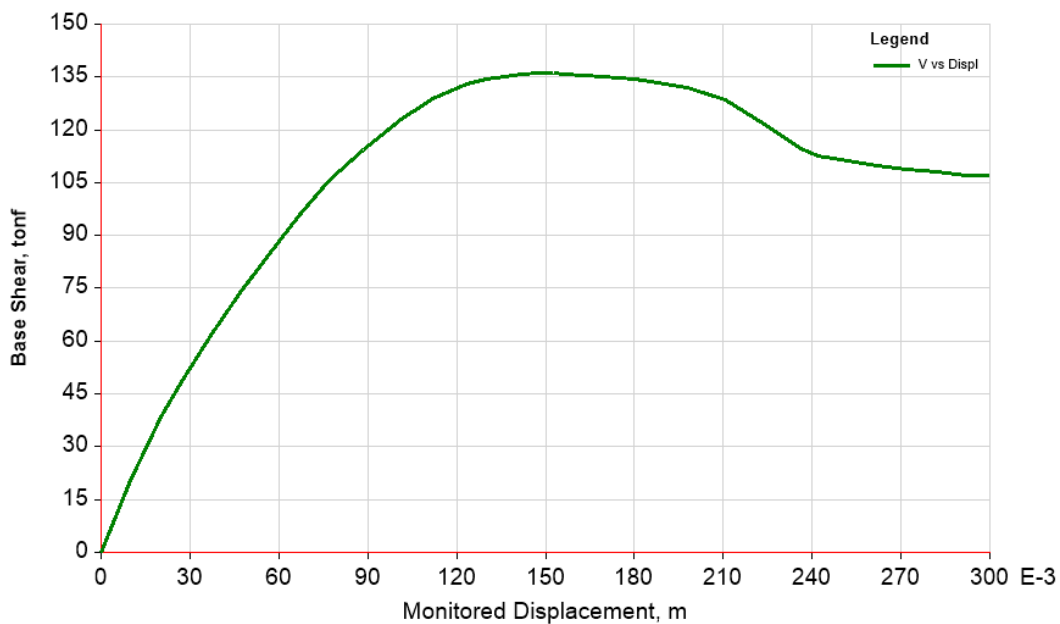


Figura 34 Curva de capacidad de la estructura en dirección X.
Fuente: propia ETABS V.2018

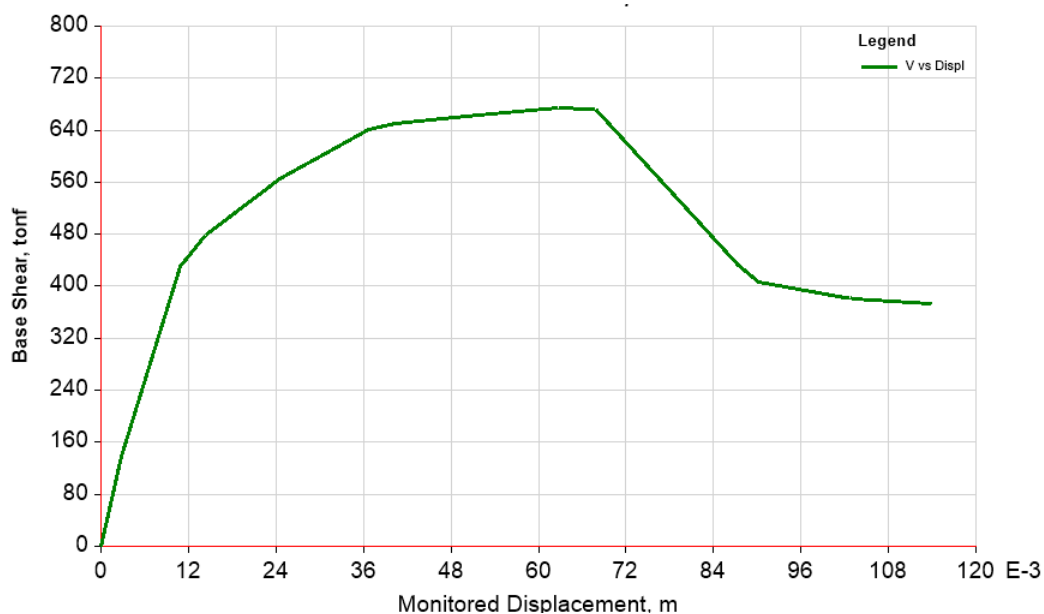


Figura 35 Curva de capacidad de la estructura en dirección Y.
Fuente: propia ETABS v.2018

4.2.9. Comportamiento

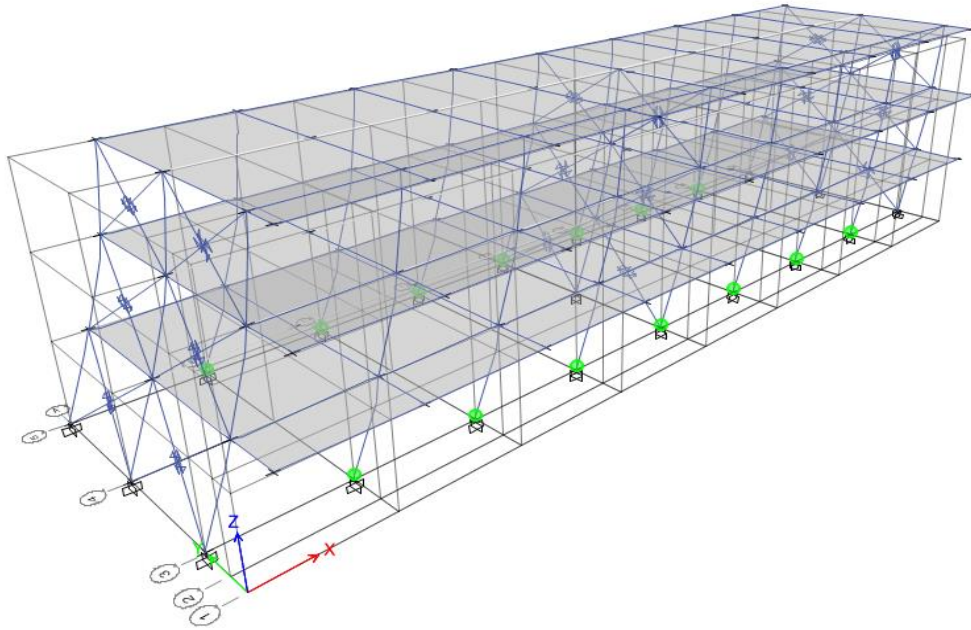


Figura 36 Comportamiento de la estructura en dirección X

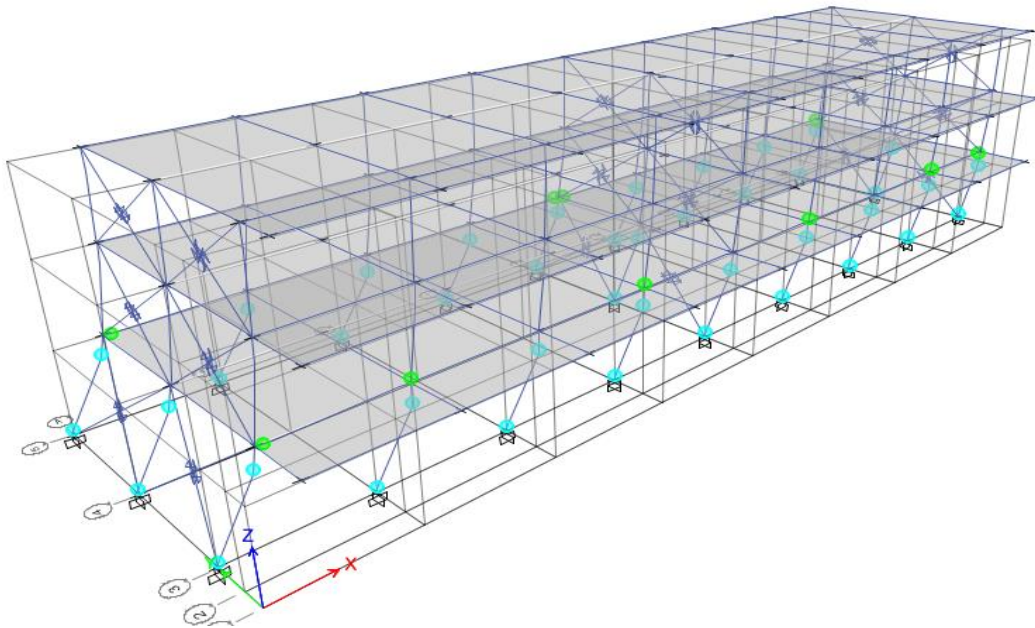


Figura 37 Comportamiento de la estructura en dirección X

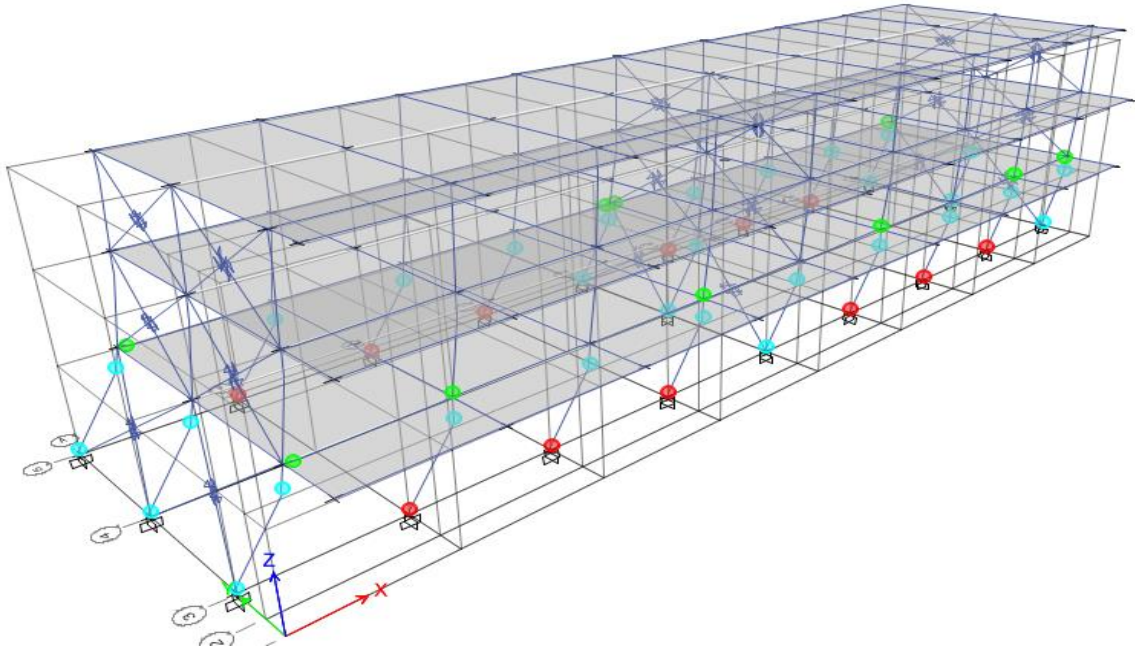


Figura 38 Comportamiento de la estructura en dirección X.
Fuente: propia ETABS V.2018

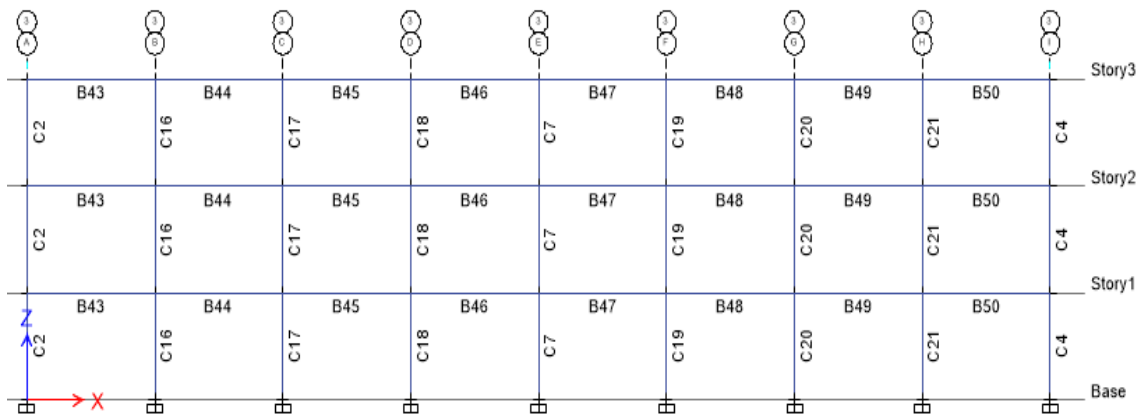


Figura 39 Elevación del eje vertical 3.
Fuente: propia ETABS V.2018

4.2.10. Comportamiento de las columnas del primer nivel

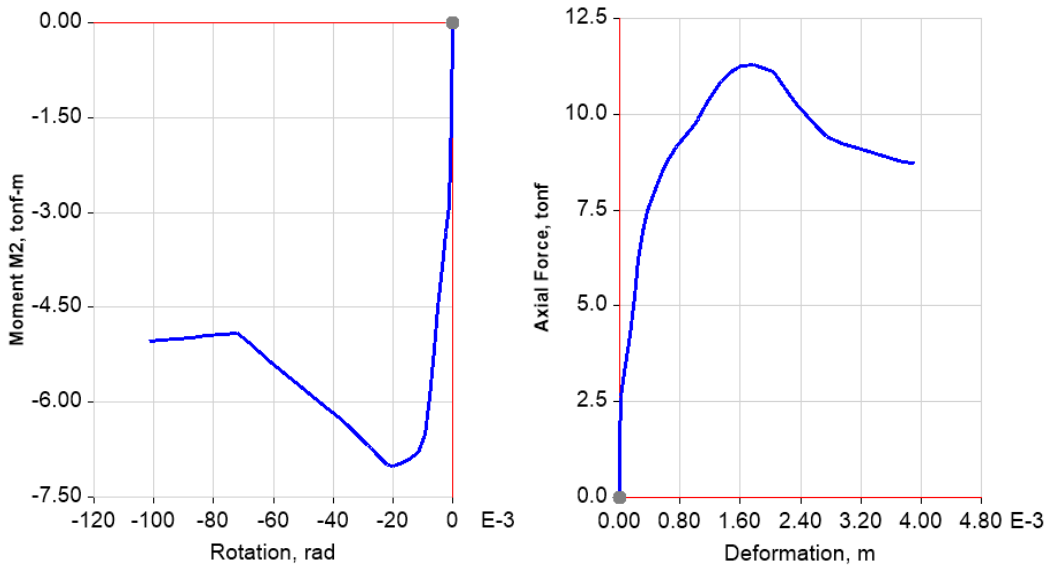


Figura 40 Curvas de comportamiento de la columna C2, momento M2 y carga axial P.

