



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA ÚNICO DE ESPECIALIZACIONES DE INGENIERÍA**

**“EVALUACIÓN DE COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE EDIFICACIÓN
DE 10 NIVELES, DEL GRUPO A, IRREGULAR, EN ESQUINA, CON BASE DE
MARCOS DE CONCRETO, REFORZADA TRAS LOS SISMOS DE SEPTIEMBRE
DEL 2017”**

TESINA

QUE PARA OBTENER EL:

GRADO DE ESPECIALISTA

EN:

ESPECIALISTA EN ESTRUCTURAS

PRESENTA:

LUIS MANUEL ORTIZ ACOSTA



DIRECTOR DE TESINA: **M.I. OCTAVIO GARCÍA DOMÍNGUEZ**

CIUDAD UNIVERSITARIA, CD. MX

2022

DEDICATORIA

El presente trabajo te lo dedico a ti, amigo(a) lector(a), por tomarte un tiempo para leer esta tesina.

A mis padres Verónica Acosta y Manuel Ortíz por servirme de ejemplo de calidez humana y por cuidar siempre de mis pasos.

A mi hermana Vanessa Jazmín por ser la mejor cómplice, apoyarme sin importancia, que esta tesina sirva para recordarte lo mucho que te quiero y que no hay imposibles.

Al amor de mi vida Cinthia Ramírez, gracias por motivarme y acompañarme, fuiste testigo en cada paso hasta llegar hasta aquí.

A todas las personas que aportaron en mi ese granito de arena en mi vida y me condujeron hasta aquí.

AGRADECIMIENTOS

Al Gran Arquitecto del Universo, por dotarme de todas las facultades posibles para poder presentar esta tesina.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), por el apoyo económico brindado durante mis estudios de la especialidad.

Al M.I. Octavio García Domínguez y al jurado, por sus aportaciones valiosas brindadas para la realización de esta tesina.

Al Ilustre Colegio Nacional de Ingenieros Arquitectos de México, por abrirme las puertas y confiar en mi desde el primer momento.

A la Universidad Nacional Autónoma de México.

“Por mi raza hablará el espíritu”

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Antecedentes.....	1
1.2. Objetivo	7
2. DESCRIPCIÓN DEL CASO DE ESTUDIO.....	8
2.1. Datos generales del proyecto	8
3. CRITERIOS DE ANÁLISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL.....	19
3.1. Cargas muertas	19
3.2. Cargas vivas	21
3.3. Propiedades mecánicas de los materiales a emplear	22
3.4. Espectro para diseño por sismo.....	24
3.5. Factor de comportamiento sísmico Q y condiciones de regularidad estructural	27
4. MODELACIÓN Y ANÁLISIS ESTRUCTURAL.....	35
4.1. Modelo estructural	35
4.2. Acciones por sismo.....	37
4.3. Combinaciones y factores de carga	37
4.4. Excentricidad accidental	39
4.5. Consideraciones particulares.....	43
4.5.1. Agrietamiento	43
4.5.2. Columnas reforzadas	44
5. RESULTADOS DEL ANÁLISIS	46
5.1. Períodos de vibrar y participación de masas.....	46
5.2. Estado límite de prevención de colapso.....	51
5.2. Estado límite de limitación de daños de sismos frecuentes.....	54
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	56
7. REFERENCIAS.....	58
8. BIBLIOGRAFÍA.	59

1. INTRODUCCIÓN

1.1. ANTECEDENTES

La gran actividad sísmica en México se caracteriza por presentar alta actividad tectónica debido a su contexto geológico, la cual esta principalmente influenciada por las placas tectónicas de Cocos, Rivera y del Pacífico, junto con la Placa de Norteamérica, en donde gran porción del país se encuentra.

Derivado de esto las aceleraciones que se presentan en la Ciudad de México son de gran intensidad y las estructuras deben diseñarse de tal manera que soporten dichas acciones. Cuando los elementos estructurales encargados de resistir las fuerzas sísmicas no son capaces de tomar dichos esfuerzos se producen daños y la capacidad sismorresistente disminuye, por lo que la edificación entra en una etapa minuciosa de análisis estructural para evaluar opciones y brindar una estructura que cumpla los parámetros y condiciones de seguridad que dicta la normatividad actual.

Derivado de los sismos que se presentaron los días 7 y 19 de septiembre de 2017, se identifica el inmueble ubicado en la Av. Montevideo, N.º 303, esquina con Cienfuegos, Col. Lindavista Sur, Alcaldía Gustavo A. Madero, Ciudad de México, el cual sufrió daños estructurales significativos.

En junio de 2019 se realizó un proyecto de reforzamiento estructural registrado ante el Instituto para la Seguridad de las Construcciones, tales trabajos se concluyeron un año después, en junio de 2020.

Se trata de una edificación desplantada sobre un terreno en esquina de 957.51m²; con 10 niveles que incluyen: un sótano, planta baja, siete niveles y pent-house; cuenta con una superficie de construcción total de 8,915.10 m²; con una altura sobre nivel de banqueta de 26.15m; el uso de la edificación es de hospital privado.

Para la circulación vertical se cuenta con dos elevadores rodeados por un núcleo de escaleras.

De acuerdo con las características geotécnicas del sitio, la edificación se encuentra en Zona III Lacustre.

El sistema estructural original de la edificación es a base de columna y losa plana de concreto armado y el sistema de entrepiso es de losa plana reticular. Es importante mencionar que no cuenta con travesaños de concreto armado. Se identifican en los cubos de elevador, núcleo de escalera, colindancia y algunas áreas de vestibulación, muros de mampostería no confinada que trabajan como muros de carga.

La intervención de reforzamiento estructural de la edificación contempló el refuerzo del 95% de las columnas de sótano, planta baja y primer nivel, mediante

el encamisado por medio de perfiles LI 4x1/2" y soleras de 1/2"; la adición de contraventeos con perfiles OC en algunos marcos de todos los niveles, junto con la incorporación de vigas con perfil IR en planta baja y marcos de contraventeos.

En teoría el objetivo del refuerzo horizontal es aumentar la rigidez de la estructura ante fuerzas horizontales y mejorar la capacidad de carga de los elementos estructurales; sin embargo, en el estado actual de la edificación y por evidencia fotográfica durante el procedimiento constructivo, existen dudas de la correcta caracterización del proyecto.

A continuación, se presentan fotografías del archivo personal, posteriores al sismo del 19 de septiembre del 2017, donde se muestran daños en elementos estructurales y no estructurales:



Fotografía 1 En esta fotografía se muestra grieta en nervaduras secundarias del sistema de piso de planta baja.



Fotografía 2 En esta fotografía se muestra grieta en nervaduras secundarias del sistema de piso de planta baja.



Fotografía 3 En esta fotografía se muestra el sistema de piso de losa nervada en el 2do nivel.



Fotografía 4 En esta fotografía se muestra una fisura transversal a una columna perimetral en el sótano.



Fotografía 5 En esta fotografía se muestra una grieta por tensión diagonal en muro de concreto en núcleo de escaleras del sótano.



Fotografía 6 En esta fotografía se muestran fisuras en una columna de esquina del nivel 3.



Fotografía 7 En esta fotografía se muestra grieta por tensión diagonal en muro de mampostería en núcleo de escaleras del nivel 7.



Fotografía 8 En esta fotografía se muestran nervaduras secundarias y capa de compresión del sistema de piso en sótano con reparaciones por medio de resinas epóxicas previo a los sismos de septiembre del 2017



Fotografía 9 En esta fotografía se muestra grieta por tensión diagonal en muro de mampostería en núcleo de escaleras del nivel 5.

1.2. OBJETIVO

El objetivo principal de esta tesina es determinar el comportamiento estructural real de una edificación al evaluar la interacción adecuada entre la estructura original y el refuerzo colocado, centrándose especialmente en las conexiones. Esto se llevará a cabo a través del análisis de los efectos de torsión producidos por las características irregulares del inmueble y su ubicación en esquina, con el fin de proporcionar una comprensión detallada del comportamiento estructural de la edificación.

Se trata de un edificio proyectado en el año de 1973 y terminado de construir en 1975, bajo la normatividad y lineamientos del “Nuevo Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal” del año 1966.

Cuenta con diez niveles, distribuidos en: sótano, planta baja, siete plantas de entresuelo, y un pent-house. Tiene una distribución trapezoidal en planta, con una dimensión de 29.20 m mayor en el sentido de X, y una dimensión de 38 m mayor en el sentido de Y. Cuenta con superficie total de construcción de 8,915.10 m² desplantada a una altura de 2.70 m bajo nivel de banqueteta, con una altura total de 26.15 m sobre nivel de banqueteta (Figuras 3, 4 y 5).

Proyectado originalmente para uso de oficinas, con uso actual de hospital y clínicas de especialidades.

El sistema constructivo de la edificación es de columnas de concreto armado con losa plana de concreto armado, aligerada en ambos sentidos, su cimentación está resuelta por medio de losa de cimentación de 25 cm, ligada con contratrabes de concreto armado.

Cuenta con muros de carga de mampostería confinada en la colindancia de la edificación, así como la composición de muros de carga en el núcleo de circulación vertical, para elevadores y escaleras. Estos elementos estructurales concentran la mayor aportación de rigidez lateral del sistema.

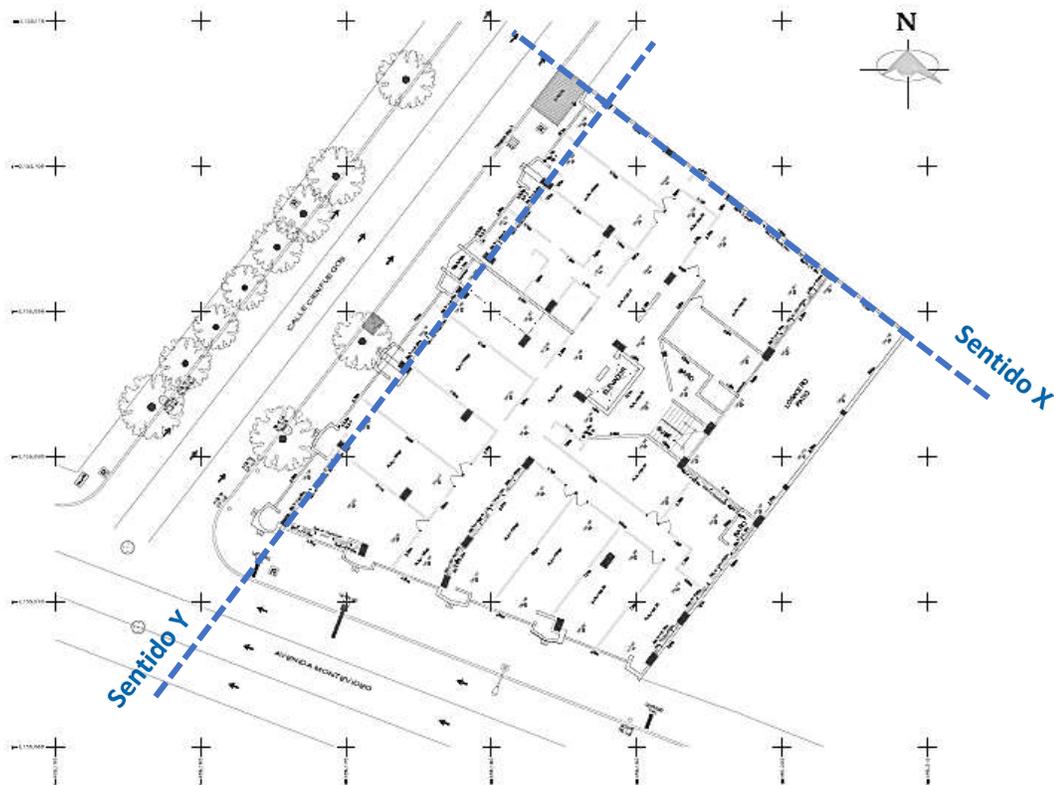


Figura 3 Planta tipo, levantamiento topográfico.

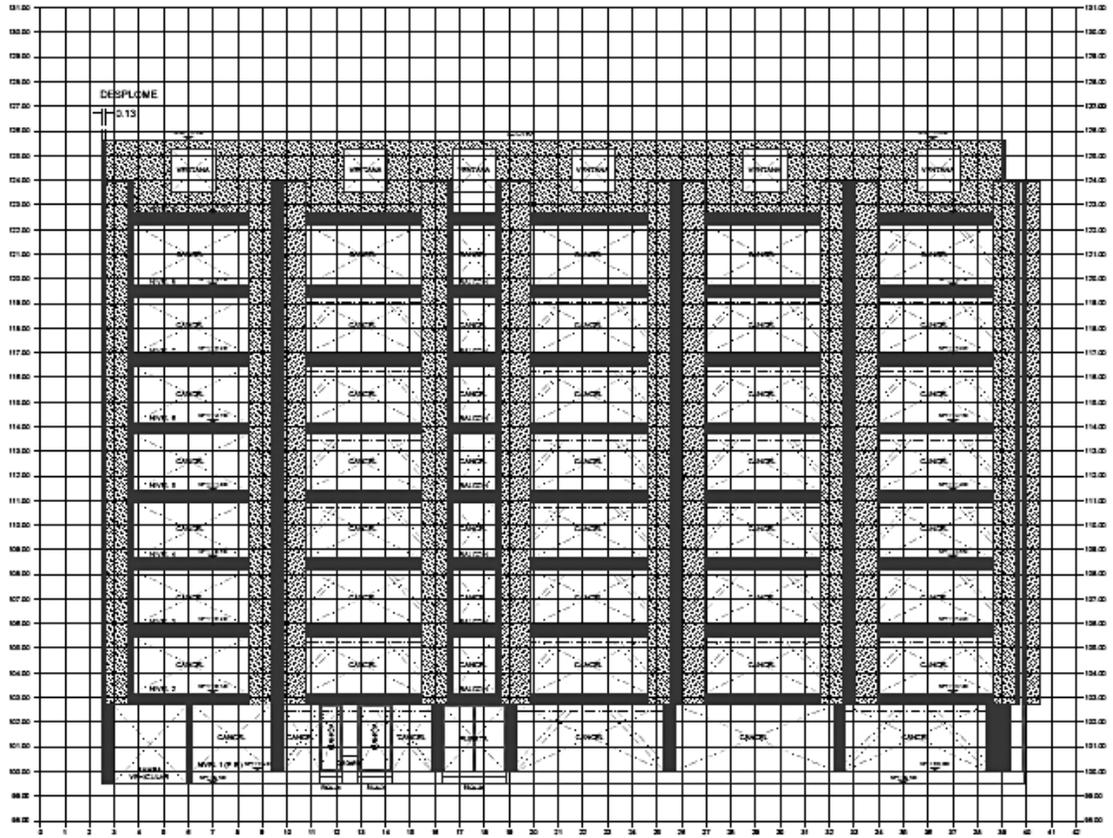


Figura 4 Fachada calle Cienfuegos, levantamiento topográfico.

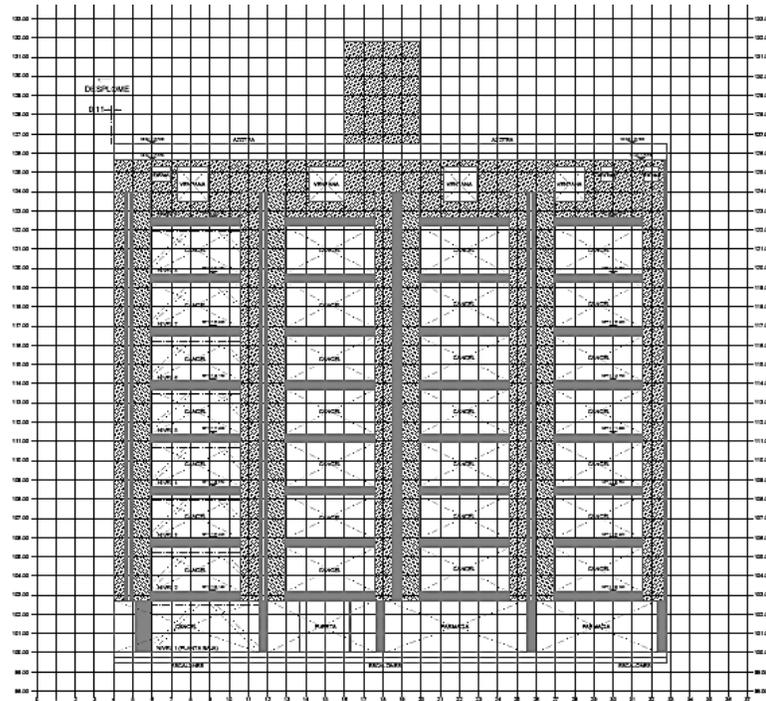


Figura 5 Fachada Av. Montevideo, levantamiento topográfico.

