



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**REHABILITACIÓN ESTRUCTURAL DE
PLANTELES ESCOLARES PÚBLICOS DE
NIVEL BÁSICO COMO PARTE DEL
CUMPLIMIENTO DE LA NORMATIVIDAD
VIGENTE**

INFORME DE ACTIVIDADES PROFESIONALES

Que para obtener el título de

Ingeniero Civil

P R E S E N T A

José Pablo Briseño Suárez

ASESOR DE INFORME

M.I. Julio César Manzano Ortiz



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2025



**PROTESTA UNIVERSITARIA DE INTEGRIDAD Y
HONESTIDAD ACADÉMICA Y PROFESIONAL
(Titulación con trabajo escrito)**



De conformidad con lo dispuesto en los artículos 87, fracción V, del Estatuto General, 68, primer párrafo, del Reglamento General de Estudios Universitarios y 26, fracción I, y 35 del Reglamento General de Exámenes, me comprometo en todo tiempo a honrar a la institución y a cumplir con los principios establecidos en el Código de Ética de la Universidad Nacional Autónoma de México, especialmente con los de integridad y honestidad académica.

De acuerdo con lo anterior, manifiesto que el trabajo escrito titulado REHABILITACION ESTRUCTURAL DE PLANTELES ESCOLARES PUBLICOS DE NIVEL BASICO COMO PARTE DEL CUMPLIMIENTO DE LA NORMATIVIDAD VIGENTE que presenté para obtener el título de INGENIERO CIVIL es original, de mi autoría y lo realicé con el rigor metodológico exigido por mi Entidad Académica, citando las fuentes de ideas, textos, imágenes, gráficos u otro tipo de obras empleadas para su desarrollo.

En consecuencia, acepto que la falta de cumplimiento de las disposiciones reglamentarias y normativas de la Universidad, en particular las ya referidas en el Código de Ética, llevará a la nulidad de los actos de carácter académico administrativo del proceso de titulación.



JOSE PABLO BRISEÑO SUAREZ
Número de cuenta: 314634416

INTRODUCCIÓN	3
OBJETIVO Y ALCANCES	3
I. ANTECEDENTES: SITUACIÓN ACTUAL	4
II. MARCO TEÓRICO Y LEGAL	8
i. Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal (RCDF)	8
ii. Normas Técnicas Complementarias (NTC) en su versión 2004 y 2017 (Comparación) ...	9
III. METODOLOGÍA EMPLEADA	12
i. Inspección en Sitio, pruebas de campo y pruebas de laboratorio	12
ii. Descripción del Inmueble	17
a. Sistema constructivo	17
b. Descripción arquitectónica:	17
c. Planos Arquitectónicos y/o estructurales.....	17
iii. Análisis Estructural	17
a. Criterios de análisis	17
b. Acciones.....	21
c. Propiedades mecánicas de los materiales	22
d. Espectro de diseño	24
e. Combinaciones de carga.....	28
iv. Resultados del Análisis	30
a. Estado Límite de Servicio: Estado Límite de Seguridad Contra Colapso y Limitación de Daños ante Sismos Frecuentes.....	31
b. Estado Límite de Falla: Análisis de Columnas, Trabes, Losas y Muros Confinados....	33
v. Conclusiones: Estado de riesgo estructural y estado de habitabilidad del inmueble.....	39
IV. RESULTADOS	40
V. CONCLUSIONES.....	42
BIBLIOGRAFÍA/REFERENCIAS	43
ANEXOS	45

INTRODUCCIÓN

El 19 de septiembre de 2017 se registró un sismo de magnitud 7.1 en la escala de Richter con epicentro en los límites de los estados de Puebla y Morelos; dicho sismo provocó grandes daños en edificaciones de la zona epicentral y zonas adyacentes, incluida la Ciudad de México. De acuerdo con el Artículo 8 de la Declaratoria de Emergencia publicada el 20 de septiembre del 2017, se llevó a cabo de manera inicial una revisión y evaluación postsísmica de los inmuebles con destino educativo de nivel inicial básico y normal en la Ciudad de México.

Dichos inmuebles de acuerdo con el Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal en el Artículo 139 son considerados como "Construcciones para las que se requiere mantener mayores niveles de seguridad" y, al igual que el Artículo 8 previamente mencionando, según el artículo 71 "La renovación Constancia de Seguridad Estructural emitida por un CSE (Corresponsable en Seguridad Estructural) deberá realizarse de manera quinquenal o después de un sismo que rebase los $90 \frac{cm}{s^2}$ de aceleración...".

OBJETIVO Y ALCANCES

Evaluar la seguridad estructural de 80 planteles (más de 200 cuerpos) de nivel básico y normal en la Ciudad de México que fueron afectados por el sismo del 20 de septiembre de 2017, mediante la inspección en sitio, pruebas en campo, pruebas de laboratorio y un modelo de análisis matemático para el análisis del comportamiento estructural conforme a los parámetros establecidos en el Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal (RCDF) y sus Normas Técnicas Complementarias (NTC) en su versión 2017, determinando con ello su nivel de riesgo estructural y habitabilidad y concluyendo con observaciones, recomendaciones y, según sea el caso, un proyecto de rehabilitación emitidos por una persona física auxiliar de la Administración del Gobierno de la Ciudad de México (Director Responsable de Obra o Corresponsable en Seguridad Estructural) de conformidad con lo establecido en los Artículos 32 y 36 del RCDF.

I. ANTECEDENTES: SITUACIÓN ACTUAL

México y la Ciudad de México

Como podemos observar en la Imagen 1 México se encuentra ubicado en el contexto de 5 placas tectónicas: Caribe, Pacífico, Norteamérica, Rivera y Cocos. Estas últimas dos placas se encuentran en subducción debajo de la placa de Norteamérica. La placa Rivera se sumerge bajo Jalisco y Colima, mientras que Cocos lo hace debajo de Michoacán, Guerrero, Oaxaca y Chiapas. Al sur de Chiapas y en Centroamérica, Cocos continúa, pero ahora subduciendo debajo de la placa de Caribe.

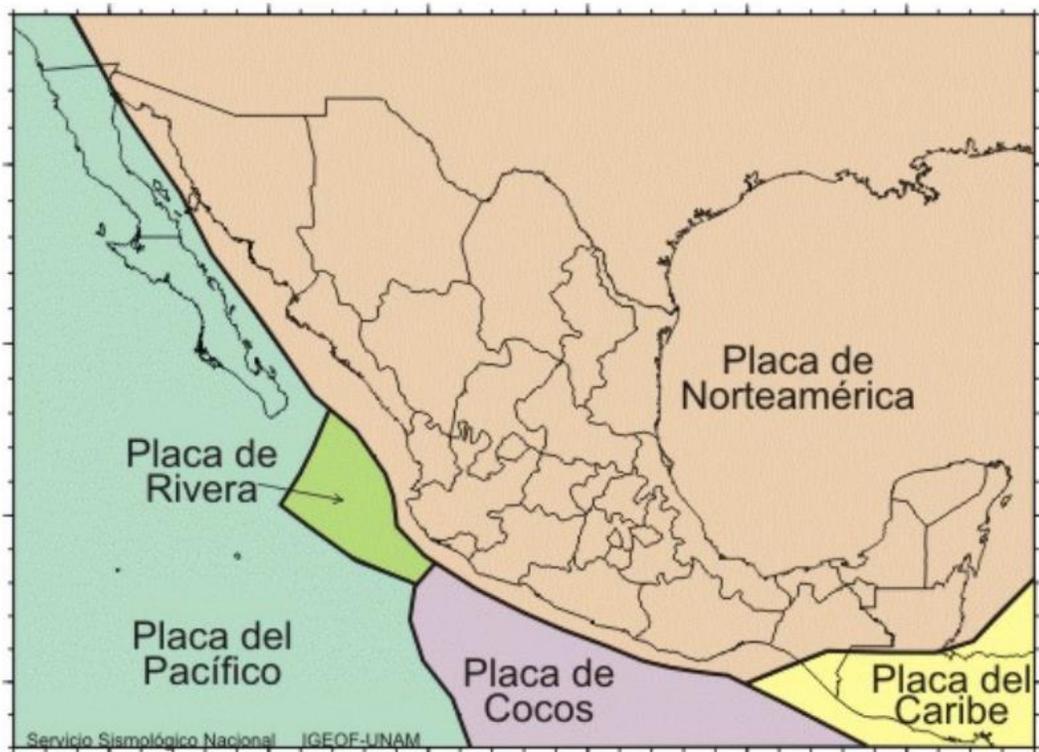


Imagen 1 Placas Tectónicas de México [Fuente: Servicio Sismológico Nacional]

La Ciudad de México se ubica en la parte central del territorio mexicano, en la denominada "Cuenca del Valle de México". Debido a las características particulares de la Cuenca (rodeada de sierras y volcanes, y con cinco lagos en su interior) a lo largo del tiempo se han presentado fenómenos naturales, que afectaron el desarrollo de las poblaciones, como erupciones volcánicas, inundaciones y terremotos.

Zonificación Sísmica de la CDMX

La zonificación sísmica consiste en la cuantificación y despliegue espacial de parámetros de interés en la predicción de la respuesta sísmica; así se puede zonificar con mapas de periodo dominante, o de amplificación relativa a un cierto periodo. Si la escala de interés es de cientos de metros suele hablarse de microzonificación, e incluso de nano-zonificación para decenas de metros. Esta información puede ser útil para estimar la influencia que pueden tener las condiciones locales en el movimiento del suelo durante un sismo.

Para fines de las Normas Técnicas Complementarias de Diseño por Sismo (GDF, 2004), la Ciudad de México se divide en tres zonas, al igual que la zonificación geotécnica: Lomas (Zona I), formadas por rocas o suelos generalmente firmes; Transición (Zona II), en la que los depósitos profundos se encuentran a 20 m de profundidad o menos; y Lago (Zona III), integrada por potentes sedimentos de arcilla altamente compresibles. Se considera que la división entre la Zona I y Zona II es la curva de 0.5 s de periodo de vibración del suelo, mientras que la curva de 1.0 s, divide la Zona II de la Zona III. Además, la Zona III se divide en cuatro subzonas: IIIa, IIIb, IIIc y IIId (Figura 2.6). Dichas zonas se pueden apreciar en la Imagen 2 que se presenta a continuación.

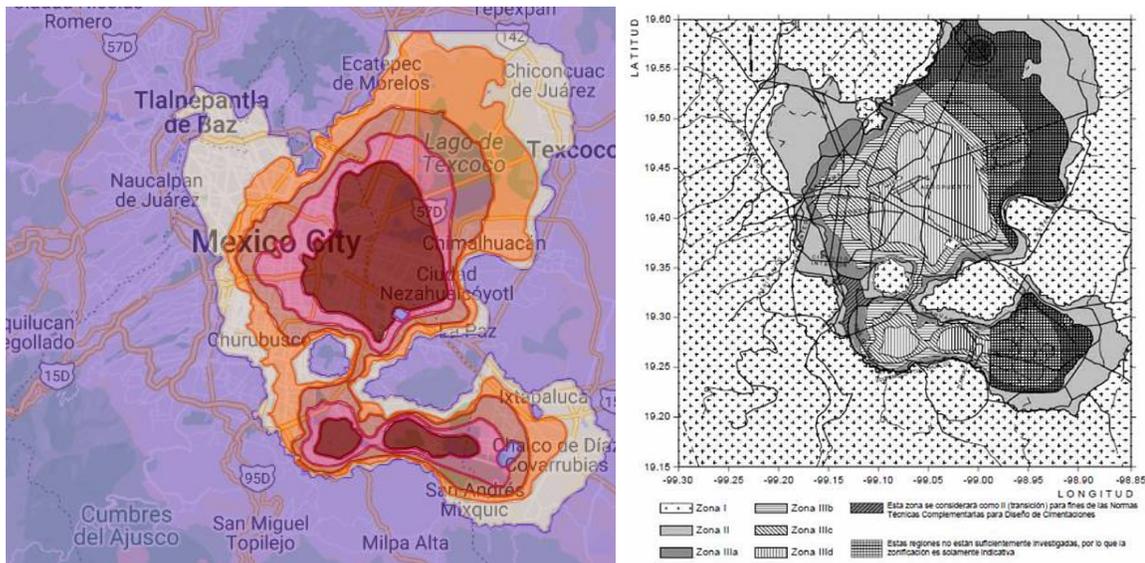


Imagen 2 Zonificación de la Ciudad de México [Fuente: DAMPO]

CDMX: 19 de septiembre del 2017

El 19 de septiembre de 2017, la Ciudad de México (CDMX) fue sacudida por un devastador terremoto de magnitud 7.1 en la escala de Richter. Este sismo ocurrió exactamente 32 años después del gran terremoto de 1985, lo que aumentó el impacto emocional en la población.



Fotografía 1 Colapsos Ocurridos después del Sismo [Fuente: Forbes México]

El epicentro del terremoto fue en el límite entre los estados de Puebla y Morelos, pero el temblor se sintió con gran intensidad en la Ciudad de México. El sismo causó el colapso de numerosos edificios, tanto residenciales como comerciales, así como el derrumbe de escuelas, hospitales y oficinas. Aproximadamente 370 personas perdieron la vida en todo el país, la mayoría en la CDMX, Morelos y Puebla, y miles resultaron heridas.

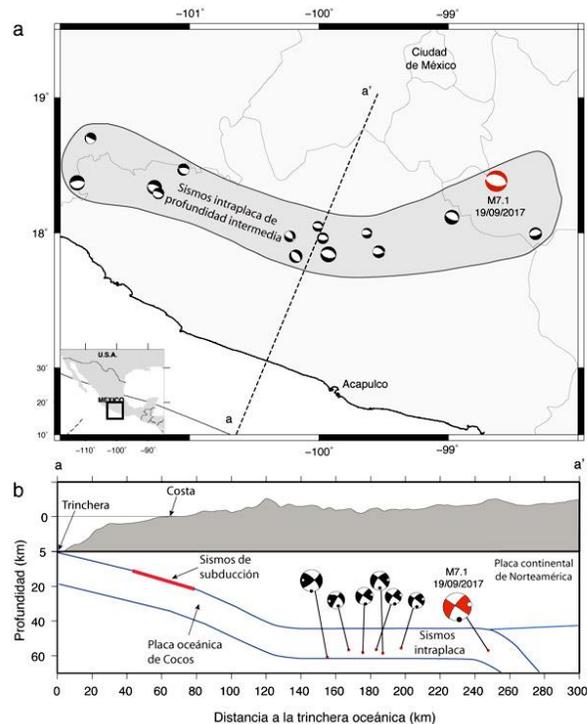
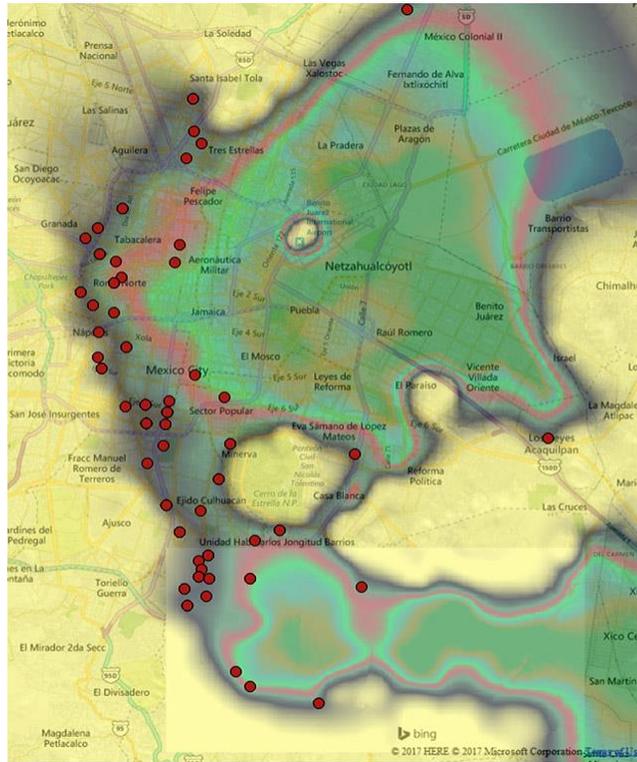


Ilustración 1 Localización del Sismo de Magnitud 7.1 del 19 de septiembre de 2017 (color rojo) y algunos otros del mismo tipo en la región [Fuente: Ciencia UNAM]

Además, este desastre provocó una enorme movilización ciudadana para rescatar personas atrapadas entre los escombros. Miles de voluntarios se unieron a los esfuerzos de rescate y apoyo, mientras que brigadas especializadas, tanto nacionales como internacionales, también acudieron para asistir en las labores.



*Ilustración 2 Localización de Daños graves y colapsos.
[Fuente: ERN Ingeniero Consultores]*

El terremoto del 19 de septiembre de 2017 en la Ciudad de México causó daños en más de 5,000 edificios. De estos, aproximadamente 40 colapsaron completamente. Entre los edificios más afectados se encontraban tanto estructuras residenciales como comerciales, además de escuelas y hospitales.

El nivel de daño varió considerablemente, desde daños menores como grietas en paredes, hasta colapsos totales. En particular, las zonas más afectadas fueron las delegaciones de Cuauhtémoc, Benito Juárez, Tlalpan y Coyoacán. Los edificios más vulnerables fueron aquellos construidos antes de la implementación de normativas más estrictas de construcción, las cuales se reforzaron después del sismo de 1985.

Además de los daños a los edificios, también se afectaron infraestructuras clave como puentes, carreteras y sistemas de agua y electricidad, lo que complicó aún más las labores de rescate y recuperación en los días posteriores al sismo.

El terremoto del 19 de septiembre de 2017 dejó profundas marcas en la Ciudad de México, no solo por las pérdidas humanas y materiales, sino también por la solidaridad y resiliencia que mostró la sociedad en su respuesta a la tragedia.

II. MARCO TEÓRICO Y LEGAL

i. Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal (RCDF)

El Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal (RCDF) es un conjunto de normas y disposiciones técnicas que regulan la planeación, diseño, construcción, uso y mantenimiento de edificaciones en la Ciudad de México (anteriormente conocida como Distrito Federal). Su objetivo principal es garantizar la seguridad, estabilidad, funcionalidad y sustentabilidad de las construcciones, así como promover el desarrollo ordenado de la ciudad.

Algunos de los temas más importantes que abarca el reglamento son:

1. Normas de seguridad estructural: Establece los criterios y parámetros para el diseño estructural de edificios, con especial énfasis en la resistencia a sismos debido a la alta actividad sísmica en la Ciudad de México.
2. Zonificación y uso del suelo: Regula la densidad de construcción permitida, la altura máxima de los edificios, y las áreas que pueden destinarse a diferentes tipos de uso (habitacional, comercial, industrial, etc.).
3. Licencias y permisos: Establece los procedimientos para obtener licencias de construcción, permisos de demolición, autorizaciones de habitabilidad, entre otros.
4. Instalaciones: Define los estándares mínimos para instalaciones eléctricas, hidráulicas, sanitarias, y de gas, asegurando que las construcciones sean funcionales y seguras en su uso cotidiano.
5. Accesibilidad: Incluye disposiciones para garantizar que las edificaciones sean accesibles para personas con discapacidades, con normas sobre rampas, pasillos y servicios sanitarios adecuados.
6. Mantenimiento y conservación: Establece las obligaciones de los propietarios respecto al mantenimiento de los edificios para garantizar su seguridad a largo plazo.



Imagen 3 Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal [Fuente: RCDF 2004]

ii. Normas Técnicas Complementarias (NTC) en su versión 2004 y 2017 (Comparación)

Las Normas Técnicas Complementarias (NTC) son un conjunto de disposiciones que complementan el Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal (RCDF), actualmente aplicable a la Ciudad de México. Estas normas contienen los criterios y especificaciones técnicas detalladas que deben seguirse en la planeación, diseño, construcción y evaluación de obras. Se enfocan especialmente en aspectos estructurales y en garantizar la seguridad y estabilidad de las edificaciones, con especial atención a los riesgos asociados con la actividad sísmica en la región.

Algunas de las principales Normas Técnicas Complementarias incluyen:

1. NTC para Diseño por Sismo: Estas normas son fundamentales en la Ciudad de México debido a su alta sismicidad. Establecen los requisitos y procedimientos para diseñar estructuras que puedan resistir los efectos de los terremotos. Se especifican los niveles de resistencia sísmica necesarios según el tipo de construcción y la zona geotécnica.
2. NTC para Cimentaciones: Detallan los criterios para el diseño y construcción de cimentaciones, tomando en cuenta las características del suelo de la Ciudad de México, especialmente la complejidad del subsuelo en el Valle de México, que tiene una naturaleza arcillosa y de alta compresibilidad en muchas áreas.
3. NTC para Estructuras de Concreto: Proporcionan los lineamientos técnicos para el diseño y construcción de estructuras de concreto armado y presforzado, asegurando que cumplan con los estándares de seguridad y durabilidad.
4. NTC para Estructuras de Mampostería: Estas normas se refieren a la construcción de muros y otras estructuras de mampostería, como ladrillos, bloques y otros materiales similares, asegurando que sean seguras y adecuadas para el tipo de edificio y las cargas que soportarán.
5. NTC para Estructuras de Acero: Regulan el diseño y construcción de edificios y estructuras hechas con acero, especificando los requisitos mínimos de resistencia y estabilidad para garantizar la seguridad estructural.
6. NTC para Vientos: Establecen los parámetros que deben considerarse en el diseño de estructuras para resistir las cargas generadas por los vientos, lo que es particularmente relevante en estructuras altas y livianas.
7. NTC para Instalaciones Eléctricas y Mecánicas: Estas normas abarcan los requisitos técnicos que deben cumplir las instalaciones eléctricas, sistemas de aire acondicionado, ventilación y otros sistemas mecánicos para garantizar su operación segura y eficiente.
8. NTC para Seguridad Estructural de Edificaciones Existentes: Proporcionan los lineamientos para evaluar la seguridad estructural de edificios ya construidos y, en su caso, las medidas necesarias para reforzarlos o rehabilitarlos.

Estas normas son de carácter obligatorio y complementan al RCDF, ofreciendo un marco técnico más específico para garantizar que las construcciones en la Ciudad de México sean seguras, eficientes y sostenibles. Su actualización periódica responde a los avances en ingeniería y a la experiencia adquirida tras eventos como los sismos.

Una de las diferencias más notorias entre las NTC del 2004 y de las NTC 2017 se encuentra en ambos casos en el Capítulo 3: Espectros para Diseño Sísmico.

En las NTC 2004 se cuentan con ecuaciones que nos permiten obtener los valores que forman a los espectros.

