



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Análisis del comportamiento de
escuelas de concreto en los sismos de
septiembre de 2017**

TESIS

Que para obtener el título de

Ingeniero civil

P R E S E N T A

Rubén Bautista Monroy

DIRECTOR DE TESIS

Dr. Sergio M. Alcocer Martínez de Castro



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2019

CONTENIDO

CONTENIDO	3
INTRODUCCIÓN	1
ANTECEDENTES	1
OBJETIVO	1
ORGANIZACIÓN DEL DOCUMENTO	2
Capítulo 1 Los sismos del 7 y 19 de septiembre de 2017	3
1.1 INTRODUCCIÓN	3
1.2 CRONOLOGÍA DE LOS SISMOS EN MÉXICO	3
1.3 EL SISMO DE TEHUANTEPEC DEL 7 DE SEPTIEMBRE DE 2017	6
1.4 EL SISMO DE PUEBLA-MORELOS DEL 19 DE SEPTIEMBRE DE 2017	9
1.5 DAÑOS PROVOCADOS POR LOS SISMOS	13
1.5.1 Daños causados por el sismo de Tehuantepec	13
1.5.2 Daños causados por el sismo de Puebla-Morelos	14
1.6 IMPACTOS DE LOS SISMOS	15
1.7 LECCIONES APRENDIDAS	15
1.8 PLAN DE RECONSTRUCCIÓN DE ESCUELAS	16
Capítulo 2 Base de datos y recolección de la información	19
2.1 INTRODUCCIÓN	19
2.2 CÉDULA DE EVALUACIÓN DE DAÑO	19
2.3 BASE DE DATOS	23
2.3.1 Descripción de la base de datos	23
2.3.2 Categorías y campos específicos dentro de cada categoría	23
2.3.3 Calidad de la información	27
2.4 ÍNDICE SÍSMICO DE COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL	28
2.4.1 Niveles de evaluación	29
2.4.2 Índice sísmico base del comportamiento estructural E_0	29
2.4.3 Índice de irregularidad S_D	31
2.4.4 Índice de tiempo	34
2.4.5 Índice I_{s0}	35
2.5 SISTEMA ELECTRÓNICO DE LEVANTAMIENTO DE DAÑOS	35
2.5.1 Antecedentes	35
2.5.2 Descripción del sistema	37
Capítulo 3 Evaluación de daños	41
3.1 INTRODUCCIÓN	41
3.2 PROTOTIPOS DE CONCRETO	41
3.2.1 Descripción del prototipo	41
3.2.2 Diferencias detectadas entre las estructuras construidas y los prototipos	44
3.2.3 Universo y distribución geográfica	45
3.2.4 Universo y distribución de estructuras dañadas	49
3.2.5 Tipos de falla	56
3.3 DAÑOS EN BARDAS	58
Capítulo 4 Visitas de campo a escuelas	61
4.1 INTRODUCCIÓN	61
4.2 VISITAS DE CAMPO	61
4.2.1 Ciudad de México	61
4.2.2 Estado de Morelos	62
Capítulo 5 Comportamiento numérico de los edificios	71

5.1	INTRODUCCIÓN	71
5.2	PROPIEDADES DE LAS ESTRUCTURAS	71
5.2.1	Consideraciones para el modelado	73
5.2.2	Análisis de cargas empleadas para los modelos	74
5.2.3	Propiedades de las secciones	77
5.3	ESPECTRO SÍSMICO	78
5.3.1	Espectro de diseño a partir del Manual de Diseño de Obras Civiles 2015	78
5.4	EDIFICIO DE CONCRETO DE UN NIVEL ANTERIOR A 1985	81
5.4.1	Descripción	81
5.4.2	Resultados del análisis elástico	82
5.5	EDIFICIO DE CONCRETO DE DOS NIVELES ANTERIOR A 1985	87
5.5.1	Descripción	87
5.5.2	Resultados del análisis elástico	89
5.6	EDIFICIO DE CONCRETO DE TRES NIVELES ANTERIOR A 1985	95
5.6.1	Descripción	95
5.6.2	Resultados del análisis elástico	96
5.7	EDIFICIO DE CONCRETO DE UN NIVEL, AÑO 2011	102
5.7.1	Descripción	102
5.7.2	Resultados del análisis elástico	103
5.7.3	Análisis estático no lineal	108
5.8	EDIFICIO DE CONCRETO DE DOS NIVELES AÑO 2011	115
5.8.1	Descripción	115
5.8.2	Resultados del análisis elástico	116
5.8.3	Análisis estático no lineal	124

Capítulo 6 Conclusiones y recomendaciones 131

6.1	INTRODUCCIÓN	131
6.2	BASE DE DATOS Y RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN	131
6.3	EVALUACIÓN DE DAÑOS	131
6.4	VISITAS DE CAMPO A ESCUELAS	132
6.5	COMPORTAMIENTO NUMÉRICO DE LOS EDIFICIOS	132

Referencias y bibliografía..... 135

Anexo 2.1 Listado de datos que se incluyen en las cédulas de evaluación..... 137

Anexo 2.2 Campos que se incluyen en la base de datos 139

Anexo 2.3 Campos que se incluyen en la base de datos 145

Anexo 2.4 Manual para el uso de la cédula digital 149

Anexo 2.5 Informe de la cédula digital de información 175

Anexo 3.1 Planos estructurales de prototipos 177

INTRODUCCIÓN

ANTECEDENTES

Es bien sabido que México es un país con alta sismicidad. Por tal motivo, la población está acostumbrada a este tipo de eventos naturales; septiembre de 2017 fue un mes que se recordará durante muchos años y quedará grabado en la mente de todos aquellos que lo vivieron. El país fue sacudido por dos grandes y particulares sismos. El primero, ocurrido el 7 de septiembre (sismo de Tehuantepec) a las 23:49 horas con una magnitud M8.2 y localizado a 133 km al sur de Pijijiapan, Chiapas. Tiene la peculiaridad de ser el más fuerte registrado en el país. Este fenómeno dejó afectaciones principalmente en el sur del país, en los estados de Chiapas y Oaxaca.

El segundo sismo, tuvo lugar unas horas después de la conmemoración de los 32 años del sismo del 19 de septiembre de 1985. El sismo de Puebla-Morelos tuvo una magnitud de M7.1 con epicentro a 60 km al sur de Puebla. Muchos de los daños que produjo este evento se concentraron en los estados de Puebla, Morelos, México y en la Ciudad de México.

Debido a la extensa área geográfica que abarcaron estos fenómenos, la cantidad de edificios dañados fue considerable. Provocaron afectaciones en construcciones de uso habitacional y comercial, hospitales, iglesias y escuelas. En ésta última categoría, la cantidad de edificios dañados ascendió a 19,194. Por ello, la reconstrucción de infraestructura escolar dañada tendrá un costo estimado de 20 mil millones de pesos (1 billón de dólares). Las labores de reconstrucción están siendo dirigidas por la Secretaría de Educación Pública (SEP), a través del Instituto Nacional de la Infraestructura Física Escolar (INIFED).

Como es sabido, en la normativa nacional e internacional, todas las escuelas deben ser diseñadas y construidas con estándares elevados debido a que pertenecen al llamado Grupo A, siguiendo el pensamiento de que luego de un evento sísmico una escuela debe funcionar como albergue o lugar de refugio. Por esto, no se deben presentar afectaciones que impidan el uso del inmueble luego del evento. Además, la cantidad de personas que ocupa una escuela podría provocar muchas pérdidas humanas, si el edificio llegara a colapsar.

Se puede afirmar, en general, que el comportamiento de la infraestructura escolar fue adecuado para proteger la vida de los ocupantes. No se presentaron pérdidas humanas, y en el caso de los edificios de concreto, no hubo colapsos totales. Sin embargo, se presentaron cuatro colapsos parciales, uno de ellos en una estructura sin diseño sismorresistente.

OBJETIVO

El siguiente trabajo tiene por objeto mostrar cuál fue el comportamiento de la infraestructura educativa durante los eventos sísmicos que tuvieron lugar en el mes de septiembre de 2017. Además, se pretende contribuir y documentar el proceso de reconstrucción mediante visitas de campo y de análisis numéricos. El fin último es contribuir a generar conciencia, conocimiento y recomendaciones sobre la necesidad de salvaguardar la vida de los ocupantes a través de esas escuelas más seguras.

En particular, se tiene por objetivo:

- Organizar y procesar la información y levantamiento de daño recibido luego de los eventos.
- Analizar dicha información para detectar posibles causas.
- Visitar escuelas dañadas y en proceso de rehabilitación.
- Realizar modelos numéricos para verificar la seguridad de las construcciones.

ORGANIZACIÓN DEL DOCUMENTO

El siguiente trabajo consta de seis capítulos, a lo largo de los cuales se examina el comportamiento de las estructuras de concreto en los sismos de septiembre de 2017 dentro de las entidades federativas con mayor afectación. Cada uno de los capítulos discute distintos aspectos relevantes para conocer y evaluar dicho comportamiento.

En el capítulo 1, se comenta la historia de los sismos dentro del país, con mayor énfasis en los sismos de septiembre de 2017, buscando comparar la magnitud del daño que cada uno provocó con el sismo de 1985 que es el referente obligado.

Para el capítulo 2, se discute la gestión de la información obtenida en las cédulas de evaluación de daños con una base de datos, la cual tuvo por objetivo agilizar el análisis de la información. En este capítulo, se plantea la creación de una aplicación móvil para recolectar la información más rápido y con mayor nivel de detalle.

Luego de procesar información, en el capítulo 3 se presenta un análisis detallado del comportamiento de las estructuras de concreto con mayor daño. Para ello, se presentan gráficas, estadísticas y fotografías para un mejor entendimiento. Aunado a ello, se enlistan los mecanismos de falla más frecuentes.

Al tener trabajo de gabinete ya realizado, se procedió a realizar visitas de campo que se discuten en el capítulo 4. Durante las visitas se documentaron los avances y forma de la reconstrucción de las escuelas luego de los sismos; para ello se muestran fotografías de antes y después de la reconstrucción.

Con el capítulo 5, se compara la capacidad estructural de las estructuras de 2011 con las construidas en 1985 con la normativa de la Comisión Federal de Electricidad (CFE) de 2015. Para ello se realizaron modelos numéricos por computadora, cuyos resultados son presentados y discutidos.

Por último, en el capítulo 6 se incluyen las conclusiones y comentarios luego de la investigación hecha. Se reflexiona sobre lo que se debe hacer para mejorar las acciones de actuación a la emergencia y recuperación luego de un evento sísmico. Se resaltan las acciones que se instrumentaron correctamente y se identifican áreas de oportunidad para mejorar el comportamiento de escuelas en el futuro.

CAPÍTULO 1

LOS SISMOS DEL 7 Y 19 DE SEPTIEMBRE DE 2017

1.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se hace una recapitulación histórica de los desastres sísmicos generados en la costa oeste del país. Posteriormente, se muestran algunos de los datos más significativos de los sismos de Tehuantepec y de Puebla-Morelos del 7 y 19 de septiembre 2017, respectivamente. Se describe, de manera general, el impacto y daños en términos de fallecimientos, colapsos y costos provocados. Además, se realiza una comparación entre los eventos de septiembre de 2017, con desastres sísmicos de gran magnitud en México. Por último, se enlistan las lecciones aprendidas de estos sismos y se explica el Plan de Reconstrucción de Escuelas elaborado por la SEP.

1.2 CRONOLOGÍA DE LOS SISMOS EN MÉXICO

México se encuentra en una zona altamente sísmica; es afectado por sismos de subducción (intraplaca) a lo largo de la costa del Océano Pacífico, sismos intraplaca profundos causados por la ruptura de la placa del Pacífico y sismos corticales producidos por fallas locales.

El primer gran sismo del que se tiene registro ocurrió el 28 de marzo de 1787 cerca de las costas de Oaxaca con una magnitud de M8.6 (Cruz, 2013). El sismo de “El gran tsunami mexicano”, como es conocido, provocó grandes daños en Oaxaca, inundando 6 km tierras a dentro, cerca de Pochutla, hoy Puerto Ángel. En esa época dicha zona era poco poblada por lo que el número de víctimas por el tsunami fue bajo.

Según datos del Servicio Sismológico Nacional (SSN) se tiene registro de 1629 sismos con una magnitud mayor a M5 desde 1900, lo cual se traduce en aproximadamente 14 sismos por año, poco más de uno por mes, en promedio. Los estados con mayor actividad sísmica son Chiapas (34%), Oaxaca (18%) y Guerrero (14%), acumulando dos de cada tres sismos que han ocurrido en el país (SSN, 2019). En la fig. 1.1, se muestra un mapa con los principales sismos que han ocurrido en México, previo a septiembre de 2017. La zonificación sísmica para fines de diseño por sismo está dividida en cuatro zonas (A-D), siendo la D la de mayor peligro -fig. 1.2- (CFE, 2015). Para desarrollar esta zonificación, se han hecho estudios con bases probabilísticas para determinar el peligro sísmico del país.

A continuación, se muestra una línea del tiempo con los sismos con una magnitud mayor que M 7. Se identificaron 168 registros de 1900 a 2018 (SSN, 2019). Se destacan cinco sismos, en amarillo el sismo de M8.2 en el estado de Jalisco que ocurrió el 3 de junio de 1932, en rojo el sismo de 1985, en morado el sismo de Tehuacán, Puebla de M8.0 en 1999, en anaranjado el sismo de Tehuantepec del 7 de septiembre de 2017 y en verde el sismo de Puebla-Morelos.

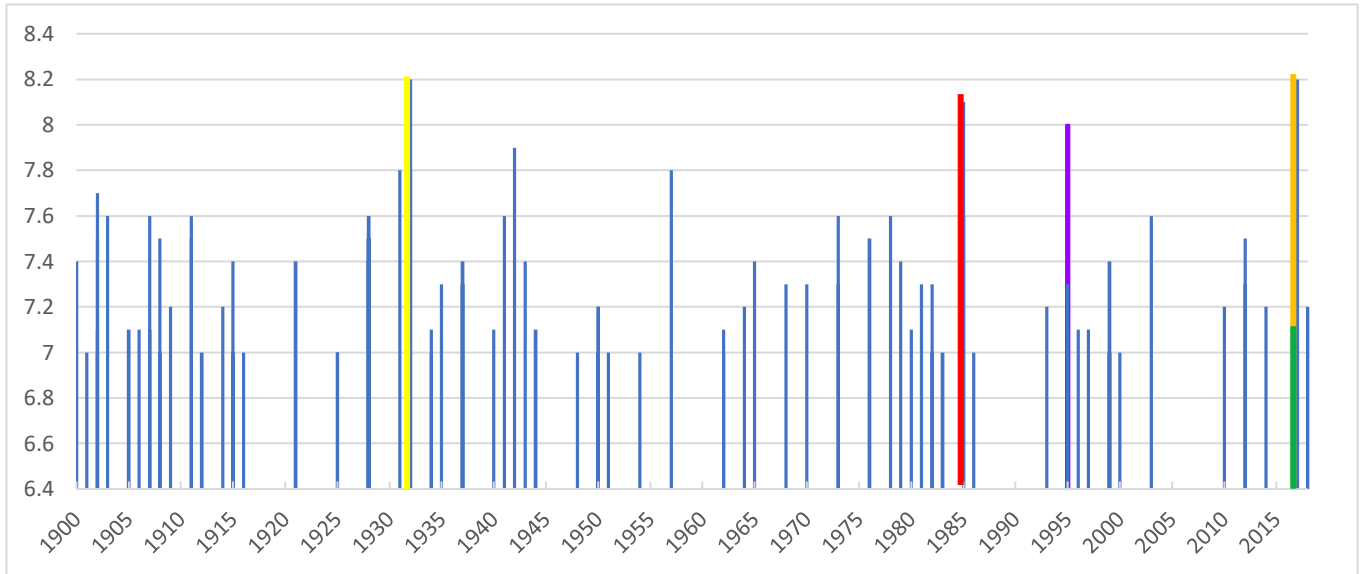


Figura 1.3- Línea del tiempo sobre los sismos mayores que 7 grados en la escala de Richter.

En la fig. 1.4, se observa la distribución de las magnitudes de los sismos desde 1900. Más de 80% de los sismos corresponde a magnitudes de entre 5 a 5.9, mientras que menos de 1% supera los ocho grados.

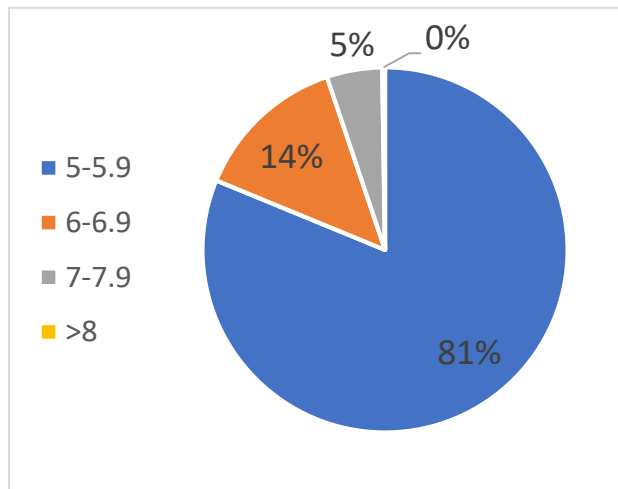


Figura 1.4- Magnitudes de los sismos desde 1900 a 2019 (SSN).

Los sismos con magnitud menor que 7 grados en la escala de Richter tienen una ocurrencia mayor que los sismos mayores que 7 grados, mientras que los sismos superiores a los 8 grados Richter tienen una ocurrencia muy baja (fig. 1.5).