Fuente: propia ETABS V.2018

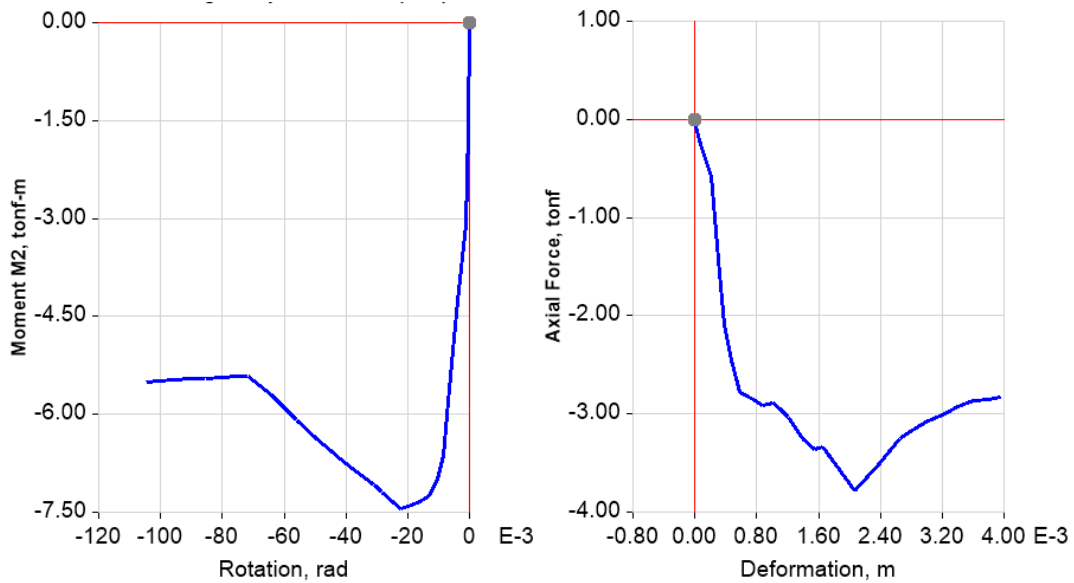


Figura 41 Curvas de comportamiento de la columna C7, momento M2 y carga axial P.

Fuente: propia ETABS V.2018

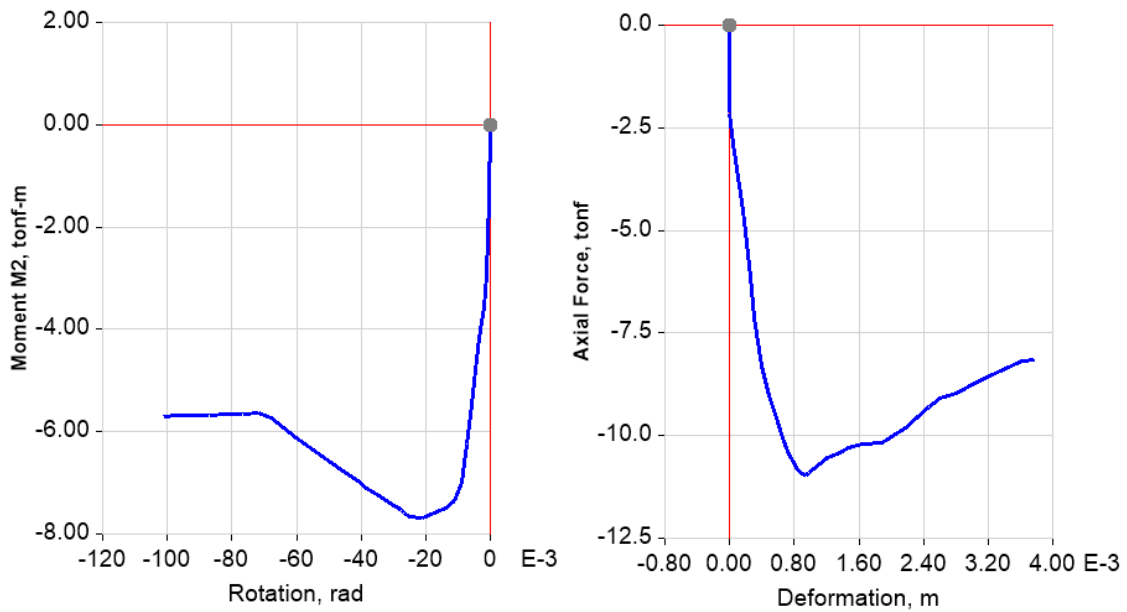


Figura 42 Curvas de comportamiento de la columna C4, momento M3 y carga axial P.

Fuente: propia ETABS V.2018

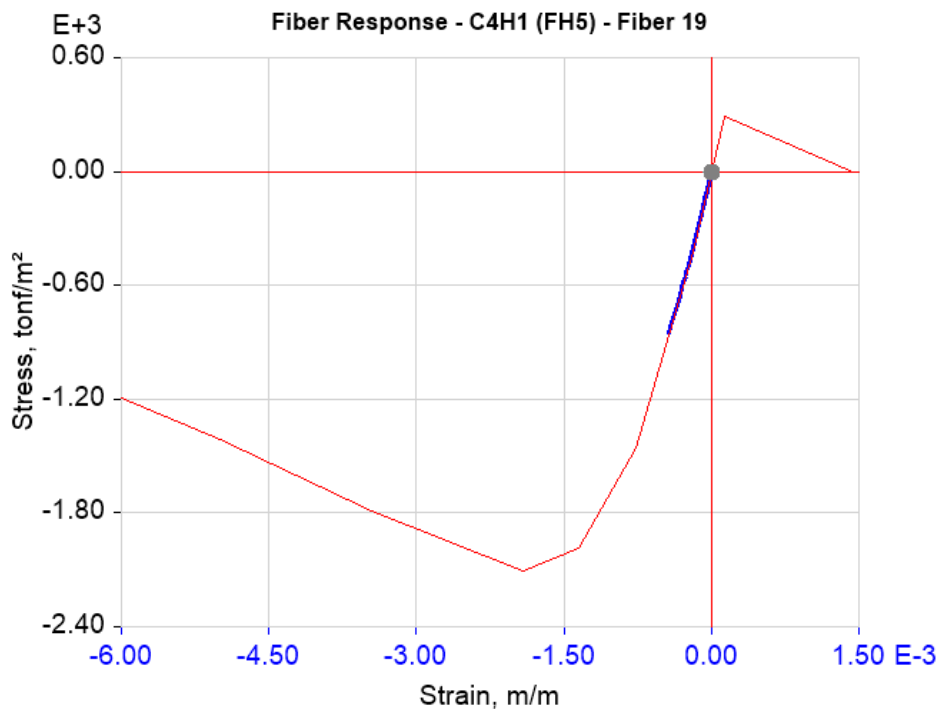


Figura 43 Comportamiento del concreto presente en una fibra de análisis.

Fuente: propia ETABS V.2018

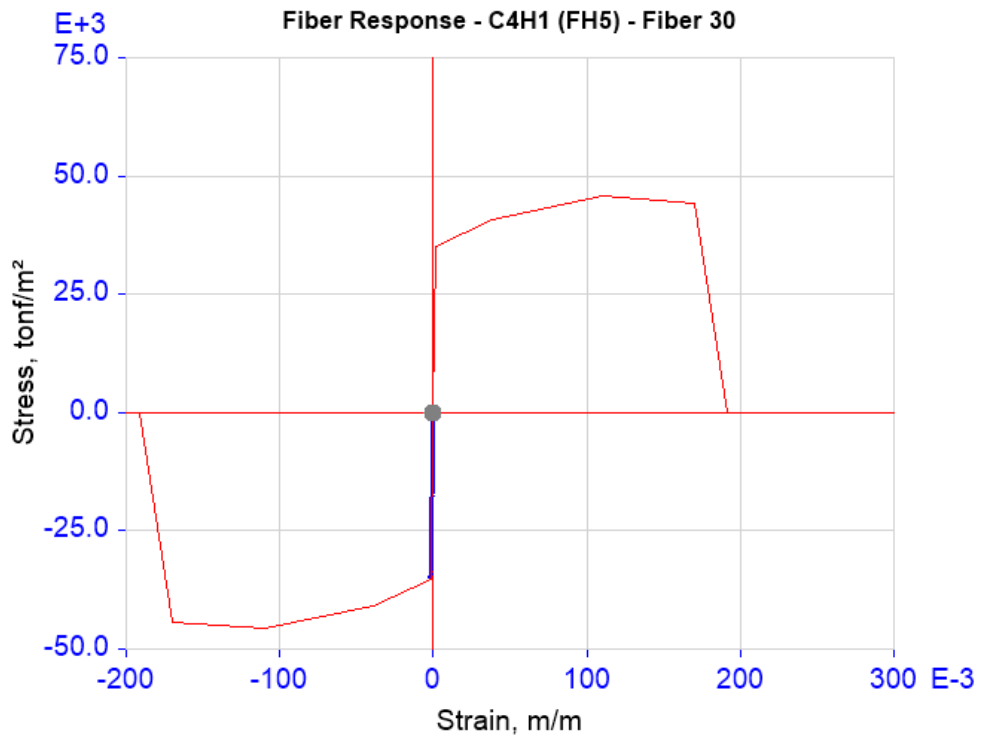


Figura 44 Comportamiento monotónico de una fibra de acero.
Fuente: propia ETABS V.2018

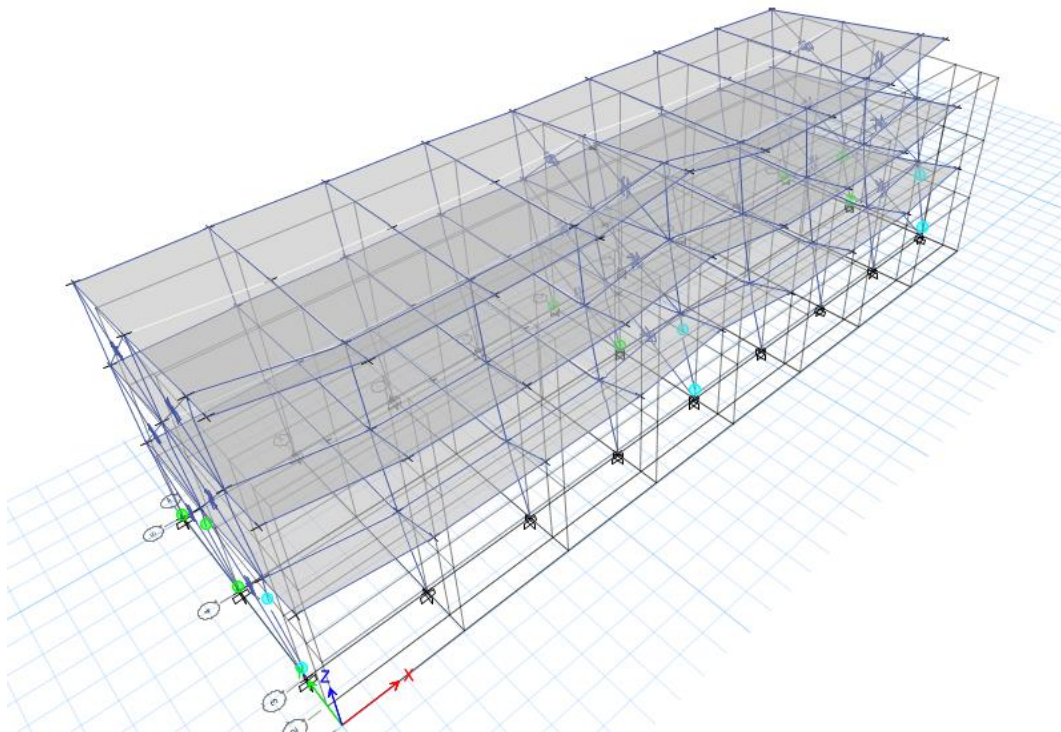


Figura 45 Comportamiento de la estructura en dirección Y.
Fuente: propia ETABS V.2018

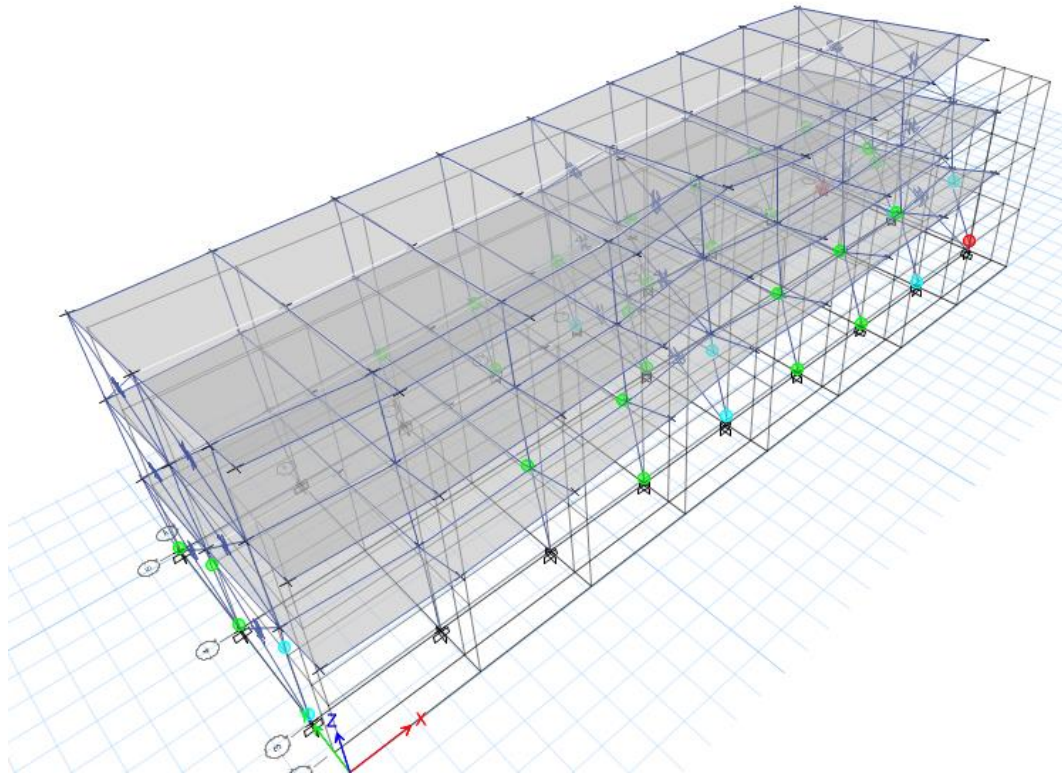


Figura 46 Comportamiento de la estructura en dirección Y.
Fuente: propia ETABS v.2018