$a = a_0 + (c - a_0) \frac{T}{T_a}; \quad \text{si } T < T_a$ $a = c; \quad \text{si } T_a \leq T \leq T_b$ $a = qc; \quad \text{si } T > T_b \quad (3.1)$ <p>donde</p> $q = (T_b/T)^r \quad (3.2)$	<p>Tabla 3.1 Valores de los parámetros para calcular los espectros de aceleraciones</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Zona</th> <th>c</th> <th>a₀</th> <th>T_a¹</th> <th>T_b¹</th> <th>r</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>I</td> <td>0.16</td> <td>0.04</td> <td>0.2</td> <td>1.35</td> <td>1.0</td> </tr> <tr> <td>II</td> <td>0.32</td> <td>0.08</td> <td>0.2</td> <td>1.35</td> <td>1.33</td> </tr> <tr> <td>III_a</td> <td>0.40</td> <td>0.10</td> <td>0.53</td> <td>1.8</td> <td>2.0</td> </tr> <tr> <td>III_b</td> <td>0.45</td> <td>0.11</td> <td>0.85</td> <td>3.0</td> <td>2.0</td> </tr> <tr> <td>III_c</td> <td>0.40</td> <td>0.10</td> <td>1.25</td> <td>4.2</td> <td>2.0</td> </tr> <tr> <td>III_d</td> <td>0.30</td> <td>0.10</td> <td>0.85</td> <td>4.2</td> <td>2.0</td> </tr> </tbody> </table> <p>¹ Periodos en segundos</p>	Zona	c	a ₀	T _a ¹	T _b ¹	r	I	0.16	0.04	0.2	1.35	1.0	II	0.32	0.08	0.2	1.35	1.33	III _a	0.40	0.10	0.53	1.8	2.0	III _b	0.45	0.11	0.85	3.0	2.0	III _c	0.40	0.10	1.25	4.2	2.0	III _d	0.30	0.10	0.85	4.2	2.0
Zona	c	a ₀	T _a ¹	T _b ¹	r																																						
I	0.16	0.04	0.2	1.35	1.0																																						
II	0.32	0.08	0.2	1.35	1.33																																						
III _a	0.40	0.10	0.53	1.8	2.0																																						
III _b	0.45	0.11	0.85	3.0	2.0																																						
III _c	0.40	0.10	1.25	4.2	2.0																																						
III _d	0.30	0.10	0.85	4.2	2.0																																						

Imagen 4 Ecuaciones y Datos para la obtención del Espectro de Diseño NTC 2004
[Fuente: NTC Sismo 2004]

Para esta norma ya se contaba con una zonificación de la CDMX y mediante la tabla 3.1 mostrada en la imagen anterior se podían obtener los periodos característicos (Ta y Tb: estos valores definen la meseta del espectro) y el periodo del suelo (Ts).

En la versión de las NTC 2017 se introduce el Sistema de Acciones Sísmicas de Diseño (SASID), en esta base de datos se encuentran los datos del espectro elásticos para el sitio de la estructura, así como los espectros afectados por los factores de reducción por comportamiento sísmico (Q') y por sobre-resistencia (R).

<p>3. ESPECTROS PARA DISEÑO SISMICO</p> <p>3.1 Espectros de diseño para análisis dinámico modal y análisis estático</p> <p>3.1.1 Espectros obtenidos del Sistema de Acciones Sísmicas de Diseño</p> <p>Cuando se emplee el método de análisis dinámico modal definido en la sección 6.1, las acciones sísmicas de diseño se determinarán a partir de los espectros de diseño contenidos en el Sistema de Acciones Sísmicas de Diseño, denominado SASID, para la ubicación específica del predio en estudio. La dirección de internet en la que se accede al SASID es https://saside.unam.mx/webNormasCDMX/. Se encuentran en esa base de datos el espectro elástico para el sitio de la construcción, así como el afectado por los factores de reducción por comportamiento sísmico, Q', y por sobre-resistencia, R, según las secciones 3.4 y 3.5, que se usa para revisar el estado límite de prevención de colapso. (https://saside.unam.mx/webNormasCDMX/).</p>
--

Imagen 5 Capítulo 3 NTC Sismo 2017: Espectros para el Diseño Sísmico
[Fuente: NTC Sismo 2017]

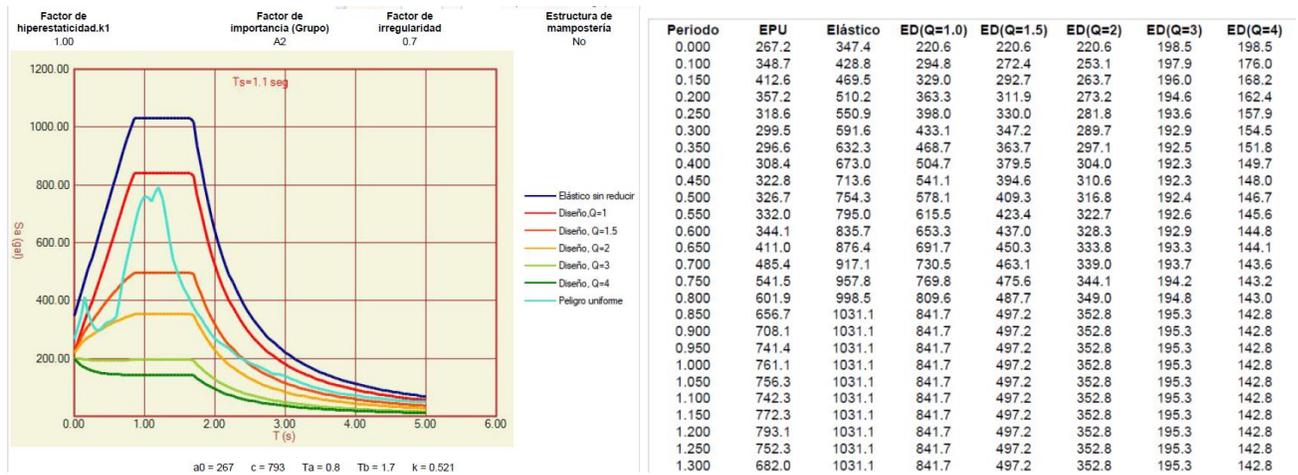
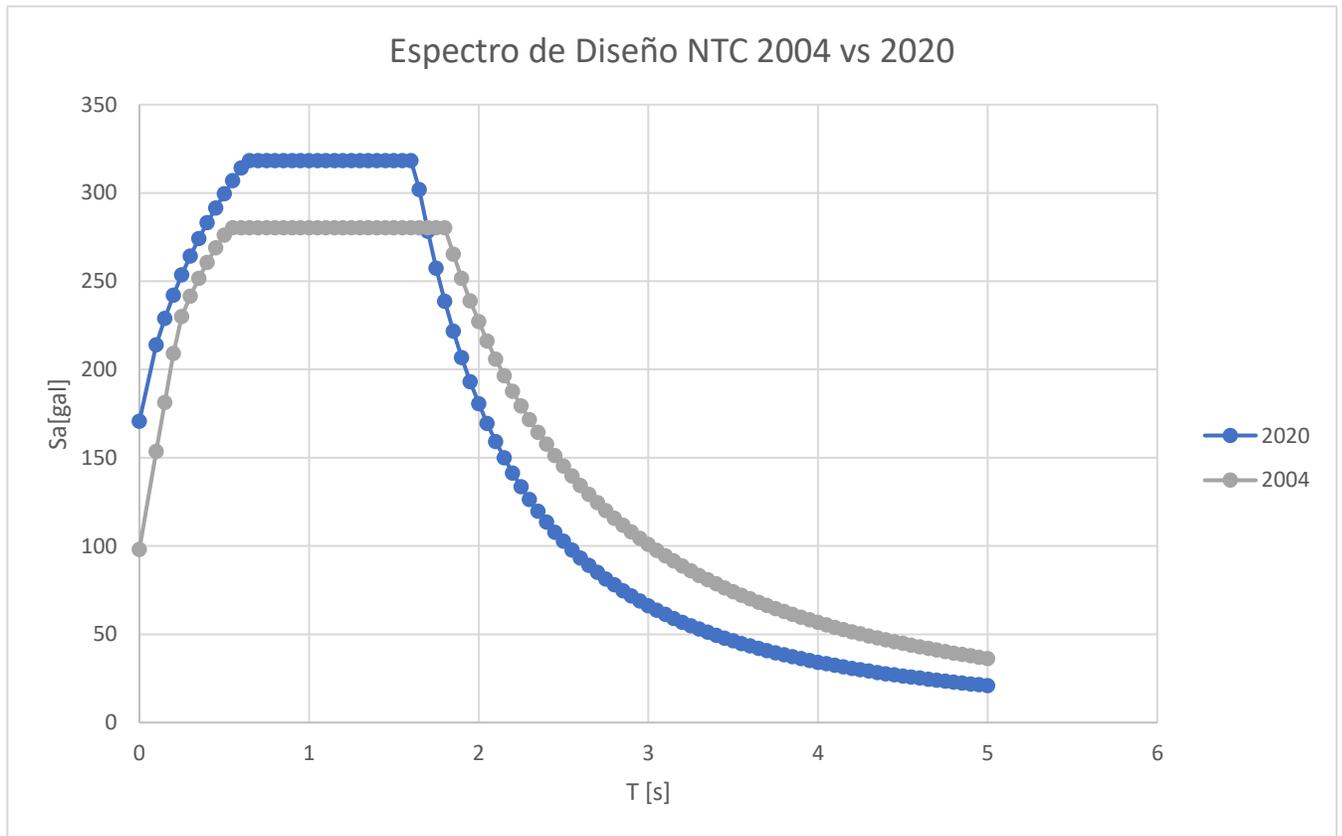


Imagen 6 Espectro de Diseño generado por el SASID [Fuente: SASID 2020]

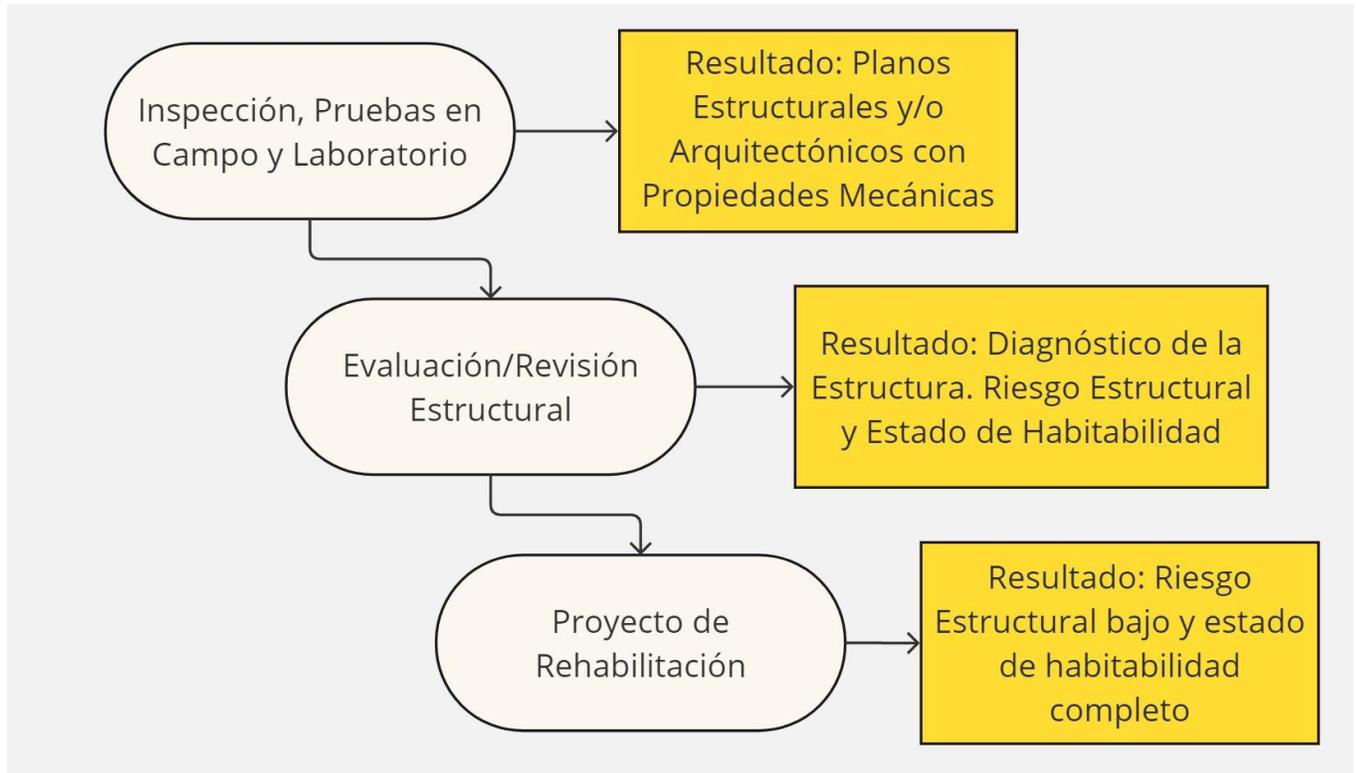
A continuación, se muestra una gráfica que muestra los espectros de las NTC 2004 y NTC2017. Para este ejemplo se consideró una estructura en Zona IIIa.



Gráfica 1 Espectro de Diseño NTC 2004 vs 2017 [Fuente: Elaboración Propia]

III. METODOLOGÍA EMPLEADA

El proceso que se lleva a cabo para la rehabilitación de inmuebles queda descrito por la siguiente figura.



*Figura 1 Metodología Empleada para la Rehabilitación de Inmuebles
[Fuente: Elaboración Propia]*

i. Inspección en Sitio, pruebas de campo y pruebas de laboratorio

La primera etapa está acompañada de una inspección en sitio; en algunas ocasiones se cuenta con información previa como planos arquitectónicos y/o estructurales, por lo que la primera visita en el sitio sirve para corroborar si la información previa es funcional o si es necesario llevar a cabo un levantamiento de la estructura.

Todas las visitas deberán estar acompañadas de un reporte fotográfico que muestre la estructuración en general y/o detalles que serán importantes al momento de evaluar la estructura. Es recomendado, también, que dicho levantamiento/croquis sea realizado por una persona capaz de reconocer elementos estructurales y elementos no estructurales, es decir, por un ingeniero civil o arquitecto.



Fotografía 2 Cuerpo con contraventeos de acero en sentido longitudinal, cuerpo de escalera de concreto y de acero. Escuela Diurna No.187, Alcaldía Cuauhtémoc [Fuente: Elaboración Propia]

En esta primera fase del trabajo es importante la identificación de elementos estructurales que no tengan un gran efecto en el comportamiento estructural; Por ejemplo: los muros bajos no tienen gran contribución en el comportamiento global de la estructura, sin embargo, en muchos casos, principalmente en los inmuebles de educación básica y normal del gobierno, se pueden generar efectos de columna corta.



Fotografía 3 Muros bajos de Mampostería que generan el efecto de Columna Corta. Escuela Primaria Francisco Medina Asencio Alcaldía Cuauhtémoc [Fuente: Elaboración Propia]

Estas visitas le dan una idea al ingeniero a cargo de la revisión de las estructuras del comportamiento estructural y de esta manera seleccionar los elementos estructurales a los que se le puedan hacer pruebas de campo. Generalmente se llevan a cabo las siguientes pruebas:

Levantamiento/Croquis Estructural de las estructuras de interés.

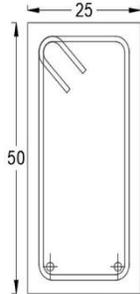


Fotografía 4 Levantamiento Estructura. UACM del Valle Alcaldía Benito Juárez
[Fuente: Elaboración Propia]

2. Escáner de Varillas en Elementos Estructurales: para esta prueba es necesario de equipo especial que pueda escanear las varillas sin general daños a los elementos estructurales.

Ubicación: Cesar Elpidio Canales, Mz 83 Lt 9, Col: Santa Martha Acatitla, Iztapalapa. Ferroscon # 11

CLIENTE										
NOVIEMBRE 2023										
Localización						Trabe Centro			Geometría del elemento	
Elemento	Clave	Cuerpo	Nivel	Eje	Tramo	Unidad	Largo ó Alto	Ancho ó Espesor	Recubrimiento	Geometría del elemento
TRABE	TB	3	N1	7	A-B	cm	50	2	2.5	RECTANGULAR
Armado Supuesto						Fotografía				



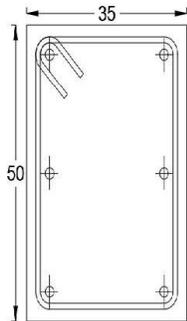
2 var # 5
Est. # 3 @ 10 cm.



Resultado de escaneo del elemento TB
TRABE TB con una sección de 50x 2 cm reforzada con 2 del # 5 y del # con estribos del # 3 @10 cm

Ubicación: Cesar Elpidio Canales, Mz 83 Lt 9, Col: Santa Martha Acatitla, Iztapalapa. Ferroscon # 4

CLIENTE										
NOVIEMBRE 2023										
Localización						Columna Centro			Geometría del elemento	
Elemento	Clave	Cuerpo	Nivel	Eje	Tramo	Unidad	Largo ó Alto	Ancho ó Espesor	Recubrimiento	Geometría del elemento
COLUMNA	COL	1	PB	7	B	cm	50	35	2	RECTANGULAR
Armado Supuesto						Fotografía				



6 var # 6
Est. # 3 @ 10 cm.



Resultado de escaneo del elemento COL
COLUMNA COL con una sección de 50x 35 cm reforzada con 2 del # 6 y 3 del # 6 con estribos del # 3 @10 cm

Imagen 8 Escaneo de elementos estructurales y un croquis del armado leído. Jardín de Niños Acatitla, Alcaldía Iztapalapa [Fuente: Empresa que realizó las pruebas de campo]

ii. Descripción del Inmueble

Una vez conocida la estructura y elaborado el levantamiento estructural, es importante identificar los tipos de estructuración presentes en las estructuras. De acuerdo al sistema que se tenga, la aproximación al análisis variará y se revisarán diferentes aspectos como las deflexiones, resistencias, conexiones y/o compatibilidad de deformaciones en el caso de contar con más de un sistema constructivo.

a. Sistema constructivo

Un sistema constructivo es el conjunto de técnicas, materiales y procesos empleados en la construcción de una edificación o infraestructura. Este sistema engloba desde los elementos estructurales, hasta los acabados y las instalaciones necesarias para garantizar la funcionalidad, seguridad y estética de la obra.

b. Descripción arquitectónica:

La descripción arquitectónica de las estructuras toma mucha importancia en el caso de reforzamiento, ya que se deberán respetar espacios para que el inmueble no pierda funcionalidad

c. Planos Arquitectónicos y/o estructurales

Los planos arquitectónicos representan el diseño y funcionalidad de los inmuebles representado en plantas y cortes; los planos estructurales ubican y dimensionan a los elementos estructurales; en el caso de los planos estructurales se requiere contar con los armados de los elementos de concreto, detalles de armado y de conexiones, secciones y propiedades de los materiales como mínimo.

La primera inspección a las estructuras, la recopilación de datos y los planos estructurales son la base de todo el trabajo que se realiza a continuación, cometer errores en este primer paso conlleva a retrasos y muy seguramente la realización de más inspecciones. Los reportes fotográficos funcionan para aclarar dudas y evitar inspecciones innecesarias.

iii. Análisis Estructural

La estructura se analiza con base en un *modelo tridimensional*. En este modelo se considera la participación de todos los elementos que forman parte de la estructura y se determinaron las cargas que pueden obrar sobre ésta durante su vida útil para aplicarlas en él.

a. Criterios de análisis

Para lo referente al diseño sísmico, la estructura se revisó de acuerdo con la regionalización sísmica del SASID (N.T.C. 2017) para la generación del espectro de diseño a utilizar, se

tomó en cuenta el grado de importancia y características de la estructura del inmueble y las propiedades del suelo según la zonificación geotécnica, basándose en las coordenadas de ubicación de este.

El análisis sísmico y estructural se efectuó por el método de análisis dinámico modal espectral y mediante un modelo matemático tridimensional. Este modelo responderá con un comportamiento de tipo elástico lineal. La elaboración y el cálculo matemático de este modelo se realizará mediante un programa de computadora.

De acuerdo con las NTC Sismo 2017:

2. TIPOS DE ANÁLISIS Y EFECTOS ESPECÍFICOS A CONSIDERAR

2.1 Métodos de análisis sísmico

Con excepción de los casos bajo consideración en los Capítulos 11 y 12, las estructuras deben diseñarse con el análisis modal espectral descrito en el Capítulo 6. El método estático del Capítulo 7 es aceptable cuando se cumplan los requisitos establecidos en ese capítulo.

Para edificaciones que excedan los límites de altura indicados en la tabla 2.1.1, debe verificarse el diseño estructural con un análisis dinámico no lineal paso a paso como el que se indica en la sección 6.2. Se considerará satisfactorio el diseño si se cumple con lo especificado en el inciso 6.2.4.

Tabla 2.1.1 Límites de altura arriba de los cuales se requiere llevar a cabo un análisis dinámico no lineal paso a paso

Zonas Geotécnicas	Estructuración	Altura, en m
II y III	Regular	120
	Irregular	100
	Muy Irregular	80

Imagen 9 Métodos de Análisis Sísmico [Fuente: NTC Sismo 2017]

Generalmente en las escuelas de nivel básico y normal, la altura de entrepiso no supera los límites indicados en la Tabla 2.1.1 de las NTC Sismo 2017, por lo general se cuentan con edificios rectangulares de no más de 3 niveles, por lo que para todos los cuerpos trabajados se utilizó el análisis dinámico modal espectral.

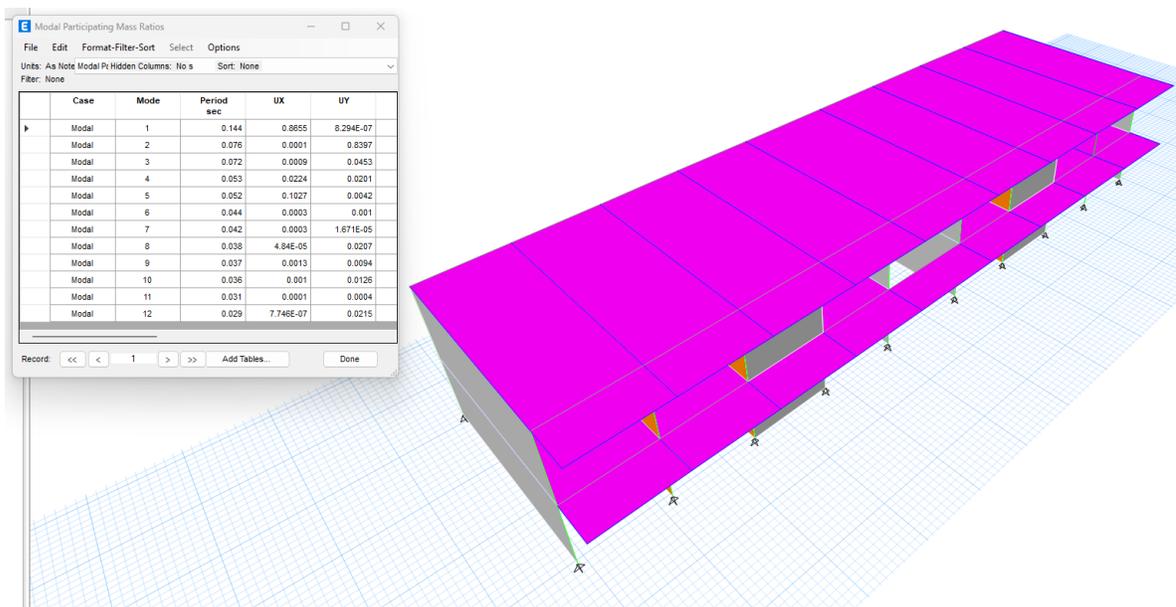


Imagen 10 Modos de Vibrar y Periodos de la Estructura [Fuente: Elaboración Propia]