Posterior a los trabajos de reforzamiento estructural ejecutados en el 2019 y con la finalidad de aumentar la resistencia de las columnas, éstas se reforzaron en las siguientes áreas: sótano, planta baja, primer y segundo nivel; de acuerdo con los detalles mostrados en el proyecto de reforzamiento estructural:

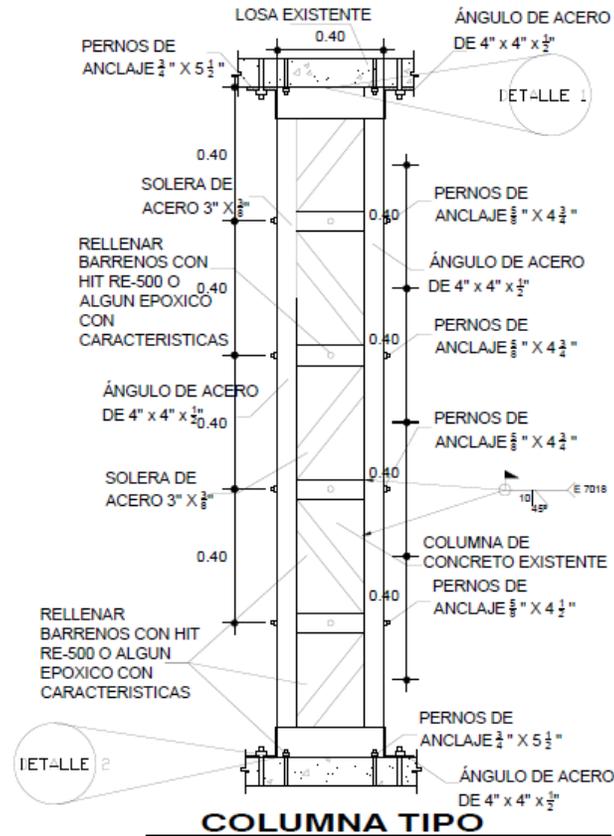


Figura 6 Detalle de refuerzo de columnas de sótano, planta baja, primer y segundo nivel, Proyecto estructural.

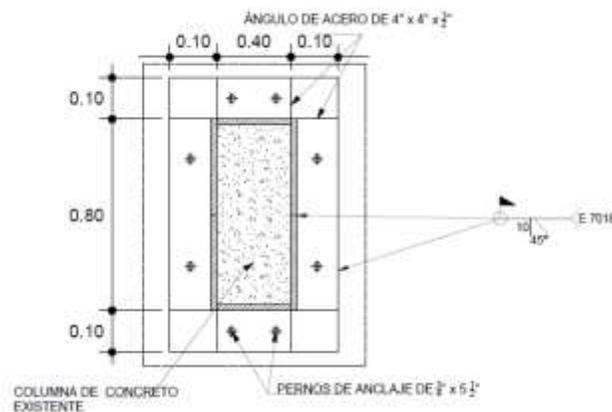


Figura 7 Detalle de refuerzo de columnas centrales de sótano, planta baja, primer y segundo nivel, Proyecto estructural.

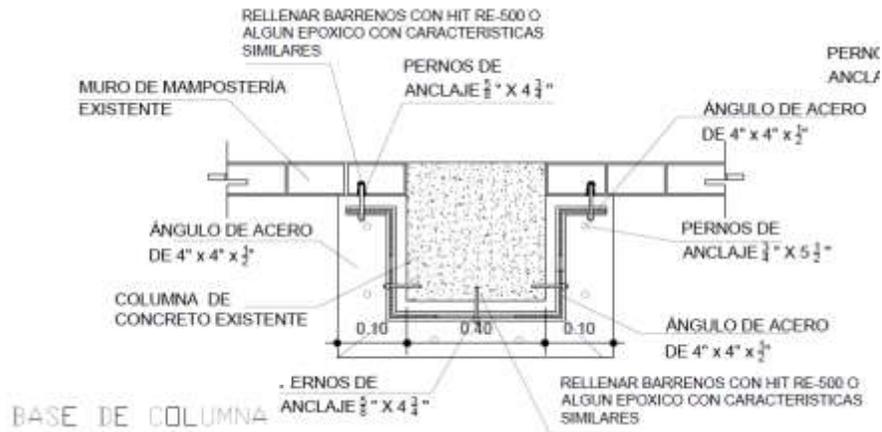


Figura 8 Detalle de refuerzo de columnas perimetrales de sótano, planta baja, primer y segundo nivel, Proyecto estructural.

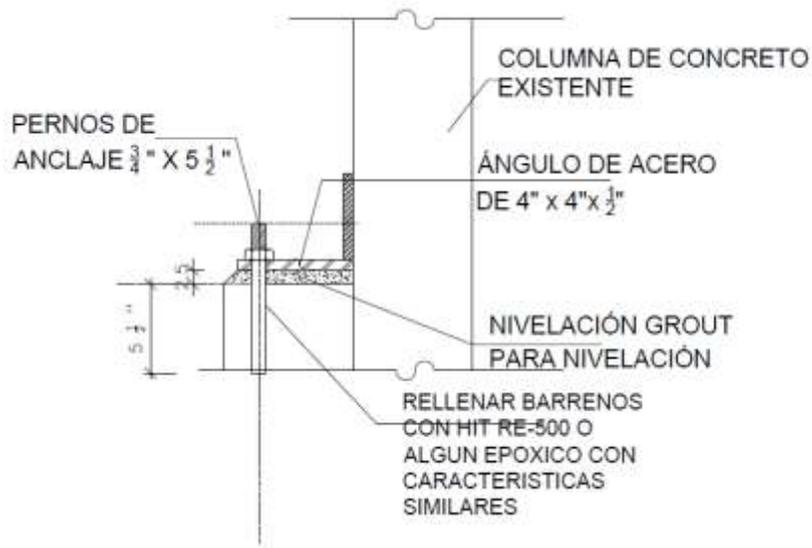


Figura 9 Detalle de anclajes, Proyecto estructural

Además, fueron adicionados marcos con contraventeos de acero en algunas crujías en ambos sentidos de la edificación por medio de perfiles estructurales OC, en dos secciones, junto con la adición de vigas IR, para la formación de estos marcos, con el objetivo de aumentar la rigidez lateral de la edificación, contribuyendo con esto a disminuir los efectos de torsión.

A continuación, se presentan algunos detalles mostrados en el proyecto de reforzamiento estructural:

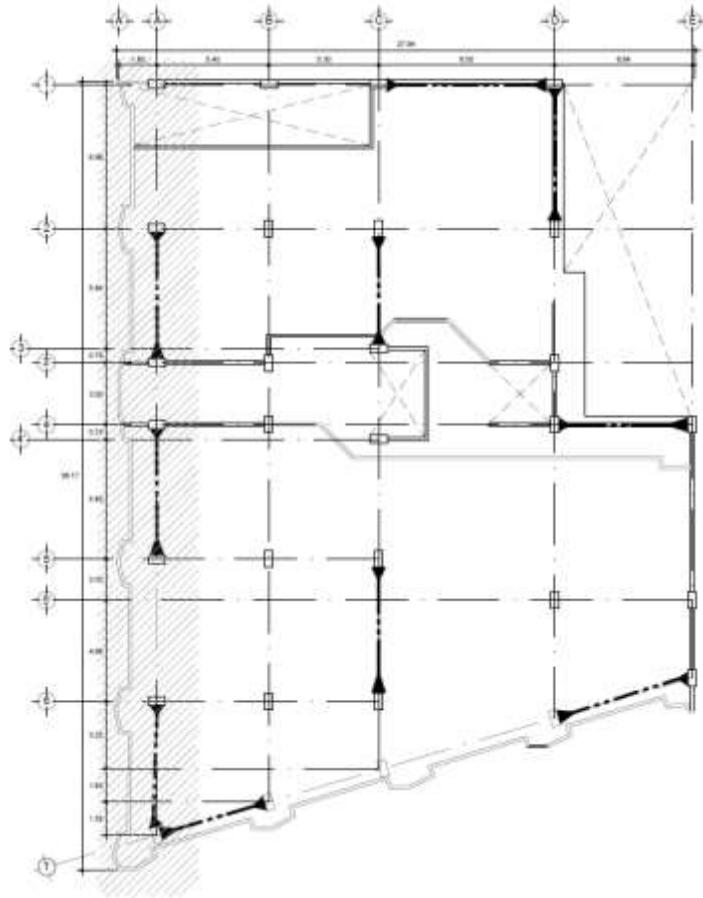


Figura 10 Distribución de contraventeos en planta, Proyecto estructural.

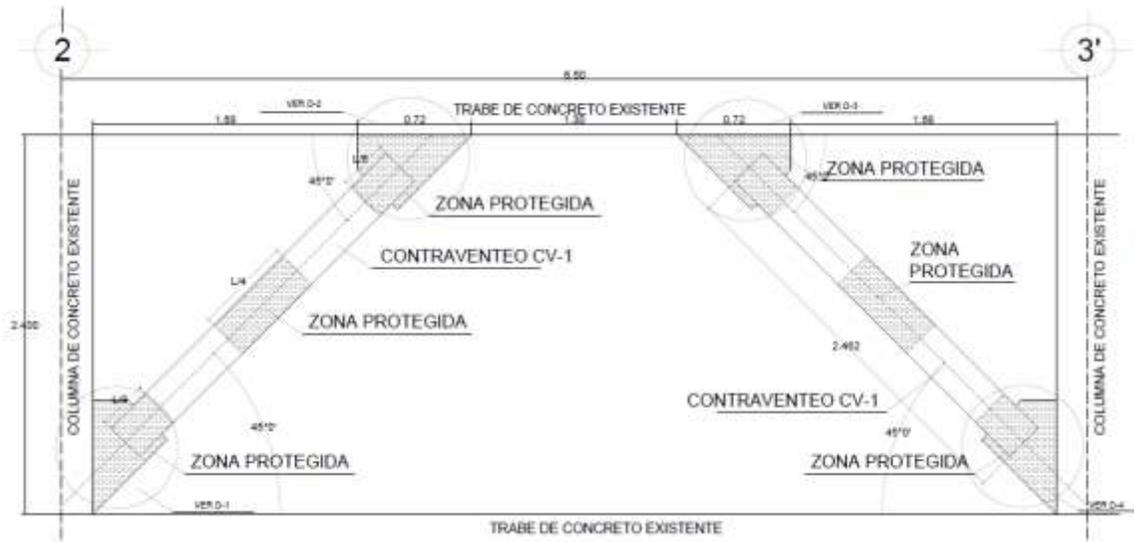


Figura 11 Detalle de contraventeos, Proyecto estructural.

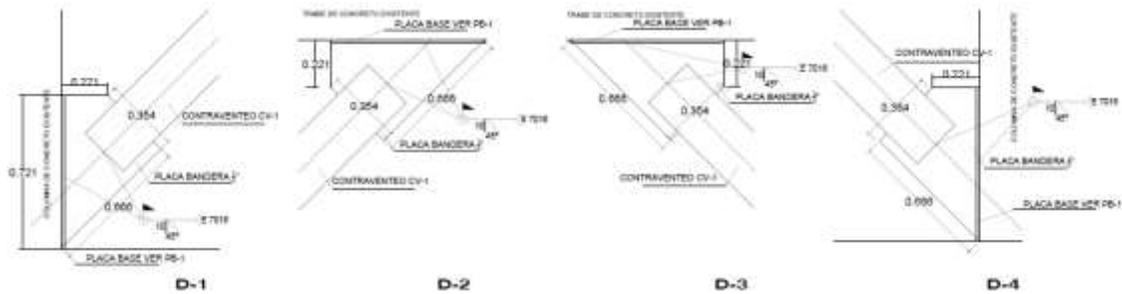


Figura 12 Detalles de conexión contraventeos, Proyecto Estructural.

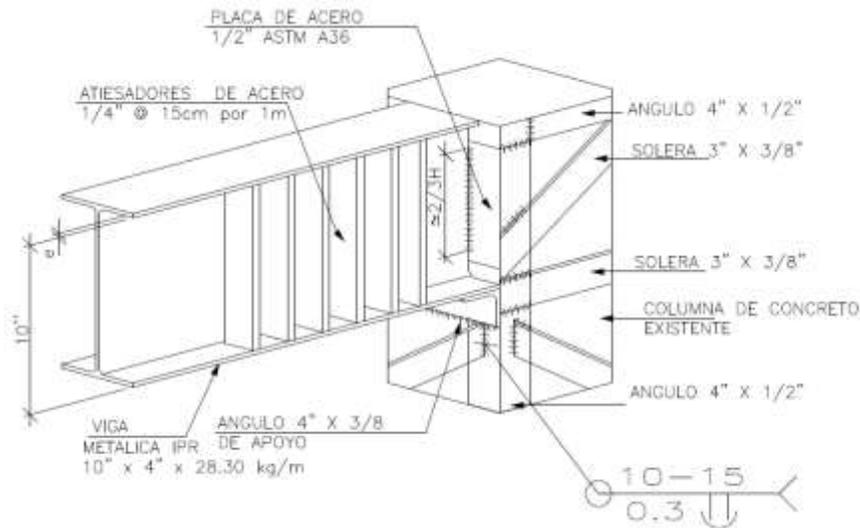


Figura 13 Detalle de conexión de viga IR para marcos contraventeados, Proyecto estructural.

Los elementos descritos constituyen fundamentalmente al proyecto de reforzamiento estructural, sin embargo, después de realizado el proceso constructivo se identifican las siguientes diferencias conforme a proyecto:

- Distribución y especificaciones de pernos distinta a la mencionada de proyecto, así como la mala preparación y colocación de pernos (Figuras 10, 12, 13 y 14).
- La omisión de 2 marcos de contraventeos.
- Falta colocación de mortero fluido para la nivelación de placas base (Figuras 10, 11, 12 y 13).
- Cambio de secciones y perfiles estructurales de algunos marcos de contraventeos (Figura 17).
- Nula separación entre contraventeos y muros divisorios de Tablaroca (Figura 16).

Sin embargo, se identifica un par de problemáticas concebidas desde proyecto:

- Consideraciones para análisis y diseño de una estructura del tipo B, cuando actualmente tiene uso de hospital, clasificada como estructura del grupo A1, de acuerdo con el Reglamento de Construcciones del Distrito Federal 2017. (Gaceta Oficial del Distrito Federal, 2017)
- Falta de continuidad del refuerzo de las columnas entre un nivel y otro.
- Falta de especificaciones para la preparación entre la unión del concreto existente de las columnas con el acero nuevo, para garantizar un comportamiento homogéneo.
- Diseño de conexiones de contraventeos escasos.
- Nula intervención en cimentación.

A continuación, se ilustran dichos puntos:



Fotografía 10 En esta fotografía se muestra columna reforzada en sótano.



Fotografía 11 Se muestra conexión de contraventeo con columna reforzada en planta baja.



Fotografía 12 Anclajes en capiteles de refuerzo de columnas, completamente distinto a proyecto.



Fotografía 13 Anclajes en cimentación no correspondientes a proyecto.



Fotografía 14 Anclajes colocados sin epóxicos y con inclinación importante.



Fotografía 15 Proceso constructivo.



Fotografía 16 Estado actual, se observa al fondo contraventeo restringido por muros divisorios.



Fotografía 17 Estado actual, se observa cambio de secciones en contraventeos.

3. CRITERIOS DE ANÁLISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL

Los criterios generales de análisis y diseño se toman de la normativa vigente y local, en este caso del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal. (Gaceta Oficial del Distrito Federal, 2017), así como las Normas Técnicas Complementarias (Gaceta Oficial de la Ciudad de México, 2021); (Gaceta Oficial de la Ciudad de México, 2020); (Gaceta Oficial de la Ciudad de México, 2020); (Gaceta Oficial de la Ciudad de México, 2020); (Gaceta Oficial de la Ciudad de México, 2017); (Gaceta Oficial de la Ciudad de México, 2017).