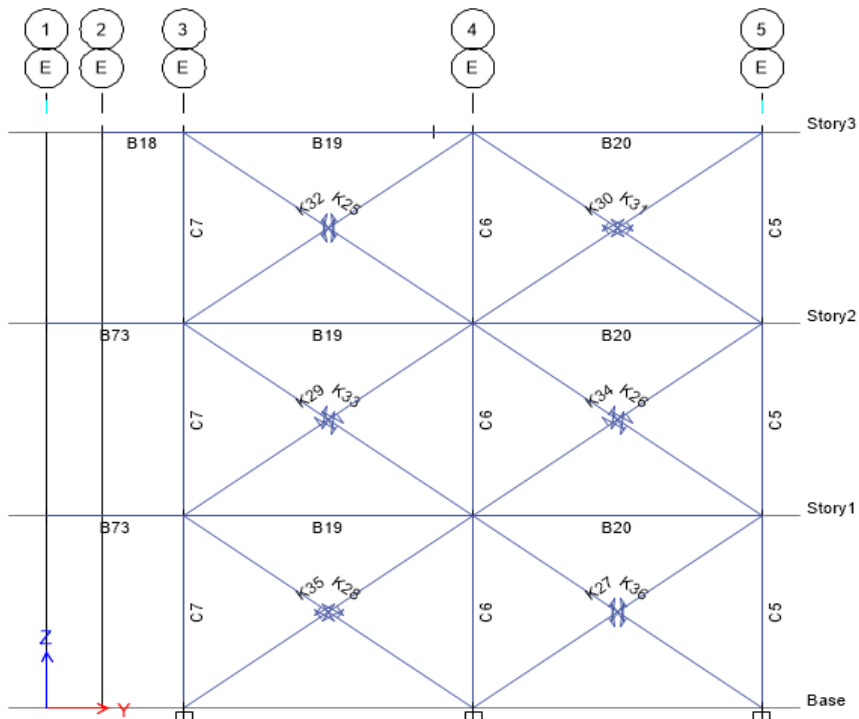


Figura 47 Eje central E de la estructura analizada, donde hay presentes muros de albañilería confinada.
Fuente: propia ETABS V.2018

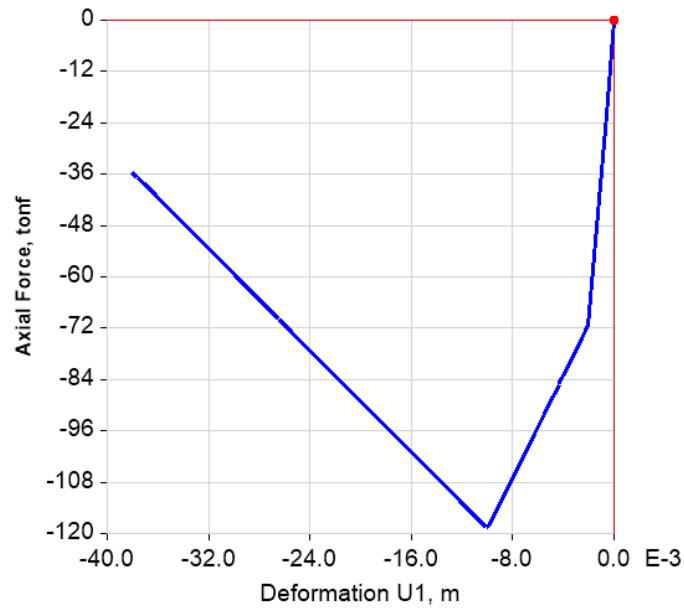


Figura 48 Curva de comportamiento de un muro de albañilería confinada central del primer nivel.
Fuente: propia ETABS V.2018

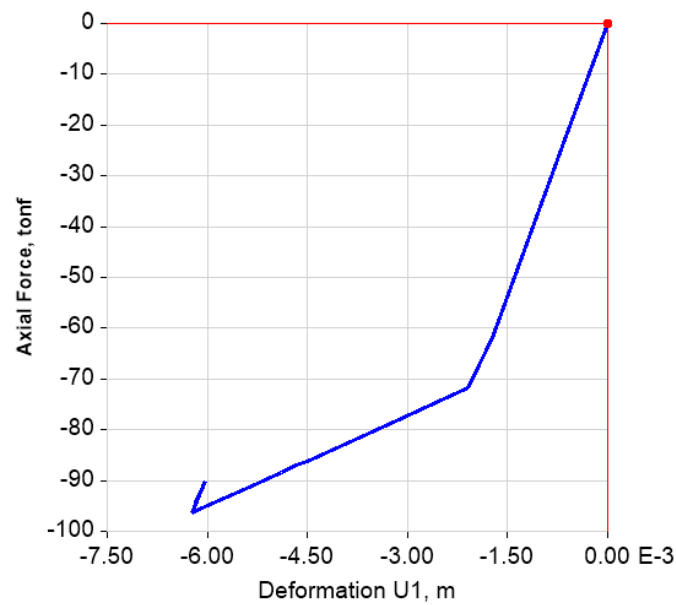


Figura 49 Curva de comportamiento de un muro de albañilería confinada central del segundo nivel.
Fuente: propia ETABS V.2018

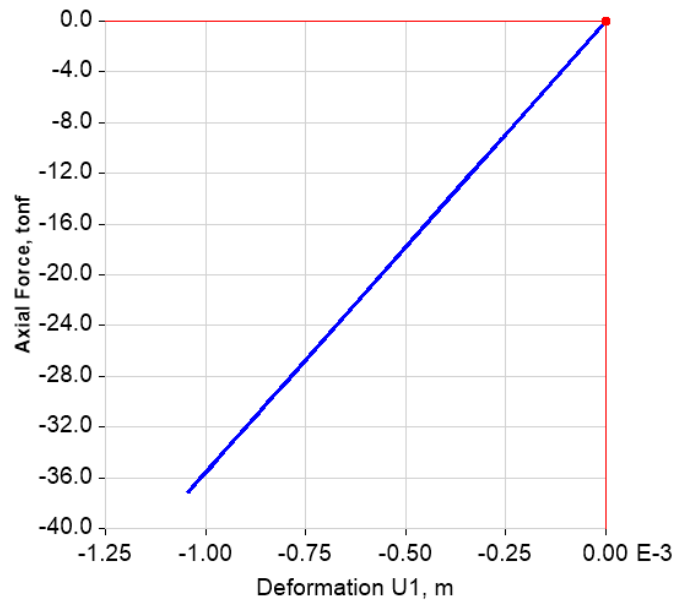


Figura 50 Curva de comportamiento de un muro de albañilería confinada central del tercer nivel.

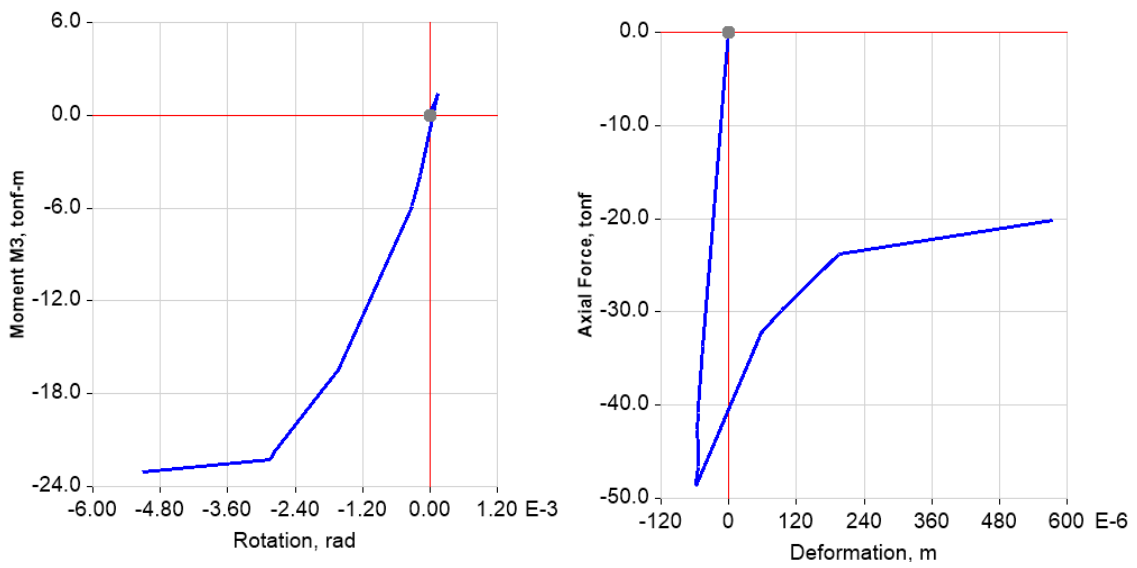


Figura 51 Curva de comportamiento de columna central del primer nivel.

4.2.11. Punto de desempeño

Sismo con $T_r = 2500$ años

CÁLCULO DEL DESPLAZAMIENTO LATERAL MÁXIMO

Cálculo del coeficiente C_0

$$C_0 := 1.3$$

Tabla 2. Valores recomendados del factor C_0

Número de pisos	Valor de C_0
1	1.0
2	1.2
3	1.3
5	1.4
más de 10 pisos	1.5

Cálculo del coeficiente C_1

$$T_0 := 0.6 \cdot s$$

$$K_e := 1495.4 \cdot \frac{\text{tonf}}{m}$$

$$K_i := 2059.1 \cdot \frac{\text{tonf}}{m}$$

$$T_i := 0.74 \cdot s$$

$$T_e := T_i \cdot \sqrt{\frac{K_i}{K_e}} = 0.868 \text{ s}$$

$$C_1 := 1.0$$

Cálculo del coeficiente C_2

$$C_2 := 1.2$$

Aceleración espectral correspondiente a T_e

$$S_a := 10 \cdot \frac{m}{s^2}$$

Cálculo del desplazamiento esperado y lateral máximo

$$Dt := Co \cdot C1 \cdot C2 \cdot C3 \cdot Sa \cdot \frac{Te^2}{4 \cdot \pi^2} = 0.298 \text{ m}$$

$$Dmax := 1.5 \cdot Dt = 0.447 \text{ m}$$

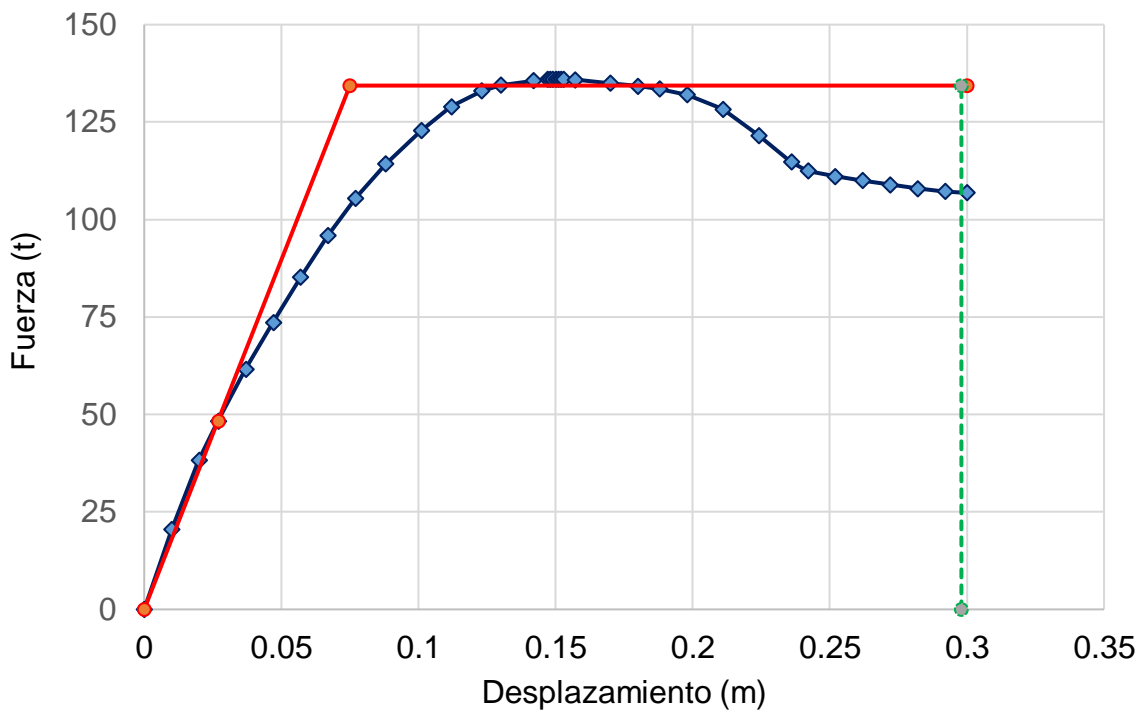


Figura 52 Vista panorámica de la edificación analizada.
Fuente: propia ETABS V.2018

CÁLCULO DEL DESPLAZAMIENTO LATERAL MÁXIMO

Cálculo del coeficiente C_0

$$C_0 := 1.3$$

Tabla 2. Valores recomendados del factor C_0

Número de pisos	Valor de C_0
1	1.0
2	1.2
3	1.3
5	1.4
más de 10 pisos	1.5

Cálculo del coeficiente C_1

$$T_0 := 0.6 \cdot s$$

$$K_e := 39151.25 \cdot \frac{\text{tonf}}{\text{m}}$$

$$K_i := 46273.7 \cdot \frac{\text{tonf}}{\text{m}}$$

$$T_i := 0.175 \cdot s$$

$$T_e := T_i \cdot \sqrt{\frac{K_i}{K_e}} = 0.19 \text{ s}$$

$$C_1 := 1.5 - 0.5 \cdot \left(\frac{T_e - 0.1 \cdot s}{T_0 - 0.1 \cdot s} \right) = 1.41$$