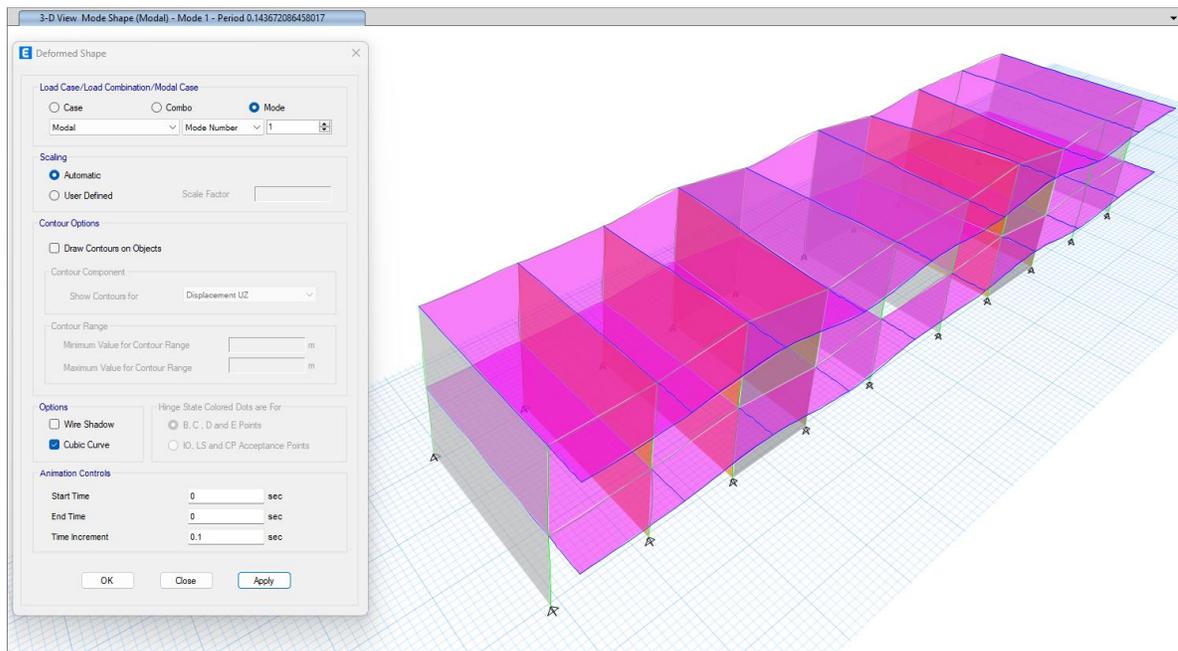


Imagen 11 1° Modo Longitudinal [Fuente: Elaboración Propia]

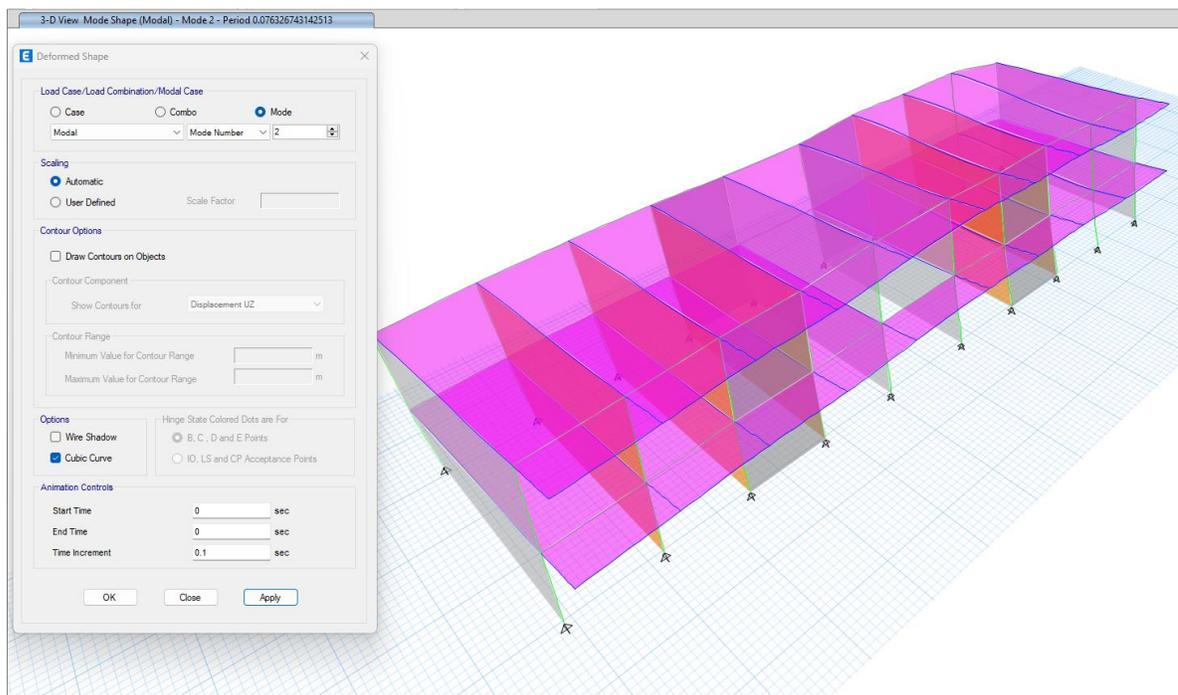


Imagen 12 2° Modo Transversal [Fuente: Elaboración Propia]

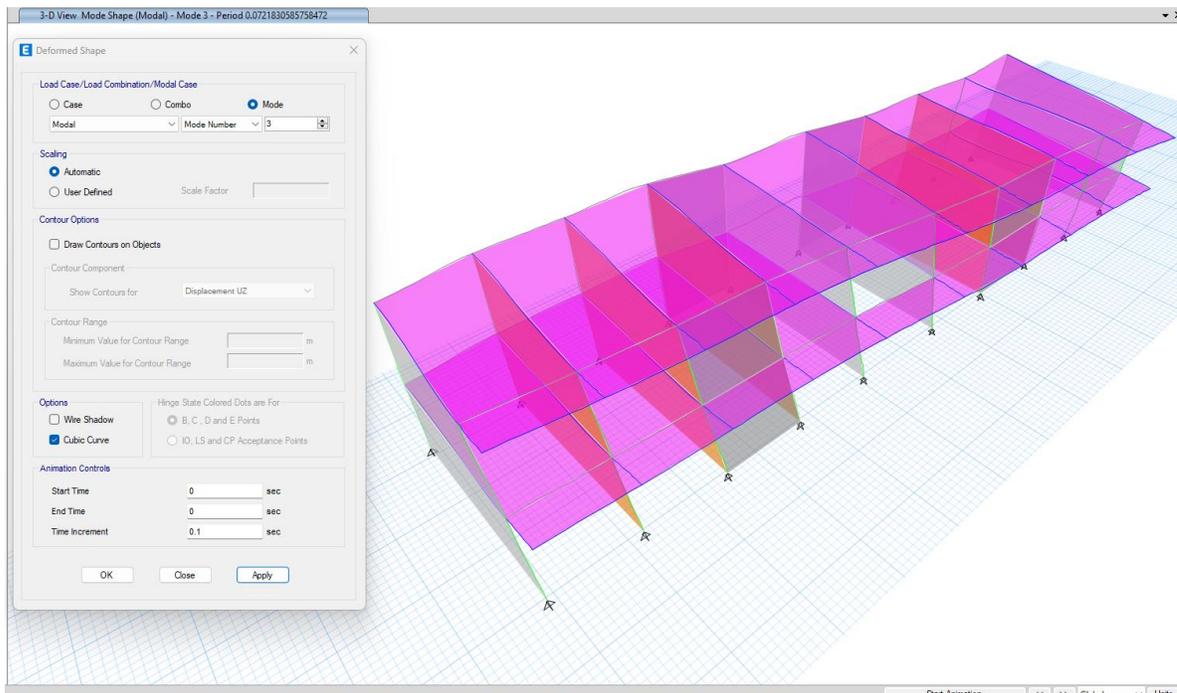


Imagen 13 3° Modo Rotacional [Fuente: Elaboración Propia]

En el caso de las estructuras de concreto es necesario considerar el efecto del agrietamiento ya que estamos aplicando métodos de análisis lineal. Esto queda estipulado en la NTC Concreto:

3.2.1.1 Análisis lineal

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, E_c , y con los momentos de inercia de la tabla 3.2.1.

Tabla 3.2.1 Momentos de inercia para cálculo de rigideces

Elemento	Momento de inercia
Vigas y muros agrietados ¹	$0.5I_g$
Columnas agrietadas	$0.7I_g$
Columnas y muros no agrietados	I_g

¹ En vigas T se deberán incluir los anchos de patín especificados en el inciso 5.1.1.2.

Imagen 14 Tabla 3.2.1 Momentos de Inercia para Cálculo de Rigideces [Fuente: NTC Concreto 2017]

Al realizar análisis lineales suponemos que los elementos estructurales no serán excedidos en su capacidad, sin embargo, esto no siempre es verdad, los elementos estructurales pueden ser excedidos, volviendo a la estructura más flexible, aumentado sus periodos de vibrar y modificando el comportamiento estructural; el afectar los momentos de inercia por un factor nos permite considerar este efecto sin utilizar análisis no lineales.

b. Acciones

Se realizaron análisis de cargas muertas, cargas vivas y cargas de sismo.

- Cargas Muertas: aquellas cargas que se pueden considerar como permanentes en una estructura.
- Cargas Vivas: dependen del fin que tengan los inmuebles; en nuestro caso trabajaremos generalmente con cargas vivas de aulas y azoteas.
- Cargas Sísmicas: éstas fueron definidas mediante el SASID en su versión 2022 y están en función de: la irregularidad, grado de Hiperestaticidad, tipo de estructura (en nuestro caso pertenecen al Grupo A) y la zona en la que se ubiquen las estructuras.

Cuerpo 4			
Concepto	Entrepiso (maciza h=15)	Azotea (maciza h=15)	Unidad
Sistema de piso	0.036	0.036	kg/cm ²
Instalaciones	0.0005	0.0005	kg/cm ²
Plafón	0.0015	0.0015	kg/cm ²
Acabados	0.004	-	kg/cm ²
Impermeabilizante	-	0.015	kg/cm ²
Sobrecarga	0.004	0.004	kg/cm ²
Total	0.046	0.057	kg/cm²

Tabla 1 Ejemplo de Cargas Muertas [Fuente: Elaboración Propia]

Carga Viva

Tipo de Carga	Aulas	Pasillo/Escalera	Azotea con pendiente		Unidad
			>5%	<5%	
Carga viva máxima	0.025	0.350	0.01	0.004	kg/cm ²
Carga viva media	0.01	0.004	0.0015	0.0005	kg/cm ²
Carga viva instantánea	0.018	0.015	0.007	0.002	kg/cm ²

Tabla 2 Ejemplo de Cargas Vivas [Fuente: Elaboración Propia]

c. Propiedades mecánicas de los materiales

Derivado de las pruebas de campo y de laboratorio, se cuenta con las propiedades mecánicas de los materiales.

Material	Concepto	Simbología	Estructural	Unidad
Concreto	Resistencia del concreto a compresión	f_c	250	kg/cm ²
	Módulo de elasticidad del concreto	E_c	221,359.44	kg/cm ²
Acero de Refuerzo	Esfuerzo de fluencia del acero de refuerzo	f_y	4,200 (Var.#3 y mayores)	kg/cm ²
			2,520 (Alambrón #2)	
Acero Estructural	Esfuerzo de fluencia del acero de estructural	F_y	2,530	kg/cm ²

*Tabla 3 Ejemplo de Propiedades Mecánicas del Concreto y Acero
[Fuente: Elaboración Propia]*

Si es que no se cuenta con la información de las propiedades de los materiales se utilizan los valores dados en “Guía Técnica para la Rehabilitación Sísmica de Edificios Escolares de la Ciudad de México” de Diciembre del 2019 en su versión 1.1.

Tabla 4.2.1 Resistencia a compresión del concreto, f_c' , en MPa (kg/cm²)

Época	Cimentaciones	Vigas	Losas	Columnas	Muros
1900-1987	20 (200)	20 (200)	20 (200)	20 (200)	20 (200)
1987-fecha	25 (250)	25 (250)	25 (250)	25 (250)	25 (250)

Tabla 4.2.2 Módulo de elasticidad del concreto, E_c , en MPa (kg/cm²)

Época	E_c
1900-1976	$2\,500\sqrt{f_c'} \left(8\,000\sqrt{f_c'} \right)$
1977-1987	$3\,125\sqrt{f_c'} \left(10\,000\sqrt{f_c'} \right)$
1987-fecha	$4\,400\sqrt{f_c'} \left(14\,000\sqrt{f_c'} \right)$ clase 1; agregado grueso calizo
	$2\,500\sqrt{f_c'} \left(8\,000\sqrt{f_c'} \right)$ clase 2

Imagen 15 Propiedades de los Materiales

[Fuente: Guía Técnica para la Rehabilitación Sísmica de Edificios Escolares de la Ciudad de México]

Para el análisis y diseño de la mampostería, se debe cumplir con las "Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería 2017".

Calidad de la Mampostería		
Concepto	Resistencia a compresión de mampostería	Resistencia a compresión diagonal para diseño de la mampostería
Unidad	kg/cm ²	kg/cm ²
Simbología	f'm	v'm
Tabique macizo de arcilla artesana	15	2
Tabique de arcilla extruido	20	2
Bloque de concreto	15	2
Tabique de concreto (tabicón)	15	2

Tabla 4 Calidad de la Mampostería [Fuente: NTC Mampostería 2017]

d. Espectro de diseño

Cuando se emplee el método de análisis dinámico modal definido en la sección 6.1, las acciones sísmicas de diseño se determinarán a partir de los espectros de diseño contenidos en el Sistema de Acciones Sísmicas de Diseño, SASID. Se encuentra en esa base de datos el espectro elástico para el sitio de la construcción, así como el afectado por los factores de reducción por comportamiento sísmico y por sobre-resistencia, según las secciones 3.4 y 3.5 que se usan para revisar los requisitos de seguridad contra colapso de acuerdo con el Reglamento de Construcciones para la Ciudad de México 2017.

El espectro del sitio de la edificación se encontró con la herramienta del SASID.

Para la obtención del espectro se requiere de la ubicación del inmueble, su factor de hiperestaticidad y el factor de irregularidad.

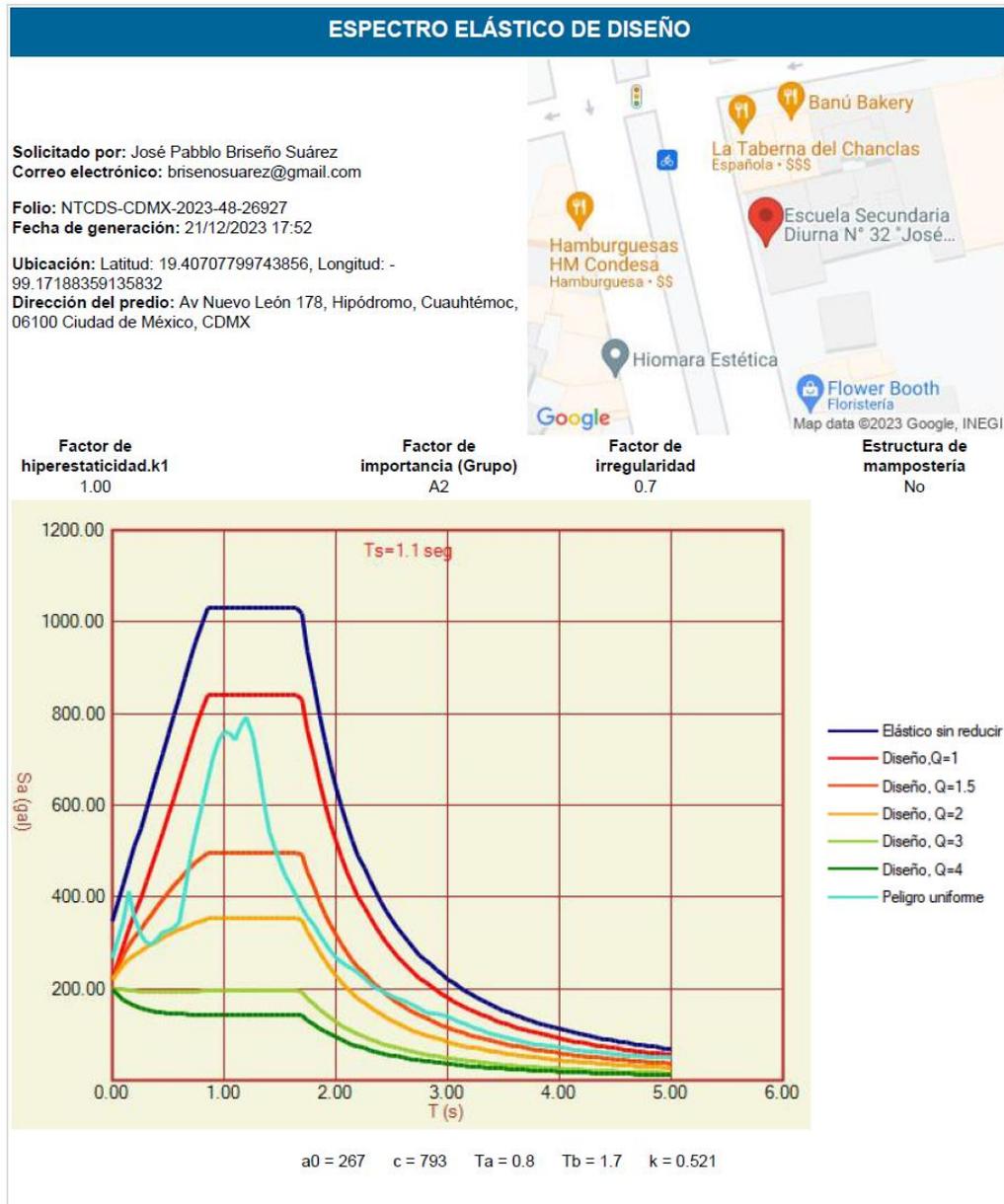


Imagen 16 Ejemplo del Espectro dado por el SASID [Fuente: SASID]

Factor de Irregularidad (IR)

Según las NTC Sismo 2017 una estructura se clasifica de acuerdo a su irregularidad en:

- Estructura irregular

Se considerará irregular toda estructura que no satisfaga uno de los requisitos 5, 6, 9, 10, 11, 12 y 13, o dos o más de los requisitos 1, 2, 3, 4, 7 y 8 de la sección 5.1.

- Estructura muy irregular

Una estructura será considerada muy irregular si no satisface dos o más de los requisitos 5, 6, 9, 10, 11, 12 y 13, o si se presenta alguna de las condiciones siguientes:

1. El desplazamiento lateral de algún punto de una de las plantas excede en más de 30 por ciento el promedio de los desplazamientos de los extremos de la misma.
2. La rigidez lateral o la resistencia al corte de algún entrepiso exceden en más de 40 por ciento la del entrepiso inmediatamente inferior. Para verificar el cumplimiento de este requisito, se calculará la capacidad resistente y la rigidez lateral de cada entrepiso teniendo en cuenta todos los elementos que puedan contribuir apreciablemente a ellas.
3. Más de 30 por ciento de las columnas ubicadas en un entrepiso no cumplen con el requisito 9 de la sección 5.1

Para que una estructura se considere regular debe satisfacer los requisitos siguientes:

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.
2. La relación de su altura a la dimensión menor de su base no es mayor que cuatro.
3. La relación de largo a ancho de la base no es mayor que cuatro.
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.
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.
6. El sistema de piso no tiene aberturas que en algún nivel excedan 20% 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.
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.
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 menor de las dimensiones de los pisos inferiores en la misma dirección.
9. Todas las columnas están restringidas en todos los pisos en las 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.
10. Todas las columnas de cada entrepiso tienen la misma altura, aunque esta pueda variar de un piso a otro. Se exime de este requisito al último entrepiso de la construcción.

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.
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.
13. En sistemas diseñados para Q de 4, en ningún entrepiso el cociente de la capacidad resistente a 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.

Corrección de Q' por irregularidad

Si se realiza un análisis dinámico modal o uno estático como los establecidos en las secciones 6.1 y 7.1, respectivamente, las condiciones de irregularidad se tomarán en cuenta multiplicando el factor Q' definido en la sección 3.4, por 0.8 cuando la estructura sea irregular según la sección 5.2 y por 0.7 cuando la estructura sea muy irregular según la sección 5.3. En ningún caso el factor Q' se tomará menor que 1.0.

Factor de Sobre-resistencia (R)

El factor de sobre-resistencia es un coeficiente que toma en cuenta la capacidad adicional que tienen los elementos estructurales para resistir cargas por encima de su capacidad nominal de diseño, antes de que lleguen a una falla. Este factor es importante en el diseño sismo-resistente, ya que permite considerar que, en eventos sísmicos extremos, los elementos estructurales pueden desarrollar resistencias mayores a las calculadas para evitar un colapso inmediato.

El factor de sobre-resistencia (R) deberá determinarse a través de la ecuación del Inciso 3.5 de las NTC-DF:

$$R = k_1 R_0 + k_2$$

Donde R_0 es un factor de sobre-resistencia del sistema estructural, que se tomara igual a:

2.00 para estructuras de mampostería, y para sistemas estructurales de concreto, acero o compuestos que cumplen con los requisitos para adoptar un factor de comportamiento Q de 3 o mayor, según las reglas establecidas en el Capítulo 4

1.75 para sistemas estructurales de concreto, acero o compuestos a los que se asigna Q menor que 3 según las reglas establecidas en el Capítulo 4.

k_1 , factor de corrección por Hiperestaticidad, que es igual a:

0.8 si se tienen menos de tres crujías en la dirección de análisis o menos de dos en la dirección perpendicular al análisis

1.0 para estructuras de mampostería, y sistemas estructurales de concreto, acero o compuestos que tengan tres o más crujías resistentes a sismo en las dos direcciones de análisis.

1.25 para los sistemas estructurales duales incluidos en las tablas 4.2.1 y 4.2.2.

Factor de Comportamiento Sísmico (Q)

El factor de Comportamiento Sísmico se utiliza para reducir las fuerzas sísmicas elásticas que una estructura experimentaría en un sismo, reflejando la capacidad de la estructura para disipar energía a través de deformaciones inelásticas (deformaciones plásticas) sin perder su estabilidad. El factor Q tiene en cuenta la ductilidad, la sobre-resistencia y la capacidad de disipación de energía de la estructura, y permite diseñar con fuerzas sísmicas reducidas porque se supone que la estructura será capaz de absorber parte de la energía sísmica mediante deformaciones controladas y no elásticas (es decir, sin fallar).

El factor Q empleado para reducir el efecto del espectro de diseño que afecta la estructura, depende del sistema constructivo y el grado de ductilidad que tenga la estructura. En las NTC del 2017 la ductilidad afecta tanto a las acciones sísmicas, como en las distorsiones permisibles.

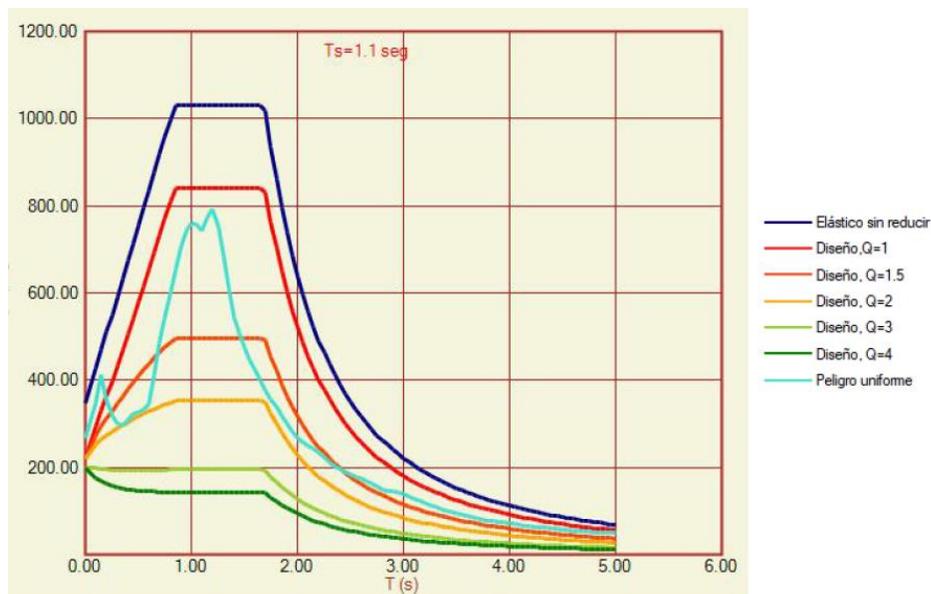


Imagen 17 Espectro de Diseño de acuerdo al valor de Q
[Fuente: SASID]

Para el factor de comportamiento sísmico, Q, y la distorsión límite, γ_{max} se adoptarán los valores especificados en las tablas 4.2.1, 4.2.2 y 4.2.3, según se trate de estructuras de concreto, de acero o compuestas o de mampostería; respectivamente. Los requisitos específicos que deben cumplirse para que una estructura pueda ser considerada como de ductilidad alta, media o baja se especifican en las normas técnicas correspondientes al material del que se trate.