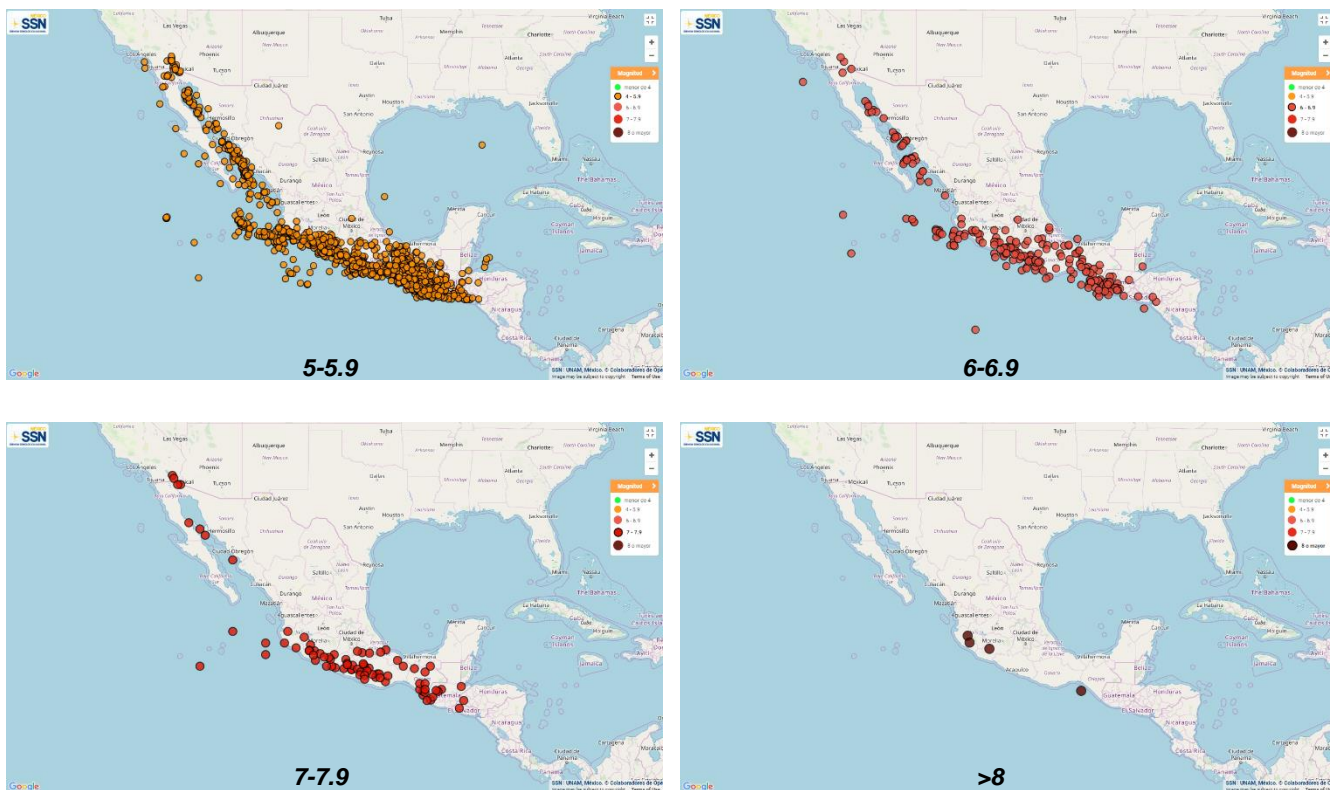


Figura 1.5- Distribución de los sismos desde 1900 a 2019 (SSN, 2019).

1.3 EL SISMO DE TEHUANTEPEC DEL 7 DE SEPTIEMBRE DE 2017

El sismo del 7 de septiembre ocurrió a las 23:49:17 horas (hora local), con una magnitud de M8.2 localizado en el Golfo de Tehuantepec, a 133 km al suroeste de Pijijiapan, Chiapas. Fue percibido en el sur y centro del país. Las coordenadas focales del epicentro fueron latitud 14.85°N, longitud 94.11°O y una profundidad de 58 km. El mecanismo focal del sismo muestra una falla de tipo normal intraplaca. El temblor ocurrió por la ruptura de la placa causada por esfuerzos de tensión por flexión causados por doblamientos de placas (SSN, 2017). El temblor produjo daños graves en algunas ciudades y poblados de Oaxaca y Chiapas; y en menor medida en el sur de Veracruz, Morelos y en los estados de Tlaxcala, México y Guerrero. En la Ciudad de México el sismo fue percibido, pero no hubo afectaciones.

Dos días después de ocurrido el sismo, se tenían registrados 482 réplicas y quince días después 4,326. Al 1 de agosto de 2018, casi un año después, se han registrado 25,373, la mayor con una magnitud M6.1 (Campos, 2018). Se ha considerado que hubo directividad del movimiento a partir de la fuente hacia el noroeste. Esto significa que la propagación del movimiento siguió este rumbo. Generalmente, la ocurrencia de la directividad del movimiento no se relaciona con la ocurrencia de mayores daños (mayor intensidad) en ese rumbo. Sin embargo, como se observa en la fig. 1.6, las isosistas (curvas de igual intensidad) de este evento sugieren una directividad con rumbo NO-SE.

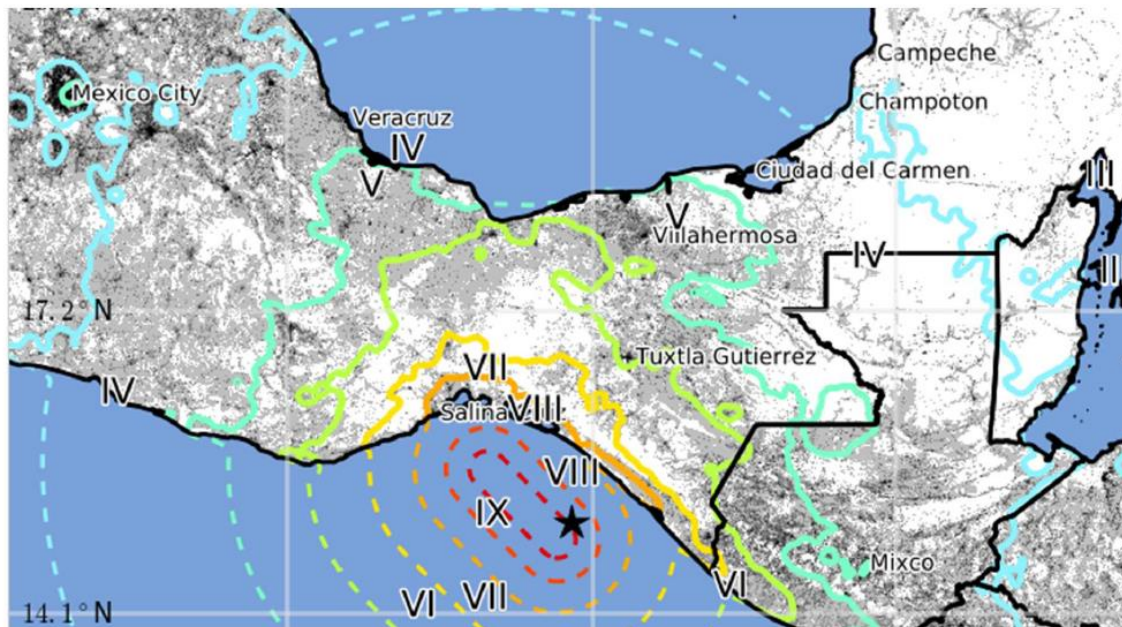


Figura 1.6- Mapa de intensidades modificadas de Mercalli para el sismo de Tehuantepec.

El sismo de Tehuantepec fue registrado por diversas redes de estaciones acelerográficas, operadas por distintas instituciones, tales como el Instituto de Ingeniería y el de Geofísica de la UNAM, y la Red de Observación Sísmica del CENAPRED y por el CIRES.

De acuerdo con los registros obtenidos, la máxima aceleración registrada fue superior a 0.5 g en el poblado de Niltepec, Oax., a 197 km al norte del epicentro (el registro sísmico se saturó cuando se alcanzó dicho valor de aceleración). En Ciudad Universitaria, en la Ciudad de México, la máxima aceleración fue de 8.9 cm/s². Para un periodo de 1 s, la máxima aceleración espectral fue de 29.1 cm/s². La intensidad del sismo en la Ciudad de México fue moderadamente baja.

En la fig. 1.7 se muestra un mapa con las isosistas (aceleraciones de misma intensidad) y los acelerogramas, en sus tres componentes, y el espectro de respuesta de aceleración para tres estaciones. La estación PANG está ubicada en la zona que registró la mayor intensidad del sismo (Puerto Ángel); la estación OXBJ se localiza en la ciudad de Oaxaca, y la estación MIHL en Minatitlán, Veracruz en zonas con intensidades de Mercalli entre VI y VII (mapa de la fig. 1.7).

Del estudio de los espectros de respuesta se observa que en la estación PANG, para periodos muy cortos (del orden de 0.1 a 0.2 s), las demandas elásticas de aceleración fueron casi de 800 cm/s² (0.8 g). En los otros registros, las demandas de aceleración no excedieron 200 cm/s² (es decir, 0.20 g).

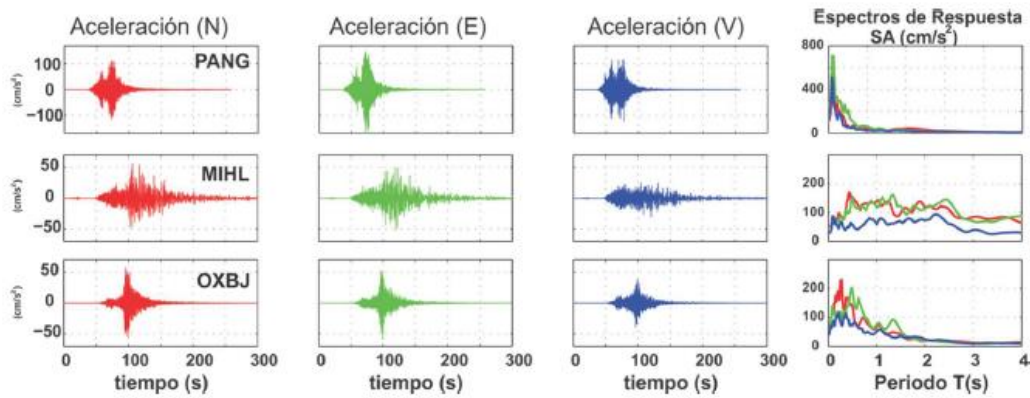
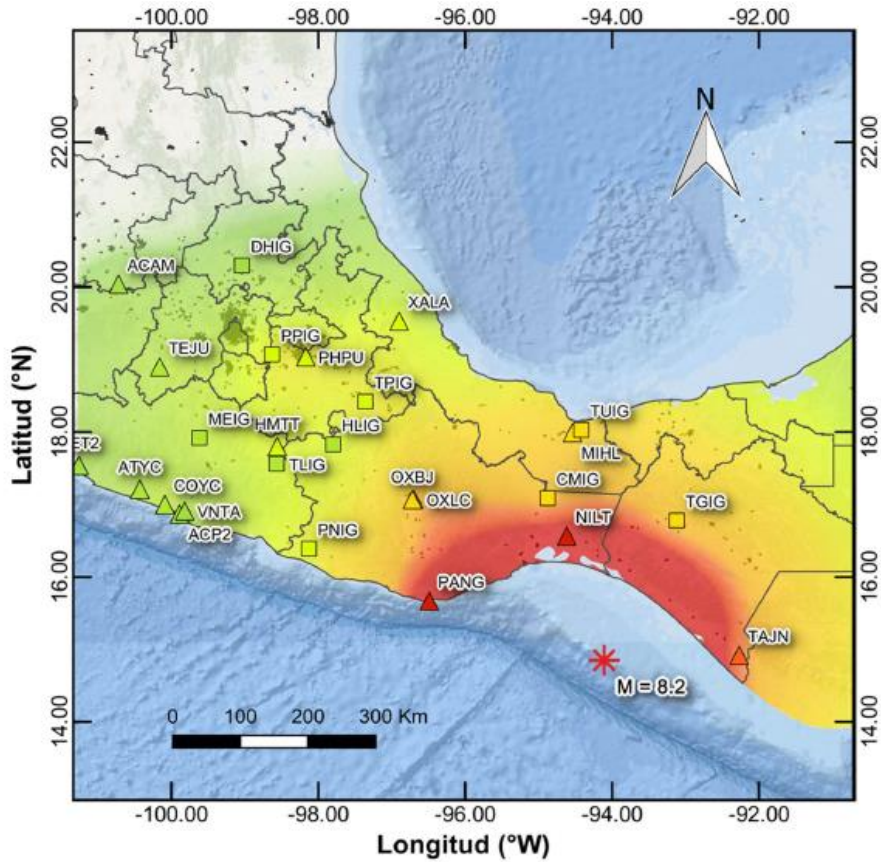


Figura 1.7- Mapa de intensidades instrumentales y tres juegos de acelerogramas con espectros de respuesta para el sismo de Tehuantepec.

1.4 EL SISMO DE PUEBLA-MORELOS DEL 19 DE SEPTIEMBRE DE 2017

Históricamente los sismos de profundidad media y de falla normal en la zona de subducción de la placa de Cocos bajo la de Norteamérica han provocado diversos daños en distintas ciudades y poblados en el centro del país. Como se observa en la fig. 1.8, la mayoría de estos sismos se origina en el estado de Puebla y algunos más al Este por el estado de Veracruz. Ejemplos de estos sismos son los del 15 de enero de 1931 (M 7.8), del 28 de agosto de 1973 (M_w 7.0), el del 24 de octubre de 1980 (M_w 7.0) y el del 15 de junio de 1999 (M_w 7.0), los cuales provocaron daños en los estados de Oaxaca, Puebla y Veracruz (Singh et al. 1999). Desde 1864 hasta la actualidad se han presentado 11 sismos con magnitud igual o mayor que 6.5 en la región epicentral de Tehuacán (fig. 1.8 y tabla 1.1, modificada de Singh et al. 1999). Por tal motivo, se puede afirmar que el período de retorno medio de sismos con magnitud igual o mayor que 6.5 en dicha zona es de 20 a 30 años.

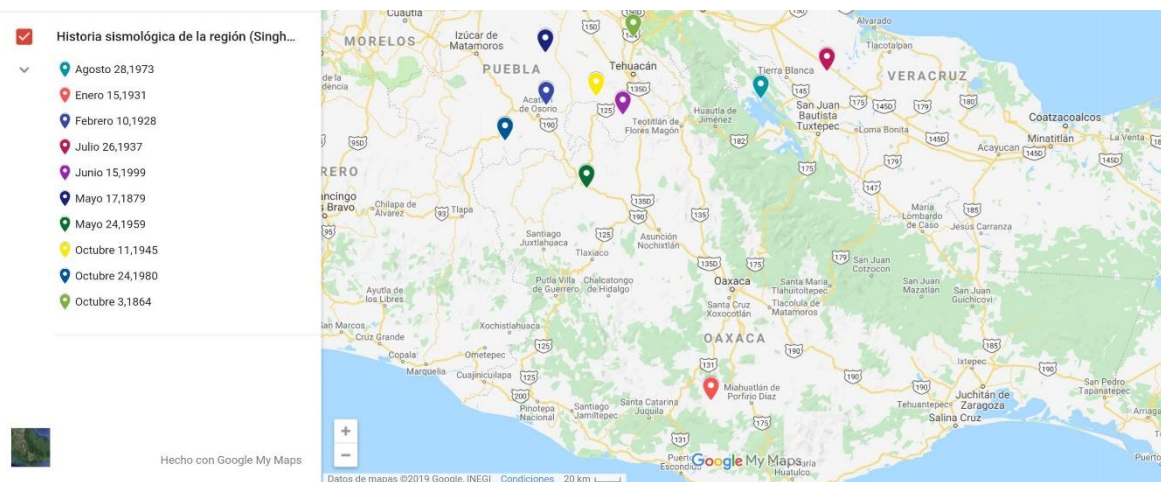


Figura 1.8- Mapa de sismos ocurridos en la región de Tehuacán, Puebla.

Tabla 1.1- Historia sísmológica de la región (Singh et al. 1999).

Fecha	Latitud, °N	Longitud, °O	Profundidad, km	Magnitud
Octubre 3, 1864	18.70	97.40	-	7.3
Mayo 17, 1879	18.60	98.00	-	7.0
Febrero 10, 1928	18.26	97.99	84	6.5
Enero 15, 1931	16.34	96.87	40	7.8
Julio 26, 1937	18.48	96.08	85	7.3
Octubre 11, 1945	18.32	97.65	95	6.5
Mayo 24, 1959	17.72	97.72	80	6.8
Agosto 28, 1973	18.30	96.53	84	7.0
Octubre 24, 1980	18.03	98.27	65	7.0
Junio 15, 1999	18.20	97.47	60	7.0

Entre estos sismos, el 19 de septiembre de 2017, a las 13:14:40 h (hora local), minutos después de la conmemoración de 32 años del sismo de 1985, un temblor M_w 7.1 se sintió en la misma área en que se registró el sismo de Tehuacán el 15 de junio de 1999. El epicentro se ubicó en latitud 18.40°N , longitud 98.72°O y con una profundidad de 57 km (SSN, 2017).

En la fig. 1.9, se observan claramente las intensidades registradas en términos de máxima aceleración del terreno (por sus siglas en inglés *Peak Ground Acceleration*, PGA), en donde se ve claramente como este tipo de sismos presenta una intensidad mayor en la zona epicentral y una atenuación conforme se va alejando del epicentro.

Luego de algunas semanas del evento, se habían registrado 39 réplicas de magnitudes entre 2.3 a 3.7, lo cual es característico de los sismos de mediana profundidad de la zona. Tal es el caso de los sismos descritos con anterioridad en la zona; el del 28 de agosto de 1973 (M_w 7.0, $H=84$ km) y el sismo del 19 de junio de 1999 (M_w 7.0, $H=50-60$ km) tuvieron pocas réplicas. Sin embargo, el comportamiento anterior no siempre ha sido igual; en los nueve días siguientes al sismo del 24 de octubre de 1980 (M_w 7.0, $H=65$ km), se registraron cerca de 900 réplicas, 300 de las cuales pudieron ser localizadas.

La elevada intensidad instrumental del movimiento en la zona epicentral coincide con la ocurrencia de una gran cantidad de edificaciones dañadas en los estados de Puebla y Morelos.