Cálculo del coeficiente C_2

$$C_2 := 1.0 + 0.2 \cdot \frac{T_e}{T_0} = 1.063$$

Aceleración espectral correspondiente al T_e

$$S_a := 15 \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Cálculo del desplazamiento esperado y lateral máximo

$$D_t := C_0 \cdot C_1 \cdot C_2 \cdot C_3 \cdot S_a \cdot \frac{T_e^2}{4 \cdot \pi^2} = 0.027 \text{ m}$$

$$D_{max} := 1.5 \cdot D_t = 0.04 \text{ m}$$

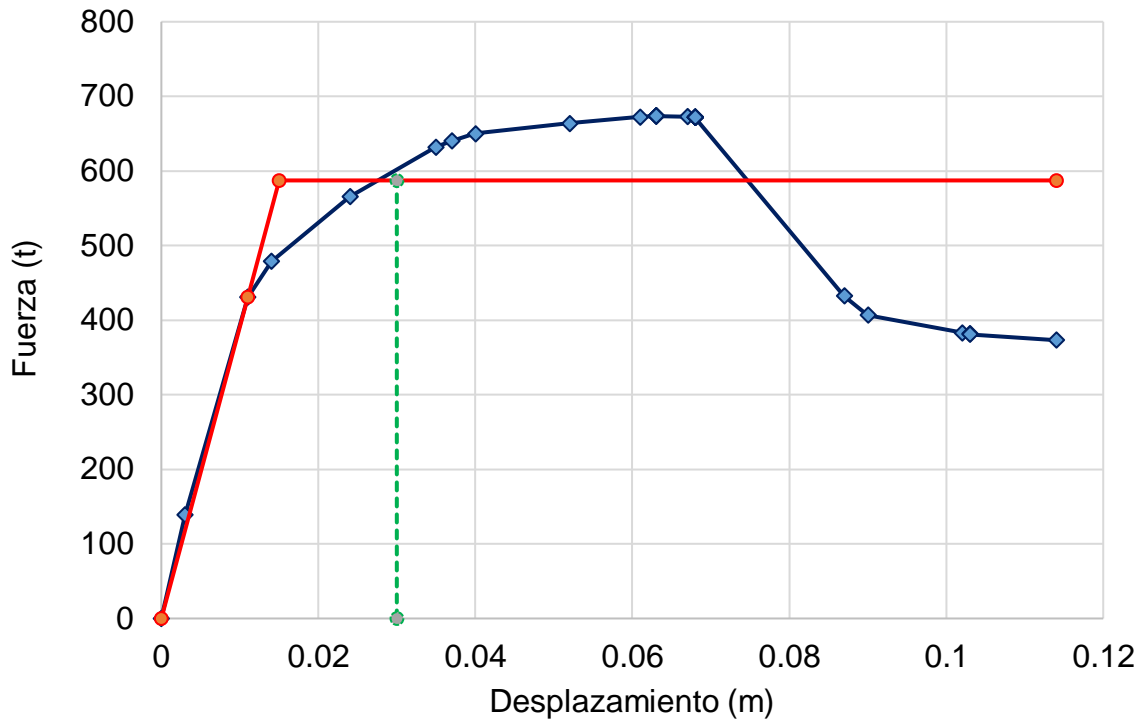


Figura 53 Vista panorámica de la edificación analizada.
Fuente: propia ETABS V.2018

4.2.12. Reforzamiento estructural propuesto en columnas

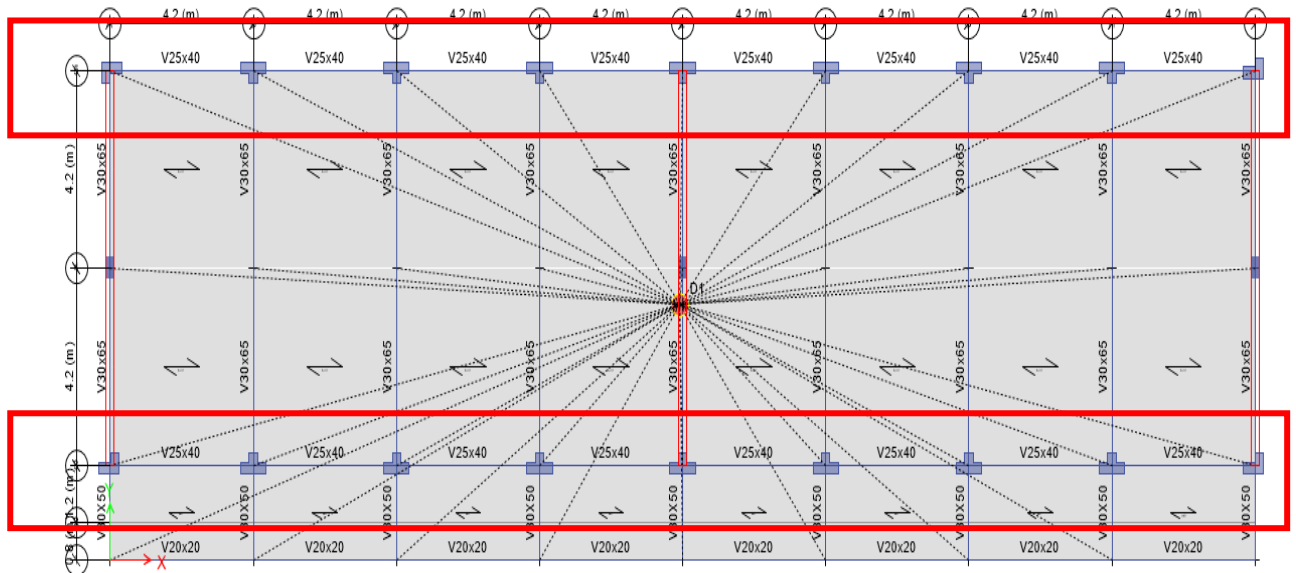


Figura 54 Elementos estructurales a reforzar.
Fuente: propia ETABS V.2018

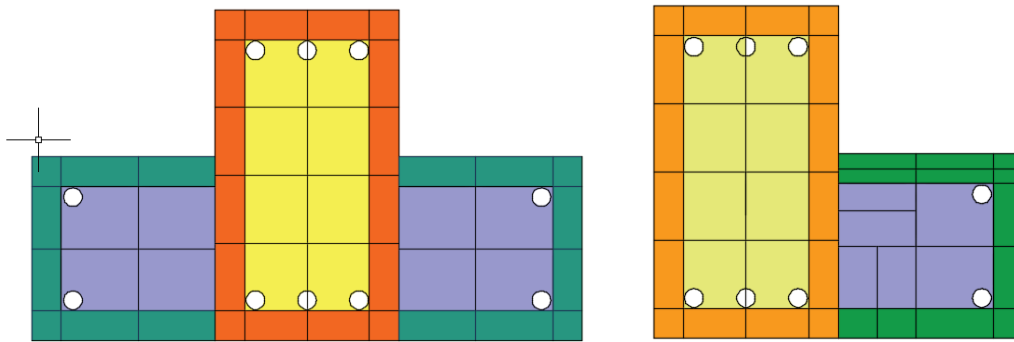


Figura 55 Discretización de las secciones reforzadas.
Fuente: propia ETABS V.2018

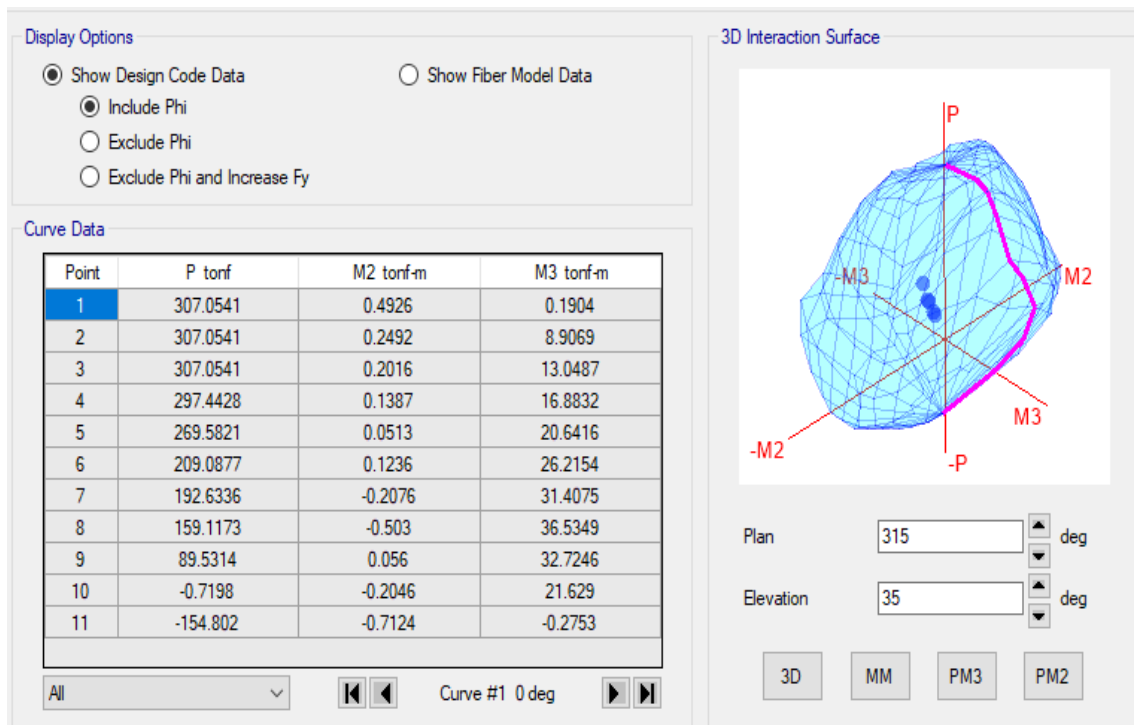


Figura 56 Diagrama de interacción y demanda sísmica de la sección 01.
Fuente: propia ETABS V.2018

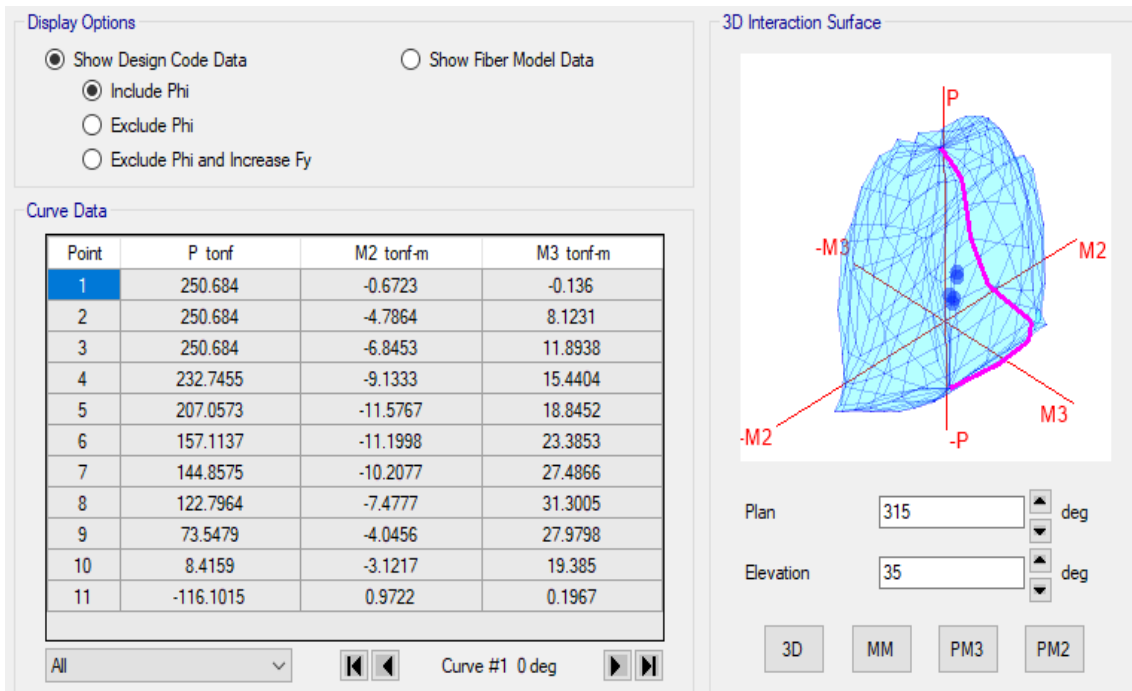


Figura 57 Diagrama de interacción y demanda sísmica de la sección 02.
Fuente: propia ETABS V.2018

4.2.13. Formas de modo de la estructura

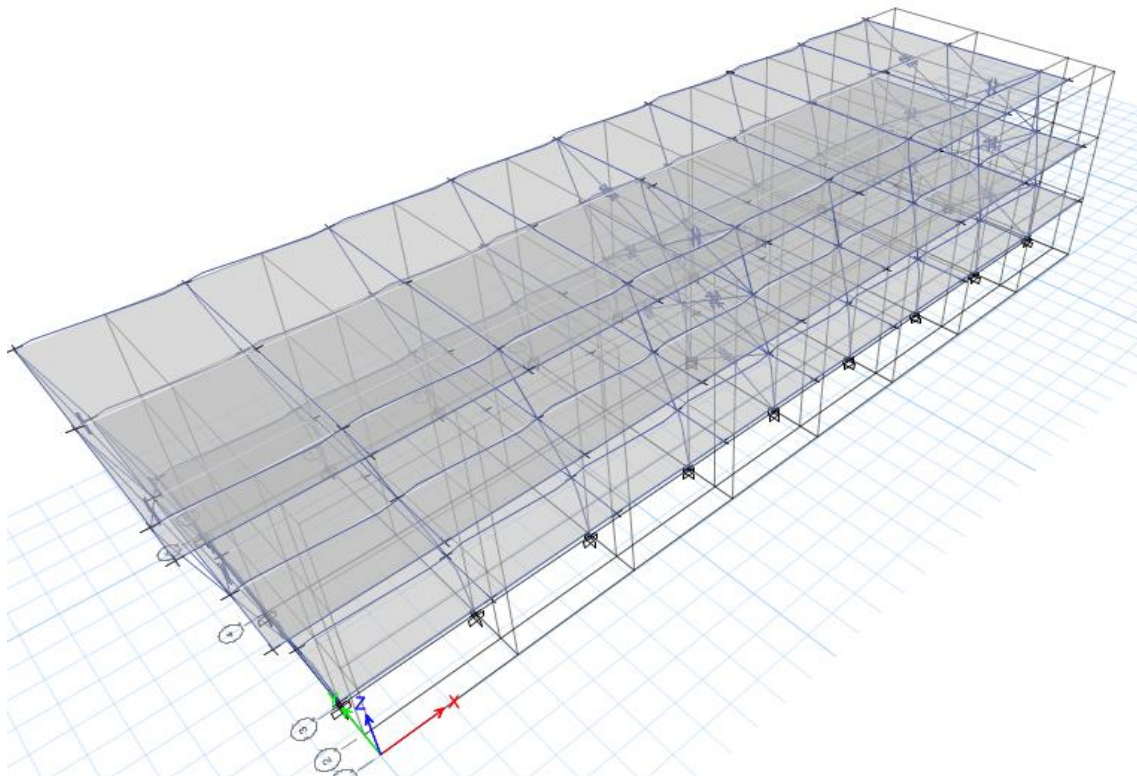


Figura 58 Primera forma de modo de la estructura analizada.
Fuente: propia ETABS V.2018