3.1. CARGAS MUERTAS

Se considera carga muerta debido al peso propio de los elementos estructurales y de los elementos no estructurales tales como: acabados, muros, rellenos, instalaciones, así como los equipos que ocupan una posición fija sobre la estructura, dichas cargas muertas, se consideraron como se detalla a continuación:

LOSA TAPA (ELEVADORES)

MACIZA

Losa maciza (10cm)	240	kg/m ²
Rellenos, enladrillado e impermeabilizante	200	kg/m ²
Plafón e instalaciones	90	kg/m ²
Sobrecarga reglamentaria NTC-CADEE (Gaceta Oficial de la Ciudad de México, 2017)	40	kg/m ²
		570 kg/m²

AZOTEA

RETICULAR

Losa reticular (50cm)	580	kg/m ²
Rellenos, enladrillado e impermeabilizante	200	kg/m ²
Plafón e instalaciones	90	kg/m ²
Sobrecarga reglamentaria NTC-CADEE	40	kg/m ²
		910 kg/m²

ENTREPISO**RETICULAR**

Losa reticular (50cm)	580	kg/m ²
Piso terminado	80	kg/m ²
Plafón e instalaciones	90	kg/m ²
Sobrecarga reglamentaria NTC-CADEE	40	kg/m ²
Densidad de muros divisorios	200	kg/m ²
	990	kg/m²

ESCALERAS**MACIZA**

Losa maciza (10cm)	240	kg/m ²
Piso terminado	80	kg/m ²
Plafón	40	kg/m ²
Sobrecarga reglamentaria NTC-CADEE	40	kg/m ²
Escalones	160	kg/m ²
	560	kg/m²

ESTACIONAMIENTO**MACIZA**

Losa maciza (25cm)	580	kg/m ²
Piso terminado	80	kg/m ²
Plafón	40	kg/m ²
Sobrecarga reglamentaria NTC-CADEE	40	kg/m ²
	740	kg/m²

3.2. CARGAS VIVAS

Las cargas vivas unitarias para los distintos niveles se determinaron con base a los valores establecidos en la tabla 6.1.1 *Cargas vivas unitarias*, de la Norma Técnica Complementaria sobre Criterios y Acciones para el Diseño Estructural de las Edificaciones 2017 (Gaceta Oficial de la Ciudad de México, 2017), de donde se obtienen los siguientes valores tabulados:

Destino de Piso o Cubierta	Carga Viva Unitaria Media (W)	Carga Viva Unitaria Instantánea (Wa)	Carga Viva Unitaria Máxima (Wm)
Consultorios y laboratorios	100 kg/m ²	180 kg/m ²	250 kg/m ²
Comunicación para peatones	40 kg/m ²	150 kg/m ²	350 kg/m ²
Azoteas con pendiente no mayor de 5%	15 kg/m ²	70 kg/m ²	100 kg/m ²
Volados en vía pública	15 kg/m ²	70 kg/m ²	300 kg/m ²
Estacionamiento	40 kg/m ²	100 kg/m ²	250 kg/m ²

Para este caso de estudio no se considerarán equipos especiales que necesiten considerar una carga adicional a las cargas vivas descritas.

3.3. PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS MATERIALES A EMPLEAR

Se tomarán los parámetros especificados por el fabricante, así como los valores especificados por las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto, Acero y Mampostería en sus versiones del 2017, los cuales se detallan a continuación:

CONCRETO EXISTENTE

Se utilizará un concreto de tipo I, empleado para elementos de concreto existentes, con las siguientes propiedades mecánicas:

Esfuerzo a la compresión	$f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$
Módulo de elasticidad	$E_c = 14,000\sqrt{f'c} = 221,359.44 \text{ kg/cm}^2$
Peso Volumétrico	$\gamma_c = 2,400 \text{ kg/m}^3$
Módulo de Poisson	$\nu = 0.20$
Módulo de cortante	$G = 92,223.1 \text{ kg/cm}^2$

CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA

Se utilizará un concreto de tipo I, empleado para elementos de concreto que se adicionaran como propuesta de refuerzo estructural, con las siguientes propiedades mecánicas:

Esfuerzo a la compresión	$f'c = 560 \text{ kg/cm}^2$
Módulo de elasticidad	$E_c = 14,000\sqrt{f'c} = 331,300.47 \text{ kg/cm}^2$
Peso Volumétrico	$\gamma_c = 2,500 \text{ kg/m}^3$
Módulo de Poisson	$\nu = 0.20$
Módulo de cortante	$G = 138,041.86 \text{ kg/cm}^2$

ACERO DE REFUERZO

Las propiedades mecánicas del acero de refuerzo serán:

Esfuerzo de fluencia	$F_y = 4,200 \text{ kg/cm}^2$
Módulo de elasticidad	$E_s = 2'039,000.00 \text{ kg/cm}^2$
Peso Volumétrico	$\gamma_s = 7,800 \text{ kg/m}^3$

ACERO ASTM A992

Se contempla acero ASTM A993, para los refuerzos existentes de la estructura, con las siguientes propiedades mecánicas:

Esfuerzo de fluencia	$F_y = 3,515 \text{ kg/cm}^2$
Esfuerzo último	$F_u = 4,570 \text{ kg/cm}^2$
Módulo de elasticidad	$E_s = 2'039,000.00 \text{ kg/cm}^2$
Peso Volumétrico	$\gamma_s = 7,800 \text{ kg/m}^3$
Módulo de Poisson	$\nu = 0.30$
Módulo de cortante	$G = 784,193.04 \text{ kg/cm}^2$

MAMPOSTERÍA BLOQUE DE CONCRETO

Se contempla mampostería a base de bloque de concreto con mortero tipo I para los muros de carga originales de proyecto, con las siguientes propiedades mecánicas:

Resistencia de diseño a compresión	$f'_m = 15 \text{ kg/cm}^2$
Módulo de elasticidad	$E_s = 5,250 \text{ kg/cm}^2$
Peso Volumétrico	$\gamma_s = 2,200 \text{ kg/m}^3$
Módulo de Poisson	$\nu = 0.25$
Módulo de cortante	$G = 2100 \text{ kg/cm}^2$

3.4. ESPECTRO PARA DISEÑO POR SISMO

El análisis sísmico se efectuará por el método de análisis dinámico modal espectral, de acuerdo con el Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal 2017 (Reglamento de Construcciones del Distrito Federal, 2017) y la Norma Técnica Complementaria para Diseño por Sismo con comentarios 2020 (Gaceta Oficial de la Ciudad de México, 2020), se encuentra en Zona III lacustre (Figura 14 y 15), se consideran los siguientes parámetros para construir el espectro de diseño sísmico con base al Sistema de Acciones Sísmicas de Diseño (SASID) (Aplicación Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo de la Ciudad de México (NTCDS-CDMX), 2021):

Grupo de estructura	Grupo A1
Latitud	19.4902444
Longitud	-99.1316895
Factor de comportamiento sísmico en ambas direcciones	Q=2
Factor de irregularidad	0.70
Zona sísmica del RCDF	Zona III
Tipo de suelo	Lago
Período dominante del sitio (Ts)	1.4 seg
Coeficiente sísmico (c)	984 gal
Aceleración inicial (a0)	335 gal
Período característico inicial (Ta)	1.1 seg
Período característico final (Tb)	2.0 seg
Cociente entre desplazamiento máximo del suelo y la estructura (k)	0.296
Factor de corrección por hiperestaticidad (k1)	0.80
Factor básico de sobre resistencia para sistemas estructurales de concreto (R0)	1.75

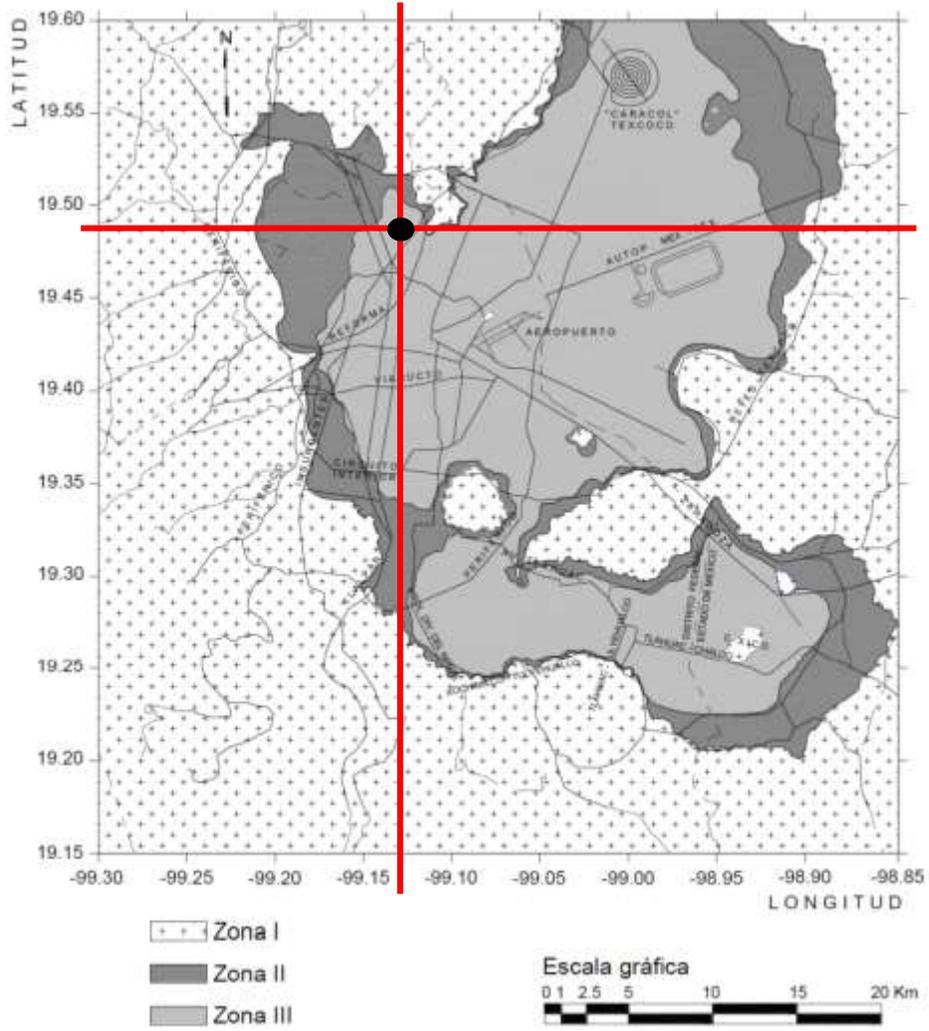


Figura 14 Zonificación geotécnica con base en la NTC-Cimentaciones 2017.

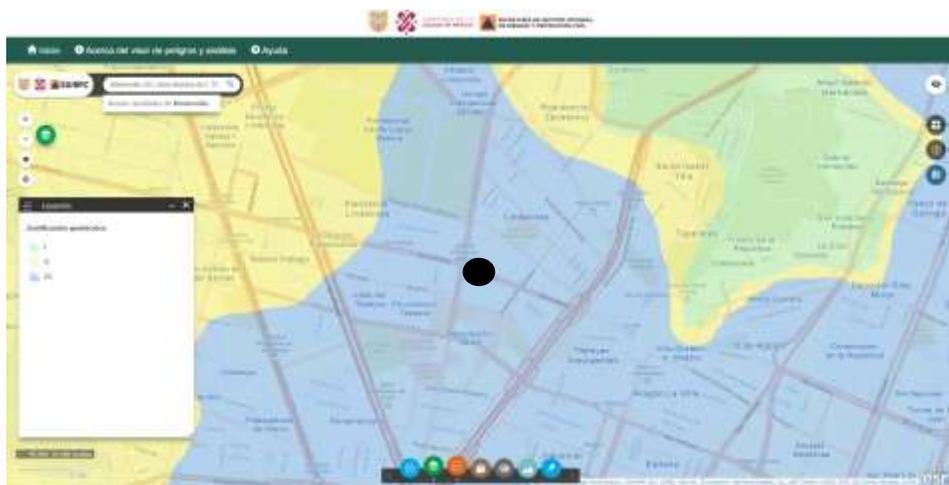


Figura 15 Zonificación geotécnica con base en el Atlas de Riesgos de la Secretaría de Gestión Integral de Riesgos y Protección Civil.

A continuación, se muestra el Espectro Elástico de Diseño generado:

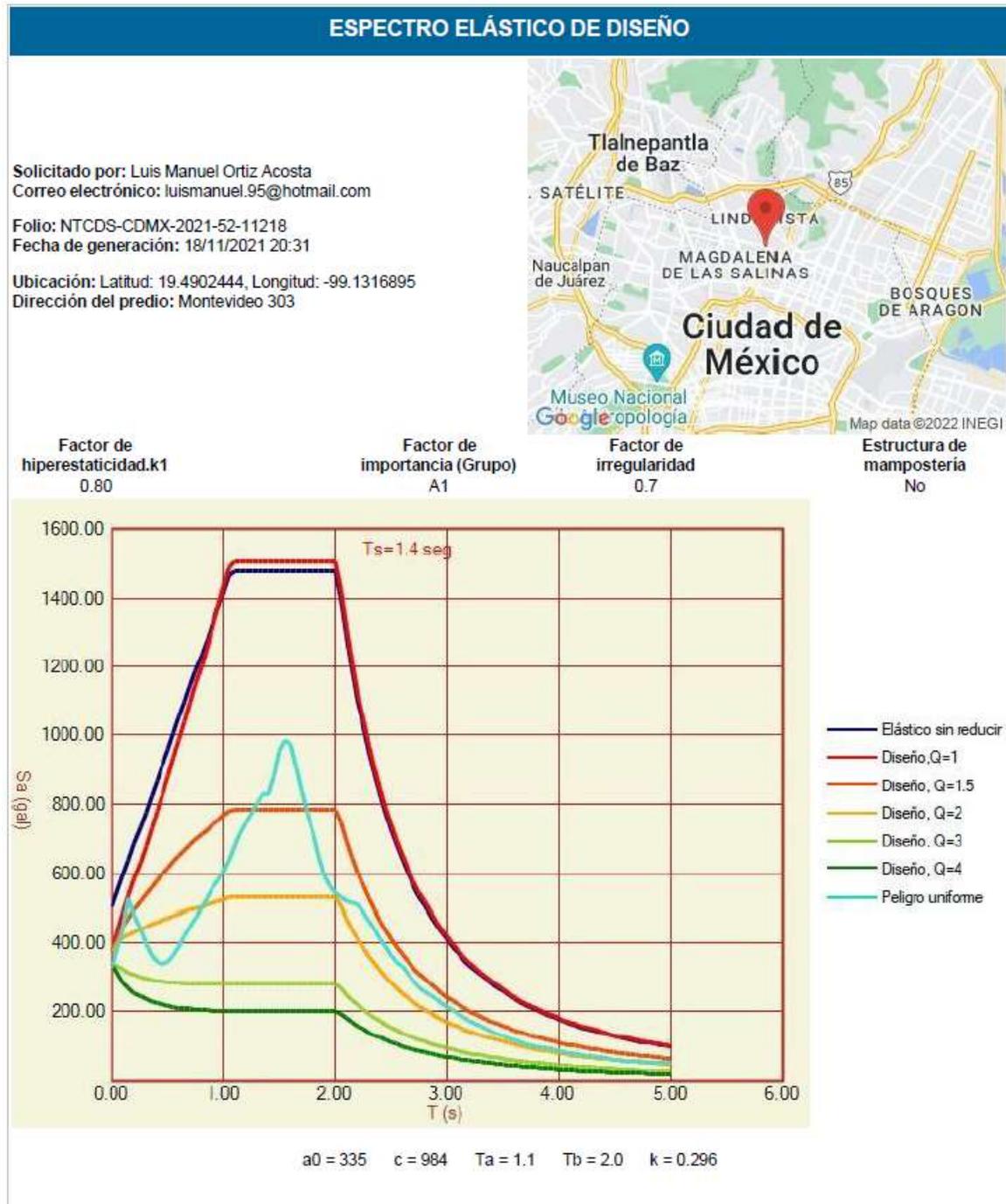


Figura 16 Espectro de diseño generado por SASID Web.