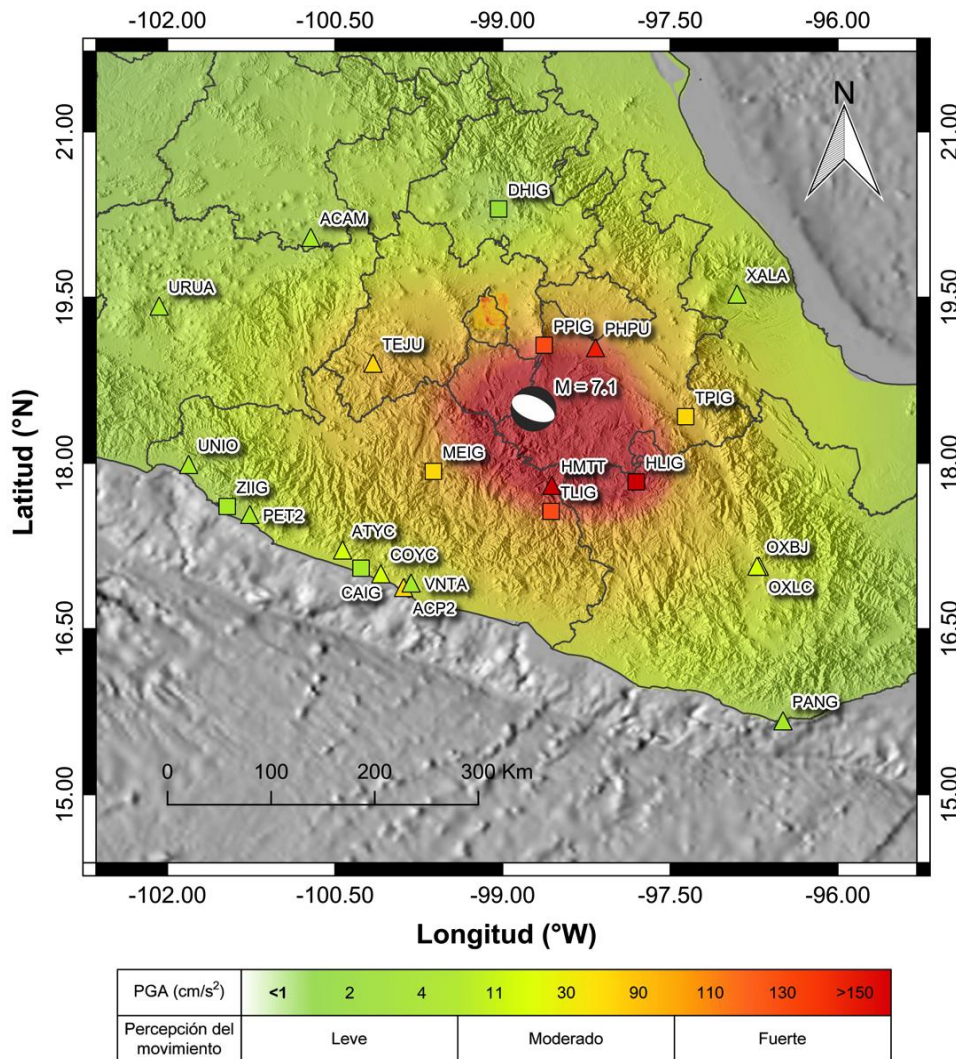


Figura 1.9- Mapa de intensidades instrumentales para el sismo de Puebla-Morelos.

En las figs. 1.10 y 1.11 se muestran ocho juegos de acelerogramas registrados en cuatro estaciones fuera de la Ciudad de México (fig. 1.10) y cuatro dentro de ella (fig. 1.11), respectivamente. En las gráficas se incluyen los espectros de respuesta de aceleración para las tres componentes del movimiento. La estación HMTT (en Huamuxtitlán, Gro.) es la más cercana al epicentro. Las ordenadas espectrales de aceleración para la componente N-S alcanzaron valores de 0.8 g para periodos del orden de 0.25 s. La máxima ordenada en la otra componente horizontal es aproximadamente igual a la mitad, lo que sugiere un fuerte efecto de directividad del movimiento hacia el sur. En la estación PHPU (en Puebla, Pue.), a una distancia similar que HMTT del epicentro, las ordenadas espectrales fueron similares a los valores de la componente E-O de HMTT. Como era de esperarse, en Acapulco (ACP2) y Oaxaca (OXBJ), las aceleraciones espectrales fueron muy pequeñas debido a la distancia desde el epicentro.

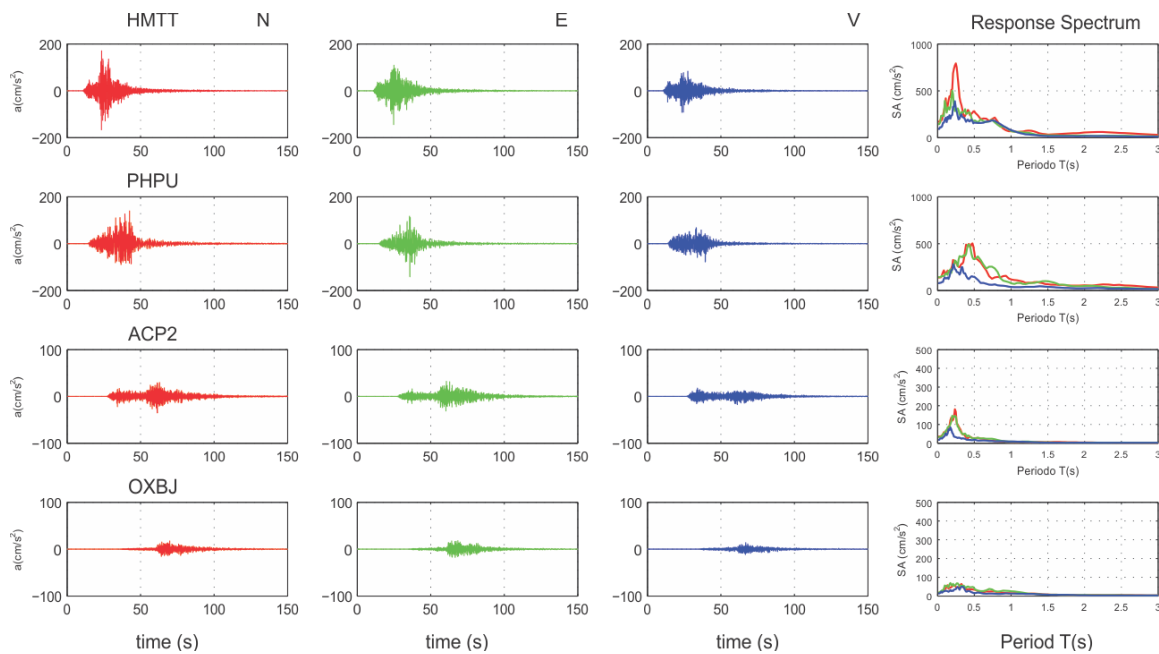


Figura 1.10- Juego de acelerogramas para cuatro estaciones fuera de la ciudad de México. (Ramírez, 2017).

De acuerdo con los registros obtenidos en la Ciudad de México, la máxima aceleración del terreno en Ciudad Universitaria, UNAM, fue de 59 cm/s^2 , la cual es casi el doble de la máxima registrada anteriormente, durante el sismo del 19 de septiembre de 1985 (29.8 cm/s^2). Igualmente, el sismo de 2017 causó las mayores velocidades del terreno registradas hasta ahora, de 8.9 cm/s , muy superior a la máxima registrada en el sismo del 19 de septiembre de 1985 (3.24 cm/s).

Los espectros de respuesta en la Ciudad de México mostraron grandes aceleraciones en la zona sur de la ciudad (estación LEAC en Av. Tláhuac esq. Camino Antiguo a Los Viveros), con valores cercanos a 0.7 g en las dos componentes horizontales para periodos de vibración cercanos a 1 s (fig. 1.11). Es importante resaltar que los edificios con un periodo de vibración de 1 s tienen alrededor de 7 u 8 pisos, que justamente corresponde con la altura de los edificios mayormente dañados.

En la estación de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, se registraron aceleraciones espectrales de 0.6 g y 0.4 g en las direcciones E-O y N-S, respectivamente. A diferencia de lo que ocurrió en 1985, los picos del espectro ocurrieron para periodos cercanos a 1.75 s . Estas ordenadas espectrales fueron menores que las registradas en 1985 que alcanzaron valores de casi 1 g .

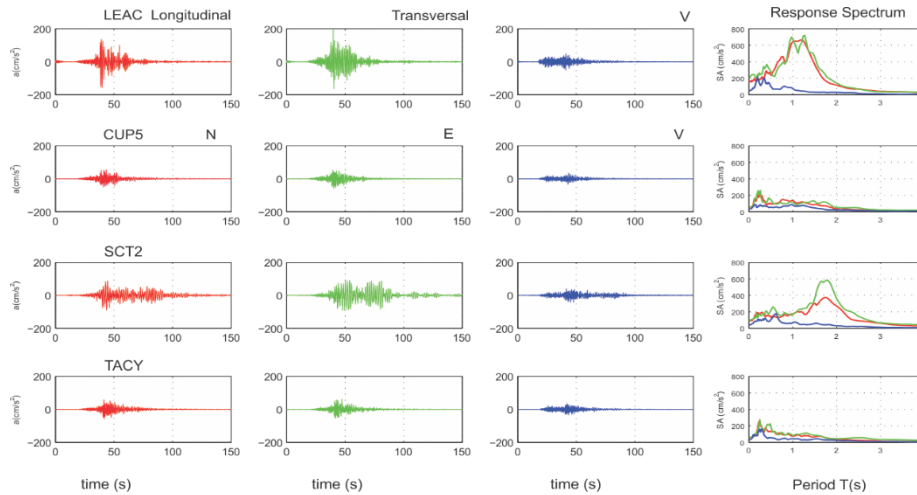


Figura 1.11- Juego de acelerogramas para cuatro estaciones dentro de la Ciudad de México (Ramírez, 2017).

El sismo de Puebla-Morelos estuvo caracterizado por un contenido de frecuencias que excitó los depósitos aluviales del Valle de México en frecuencias cercanas a 1 Hz. Este efecto de sitio contrasta con el observado en 1985, en el cual los estratos mayormente excitados fueron aquellos con frecuencia predominante de 0.5 Hz. Los estratos excitados correspondieron con aquellos alojados a lo largo de la ribera del antiguo lago, en la zona poniente de la ciudad. Así, la distribución de edificios colapsados y dañados fue consistente con los estratos más excitados. En la fig. 1.12 se muestra un mapa de la Ciudad de México que ilustra, de manera difuminada, la máxima aceleración del terreno. Sobrepuesto está la ubicación del daño registrado. Es clara la correspondencia entre los edificios dañados, mayormente entre cuatro y siete pisos, con las máximas aceleraciones registradas a lo largo de la ribera de los antiguos lagos, con un periodo natural de vibración del orden de 1 s.

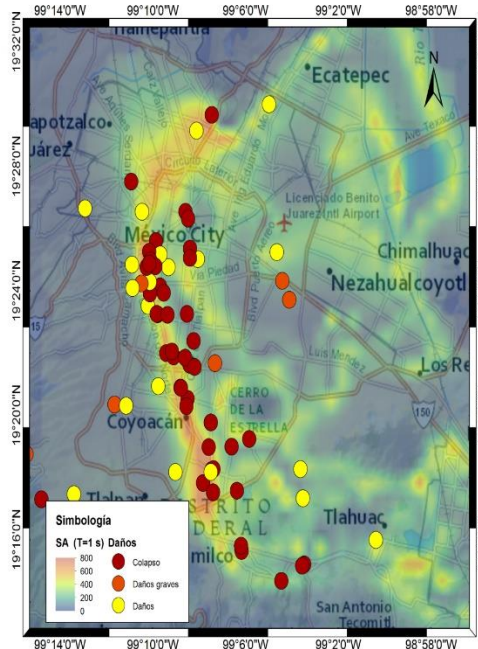


Figura 1.12 - Máximas aceleraciones espectrales para $T=1$ s en la Ciudad de México con la ubicación de edificaciones colapsadas (marcador rojo), con daños graves (marcador anaranjado) y con daños moderados y ligeros (marcador amarillo) (Ramírez, 2017).

1.5 DAÑOS PROVOCADOS POR LOS SISMOS

Debido al corto periodo de ocurrencia entre ambos sismos, no es posible saber a detalle cuáles fueron los daños provocados por cada sismo. Se supone que los daños provocados en los estados de Chiapas y Oaxaca principalmente fueron provocados por el sismo del 7 de septiembre, mientras que los daños en los estados de Puebla, Morelos, México y Ciudad de México fueron, en su mayoría, provocados por el sismo del 19 de septiembre.

1.5.1 Daños causados por el sismo de Tehuantepec

Este sismo afectó principalmente a los estados de Oaxaca y Chiapas; en Oaxaca las comunidades más dañadas fueron Juchitán, Matías Romero, Unión Hidalgo y San Dionisio del Mar, mientras que en Chiapas fueron Tonalá, San Cristóbal de las Casas, Pijijiapan y Tapachula. Estas comunidades cuentan con edificaciones a base de mampostería simple (sin refuerzo alguno) de adobe, piedras o piedras prismáticas (tabique rojo recocido, por ejemplo).

Estas poblaciones cuentan con una vasta cantidad de sitios coloniales construidos con materiales de baja resistencia (adobe y mampostería de piezas). Tal es el caso de iglesias y recintos antiguos, donde se registraron daños en bóvedas, cúpulas, tambores de cúpulas y en portadas, entre otros.

Entre los daños más comunes registrados por este evento en edificios públicos y privados se encuentran:

- Agrietamiento inclinado de muros
- Agrietamiento vertical de muros, cerca de extremos, debido a deformaciones fuera del plano de los muros
- Colapso de muros fuera de plano
- Agrietamiento y eventual colapso en las esquinas de muros
- Desprendimiento de techos
- Parapetos colapsados por falta de arriostramiento fuera de plano.

En cuanto a estructuras de concreto dañadas, se tiene registro de pocas con daño. En su mayoría, eran estructuras con diseños anteriores a 1985 que no contaban con un detallado dúctil requerido para este tipo de sismos que demandan deformaciones inelásticas apreciables. Los principales daños se concentraron en columnas con concretos de baja resistencia y refuerzo longitudinal en forma de paquetes y escasa relación volumétrica de refuerzo transversal. Comúnmente, los estribos estaban separados a 20 cm o más y con ganchos doblados a 90°, mientras que los nudos viga-columna carecían de refuerzo transversal. Por el contrario, en la zona se observaron edificaciones recientes de concreto reforzado con excelente desempeño. Es evidente que los edificios diseñados con normas actuales tuvieron un mejor desempeño en comparación con aquellos que son más antiguos.

1.5.2 Daños causados por el sismo de Puebla-Morelos

Al igual que en el sismo del 7 de septiembre de 2017, los daños en edificaciones de mampostería de adobe o de piezas naturales o artificiales fueron recurrentes, debido a la baja resistencia a tensión con la que cuentan estos materiales. En la mayoría de los casos, las edificaciones fueron construidas con un diseño para sismos pobre o inexistente. Además, la falta de mantenimiento, constante en muchas edificaciones, provocó exacerbó los daños de consideración.

Debido a la cercanía con el evento, en la Ciudad de México se tiene el registro de 38 colapsos provocados por el sismo, de los cuales 23 ocurrieron en edificios de cuatro y siete niveles. De ellos, 18 exhibieron piso suave, seis tenían irregularidades en planta y en elevación, 12 eran edificios en esquina, siete tenían losas planas, dos experimentaron golpeteo de estructuras adyacentes y 12 exhibieron una clara deficiencia en resistencia lateral y detallado dúctil (cuantía elevada de refuerzo horizontal en elementos de marcos, por ejemplo) (Plataforma CDMX, 2018). Igualmente, estos edificios evidenciaron daños asociados a un pobre o inexistente mantenimiento, como es el desconchamiento de concreto debido a corrosión del acero de refuerzo. Sólo uno de los 38 colapsos había sido diseñado posteriormente a 1985. En la fig. 1.13 se observa la ubicación de los edificios colapsados (Plataforma CDMX, 2018). Las delegaciones (alcaldías) con más daño fueron Benito Juárez (12), Cuauhtémoc (10) y Coyoacán (5), según informes de esta plataforma.

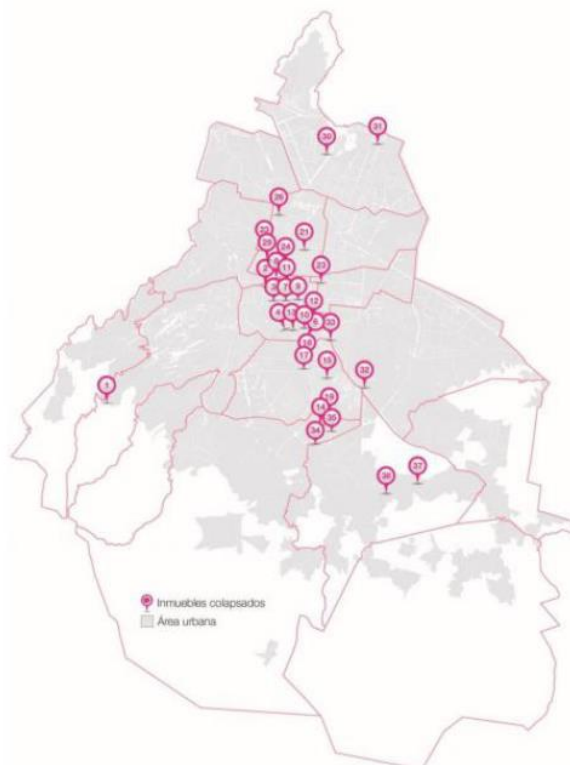


Figura 1.13 - Mapa de edificios colapsados en la Ciudad de México a raíz del 19 de septiembre de 2017 (Plataforma CDMX, 2018).

1.6 IMPACTOS DE LOS SISMOS

Los sismos de septiembre de 2017 cobraron la vida de 477 personas, 98 en el sismo del 7 de septiembre y 369 en el del 19 de septiembre, respectivamente. De los 369 muertos, 228 ocurrieron en la Ciudad de México. Como resultado de los sismos, 171,494 viviendas fueron dañadas. De ellas, 111,628 experimentaron daño moderado que requiere de reparación, y 59,866 requieren ser reconstruidas (El Financiero, 2018).