El desplazamiento lateral se limitará de acuerdo con las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo de 2017 en su sección 1.8 de Revisión de desplazamientos laterales, establece el cumplimiento de dos estados límite de desplazamiento lateral:

- Para el cumplimiento del estado límite de Seguridad Contra Colapso se revisará que las distorsiones obtenidas con el espectro de diseño, multiplicado por $Q \cdot R$ no exceda los valores especificados en la tabla de Distorsiones permisibles.
- Para el cumplimiento de limitación de daño ante sismos frecuentes se revisará que las distorsiones de entrepiso no excedan 0.002, salvo que todos los elementos no estructurales sean capaces de soportar deformaciones apreciables o estén separados de la estructura principal de manera que no sufran daños por sus deformaciones, en tal caso el límite será 0.004.

4.2.3 Estructuras de mampostería

Los factores de comportamiento sísmico y las distorsiones límite para estructuras de mampostería se presentan en la tabla 4.2.3.

Tabla 4.2.3 Factores de comportamiento sísmico y distorsiones límite para estructuras de mampostería ⁽¹⁾

Estructuración	Q	γ_{max}
Muros de carga de mampostería confinada de piezas macizas con refuerzo horizontal ⁽²⁾	2.0	0.010
Muros de carga de mampostería confinada de piezas macizas	2.0	0.005
Muros de carga de mampostería confinada de piezas huecas con refuerzo horizontal ⁽²⁾	2.0	0.008
Muros de carga de mampostería confinada de piezas huecas	1.5	0.004
Muros de carga de mampostería de piezas huecas reforzadas interiormente	1.5	0.006
Muros diafragma	(3)	(4)
Muros de carga de mampostería confinada en combinación con otro sistema estructural de concreto o acero	(3)	(4)
Muros de carga de mampostería de piezas huecas o macizas no confinados ni reforzados ⁽⁵⁾	1.0	0.002
Mampostería de piedras naturales	1.0	0.002

Imagen 18 Taba 4.2.3 Distorsiones admisibles para estructuras de Mampostería
[Fuente: NTC Sismo 2017]

e. Combinaciones de carga

La seguridad de una estructura deberá verificarse para el efecto combinado de todas las acciones que tengan una probabilidad no despreciable de ocurrir simultáneamente, considerándose dos categorías de combinaciones:

a) Para las combinaciones que incluyan acciones permanentes y acciones variables, se consideraran todas las acciones permanentes que actúen sobre la estructura y las distintas acciones variables, de las cuales la más desfavorable se tomara con su intensidad máxima y el resto con su intensidad instantánea, o bien todas ellas con su intensidad media cuando se trate de evaluar efectos a largo plazo.

Para la combinación de carga muerta más carga viva, se empleará la intensidad máxima de la carga viva de la sección 6.1, considerándola uniformemente repartida sobre toda el área. Cuando se tomen en cuenta distribuciones de la carga viva más desfavorables que la uniformemente repartida, deberán tomarse los valores de la intensidad instantánea especificada en la mencionada sección;

b) Para las combinaciones que incluyan acciones permanentes, variables y accidentales, se consideraran todas las acciones permanentes, las acciones variables con sus valores instantáneos y únicamente una accidental en cada combinación.

Los Factores de Carga utilizados en las diferentes Combinaciones de Carga se listan a continuación:

Se consideraron 5 condiciones independientes de carga (3 de ellas estáticas y 2 dinámicas) y 11 combinaciones de carga.

Las 4 condiciones de carga estáticas utilizadas son:

PP: Peso propio de elementos estructurales

CM: Carga MUERTA

CV: Carga Viva

En el caso del análisis dinámico se consideraron dos condiciones de carga:

Sx: sismo en dirección X

Sy: sismo en dirección Y

Las combinaciones de diseño consideradas fueron las definidas en la siguiente tabla de multiplicadores de carga:

Tabla de Multiplicadores de Carga						
No. De Comb.	PP	CM	CV	Sx	Sy	Comentarios
1	1.5	1.5	1.7	-	-	Gravitacional
2	1.1	1.1	1.1	1.1	-	Sismo X
3	1.1	1.1	1.1	1.1	0.33	
4	1.1	1.1	1.1	1.1	-0.33	
5	1.1	1.1	1.1	-1.1	0.33	
6	1.1	1.1	1.1	-1.1	-0.33	
7	1.1	1.1	1.1	-	1.1	Sismo Y
8	1.1	1.1	1.1	0.33	1.1	
9	1.1	1.1	1.1	-0.33	1.1	
10	1.1	1.1	1.1	0.33	-1.1	
11	1.1	1.1	1.1	-0.33	-1.1	

Tabla 5 Combinaciones de Cargas [Fuente: Elaboración Propia]

iv. Resultados del Análisis

Una vez que se cuente con un modelo tridimensional representativo de las estructuras se lleva a cabo el análisis.

Cargas Totales para cada Condición de Carga y Cortantes Basales en X y Y

A continuación, se establecerán la Cargas Totales para cada Condición de Carga, a nivel de Planta Baja. Al determinarlas a este nivel, se obtienen datos importantes para continuar la revisión de la Estructura. Se obtiene el peso de la Superestructura y los Cortantes Basales en las dos Direcciones de Análisis y con el peso de la Superestructura se puede calcular el Cortante Basal Mínimo.

Revisión de Cortante Basal

De acuerdo con las Normas Técnicas Complementarias de Diseño por Sismo, se debe revisar Cortante Basal Mínimo, si en la dirección de análisis se encuentra que la fuerza cortante basal V_o obtenida con el análisis dinámico modal es menor que $a_{min}W_o$, se incrementarán todas las fuerzas de diseño en una proporción tal que V_o iguale ese valor; los desplazamientos no se afectarán por esta corrección.

W_o es el peso total de la estructura al nivel del desplante, mientras que a_{min} se tomará igual a:

$$a_{min} = 0.03 \text{ si: } T_s < 0.5 \text{ seg}$$

$$a_{min} = 0.05 \text{ si: } T_s > 1.0 \text{ seg}$$

donde T_s es el periodo dominante más largo del terreno en el sitio de interés.

Para valores de T_s comprendidos entre 0.5 y 1.0, a_{min} se hará variar linealmente entre 0.03 y 0.05.

Revisión de Cortante Basal Mínimo					
Sismo	Peso Total [ton]	a_{min}	V Basal min[ton]	V Basal [t]	Condición
DIR. X	1,794.81	0.05	89.74	102.47	CUMPLE
DIR. Y	1,794.81	0.05	89.74	158.27	CUMPLE

Tabla 6 Ejemplo de Revisión de Cortante Basal Mínimo
[Fuente: Elaboración Propia]

a. Estado Límite de Servicio: Estado Límite de Seguridad Contra Colapso y Limitación de Daños ante Sismos Frecuentes.

Se considera como estado límite de servicio la ocurrencia de desplazamientos, agrietamientos, vibraciones o daños que afecten el correcto funcionamiento de la edificación, pero que no perjudiquen su capacidad para soportar cargas (RCDF, 2004, Art. 149).

Revisión de Desplazamientos Laterales

La distorsión de entrepiso se define como la diferencia entre los desplazamientos laterales de los pisos consecutivos que lo delimitan, dividida entre la diferencia de elevaciones correspondientes. Para efectos de revisión, los desplazamientos laterales se obtienen del análisis realizado con las fuerzas sísmicas de diseño y deberá considerarse la mayor distorsión de las que se calculan para cada elemento o subsistema vertical contenido en el entrepiso (marcos, muros y cualquier otro elemento vertical).

Se deberán revisar los desplazamientos laterales para las dos condiciones de diseño siguientes:

- Para el cumplimiento del Estado Límite de Seguridad Contra Colapso, se revisará que las distorsiones obtenidas con el espectro de diseño definido en el Capítulo 3, multiplicadas por QR no excedan los valores especificados para la distorsión límite (γ_{max}) en las tablas 4.2.1, 4.2.2 y 4.2.3, según el sistema estructural que se haya adoptado. Q es el factor de comportamiento sísmico. El valor de R se calculará para el periodo fundamental de vibrar de la estructura. Los desplazamientos laterales y las distorsiones para esta condición se emplearán también para revisar los requisitos de separación de edificios colindantes de la sección 1.9, así como el cálculo de los efectos de segundo orden estipulados en la sección 2.3.
- Para el cumplimiento del Requisito de Limitación de Daños ante Sismos Frecuentes, se revisará que las distorsiones de entrepiso determinadas para esta condición como se indica en el inciso 3.1.1, no exceda 0.002, salvo que todos los elementos no estructurales sean capaces de soportar deformaciones apreciables o estén separados de la estructura principal de manera que no sufran daños por sus deformaciones. En tal caso, el límite en cuestión será de 0.004. Al calcular las distorsiones mencionadas en este párrafo pueden descontarse las debidas a la flexión de conjunto de la estructura. En este caso se tomará 0.004.

DISTORSIONES DE ENTREPISO (CONDICIÓN DE SEGURIDAD CONTRA COLPASO)											
SISMO	NIVEL	Q	R	DISTORSIÓN ANÁLISIS		DISTORSIÓN REAL		DISTORSIÓN ADMISIBLE		CONDICIÓN	
				DIR. X	DIR. Y	DIR. X	DIR. Y	DIR. X	DIR. Y	DIR. X	DIR. Y
DIR. X	AZOTEA	2.00	1.71	0.00046	0.00003	0.0016	0.0001	0.005	0.010	CUMPLE	CUMPLE
	NIVEL 1	2.00	1.71	0.00070	0.00003	0.0024	0.0001	0.005	0.010	CUMPLE	CUMPLE
DIR. Y	AZOTEA	2.00	1.72	0.00000	0.00054	0.0000	0.0018	0.005	0.010	CUMPLE	CUMPLE
	NIVEL 1	2.00	1.72	0.00000	0.00043	0.0000	0.0015	0.005	0.010	CUMPLE	CUMPLE

DISTORSIONES DE ENTREPISO (CONDICIÓN DE LIMITACIÓN DE DAÑO ANTE SISMOS FRECUENTES)												
SISMO	NIVEL	Q'	R	Ks	DISTORSIÓN ANÁLISIS		DISTORSIÓN REAL		DISTORSIÓN ADMISIBLE		CONDICIÓN	
					DIR. X	DIR. Y	DIR. X	DIR. Y	DIR. X	DIR. Y	DIR. X	DIR. Y
DIR. X	AZOTEA	1.40	1.71	0.25	0.00046	0.00003	0.0003	0.0000	0.002	0.002	CUMPLE	CUMPLE
	NIVEL 1	1.40	1.71	0.25	0.00070	0.00003	0.0004	0.0000	0.002	0.002	CUMPLE	CUMPLE
DIR. Y	AZOTEA	1.37	1.72	0.25	0.00000	0.00054	0.0000	0.0003	0.002	0.002	CUMPLE	CUMPLE
	NIVEL 1	1.37	1.72	0.25	0.00000	0.00043	0.0000	0.0003	0.002	0.002	CUMPLE	CUMPLE

Tabla 7 Ejemplo de Revisión de Distorsiones: Condición de Seguridad Contra Colapso y Condición de Limitación de Daño ante Sismos Frecuentes [Fuente: Elaboración Propia]

b. Estado Límite de Falla: Análisis de Columnas, Trabes, Losas y Muros Confinados

Se consideró como estado límite de falla cualquier situación que corresponda al agotamiento de la capacidad de carga de la estructura o de cualquiera de sus componentes, incluyendo la cimentación, o al hecho de que ocurran daños irreversibles que afecten significativamente su resistencia ante nuevas aplicaciones de carga (RCDF, 2004, Art. 148)

El análisis se realizó de acuerdo con los criterios relativos a Estados Límite de Falla y de Servicio tal como lo establece el Título VI del RCCDMX y las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto.

Según el criterio de los Estados Límite de Falla, los elementos estructurales se deben analizar de modo que, en toda sección, las fuerzas o momentos internos que en ella actúen sean iguales o menores que el valor de las resistencias calculadas para cada tipo de los elementos mecánicos.

Las resistencias de análisis incluyen los correspondientes Factores de Resistencia (F_R). Las fuerzas y momentos internos actuantes de diseño deben incluir a los correspondientes Factores de Carga (F_C).

Por otra parte, se revisaron los Estados Límite de Servicio, de tal manera que las respuestas de la estructura (deformación, agrietamiento, etc.) quedaron limitadas a valores tales que el funcionamiento en condiciones de servicio sea satisfactorio.

Además, se consideraron los efectos de agrietamiento en los elementos de concreto armado como se estipula en las NTC de Concreto en la Tabla 3.2.1.1 como se muestra a continuación:

- Análisis de Columnas

Toda sección sujeta a flexo compresión se analizará para la combinación más desfavorable de carga axial y momento, incluyendo los efectos de esbeltez. Del análisis estático de marco se obtuvieron los momentos estáticos debidos a carga vertical y del análisis sísmico los momentos por carga lateral.

a) Condición estática.

$$P_U = (1.5 + 1.7)P_E$$

$$M_{UX} = (1.5 + 1.7)(M_{EX} + M_{ACCX})F_{AX}$$

$$M_{UY} = (1.5 + 1.7)(M_{EY} + M_{ACCY})F_{AY}$$

P_E : Carga Axial Estática

M_{EX}, M_{EY} : Momentos Flexionantes por Cargas Estáticas

b) Condición estática + sismo x

$$P_U = 1.1(P_E + P_{SX} + 0.3P_{SY})$$

$$M_{UX} = 1.1(M_{EX} + M_{ACCX} + M_{SX})F_{AX}$$

$$M_{UY} = 1.1(M_{EY} + M_{ACCY} + 0.3M_{SY})F_{AY}$$

c) Condición estática + sismo y

$$P_U = 1.1(P_E + 0.3P_{SX} + P_Y)$$

$$M_{UX} = 1.1(M_{EX} + M_{ACCX} + 0.3M_{SX})F_{AX}$$

$$M_{UY} = 1.1(M_{EY} + M_{ACCY} + M_{SY})F_{AY}$$

Dónde:

- P_U = Carga última de análisis,
 M_{ACC} = Momento accidental en la dirección en estudio,
 M_{UX} = Momento último de diseño en x,
 M_{UY} = Momento último de diseño en y,
 b = Dimensión x de la columna,
 t = Dimensión y de la columna,
 Fa = Factor de amplificación de momentos para considera efectos de segundo orden, calculado con la expresión:

$$Fa = 1 + \frac{W_U / h}{R / Q - 1.2W_U / h} \geq 1.0$$

Dónde:

- W_U = Carga de análisis en todo el piso acumulada desde el último nivel hasta el nivel considerado,
 R = Rigidez de entrepiso,
 Q = Factor de comportamiento sísmico,
 h = Altura del entrepiso.

Para cada una de las condiciones anteriores se calcularon los coeficientes adimensionales.

$$K = \frac{P_U}{F_R b t f_c''} \quad R_X = \frac{M_{UX}}{F_R b^2 f_c''} \quad R_Y = \frac{M_{UY}}{F_R b^2 f_c''}$$

Dónde:

$$f_c'' = 0.85 * f_c' \quad F_r = 0.80$$

- Análisis de Trabes

Flexión

Los momentos de diseño fueron el mayor de 1.5 y 1.7 veces la carga muerta y viva respectivamente, el momento debido a cargas gravitacionales ó 1.1 veces la combinación de carga gravitacional más efectos sísmicos.

Y el momento resistente para secciones rectangulares está dada por:

$$M_R = F_R b d^2 f_c'' q (1 - 0.5q)$$
$$M_R = F_R A_s f_y d (1 - 0.5q)$$

M_R = resistencia de diseño a flexión

b = ancho de la sección

d = prelate efectivo

f_c'' = esfuerzo uniforme de compresión

A_s = área del refuerzo de tensión

$$q = \frac{p f_y}{f_c''}$$

$$p = \frac{A_s}{bd}$$

Cortante

Los elementos que trabajan principalmente a flexión se dimensionarán de manera que no se presente falla por cortante antes que puedan formarse las articulaciones plásticas por flexión en sus extremos. Para ello, la fuerza cortante de diseño se obtendrá del equilibrio del miembro entre caras de apoyos; se supondrá que en los extremos actúan momentos del mismo sentido.

Estos momentos representan una aproximación de la resistencia a flexión y son valuados con las propiedades del elemento en esas secciones, con factor de resistencia unitaria, y con el esfuerzo en el acero de tensión al menos igual a 1.25 f_y . A lo largo del miembro actuarán las cargas correspondientes multiplicadas por el factor de carga.

En el caso de vigas que formen parte de conexiones viga–columna con articulaciones alejadas de la cara de la columna, para calcular la fuerza cortante de diseño se podrá usar el método anterior y considerando que el claro l de la figura A es la distancia centro a centro entre dichas articulaciones.

La fuerza cortante resistente está dada por:

$$V_R = V_{CR} + V_S$$

En donde V_{CR} es la fuerza cortante que resiste el concreto y V_S es la fuerza que resiste el acero de refuerzo transversal

Para el concreto:

$$V_{CR} = F_R b d (0.2 + 20p) \sqrt{f_c'} \quad \text{Si } p < 0.015$$

$$V_{CR} = 0.5 F_R b d \sqrt{f_c'} \quad \text{Si } p \geq 0.015$$

Cuando la fuerza cortante V_u resulta mayor que la fuerza cortante que toma el concreto V_{cR} entonces se requiere refuerzo por tensión diagonal y la separación de estribos se calcula con la expresión:

$$S = \frac{F_R A_v f_y d}{V_u - V_{cR}}$$

La separación de estribos no debe rebasar los siguientes valores.

$$\begin{array}{ll} 0.5d & \text{Si } V_u \leq 1.5F_R b d \sqrt{f'_c} \\ 0.25d & \text{Si } V_u > 1.5F_R b d \sqrt{f'_c} \end{array}$$

- Análisis de Losas

Flexión

Los momentos de diseño se obtienen multiplicando el momento debido a carga vertical por 1.5 y 1.7 veces la carga muerta y viva respectivamente, aplicando las disposiciones de las normas técnicas, para losas perimetralmente apoyadas con cargas uniformemente distribuidas.

Los momentos flexionantes para este tipo de losas se tienen con los coeficientes de la *tabla 3.3.1 Coeficientes de momentos flexionantes para tableros rectangulares, franjas centrales*, en función de las condiciones de borde y de la relación de claros.

$$M = K w a_1^2$$

Cortante

En la revisión de la resistencia a fuerza cortante, se supone que la sección crítica se encuentra a un peralte efectivo del paño. La fuerza cortante que actúa en el ancho unitario se calcula con la expresión:

$$V = (a_1 / 2 - d) \left(0.95 - 0.5 \frac{a_1}{a_2} \right) w$$

El cortante de diseño se obtiene multiplicando el cortante actuante debido a carga vertical por 1.3 y 1.5 veces (carga muerta y viva respectivamente) y la resistencia de la losa a fuerza cortante se supondrá igual a:

$$V_{cR} = 0.5F_R b d \sqrt{f'_c}$$

- Análisis Muros de Mampostería
Resistencia a Compresión de Muros Confinados

La carga vertical resistente se calcula como:

$$P_R = F_R F_E (f'_m A_T + \Sigma A_s f_y)$$

donde:

F_E =se obtendrá de acuerdo con el inciso 3.2.2; y

F_R =se tomará igual a 0.6.

Se podrá tomar F_E igual a 0.7 para muros interiores que soporten claros que no difieren en más de 50 por ciento. Se podrá tomar F_E igual a 0.6 para muros extremos o con claros que difieran en más de 50 por ciento, así como para casos en que la relación entre cargas vivas y cargas muertas de diseño excede de uno. Para ambos casos, se deberá cumplir simultáneamente que:

- 1) Las deformaciones de los extremos superior e inferior del muro en la dirección normal a su plano están restringidas por el sistema de piso, por dallas o por otros elementos;
- 2) La excentricidad en la carga axial aplicada es menor o igual que $t/6$ y no hay fuerzas significativas que actúan en dirección normal al plano del muro; y
- 3) La relación altura libre a espesor de la mampostería del muro, H/t , no excede de 20.

Cuando no se cumplan las condiciones del inciso 3.2.2.3.a, el factor de reducción por excentricidad y esbeltez se determinará como el menor entre el que se especifica en el inciso 3.2.2.3.a, y el que se obtiene con la ecuación siguiente:

$$F_E = \left(1 - \frac{2e'}{t}\right) \left(1 - \left(\frac{kH}{30t}\right)^2\right)$$

Donde

- H altura libre de un muro entre elementos capaces de darle apoyo lateral;
 e' excentricidad calculada para la carga vertical más una excentricidad accidental que se tomará igual a $t/24$; y
 k factor de altura efectiva del muro que se determinará según el criterio siguiente:
 $k=2$ para muros sin restricción al desplazamiento lateral en su extremo superior;
 $k=1$ para muros extremos en que se apoyan losas; y
 $k=0.8$ para muros limitados por dos losas continuas a ambos lados del muro

Resistencia a Cargas Laterales de Muros Confinados

La fuerza cortante resistente de diseño se determina con la expresión siguiente:

$$V_{mR} = F_R[(0.5v'_m A_T + 0.3P) * f] \geq 1.5F_R v'_m A_T f$$

Donde:

A_T es el área transversal del muro incluyendo a los castillos, pero sin transformar su área transversal.

La carga axial P se deberá tomar positiva en compresión y deberá considerar las acciones permanentes, variables con intensidad instantánea, y accidentales que conduzcan al menor valor y sin multiplicar por el factor de carga. Si la carga vertical P es de tensión, se despreciará la contribución de la mampostería V_{mR} .

El factor f se determinará como

$$f = \begin{cases} 1.5 & \text{si } \frac{H}{L} \leq 0.2 \\ 1.0 & \text{si } \frac{H}{L} \geq 1.0 \end{cases}$$

para los casos intermedios de H/L , se interpolará linealmente.

v. Conclusiones: Estado de riesgo estructural y estado de habitabilidad del inmueble

Para concluir la revisión numérica se le da un grado de riesgo a la estructura, así como un estado de habitabilidad.

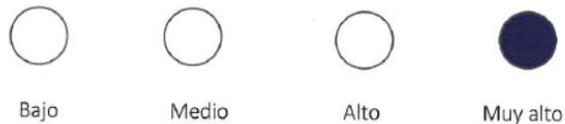
El grado de riesgo de una estructura se refiere a los daños que tengan los elementos estructurales y que ponen en riesgo a los usuarios de la estructura. El estado de habitabilidad se refiere a los daños sufridos por los elementos estructurales y que no permiten desarrollar las actividades usuales de la estructura con seguridad para los usuarios.

El riesgo estructural está ligado a los daños sufridos por los elementos estructurales y la habitabilidad al grado de servicio que el inmueble pueda dar a sus ocupantes.

Estos dos aspectos están fuertemente relacionados, es decir, el grado de riesgo estructural determina en mayor medida la habitabilidad del inmueble. Un riesgo estructural alto siempre tendrá un estado nulo de habitabilidad; sin embargo, en el caso de contar con un grado bajo de riesgo estructural la existencia de grietas en el acabado de muros, techos, ventanas rotas, etc., podría llevarnos a un estado parcial de habitabilidad.