3.5. FACTOR DE COMPORTAMIENTO SÍSMICO Q Y CONDICIONES DE REGULARIDAD ESTRUCTURAL

Con base en la Norma Técnica Complementaria para Diseño por Sismo con comentarios 2020 (Gaceta Oficial de la Ciudad de México, 2020), se usará el Factor de Comportamiento Sísmico $Q=1$ debido a que la resistencia de las fuerzas laterales en ambos sentidos es suministrada por losas planas con columnas de concreto reforzado de ductilidad baja.

Para la evaluación del factor de irregularidad se tendrán que evaluar los 13 puntos establecidos en la Norma Técnica Complementaria para Diseño por Sismo 2017 como se describe a continuación:

1. Los diferentes muros, marcos y demás sistemas sismo-resistentes verticales son sensiblemente paralelos a los ejes ortogonales principales del edificio. Se considera que un plano o elemento sismo-resistente es sensiblemente paralelo a uno de los ejes ortogonales cuando el ángulo que forma en planta con respecto a dicho eje no excede 15 grados.

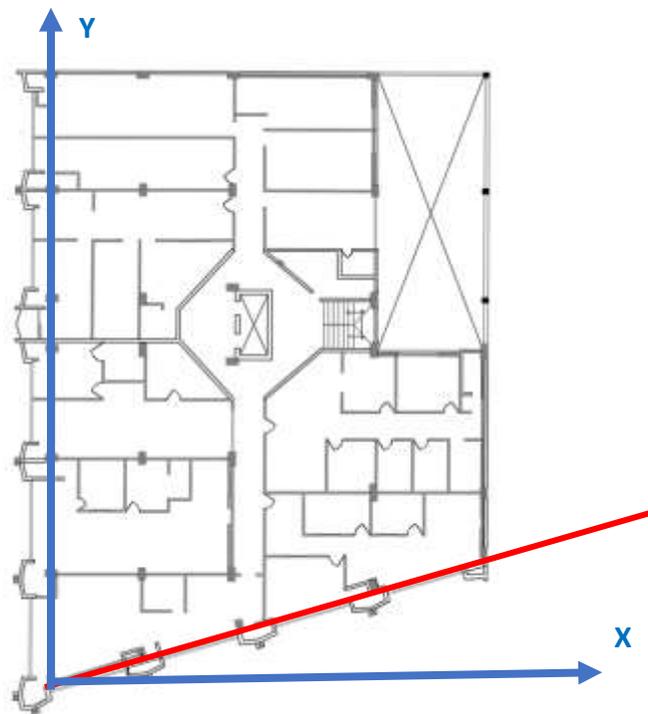


Figura 14 Muestra de ejes no ortogonales.

Con respecto al eje Y, todos sus marcos son ortogonales, sin embargo, en el eje X se tiene un marco no ortogonal de 17° , por lo tanto, este punto **NO CUMPLE**.

2. La relación de su altura a la dimensión menor de su base no es mayor que cuatro.

$$b=12.6\text{m}; h=26.15\text{m} \quad \frac{26.15}{12.6} = 2.08 < 4 \therefore \text{CUMPLE}$$

3. La relación de largo a ancho de la base no es mayor que cuatro.

$$b=12.6\text{m}; L=38\text{m} \quad \frac{38.0}{12.6} = 3.02 < 4 \therefore \text{CUMPLE}$$

4. En planta no tiene entrantes ni salientes de dimensiones mayores que 20 por ciento de la dimensión de la planta medida paralelamente a la dirección en que se considera el entrante o saliente.

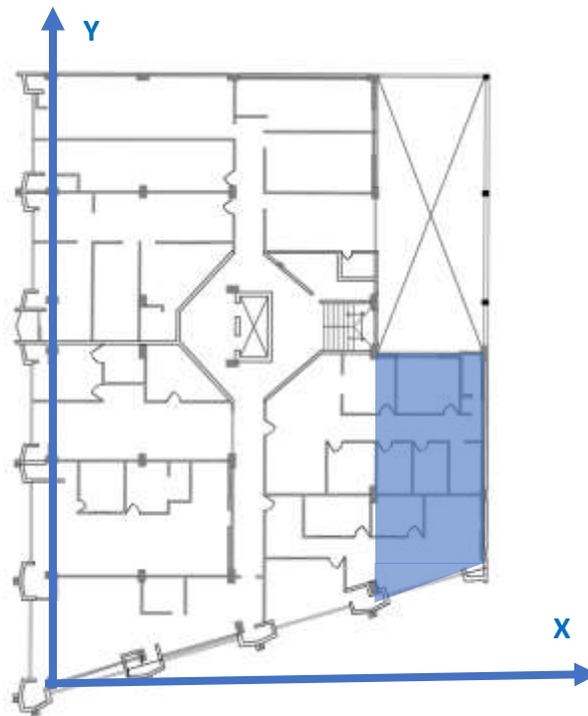


Figura 15 Saliente del proyecto.

SENTIDO X

$$L_x=25.8\text{m}; l_x=6.65\text{m} \quad 25.78\%$$

SENTIDO Y

$$L_y=31.3; l_y=15.05\text{m} \quad 48.08\%$$

En ambos sentidos supera el 20%, por lo tanto, **NO CUMPLE.**

5. Cada nivel tiene un sistema de piso cuya rigidez y resistencia en su plano satisfacen lo especificado en la sección 2.7 para un diafragma rígido.

De acuerdo a la sección 2.7 para que se pueda considerar diafragma rígido cuando el sistema constructivo sea una losa de concreto, con tableros que exhiban una relación de largo a ancho menor igual a 4, adicionalmente cumplir los requisitos 4 y 6 de estas condiciones de regularidad, por lo tanto, al no cumplir el punto 4 de las condiciones de regularidad este punto, **NO CUMPLE**.

6. El sistema de piso no tiene aberturas que en algún nivel excedan 20 por ciento de su área en planta en dicho nivel, y las áreas huecas no difieren en posición de un piso a otro. Se exime de este requisito la azotea de la construcción.

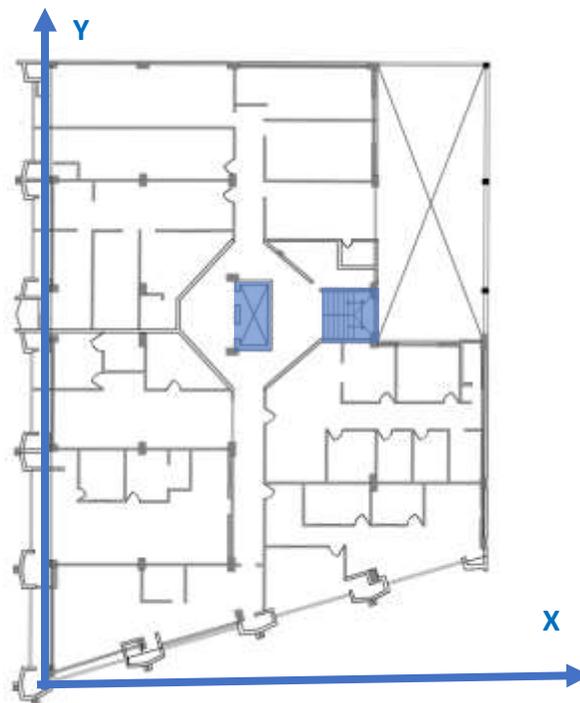


Figura 16 Aberturas en sistema de piso

$A_t = 855.00\text{m}^2$, $A_h = 14.38\text{m}^2$ 1.68%

Las aberturas de todos los niveles se encuentran en la misma posición y estas son menores al 20%, por lo tanto, **CUMPLE** este punto.

7. El peso de cada nivel, incluyendo la carga viva que debe considerarse para diseño sísmico, no es mayor que 120 por ciento del correspondiente al piso inmediato inferior.

NIVEL	PESO DE ENTREPISO (ton)	RELACIÓN CON PISO INMEDIATO INFERIOR	EVALUACIÓN
25.95	463.84	52%	Cumple
22.95	897.41	100%	Cumple
20.2	897.41	100%	Cumple
17.45	897.41	100%	Cumple
14.7	897.41	100%	Cumple
11.95	897.41	100%	Cumple
9.2	900.54	100%	Cumple
6.45	901.00	96%	Cumple
3.7	939.25	97%	Cumple
0	964.81		

En ningún caso el peso de algún nivel es mayor que 120% que el piso inmediato inferior, por lo tanto, **CUMPLE**.

8. En cada dirección, ningún piso tiene una dimensión en planta mayor que 110 por ciento de la del piso inmediato inferior. Además, ningún piso tiene una dimensión en planta mayor que 125 por ciento de la menos de las dimensiones de los pisos inferiores en la misma dirección.

Todas las plantas cuentan con las mismas características geométricas, a excepción de la losa de azotea, por lo tanto, este punto, **CUMPLE**.

9. Todas las columnas están restringidas en todos los pisos en dos direcciones de análisis por diafragmas horizontales o por vigas. Por consiguiente, ninguna columna pasa a través de un piso sin estar ligada con él.

Todas las columnas están restringidas en todos los pisos, por lo tanto, **CUMPLE**.

10. Todas las columnas de cada entrepiso tienen la misma altura, aunque esta pueda variar de un piso a otro. Se exige de este requisito al último entrepiso de la construcción.

Todas las columnas de cada entrepiso tienen la misma altura, por lo tanto, **CUMPLE**.

11. La rigidez lateral de ningún entrepiso difiere en más de 20 por ciento de la del entrepiso inmediatamente inferior. El último entrepiso queda excluido de este requisito.

NIVEL	RIGIDEZ X (ton-cm)	RELACIÓN CON PISO INMEDIATO INFERIOR	EVALUACIÓN
25.95	241.90	60.43%	No se evalúa
22.95	611.31	14.20%	Cumple
20.2	712.50	5.85%	Cumple
17.45	756.78	3.91%	Cumple
14.7	787.55	2.97%	Cumple
11.95	811.62	5.58%	Cumple
9.2	859.55	7.27%	Cumple
6.45	926.99	23.48%	No cumple
3.7	750.73	0.00%	Cumple
0	0.00		

NIVEL	RIGIDEZ Y (ton-cm)	RELACIÓN CON PISO INMEDIATO INFERIOR	EVALUACIÓN
25.95	299.53	62.68%	No se evalúa
22.95	802.65	19.00%	Cumple
20.2	990.88	9.49%	Cumple
17.45	1094.78	5.73%	Cumple
14.7	1161.36	4.42%	Cumple
11.95	1215.02	5.37%	Cumple
9.2	1283.93	6.53%	Cumple
6.45	1373.70	32.13%	No cumple
3.7	1039.64	0.00%	Cumple
0	0.00		

Al no cumplir en un entrepiso la relación del 20%, esta condición **NO CUMPLE**.

12. En ningún entrepiso el desplazamiento lateral de algún punto de la planta excede en más de 20 por ciento el desplazamiento lateral promedio de los extremos de la misma.

NIVEL	DESPLAZAMIENTO MÁXIMO EN X (cm)	DESPLAZAMIENTO MÍNIMO EN X (cm)	DESPLAZAMIENTO PROMEDIO (cm)	EVALUACIÓN
22.95	29.98	17.51	23.74	No cumple
20.2	28.11	16.49	22.30	No cumple
17.45	25.55	15.05	20.30	No cumple
14.7	22.31	13.22	17.76	No cumple
11.95	18.52	11.04	14.78	No cumple
9.2	14.30	8.59	11.44	No cumple
6.45	9.92	5.99	7.95	No cumple
3.7	5.70	3.29	4.50	No cumple

NIVEL	DESPLAZAMIENTO MÁXIMO EN Y (cm)	DESPLAZAMIENTO MÍNIMO EN Y (cm)	DESPLAZAMIENTO PROMEDIO (cm)	EVALUACIÓN
22.95	16.46	16.74	16.60	Cumple
20.2	15.48	15.56	15.52	Cumple
17.45	14.12	14.06	14.09	Cumple
14.7	12.40	12.23	12.31	Cumple
11.95	10.37	10.13	10.25	Cumple
9.2	8.09	7.84	7.96	Cumple
6.45	5.70	5.45	5.58	Cumple
3.7	3.32	3.08	3.20	Cumple

Al no cumplir en ningún entrepiso de la dirección en X la relación establecida en esta condición de regularidad, se establece que, **NO CUMPLE**.

13. En los sistemas diseñados para Q de 4, en ningún entrepiso el cociente de la capacidad resistente a la carga lateral entre la acción de diseño debe ser menor que el 85 por ciento del promedio de dichos cocientes para todos los entrepisos. En sistemas diseñados para Q igual o menor que 3, en ningún entrepiso el cociente antes indicado debe ser menor que 75 por ciento del promedio de dichos cocientes para todos los entrepisos. Para verificar el cumplimiento de este requisito, se calculará la capacidad resistente de cada entrepiso teniendo en cuenta todos los elementos que puedan contribuir apreciablemente a ella. Queda excluido de este requisito el último entrepiso.

NIVEL	CARGA EN X (ton)	RESISTENCIA PISO X (ton)	RESISTENCIA/CARGA	EVALUACIÓN
25.95	296.88	553.45	1.86	Cumple
22.95	854.19	1864.11	2.18	Cumple
20.2	1380.40	1864.11	1.35	Cumple
17.45	1851.16	1864.11	1.01	Cumple
14.7	2260.55	1864.11	0.82	No cumple
11.95	2604.11	2945.37	1.13	Cumple
9.2	2877.22	2945.37	1.02	Cumple
6.45	3075.10	2945.37	0.96	Cumple
3.7	3194.77	2945.37	0.92	No cumple

NIVEL	CARGA EN Y (ton)	RESISTENCIA PISO Y (ton)	RESISTENCIA/CARGA	EVALUACIÓN
25.95	318.68	581.12	1.82	Cumple
22.95	877.67	1957.32	2.23	Cumple
20.2	1401.37	1957.32	1.40	Cumple
17.45	1868.67	1957.32	1.05	Cumple
14.7	2274.75	1957.32	0.86	No cumple
11.95	2615.97	3092.64	1.18	Cumple
9.2	2888.61	3092.64	1.07	Cumple
6.45	3087.99	3092.64	1.00	Cumple
3.7	3211.04	3092.64	0.96	No cumple

Al no cumplir en dos entrepisos de cada dirección, se tiene que esta condición **NO CUMPLE**.

Resumen de condiciones de regularidad:

CONDICIÓN	EVALUACIÓN
1	NO CUMPLE
2	Cumple
3	Cumple
4	NO CUMPLE
5	NO CUMPLE
6	Cumple
7	Cumple
8	Cumple
9	Cumple
10	Cumple
11	NO CUMPLE
12	NO CUMPLE
13	NO CUMPLE

Por lo anterior, la edificación se considera como **MUY IRREGULAR** y se tendrá que utilizar un factor de irregularidad de **0.70**.

4. MODELACIÓN Y ANÁLISIS ESTRUCTURAL

4.1. MODELO ESTRUCTURAL

El análisis sísmico y estructural se realizará por el método de análisis dinámico modal espectral y se efectuará mediante la concepción de un modelo matemático tridimensional elaborado con elementos barra unidireccional y elementos área. Este modelo responderá a un comportamiento del tipo elástico lineal. La elaboración y el cálculo matemático de este modelo se realizará mediante el programa de computadora, ETABS Ultimate V 19.1.0 (Computers and Structures, Inc. (CSI), 2019), que considera dentro de sus cálculos las fuerzas y deformaciones, así como la respuesta de los elementos mecánicos de diseño de sus distintos miembros.