En el sector escolar, como se mencionó anteriormente, 19,194 escuelas fueron dañadas; de ellas, 12,014 fueron señaladas con daño menor; 6,970 con daño moderado/severo y daño moderado, y 210 con daño grave que demanda la reconstrucción de los edificios (INIFED, 2019).

En el sector salud, más de 224 unidades médicas de distinto tamaño y complejidad resultaron afectadas. Resalta el Hospital General de Juchitán con daño en algunas columnas del edificio principal, que condujo a la decisión de demolerlo y construir un nuevo hospital (SHCP, 2018).

De acuerdo con estimaciones del Gobierno de la República en 2017, las afectaciones sobre viviendas, edificios y espacios públicos alcanzarán los 48 mil millones de pesos (2.5 mil millones de dólares). Si bien es una fuerte suma de dinero, comparado con datos del CENAPRED sobre otros desastres naturales, este valor no es una cifra tan significativa como las alcanzadas en 2010 y 2013 para otros eventos naturales (fig. 1.14).

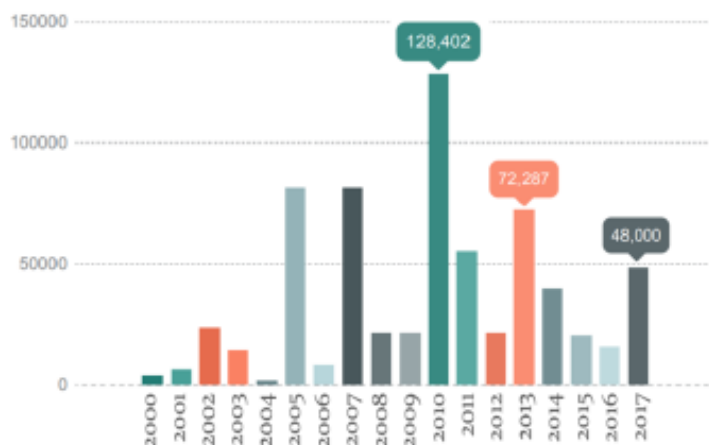


Figura 1.14 - Costos de reconstrucción de desastres naturales de 2000 a 2017 (Millones de pesos de 2018) (CENAPRED, 2018).

1.7 LECCIONES APRENDIDAS

Si bien el sismo de 1985 fomentó una cultura de prevención ante desastres sísmicos, como es el caso de la práctica periódica de simulacros de emergencia urbana, principalmente ante sismos y la conciencia en la población sobre qué hacer durante un evento de esta magnitud, es claro que todavía existe un largo recorrido para lograr una verdadera cultura de prevención ante desastres. Lo anterior quedó evidenciado por los eventos de septiembre de 2017: las respuestas de la sociedad, medios de comunicación, y sobre todo del gobierno fueron sobrepasadas por la magnitud de los desastres. Por

ello, es necesario contar con reglamentos y programas dirigidas a la reducción del riesgo de desastres y del incremento de la resiliencia de nuestras comunidades.

De manera puntual, las lecciones por aprender y reaprender son:

- Durante la atención a la emergencia:
 - Profesionalización de los sectores involucrados en la respuesta.
 - Protocolos de actuación eficaces para catalogar y evaluar el daño.
 - Mayor coordinación en las labores de evaluación y rescate de víctimas.
 - Utilización de la TIC's (tecnologías de la información y comunicación) como herramienta en la toma de decisiones en tiempo real.
 - Mejoramiento de la capacidad de la alerta sísmica.
- En la cultura de prevención:
 - Educación sísmica, la cual es necesaria para que la población sepa qué hacer luego de un evento sísmico.
 - Planes de mitigación y resiliencia para la reducción del riesgo.
 - Agenda de investigación y desarrollo.
- Reglamentos de construcción:
 - Reglamento modelo de uso nacional.
 - Observancia obligatoria para evitar incumplimiento de las normas vigentes.
 - Necesidad de contar con más y mejores ingenieros estructurales en el país.

1.8 PLAN DE RECONSTRUCCIÓN DE ESCUELAS

Para hacer frente a los daños causados por los sismos de septiembre de 2017 a la infraestructura escolar, el INIFED diseñó un Plan de Reconstrucción de Escuelas. El Plan ha sido aplicado a las 11 entidades federativas que sufrieron afectaciones (Chiapas, Ciudad de México, Hidalgo, México, Michoacán, Morelos, Guerrero, Oaxaca, Puebla, Tlaxcala, Veracruz).

En una primera etapa, se evaluó la seguridad estructural según el tipo de daño. Se clasificó el daño en tres categorías: daño menor, reconstrucción parcial y rehabilitación mayor. Según el INIFED (2017a), los daños menores son los que no afectaron de manera relevante la capacidad estructural. Para estos casos se hicieron reparaciones superficiales. Este nivel de daño es equivalente al “daño ligero” establecido en las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal, NTC-M (GCDMX, 2017). La reconstrucción parcial, equivalente a los daños moderados y severos de la NTC-M (GCDMX, 2017), implica una intervención amplia. Esta rehabilitación puede requerir el reemplazo de partes o la totalidad de elementos dañados, y el reforzamiento de algunos elementos. La rehabilitación mayor, asociada a daño grave con las NTC-M (GCDMX, 2017) implica el reemplazo y/o reforzamiento de la mayoría de los elementos estructurales, el incremento de la rigidez lateral de la estructura, el cambio de sistema estructural, entre otros. En el caso de escuelas con daños graves, 210 de ellas fueron demolidas. El INIFED informó que criterio que se adoptó para decidir su demolición (y no su rehabilitación) fue el siguiente (Báez, 2018):

“Cuando un inmueble escolar en la CDMX presentó afectaciones graves, con base en el Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal (Artículos 36, 38 y 39), así como en el Capítulo 16. “Diagnóstico y Reparación de Estructuras Existentes” de la de la norma NMX-R-079-SCFI-2015 “Escuelas – Seguridad Estructural de la Infraestructura Física Educativa –Requisitos. (Sección 16.2.7.2 y 16.3.2), se solicitó la opinión de un Corresponsable en Seguridad Estructural. Este

dictaminó, a partir de los daños y otras situaciones que pusieran en peligro la estabilidad de la estructura, si era necesaria la demolición o si era posible rehabilitarla. En este último caso, se pidió que propusiera algún método de rehabilitación. En algunos casos, debido a la edad de los edificios, el deterioro propio por el uso y a falta de un adecuado mantenimiento, donde puede intuirse que al emprender una rehabilitación se pudieran encontrar mayores afectaciones o que la estructura pueda dañarse a causa de los procesos constructivos, lo cual elevaría los costos de la recuperación, se sugirió la demolición de los inmuebles. Dicha sugerencia también fue puesta a la opinión del Corresponsable en Seguridad Estructural.

Para el caso de los inmuebles escolares en las otras entidades federativas, se utilizaron criterios equivalentes acordes a las Normas Técnicas del INIFED, así como a la NMX-R-079-SCFI-2015, cuya ejecución es responsabilidad de los organismos estatales encargados de la infraestructura educativa.”

Al 22 de marzo de 2018, de un total de 19,194 con algún tipo de daño, se han concluido 12,035 planteles (62.7%) mientras que 4,173 (21.7%) están en proceso (INIFED, 2019). Quedan por atender 2,986 (15.6%) planteles, de los cuales 736 serán financiados por el Programa Nacional de Reconstrucción (PNR) y 186 por el programa Escuelas al CIEN.

En la tabla 1.2, se presenta el número total de escuelas y edificios en las entidades federativas mayormente dañadas. Como se advierte, la exposición total de los sismos fue de más de 69 mil escuelas y de 264 mil edificios. Con un promedio de casi 4 edificios por escuela.

Tabla 1.2 – Número de escuelas y edificios expuestos en las entidades federativas con mayores afectaciones en los sismos de septiembre de 2017.

Estado	Escuelas	Edificios	Edificios por escuela
Chiapas	12,462	46,507	3.73
Oaxaca	8,809	35,689	4.05
Veracruz	15,838	59,473	3.76
Guerrero	7,287	25,599	3.51
Morelos	1,597	6,396	4.01
Puebla	8,259	31,669	3.83
Tlaxcala	1,190	6,156	5.17
Edo.Méx	11,055	41,929	3.79
CDMX	2,914	10,940	3.75
Total	69,411	264,358	

CAPÍTULO 2

BASE DE DATOS Y RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN

2.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se presenta la información que fue entregada por parte del INIFED. Se describe parte por parte el contenido de las cédulas de evaluación. Se explica la estructura de la base de datos creada a partir de los campos de las cédulas. Además, se hace una propuesta de una nueva cédula de levantamiento de daños electrónica que permita recolectar los datos más rápido. Por último, se explica cómo se debe levantar el daño en un edificio escolar luego de un evento sísmico.

2.2 CÉDULA DE EVALUACIÓN DE DAÑO

Luego de los eventos de septiembre de 2017, el INIFED realizó un levantamiento de daño en las escuelas afectadas por los temblores. Para ello uso un formato de evaluación de daño en estructuras llamado “Cédula básica de información de evaluación por desastre natural denominado...”, el cual contiene nueve apartados que caracterizan al inmueble visitado. De manera general, describe el estado físico de las estructuras de un plantel y, de ser el caso, los daños provocados por el evento natural. Cabe resaltar que estas cédulas son llenadas a mano por los institutos locales de cada estado, por ello cuentan con algunas diferencias en formato, pero en esencia contienen la misma información.

En la primera sección, se encuentran datos generales (fig. 2.1) donde se incluye el nombre del plantel, nivel educativo, clave del centro de trabajo (CCT), que es como la clave única de registro de la población (CURP) en escuelas, ubicación geográfica, dirección, ocupación, fecha del levantamiento, área del predio y si presenta daño o no.

SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA
INSTITUTO NACIONAL DE LA INFRAESTRUCTURA FÍSICA EDUCATIVA
GOBIERNO DEL ESTADO DE OAXACA
INSTITUTO OAXAQUEÑO CONSTRUCTOR DE INFRAESTRUCTURA FÍSICA EDUCATIVA

CÉDULA BÁSICA DE INFORMACIÓN DE EVALUACIÓN DE DAÑOS POR DESASTRE NATURAL DENOMINADO:
SISMO CON MAGNITUD 8.2 EL 7 DE SEPTIEMBRE DE 2017 EN 283 MUNICIPIOS EN EL ESTADO DE OAXACA

1.- DATOS GENERALES

NOMBRE:	E.P. REVOLUCION	NIVEL EDUCATIVO:	BASICO	FECHA:	14 SEPT. 2017
LOCALIDAD:	CIUDAD IXTEPEC	MUNICIPIO:	CIUDAD IXTEPEC	CCT (s):	20DPR00748
NÚMERO DE VALIDACIÓN DE CÉDULA:	CON DAÑO	SIN DAÑO		ALUMNOS:	437
COORDENADAS	16° 33'15.1" N	95° 05'33.3" W	ÁREA TOTAL DEL PLANTEL	DOCENTES:	18
				ADMINISTRATIVO Y DE APOYO:	06

Figura 2.1 - Información sobre los datos generales en la cédula INIFED.

En la siguiente sección, “Infraestructura, mobiliario, equipo y/o contenido” (fig. 2.2), se enlistan las estructuras pertenecientes a cada plantel, donde se colocan datos como: Edificio, tipo de estructura (es decir, el prototipo INIFED), número de entre ejes (No. E.E.), tipo de material en muros, cubiertas y pisos, tipo de instalaciones (eléctrica, hidro-sanitaria, aire acondicionado o especiales) y, por último, una descripción breve del tipo de daño que se presenta. En caso de no existir daño se indica como “sin daño”. Cabe señalar que la cédula carece de un catálogo de materiales, por ello, es posible que, según el criterio y conocimiento del evaluador se usen distintos nombres para mismos materiales.

2.- INFRAESTRUCTURA MOBILIARIO,EQUIPO Y / CONTENIDO

EDIFICIO	ESTRUCTURA	No. E. E.	ESPECIFICACION MATERIAL Y/O ACABADOS			INSTALACIONES				DESCRIPCIÓN GENERAL DEL DAÑO
			MUROS	CUBIERTA	PISOS	ELEC	HID-SAN	A-A	ESP	
A	REGIONAL	5	TABIQUE	CONCRETO	CONCRETO	SI	NO	SI	SI	MUROS Y COLUMNAS AGRIETADOS,DESPLOMADOS,CANCELERIA DAÑADA
B	ATÍPICA	2	TABIQUE	CONCRETO	CONCRETO	SI	NO	NO	NO	MUROS AGRIETADOS EN CASTILLOS Y TRABES
C	A-70	6	TABIQUE	CONCRETO	CONCRETO	SI	NO	SI	NO	SIN DAÑOS
D	H-M	2	TABIQUE	CONCRETO	CONCRETO	SI	SI	NO	NO	SIN DAÑOS
E	ATÍPICA	8	TABIQUE	CONCRETO	CONCRETO	SI	NO	NO	NO	SIN DAÑOS
F	A-M	2	TABIQUE	CONCRETO	CONCRETO	SI	SI	NO	NO	GRIETAS BAJO TRABE
G	H-M	8	TABIQUE	CONCRETO	CONCRETO	SI	NO	NO	NO	GRIETAS EN MUROS CARPECEROS

Figura 2.2 - Apartado sobre infraestructura, mobiliario, equipo y/o contenido en la cédula INIFED.

En el tercer apartado llamado “Áreas e instalaciones exteriores a los edificios, accesos y elementos delimitantes del plantel” (fig. 2.3), se hace un listado de los elementos con los que cuenta el plantel y si presentan daño o no. Los elementos a los que hace referencia son plaza cívica, techumbre de la plaza cívica, asta bandera, canchas deportivas, red hidráulica, cisterna, tanque elevados, red sanitaria, letrina, entre otros. Se incluye un croquis de la ubicación de la escuela y el sello de la autoridad estatal. Aquí se indica quién elaboro la cédula y el visto bueno con sus respectivas firmas. Cabe señalar que, de existir daño, éste no se describe, lo cual es importante ya que muchos de los daños provocados fueron en bardas perimetrales y no se distinguió entre un colapso parcial, o total de bardas. En el capítulo 3 se abundará más al respecto.

3.- ÁREAS E INSTALACIONES EXTERIORES A LOS EDIFICIOS, ACCESOS Y ELEMENTOS DELIMITANTES DEL PLANTEL:

ELEMENTO	EXISTE	C/DAÑO	ELEMENTO	EXISTE	C/DAÑO	CROQUIS DE LOCALIZACIÓN	SELLO DE AUTORIDAD ESTATAL
PLAZA CÍVICA	SI	NO	RED HIDRAULICA	SI	NO		
TECHUMBRE PLAZA CÍVICA	SI	NO	CISTERNA	SI	NO		
ASTA BANDERA	NO		CUBO DE TINACOS	SI	NO		
CANCHAS DEPORTIVAS	NO		TANQUE ELEVADO	NO			
TECHUMBRE CANCHA	NO		MURO DE ACOMETIDA	SI	NO		
ANDADORES	SI	NO	RED ELÉCTRICA	SI	NO		
RAMPAS	SI		ILUMINACIÓN EXTERIOR	NO			
PÓRTICO O PTA DE ACCESO	SI	NO	RED SANITARIA	SI	NO		
MURO DE ACCESO	SI	NO	LETRINA	NO			
BARDA PERIMETRAL	SI	SI	POZO DE ABSORCIÓN	SI	NO		
CERCA DE MALLA	SI	NO	FOSA SÉPTICA	SI	NO		
REJA	SI	NO	OTROS				
BEBEDEROS	NO						

ELABORÓ: ARQ. HERIBERTO TANOS VASQUEZ (NOMBRE Y FIRMA)

Vo.Bo. INIFED (NOMBRE Y FIRMA) German Machuca

Figura 2.3- Apartado sobre áreas e instalaciones exteriores a los edificios, accesos y elementos delimitantes del plantel en la cédula del INIFED.

Para el cuarto apartado, “Informe fotográfico” (fig. 2.4), se presenta evidencia fotográfica de las condiciones de los edificios con una breve descripción del daño y de la ubicación de éste.

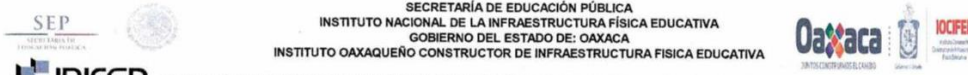



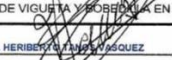

	
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA INSTITUTO NACIONAL DE LA INFRAESTRUCTURA FÍSICA EDUCATIVA GOBIERNO DEL ESTADO DE OAXACA INSTITUTO OAXAQUEÑO CONSTRUCTOR DE INFRAESTRUCTURA FÍSICA EDUCATIVA	
CÉDULA BÁSICA DE INFORMACIÓN DE EVALUACIÓN DE DAÑOS POR DESASTRE NATURAL DENOMINADO: SISMO CON MAGNITUD 8.2 EL 7 DE SEPTIEMBRE DE 2017 EN 283 MUNICIPIOS EN EL ESTADO DE OAXACA	
FECHA: 14 SEPT. 2017	
NOMBRE: ESCUELA PRIMARIA REVOLUCION	NIVEL EDUCATIVO: BASICO CCT (s): 20DPR0074B
LOCALIDAD: CIUDAD IXTEPEC	MUNICIPIO: CIUDAD IXTEPEC
4. REPORTE FOTOGRAFICO	
	
EDIFICIO "H" FACHADA INTERIOR DE LA ESCUELA	EDIFICIO "H" FACHADA QUE DA HACIA LA CALLE
	
EDIFICIO "H" CUBIERTA DE VIGUETA Y BOVEDILLA EN MAL ESTADO	EDIFICIO "H" AREA PLAFON DE MADERA EN MAL ESTADO
 ARQ. HERIBERTO MUÑOZ ROSALES	

Figura 2.4 –Informe fotográfico en la cédula del INIFED.

El quinto apartado, “Planta de conjunto del plantel” (fig. 2.5), tiene el fin de ubicar en un plano o croquis la distribución de los edificios con los que cuenta el plantel y algunos otros datos relevantes como los entre ejes o crujías de cada edificio.