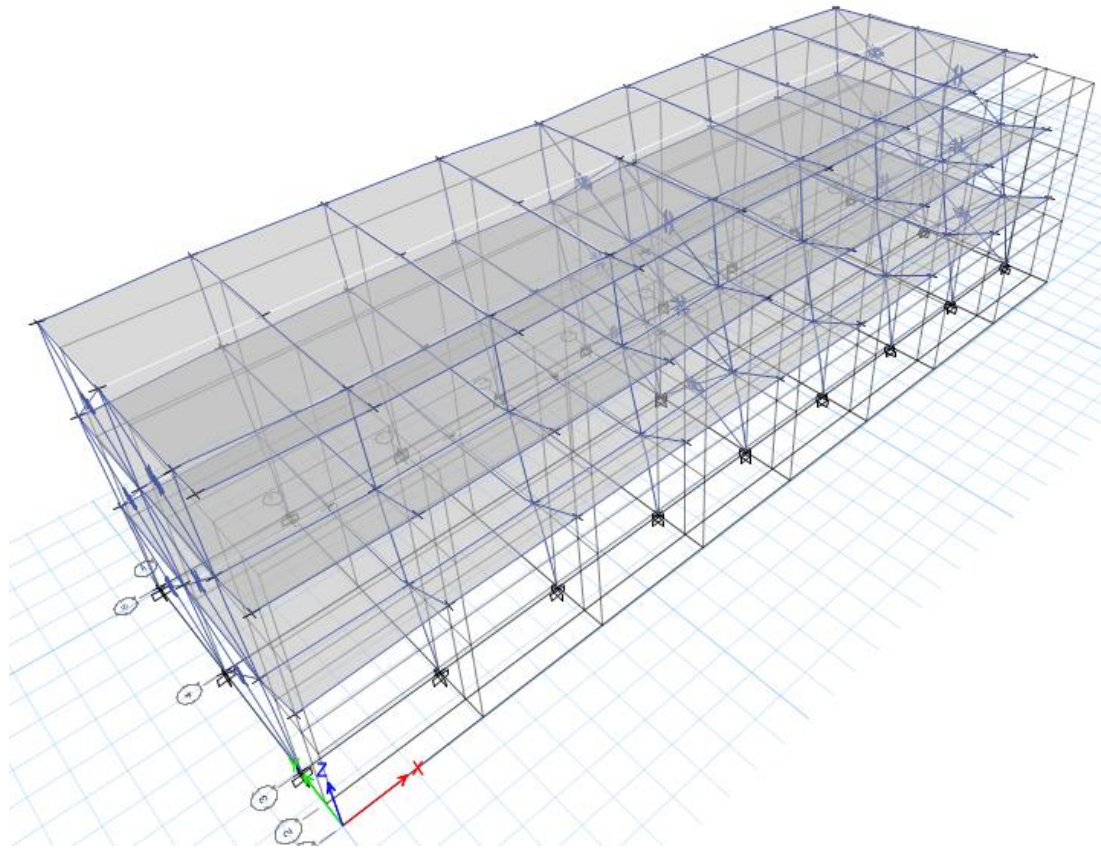


Figura 59 Segunda forma de modo de la estructura analizada.
Fuente: propia ETABS V.2018

Tabla 6.

Formas de modo y periodos asociados.

Case	Modo	Periodo sec	Frecuencia cyc/sec	Circular Frecuencia rad/sec	Eigenvalue rad ² /sec ²
Modal	1	0.458	1.58	9.90	98.00
Modal	2	0.167	4.30	27.02	730.22
Modal	3	0.144	4.50	28.28	799.78
Modal	4	0.144	4.50	28.29	800.20
Modal	5	0.142	4.54	28.53	814.18
Modal	6	0.142	4.54	28.54	814.75
Modal	7	0.141	4.58	28.76	827.16
Modal	8	0.141	4.58	28.76	827.38
Modal	9	0.136	4.76	29.88	892.96
Modal	10	0.132	4.76	29.89	893.32

Fuente: propia.

4.2.14. Máximas distorsiones laterales inelásticas

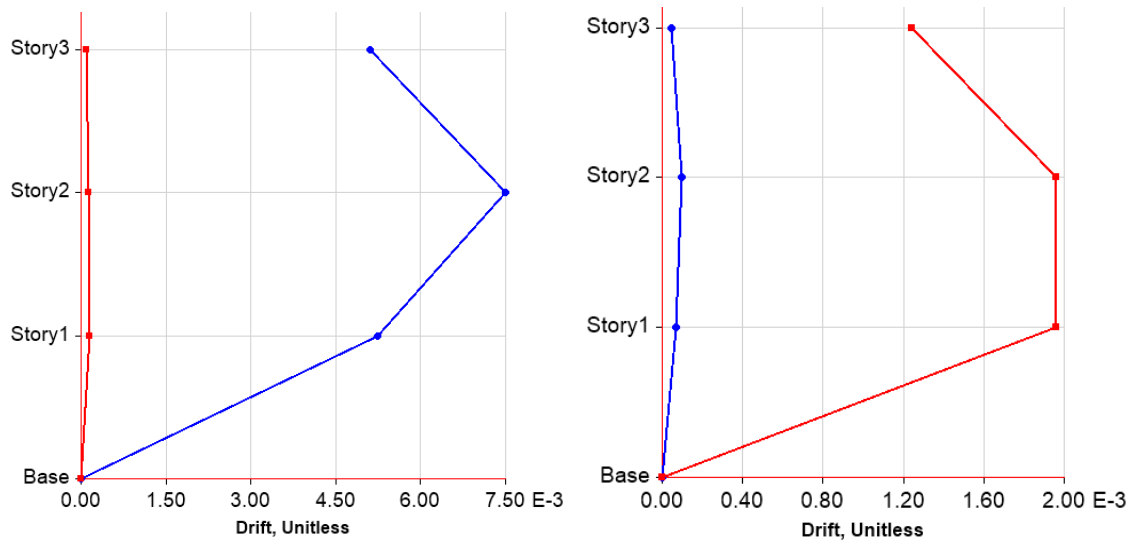


Figura 60 Máximas distorsiones laterales de la estructura reforzada.
Fuente: propia ETABS V.2018

4.2.15. Curva de capacidad de la estructura analizada

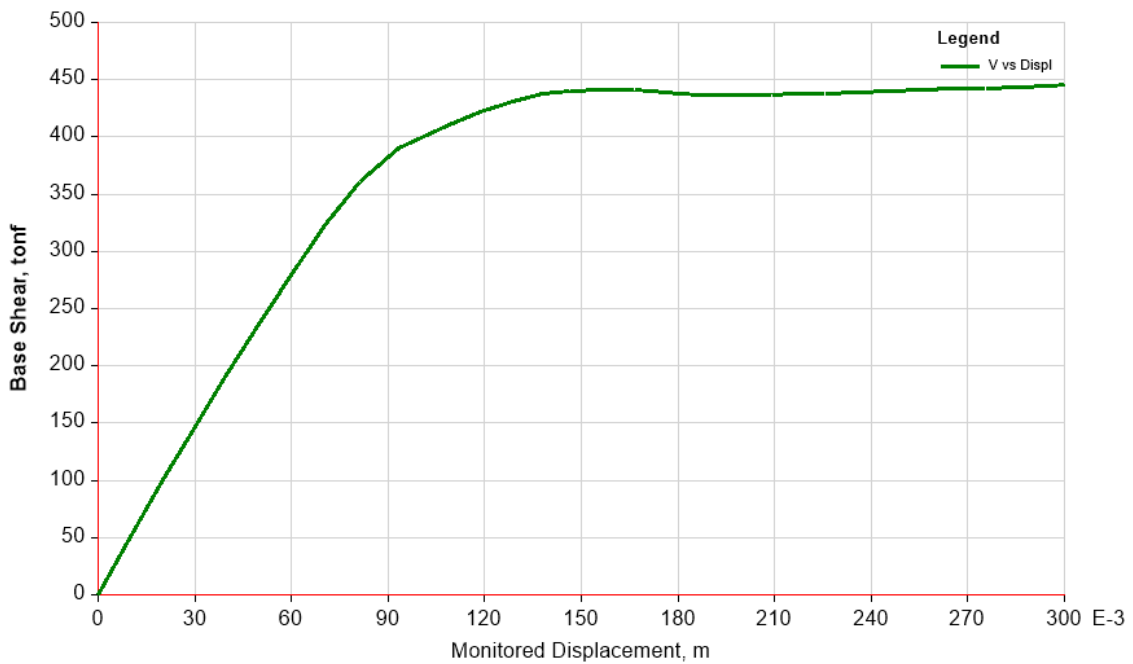


Figura 61 Curva de capacidad de la estructura analizada en dirección X.
Fuente: propia ETABS V.2018

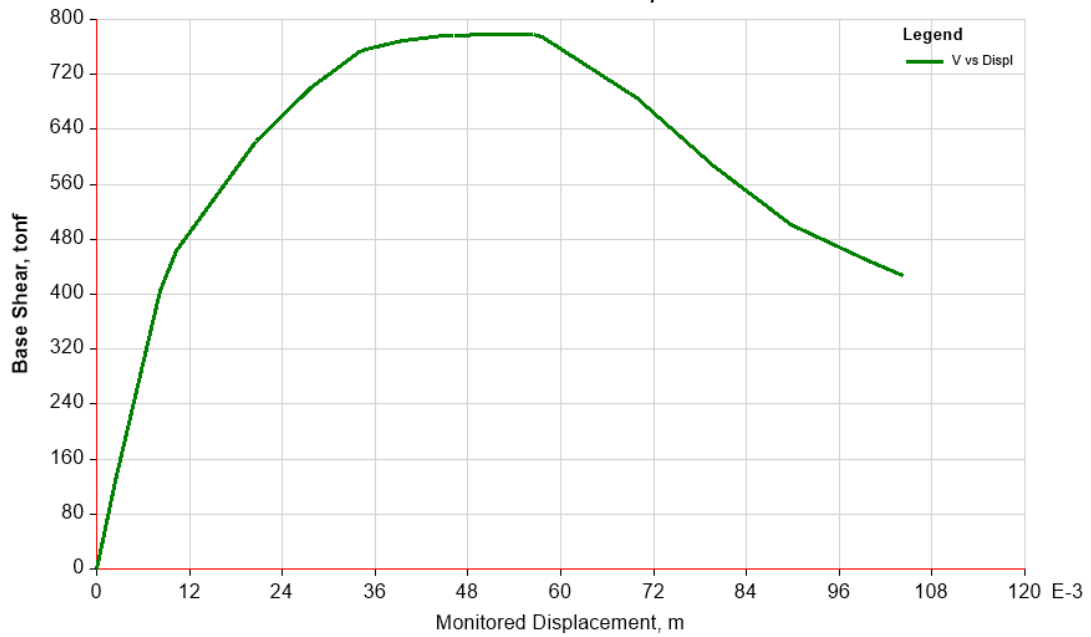


Figura 62 Curva de capacidad de la estructura analizada en dirección Y.
Fuente: propia ETABS V.2018