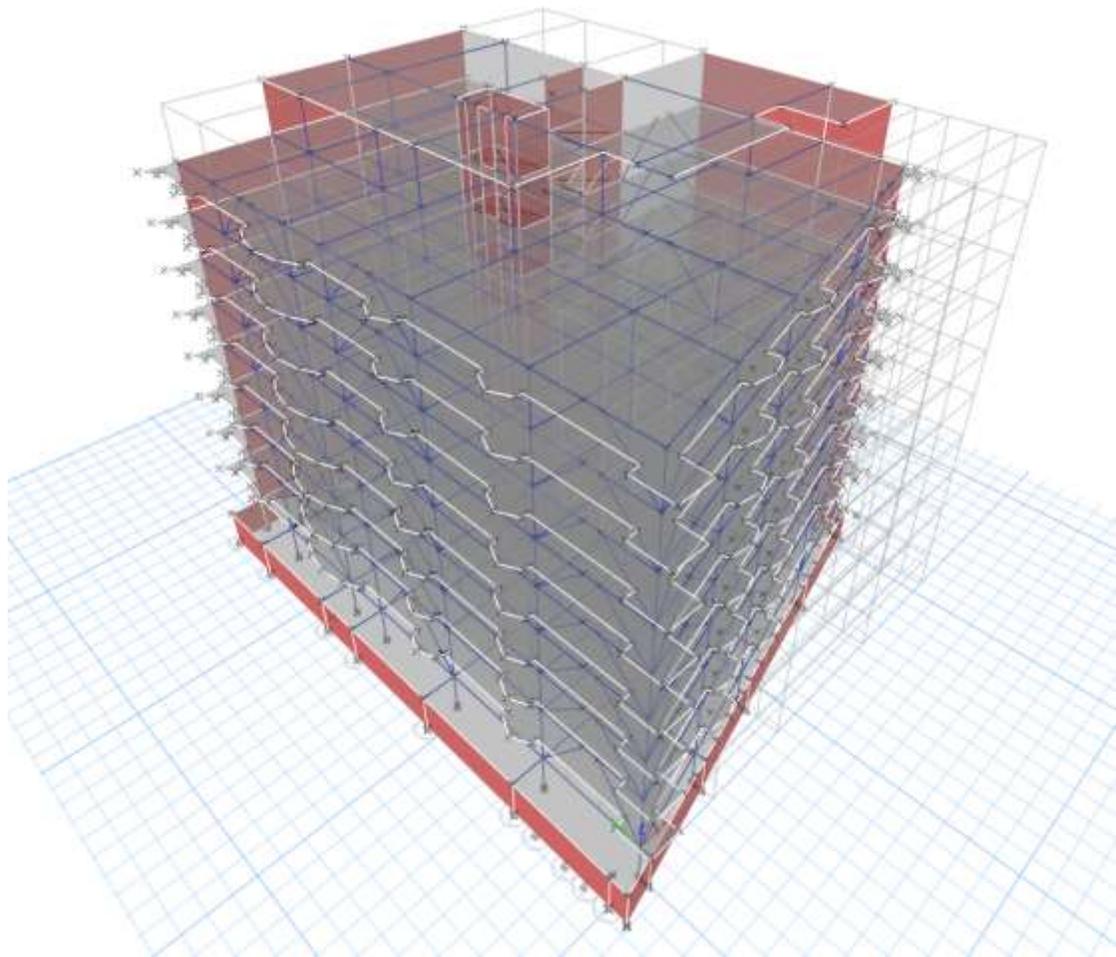


Figura 17 Modelo tridimensional en el software ETABS, estado actual.

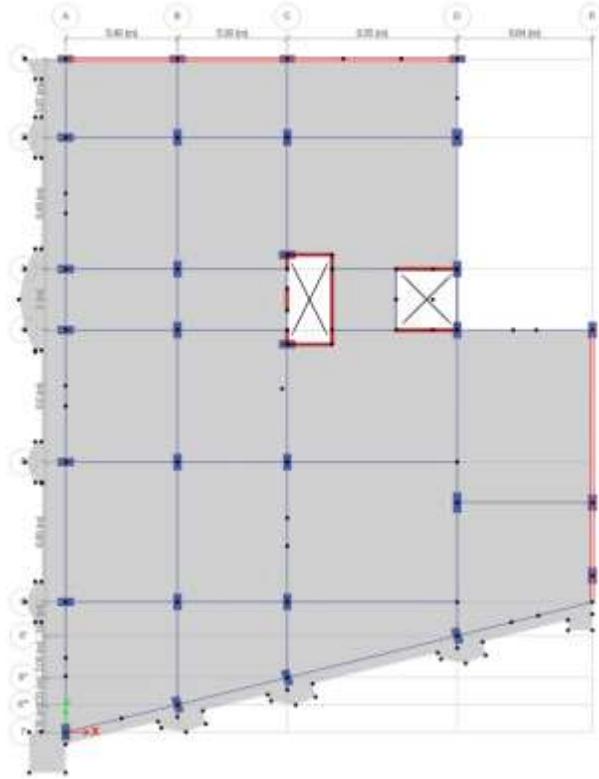


Figura 18 Planta tipo en el software ETABS, estado actual.

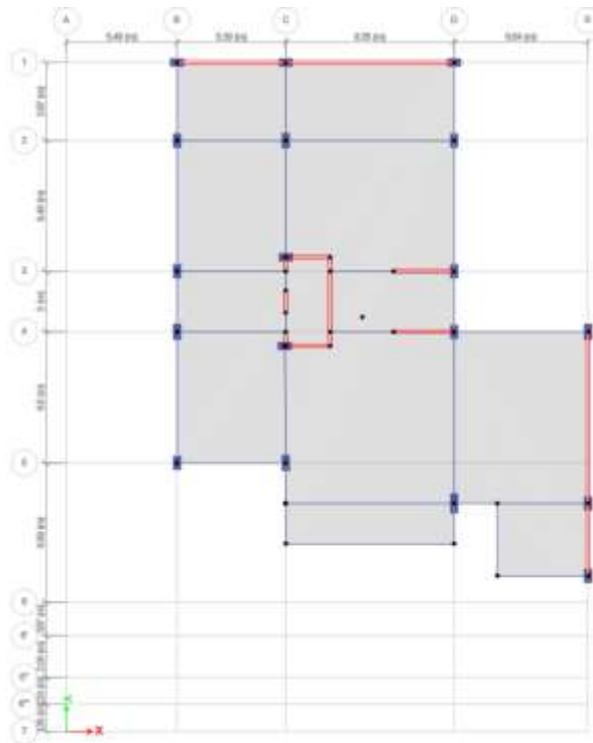


Figura 19 Planta de azotea en el software ETABS, estado actual.

4.2. ACCIONES POR SISMO

Las cargas accidentales para la determinación de las fuerzas producidas por efectos sísmicos se establecieron mediante un análisis dinámico modal espectral, y en este se consideran dichos efectos en dos direcciones ortogonales, analizando el 100% en una dirección y el 30% de los efectos que obran perpendicularmente a ella, con el sentido que resulta más desfavorable para cada concepto.

4.3. COMBINACIONES Y FACTORES DE CARGA

El análisis y revisión de los elementos de concreto, mampostería y acero se realizaron siguiendo los requerimientos que marcan las Normas Técnicas Complementarias de Diseño Sísmico con comentarios 2020 (Gaceta Oficial de la Ciudad de México, 2020), Estructuras de Concreto con comentarios 2021 (Gaceta Oficial de la Ciudad de México, 2021), Estructuras de Mampostería con comentarios 2020 (Gaceta Oficial de la Ciudad de México, 2020) y Estructuras de Acero con comentarios 2020 (Gaceta Oficial de la Ciudad de México, 2020), así como la Norma Técnica para Criterios y Acciones de Estructuras de las Edificaciones (Gaceta Oficial de la Ciudad de México, 2017), con sus respectivos factores de carga y reducción, cumpliendo con los estados límite de falla y servicio. Las combinaciones de carga utilizadas fueron:

ESTADO LÍMITE DE SERVICIO

$PP+CM+CVMáx$	Deformación vertical
$PP+CM+CVAcc+Sx+0.3Sy$	Deformación horizontal
$PP+CM+CVAcc+Sx-0.3Sy$	Deformación horizontal
$PP+CM+CVAcc-Sx+0.3Sy$	Deformación horizontal
$PP+CM+CVAcc-Sx-0.3Sy$	Deformación horizontal
$PP+CM+CVAcc+0.3Sx+Sy$	Deformación horizontal
$PP+CM+CVAcc+0.3Sx-Sy$	Deformación horizontal
$PP+CM+CVAcc-0.3Sx+Sy$	Deformación horizontal
$PP+CM+CVAcc-0.3Sx-Sy$	Deformación horizontal

ESTADO LÍMITE DE FALLA

$1.5(PP+CM)+1.7(CVMáx)$	Diseño trabes y columnas
$1.1(PP+CM+CVAcc+Sx+0.3Sy)$	Diseño trabes y columnas
$1.1(PP+CM+CVAcc+Sx-0.3Sy)$	Diseño trabes y columnas
$1.1(PP+CM+CVAcc-Sx+0.3Sy)$	Diseño trabes y columnas
$1.1(PP+CM+CVAcc-Sx-0.3Sy)$	Diseño trabes y columnas
$1.1(PP+CM+CVAcc+0.3Sx+Sy)$	Diseño trabes y columnas
$1.1(PP+CM+CVAcc+0.3Sx-Sy)$	Diseño trabes y columnas
$1.1(PP+CM+CVAcc-0.3Sx+Sy)$	Diseño trabes y columnas
$1.1(PP+CM+CVAcc-0.3Sx-Sy)$	Diseño trabes y columnas

En donde:

PP. Peso Propio.

CM. Carga Muerta.

CVMáx. Carga viva máxima.

CVAcc. Carga viva accidental.

Sx. Sismo en dirección X.

Sy. Sismo en dirección Y.

4.4. EXCENRICIDAD ACCIDENTAL

Los efectos de torsión serán determinados por la excentricidad accidental, e_{ai} , en la dirección perpendicular a la de análisis en el i -ésimo entrepiso debe calcularse como lo indica la siguiente expresión:

$$[0.05 + 0.05(i - 1)/(n - 1)]b_i$$

Misma que está establecida en la Norma Técnica Complementaria para Diseño por Sismo.

Donde:

b_i Es la dimensión del i -ésimo piso en la dirección perpendicular a la dirección de análisis.

n El número de pisos del sistema estructural.

En donde tenemos:

NIVEL	Factor	Excentricidad Accidental (m)	
		eaX	eaY
9	0.10	2.85	2.04
8	0.09	3.39	2.43
7	0.09	3.16	2.26
6	0.08	2.94	2.10
5	0.08	2.71	1.94
4	0.07	2.49	1.78
3	0.06	2.26	1.62
2	0.06	2.03	1.46
1	0.05	1.81	1.29

A continuación, se presentan las excentricidades accidentales ingresadas al software:

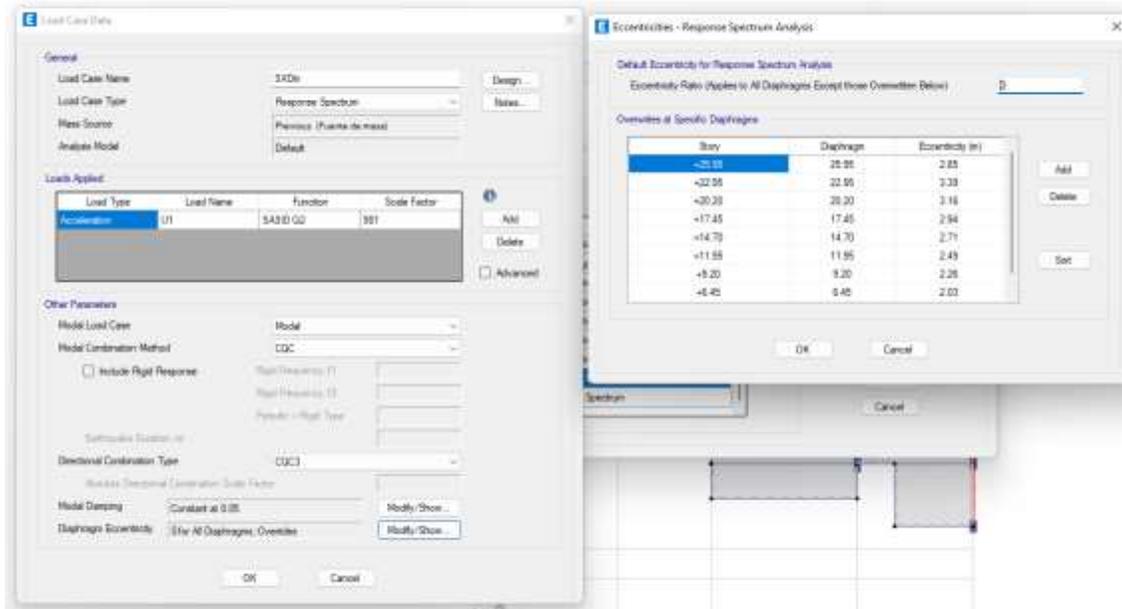


Figura 20 Excentricidad accidental en X, ingresada a software ETABS.

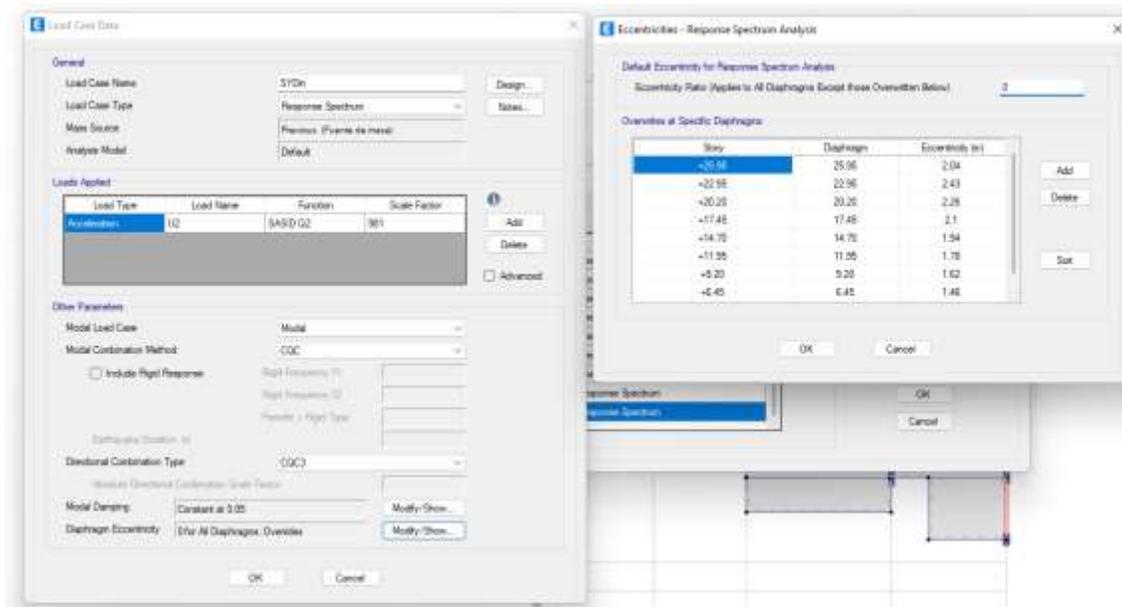


Figura 21 Excentricidad accidental en Y, ingresada a software ETABS.

A continuación, se presentan las coordenadas del centro de masas y centro de rigideces:

NIVEL	CENTRO DE MASAS		CENTRO DE RIGIDEZ		EXCENTRICIDAD ACCIDENTAL	
	XCM	YCM	XCR	YCR	eaX	eaY
	m	m	m	m	m	m
25.95	14.68	20.53	17.52	22.57	2.85	2.04
22.95	10.75	16.96	14.14	19.38	3.39	2.43
20.2	10.66	16.92	13.82	19.18	3.16	2.26
17.45	10.66	16.92	13.59	19.02	2.94	2.10
14.7	10.66	16.92	13.37	18.86	2.71	1.94
11.95	10.66	16.92	13.14	18.70	2.49	1.78
9.2	10.64	16.92	12.90	18.53	2.26	1.62
6.45	10.63	16.91	12.66	18.37	2.03	1.46
3.7	10.67	16.98	12.48	18.28	1.81	1.29

Se presentan algunas plantas con la localización de los centros de masas y centros de rigideces:

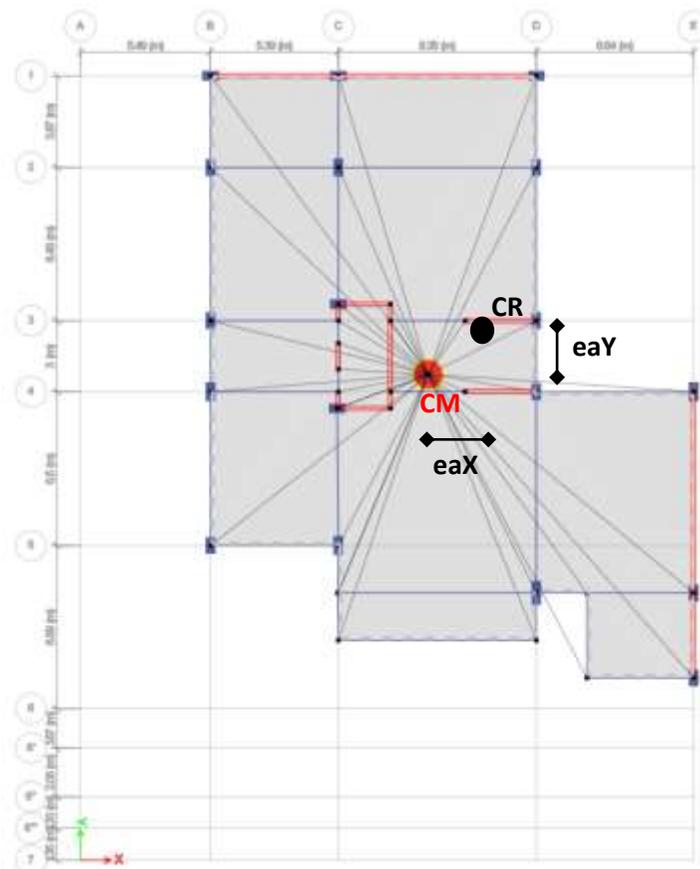


Figura 22 Nivel 25.95 excentricidades en el software ETABS.