En los restantes apartados, se especifican los daños observados en los diferentes cuerpos del plantel, así como las propuestas de rehabilitación / reconstrucción que se consideran pertinentes realizar. Los apartados 6 y 7 están destinados a lo concerniente a los edificios: “Daños que presenta el inmueble por edificio o área exterior” y “Para reconstrucción por edificio o área exterior”, respectivamente. Los apartados 8 y 9 básicamente se refieren a los contenidos de los edificios: “Daños que presenta el inmueble por edificio en mobiliario, equipo y contenido” y “Propuesta de reposición en el inmueble por edificio en mobiliario, equipo y contenido”, respectivamente.

Para el desarrollo de esta tesis, INIFED entregó a lo largo de varios meses, las cédulas de edificios evaluados de las entidades federativas siguientes, en orden alfabético: Ciudad de México, Chiapas, Guerrero, México, Morelos, Oaxaca, Puebla, Tlaxcala y Veracruz. Las cédulas entregadas fueron archivos electrónicos de cédulas escaneadas con equipos comerciales convencionales. Los datos de las cédulas fueron transferidos, manualmente, a la base de datos que se describe en la sección 2.3. El vaciado de las cédulas fue un trabajo permanente entre los meses de enero y agosto de 2017, conforme se entregaba la información.

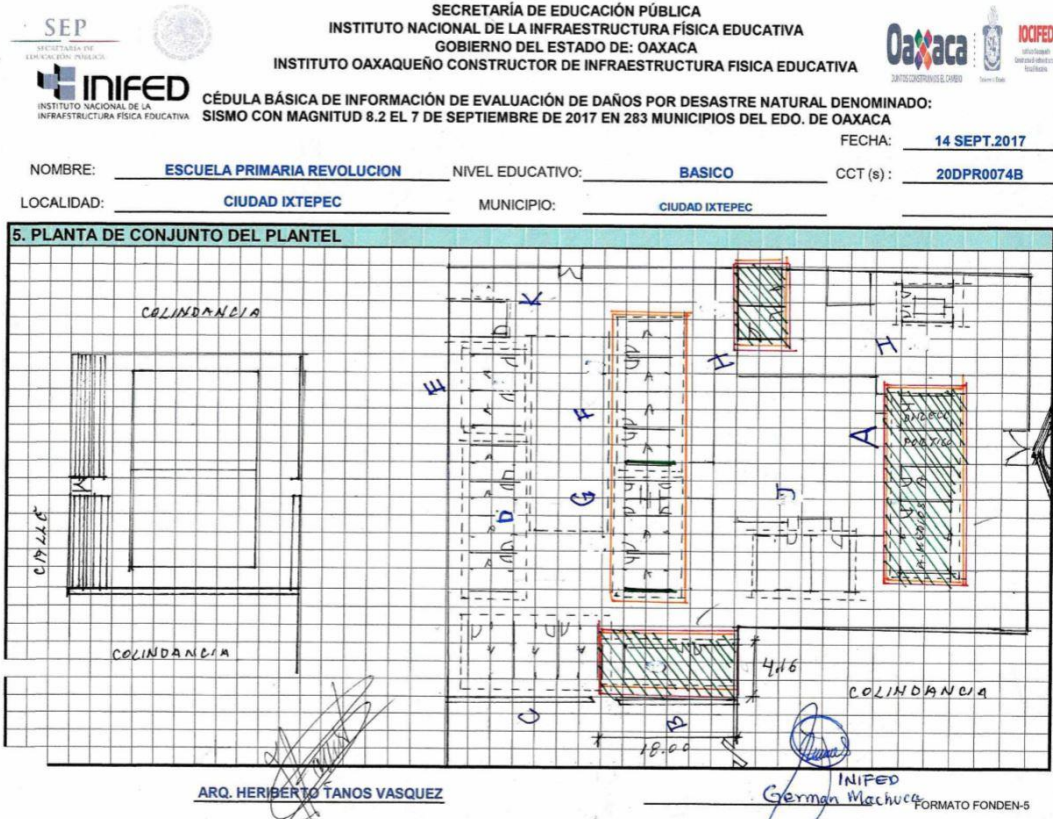


Figura 2.5- Planta de conjunto del plantel en la cédula INIFED.

Se recibieron 2,536 archivos de cédulas de evaluación, que en total cuentan con 12,444 edificios inspeccionados. Antes de vaciar cada cédula a la base de datos, se revisó la calidad de la información, debido a que en su conjunto presentaban una heterogeneidad en la información presentada, es decir, había cédulas que no contaban con información suficiente o legible para su correcta interpretación y vaciado.

Con el fin de solucionar dicho problema, se realizó una lista de comprobación (Anexo 2.1) en donde se preguntaba con qué información contaba la cédula, para catalogarla en tres tipos niveles: verde, amarillo y rojo. Esta clasificación fue interna y no tiene relación alguna con la clasificación dada por la persona que evaluó el inmueble. Lo anterior tuvo la finalidad de conocer cuáles cédulas contaban con información completa (verde) para realizar un análisis estadístico más preciso de los edificios que se presentan en el capítulo 4.

A continuación, se describe brevemente las consideraciones que se deben tener para que una cédula pueda ser clasificada por contenido de información:

Verde - Todos los puntos destacados en negritas (ver Anexo 2.1) están incluidos, el informe fotográfico incluye fotos claras. Para el caso de las estructuras clasificadas como “Atípicas”, deben estar incluidas las dimensiones de los elementos estructurales y su ubicación en planta. En verde se tuvieron 2,617 edificios.

Amarillo - Todos los puntos destacados en negritas están incluidos, el informe fotográfico incluye fotos poco claras. Para el caso de las estructuras clasificadas como “Atípicas”, debe estar incluidas las

ubicación en planta con dimensiones de los elementos estructurales. Se consideraron a 2,590 edificios en amarillo.

Rojo -No incluye alguno de los puntos destacados en negritas (ver Anexo 2.1). Se clasificaron 7,237 edificios en rojo.

2.3 BASE DE DATOS

2.3.1 Descripción de la base de datos

La base de datos, en su formato general, consistió en el compendio electrónico de la información obtenida en las cédulas de evaluación del INIFED. Las cédulas fueron llenadas en campo por personal de las entidades estatales responsable de la infraestructura física educativa en los días posteriores a los sismos del 7 y 19 de septiembre de 2017.

Como se indicó antes, la base de datos se construyó mediante la transcripción manual de la información de las cédulas de evaluación del INIFED a libros de Excel (Ver anexo 2.2). Esta herramienta permitió ordenar sistemáticamente la información para su análisis como conjunto con el fin de unificar criterios y clasificar el daño.

Cabe mencionar que las cédulas de evaluación no contienen la edad o año de construcción de los edificios, que es un dato trascendente para la evaluación estructural de los edificios. Para subsanar esta deficiencia, se solicitó al Sistema Nacional de Información (SNI) del INIFED este dato. Asimismo, el SNI del INIFED proporcionó un listado con todos los planteles levantados al 2015 del país, el cual contiene el número de edificios y su tipología de cada plantel. El listado ha sido útil para contar con una estimación aproximada del universo total de edificios con los que cuenta la infraestructura educativa a nivel nacional y, de ese modo, conocer la distribución geográfica de los daños y otros datos útiles para el análisis de la información.

Generalmente cada plantel educativo cuenta con varios edificios, los cuales en la mayoría de los casos es distinto en su geometría y materiales. El análisis y caracterización se realizó para cada uno de ellos y no por plantel.

2.3.2 Categorías y campos específicos dentro de cada categoría

2.3.2.1 Datos generales

En el apartado de datos generales, se tienen aquellos que permiten identificar el plantel, así como los responsables de las revisiones. Los campos dentro de esta categoría son los siguientes:

- CCT: Clave del Centro de Trabajo es la identificación oficial única de cada Institución, por ejemplo, 07DPR1411Z.
- Número de identificación: Es una clave otorgada para identificación y control interno, que hace referencia al tipo de apoyo que recibirá, ejemplo F-129.
- Clasificación otorgada a la cédula: Tres niveles de clasificación en función de la calidad de la información vistos al final del apartado 3.2 de este documento.
- Fecha de la evaluación.
- Nombre de los responsables de elaboración y revisión de las cédulas.
- Nivel educativo de la Institución: Preescolar, Primaria, Secundaria, Medio Superior, Superior.

- Servicio: Es una categoría otorgada por el Sistema Nacional de Información de Escuelas la cual refiere al tipo de servicio que ofrece; por ejemplo: General, Rural, entre otros.
- Nombre oficial de la escuela.
- Geoposicionamiento: latitud y longitud.
- Calle y número.
- Colonia y/o localidad.
- Código postal.
- Municipio.
- Entidad federativa.
- Número de alumnos.
- Número de docentes.
- Tipo de suelo, de acuerdo con PRODISIS 2015.
- Zona sísmica: De acuerdo con el reglamento local. En el interior de la República se usó el Manual de Diseño Sísmico de Obras Civiles (MDOC) de la Comisión Federal de Electricidad (CFE). En la Ciudad de México, se sigue lo establecido en el Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal (zonificación geotécnica).
- Año de construcción: Dato obtenido del SNI del INIFED.

2.3.2.2 Características estructurales

En este apartado se clasifican las estructuras según las tipologías establecidas por el INIFED. Los campos contenidos son los siguientes:

- Material: Es la clasificación general principal, teniendo los siguientes rubros:
 - Mampostería: Aulas de un nivel con muros de carga hechos de mampostería de tabique o block de concreto.
 - Concreto: Construcción de uno a tres niveles a base de marcos rígidos de concreto reforzado colados *in situ*.
 - Acero: Edificaciones a base de marcos rígidos de acero.
- Prototipo: Es la clasificación secundaria de acuerdo con las características geométricas y constructivas.
 - Prototipos de Mampostería:
 - Regional.
 - Regional 6.00 x 5.30 m con techumbre ligera.
 - Regional 6.00 x 6.00 m con techumbre ligera.
 - Regional 6.00 x 8.00 m con techumbre ligera.
 - Regional 6.00 x 5.30 m losa concreto y mocheta exterior.
 - Regional 6.00 x 6.00 m losa concreto y mocheta exterior.
 - Regional 6.00 x 8.00 m losa concreto y mocheta exterior.
 - Regional 6.00 x 5.30 m losa concreto.
 - Regional 6.00 x 6.00 m losa concreto.
 - Regional 6.00 x 8.00 m losa concreto.
 - Regional sin identificación.
 - Prototipos de concreto.
 - Urbana 1 piso -U1C-.
 - Urbana 2 pisos -U2C-.
 - Urbana 3 pisos Zonas A y B -U3C-.
 - Urbana 3 pisos Zonas C y D -U3C-.
 - Prototipos de acero:

- Hidalgo modificada.
 - Aula largueros.
 - Edificio administrativo con vidrio.
 - 2 pisos modificada para secundaria.
 - 2 pisos modificada.
 - 2 pisos para secundaria.
 - 2 pisos.
 - CECATI.
 - Largueros 68.
 - Concreto 68.
 - Urbana 1 piso metálica.
 - Urbana 2 pisos metálica.
 - Aula 70 con largueros.
 - Aula 70 con losa de concreto.
 - Taller 71 h=3.50m.
 - Taller 71 h=5.50m.
 - Taller 80.
 - Taller 80 con columnas de concreto.
 - Aula 84 con largueros.
 - Aula 84 con losa de concreto.
 - Taller 84.
 - Aula 2 pisos 85.
 - Aula 95.
- Atípica. Esta categoría se refiere a las estructuras que no corresponden a alguno de los prototipos arriba enlistados debido al uso de materiales y/o con características geométricas distintas de las de los prototipos. Las razones principales asociadas a estas variaciones son la autoconstrucción de las escuelas (normalmente por los padres de familia), propiedades y calidades de materiales distintos a las de los prototipos (como el uso de panel W, por ejemplo), así como la ausencia de una adecuada supervisión de obra.
- Prototipo más parecido: Este campo fue agregado para las estructuras atípicas principalmente, debido a que muchas estructuras atípicas parten de algún prototipo del INIFED, pero con modificaciones en materiales, geometría y secciones.
 - Identificador de edificio dentro del plantel: (Ej. Edificio A, B...).
 - E.E. Número de entre ejes.
 - Uso del edificio: aulas, dirección, sanitarios, entre otros.
 - Otros: Información adicional referente al inmueble en cuanto a sus características estructurales.
 - Cubo de escaleras: Si existen (para edificios con dos o más niveles).
 - Escaleras independientes: Si la edificación tiene dos o más niveles, pero carece de escaleras en el interior del inmueble.
 - Sistema estructural: Muros de carga, marcos rígidos de concreto reforzado, marcos metálicos.
 - Tipo de cubierta: Losa de concreto, techumbre ligera, entre otros.
 - Tipo de cimentación: Cajón, losa, zapatas. En la gran mayoría de los casos, se desconoce ya que no se incluyó en la cédula y no es posible deducirlo de la información disponible. Es posible deducirla, en función del prototipo y tipo de suelo.

2.3.2.3 Características no estructurales

Son los elementos físicos que no contribuyen a la rigidez ni resistencia laterales de la estructura pero que, de intervenir, pueden modificar el comportamiento sísmico de la estructura de manera muy sensible. Se incluyen aquí los acabados de los edificios. Los campos comprendidos en esta categoría son:

- Materiales de muros de fachada: concreto, tabique, block, entre otros.
- Porcentaje de área de fachada con aberturas.
- Material de muros divisorios: concreto, tabique, block, entre otros.
- Tipo de unión de muros divisorios: ligada o desligada.
- Tipo de recubrimiento de losa.
- Tipo de luminaria.

2.3.2.4 Daños por mantenimiento o daños previos

Son los daños reportados debidos a la falta de mantenimiento en la edificación a lo largo de la vida útil o parte de ella. También se incluye la rehabilitación de la escuela, si es el caso. Los campos comprendidos en esta categoría son:

- Tipo de deterioro: humedad, corrosión, filtraciones, entre otros.
- Año de rehabilitación: si es el caso.
- Tipo de reforzamiento.

2.3.2.5 Daños estructurales informados

Esta categoría se divide en dos partes. La primera tiene una definición de Sí o No. En la segunda, se debe seleccionar el nivel de daño de entre cuatro posibilidades (nulo, ligero, medio o grave).

Primera parte:

- Colapso.
- Estructura separada de su cimentación.
- Asentamiento diferencial.
- Inclinación notoria.

Segunda parte:

- Daño en columnas de planta baja.
- Daño en columnas de pisos superiores.
- Daño en muros de planta baja.
- Daño en muros de pisos superiores.
- Daño en vigas de planta baja.
- Daño en vigas de pisos superiores.
- Daño en losa de planta baja.
- Daño en losa de pisos superiores.
- Fallas en cimentación: Sí o No.

2.3.2.6 Daños no estructurales reportados

Esta categoría ofrece una caracterización cualitativa (Sí o No) dentro de los elementos no estructurales. Los campos integrados en ella son los siguientes:

- Daño en muros de fachada.
- Daño en muros divisorios.
- Daño en elementos de cubierta de losa.
- Daño en cancelería.
- Daño en ventanas.
- Daño en bardas perimetrales. Aquí se describe el tipo de daño o de falla, para ello se hizo uso de la evidencia fotográfica.
- Daño en luminarias.
- Daño en tinacos.
- Daño en cisterna.
- Daño en barandales, parapetos, pretilos.
- Objetos caídos reportados.

2.3.2.7 Fallas en los sistemas

Esta categoría ofrece una caracterización cualitativa (Sí/No) dentro de las fallas registradas en los sistemas, producto de los sismos del 7 y 19 de septiembre. Los campos integrados en ella son los siguientes:

- Fallas en el sistema hidrosanitario.
- Fallas en el suministro eléctrico.
- Fallas en el sistema de gas.
- Fallas en el sistema de telecomunicaciones.

2.3.2.8 Acciones de rehabilitación

Dentro de este apartado se encuentran las acciones aprobadas para rehabilitación, divididas en tres campos:

- Descripción de las acciones de rehabilitación.
- Costo total de la rehabilitación para los elementos estructurales. Costo total dentro del plantel, incluye uno o varios edificios.
- Costo total de la rehabilitación para los elementos no estructurales.

2.3.3 Calidad de la información

La clasificación de las cédulas a nivel general se realizó en función de la calidad de la información contenida en cada una de ellas, para determinar si cumplía con el mínimo necesario para realizar un análisis de los daños y asignarle una categoría adecuada con un grado de incertidumbre moderado. La categoría otorgada es la que se menciona en 2.3.2.1.

El formato de las cédulas de evaluación del INIFED fue el mismo en todo el país, por lo cual, no había margen de variación en cuanto al tipo de datos recabados, pero sí en su comprensión, ya que, en algunos casos, la interpretación de la información solicitada fue distinta para las diversas entidades federativas, como el caso del prototipo o el número de aulas (INIFED, 2017a).

Dentro de los datos generales, el campo de mayor ausencia fue el de la localización de la calle y colonia. En ocasiones, las coordenadas proporcionadas no eran correctas.

La mayor deficiencia identificada fue la falta de asignación de un prototipo del INIFED. En varios casos, no se realizó la asignación del prototipo en el sitio y, dado que no se incluyeron planos o croquis con las dimensiones y geometría, no fue posible la asignación del prototipo en gabinete. El 46% de los edificios en la base de datos fue clasificado como atípico, ya sea porque no corresponden a un prototipo de INIFED y/o porque se utilizaron materiales poco convencionales en su construcción (como paneles prefabricados, por ejemplo). Una característica más de los atípicos es que muchos de ellos fueron autoconstruidos; tal es el caso de las escuelas en el estado de Morelos donde se ha tenido la costumbre de permitir que los padres de familia construyan las escuelas sin la supervisión profesional.

En cuanto a la calidad de evidencia fotográfica, en general, se puede establecer como deficiente. Para los daños en elementos estructurales y no estructurales descritos, en ocasiones, no se tiene la evidencia o ésta no es clara. Es frecuente que las fotos se hayan hecho para el detalle del daño (acercamiento del daño local), sin que exista evidencia de la magnitud y localización relativa del daño en la estructura. Más aún, de este informe fotográfico no se puede detectar la extensión del daño en la estructura, de modo de establecer nivel del daño de la estructura a partir del nivel de daño de los elementos estructurales y no estructurales por separado.