C.- Conclusiones y recomendaciones:

➤ Estado de riesgo estructural del inmueble



➤ Estado de habitabilidad del inmueble



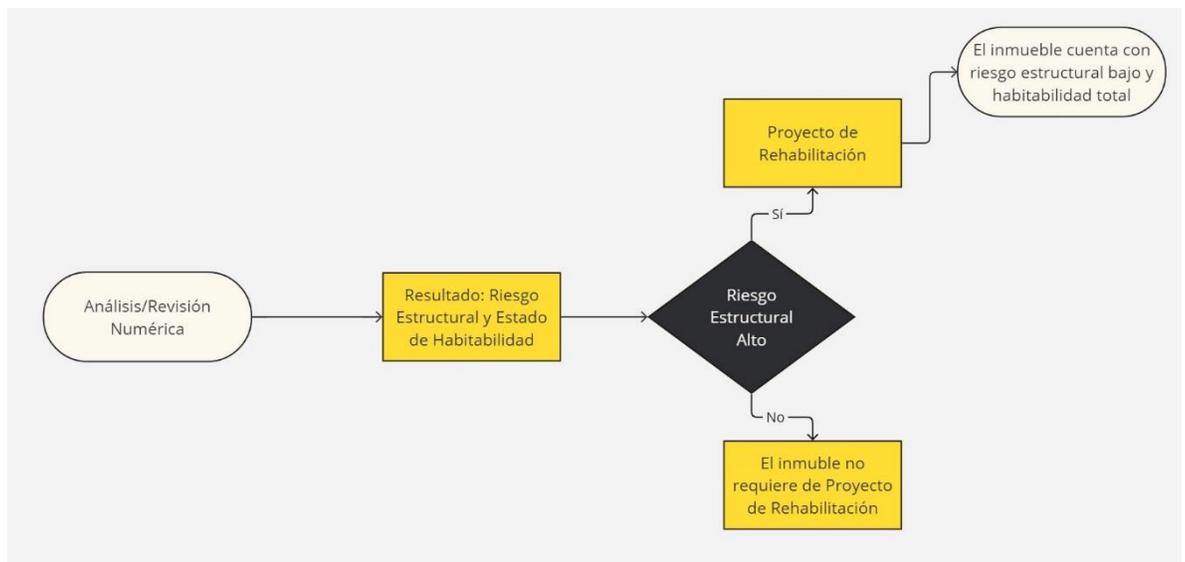
Se considera una habitabilidad parcial, debido a que el edificio no cumple con los estados límites de servicio y estados límites de falla.

*Imagen 19 Ejemplo de Conclusiones y Recomendaciones
[Fuente: Elaboración Propia]*

IV. RESULTADOS

De acuerdo con la Imagen 19, una vez determinado el riesgo y el estado de habitabilidad existen dos posibilidades:

1. El riesgo es bajo y el estado de habitabilidad es total: el inmueble no cuenta con daños en elementos estructurales ni en elementos no estructurales. Los inmuebles con estos resultados pueden ser utilizados sin poner en riesgo a los ocupantes y no necesitan de un proyecto de rehabilitación.
2. Riesgo medio/alto y estado parcial/nulo: el inmueble requiere de un proyecto de rehabilitación; el proyecto de rehabilitación tiene como objetivo que la estructura obtenga un riesgo estructural bajo y habitabilidad total.



*Figura 2 Metodología Empleada para la Rehabilitación de Inmuebles
[Fuente: Elaboración Propia]*

iii. Proyecto de Rehabilitación

Toda la información recopilada y procesada en la revisión numérica debe ser considerada en el proceso de rehabilitación.

La rehabilitación depende de dos factores fundamentales:

1. Uso del inmueble: la propuesta de rehabilitación no puede estorbar a los trabajos que se realizaban en el inmueble, así como intentar que la solución vaya a conde con la arquitectura del inmueble.

2. El sistema constructivo: con base al sistema con el que se cuenta, se propondrá una solución que nos permita reparar los daños existentes y/o agregar elementos estructurales que nos den un riesgo estructural bajo; esta solución debe considerar factores prácticos, económico y procesos constructivos.

Material del Sistema Constructivo Actual	Material de la Propuesta de Reforzamiento
Concreto Armado	Concreto Armado y/o Acero
Acero	Acero
Mampostería	Concreto y/o Mampostería

Tabla 8 Compatibilidad de Materiales Propuesta [Fuente: Elaboración Propia]

En la Tabla 8 se muestran los materiales que se recomienda para el reforzamiento estructural de los diversos sistemas constructivos que generalmente se encuentran en las escuelas de nivel básico/normal. No significa que son todas las posibles combinaciones o que no existan mayores opciones de reforzamiento, pero es importante proponer propuestas eficientes y prácticas.

Pongamos por ejemplo una estructura a base de marcos de concreto cuyas distorsiones no cumple con las NTC Sismo 2017 y que pretendemos reforzar con contraventeos de acero. Se tendría que asegurar que los elementos de acero sean suficientemente rígidos para aportar rigidez lateral al cuerpo y/o que las conexiones puedan resistir las demandas. Podríamos proponer muros de concreto/mampostería en el sentido que sea necesario, pero se tendría que asegurar que los muros no obstruyan el paso de la luz o el paso de los ocupantes.

Las decisiones tomadas para el reforzamiento deberán ser tal que consideren la parte estructural de la estructura y de servicio.

A pesar de que la solución deba respetar los puntos dichos anteriormente, la seguridad estructural tiene prioridad sobre cualquier aspecto y es el objetivo final de la rehabilitación, cumpliendo con las demandas de las NTC y el Reglamento de Construcción de la CDMX.

Podemos clasificar a la rehabilitación de acuerdo al estado de servicio o de falla

- Falta de rigidez lateral y distorsiones excesivas: la solución es aumentar la rigidez en el sentido que sea necesario.
- Falta de capacidad resistente: la solución aumentar tamaño de secciones o distribuir los esfuerzos en más elementos estructurales.

V. CONCLUSIONES

De acuerdo al Reglamento de las CDMX después del Sismo ocurrido el 19 de septiembre del 2017 fue necesario que las estructuras pertenecientes al Grupo A fueran sometidas a una evaluación estructural y a una posible rehabilitación. Se analizaron 80 planteles sumando más de 200 cuerpos con base a las Normas Técnicas Complementarias en su versión 2017 y el Reglamento de Construcción de la Ciudad de México.

La evaluación estructural tuvo como objetivo determinar el riesgo de seguridad estructural de las estructuras, así como el estado de habitabilidad; si la estructura contaba con un riesgo estructural alto fue necesario llevar a cabo un proyecto de rehabilitación.

El proyecto de rehabilitación tiene como objetivo darle a la estructura un riesgo estructural bajo y habitabilidad total; se deberá tener en cuenta los siguientes factores: compatibilidad de sistemas constructivos, practicidad, costos y uso que la estructura tenga.

BIBLIOGRAFÍA/REFERENCIAS

- La Ley para la Reconstrucción, Recuperación, y Transformación de la Ciudad de México en una cada vez más Resiliente, Administración Pública de la Ciudad de México, 01 de diciembre de 2017. Recuperado de: <http://www.aldf.gob.mx/archivo-05ef73e68fe4de6ce1dfff11c3588fde.pdf>
- Ley General de la Infraestructura Física Educativa, Presidencia de la República, México, 01 de febrero de 2008, Artículos 13 y 14, última reforma publicada DOF 07-05-2014, recuperado de: <http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGIFE.pdf>
- Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal, Gobierno de la Ciudad de México, México, 22 de abril de 2022, art. 32, art. 34, art. 36 fracc. I, art. 38 fracc. I inciso d), art. 39 fracc. I, incisos b) y c), art. 68, art. 69, art. 71, art. 73, art. 139 fracc. I, art. 177, fracc IV, y art. 233. Última reforma publicada GOCM 15-diciembre-2017, recuperado de: <https://www.smig.org.mx/archivos/NTC2017/normas-tecnicas-complementarias-reglamento-construcciones-cdmx-2017.pdf>
- Norma Técnica Complementaria Diseño por Sismo, Gobierno de la Ciudad de México, México, 9 de junio de 2020. Recuperado de: https://data.consejeria.cdmx.gob.mx/portal_old/uploads/gacetas/1d5e89dc4af705e74147078a93484290.pdf
- Norma Técnica Complementaria Diseño y Construcción de Estructuras de Acero, Gobierno de la Ciudad de México, México, 7 de julio de 2020. Recuperado de: https://data.consejeria.cdmx.gob.mx/portal_old/uploads/gacetas/a11631ea8e8c9b38163ef86a3b95ad7a.pdf
- Norma Técnica Complementaria Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto, Gobierno de la Ciudad de México, México, 20 de julio de 2021. Recuperado de: <http://www3.contraloriadf.gob.mx/prontuario/resources/normatividad/69247.pdf>
- Norma Técnica Complementaria Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería, Gobierno de la Ciudad de México, México, 19 de octubre de 2020. Recuperado de: <https://www.smie.org.mx/archivos/informacion-tecnica/normas-tecnicas-complementarias/normas-tecnicas-complementarias-diseno-construccion-estructuras-mamposteria-19-octubre-2020.pdf>
- Norma Técnica Complementaria criterios y acciones para el Diseño Estructural de las edificaciones, Gobierno de la Ciudad de México, México, 15 de diciembre de 2017. Recuperado de: <https://www.smig.org.mx/archivos/NTC2017/normas-tecnicas-complementarias-reglamento-construcciones-cdmx-2017.pdf>
- Norma Técnica Complementaria para la Revisión de la Seguridad Estructural de las Edificaciones, Gobierno de la Ciudad de México, México, 15 de diciembre de 2017. Última reforma publicada GOCM 15-diciembre-2017, recuperado de: <https://www.smig.org.mx/archivos/NTC2017/normas-tecnicas-complementarias-reglamento-construcciones-cdmx-2017.pdf>
- Norma Mexicana NMX-R-021-SCFI-2013. Escuelas-Calidad de la infraestructura física educativa-Requisitos. Secretaría de Economía. México, 2013. Sección 9.
- Norma Mexicana NMX-R-079-SCFI-2015. Escuelas-Seguridad Estructural de la Infraestructura Física Educativa-Requisitos. Secretaría de Economía. México, 2013.

- Proyecto de Norma Mexicana PROY-NMX-R-084-SCFI-2015. Escuelas-Levantamiento de Datos para el Diagnóstico de la Infraestructura Física Educativa-Directrices Y Requisitos. Secretaría de Economía. México, 2013.
- Meli Piralla, R. (2000). Diseño estructural. Editorial Limusa.

ANEXOS

A continuación, se presentan un ejemplo práctico de la metodología descrita en este trabajo. Solo se muestra el análisis y proyecto de rehabilitación de uno de los cuerpos de uno de los planteles trabajados.

Ubicación del Inmueble: Callejón de Mesones 1, Colonia Centro, Alcaldía Cuauhtémoc, Ciudad de México.

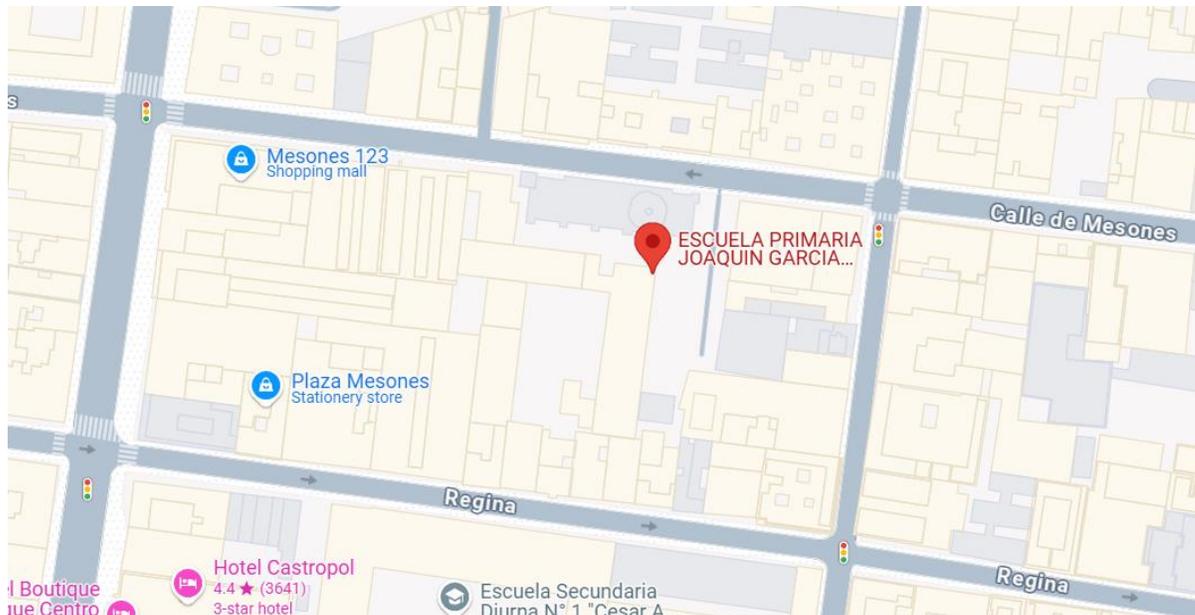


Imagen 20 Ubicación en Google Maps [Fuente: Google Maps]

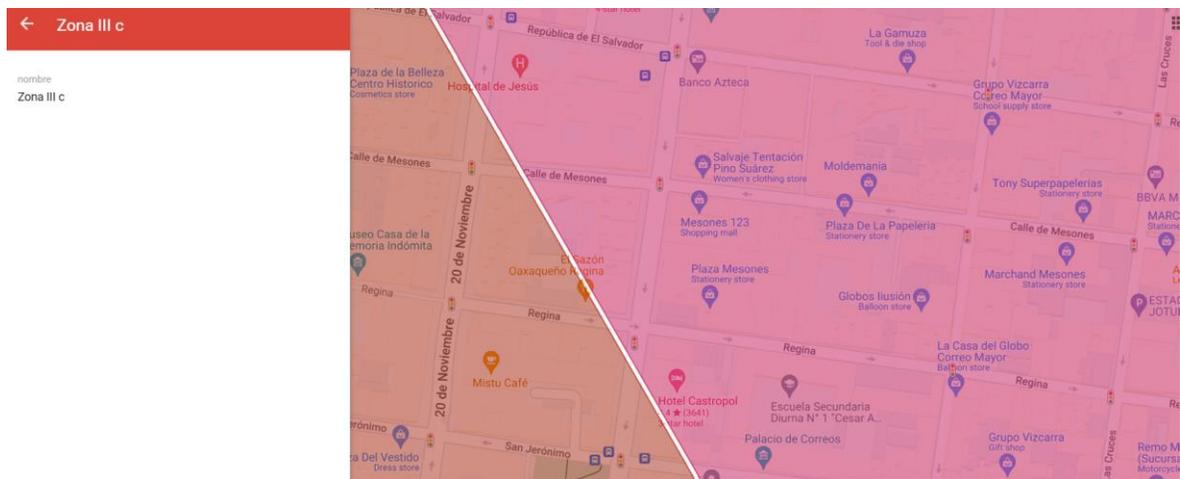


Imagen 21 Ubicación del Inmueble dentro de la Zonificación Geotécnica de la CDMX [Fuente: DAMPO]

Resultados de la Primera Inspección:



Fotografía 5 Fotografías del Plantel [Fuente: Elaboración Propia]

Una vez realizada la primera visita, se procedió a realizar la descripción de la estructura. Lo más importante es identificar el sistema constructivo.

- Cuerpo 4

Descripción del cuerpo

Estructuración: A base de marcos rígidos híbrida con columnas de concreto armado y traveses metálicas de diferentes medidas, usando losa maciza de concreto armado					
Elementos	Posición	Tipo	Descripción		
Estructurales	Vertical	Columnas	C1 de 30X45 cm		
		Castillos	-		
		Muros	Concreto de 15 cm de espesor		
		Otros	-		
	Horizontal	Traveses/vigas	T1 de acero de 10X20 cm T2 de acero de 15X38 cm T3 de acero de 15X26 cm		
		Cadenas	-		
		Sistema de piso	Losa maciza de concreto armado de 10 cm de espesor		
		Otros	-		
		No estructurales	Vertical	Castillo	-
				Muro	De tabique extruido de 12 cm
Cancel	De aluminio con cristal de 6 mm				
Otros	-				
Horizontal	Cadena		De concreto reforzado de 12 cm		
	Larguero		-		
		Otros	-		

Tabla 9 Descripción de la Estructura [Fuente: Elaboración Propia]

Las pruebas en campo se realizaron anteriormente a la primera inspección. Al contar con un sistema a base de marcos de concreto armado y muros de concreto en la dirección longitudinal es de principal interés la resistencia del concreto a compresión y el módulo de elasticidad del concreto.

EMPRESA				MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO DE CONCRETO HIDRÁULICO			
CLIENTE: SEP				OBRA: PRIMARIA JOSÉ JOAQUÍN ICAZBALCETA			
DIRECCIÓN: CDMX							
FECHA DE COLADO:	FECHA DE ENSAYE:	2018-05-29	FECHA DE INFORME:	1900-01-00	EDAD DE ENSAYE:	---	
RESULTADOS OBTENIDOS							
RESISTENCIA A COMPRESIÓN (kg/cm ²) DURANTE ENSAYE DE M. ELÁSTICO				MÓDULO DE ELÁSTICO ESTÁTICO (kg/cm ²)			
247				156064			
MÓDULO ELÁSTICO							
MÉTODOS DE PRUEBA: NMX-C-085 NMX-C-109 NMX-C-126 EQUIPO EMPLEADO: ANILLOS METÁLICOS Y MEDIDORES DE 3031 mm							
REFERENCIA: Normas técnicas complementarias para diseño y construcción de estructuras de concreto, en el D.F. (Sección 14.3.4.2. N.E.)							
OBSERVACIONES:							
CONFORME A LA REFERENCIA: $E=8500\sqrt{f_c+54000}$ = #VALOR! kg/cm ²				INFORME:			
EFE DE LABORATORIO:				RECIBÍÓ:			
JEFES DE LABORATORIO							
<small>PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN PARCIAL DE ESTE INFORME, Y SOLO SE PUEDE REALIZAR LA COPIA DEL TODO SU CONTENIDO (S) A PRECIO DE \$100.00 (CIENTO PESOS) POR COPIA. FOLIO 1 DE 1.</small>							

Material	Concepto	Simbología	Valor	Unidad
Concreto	Resistencia del concreto a compresión	f'_c	247	Kg/cm ²
	Módulo de elasticidad del concreto	E_c	156,064	Kg/cm ²
Acero	Esfuerzo de fluencia del acero de refuerzo estructural	f_y	4,200.00	Kg/cm ²

Tabla 10 Propiedades Estructurales de los Materiales: Concreto y Acero de Refuerzo
[Fuente: Elaboración Propia]

Calidad de la mampostería		
	Resistencia a compresión de mampostería	Resistencia a compresión diagonal para diseño de la mampostería
Unidad	kg/cm ²	kg/cm ²
Simbología	f' m	v' m
Tabique macizo de arcilla artesana	15	2
Tabique de arcilla extruido	20	2
Bloqueo de concreto	15	2
Tabique de concreto (tabicón)	15	2

Duración de la carga		
Material de mampostería	Corta	Sostenida
Arcilla y otros	Em=600f' m	Em=350f' m
Concreto	Em=800f' m	Em=350f' m

Tabla 11 Propiedades Estructurales de los Materiales: Mampostería
[Fuente: Elaboración Propia]

Mediante la ubicación de la estructura, la determinación del factor de Hiperestaticidad, el factor de irregularidad y el factor sísmico (Q), definimos el espectro de diseño:

Factor de sobre-resistencia

De acuerdo con el numeral 3.5 de las NTC-Sismo, se consideró un factor básico de sobre-resistencia, R_0 , $R_0 = 1.75$ para sistemas de concreto, acero o compuestos a los que se les asigna Q menor a 3 según las reglas establecidas en el Capítulo 4 de las NTC-Sismo.

Factor de hiperestaticidad

De acuerdo con el numeral 3.5 de las NTC-Sismo, se consideró el factor de hiperestaticidad $k_1 = 0.8$ debido a que es un sistema estructural de marcos de concreto reforzado y muros de mampostería que tiene tres crujías en la dirección longitudinal pero una sola en dirección transversal en la dirección del análisis.

Condiciones de Regularidad

Es necesario conocer las características desde el punto de vista de regularidad estructural con el fin de poder clasificar el sistema estructural para el análisis estructural.

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 un elemento sismo-resistente paralelo a uno de los ejes ortogonales cuando el ángulo que forma en planta con respecto a dicho eje no excede 15 grados.	Sí
2. La relación de altura a la dimensión menor de su base no es mayor que cuatro.	Sí
3. La relación de largo a ancho de la base no es mayor que cuatro.	Sí

Estructura	Base (B) m	Long. (L) m	Altura (H)m	Relación H / B	Relación L / B	
CUERPO 4	8.0	18.0	3.2	0.4	2.3	

4. En planta no tiene entrantes ni salientes de dimensiones mayores que 20% de la dimensión de la planta medida paralelamente a la dirección en que se considera el entrante o saliente.	Sí																				
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.	Sí																				
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.	Sí																				
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.	Sí																				
8. En cada dirección, ningún piso tiene una dimensión en planta mayor que el 110 por ciento de la del piso inmediato inferior. Además, ningún piso tiene una dimensión en planta mayor que 125 por ciento de la menor de las dimensiones de los pisos inferiores en la misma dirección.	Sí																				
9. Todas las columnas están restringidas en todos los pisos en las dos direcciones de análisis por diafragmas horizontales o por vigas. Por consiguiente, ninguna columna pasa a través de un piso son estar ligada con él.	Sí																				
10. Todas las columnas de cada entrepiso tienen la misma altura, aunque puede variar de un piso a otro. Se exime de este requisito al último entrepiso de la construcción.	Sí																				
11. La rigidez lateral de ningún entrepiso difiere en más del 20 por ciento de la del entrepiso inmediatamente inferior. El último entrepiso queda excluido de este requisito.	Sí																				
12. En ningún entrepiso el desplazamiento lateral de algún punto de la planta excede en más del 20 por ciento el desplazamiento lateral promedio de los extremos de esta.	Sí																				
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="5">CONDICIÓN DE REGULARIDAD 12</th> </tr> <tr> <th>SISMO</th> <th>NIVEL</th> <th>DESPLAZAMIENTO MÁXIMO (m)</th> <th>DESPLAZAMIENTO PROMEDIO (m)</th> <th>DESPLAZAMIENTO MÁXIMO Y PROMEDIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>DIR. X</td> <td>AZOTEA</td> <td>0.00082</td> <td>0.00079</td> <td>1.04</td> </tr> <tr> <td>DIR. Y</td> <td>AZOTEA</td> <td>0.00044</td> <td>0.00041</td> <td>1.08</td> </tr> </tbody> </table>		CONDICIÓN DE REGULARIDAD 12					SISMO	NIVEL	DESPLAZAMIENTO MÁXIMO (m)	DESPLAZAMIENTO PROMEDIO (m)	DESPLAZAMIENTO MÁXIMO Y PROMEDIO	DIR. X	AZOTEA	0.00082	0.00079	1.04	DIR. Y	AZOTEA	0.00044	0.00041	1.08
CONDICIÓN DE REGULARIDAD 12																					
SISMO	NIVEL	DESPLAZAMIENTO MÁXIMO (m)	DESPLAZAMIENTO PROMEDIO (m)	DESPLAZAMIENTO MÁXIMO Y PROMEDIO																	
DIR. X	AZOTEA	0.00082	0.00079	1.04																	
DIR. Y	AZOTEA	0.00044	0.00041	1.08																	
13. En sistemas diseñados para Q de 4, en ningún entrepiso el cociente de la capacidad resistente a 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.	Sí																				

Tabla 12 Condiciones de Regularidad [Fuente: Elaboración Propia]

La estructura cumple con los requisitos, por lo que será considerada para fines de análisis estructural como ESTRUCTURA REGULAR y el espectro de diseño no se afectará según el capítulo 5.5

Así mismo, de acuerdo al factor de comportamiento sísmico se selecciona las distorsiones permisibles para estructuras de concreto para la condición de seguridad contra colapso y la limitación de daño ante sismo frecuentes:

Tabla 4.2.1 Factores de comportamiento sísmico y distorsiones límite para estructuras de concreto⁽¹⁾

Estructuración	Ductilidad	Condición	Q	γ_{max}
i) Marcos	Alta	----	4.0	0.030
	Media	----	3.0	0.020
	Baja	----	2.0	0.015
iii) Sistema dual ^(a) formado por marcos y muros de concreto ^{(2),(3)}	Alta	Con muros de concreto de ductilidad alta	4.0	0.020
	Media	Con muros de concreto de ductilidad media	3.0	0.015
	Baja	Con muros de concreto de ductilidad baja	2.0	0.010

^(a) Se entiende por sistema dual aquel cuya resistencia a sismo queda aportada por el trabajo conjunto de marcos y muros o contravientos. Los diferentes componentes del sistema dual deben quedar interconectados por medio de diafragmas horizontales rígidos que cumplan con el inciso 2.7.1.