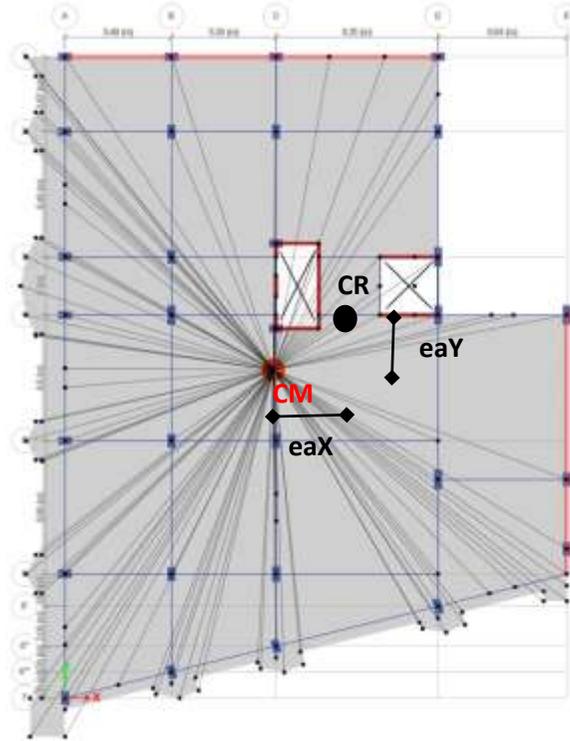


Figura 23 Nivel 22.95 excentricidades, en el software ETABS.

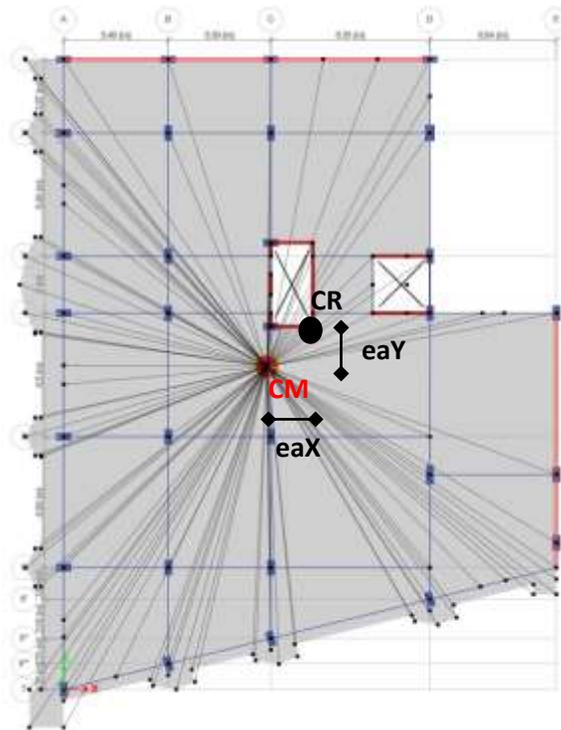


Figura 24 Nivel 3.70 excentricidades, en el software ETABS.

4.5. CONSIDERACIONES PARTICULARES

4.5.1. AGRIETAMIENTO

De acuerdo con la Norma Técnica Complementaria para Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto con comentarios del 2021 (Gaceta Oficial de la Ciudad de México, 2021), cuando se apliquen métodos de análisis lineal, en el cálculo de las rigideces de los miembros estructurales se tomará en cuenta el efecto del agrietamiento. Se admitirá que se cumple con este requisito si las rigideces de los elementos se calculan con el módulo de elasticidad del concreto, y con los momentos de inercia mencionados en la tabla 3.2.1. de dicha norma, los cuales son:

Elemento	Momento de inercia
Vigas y muros agrietados	$0.5 I_g$
Columnas agrietadas	$0.7 I_g$
Columnas y muros no agrietados	I_g

En donde:

I_g . Inercia bruta.

Por lo tanto, para nuestro caso de estudio todas las secciones de columnas fueron afectadas con este factor de reducción en ambos sentidos de análisis.

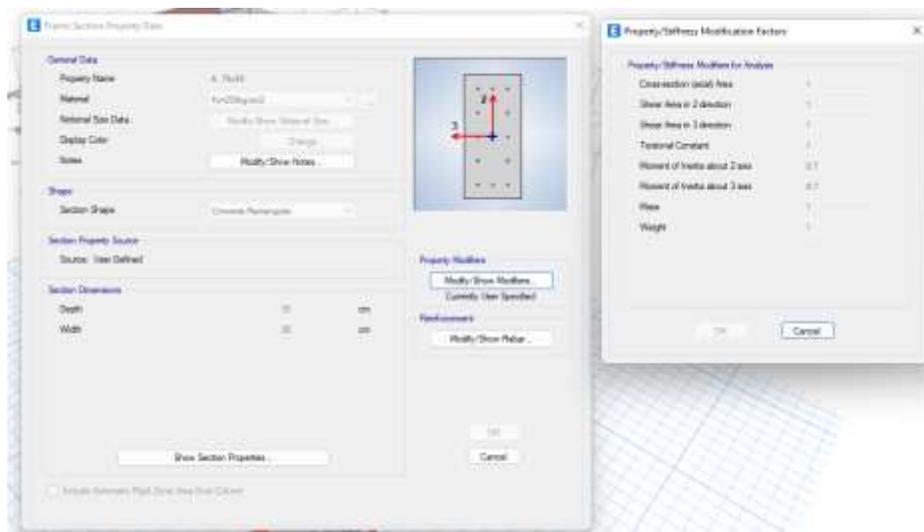


Figura 25 Factor de inercia reducido de columnas en el software ETABS.

4.5.2. COLUMNAS REFORZADAS

Como consideración particular y característica de este objeto de estudio, fue la aportación y trabajo en conjunto de los elementos de concreto con los perfiles de acero.

Derivado de la falta de continuidad de los elementos de acero de un piso a otro, por la conexión en capiteles y bases de columna con elementos de anclaje tan pequeños, así como los escasos elementos de unión transversales a la fuerza axial, no se puede considerar un trabajo del elemento como sección compuesta, debido a esto, la aportación del refuerzo de columnas ante esfuerzos de flexión y cortante se desprecia, teniendo como única aportación de refuerzo la consideración del aumento de la capacidad resistente de la columna ante cargas axiales.

Dicho lo siguiente se consideraron factores de amplificación a carga axial a las columnas reforzadas, relacionando los módulos de elasticidad del concreto con los perfiles de acero colocados, como se describe a continuación:

SECCIÓN TRANSFORMADA

Base	Peralte	Área bruta	Área refuerzo	Ar * n	Área compuesta	Factor Axial
cm	cm	cm ²	cm ²	cm ²	cm ²	
75.00	35.00	2,625.00	96.76	891.24	3,516.24	1.34
80.00	35.00	2,800.00	96.76	891.24	3,691.24	1.32
80.00	40.00	3,200.00	96.76	891.24	4,091.24	1.28
85.00	50.00	4,250.00	96.76	891.24	5,141.24	1.21
100.00	40.00	4,000.00	96.76	891.24	4,891.24	1.22

Ec=	221,359.44
Es=	2,038,901.92
n=	9.21

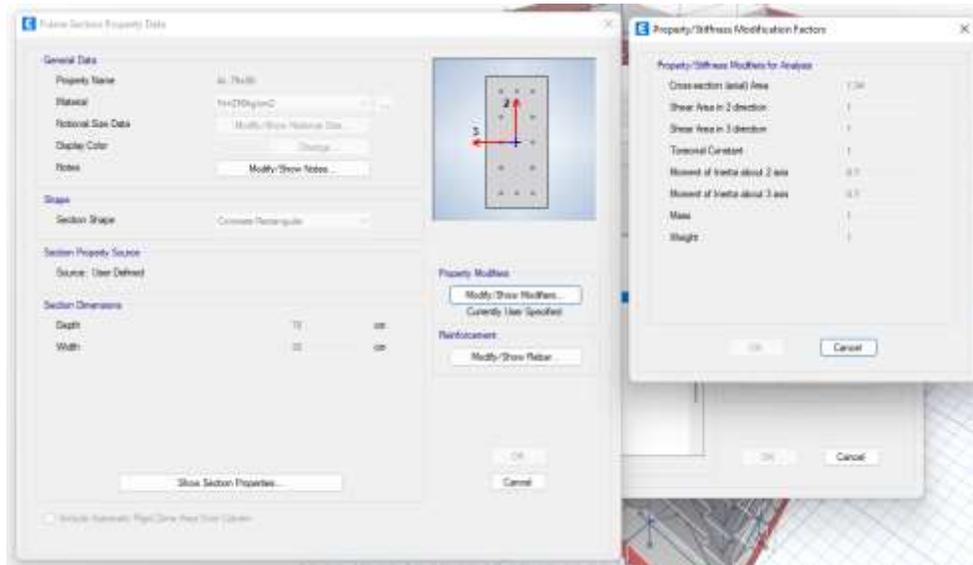


Figura 26 Factor de amplificación axial, en el software ETABS.

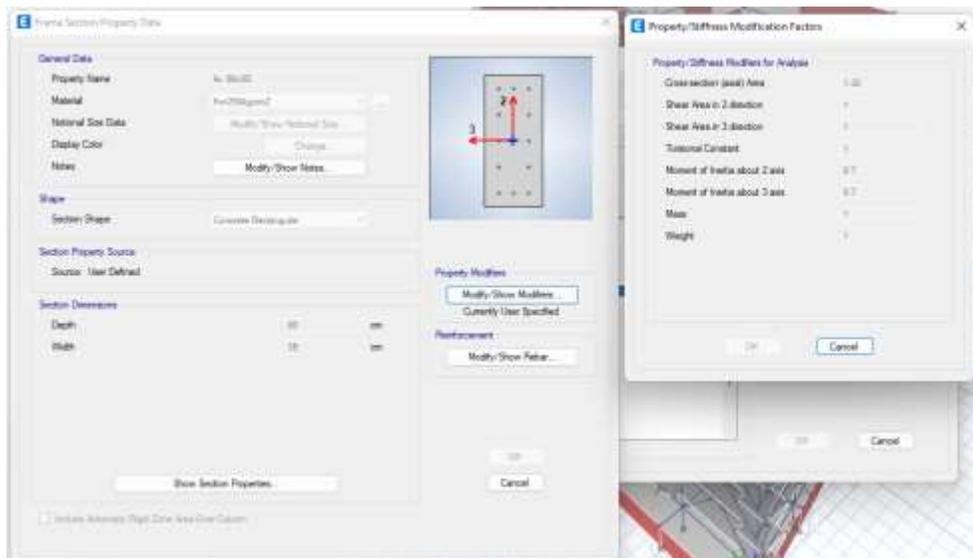


Figura 27 Factor de amplificación axial, en el software ETABS.

5. RESULTADOS DEL ANÁLISIS

5.1. PERÍODOS DE VIBRAR Y PARTICIPACIÓN DE MASAS

A continuación, se muestran los períodos de vibrar y la participación de masas de la estructura:

MODO	Período	UX	UY	UZ	RX	RY	RZ
	seg						
1	1.092	0.810	0.013	0.000	0.004	0.333	0.024
2	0.937	0.013	0.835	0.000	0.352	0.006	0.000
3	0.732	0.025	0.000	0.000	0.003	0.019	0.826
4	0.365	0.097	0.002	0.000	0.010	0.496	0.003
5	0.312	0.002	0.102	0.000	0.513	0.010	0.000
6	0.247	0.000	0.000	0.000	0.000	0.009	0.097
7	0.223	0.025	0.001	0.000	0.001	0.045	0.001
8	0.188	0.002	0.023	0.000	0.041	0.002	0.000
9	0.172	0.010	0.002	0.000	0.004	0.029	0.001
10	0.149	0.001	0.000	0.000	0.000	0.001	0.026
11	0.138	0.002	0.009	0.000	0.027	0.009	0.000
12	0.129	0.006	0.002	0.000	0.007	0.019	0.000
13	0.110	0.000	0.001	0.000	0.002	0.001	0.010
14	0.104	0.001	0.004	0.000	0.016	0.003	0.001
15	0.099	0.003	0.001	0.000	0.003	0.007	0.000
16	0.084	0.000	0.001	0.000	0.002	0.000	0.005
17	0.081	0.002	0.000	0.000	0.000	0.006	0.000
18	0.080	0.000	0.002	0.000	0.006	0.000	0.000
19	0.069	0.001	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000
20	0.066	0.000	0.001	0.000	0.002	0.001	0.002
21	0.064	0.000	0.001	0.000	0.003	0.000	0.001
22	0.062	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000
23	0.055	0.000	0.001	0.000	0.002	0.000	0.000
24	0.054	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001
25	0.049	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000
26	0.046	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001
27	0.041	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
28	0.018	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
29	0.017	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
30	0.015	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

A continuación, se muestra el primer modo de vibrar en el cual predomina el sentido traslacional en X, sin embargo, muestra una ligera rotación alrededor del eje Z:

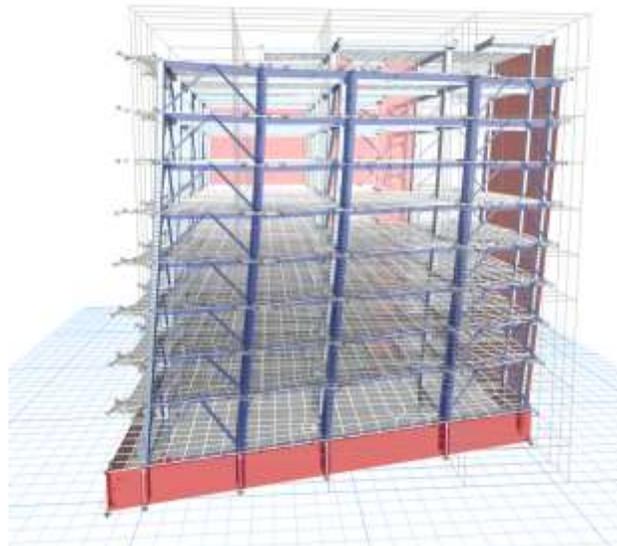


Figura 28 Primer modo de vibrar 1.092seg, vista 3D.

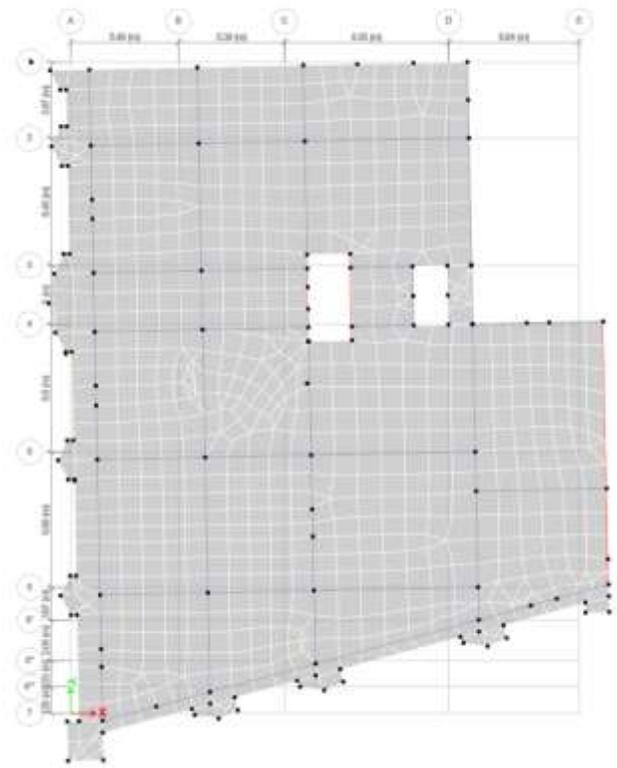


Figura 29 Primer modo de vibrar 1.092seg, vista en planta.