2.4 ÍNDICE SÍSMICO DE COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL

El siguiente método tiene la finalidad de evaluar el comportamiento sísmico de una estructura, en este caso el comportamiento sísmico de los prototipos INIFED de concreto. Para desarrollar el método se tomó como base el documento “Standard for Seismic Evaluation and Guidelines for Seismic Retrofit of Existing R/C Buildings” (The Japan Building Disaster Prevention Association, 2001) traducido al inglés.

El índice I_s califica las características del comportamiento sísmico de una estructura, cuyo valor será mayor para una mayor capacidad final de la estructura ante cargas laterales y mayor capacidad de deformación. Para calcular I_s se usa la Ec. (2.1) para cada entre piso y en cada una de las direcciones principales de análisis (X,Y).

El índice sísmico cuenta con tres niveles de evaluación, cada uno de ellos con mayor grado de detalle que el anterior, por lo tanto, el grado de confianza en los resultados también aumenta. Para el índice de irregularidad S_D y el de tiempo T se usa el mismo valor para los niveles superiores (ec. 2.1):

$$I_s = E_0 S_D T \quad (2.1)$$

Donde:

E_0	Índice sísmico base del comportamiento estructural
S_D	Índice de irregularidad
T	Índice de tiempo

2.4.1 Niveles de evaluación

2.4.1.1 Primer nivel de evaluación

El índice E_0 será calculado considerando la resistencia última aproximada, basado en el porcentaje de muros y columnas con respecto al área total de la planta. Los índices S_D y T se determinarán con un procedimiento simplificado acorde al nivel aproximado al cálculo del índice E_0 .

2.4.1.2 Segundo nivel de evaluación

El índice E_0 será calculado considerando la hipótesis de que las vigas cuentan con una resistencia mayor. Se considera la resistencia última, los mecanismos de falla, así como la capacidad de deformación de los muros y columnas. Con respecto a los índices S_D y T , se requiere un mayor nivel de detalle que empleado en el primer nivel de evaluación.

2.4.1.2 Tercer nivel de evaluación

El índice E_0 será calculado considerando los mecanismos plásticos a momento de un marco y la rotación en la base o la cimentación de los muros estructurales entre otras cosas. La determinación de los índices S_D y T será hecha de la misma forma que en el segundo nivel de evaluación. Las características de la estructura deben ser investigadas a detalle, con la finalidad de tener un grado de confianza en los resultados superior al obtenido en el segundo nivel.

Para fines de esta tesis, sólo se explicará el primer nivel de evaluación partiendo de la hipótesis de que este método debe ser rápido de realizar para determinar si una estructura presenta daño ante un evento sísmico y, de ser el caso, reforzarla.

2.4.2 Índice sísmico base del comportamiento estructural E_0

El índice E_0 permite evaluar el comportamiento sísmico base de un edificio considerando otros índices como unidad. Se debe calcular para cada entrepiso en ambas direcciones de análisis, tomando en cuenta la resistencia última, los modos de falla y la ductilidad del edificio. El índice E_0 del piso i en el n ésimo piso del edificio está dado por el producto del índice de resistencia C y del índice de ductilidad F .

Los elementos verticales de la estructura deben ser clasificados en tres categorías (Tabla 2.1). El índice E_0 se calcula mediante una evaluación aproximada del índice C , F y del factor de esfuerzo α .

Tabla 2.1-Clasificación de elementos verticales.

Elemento vertical	Definición
Columna	$h_0/D > 2$
Columna corta	$h_0/D \leq 2$
Muro	Muros incluyendo aquello sin columnas en los extremos

Donde:

h_0 Altura efectiva de la columna

D Ancho de la columna.

E_0 debe ser tomado como el valor máximo entre las ecs. 2.2 y 2.3. En el caso en que se presenten columnas cortas, E_0 será calculado únicamente a través de la ec. 2.3. Debido a que, en el momento de la falla provocada por cargas laterales, no hay otros elementos que puedan soportar cargas verticales.

$$E_0 = \frac{n+1}{n+i} (C_W + \alpha_1 C_C) F_W \quad (2.2)$$

$$E_0 = \frac{n+1}{n+i} (C_{SC} + \alpha_2 C_W + \alpha_3 C_C) F_{SC} \quad (2.3)$$

Donde:

n Número de pisos del edificio.

i Nivel que se evalúa.

C_W Índice de resistencia proporcionada por los muros ec. (2.4).

C_C Índice de resistencia proporcionada por las columnas no cortas de concreto reforzado, Ec. (2.5).

C_{SC} Índice de resistencia proporcionada por las columnas cortas de concreto reforzado, Ec. (2.6).

α_1 Factor de capacidad efectiva de columnas en la deformación última de muros, puede ser tomado como 0.7. Debe ser 1.0 cuando C_W se aproxime a 0.

α_2 Factor de capacidad efectiva de muros en la deformación última de columnas cortas, puede ser tomado como 0.7.

α_3 Factor de capacidad efectiva de columnas en la deformación última de columnas cortas, puede ser tomado como 0.5.

F_W Índice de ductilidad de muros, puede ser tomado como 1.

F_{SC} Índice de ductilidad de columnas cortas, puede ser tomado como 0.8.

2.4.2.1 Índice de resistencia C

El índice C será calculado usando el área transversal de muros y columnas.

$$C_W = \frac{\tau_{w1} A_{w1} + \tau_{w2} A_{w2} + \tau_{w3} A_{w3}}{\sum w} \beta_C \quad (2.4)$$

$$C_C = \frac{\tau_C A_C}{\sum w} \beta_C \quad (2.5)$$

$$C_{SC} = \frac{\tau_{SC} A_{SC}}{\sum w} \beta_C \quad (2.6)$$

$$\beta_C = \frac{F_c}{20} ; F_c \leq 20 \quad (2.7)$$

$$\beta_C = \sqrt{\frac{F_c}{20}} ; F_c > 20$$

Donde:

C_W Índice de resistencia en muros.

C_C Índice de resistencia en columnas.

C_{SC} Índice de resistencia en columnas cortas.

τ_{w1} Esfuerzo cortante promedio en muros, en la capacidad última (teniendo columnas de borde en ambos extremos), puede considerarse de 3 N/mm²

τ_{w2}	Esfuerzo cortante promedio en muros, en la capacidad última (teniendo columnas de borde en un extremo), puede considerarse de 2 N/mm^2
τ_{w3}	Esfuerzo cortante promedio en muros, en la capacidad última (sin columnas de borde en los extremos), puede considerarse de 1 N/mm^2
τ_C	Esfuerzo cortante en columnas, en la capacidad última, puede considerarse de 1 N/mm^2 o de 0.7 N/mm^2 para relaciones h_0/D mayor que 6.
τ_{SC}	Esfuerzo cortante en columna corta, en la capacidad última, puede considerarse de 1.5 N/mm^2
A_{w1}	Suma del área total de muros del entrepiso en evaluación con columnas en ambos extremos.
A_{w2}	Suma del área total de muros del entrepiso en evaluación con una columna en alguno de sus extremos.
A_{w3}	Suma del área total de muros del entrepiso en evaluación sin columnas en sus extremos.
A_C	Suma del área total de columnas de concreto reforzado en el entrepiso de evaluación. Las columnas consideradas en los extremos de los muros no se consideran en este cálculo.
A_{SC}	Suma del área total de columnas cortas de concreto reforzado en el entrepiso de evaluación.
$\sum w$	Carga total (carga muerta más carga viva provocada sismo) de los niveles superiores del edificio al de análisis. En caso de no realizarse un cálculo, se puede considerar el peso por unidad de superficie igual a 12 kN/m^2 .
F_C	Resistencia a la compresión del concreto, no debe exceder de 20 N/mm^2 .

2.4.2.2 Índice de ductilidad F

El índice F de los elementos verticales de una estructura será seleccionado de la tabla 2.2 según sea el tipo de elemento.

Tabla 2.2-Valores para el índice de ductilidad F según el elemento vertical.

Elemento vertical	Índice de ductilidad F
Columna	1.0
Columna corta	0.8
Muro	1.0

2.4.3 Índice de irregularidad S_D

El índice S_D modifica al índice sísmico básico de comportamiento estructural E_0 a través del cálculo de la distribución en planta, la distribución de rigidez y otros aspectos que afectan en el comportamiento sísmico de una estructura. Para el primer nivel de evaluación se considera lo siguiente:

- Elementos relacionados a la integridad estructural de toda la planta (regularidad, proporcionalidad entre ancho y largo, zonas estrechas etc.).
- Elementos relacionados a la integridad estructural de secciones de la planta (existencia de sótanos o mezanines, uniformidad de entre pisos).

Para el cálculo de S_D se ocupa la ec. (3.8):

$$S_{D1} = q_{1a} \times q_{1b} \times \dots \times q_{1j} \quad (2.8)$$

Donde:

$$q_{1j} = [1 - (1 - G_i) \times R_{1j}] \dots i = a, b, c, d, e, f, i, j$$

$$q_{1j} = [1.2 - (1 - G_i) \times R_{1j}] \dots i = h$$

Tabla 2.3 - Factores a revisar para el cálculo de S_D .

		Gi (Nivel)			R (Factor de ajuste)		
		1.0	0.9	0.8	R1i	R2i	
Configuración en planta	a	Regularidad	a1	a2	a3	1.0	0.5
	b	Relación de aspecto	$b \leq 5$	$5 < b \leq 8$	$8 < b$	0.5	0.3
	c	Sección reducida	$0.5 \leq c$	$0.5 < c \leq 0.8$	$0.8 < c$	0.5	0.3
	d	Juntas de construcción	$1/100 \leq d$	$1/200 \leq d < 1/100$	$d < 1/200$	0.5	0.3
	e	Huecos en sistema de piso	$e \leq 0.1$	$5 \leq e \leq 8$	$0.3 < e$	0.5	0.3
	f	Huecos en sistema de piso con posición excéntrica	$f1 \leq 0.4$ & $f2 \leq 0.1$	$f1 \leq 0.4$ & $0.1 < f2 \leq 0.3$	$f1 > 0.4$ ó $f2 > 0.3$	0.3	0.0
	g						
Configuración en	h	Sótano	$1.0 \leq h$	$0.5 \leq h < 1.0$	$h > 0.5$	0.5	0.5
	i	Uniformidad en altura de piso	$0.8 \leq i$	$0.7 \leq i < 0.8$	$i > 0.7$	0.5	0.3
	j	Planta baja flexible	Sin PB flexible	Con PB flexible	PB flexible excéntrica	1.0	1.0
	k						

- Regularidad (a)

a₁: Regularidad estructural buena, área de la saliente no mayor que 10% del área total. Se considera como saliente cuando se mantenga una relación largo (l) / ancho (b) ≤ 0.5

a₂: Regularidad estructural intermedia, área de saliente no mayor que 30% del área total.

a₃: Regularidad estructural mala, área de la parte proyectada es mayor que 30% del área total.

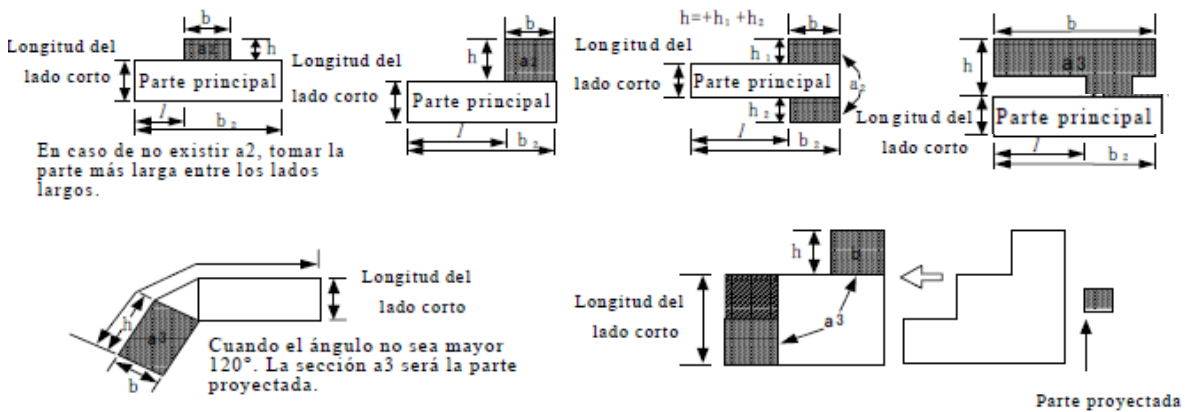


Figura 2.6- Criterios para catalogar la regularidad estructural.

- Relación de ancho y largo (b)

b: $b = (\text{longitud del lado largo} / \text{longitud del lado corto})$. En caso de que la planta no sea rectangular, la longitud larga será tomada despreciando la saliente cuando ésta sea menor que 10% del área total, en caso contrario, será tomada como $b_1 = 2l$ y b_2 como se muestra en la fig. 2.6.

- Sección reducida (c)

c: $c = D_1 / D_0$. Se debe considerar que las plantas mostradas en la fig. 2.7 (1) y (2) tienen partes estrechas, mientras que las (3) y (4) no presentan partes estrechas.

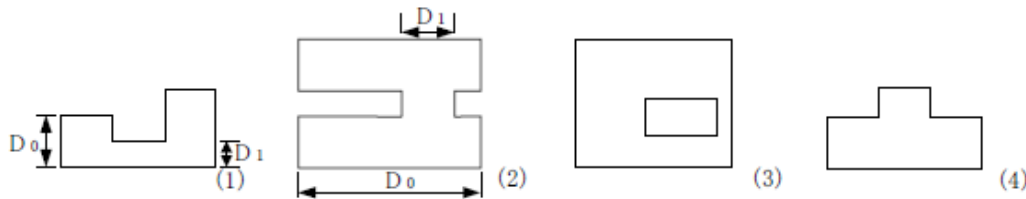


Figura 2.7– Ejemplos de secciones reducidas.

- Juntas de expansión (d)

d: $d = (\text{ancho de la junta} / \text{la altura de junta})$.

- Huecos en sistema de piso (e)

e: $e = (\text{área de los huecos} / \text{área total})$. Se entiende por área con huecos a las zonas en donde exista una abertura en el sistema de piso (Ejemplo: escaleras, elevadores). Sin embargo, si estos huecos cuentan con muros de concreto reforzado estos no cuentan como huecos.

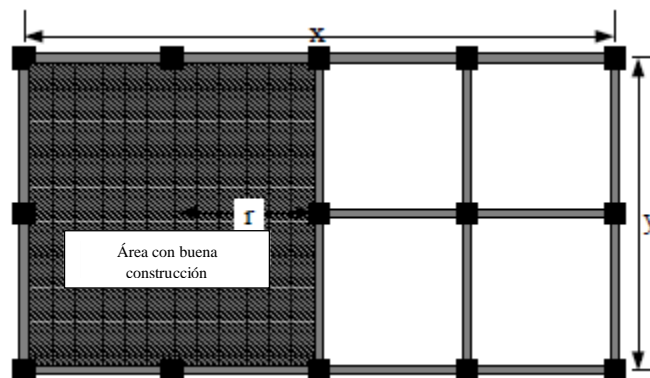


Figura 2.8 Huecos.

- Excentricidad de los huecos (f)

$f_1 = (\text{la distancia entre el centro geométrico de la superficie y el centro del hueco} / \text{la longitud del lado corto del área total})$ $f_1 = r/y$

$f_2 = (\text{la distancia entre el centro geométrico de la superficie y el centro del hueco} / \text{la longitud del lado largo del área total})$ $f_2 = r/x$

- Sótano (h)

h: $h = (\text{área del sótano} / \text{área total})$.

- Altura de entre piso uniforme (i)

i: $i = (\text{altura del piso superior} / \text{altura del piso analizado})$. En el caso del último piso, el piso superior será el piso inmediato inferior.

2.4.4 Índice de tiempo

El índice de tiempo evalúa los efectos de los defectos estructurales tales como el agrietamiento, deflexión y el envejecimiento en el comportamiento sísmico de una estructura. Para el primer nivel de evaluación será determinado con base los resultados en la tabla 2.4. El valor de T para el primer nivel de evaluación será tomado como el valor mínimo de la columna [C] de la tabla 2.4.

Tabla 2.4-Factores a revisar para el cálculo de T .

[A]	[B]	[C]
Fenómeno por evaluar	Grado	T
Deflexión	Se observa inclinación o asentamiento irregular notorio	0.7
	Se observa suelo artificial, o antiguo suelo de cultivo	0.9
	Deflexión en columnas o vigas notoria	0.9
	No se presenta	1.0
Agrietamiento en columnas y muros	Filtraciones de agua y oxidación en acero de refuerzo	0.8
	Grietas inclinadas en columnas	0.9
	Agrietamiento generalizado en muros	0.9
	Filtraciones de agua y sin oxidación en acero de refuerzo	0.9
	No se presenta	1.0
Existencia de incendios	Existen evidencias	0.7
	Existe, pero sin evidencia	0.8
	Sin existencia	1.0
Uso	Se usaba para productos químicos, o se usa actualmente	0.8
	No se usa	1.0
Edad del edificio	30 años o más	0.8
	20 años o más	0.9
	19 años o menos	1.0
Condición de los acabados	Desprendimiento de los acabados exteriores debido al envejecimiento	0.9
	Desprendimiento y deterioro de los acabados internos	0.9
	Sin problemas	1.0

2.4.5 Índice I_{s0}

Para determinar si la estructura se encuentra o no bajo cierto riesgo sísmico es necesario comparar el I_s contra el índice I_{s0} , el cual considera factores como la vulnerabilidad sísmica, las condiciones topográficas de la región y la importancia del edificio. Para el cálculo de I_{s0} se ocupa ec. (2.9).

$$I_{s0} = E_{s0} \times Z \times G \times U \quad (2.9)$$

Donde:

E_{s0} Resistencia sísmica básica requerida, independientemente de la dirección del edificio, los valores estándar deberán de ser seleccionados como sigue:

E_{s0} : 0.80 para el primer nivel de análisis,

E_{s0} : 0.60 para el segundo nivel de análisis, y

E_{s0} : 0.60 para el tercer nivel de análisis.