4.2.16. Objetivos de desempeño sísmico

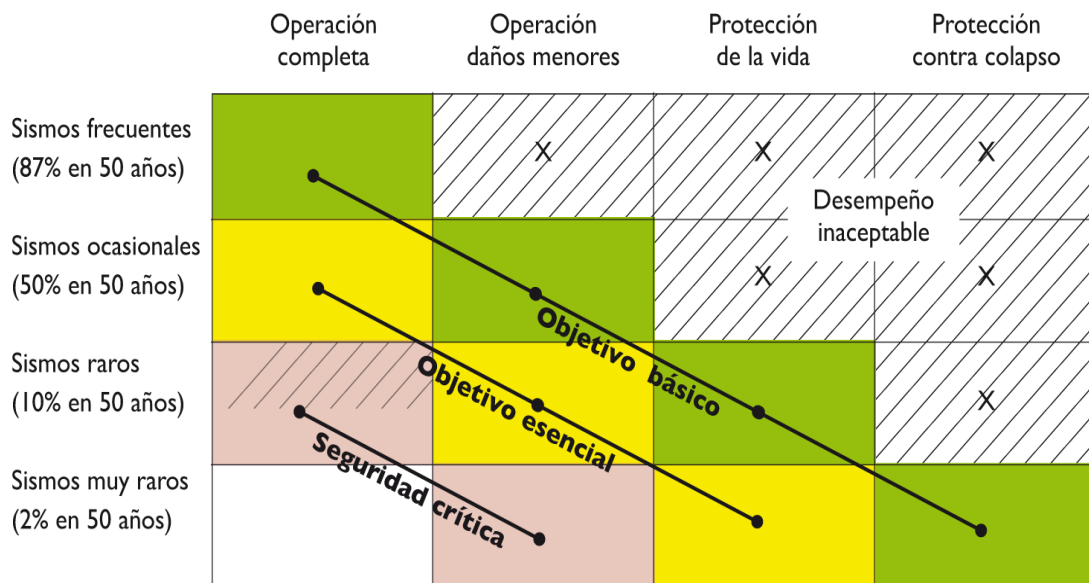


Figura 63 Objetivos de desempeño sísmico.
Fuente: propia ETABS V.2018

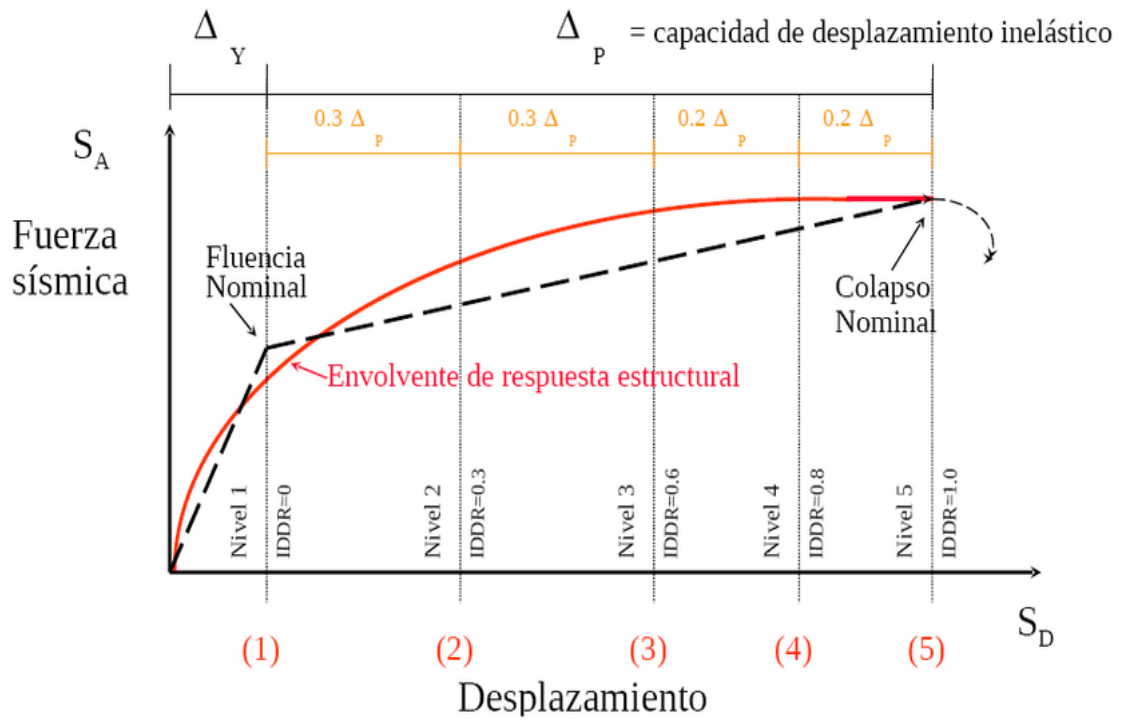


Figura 64 Niveles de desempeño sísmico en función de la curva de capacidad.

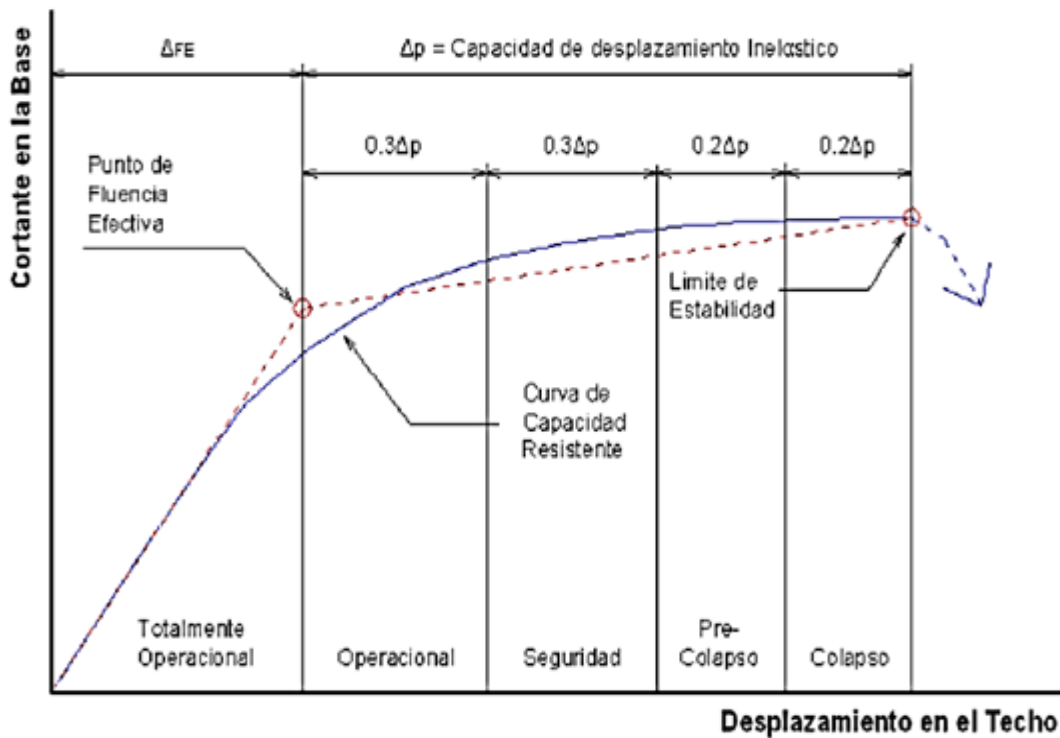


Figura 65 Niveles de desempeño sísmico en función de los desplazamientos.

4.2.17. Determinación del punto de desempeño en X

CÁLCULO DEL DESPLAZAMIENTO LATERAL MÁXIMO

Cálculo del coeficiente C_0

$$C_0 := 1.3$$

Tabla 2 Valores recomendados del factor C_n

Número de pisos	Valor de C_n
1	1.0
2	1.2
3	1.3
5	1.4
más de 10 pisos	1.5

Cálculo del coeficiente C_1

$$T_0 := 0.6 \cdot s$$

$$K_e := 4649.26 \cdot \frac{\text{tonf}}{m}$$

$$K_i := 5102.91 \cdot \frac{\text{tonf}}{m}$$

$$T_i := 0.46 \cdot s$$

$$T_e := T_i \cdot \sqrt{\frac{K_i}{K_e}} = 0.482 \text{ s}$$

$$C_1 := 1.5 - 0.5 \cdot \left(\frac{T_e - 0.1 \cdot s}{T_0 - 0.1 \cdot s} \right) = 1.118$$

Cálculo del coeficiente C_2

$$C_2 := 1.0 + 0.2 \cdot \frac{T_e}{T_0} = 1.161$$

Aceleración espectral correspondiente al T_e

$$S_a := 14.8 \cdot \frac{m}{s^2}$$

Cálculo del coeficiente C_3

$$g := 9.81 \cdot \frac{m}{s^2} \quad V_y := 430 \cdot tonf \quad w := 830 \cdot tonf \quad \alpha_o := 0.0$$

$$R := \frac{\frac{S_a}{g} \cdot \frac{1}{C_o}}{\frac{V_y}{w}} = 2.24 \quad C_3 := 1 + \frac{\alpha_o \cdot (R - 1)^{1.5}}{T_e \cdot \frac{1}{s}} = 1$$

Cálculo del desplazamiento esperado y lateral máximo

$$D_t := C_o \cdot C_1 \cdot C_2 \cdot C_3 \cdot S_a \cdot \frac{T_e^2}{4 \cdot \pi^2} = 0.147 \text{ m}$$

$$D_{max} := 1.5 \cdot D_t = 0.22 \text{ m}$$

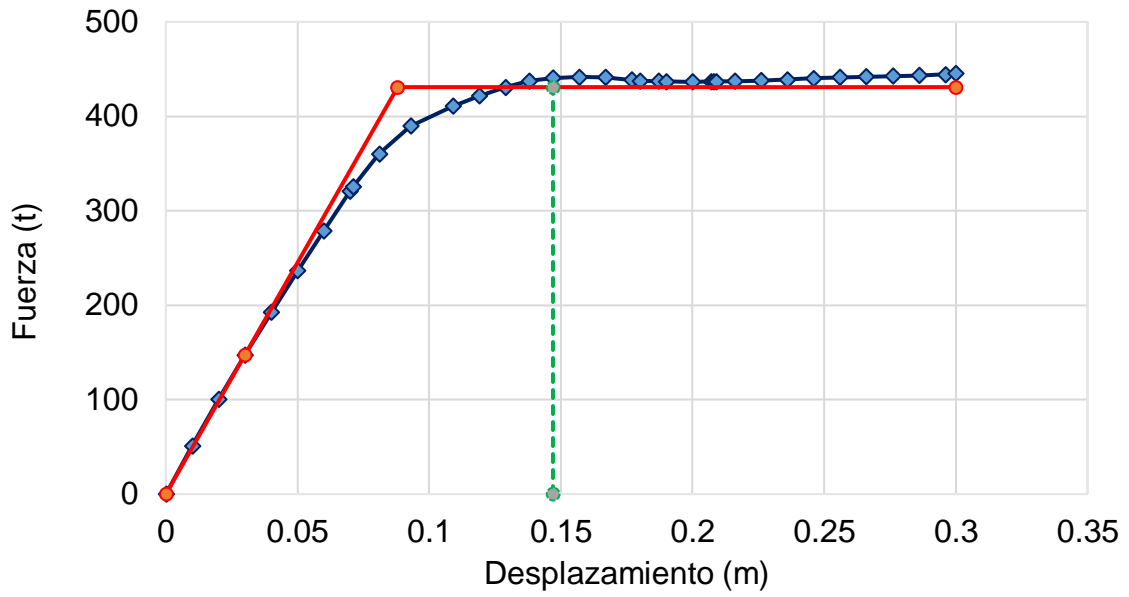


Figura 66 Curva de capacidad de la estructura reforzada en dirección X.

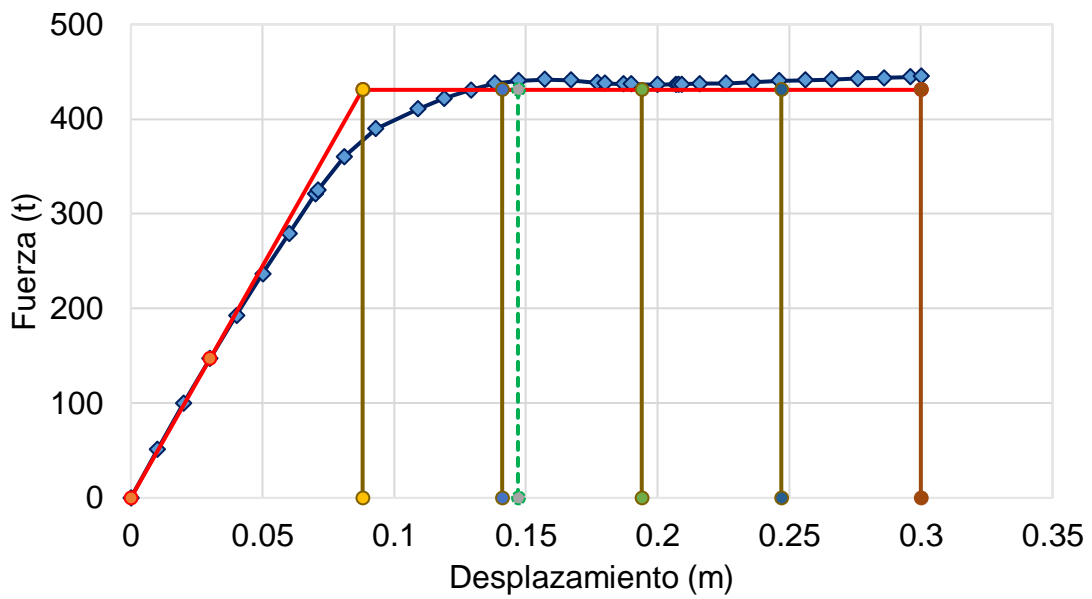


Figura 67 Punto de desempeño de la estructura reforzada en dirección X.

4.2.18. Determinación del punto de desempeño en dirección Y

CÁLCULO DEL DESPLAZAMIENTO LATERAL MÁXIMO

Cálculo del coeficiente Co

$$C_o := 1.3$$

Tabla 2 Valores recomendados del factor C_o

Número de pisos	Valor de C_o
1	1.0
2	1.2
3	1.3
5	1.4
más de 10 pisos	1.5

Cálculo del coeficiente C1

$$T_o := 0.6 \cdot s$$

$$K_e := 50626.5 \cdot \frac{\text{tonf}}{\text{m}} \quad K_i := 64472.5 \cdot \frac{\text{tonf}}{\text{m}} \quad T_i := 0.17 \cdot s$$

$$T_e := T_i \cdot \sqrt{\frac{K_i}{K_e}} = 0.192 \text{ s}$$

$$C_1 := 1.5 - 0.5 \cdot \left(\frac{T_e - 0.1 \cdot s}{T_o - 0.1 \cdot s} \right) = 1.408$$

Cálculo del coeficiente C2

$$C_2 := 1.0 + 0.2 \cdot \frac{T_e}{T_o} = 1.064$$

Aceleración espectral correspondiente al T_e

$$S_a := 14.8 \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Cálculo del coeficiente C3

$$g := 9.81 \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \quad V_y := 644.72 \cdot \text{tonf} \quad w := 830 \cdot \text{tonf} \quad \alpha_o := 0.0$$

$$R := \frac{\frac{S_a}{V_y} \cdot \frac{1}{C_o}}{\frac{w}{g}} = 1.494 \quad C_3 := 1 + \frac{\alpha_o \cdot (R - 1)^{1.5}}{T_e \cdot \frac{1}{s}} = 1$$

Cálculo del desplazamiento esperado y lateral máximo

$$Dt := C_0 \cdot C_1 \cdot C_2 \cdot C_3 \cdot S_a \cdot \frac{T_e^2}{4 \cdot \pi^2} = 0.027 \text{ m}$$

$$D_{max} := 1.5 \cdot Dt = 0.04 \text{ m}$$

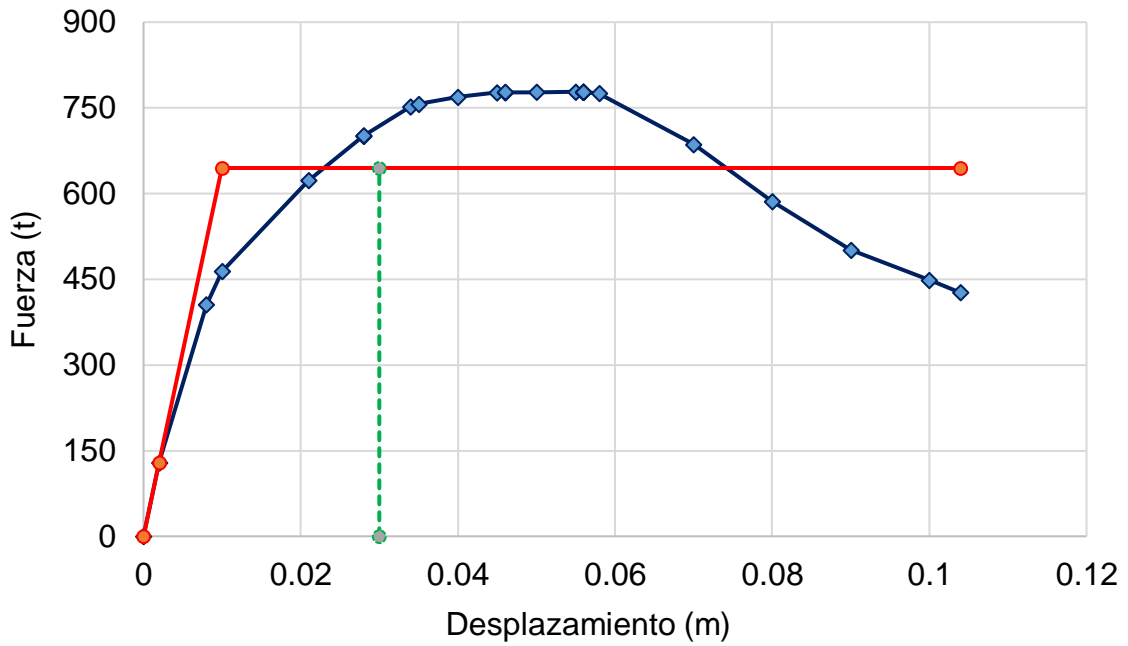


Figura 68 Punto de desempeño de la estructura analizada en dirección Y.