A continuación, se muestra el segundo modo de vibrar en donde se tiene un claro comportamiento en el sentido traslacional en Y:

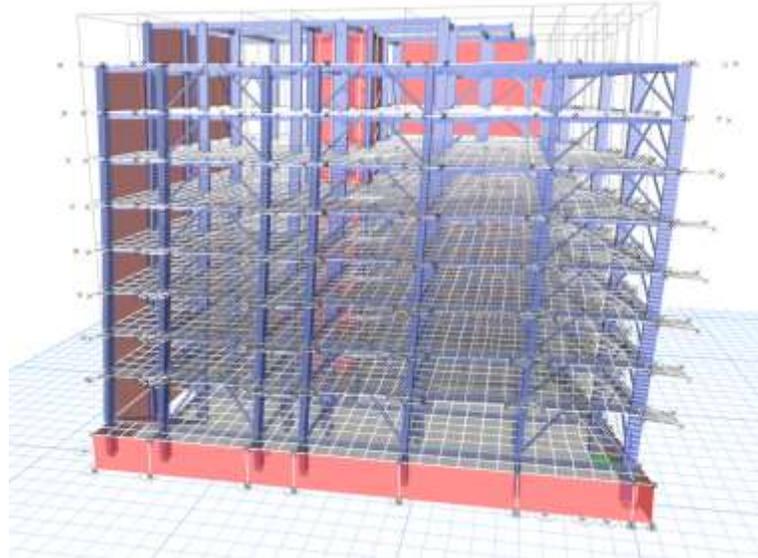


Figura 30 Segundo modo de vibrar 0.937seg, vista 3D.

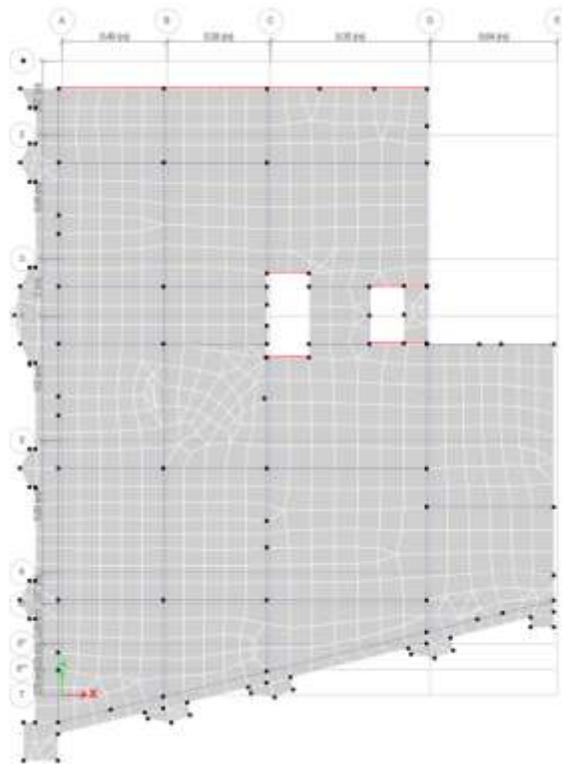


Figura 31 Segundo modo de vibrar 0.937seg, vista en planta.

A continuación, se muestra el tercer modo de vibrar en donde un predominante comportamiento rotacional:

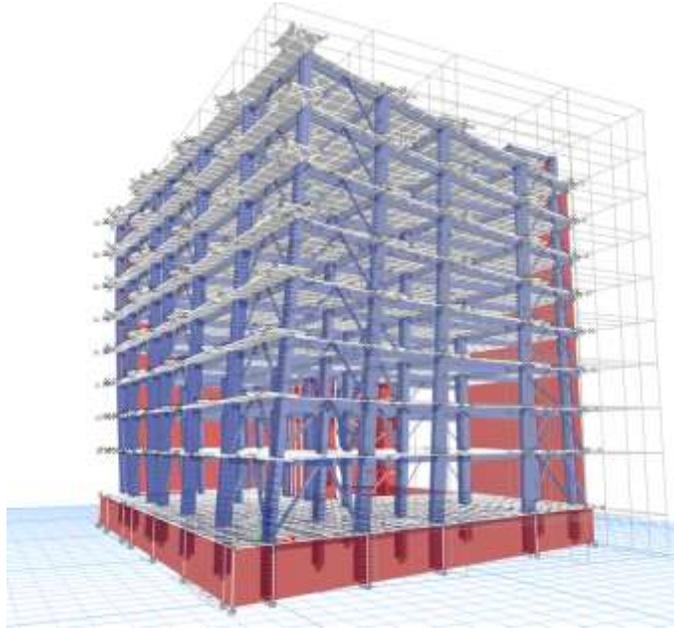


Figura 32 Tercer modo de vibrar 0.732seg, vista 3D.

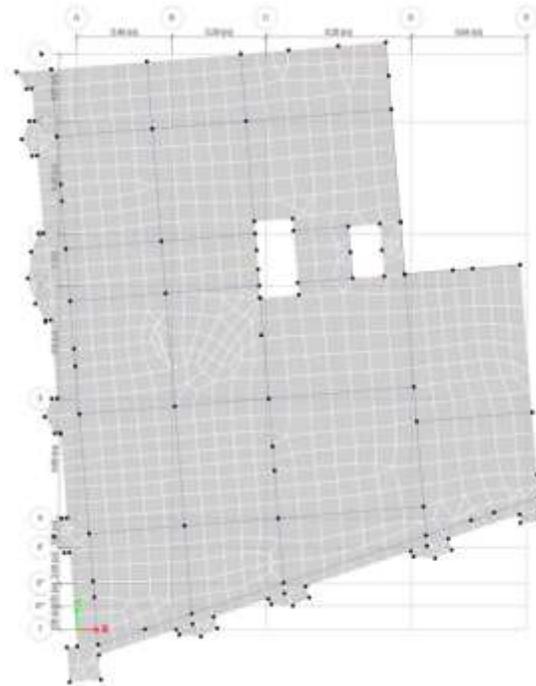


Figura 33 Tercer modo de vibrar 0.732seg, vista en planta.

Con base en el libro de “Diseño sísmico de Estructuras” (Bazán & Meli, 2021), para evitar problemas de resonancia, el período de vibrar fundamental de la estructura debe estar lo suficiente alejado del periodo del suelo, estando delimitado por el siguiente rango:

$$0.70 \leq T_e/T_s \leq 1.20$$

Con esto presente se muestra en la siguiente figura:

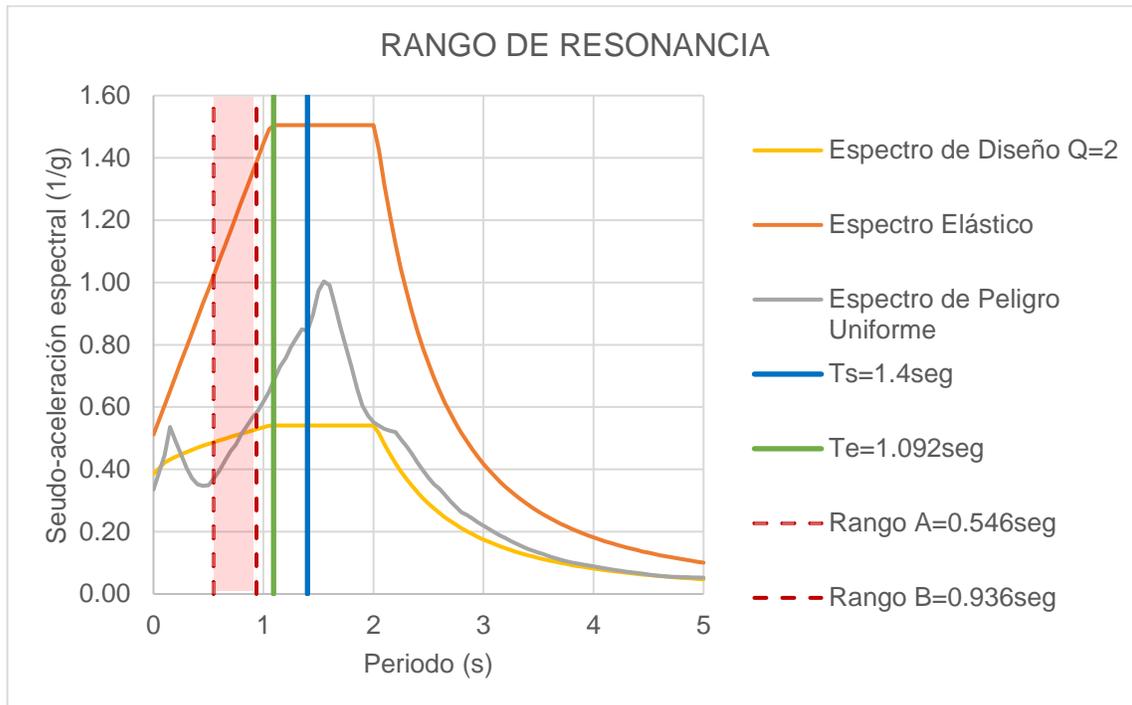


Figura 34 Rango de resonancia.

Podemos concluir que la estructura se encuentra fuera de resonancia.

5.2. ESTADO LÍMITE DE PREVENCIÓN DE COLAPSO

Con base en la Norma Técnica Complementaria para Diseño por Sismo 2017, se realizará la revisión del estado límite de prevención de colapso, en donde se tienen que evaluar las distorsiones obtenidas en el análisis y estas se tienen que multiplicar por el factor de comportamiento sísmico (Q) y por el factor de sobre resistencia (R), y que estos valores no excedan la distorsión máxima permisible para el tipo de estructuración y ductilidad que corresponde.

Para este caso de estudio el sistema estructural corresponde a un sistema dual formado por columnas, muros y contraventeos interconectados con losas planas, con una ductilidad baja, en donde la distorsión máxima es de 0.010.

Se tienen las siguientes constantes para la revisión de los estados límite:

CONSTANTES (X):

Ts= 1.4
Ta= 1.1
Tb= 2
k= 0.296
Tx= 1.092
Q= 2
R= 1.402
Q'= 2.825
Ks= 0.250
k1= 0.800
R0= 1.750
k2= 0.002
 β = 1.000
 λ = 0.450
 ζ = 0.050

CONSTANTES (Y):

Ts= 1.4
Ta= 1.1
Tb= 2
k= 0.296
Ty= 0.937
Q= 2
R= 1.439
Q'= 2.566
Ks= 0.250
k1= 0.800
R0= 1.750
k2= 0.039
 β = 1.000
 λ = 0.450
 ζ = 0.050

A continuación, se muestran las revisiones de distorsiones:

ESTADO LÍMITE DE PREVENCIÓN DE COLAPSO

SENTIDO X

NIVEL	DESPL. (cm)	DISTORSIÓN	Y*Q*R	DISTORSIÓN PERMISIBLE	CONDICIÓN
25.95	26.712	0.006037	0.0169	0.01	No Cumple
22.95	29.979	0.011023	0.0309	0.01	No Cumple
20.2	28.112	0.012862	0.0361	0.01	No Cumple
17.45	25.547	0.014471	0.0406	0.01	No Cumple
14.7	22.313	0.015615	0.0438	0.01	No Cumple
11.95	18.523	0.016297	0.0457	0.01	No Cumple
9.2	14.298	0.016057	0.0450	0.01	No Cumple
6.45	9.92	0.015337	0.0430	0.01	No Cumple
3.7	5.704	0.014885	0.0417	0.01	No Cumple
0	0.148	0	0.0000	0.01	Cumple

SENTIDO Y

NIVEL	DESPL. (cm)	DISTORSIÓN	Y*Q*R	DISTORSIÓN PERMISIBLE	CONDICIÓN
25.95	17.844	0.003764	0.0108	0.01	No Cumple
22.95	16.74	0.00583	0.0168	0.01	No Cumple
20.2	15.559	0.006577	0.0189	0.01	No Cumple
17.45	14.189	0.007471	0.0215	0.01	No Cumple
14.7	12.459	0.008182	0.0235	0.01	No Cumple
11.95	10.417	0.008663	0.0249	0.01	No Cumple
9.2	8.13	0.008779	0.0253	0.01	No Cumple
6.45	5.732	0.008681	0.0250	0.01	No Cumple
3.7	3.339	0.008798	0.0253	0.01	No Cumple
0	0.095	0	0.0000	0.01	Cumple

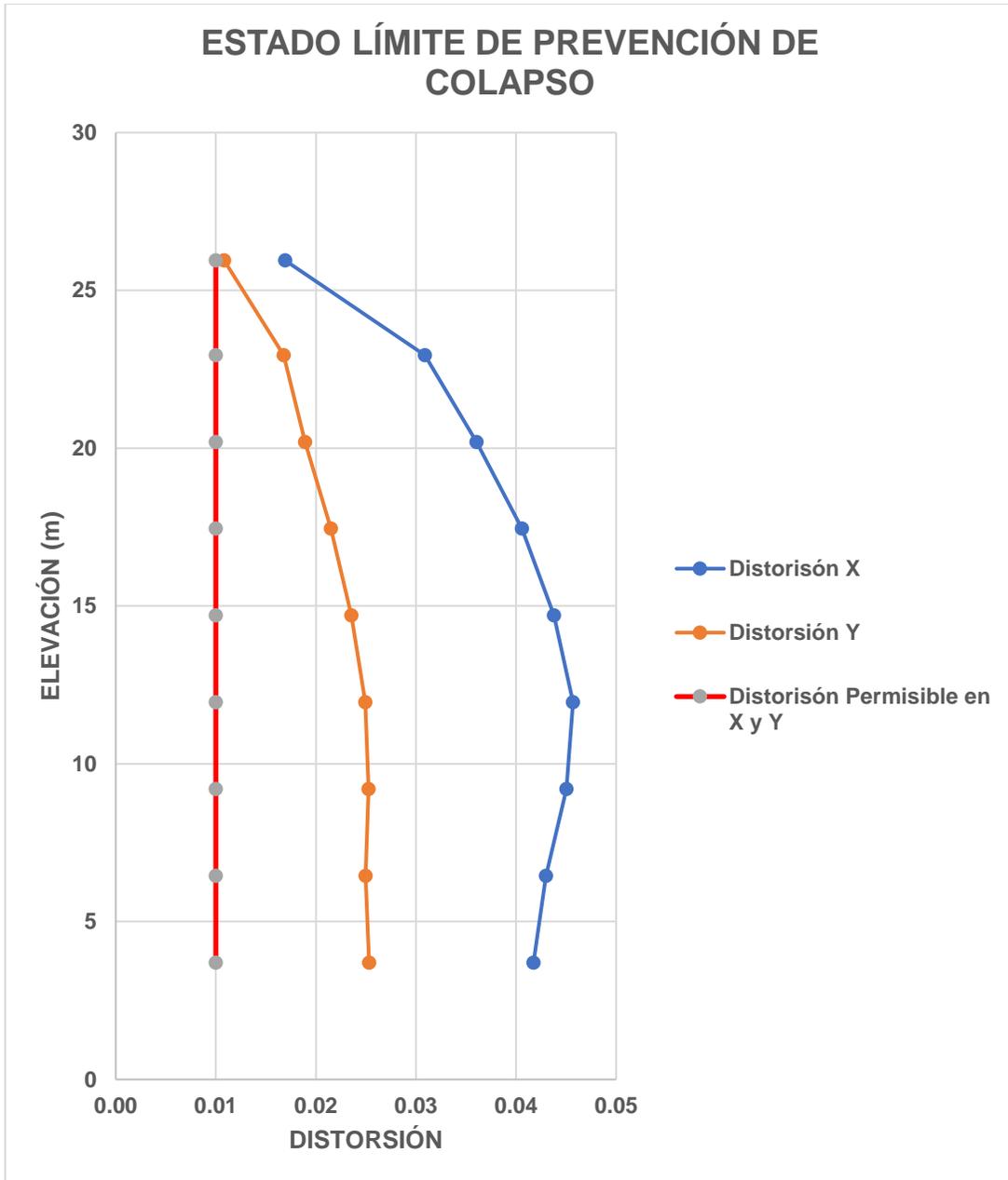


Figura 35 Grafica de Estado Límite de Prevención de Colapso

Tal como vemos las distorsiones de entrepiso mostradas en esta revisión sobrepasan por mucho el estado límite de prevención de colapso.