Z Coeficiente sísmico.

G Factor de influencia de las condiciones topográficas y geotécnicas. 1.0 para condiciones topográficas sin pendiente e igual a 1.25 para zona de pendiente o diferencia en estratos.

U Factor de importancia del edificio por su uso igual a 1, y para estructuras importantes (Clase A) igual 1.5.

Si el valor mínimo de I_s obtenido de la estructura es mayor o igual a I_{s0} la estructura no presenta peligro sísmico, sin embargo, si el valor de I_s es muy cercano a I_{s0} es recomendable realizar tal vez el segundo nivel de evaluación para descartar algún daño. Mientras que para las estructuras con I_s menor, es necesario evaluarlas más a detalle para saber qué es lo que procede para recuperar la seguridad en la edificación ante un evento sísmico.

2.5 SISTEMA ELECTRÓNICO DE LEVANTAMIENTO DE DAÑOS

2.5.1 Antecedentes

Como se señaló anteriormente, la calidad de la información recabada en las cédulas del INIFED fue variable. Para sistematizar el levantamiento de la información y subsanar en el futuro las deficiencias, se desarrolló un sistema electrónico de recolección de datos que permitiera recabar la suficiente información para catalogar el nivel de daño de cada edificio. Además, el sistema busca eliminar otro inconveniente en el uso de las cédulas, al permitir la disponibilidad de la información en tiempo real. Esto contrasta con la pobre disponibilidad de la información recabada en formatos de papel. El contar con información oportuna, objetiva y confiable permite tomar decisiones en caso de una emergencia, así como para implantar programas de reducción del riesgo por sismo.

Así pues, el objetivo principal es desarrollar una herramienta digital que permita obtener información del estado estructural de la infraestructura educativa luego de los eventos sísmicos del 7 y 19 de septiembre de 2017. Con la información obtenida en campo, se construirá una base de datos de los planteles visitados para su posterior análisis. Además, se podrá gestionar esta información con la finalidad de generar índices de vulnerabilidad sísmica para fines de estudios de riesgo.

La cédula que se tomó como base para la creación de la aplicación fue la utilizada por el Instituto de Ingeniería de la UNAM (II-UNAM) en las revisiones hechas a inmuebles de la Ciudad de México

luego de la emergencia del 19 de septiembre de 2017. Este formato, a su vez, se basa en el desarrollado por el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED), Anexo 2.3. Dicha cédula contiene campos similares a la cédula básica de información de evaluación de daños empleada por INIFED. Sin embargo, la cédula utilizada por el II-UNAM solicita información más detallada sobre el estado estructural de cada edificio.

Además, estos campos solicitados sirven para aplicar el índice de comportamiento sísmico estructural visto en la sección 2.4 de este capítulo. Esto fue planeado con la finalidad de tener un valor cuantitativo del daño o posible riesgo estructural de las escuelas luego de los eventos de septiembre del 2017

Los distintos campos contemplados en la cédula son:

- Información general del inmueble.
- Uso y grupo de la estructura.
- Terreno y cimentación.
- Afectaciones.
- Características de la estructura.
- Mantenimiento.
- Vulnerabilidad.
- Sistema estructural (material en muros, secciones en vigas y columnas, sistemas de rigidización, sistema de entrepiso).
- Rehabilitación.
- Evaluación de daños.
- Daños máximos observados.
- Comentarios.

La información que se solicita en los formatos de referencia se puede obtener directamente en campo y es aplicable para cualquier tipo de estructura sin importar el uso que se le dé. Por tal motivo, fue necesario hacer algunas modificaciones para adecuarla a las necesidades de un plantel educativo, además, se incluyeron campos propios de una escuela, los cuales se explican a continuación.

Para el sistema electrónico, en el campo de información general, se agregaron campos como el CCT, el nivel educativo y sí es o no patrimonio o monumento histórico.

En el campo de uso se incluyeron campos, tales como la cantidad de alumnos, maestros y personal administrativo que cotidianamente hace uso de las instalaciones.

El campo de terreno y cimentación no tuvo cambio alguno. En el de afectaciones se omitió, debido a que en los sismos de septiembre no hubo que lamentar pérdidas humanas en la infraestructura escolar pública. Sin embargo, para el futuro, es recomendable modificar la herramienta para su llenado tras un desastre natural o provocado por el hombre.

Para los campos siguientes, correspondientes a la geometría del edificio y al sistema estructural, se hicieron algunas modificaciones debido a que la infraestructura educativa cuenta con prototipos establecidos y, por lo tanto, algunos datos referentes a esta categoría ya están establecidos. Sin embargo, debido a la gran cantidad de edificios con los que cuenta INIFED, y dado que en algunas ocasiones se hacen modificaciones por el tipo de terreno o por las necesidades, se decidió conservar algunos datos que muestran qué tanta diferencia existe entre los prototipos INIFED y lo construido en campo.

En el apartado de daño en instalaciones se agregaron campos que permiten una descripción más detallada del tipo de daño con el fin de determinar si después de la emergencia, el plantel se encuentra en condiciones de utilizarse.

Además, se agregaron los registros fotográficos con los que cuenta la cédula INIFED, en donde se muestran los daños más representativos de cada edificio. Además, la identificación de cada edificio fue también agregada con una letra en orden alfabético y con una fotografía de la fachada.

2.5.2 Descripción del sistema

El sistema electrónico desarrollado es una aplicación electrónica que se opera a través de un dispositivo móvil (teléfono inteligente o tableta). La aplicación permite automatizar el levantamiento de daños en los planteles debido a que no es necesario realizar trabajo de procesamiento y gestión de la información que se ve traducida en una reducción significativa de tiempo y costos. En el caso de una emergencia como un sismo, el tiempo y la oportunidad de la información son vitales para atender la emergencia, evaluar la seguridad del edificio, clasificarlo, y alertar a la población oportunamente de zonas de riesgo. Además, permite determinar si la escuela puede ser utilizada como albergue.

Las ventajas con las que cuenta este sistema son:

- ✓ No es necesaria la conexión a internet para el levantamiento debido a que la información se almacena en el dispositivo; posteriormente, cuando se tiene acceso a la red, se envía a la base de datos.
- ✓ La aplicación permite enviar la información recabada en campo a una base de datos, de la cual se puede extraer para su análisis y tomar decisiones.
- ✓ Para evitar que cualquier persona pueda hacer uso de la aplicación, se proporciona un usuario y una contraseña, lo cual brinda mayor control de las personas que realizan los informes.

La cédula está integrada por dos partes. La primera se compone de 15 campos que contienen los datos generales del plantel y en la segunda, se incluyen los datos para cada uno de los edificios que componen el plantel. Es posible incluir fotografías de los inmuebles y de los daños encontrados.

Debido a la necesidad de contar con un sistema como éste lo antes posible, fue necesario hacer uso de una aplicación comercial que fuera compatible con los dispositivos móviles y que se adecuara a las necesidades actuales.

Es recomendable que, en un futuro inmediato, el INIFED cuente con una herramienta de aplicación general soportada en una plataforma robusta.

2.5.2.1 Datos generales del plantel

Para este apartado se tomó como referencia el punto 1 de la *Cédula de Información Básica* descrita en la sección 2.2, donde solicitan los siguientes datos:

- Fecha del día del levantamiento.
- CCT (s) (Clave o claves del centro de trabajo).
- Nombre del plantel.
- Nivel educativo.
- Indicar si la escuela es patrimonio o monumento (INAH, INBA).

- Coordenadas geográficas (latitud y longitud).
- Dirección (calle, número, CP, localidad, municipio y entidad federativa).
- Ocupación del plantel (número de alumnos, docentes y personal administrativo).
- Fotografía de la entrada de la escuela.
- Número de edificios.
- Daños en bardas.
- Nombre del evaluador.

El dato sobre daños en bardas fue incluido en este apartado debido a que forma parte de la escuela en su conjunto y no es considerado como un edificio. Además, los sismos de septiembre de 2017 ocasionaron un amplio número de daños y fallas (colapsos parciales o totales) de bardas.

2.5.2.2 Datos estructurales de cada edificio

Para este apartado se toma como base el punto 2, 3 y 4 de la *Cédula de Información Básica* (ver sección 2.2). Se incluyen campos que permiten clasificar el daño en los distintos elementos de un sistema estructural basado en las Normas para la Rehabilitación de Edificios de Concreto Dañados por el Sismo del 19 de septiembre de 2017 del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal (N-Rehabilitación, 2017). A continuación, se enlistan los datos solicitados en este apartado.

- CCT.
- Fotografía de la fachada del edificio.
- Tipo de estructura (acero, concreto o mampostería).
- Nombre del edificio.
- Año de construcción.
- Uso.
- Prototipo INIFED.
- Materiales en muros (divisorios, de carga y de fachada).
- Geometría del edificio (longitud, profundidad, número de crujeas en ambos sentidos, longitud promedio del claro, número de niveles, altura de entrepiso).
- Indicar si los muros se encuentran desligados.
- Indicar si existen escaleras interiores o exteriores.
- Secciones (en vigas y columnas).
- Tipo de sistema estructural.
- Sistema de piso.
- Indicar si la estructura presenta modificaciones.
- Indicar si se ha rehabilitado.
- Indicar el año de rehabilitación.
- Fotografía de planos o un croquis.
- Daños estructurales.
- Daños no estructurales.
- Daño en instalaciones.
- Informe fotográfico del daño.
- Observaciones.

Para facilitar el uso de la cédula digital, se realizó un Manual de Usuario en el que se explica, campo por campo, qué información se solicita para que no haya confusión o duda al momento del llenado (Anexo 2.4). En el Anexo 2.5 se presenta una impresión del informe generado por el sistema.

3.5.2.3 Ejemplo de aplicación

En las siguientes figuras se presenta un breve ejemplo del uso de la cédula digital. En la fig. 2.9a se muestra la pantalla de inicio. En ésta se tienen dos opciones: se ingresa la información de un usuario registrado o se tiene la opción de generar una cuenta nueva. Una vez dado de alta, el usuario inicia la sesión y aparecerá la pantalla mostrada en la fig. 2.9b.

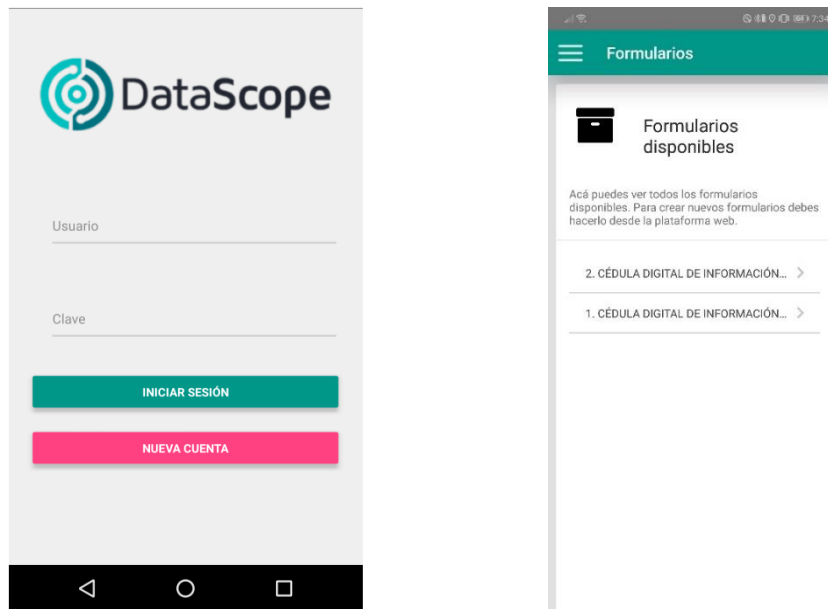


Figura 2.9– Ventana principal y formularios disponibles.

Al seleccionar la opción de “Cédula Digital de Información de Daños Estructurales por Sismos 7 – 19 septiembre 2017”, aparecerá la pantalla que se muestra en la fig. 2.10. En ésta se solicita la información general del inmueble a revisar.

1. Cédula digital de informaci...
1. Fecha

FINALIZAR

- 1.Fecha >
- 2. Clave del Centro de Trabajo (CCT) >
- 3.Nombre del plantel >
- 4.Nivel educativo >
- 5.Patrimonio o monumento >
- 6.Latitud >
- 7.Longitud >
- 8.Calle y Número >
- 9.Código postal >
- 10.Localidad o colonia >
- 11.Municipio >


ATRÁS  CONTINUAR

Figura 2.10– Datos generales.

Una vez capturada la información general del inmueble, se continúa con la segunda parte que, como se dijo arriba, corresponde a cada uno de los edificios que componen el inmueble. En la fig. 2.11 se muestra la información requerida por edificio. Habrá tantas pantallas como la de la fig. 2.11 como edificios tenga un plantel.

2. Cédula digital de informaci...
1. CCT

FINALIZAR

- 1.CCT >
- 2.Fachada del edificio >
- 3.Tipo de estructura >
- 4.Edificio >
- 5.Año de Construcción >
- 6.Uso del edificio >
- 7.Prototipo INIFED >
- 8.Materiales >
- 8.Muros desligados >
- 9.Geometría del edificio >
- 10.Escaleras >

ATRÁS  CONTINUAR

Figura 2.11– Datos por edificio.

CAPÍTULO 3

EVALUACIÓN DE DAÑOS

3.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se describen las características de los prototipos INIFED de concreto únicamente. Este universo de análisis corresponde a los planteles educativos incluidos que solicitaron apoyo por parte del Fondo Nacional de Desastres (FONDEN) para su rehabilitación. Las entidades federativas consideradas corresponden aquellas con mayores afectaciones por los sismos de septiembre de 2017, como son la Ciudad de México y los estados de Chiapas, México, Guerrero, Morelos, Oaxaca, Puebla, Tlaxcala y Veracruz.

En este capítulo, se presentan y discuten los datos de la base de datos desarrollada según entidad federativa, sistema estructural y nivel de daño. Para este último, se consideran cuatro niveles de daño: nulo, ligero, medio y grave. Es importante mencionar que el nivel de daño fue asignado por medio del registro fotográfico y por la información obtenida de las cédulas de evaluación. Para ser más claro en el análisis el daño observado, se desagregó el daño por elemento estructural. Si un elemento se reportó con daño grave automáticamente la estructura se consideró con daño global grave. Si bien esta consideración es bastante conservadora, fue el mecanismo más certero que se pudo definir dadas la calidad y cantidad de información disponible.

Se incluye una descripción de los tipos de fallas predominantes en los distintos prototipos. También se analizan los daños en bardas en los planteles escolares, en términos del tipo y frecuencia.

3.2 PROTOTIPOS DE CONCRETO

3.2.1 Descripción del prototipo

Los prototipos de edificaciones urbanas corresponden a estructuras de marcos de concreto reforzado de diferentes características. Su clasificación más general depende del número de niveles, de donde se desprenden tres tipos de estructuras: urbana de concreto de un nivel (U1C), urbana de concreto de dos niveles (U2C) y urbana de concreto de tres niveles (U3C). De cada una, se cuenta con diferentes versiones de acuerdo con el año en que fueron diseñadas (70, 85 y 2011). A continuación, se describen cada uno de estos prototipos. En la fig. 3.1 se muestran algunas escuelas de este tipo y en la tabla 3.1 se resumen las características de todos los prototipos.



Figura 3.1 - Estructuras urbanas de concreto en sus diferentes versiones.

Como se observa en la tabla 3.1, las principales diferencias que existen entre cada uno de los prototipos de un nivel radican en la resistencia especificada a compresión del concreto ($f'_c = 20 \text{ MPa}$ (200 kg/cm^2) para la versión 70 y $f'_c = 25 \text{ MPa}$ (250 kg/cm^2) en sus versiones 85 y 2011), el tamaño de los claros longitudinales, las dimensiones de las secciones en columnas y, sobre todo, el arreglo y cuantía del acero de refuerzo en las estructuras post 85. La finalidad de realizar estos cambios fue hacer más resistentes y dúctiles a las estructuras después del sismo de 1985, debido a que muchas resultaron muy dañadas luego de este evento. En el Anexo 3.1 se presentan los planos estructurales de los edificios.

Las estructuras de concreto son muy características de zonas urbanas, debido a las necesidades y a la tecnología constructiva que es característica de las zonas con mayor población. Por tal motivo, las estructuras de concreto no se verán tan a menudo en regiones alejadas de los centros urbanos debido a que en esas zonas las estructuras regionales de mampostería predominan.

Tabla 4.1 - Resumen de características de las diferentes versiones de U1C, U2C y U3C.

PROTOTIPO	DISEÑO	NO. DE NIVELES	ALTURA DE ENTREPISO (m)	SISTEMA ESTRUCTURAL	MATERIALES		CLAROS (m)		CUBIERTA			COLUMNAS (m)		REFUERZO
					Marco rígido de concreto armado	$f_c=200\text{kg/cm}^2$	Longitudinal	Transversal	Tipo	Material	Pendiente (%)	A	B	
U1C (70)	1970	1	2.5	Marcos rígidos de concreto armado	Concreto $f_c=200\text{kg/cm}^2$	3.19	8	Losa a dos aguas	Concreto	3	0.25	0.45	Sin refuerzo	
U1C (85)	1985	1	2.5	Marcos rígidos de concreto armado	Concreto $f_c=250\text{kg/cm}^2$	3.24	8	Losa a dos aguas	Concreto	3	0.30	0.45	Muros de concreto o contraventes postensados	
U1C (90)	1990	1	2.5	Marcos rígidos de concreto armado	Concreto $f_c=250\text{kg/cm}^2$	3.24	8	Losa a dos aguas	Concreto	15	0.30	0.45	Muros de concreto o contraventes postensados	
U2C (70)	1970	2	2.5	Marcos rígidos de concreto armado	Concreto $f_c=200\text{kg/cm}^2$	3.19	8	Losa a dos aguas	Concreto	3	0.35	0.45	Sin refuerzo	
U2C (85)	1985	2	2.5	Marcos rígidos de concreto armado	Concreto $f_c=250\text{kg/cm}^2$	3.24	8	Losa a dos aguas	Concreto	3	0.30	0.45	Muros de concreto o contraventes postensados	
U2C (90)	1990	2	2.5	Marcos rígidos de concreto armado	Concreto $f_c=250\text{kg/cm}^2$	3.24	8	Losa a dos aguas	Concreto	15	0.30	0.45	Muros de concreto o contraventes postensados	
U3C (70)	1970	3	2.5	Marcos rígidos de concreto armado	Concreto $f_c=200\text{kg/cm}^2$	3.19	8	Losa a dos aguas	Concreto	3	0.35	0.45	Sin refuerzo	
U3C (85)	1985	3	2.5	Marcos rígidos de concreto armado	Concreto $f_c=250\text{kg/cm}^2$	3.24	8	Losa a dos aguas	Concreto	3	0.30	0.45	Muros de concreto o contraventes postensados	
U3C (90)	1990	3	2.5	Marcos rígidos de concreto armado	Concreto $f_c=250\text{kg/cm}^2$	3.24	8	Losa a dos aguas	Concreto	15	0.30	0.45	Muros de concreto o contraventes postensados	

Nota: $100\text{ kg/cm}^2 = 10\text{ MPa}$

La altura de entrepiso para todos los prototipos es de 2.50 m, un claro transversal de 8 m y el longitudinal, para su versión de la década de los 70's, de 3.19 m, y una variación de 5 cm para sus dos posteriores versiones, dando un claro de 3.24 m para la 85 y 2011.