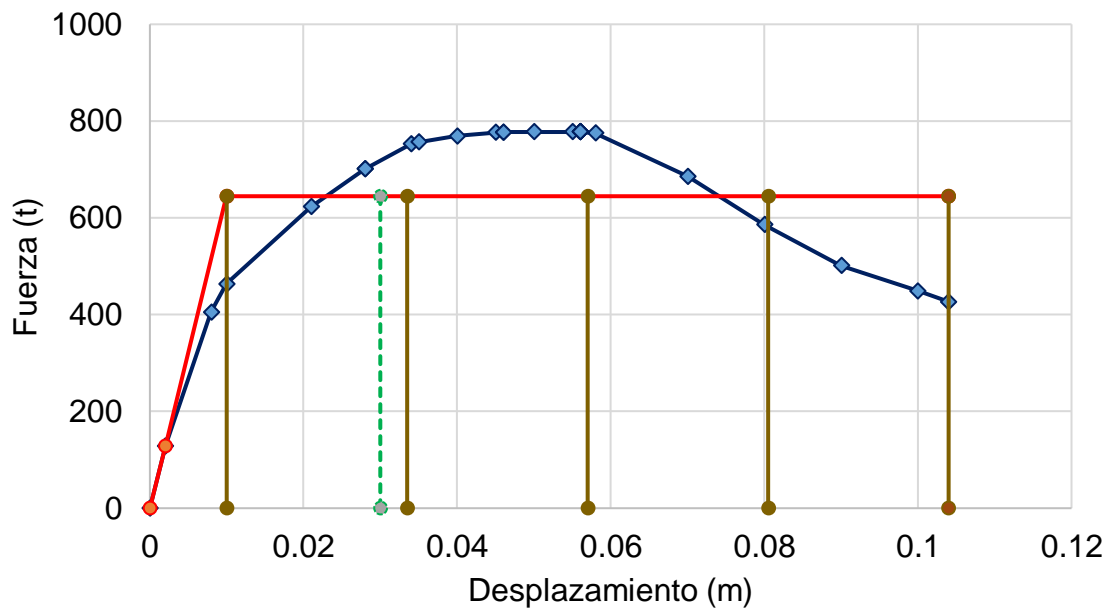


Figura 69 Desempeño de la estructura analizada en dirección Y.

CAPÍTULO V: DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1. CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS

5.1.1. Hipótesis general

La aplicación del encamisado de columnas como técnica de reforzamiento en la estructura analizada permitirá una mejora sustancial y cuantitativa en el comportamiento sísmico de la estructura como un todo para la facultad de Relaciones Industriales de la Universidad Nacional de San Agustín.

Explicación

El trabajo desarrollado y llevado a cabo durante la presentación de este informe de tesis ha mostrado que la estructura en su estado original en la dirección donde dominaban los pórticos de concreto armado presentaban niveles de distorsión lateral de 30 por 1000. Esto; como es evidente, es un valor que exceden largamente las máximas distorsiones laterales contempladas y recomendadas en la norma peruana de diseño sísmico que están alrededor de 7 por 1000. Como se puede observar, el valor obtenido en estructuras en su estado actual es aproximadamente más de 4 veces el valor recomendado por la norma peruana de diseño sísmico, en contraste con la técnica de reforzamiento propuesta ha exhibido, tanto de manera cualitativa como cuantitativa, mejoras sustanciales en la respuesta sísmica de la estructura analizada. De hecho, hablando solo entre menos cuantitativos, las máximas distorsiones alcanzadas estuvieron en el orden de los 6 por 1000, es decir, una quinta parte aproximadamente de lo obtenido antes del reforzamiento estructural. Este valor nos permite decir que la estructura analizada ha logrado tener un nivel de desempeño sísmico superior a la estructura sin reforzamiento.

Por lo comentado previamente, se permite verificar que la técnica de reforzamiento propuesta basada en el encamisado de columnas de elementos estructurales específicos permite incrementar de manera

notable la resistencia lateral de la estructura, así como su rigidez lateral, los mismos que son requisitos indispensables para un buen comportamiento sísmico de acuerdo con la norma de diseño sísmico

5.1.2. Hipótesis específicas

Verificación de la H.E. 01

De acuerdo con los datos y evaluaciones preliminares, se prevé que la estructura analizada de la facultad de relaciones industriales de la Universidad Nacional de San Agustín presente un comportamiento sísmico deficiente frente a la acción de sismos con un periodo de retorno consecuente con la norma peruana de diseño sísmico.

Explicación

A partir de los resultados obtenidos del análisis dinámico modal espectral, se puede concluir que la estructura analizada en su estado actual presenta una serie de deficiencias estructurales; dentro de las que conviene resaltar específicamente la carencia de rigidez lateral de la estructura en la dirección predominante de pórticos de concreto armado, que, de acuerdo con los resultados del análisis estructural, se encontró que la edificación analizada tiene distorsiones laterales que rondan los 30/1000 cuando la norma peruana de diseño sísmico establece un nivel de distorsiones laterales de a lo sumo 7/1000. Esto, en principio demuestra el elevado nivel de vulnerabilidad sísmica que presenta esta estructura, confirmando así la hipótesis planteada al principio del estudio.

De acuerdo con los resultados del análisis estático no lineal elaborados en la estructura analizada, se ha concluido que el comportamiento sísmico de la estructura resulta deficiente tanto en términos de rigidez lateral como en términos de resistencia lateral, además, en términos de desempeño sísmico se ha encontrado que la estructura estudiada tiene un nivel de desempeño preocupante, catalogado como prevención de colapso; es decir, es una estructura que carece de rigidez y resistencia necesarias para tolerar un sismo con periodo de retorno consecuente con el de la

norma peruana de diseño sísmico. Esto es especialmente grave en el caso de una institución educativa, pues como se sabe, la norma sísmica da especial cuidado en el diseño estructural de este tipo de edificaciones. Los hechos contemplados y narrados en este párrafo no hacen sino corroborar la hipótesis planteada al inicio del estudio.

Por tanto se da por hecho que la hipótesis se ha comprobado.

Verificación de la H.E. 02

El reforzamiento estructural propuesto, basado en la técnica del encamisado de columnas de concreto armado, en la facultad de relaciones industriales de la Universidad Nacional de San Agustín, presenta un adecuado comportamiento estructural a nivel local, también provoca que el sistema estructural completo presente un nivel de comportamiento estructural satisfactorio superior al visto en el caso de la estructura sin reforzamiento.

Explicación

De acuerdo con los resultados obtenidos del análisis dinámico modal espectral, el reforzamiento estructural propuesto ha logrado mejorar de manera sustancial los máximos niveles de distorsión laterales encontrados en la estructura en su estado original; tanto en el caso de pórticos de concreto armado como en el caso del sistema estructural basado en albañilería confinada. De acuerdo con los resultados del análisis modal espectral, las máximas distorsiones laterales en la dirección longitudinal alcanzaron valores máximos de 7.5 por 1000 mientras que estos mismos parámetros alcanzaron valores de 3 por 1000 en la dirección transversal o dirección de la albañilería confinada. Este solo hecho demuestra que el reforzamiento propuesto ha logrado incrementar la rigidez lateral de manera consistente y suficiente, tanto en la dirección longitudinal como la dirección transversal demostrando la hipótesis planteada al principio de este trabajo

Con los resultados del análisis estático no lineal se ha encontrado que las

máximas distorsiones laterales tanto en la dirección longitudinal como en la dirección transversal tuvieron valores similares. En cuanto al desempeño sísmico, los resultados del análisis no lineal han demostrado una mejora significativa en la dirección longitudinal que resultó ser la dirección más vulnerable la acción de un sismo de acuerdo con los resultados de los análisis efectuados el nivel de desempeño sísmico paso de prevención de colapso en el caso de la estructura sin reforzamiento a desempeño operacional para el caso de la estructura reforzada. Estos hechos nos hacen concluir con toda tranquilidad que el reforzamiento propuesto ha logrado una mejora notable en el desempeño sísmico, tanto a nivel local como a nivel global.

Verificación de la H.E. 03

La capacidad de deformación lateral se incrementará de manera sustancial con la técnica de reforzamiento propuesto basado en el encamisado de columnas en la Facultad de Relaciones Industriales de la Universidad Nacional de San Agustín.

Explicación

Nuevamente, y de acuerdo con los resultados de los análisis estructurales desarrollados a lo largo del presente trabajo de investigación, se ha encontrado que las capacidades de rigidez lateral de la estructura se han incrementado notablemente. Sin embargo, de acuerdo con el diseño sísmico moderno, conviene que una estructura tenga además de una elevada capacidad de rigidez lateral, debe poseer también una capacidad de deformación sustancial que le permita afrontar incursiones inelásticas imprevistas e impuestas debido a la acción de sismos que pudieran exceder los niveles de aceleración previstos en el diseño sísmico.

De acuerdo con los resultados del análisis no lineal, la estructura reforzada tuvo una capacidad de deformación lateral de 30 cm en la dirección longitudinal o en la dirección en la que predominaron los pórticos de concreto armado, por otro lado, la edificación en el caso no reforzado presentó una capacidad de deformación de apenas 15 cm, lo que

representa en términos prácticos, un 50% de la capacidad de deformación lateral instalada y debida al reforzamiento propuesto. Estos resultados nos sirven para probar la efectividad del reforzamiento propuesto, por lo que la hipótesis planteada al inicio de esta investigación queda probada.

Verificación de la H.E. 04

El uso del método del coeficiente de desplazamientos permitirá determinar con certeza razonable el desempeño sísmico de la estructura sin reforzamiento y la estructura reforzada de la facultad de Relaciones Industriales de la Universidad Nacional de San Agustín.

Explicación

Establecido ya en las bases teóricas que preceden a este capítulo y se encuentran disponibles dentro del contenido de la presente tesis, el método del coeficiente de desplazamientos es un proceso sistemático que permite estimar los niveles de desplazamientos laterales demandados por algún nivel de aceleración o demanda sísmico establecido a priori. El proceso está recogido en forma sistemática en normas de evaluación y reforzamiento de estructuras tales como el ATC 40 o el Fema P58.

Los resultados de los análisis estructurales efectuados durante el desarrollo de este trabajo de investigación se ha podido establecer con toda claridad que el método del coeficiente de desplazamientos establece un nivel de desempeño sísmico de prevención de colapso para la estructura sin reforzamiento; es decir, la estructura en su estado actual. Esto, como ya se ha mencionado constantemente a lo largo del presente trabajo de investigación, nos dice que la edificación debe ser susceptible de mejoras estructurales que permitan afrontar con un nivel de daño razonable la eventualidad de un evento sísmico tomando en cuenta además que la estructura se encuentra enmarcada dentro de una de las zonas de mayor nivel de peligro sísmico del Perú según afirma la norma peruana de diseño sísmico.

En cuanto al reforzamiento propuesto y mediante la aplicación de la

misma metodología, se ha podido determinar que el desempeño sísmico fue de operacional, lo que quiere decir, un nivel de desempeño en el que no existe daño estructural. Si se aplica la técnica de reforzamiento propuesto, significaría que además de estar cumpliendo con la norma peruana de diseño sísmico, estaríamos en un estado de protección absoluta, no solo del contenido de la estructura sino como de sus ocupantes, estos resultados no hacen sino probar que la hipótesis planteada al inicio de este trabajo de investigación estuvo en lo correcto por lo que se acepta la hipótesis.

5.2. CONCLUSIONES

5.2.1. Conclusión general

De los resultados presentados a lo largo del trabajo de investigación y del análisis de los mismos, se concluye que, la técnica de reforzamiento basado en el encamisado de las columnas del primer y segundo nivel de la edificación de relaciones industriales de la Universidad Nacional de San Agustín ha presentado un nivel de desempeño sísmico muy superior al que exhibe actualmente, pasando de un estado de desempeño de prevención de colapso a operacional. En términos prácticos se concluye que, de ocurrir un sismo con un nivel de peligro consecuente con el que establece la norma de diseño sismorresistente, la edificación reforzada no presentaría daño ni estructural ni de contenido, en contraste con la edificación en su estado actual, se vería seriamente afectada tanto a nivel estructural como a nivel de contenido y prestando atención a los resultados obtenidos se concluye que es muy probable que sea susceptible de colapso estructural.