5.3. ESTADO LÍMITE DE LIMITACIÓN DE DAÑOS DE SISMOS FRECUENTES

Para el caso de la revisión de cumplimiento del estado límite de limitación de daños de sismos frecuentes, la distorsión calculada deberá multiplicarse por el factor de comportamiento sísmico reducido (Q'), el factor de sobre resistencia (R), y el factor (K_s).

Para este caso se tendrá que verificar contra la distorsión permisible la cual es 0.004

A continuación, se muestran las revisiones de distorsiones:

ESTADO LÍMITE DE PREVENCIÓN DE COLAPSO SENTIDO X

NIVEL	DESPL. (cm)	DISTORSIÓN	$Y*Q*R$	DISTORSIÓN PERMISIBLE	CONDICIÓN
25.95	26.712	0.006037	0.0060	0.004	No Cumple
22.95	29.979	0.011023	0.0109	0.004	No Cumple
20.2	28.112	0.012862	0.0127	0.004	No Cumple
17.45	25.547	0.014471	0.0143	0.004	No Cumple
14.7	22.313	0.015615	0.0155	0.004	No Cumple
11.95	18.523	0.016297	0.0161	0.004	No Cumple
9.2	14.298	0.016057	0.0159	0.004	No Cumple
6.45	9.92	0.015337	0.0152	0.004	No Cumple
3.7	5.704	0.014885	0.0147	0.004	No Cumple
0	0.148	0	0.0000	0.004	Cumple

SENTIDO Y

NIVEL	DESPL. (cm)	DISTORSIÓN	$Y*Q*R$	DISTORSIÓN PERMISIBLE	CONDICIÓN
25.95	17.844	0.003764	0.0035	0.004	Cumple
22.95	16.74	0.00583	0.0054	0.004	No Cumple
20.2	15.559	0.006577	0.0061	0.004	No Cumple
17.45	14.189	0.007471	0.0069	0.004	No Cumple
14.7	12.459	0.008182	0.0075	0.004	No Cumple
11.95	10.417	0.008663	0.0080	0.004	No Cumple
9.2	8.13	0.008779	0.0081	0.004	No Cumple
6.45	5.732	0.008681	0.0080	0.004	No Cumple
3.7	3.339	0.008798	0.0081	0.004	No Cumple
0	0.095	0	0.0000	0.004	Cumple

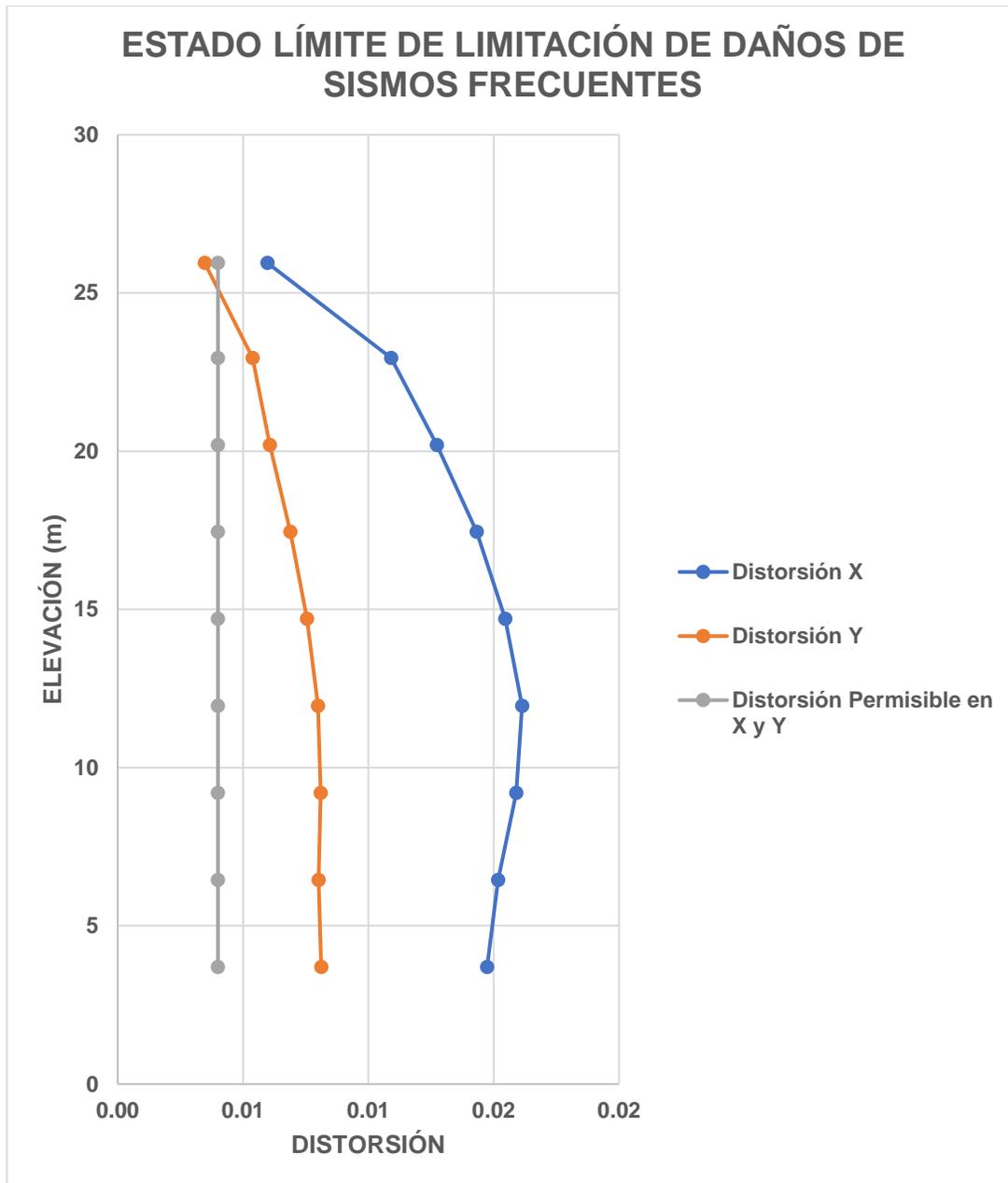


Figura 36 Grafica de Estado Límite de Limitación de Daños de Sismos Frecuentes

Tal como vemos las distorsiones de entrepiso mostradas en esta revisión sobrepasan por mucho el estado límite de limitación de daños de sismos frecuentes.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Desde la concepción estructural original, la edificación presentaba fuertes problemas de torsión y distorsiones de entrepiso; la intervención de refuerzo estructural en 2019 sin duda llevó la edificación a cumplir las condiciones de seguridad, sin embargo, la falta de garantías para considerar un comportamiento de sección compuesta, mermó principalmente la rigidez lateral de la estructura, estando lejos de cumplir los estados límite.

Sin embargo, el problema principal de la edificación estriba en el hecho del cambio de clasificación de la estructura debido al uso, lo que causó pasar del grupo B2 al grupo A1, en donde las demandas sísmicas incrementaron considerablemente, sobrepasando hasta 4.5 veces más los límites permisibles.

Sin duda urge, una intervención en la edificación para garantizar los niveles de seguridad establecidos en el Reglamento de Construcciones y sus Normas Técnicas Complementarias del 2017, para lo cual se proponen las siguientes soluciones:

1. Garantizar la continuidad en columnas reforzadas. Para ello se propone la adición de placas en capiteles y bases de columnas, y colocar pernos presforzados que penetren completamente la losa y una las placas de capiteles con las placas de base de columnas.
2. En conexiones de contraventeos con columnas, adicionar placas en todo el perímetro de la conexión, no solamente en extremo de contraventeo.
3. Pernos de dimensiones menores a los establecidos en el proyecto de refuerzo estructural, pernos que se encuentren colocados con algún ángulo, o pernos que no tengan un nivel de fijación adecuado, se tendrán que retirar, y colocarlos de dimensiones establecidas, colocando un relleno con epóxico de anclaje de alta resistencia y garantizando verticalidad y horizontalidad de los mismos elementos.

Adicional a estas recomendaciones y como objeto de estudio adicional a esta tesina, se realizaron varias propuestas estructurales añadiendo distintos elementos estructurales que aporten rigidez lateral a la estructural, como distintos arreglos de contraventeos, colocación de muros de cortante en distintas ubicaciones, cuidando en cada propuesta que el uso arquitectónico no se modifique y busque ser lo menos invasivo posible, asimismo, garantizando cumplir cada uno de los puntos antes descritos en el desarrollo del presente trabajo, se tiene la siguiente propuesta de refuerzo estructural:

- Adición de muros diafragma de concreto de 20cm de alta resistencia con un $f'c= 560 \text{ kg/cm}^2$, sobre los ejes: 2 A-B, 3 A-B, 4 D'-E, 5 A-B, 6 A-B y D 3-4, en todos los niveles, garantizando la conexión con sistema de piso existente.

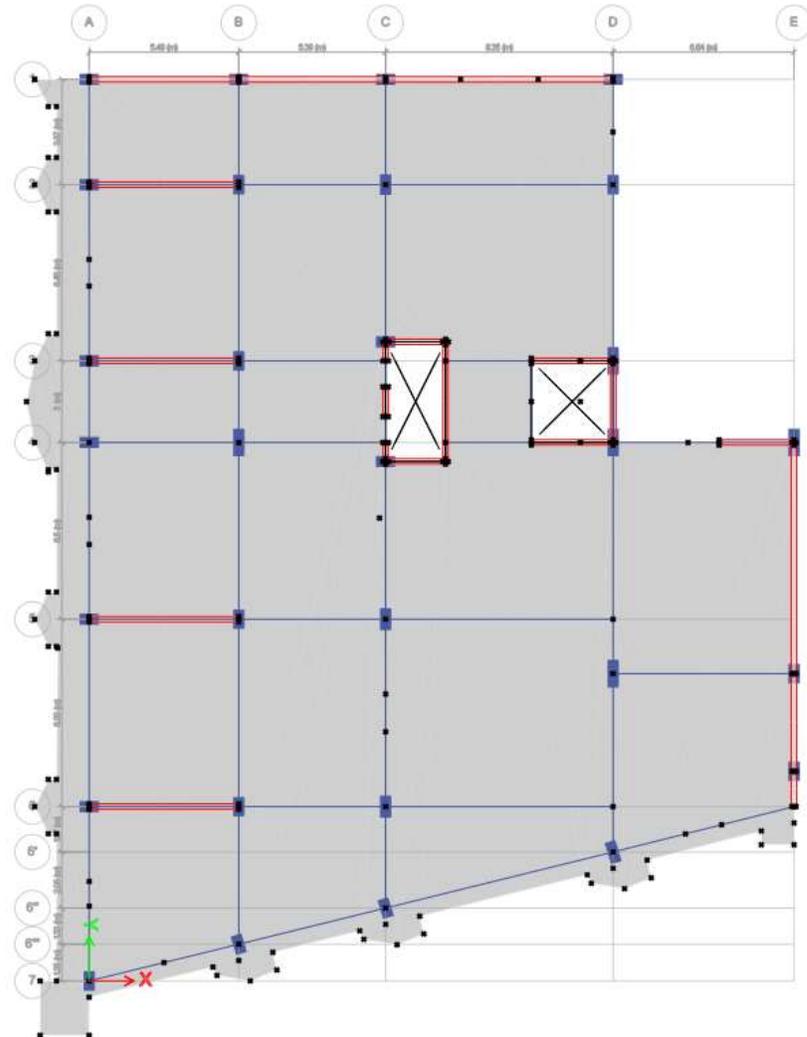


Figura 37 Propuesta de refuerzo estructural.

Como recomendación final, quedando fuera de los alcances del presente trabajo, se recomienda la realización de un estudio de mecánica de suelos, y una evaluación de la capacidad de carga del terreno y la cimentación, de modo que la redistribución de reacciones en la cimentación sea acorde con lo existente, y en su defecto tener la propuesta de una recimentación.

7. REFERENCIAS

- Aplicación Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo de la Ciudad de México (NTCDS-CDMX). (18 de Noviembre de 2021). *Sistema de Acciones Sísmicas de Diseño*. Obtenido de SASID: <https://sasid.unam.mx/webNormasCDMX/>
- Bazán, E., & Meli, R. (2021). *Diseño Sísmico de Estructuras*. México: LIMUSA.
- Computers and Structures, Inc. (CSI). (2019). ETABS. México, México, México.
- Gaceta Oficial de la Ciudad de México . (19 de Octubre de 2020). Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería con Comentarios. Ciudad de México, México, México.
- Gaceta Oficial de la Ciudad de México. (15 de Diciembre de 2017). Norma Técnica Complementaria sobre Criterios y Acciones para Diseño Estructural de Edificaciones. Ciudad de México, Ciudad de México, México.
- Gaceta Oficial de la Ciudad de México. (15 de Diciembre de 2017). NORMAS TÉCNICAS COMPLEMENTARIAS PARA DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE CIMENTACIONES. Ciudad de México, Ciudad de México, México.
- Gaceta Oficial de la Ciudad de México. (09 de Junio de 2020). Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo con Comentarios. Ciudad de México, México, México.
- Gaceta Oficial de la Ciudad de México. (30 de Abril de 2020). Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Acero con Comentarios. Ciudad de México, México, México.
- Gaceta Oficial de la Ciudad de México. (20 de 07 de 2021). Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto con Comentarios. Ciudad de México, México, México.
- Gaceta Oficial del Distrito Federal. (15 de Diciembre de 2017). REGLAMENTO DE CONSTRUCCIONES PARA EL DISTRITO FEDERAL. Ciudad de México, Ciudad de México, México.
- Reglamento de Construcciones del Distrito Federal. (enero de 2017). *Reglamento*. distrito federal, df, mexico: DOF.

8. BIBLIOGRAFÍA

- Aplicación Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo de la Ciudad de México (NTCDS-CDMX). (18 de Noviembre de 2021). *Sistema de Acciones Sísmicas de Diseño*. Obtenido de SASID: <https://saside.unam.mx/webNormasCDMX/>
- Bazán, E., & Meli, R. (2021). *Diseño Sísmico de Estructuras*. México: LIMUSA.
- Comisión Federal de Electricidad. (2015). *Manual de Diseño de Obras Civiles*. México: Comisión Federal de Electricidad.
- Computers and Structures, Inc. (CSI). (2019). ETABS. México, México, México.
- Gaceta Oficial de la Ciudad de México . (19 de Octubre de 2020). Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería con Comentarios. Ciudad de México, México, México.
- Gaceta Oficial de la Ciudad de México. (15 de Diciembre de 2017). Norma Técnica Complementaria sobre Criterios y Acciones para Diseño Estructural de Edificaciones. Ciudad de México, Ciudad de México, México.
- Gaceta Oficial de la Ciudad de México. (15 de Diciembre de 2017). NORMAS TÉCNICAS COMPLEMENTARIAS PARA DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE CIMENTACIONES. Ciudad de México, Ciudad de México, México.
- Gaceta Oficial de la Ciudad de México. (09 de Junio de 2020). Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo con Comentarios. Ciudad de México, México, México.
- Gaceta Oficial de la Ciudad de México. (30 de Abril de 2020). Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Acero con Comentarios. Ciudad de México, México, México.
- Gaceta Oficial de la Ciudad de México. (20 de 07 de 2021). Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto con Comentarios. Ciudad de México, México, México.
- Gaceta Oficial del Distrito Federal. (15 de Diciembre de 2017). REGLAMENTO DE CONSTRUCCIONES PARA EL DISTRITO FEDERAL. Ciudad de México, Ciudad de México, México.
- García, O. (1992). *Tesis Comportamiento Sísmico de Modelos de Edificios en Torsión*. México: UNAM.
- Reglamento de Construcciones del Distrito Federal. (enero de 2017). *Reglamento*. distrito federal, df, mexico: DOF.