⁽²⁾ Los marcos en estos sistemas duales deberán ser capaces de resistir en cada entrepiso, sin contar con la contribución de los contravientos o muros, por lo menos 30 por ciento de la fuerza cortante actuante. Los marcos deben ser detallados para obtener el mismo nivel de ductilidad que los muros o contravientos.

⁽³⁾ En caso de que los sistemas estructurales utilicen muros, los valores de γ_{max} podrán incrementarse en 0.005 cuando la relación de aspecto (cociente entre la altura y dimensión en planta) de todos los muros sea igual o mayor que 4. En caso de que se utilicen contravientos metálicos, la relación de aspecto para considerar dicho incremento debe considerar la dimensión en planta de la crujía o crujías que hayan sido contra venteadas en forma consecutiva y de manera continua en altura.

Tabla 4.2.3 Factores de comportamiento sísmico y distorsiones límite para estructuras de mampostería⁽¹⁾

Estructuración	Q	γ_{max}
Muros de carga de mampostería confinada de piezas macizas	2.0	0.005
Muros diafragma	⁽³⁾	⁽⁴⁾

⁽³⁾ Cuando los muros sean parte de marcos o de estructuras que no puedan resistir al menos 70 por ciento de la carga lateral sin tomar en cuenta la resistencia de los muros, la ductilidad será de acuerdo con el tipo de mampostería utilizada en el muro diafragma. En caso contrario, podrá usarse el valor de Q asignado a los marcos o la estructura.

⁽⁴⁾ Se tomará de acuerdo con el tipo de mampostería utilizada.

Las distorsiones máximas de entrepiso correspondientes a la condición de limitación de daño ante sismos frecuentes como lo especifica el numeral 1.8 a) de las NTC-DS del RCDF-17 en la que se consideró un valor de 0.002 se muestran en la tabla 12.



ESPECTRO ELÁSTICO DE DISEÑO

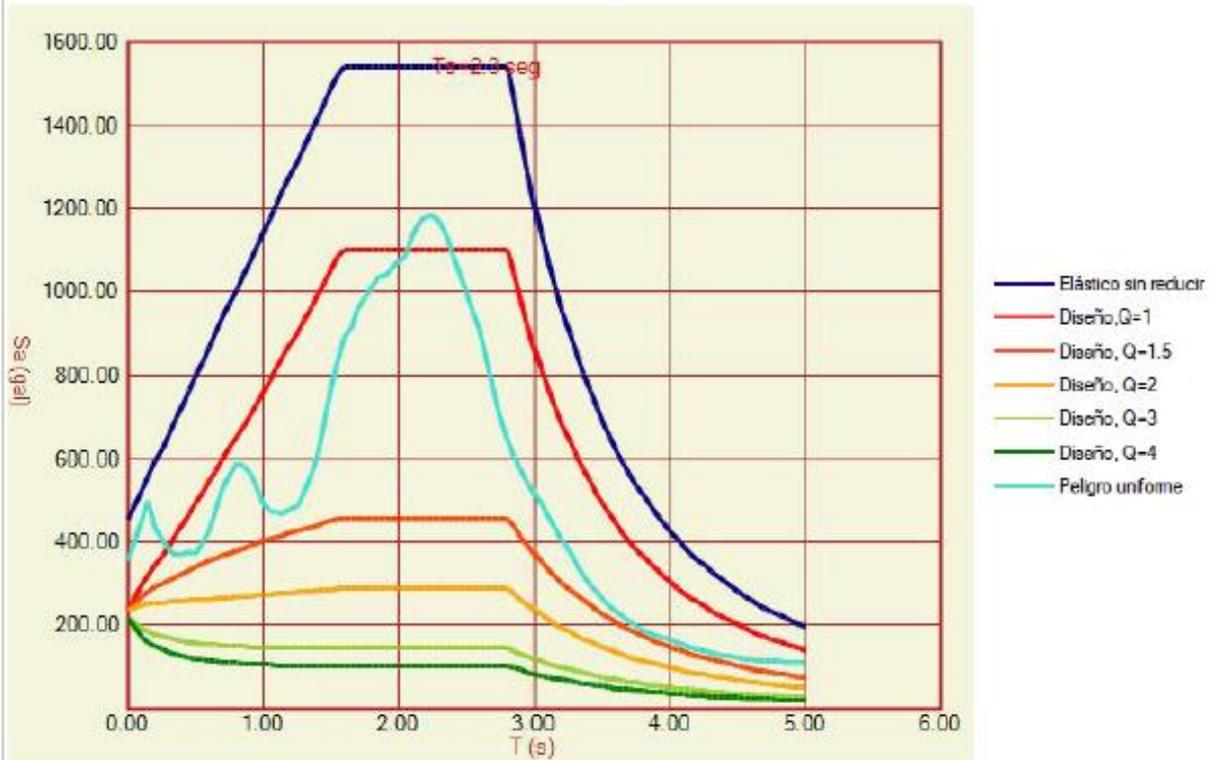
Solicitado por: José Pabbló Briseño Suárez
Correo electrónico: brisenosuarez@gmail.com

Folio: NTCDS-CDMX-2023-37-23969
Fecha de generación: 10/11/2023 14:46

Ubicación: Latitud: 19.427895782460862, Longitud: -99.13119817345053
Dirección del predio: Segundo, Mesones 1, Centro, Cuauhtémoc, 06000 Ciudad de México, CDMX



Factor de hiperestaticidad.k1	Factor de importancia (Grupo)	Factor de irregularidad	Estructura de mampostería
0.80	A2	1.0	No



$a_0 = 350$ $c = 1184$ $T_a = 1.8$ $T_b = 2.8$ $k = 0.126$

Imagen 22 Espectro de Diseño obtenido del SASID 2020
 [Fuente: SASID 2020]

Antes de comenzar con el modelado, se proponen las cargas muertas presentes en la estructura y se seleccionan las cargas vivas:

Cuerpo 1 a 5		
Concepto	Entrepiso (maciza h=10)	Azotea (maciza h=10)
Sistema de piso	240	240
Instalaciones	5	5
Plafón	15	15
Acabados	40	-
Impermeabilizante	-	150
Sobrecarga	40	40
Total	340	450

Tabla 13 Análisis de Cargas Muertas [Fuente: Elaboración Propia]

Tipo de Carga	Aulas	Pasillo/Escalera	Azotea con pendiente		Unidad
			>5%	<5%	
Carga viva máxima	250	350	100	40	kg/m ²
Carga viva media	100	40	15	5	kg/m ²
Carga viva instantánea	180	150	70	20	kg/m ²

Tabla 14 Cargas Vivas seleccionadas de las NTC Criterios y Acciones [Fuente: Elaboración Propia]

Combinaciones de Cargas:

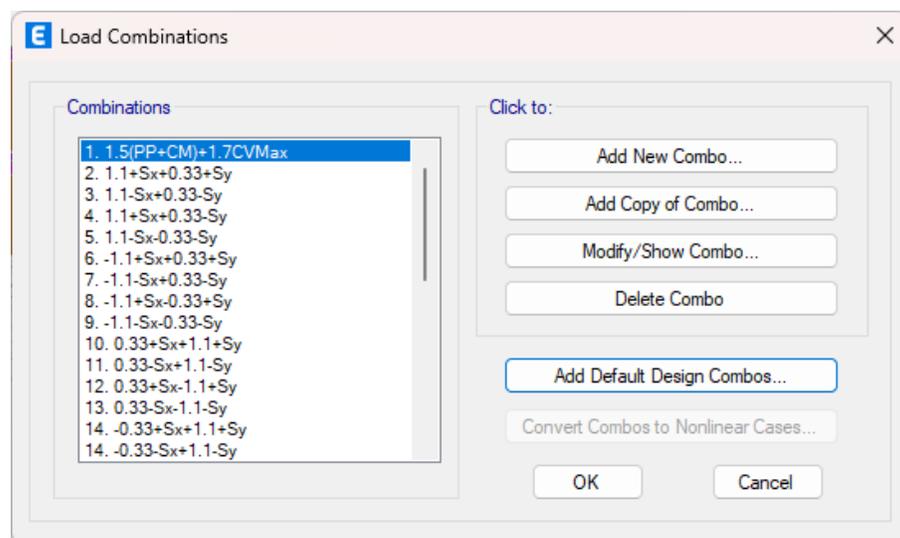


Imagen 23 Combinaciones de Cargas ETABS [Fuente: Elaboración Propia]

Una vez que se cuenta con la información, se procede al modelado. Para este trabajo se utilizó el software ETABS en su versión 19.0.0:

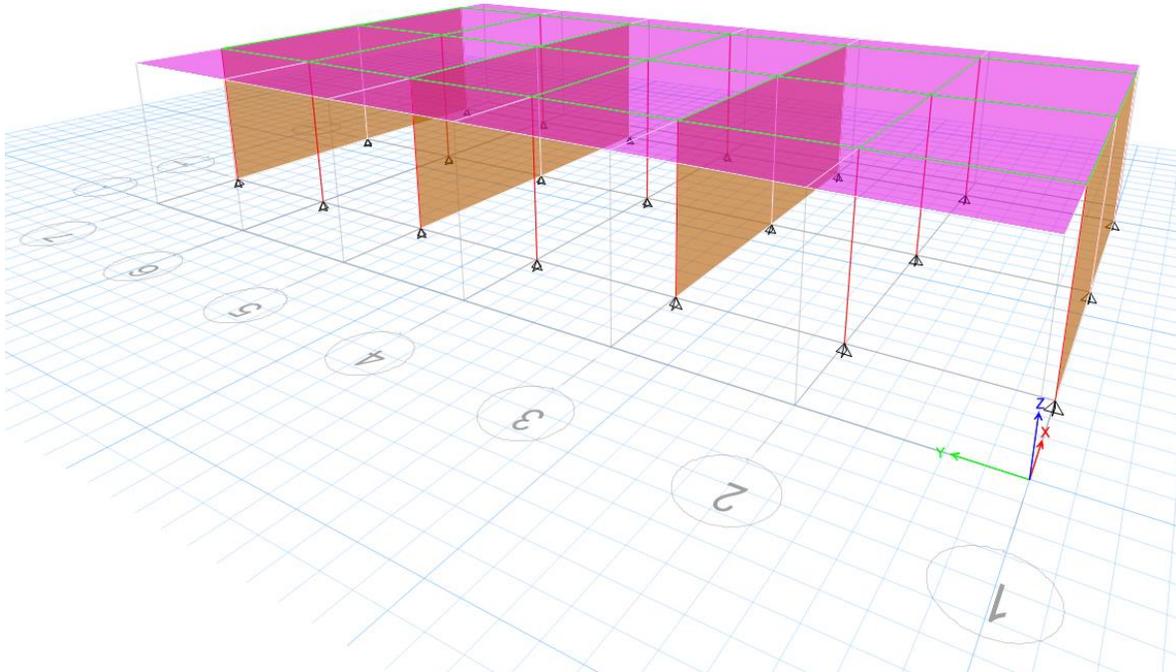


Imagen 24 Modelo Tridimensional de la Estructura
[Fuente: Elaboración Propia]

Case	Mode	Period sec	UX	UY
Modal	1	0.466	0	1
Modal	2	0.111	1	0
Modal	3	0.107	0	0
Modal	4	0.03	1	0
Modal	5	0.022	0	0
Modal	6	0.021	1	0
Modal	7	0.016	1	0
Modal	8	0.016	0	0
Modal	9	0.015	0	0
Modal	10	0.015	1	0
Modal	11	0.014	0	0

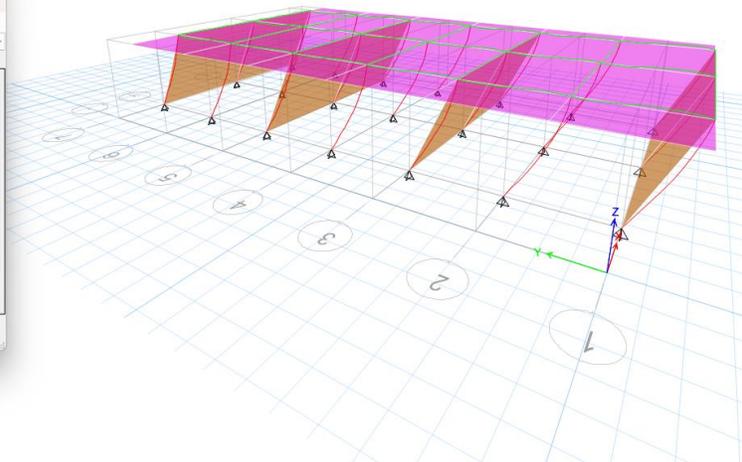


Imagen 25 Modos de Vibrar de la Estructura
[Fuente: Elaboración Propia]

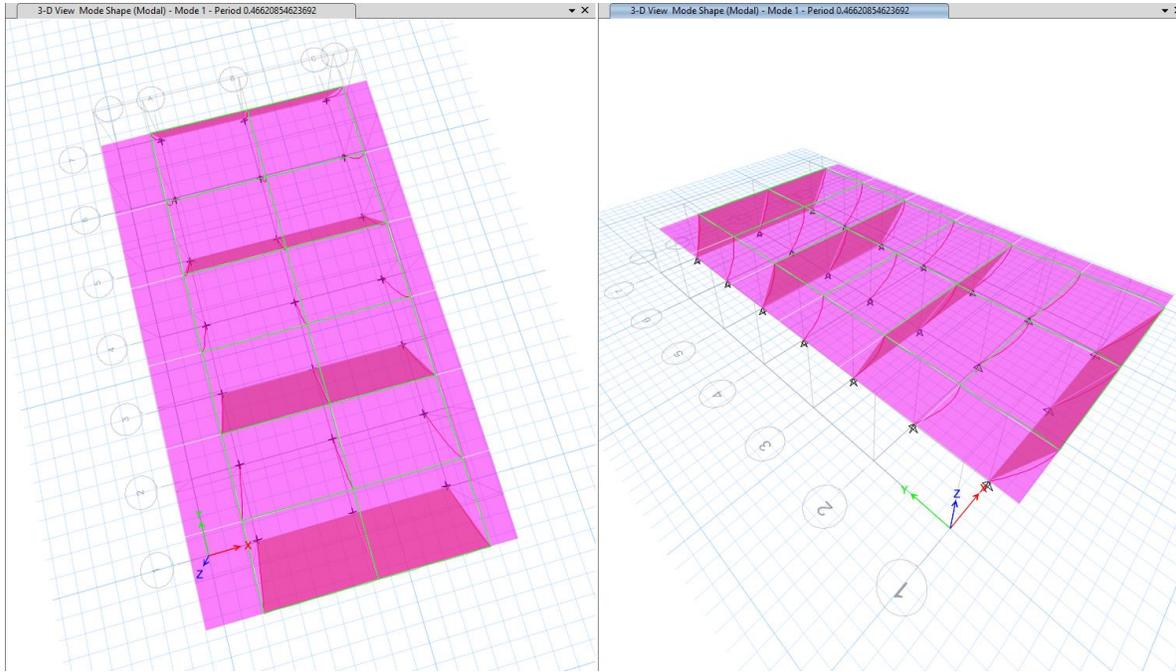


Imagen 26 1° Modo de Vibrar | Longitudinal
 [Fuente: Elaboración Propia]

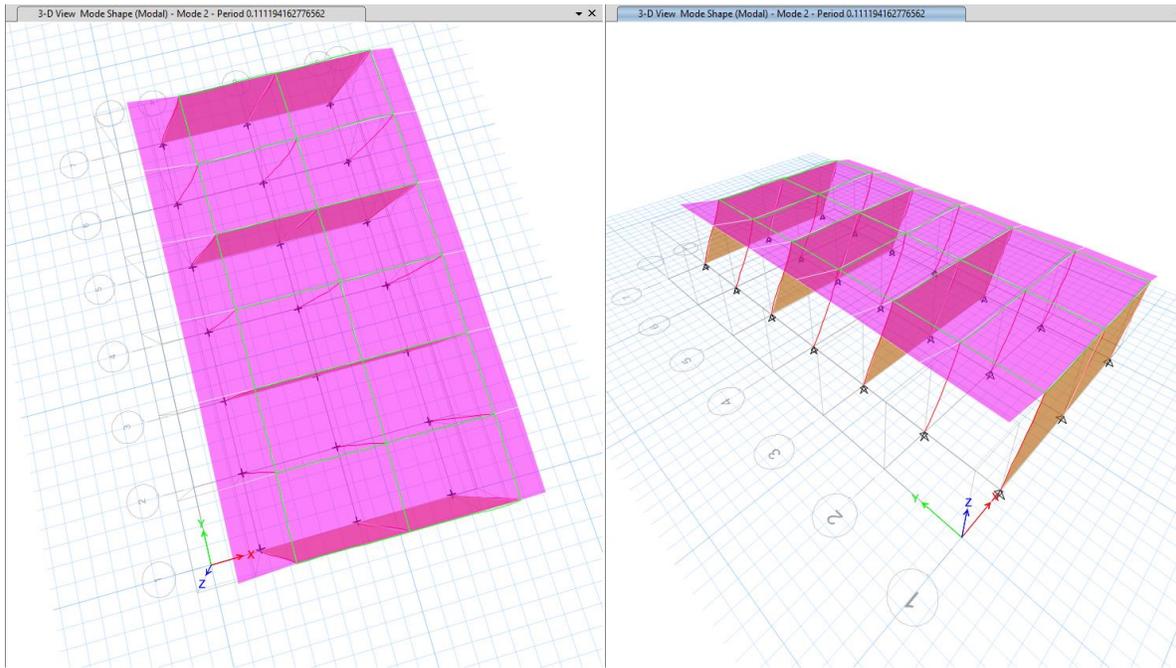


Imagen 27 2° Modo de Vibrar | Transversal
 [Fuente: Elaboración Propia]

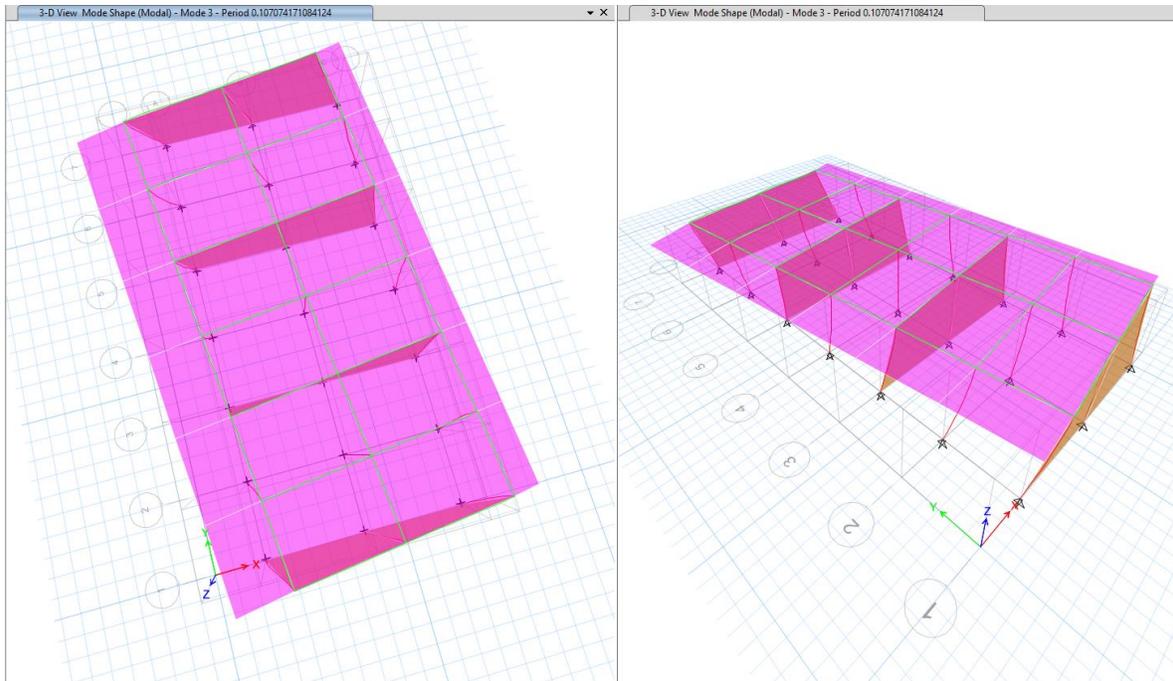


Imagen 28 3° Modo de Vibrar | Rotacional [Fuente: Elaboración Propia]

Revisión de Distorsiones:

DISTORSIONES DE ENTREPISO (CONDICIÓN DE SEGURIDAD CONTRA COLPASO)											
SISMO	NIVEL	Q	R	DISTORSIÓN ANÁLISIS		DISTORSIÓN REAL		DISTORSIÓN ADMISIBLE		CONDICIÓN	
				DIR. X	DIR. Y	DIR. X	DIR. Y	DIR. X	DIR. Y	DIR. X	DIR. Y
DIR. X	AZOTEA	2.00	1.77	0.08200	0.00400	0.2901	0.0142	0.005	0.015	NO CUMPLE	CUMPLE
DIR. Y	AZOTEA	2.00	1.63	0.00002	0.00455	0.0001	0.0148	0.005	0.015	CUMPLE	CUMPLE

Tabla 15 Distorsiones Máximas de Entrepiso en la condición de Seguridad Contra Colapso [Fuente: Elaboración Propia]

DISTORSIONES DE ENTREPISO (CONDICIÓN DE LIMITACIÓN DE DAÑO ANTE SISMOS FRECUENTES)												
SISMO	NIVEL	Q'	R	Ks	DISTORSIÓN ANÁLISIS		DISTORSIÓN REAL		DISTORSIÓN ADMISIBLE		CONDICIÓN	
					DIR. X	DIR. Y	DIR. X	DIR. Y	DIR. X	DIR. Y	DIR. X	DIR. Y
DIR. X	AZOTE A	1.19	1.77	0.25	0.08200	0.00400	0.0433	0.0021	0.002	0.002	NO CUMPLE	NO CUMPLE
DIR. Y	AZOTE A	1.83	1.63	0.25	0.00002	0.00455	0.0000	0.0034	0.002	0.002	CUMPLE	NO CUMPLE

Tabla 16 Distorsiones Máximas de Entrepiso en la Condición de Limitación de Daño ante Sismo Frecuentes [Fuente: Elaboración Propia]

Conclusiones de la Evaluación Estructural (Estado Actual)

Las conclusiones siguientes son considerando una carga viva con destino de uso para aulas y que el edificio se encuentre completamente ocupado. Con respecto a los Estados Límite se puede concluir lo siguiente:

Del análisis realizado, se determinó que ciertos elementos estructurales no cumplen con las resistencias que marca la normativa vigente, por lo que deben ser reforzados a la brevedad, con la finalidad de obtener un mejor comportamiento estructural y evitar sobrepasar los estados límite.

En el caso de la limitación de daño para sismos frecuentes, la respuesta estructural del Edificio excede el límite permisible máximo en la dirección longitudinal.

Con respecto al nivel de seguridad contra colapso, la respuesta estructural del Edificio excede el límite permisible máximo en la dirección longitudinal.

Dada esta situación, y considerando que los resultados de las pruebas experimentales de los materiales, se debe plantear un proyecto de rehabilitación a fin de mejorar el comportamiento estructural del inmueble.