5.2.2. Conclusiones específicas

- De acuerdo con los resultados encontrados y del análisis de los mismos se concluye que la edificación en el estado actual es altamente vulnerable a la ocurrencia de un sismo con un nivel de peligro consecuente con el de la norma peruana de diseño sismorresistente. Términos prácticos de ocurrir un sismo con nivel de aceleración que oscila alrededor de 0.45g la estructura sería susceptible de colapso estructural esto evidentemente incumple con las disposiciones dadas en la norma peruana de diseño sísmico por lo que un reforzamiento estructural parece la opción más viable y económica disponible en el estado del arte de la ingeniería.

- De acuerdo con los resultados encontrados la edificación en su estado actual resultaba ser una edificación altamente vulnerable a la acción de sismos en su dirección longitudinal de hecho en esta dirección el sistema estructural predominante estaba basado en pórticos de concreto armado debido a un error en la estructuración el peralte de las columnas en esta dirección fue apenas de 25 cm lo que le proporcionaba una rigidez lateral insuficiente, ante esta situación se propuso el incremento de la sección transversal de los elementos verticales hasta en un 100% con lo que las columnas rectangulares se convirtieron en columnas y columnas de sección en L. De acuerdo con los resultados obtenidos el reforzamiento propuesto ha logrado incrementar de manera sostenida la rigidez lateral de los mismos por lo que se concluye que el reforzamiento propuesto ha logrado cumplir con los objetivos planteados en este proyecto.

- De acuerdo con los resultados encontrados en la discusión desarrollada de los mismos, se concluye que la capacidad de deformación de la estructura reforzada ha sido cuantitativamente superior a la capacidad de deformación de la estructura en su estado actual de hecho de acuerdo con los resultados numéricos la capacidad de deformación lateral de la estructura reforzada ha

logrado duplicar la capacidad de deformación de la estructura en su estado actual.

- De acuerdo con los resultados obtenidos, en términos de desempeño sísmico, se concluye que el reforzamiento propuesto basado en el encamisado de columnas ha logrado una mejora sustancial de este parámetro pasando de un desempeño sísmico de prevención de colapso en el caso de la estructuración a reforzar a un nivel de desempeño sísmico operacional al adicionar los elementos de reforzamiento considerados en el análisis sísmico. Es importante destacar que el método de análisis no lineal permite predecir no solo la cantidad de elementos verticales y horizontales que se verán afectados durante una incursión inelástica sino que además este método permite predecir Qué elementos eran los más afectados pudiendo realizar un reforzamiento selectivo y puntual logrando además de mejoras técnicas considerables ahorros sustanciales durante el proceso constructivo.

5.3. RECOMENDACIONES

- 5.3.1. De la experiencia obtenida en el presente trabajo de investigación, así como de las dificultades enfrentadas durante su desarrollo, se han encontrado una serie de adversidades que el presente trabajo advierte a través de una serie de recomendaciones. La primera de ellas es, sin lugar a dudas, tener presente que en reforzamiento estructural como cualquier otro proceso y método de ingeniería, requiere cumplir ciertas características; tales como calidad técnica. Pero, además eficiencia económica, en este sentido se recomienda que el reforzamiento estructural tenga en claro los objetivos que desea alcanzar mediante este proceso es, así que, si se pretende incrementar la rigidez lateral de un conjunto de elementos estructurales conviene evaluar qué elementos estructurales en específico merecen ser reforzados. De esta forma se tendrá no solo una solución técnica factible sino económica.

- 5.3.2. Se recomienda que el reforzamiento estructural tome en cuenta como punto de partida la dirección de la estructura en la que se tiene menor rigidez lateral y si la rigidez de esta es insuficiente para cumplir con los criterios exigidos por la norma peruana de diseño sísmico, un buen criterio cualitativo a tomar en cuenta para esto sería la evaluación de la esbeltez de las columnas si se trata de una edificación de 5 pisos a menos columnas con una sección transversal de menos de 60 cm, pueden ya ser consideradas a priori como vulnerables por rigidez lateral, por lo que es posible anticipar un posible reforzamiento en estos casos.
- 5.3.3. El presente trabajo de investigación sacó a luz que uno de los mayores problemas encontrados fue la falta de rigidez lateral del sistema estructural existente; es importante notar que ante esta situación la técnica propuesta de encamisado de columnas resultó una de las mejores alternativas; pues el encamisado de columnas permite incrementar en simultáneo la rigidez lateral y la resistencia lateral, así como la capacidad de deformación del sistema estructural. Esto no siempre es el caso, existen numerosos métodos de reforzamiento que permiten incrementar la resistencia lateral pero no la rigidez lateral, tal es el caso por ejemplo del uso de fibras de carbono como un método de reforzamiento estructural, este método permite a penas incrementar la resistencia lateral más no la rigidez lateral. Existen otros métodos de reforzamiento que van orientados a la disminución del impacto de la demanda sísmica, tales como los disipadores de energía de fluido viscoso; en este sentido se recomienda el uso del método del encamisado en casos en los que exista una falta de rigidez lateral.
- 5.3.4. Se recomienda que el reforzamiento estructural de una edificación se haga teniendo en cuenta los objetivos de desempeño sísmico deseados en una estructura esta recomendación tiene especial importancia dentro de la ingeniería estructural peruana, puesto que la norma peruana no hace mención a nivel de desempeño sísmico y en muchos casos el reforzamiento se hace a ciegas. Se han observado

trabajos de investigación tesis en los que el reforzamiento se limita a establecer los niveles de rigidez por medio de las medidas de distorsiones laterales esto en la mayor parte de los casos es un error conceptual muy difundido, incluso a nivel estatal.

- 5.3.5. Se recomiendan que las extensiones de elementos estructurales, tales como encamisados de elementos verticales o la adición de placas de concreto armado actúen y trabajen de manera monolítica con el sistema vertical resistente principal, es decir, si se agrega una placa a una columna, el sistema debe funcionar como único elemento estructural, esto, como es evidente, logra incrementar de manera notable tanto la resistencia como la rigidez lateral, la integración entre el elemento existente y el nuevo elemento debe darse de dos formas mediante la adición de elementos de refuerzo que permitan la transmisión de esfuerzos de un elemento a otro y mediante el uso de concreto adherido mediante algún dispositivo de enlace químico, típicamente un epóxico. En esta situación es importante aclarar que el refuerzo de los nuevos elementos a colocar se deben de cumplir con los criterios básicos de longitud de anclaje y de desarrollo típicos del concreto armado convencional en especial los elementos estructurales nacientes, deben de tener un anclaje adecuado y una cimentación apropiada. En muchos de los casos existentes, es posible usar la cimentación existente para anclar nuevos elementos, en otros será necesario la construcción de nuevos elementos de cimentación. En resumen, se recomienda que los elementos estructurales tengan una longitud de desarrollo de anclaje adecuadas en cada caso.

5.4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguiar Falconi, R. (24 de Marzo de 2015). *Análisis sísmico por desempeño*. Quito-Ecuador.
- Aguilar Iza, L. (14 de Agosto de 2016). *Evaluación estructural mediante el FEMA 154 del NEC y propuesta de reforzamiento de la institución Honrar la vida del D.M.Q.* Universidad Central del Ecuador, Quito - Ecuador.
- Ahed Habib, U., & Ozgur , O. (02 de Julio de 2020). Reparación y fortalecimiento de columnas con revestimiento RC: una breve revisión del estado de la técnica. *Springer Link*. Obtenido de <https://link.springer.com/article/10.1007/s41062-020-00329-4#citeas>
- Álvaro Ignacio, V. M. (2018). *ANÁLISIS NO LINEAL DE EDIFICIOS DE MUROS DE HORMIGON ARMADO MEDIANTE BEAM -TRUSS MODEL*. Santiago de Chile.
- Borja Escobar, L. F., & Torres Tamayo, M. J. (2015). *DISEÑO DEL REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL DE UN EDIFICIO DE DEPARTAMENTOS DE 4 PLANTAS UBICADO EN EL SECTOR QUITUMBE, CIUDAD DE QUITO, PROVINCIA DE PICHINCHA* . Quito.
- Borja, L., & Torres , M. (2015). *Diseño del reforzamiento estructural de un edificio de departamentos de 4 plantas ubicado en el Sector Quitumbe, Ciudad de Quito, Provincia de Pichincha*. Quito.
- Casabonne, C., & Merino, A. (2019). *Enfoque de la ingeniería estructural ante un inminente evento sísmico severo en el Perú*. Peru. Obtenido de <https://www.unicon.com.pe/noticias/enfoque-de-la-ingenieria-estructural-ante-un-inminente-evento-sismico-severo-en-el-peru/>
- Casabonne, I., & Merino, I. L. (2019). *Enfoque de la ingeniería estructural ante un inminente evento sísmico severo en el Perú*. Peru.
- Comartin, C. (1996). *ATC-40 Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings*. Report No. sse 96-01.

- Congona Cuellar, E. M., & Yucra Pumacota , J. C. (2016). *DISEÑO ESTRUCTURAL SISMICO COMPARATIVO APLICANDO EL METODO DE DESEMPEÑO ESTATICO NO LINEAL (PBD) Y EL METODO CONVENCIONAL DE UN EDIFICIO DE CONCRETO ARMADO DE 10 NIVELES* . Arequipa.
- Congona Cuellar, E., & Yucra Pumacota , J. (2016). *DISEÑO ESTRUCTURAL SISMICO COMPARATIVO APLICANDO EL METODO DE DESEMPEÑO ESTATICO NO LINEAL (PBD) Y EL METODO CONVENCIONAL DE UN EDIFICIO DE CONCRETO ARMADO DE 10 NIVELES*. Arequipa.
- Congona, E., & Yucra, J. (2016). *Diseño estructural sismico comparativo aplicando el metodo de desempeño estatico no lineal (Pbd) y el metodo convencional de un edificio de concreto armado de 10 niveles*. Arequipa.
- Fajardo Galliani, C. A. (2012). *Evaluación estructural de una de las edificaciones del hospital ERM usando el método del espectro de capacidad*. Lima: Universidad Nacional de Ingenierias.
- Fajardo, C. (2012). *Evaluación estructural de una de las edificaciones del hospital ERM usando el método del espectro de capacidad*. Lima: Universidad Nacional de Ingenierias.
- Guerrero Mamani, E. J., & Puma Condori, M. C. (2018). *ANÁLISIS SÍSMICO NO LINEAL ESTÁTICO DEL PUENTE GRAU Y REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL*. Arequipa.
- Guerrero, E., & Puma, M. (2018). *Análisis sísmico no lineal estático del Puente Grau y reforzamiento estructural*. Arequipa.
- INDECI, I. N. (2018). *Mapa de peligros de la ciudad de Huaraz*. Huaraz.
- Loa Canales, G. (2017). *Evaluación del desempeño sísmico de tres opciones de reforzamiento incremental en edificaciones educativas típicas construidas antes de 1997*. Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú.

- Loa Canales, G. J. (2017). *Evaluación del desempeño sísmico de tres opciones de reforzamiento incremental en edificaciones educativas típicas construidas antes de 1997*. Lima, Perú.
- Loa, G. (2017). *Evaluación del desempeño sísmico de tres opciones de reforzamiento incremental en edificaciones educativas típicas construidas antes de 1997*. Lima, Perú.
- Loa, G., Muñoz, A., & Santa Cruz, S. (26 de Abril de 2017). Evaluación sísmica de técnicas de reacondicionamiento sísmico incremental para escuelas típicas peruanas. Obtenido de <http://dx.doi.org/10.1061/9780784480410.009>
- Martínez Giron, D. R., & Sedano Taipei, G. (2019). *Análisis del Riesgo Sísmico y Propuesta de Reforzamiento de la Institución Educativa Aichi Nagoya en Ate, Lima, 2019*. Universidad Cesar Vallejo, Lima - Perú, Perú.
- Ministerio de Vivienda, C. y. (29 de julio de 2020). Normas del Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE).
- Pérez Mundaca, B. (2019). *Evaluación del desempeño sísmico en edificaciones esenciales mediante la aplicación del análisis inelástico por desplazamientos*. Chiclayo.
- Pérez, A. (2019). *Evaluación del desempeño sísmico en edificaciones esenciales mediante la aplicación del análisis inelástico por desplazamientos*. Chiclayo.
- Reglamento Nacional de Edificaciones. (2006). *Norma E.020 Cargas*. Lima: El Peruano.
- Reglamento Nacional de Edificaciones. (2009). *E.060 Concreto Armado*. Lima.
- Reglamento Nacional de Edificiaciones. (2016). *Norma E.030 Diseño Sismoresistente*. Lima: El Peruano.

- Roberto, F. (2015). Método del coeficiente de desplazamiento. *ResearchGate*, 1-11.
- Rodríguez Infanzón, O. (2012). *DISEÑO POR DESEMPEÑO DE EDIFICIOS ALTOS DE HORMIGÓN ARMADO ATRAVEZ DEL ANALISIS NO LINEAL DE HSITORIA EN EL TIEMPO* . Cuba.
- Rodríguez, O. (2012). *Diseño por desempeño de edificios altos de hormigón armado atravez del analisis no lineal de hsitoria en el tiempo*. Cuba.
- Rojas Nicho, J. (2019). *Desempeño sísmico del sistema de reforzamiento de encamisado de concreto y metálico en edificio multifamiliar, Huaral, Lima, 2019*. Universidad Cesar Vallejo, Lima, Perú.
- Rojas Ruiz, J., & Tito Apaza, S. (2018). *Diseño del reforzamiento estructural del pabellón C en la I.E. N°629-6034 Carbonell, San Juan de Miraflores, Lima, 2018* . Universidad Cesar Vallejo, Lima, Perú.
- SEAOC Vision 2000 Committe. (1995). *Performance Based Seismic Engineering of Buildings*. California: Structural Engineers Association of California.
- Shuang, L., & And Jintao, Z. (13 de Diciembre de 2019). Reajuste las estructuras de marcos existentes para aumentar su economía y sostenibilidad en regiones de alto riesgo sísmico. *Applied Sciences*. Obtenido de <https://doi.org/10.3390/app9245486>
- Vargas, A. (2018). *Análisis no lineal de edificios de muros de hormigon armado mediante Beam -Truss Model*. Santiago de Chile.
- Vasco L., P. M. (2018). *Evaluación del Desempeño Estructural mediante Análisis Estático No Lineal* . Quito.
- Vasco, L., & Patricio, M. (2018). *Evaluación del Desempeño Estructural mediante Análisis Estático No Lineal*. Quito.