Cuerpo	Prioridad de atención			
1	<input type="radio"/> Baja	<input type="radio"/> Media	<input checked="" type="radio"/> Alta	<input type="radio"/> Muy Alta
2	<input type="radio"/> Baja	<input type="radio"/> Media	<input checked="" type="radio"/> Alta	<input type="radio"/> Muy Alta
3	<input type="radio"/> Baja	<input type="radio"/> Media	<input checked="" type="radio"/> Alta	<input type="radio"/> Muy Alta
4	<input type="radio"/> Baja	<input type="radio"/> Media	<input checked="" type="radio"/> Alta	<input type="radio"/> Muy Alta
5	<input type="radio"/> Baja	<input type="radio"/> Media	<input checked="" type="radio"/> Alta	<input type="radio"/> Muy Alta

Propuesta de Proyecto de Rehabilitación

La propuesta de Rehabilitación estructural es la siguiente:

- Adición de muros de concreto reforzado de 15 cm de espesor en la dirección longitudinal. De este modo se aumenta la resistencia de esos elementos estructurales para mejorar el comportamiento ante cargas laterales debidas a sismo.

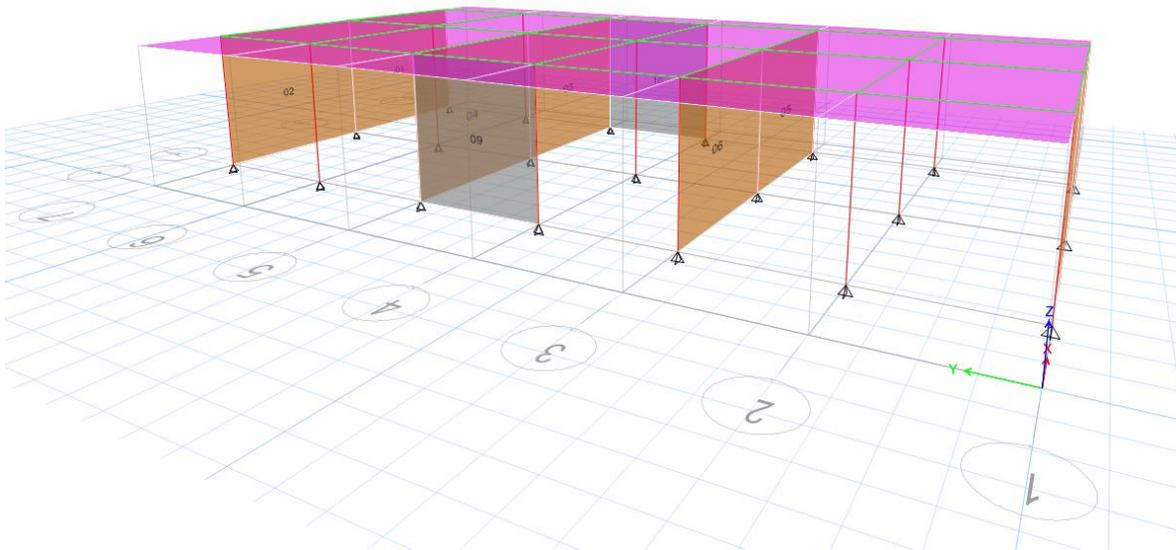


Imagen 29 Modelo Tridimensional del Cuerpo Rehabilitado
[Fuente: Elaboración Propia]

Case	Mode	Period sec	UX	UY
Modal	1	0.112	0.9992	5.899E-06
Modal	2	0.096	3.023E-05	0.3996
Modal	3	0.081	1.396E-06	0.5988
Modal	4	0.03	0.0007	2.338E-05
Modal	5	0.022	1.409E-06	0
Modal	6	0.021	0	0.0004
Modal	7	0.016	5.26E-07	3.528E-05
Modal	8	0.016	0	0.0002
Modal	9	0.015	0	1.718E-05
Modal	10	0.015	0	3.604E-06
Modal	11	0.014	0	3.639E-05
Modal	12	0.013	2.677E-06	7.132E-07

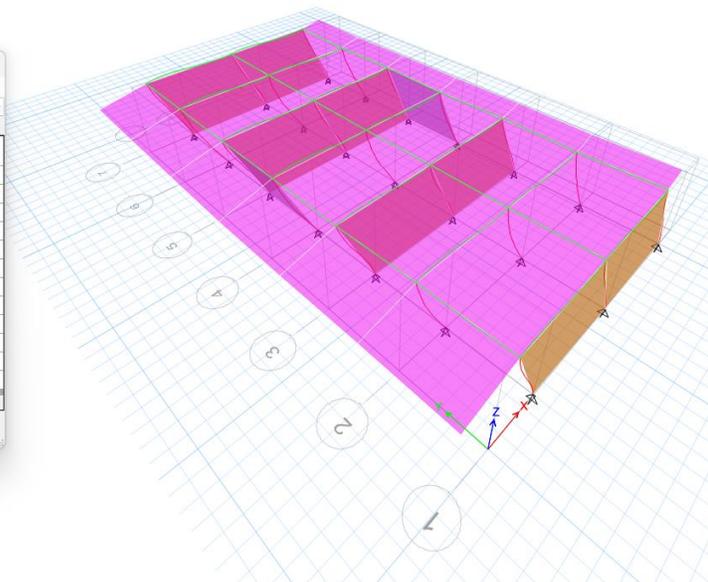


Imagen 30 Modos de Vibrar de la Estructura
[Fuente: Elaboración Propia]

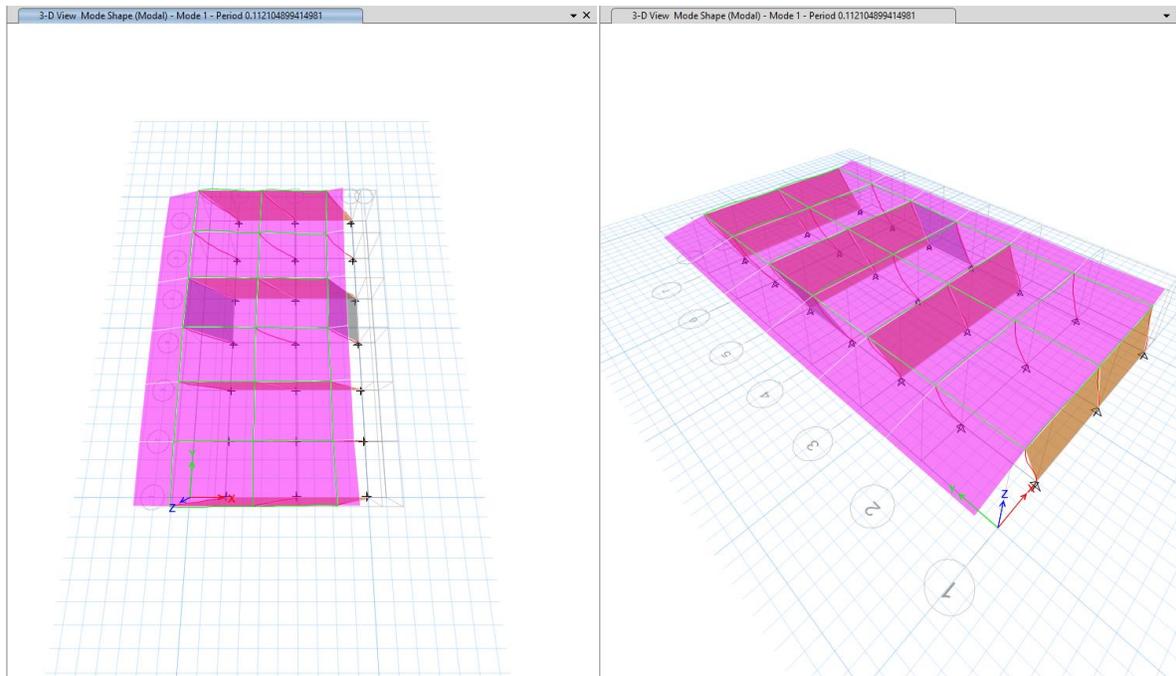


Imagen 31 Modo de Vibrar Cuerpo Rehabilitado | Transversal
[Fuente: Elaboración Propia]

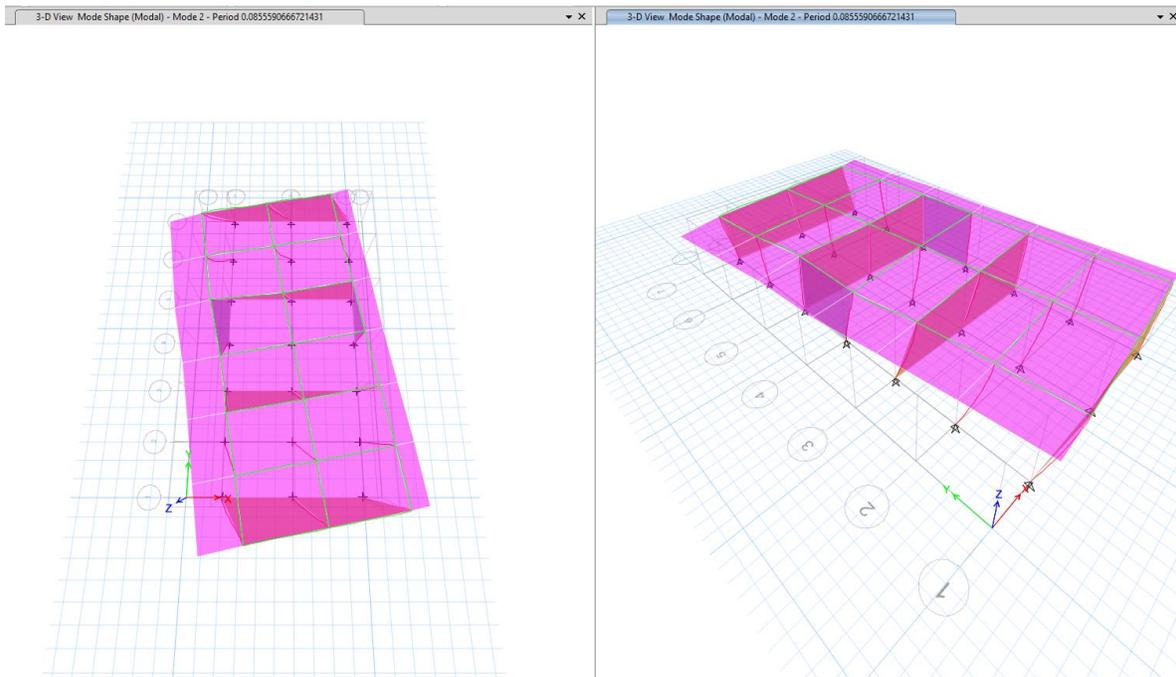


Imagen 32 Modo de Vibrar Cuerpo Rehabilitado | Longitudinal
[Fuente: Elaboración Propia]

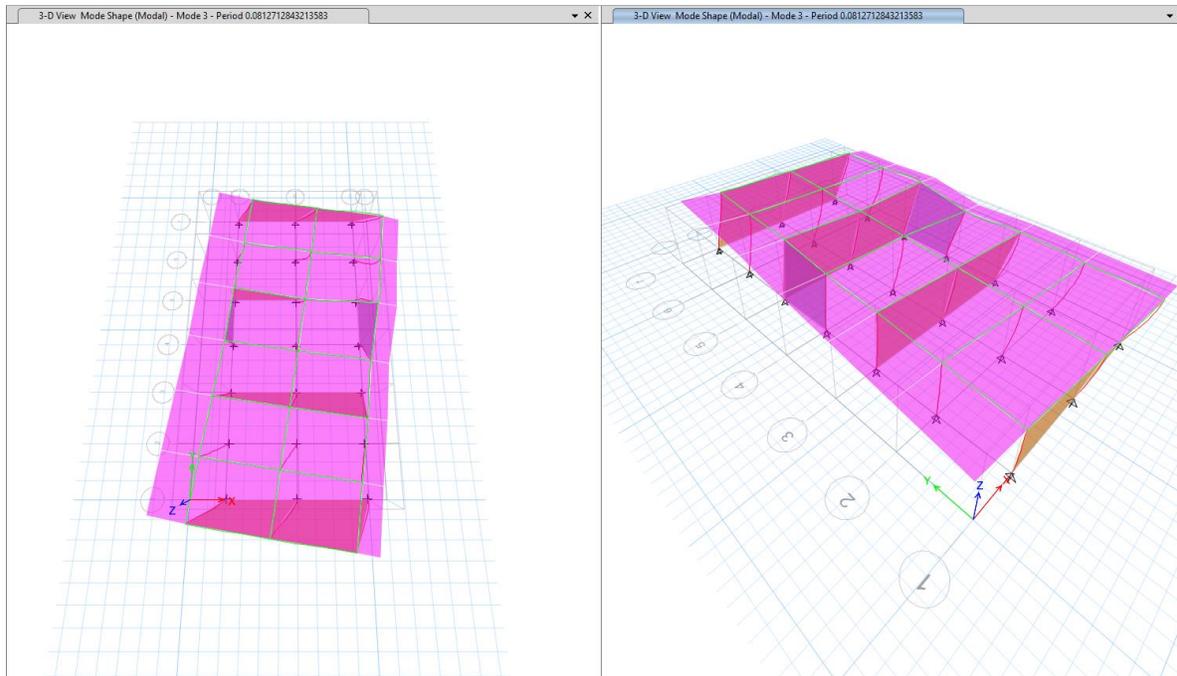


Imagen 33 Modo de Vibrar Cuerpo Rehabilitado | Rotacional
[Fuente: Elaboración Propia]

Revisión de Distorsiones:

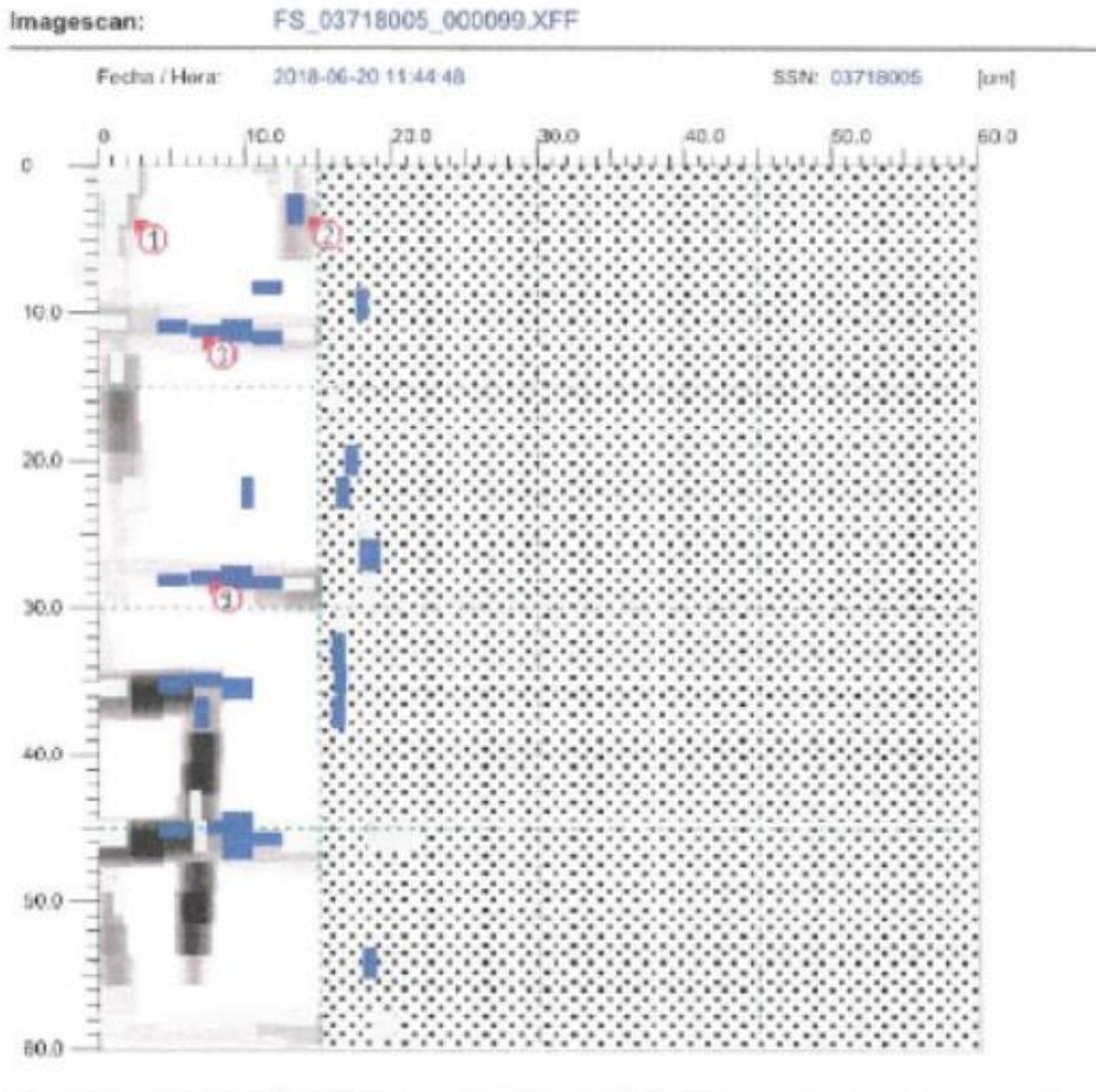
DISTORSIONES DE ENTREPISO (CONDICIÓN DE SEGURIDAD CONTRA COLPASO)											
SISMO	NIVEL	Q	R	DISTORSIÓN ANÁLISIS		DISTORSIÓN REAL		DISTORSIÓN ADMISIBLE		CONDICIÓN	
				DIR. X	DIR. Y	DIR. X	DIR. Y	DIR. X	DIR. Y	DIR. X	DIR. Y
DIR. X	AZOTEA	2.00	1.77	0.00026	0.00001	0.0009	0.0000	0.005	0.015	CUMPLE	CUMPLE
DIR. Y	AZOTEA	2.00	1.63	0.00006	0.00014	0.0002	0.0005	0.005	0.015	CUMPLE	CUMPLE

Tabla 17 Distorsiones Máximas de Entrepiso en la condición de Seguridad Contra Colapso
[Fuente: Elaboración Propia]

DISTORSIONES DE ENTREPISO (CONDICIÓN DE LIMITACIÓN DE DAÑO ANTE SISMOS FRECUENTES)												
SISMO	NIVEL	Q'	R	Ks	DISTORSIÓN ANÁLISIS		DISTORSIÓN REAL		DISTORSIÓN ADMISIBLE		CONDICIÓN	
					DIR. X	DIR. Y	DIR. X	DIR. Y	DIR. X	DIR. Y	DIR. X	DIR. Y
DIR. X	AZOTEA	1.19	1.77	0.25	0.00026	0.00001	0.0001	0.0000	0.002	0.002	CUMPLE	CUMPLE
DIR. Y	AZOTEA	1.83	1.63	0.25	0.00006	0.00014	0.0000	0.0001	0.002	0.002	CUMPLE	CUMPLE

Tabla 18 Distorsiones Máximas de Entrepiso en la Condición de Limitación de Daño ante Sismo Frecuentes
[Fuente: Elaboración Propia]

Revisión de Resistencias:
Escaneo de Acero de Columnas y Trabes



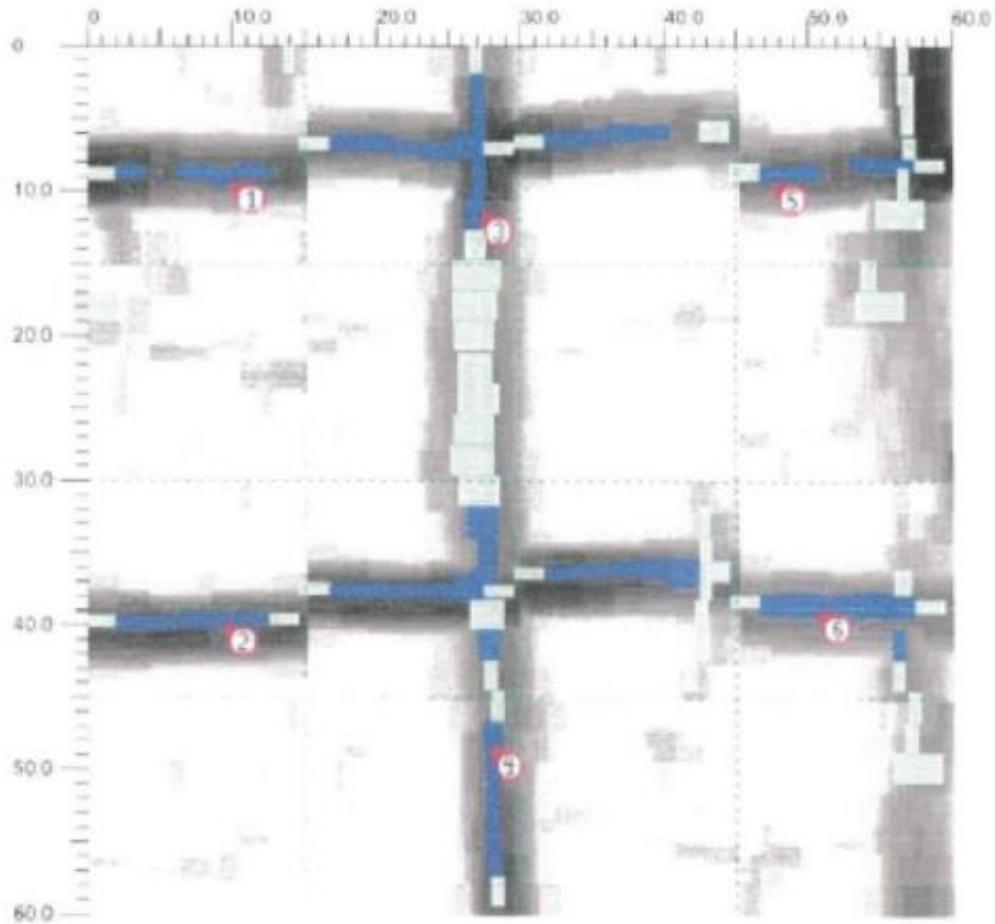
Cliete: SEP

Lugar: COLUMNA EJE A6

Operador: STEVENT GARCIA

Comentario:

ESCANEADO DE COLUMNA EJES A-6, VISTA FRONTAL, EDIFICIO 1, PLANTA BAJA
SE TIENE.
2 VARILLAS #4 (1/2")
ESTRIBOS #3 @15 CM



Cliente: SEP

Lugar: EDIFICIO 3 MURO EJE A / 4 Y 5 Operador: STEVENT GARCIA

Comentario:

ESCANEADO DE MURO EJES A-4-5. EDIFICIO 3. PLANTA BAJA
SE TIENE
VARILLAS #3 (3/8")
SEPARACION DE VARILLAS #3 @30 CM

Columnas

Revisión para la combinación más desfavorable:

MATERIALES	
f_y (Kg/cm ²)	f_c (Kg/cm ²)
4200	250

$$f'_c = 0.85 f_c$$

profundidad del bloque de compresión
 $a = \beta_1(c)$, donde:

$$\beta_1 = 0.85; \text{ si } f'_c < 280 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\beta_1 = 1.05 - \frac{f'_c}{1400} \geq 0.65; \text{ si } f'_c > 280 \text{ Kg/cm}^2$$

f_c (Kg/cm ²)	f'_c (Kg/cm ²)	β_1	rec (cm)
250	212.5	0.85	5

PROPIEDADES GEOMÉTRICAS

B (cm)	H (cm)
40	40

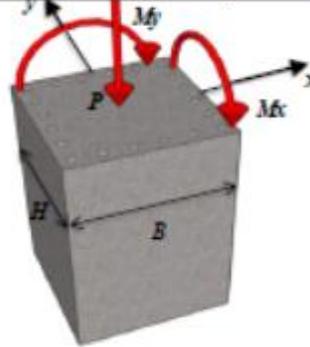
ELEMENTOS MECÁNICOS

P_u (Ton)	M_{ux} (Ton*m)	M_{uy} (Ton*m)
10	1.5	1

$$e_x = 0.15 \text{ m}$$

$$e_y = 0.1 \text{ m}$$

LECHOS EN Y		LECHOS EN X	
Posición	Área (cm ²)	Posición	Área (cm ²)
5	4.8	5	4.8
11	1.6	11	1.6
17	1.6	17	1.6
23	1.6	23	1.6
29	1.6	29	1.6
35	4.8	35	4.8



$$\begin{aligned} P_{nx} &= 156.59 \text{ Ton} & M_{nx} &= 23.49 \text{ Ton*m} & FR_x &= 0.75 \\ P_{rx} &= 117.44 \text{ Ton} & M_{rx} &= 17.62 \text{ Ton*m} & & \\ P_{ny} &= 216.03 \text{ Ton} & M_{ny} &= 21.6 \text{ Ton*m} & FR_y &= 0.75 \\ P_{ry} &= 162.02 \text{ Ton} & M_{ry} &= 16.2 \text{ Ton*m} & & \end{aligned}$$

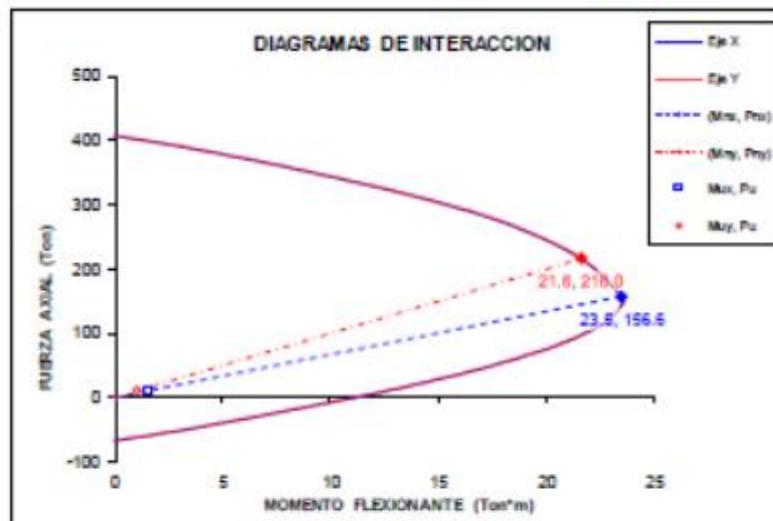
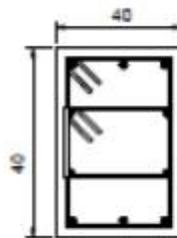
$$P_{r0} = 305.4 \text{ Ton} \quad \rho = 1.00\%$$

$$P_u = \frac{1}{1/P_{rx} + 1/P_{ry} - 1/P_{r0}} = 87.62 \text{ Ton}$$

$$P_u / P_{r0} = 0.287$$

$$\frac{M_{ux}}{M_{rx}} + \frac{M_{uy}}{M_{ry}} = 0.147$$

$$F.S. = 8.762$$



Cumple

Trabes:

Revisión de trabes de concreto

Revisión para la envolvente de las combinaciones:

DATOS:		DIMENSIONES:	
Mu=	3 t-m	h=	45 cm
f _c =	260 kg/cm ²	b=	30 cm
f _c '=	213 kg/cm ²	r=	6 cm
f _y =	4200 kg/cm ²	d=	40 cm
β ₁ =	0.85	h/b	1.5
FR=	0.80		
Q=	2		

Dimensiones del elemento:

Aceros por temperatura

$$A_{s\ temp} = \left\{ \frac{660 b}{f_y (b + 100)} \right\} h$$

As_{temp} = 1.63 cm²
 Para varillas del # 3
 usar 2.3
 usar 3.4 Si está en contacto con el terreno

Restricciones:

a) **Cuantía mínima**

$$p_{min} = \frac{0.7 \sqrt{f_c'}}{f_y}$$

p_{us} = 0.0026

b) **Cuantía máxima**

$$p_{max} = \frac{f_c'}{f_y} \frac{6000 \beta_1}{f_y + 6000}$$

p_{us} = 0.0253
 p_{us} = 0.0228

Resultado:

q=	0.0332	N° varilla	Area (cm ²)	Usar
p=	0.0017	2	0.32	10.0
p=	0.0026	2.5	0.49	6.4
Area de acero=	3.18 cm ²	3	0.71	4.4
Para varillas del #	4	4	1.27	2.5
Usar	2.6	5	1.98	1.6
		6	2.85	1.1
		7	3.88	0.8
		8	5.07	0.6
		10	7.92	0.4
		12	11.40	0.3

Momento resistente:

As=	2.63 cm ²	N° varilla	Cantidad	As	cm ²
p=	0.0021	2	0	0.0	cm ²
q=	0.0417	2.5	0	0.0	cm ²
		3	0	0.0	cm ²
MR=	3.75 t-m	4	2	2.5	cm ²
Mu=	3.00 t-m	5	0	0.0	cm ²
F.S.=	1.25	6	0	0.0	cm ²
		7	0	0.0	cm ²
		8	0	0.0	cm ²
		10	0	0.0	cm ²
		12	0	0.0	cm ²
				2.6	cm ²

Muros de Concreto

Revisión de muros de concreto 20cm

Ejemplo de cálculo para el elemento más desfavorable:

Datos

$$f_y = 4200 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$f_c = 300 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$H_m = 3.5\text{m}$$

$$L_m = 3.3\text{m}$$

$$t = 20\text{cm}$$

Compresion

$$P_u = 16\text{Ton}$$

$$F_{R,c} = 0.75$$

$$P_{u,max} = 0.3 \cdot F_{R,c} \cdot (t \cdot L) \cdot f_c = 445.5\text{Ton} \quad \text{Cumple}$$

Flexion

$$M_u = 45\text{Ton}\cdot\text{m}$$

$$F_{R,f} = 0.90$$

$$p_m = 0.01$$

$$A_s = p_m \cdot (45\text{cm} \cdot 30\text{cm}) = 13.5\text{cm}^2$$

$$\frac{H_m}{L} = 1.061$$

$$z = 0.8L = 2.64\text{m}$$

$$M_R = F_{R,f} \cdot A_s \cdot f_y \cdot z = 134.719\text{Ton}\cdot\text{m} \quad \text{Cumple}$$

Cortante

$$V_u = 23\text{Ton}$$

$$F_{R,v} = 0.80$$

$$V_{cR} = F_{R,v} \cdot t \cdot 0.80 \cdot L \cdot [0.20 + (20 - p_m)] \cdot \sqrt{f_c} \cdot \sqrt{\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}} = 29.265\text{T}$$

$$p_{m,c} = 0.0025$$

$$V_{sR} = F_{R,v} \cdot f_y \cdot (t \cdot L) \cdot p_{m,c} = 55.44\text{Ton}$$

$$V_R = V_{cR} + V_{sR} = 84.705\text{Ton} \quad \text{Cumple}$$

Muros de Mampostería

Revisión de muros de mampostería 15cm

Ejemplo de cálculo para el elemento más desfavorable:

$$f_c = 150 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \quad f_y = 4200 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \quad f_m = 15 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \quad v_m = 2 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \quad f_{yh} = 5000 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$H = 3.5\text{m} \quad L = 4\text{m} \quad t = 15\text{cm}$$

Fuerza cortante resistida por la mampostería (NTC-Mamp-20 Inciso 5.4.2)

$$P = 4\text{Ton}$$

$$f = \begin{cases} 1.5 & \text{if } \frac{H}{L} \leq 0.2 & = 1.078 \\ 0.625 \left(1 - \frac{H}{L}\right) + 1 & \text{if } 0.2 < \frac{H}{L} < 1.0 \\ 1.0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$V_{mR'} = \begin{cases} 0 & \text{if } P < 0\text{Ton} & = 5.434\text{Ton} \\ 0.7 \left[(0.5 \cdot v_m \cdot A_T + 0.3P) \cdot f \right] & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$V_{mR, \max} = 1.5 \cdot 0.7 \cdot v_m \cdot A_T \cdot f = 13.584\text{Ton}$$

$$V_{mR} = \min(V_{mR'}, V_{mR, \max}) = \underline{5.434\text{Ton}} \quad 0.4 \left[(0.5 \cdot v_m \cdot A_T + 0.3P) \cdot 1.0 \right] = \underline{2.88\text{Ton}}$$

Diseño de malla (NTC-Mamp-20 Inciso 5.4.4.3)

$$\rho_{h, \text{malla}} = 0.0006 \quad \rho_{h, \text{malla}} \cdot f_{yh} = 3 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \quad 0.1 f_{an} \cdot f_m = 1.5 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$k_0 = 1.3$$

$$\eta_{s, \text{malla}} = 0.50$$

$$\eta_{s, \text{malla}} = \begin{cases} \eta_{s, \text{malla}} \cdot \left(\frac{0.1 f_{an} \cdot f_m}{\rho_{h, \text{malla}} \cdot f_{yh}} \right) & \text{if } \rho_{h, \text{malla}} \cdot f_{yh} > 0.1 f_{an} \cdot f_m & = 0.25 \\ \eta_{s, \text{malla}} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\alpha = 0.045 \cdot \text{cm}^2 \cdot \text{kg}^{-1}$$

$$k_1 \text{ malla} = \max(1 - \alpha \cdot \rho_{h, \text{malla}} \cdot f_{yh}, 1 - 0.1 \cdot f_{an} \cdot f_m \cdot \alpha) = 0.932$$

$$\eta_{\text{malla}} = \begin{cases} 0 & \text{if } \rho_{h, \text{malla}} \leq 0 & = 0.342 \\ \frac{V_{mR}}{0.7 \cdot \rho_{h, \text{malla}} \cdot f_{yh} \cdot A_T} \cdot (k_0 \cdot k_1 \text{ malla} - 1) + \eta_{s, \text{malla}} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$V_{\text{mallaR}} = 0.7 \eta_{\text{malla}} \cdot \rho_{h, \text{malla}} \cdot f_{yh} \cdot A_T = \underline{4.303\text{Ton}} \quad V_{R, \text{mallaR}} = V_{\text{mallaR}} + V_{mR} = \underline{9.737\text{Ton}}$$

$$V_u = 6\text{Ton} \quad \text{ok}$$

Conclusiones de la Evaluación Estructural (Estado Rehabilitado)

Las conclusiones siguientes son considerando una carga viva con destino de uso para aulas y que el edificio se encuentre completamente ocupado:

- Adición de muros de concreto reforzado de 15 cm de espesor en la dirección longitudinal. De este modo se aumenta la resistencia para mejorar el comportamiento estructural ante cargas laterales debidas a sismo.

La propuesta anterior incrementa la resistencia de los elementos estructurales y proporciona continuidad a los elementos que en la actualidad están desligados o sueltos.

En el caso de la limitación de daño para sismos frecuentes, la respuesta estructural del Edificio se mantiene dentro de los límites máximos permisibles en sus dos direcciones ortogonales principales, por lo que es poco probable que se presenten daños en elementos no estructurales ante sismos de baja intensidad.

Con respecto al nivel de seguridad contra colapso, de acuerdo con los resultados del análisis, el Edificio cuenta con una rigidez lateral suficiente en ambas direcciones principales que permite mantener las distorsiones máximas de entrepiso dentro de los límites máximos permisibles, por lo que tendría un comportamiento adecuado ante un sismo de magnitud extraordinaria.

En cuanto a la evaluación de la resistencia, se realizó la revisión considerando cuantías de refuerzo obtenidas a través de pruebas no destructivas realizadas con ferroscañ, así como considerando cuantías referidas a los valores mínimos.

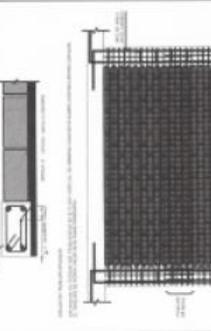
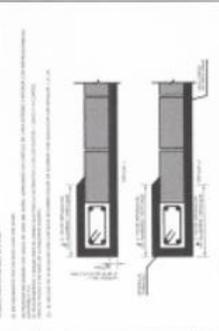
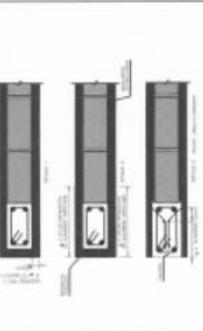
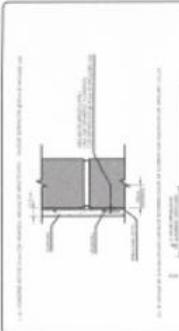
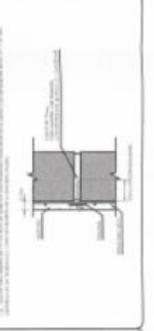
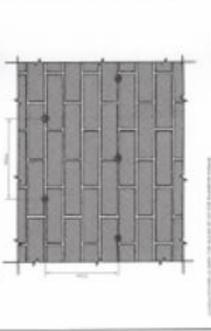
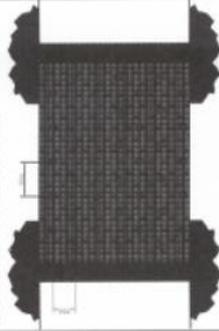
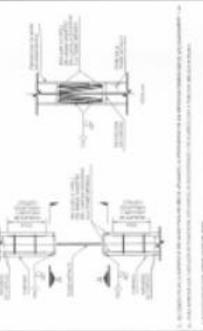
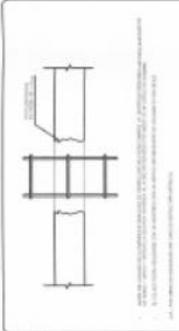
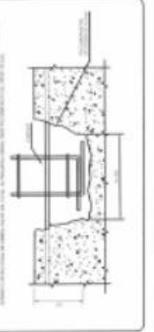
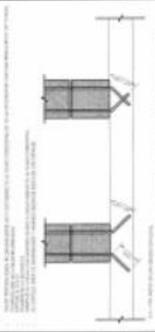
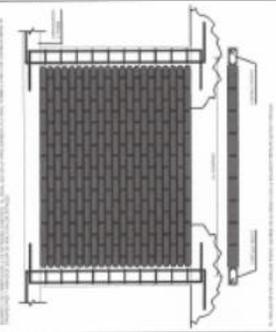
PROCEDIMIENTO PARA REFORZAMIENTO DE MUROS DE MAMPOSTERÍA

PROCEDIMIENTO PARA REFORZAMIENTO DE MUROS DE MAMPOSTERÍA

OBJETIVO:
 El presente documento tiene como objetivo definir el procedimiento para el reforzamiento de muros de mampostería, de acuerdo a las especificaciones técnicas y normativas vigentes.

- ALCANCE:**
 Este procedimiento aplica para el reforzamiento de muros de mampostería de hasta 10 metros de altura, en estructuras de concreto armado.
1. Definición de los tipos de muros a reforzar.
 2. Selección de los materiales y especificaciones técnicas.
 3. Descripción de los procedimientos de ejecución.
 4. Descripción de los controles de calidad.
 5. Descripción de los recursos humanos y materiales.
 6. Descripción de los riesgos y medidas de seguridad.

ITEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD
1	ACERO PARA REFORZAMIENTO		
2	CONCRETO		
3	MAMPUESTERÍA		
4	REFORZAMIENTO		

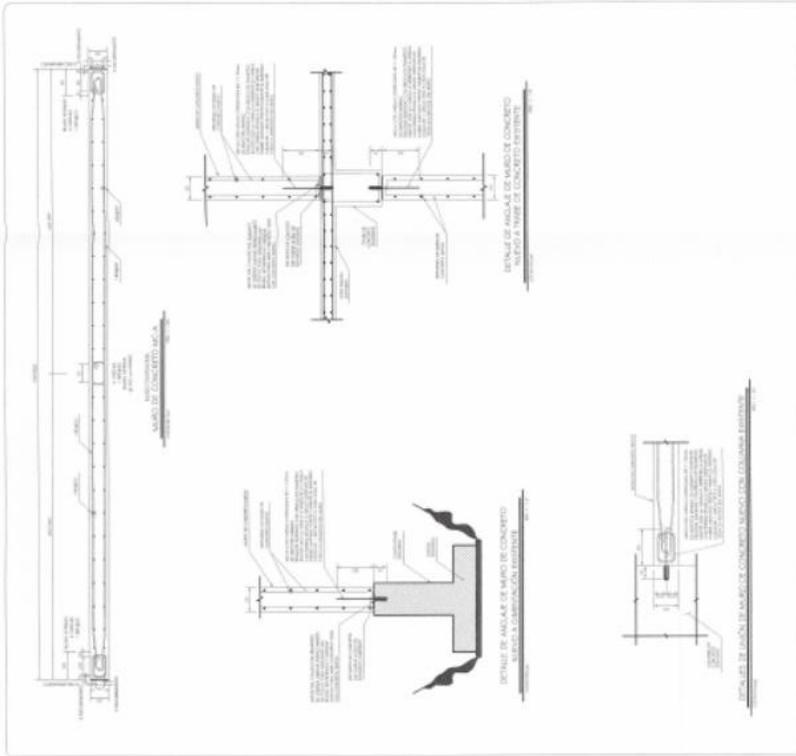


PROYECTO	PROYECTO DE REHABILITACIÓN ESTRUCTURAL A MUJERES EDUCATIVOS
CLIENTE	ESUELA PRIMARIA "JOAQUIN GARCIA ICAZBALCETA"
C.B.E.	0910PR2-491 F
FECHA	09/02/2023
PLANTA	REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL
NUMERO	2
ESCALA	1:50
FECHA DE EMISIÓN	09/02/2023
FECHA DE REVISIÓN	
FECHA DE APROBACIÓN	
FECHA DE CANCELACIÓN	

ES-02

02/02/2023

DETALLES PARA LA ADICIÓN DE MUROS DE CONCRETO REFORZADO



PROYECTO DE REHABILITACIÓN ESTRUCTURAL A INGENIEROS EDUCATIVOS	
PROYECTO "JOSUÍN GARCÍA ICÁZBALCETA"	
CLIENTE	
REF. NÚMERO: 09DFR249 IF	
REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL	
ESCALA	CLASE
3	3
PROYECTO	REVISADO
ES-03	ES-03

EMPRESA

7.1 Análisis de cimentación

De acuerdo con los alcances de este Informe, y en ausencia de datos específicos de las escuelas, se presentan diferentes graficas de capacidad de carga reducida para diferentes sistemas de cimentación como zapatas aisladas y zapatas corridas con variaciones en ancho B y profundidades de desplante (D), y resultados para losas de cimentación desplantadas superficialmente con relación $B/L=0,5$.

7.2 Revisión del estado límite de falla

De acuerdo con las Normas Técnicas Complementarias para el Diseño y Construcción de Cimentaciones de la Ciudad de México, las estructuras deben satisfacer la condición de estado límite de falla, revisando la cimentación para las distintas combinaciones posibles de acciones verticales que, multiplicada por el factor de carga correspondiente, deben cumplir con la siguiente desigualdad, para cimentaciones someras desplantadas en suelo puramente cohesivo:

$$\frac{\sum QF_c}{A} < r$$

Donde:

$\sum QF_c$: Suma de las acciones verticales a tomar en cuenta en la combinación considerada en el nivel de desplante, afectadas por su respectivo factor de carga (el área de estructuras deberá verificar esta desigualdad)

A Área del elemento de cimentación, (m^2).

r Capacidad de carga unitaria reducida afectada por un factor de resistencia correspondiente, obtenida como:

$$r = c_v N_c F_R + P_v$$

EMPRESA

c_v Cohesión aparente promedio de los estratos involucrados en la superficie de falla, 2.0 ton/m².

N_c Coeficiente de capacidad de carga, determinado con la expresión:

$$N_c = 5.14 \left(1 + 0.25 \frac{D_f}{B} + 0.25 \frac{B}{L} \right)$$

Donde:

L Longitud del cimiento, (m).

B Ancho del cimiento, (m).

D_f Profundidad de desplante del cimiento, (m).

P_v Presión vertical total a la profundidad de desplante, (ton/m²).

F_r Factor de resistencia, igual a 0.35.

Los resultados de este análisis, bajo las consideraciones indicadas en el Capítulo 7.1, se presentan en las Figuras 4 y 5.

7.3 Revisión del estado límite de servicio

Este análisis no está incluido en los alcances de este Informe debido a la ausencia de datos necesarios para su análisis.

EMPRESA

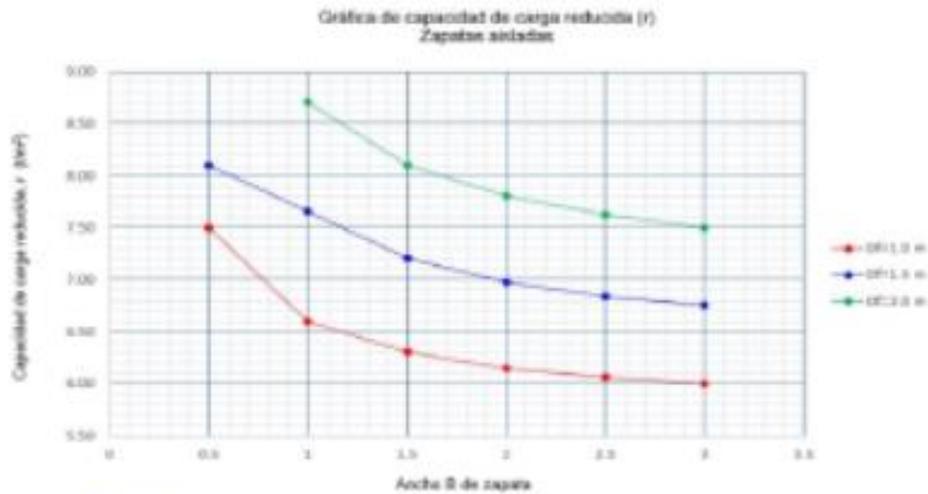


Figura 4. Gráfica de capacidad de carga reducida r , para zapatas aisladas.

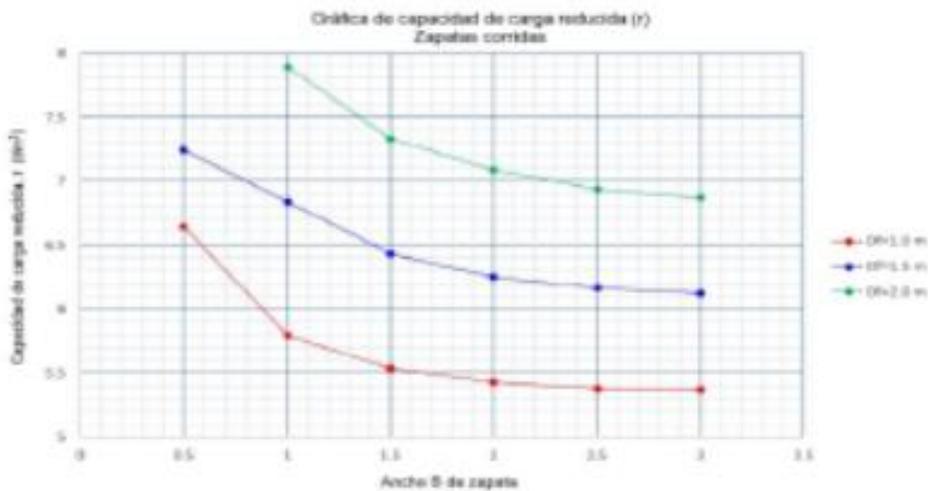


Figura 5. Gráfica de capacidad de carga reducida r , para zapatas corridas.

Para el caso de losas de cimentación, se podrá considerar una capacidad de carga reducida (r), igual a 4.70 t/m^2 , para un ancho B variable de 2.0 a 20.0 m, con relación ancho/largo (B/L) igual a 0.5 y desplantadas superficialmente.