Cuenta con una cubierta tipo losa a dos aguas con una pendiente de 3% hecha de concreto para las versiones 70 y 85, para la década de los noventa fue aumentada al 15%; las columnas son rectangulares, en su primera versión sus dimensiones son de 0.25 x 0.45 m, para las siguientes se vieron modificadas a una dimensión de 0.30 x 0.45 m. En este tipo de estructuras se utilizaron métodos de rehabilitación consistentes en muros de concreto o contravientos postensados o con elementos metálicos después del sismo de 1985.

En el caso del prototipo de tres niveles (U3C) las dimensiones de las columnas poseen características geométricas variables entre sí, excepto para los U3C 85 y 2011, compartiendo una dimensión de 0.30 x 0.45 m. Sin embargo, en 1970 aparecen dos diferentes prototipos: U3C para las zonas sísmicas A y B del MDOC (baja y mediana sismicidad), y otro U3C para las zonas C y D (alta y muy alta sismicidad), que poseen todas las dimensiones antes mencionadas de claros y espesor de losa. En lo único que difieren es en el ancho y peralte de las columnas, que son de 0.25 x 0.45, y 0.35 x 0.45 m, respectivamente.

3.2.2 Diferencias detectadas entre las estructuras construidas y los prototipos

El modelo prototípico especificado por INIFED (2017d) tiene medidas precisas para los claros, secciones y alturas de entrepiso. Sin embargo, como se pudo constatar con las cédulas revisadas, la gran mayoría de las construcciones no cumplió con dichas especificaciones. Usualmente, los claros son mayores en un 5% que los indicados en el prototipo. El sistema de cubierta que se propone en el diseño es a base de losas de concreto armado perimetralmente apoyadas. A pesar de ello, ciertas estructuras fueron resueltas con sistemas de losa aligerada (láminas).

El parámetro que presenta mayor desviación respecto del prototipo es la distribución de aulas. La revisión de las cédulas y las visitas efectuadas a ciertos planteles permitieron constatar el número de entre ejes y la cantidad de aulas por edificio. A continuación, se enlistan algunas diferencias puntuales entre las estructuras inspeccionadas y los prototipos.

Escaleras externas variaciones - Cuando las escaleras se construyen como un cuerpo externo, la mayoría de las veces se da de forma muy variada, adecuando al espacio y niveles de terreno distintos. Algunas fotos demuestran que la calidad y manera de solucionar puede no ser la ideal (fig. 3.2).

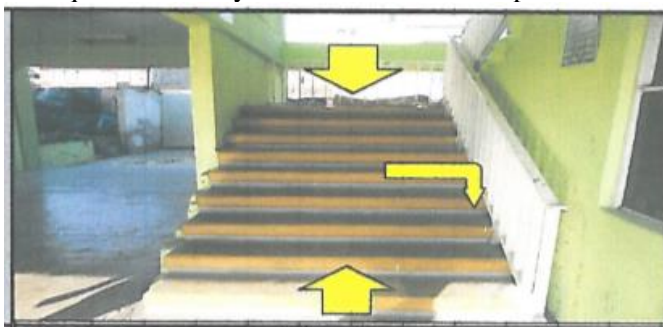


Figura 3.2 - Ejemplo de escaleras no construidas de acuerdo con los prototipos.

Muros - Existe diferencia entre la altura de muro de ventanas y la colocación de la cancelería, lo que puede poner en riesgo el comportamiento de la estructura. Otra diferencia es la deficiencia en el desligue o separación de los muros no estructurales como lo señalan los planos de los prototipos y lo que se construyó (fig. 3.3).

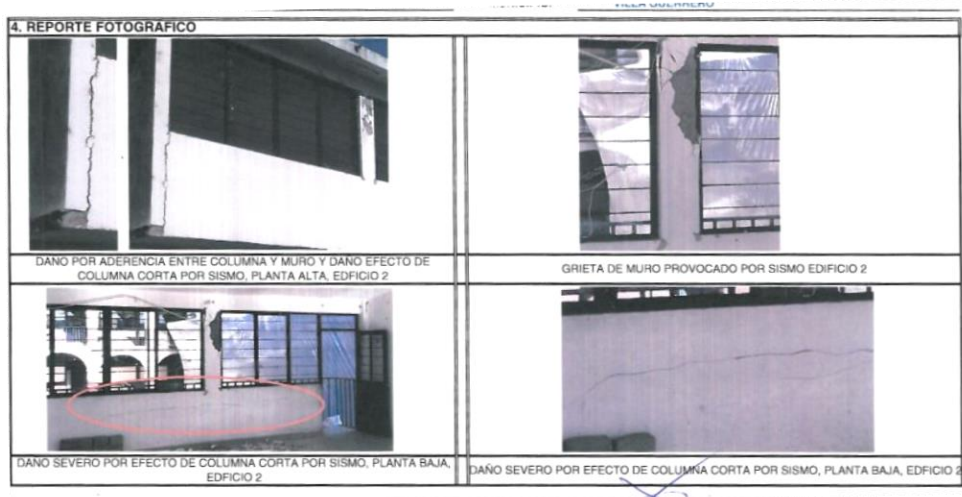


Figura 3.3 - Daños por la deficiencia en el desligue de muros no estructurales.

3.2.3 Universo y distribución geográfica

De acuerdo con la información recabada, se tienen 1,496 edificaciones correspondientes a alguna de las versiones de los prototipos urbanos de concreto. En las figs. 3.4 a 3.6 se muestra la distribución por entidad federativa de cada uno de los prototipos. El mayor porcentaje de edificaciones U1C inspeccionadas de este prototipo corresponden al estado de Chiapas, seguido por Oaxaca, el Estado de México y Morelos. Estos cuatro estados concentran el 77%. Para el caso de las U2C, el mayor porcentaje corresponde al Estado de México, seguido por la CDMX y Oaxaca. En cuanto a las U3C casi la totalidad se ubican en la CDMX.

Por entidad federativa U1C

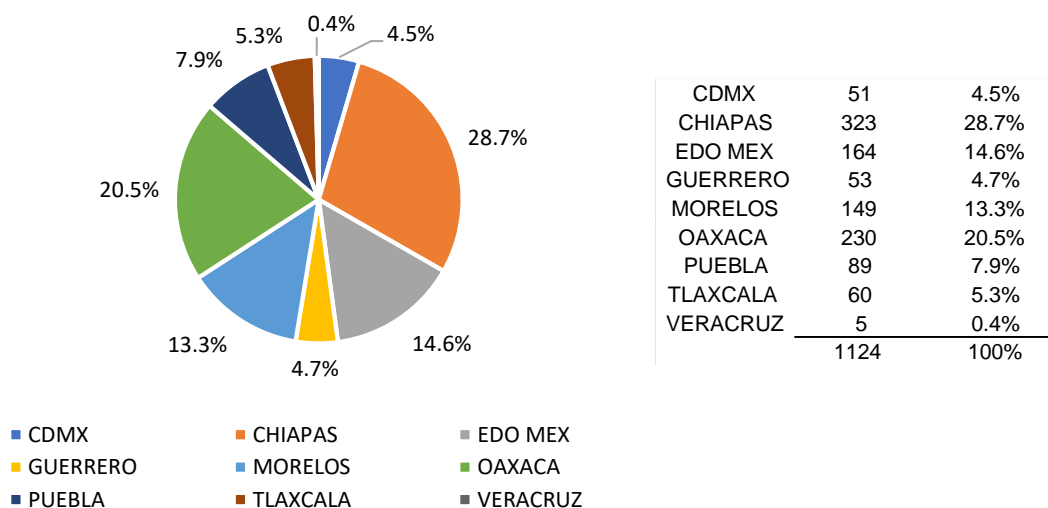


Figura 3.4 - Porcentaje y número de prototipos U1C por entidad federativa.

Por entidad federativa U2C

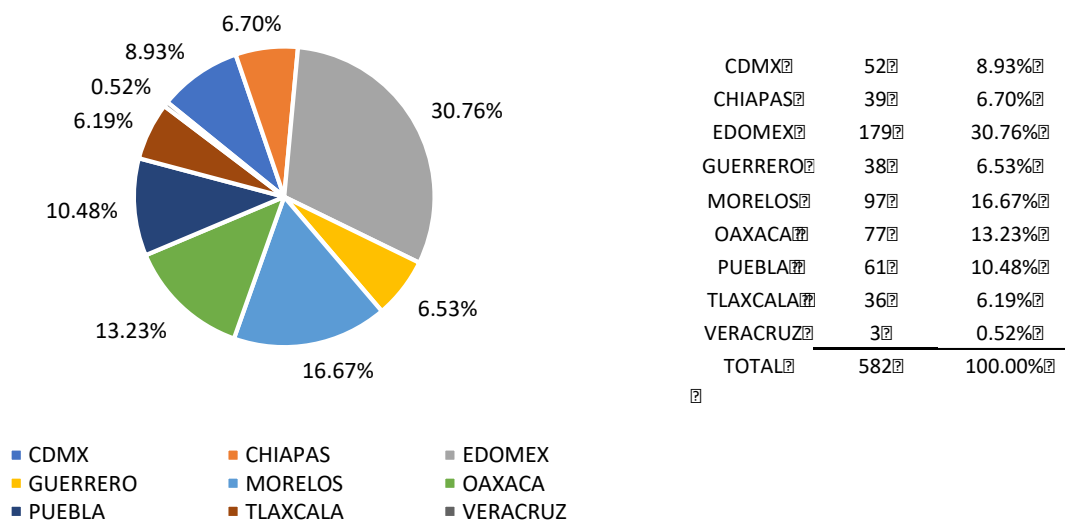


Figura 3.5 - Porcentaje y número de prototipos U2C por entidad federativa.

Por entidad federativa U3C

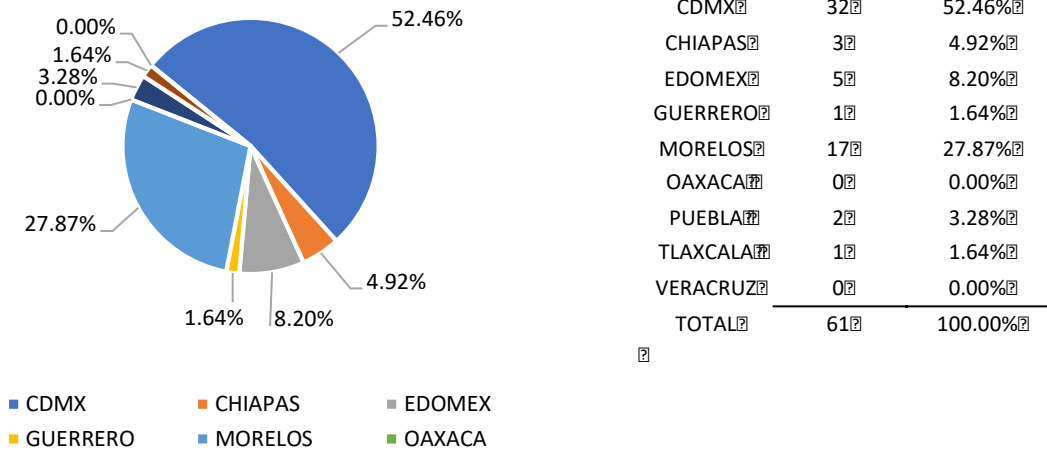


Figura 3.6 - Porcentaje y número de prototipos U3C por entidad federativa.

Se puede concluir que los estados de Chiapas, Oaxaca y el Estado de México son las entidades federativas con el mayor número de edificaciones de menor altura, mientras que la CDMX presenta una mayor concentración de edificaciones de tres niveles. La mayor concentración de prototipos U2C es en el Estado de México.

En las figs. 3.7 a 3.9 se muestra la distribución de las estructuras por año de construcción. Los mayores porcentajes de los prototipos U1C y U2C se construyeron entre 1970 y 1989. Desafortunadamente, para el prototipo U1C, en el 37% de las estructuras no se pudo identificar el año de construcción, así como en el 41% de las U2C y en el 64% de las U3C. Como se aprecia en las gráficas, la mayoría de las edificaciones fue construidas antes de 1985.

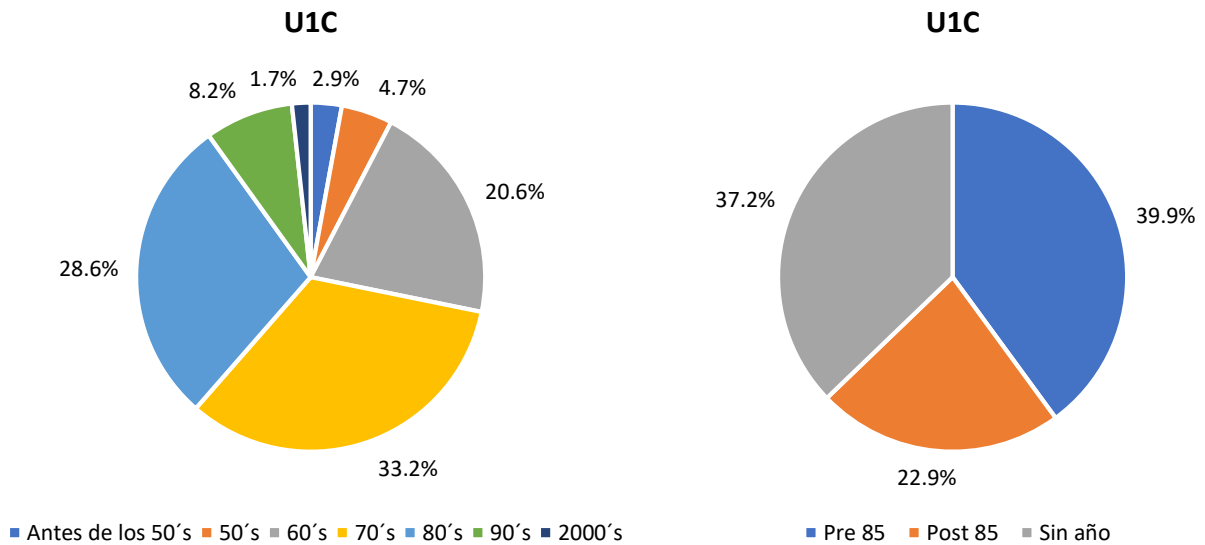


Figura 3.7 - Porcentaje de prototipos U1C por año de construcción.

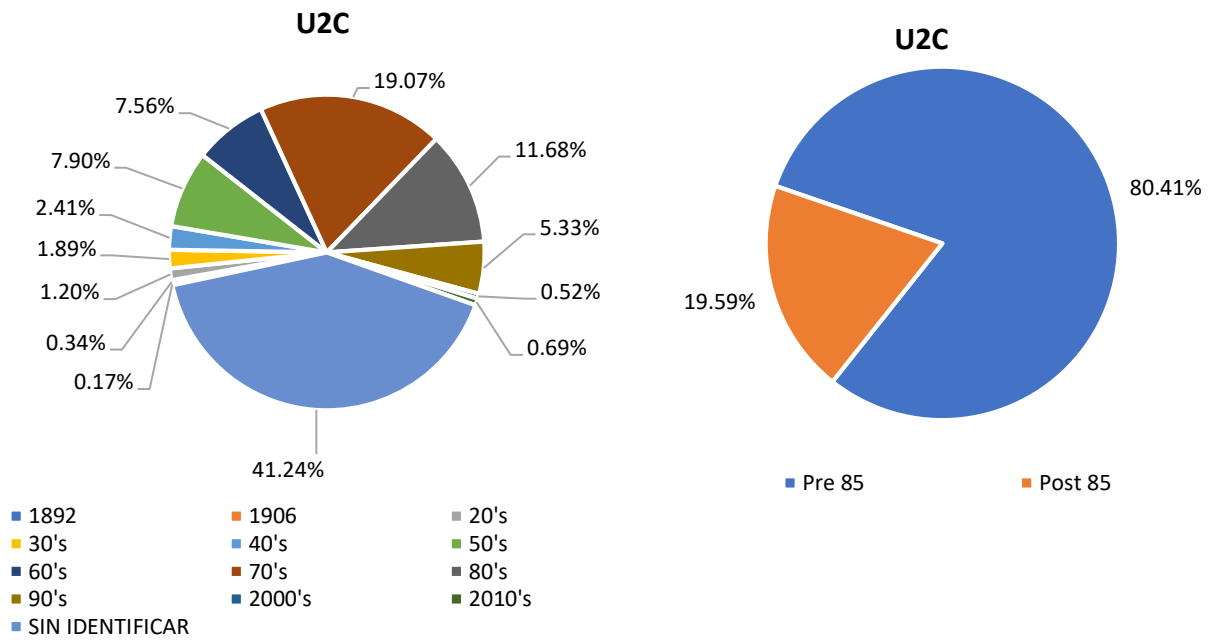


Figura 3.8 - Porcentaje de prototipos U2C por año de construcción.

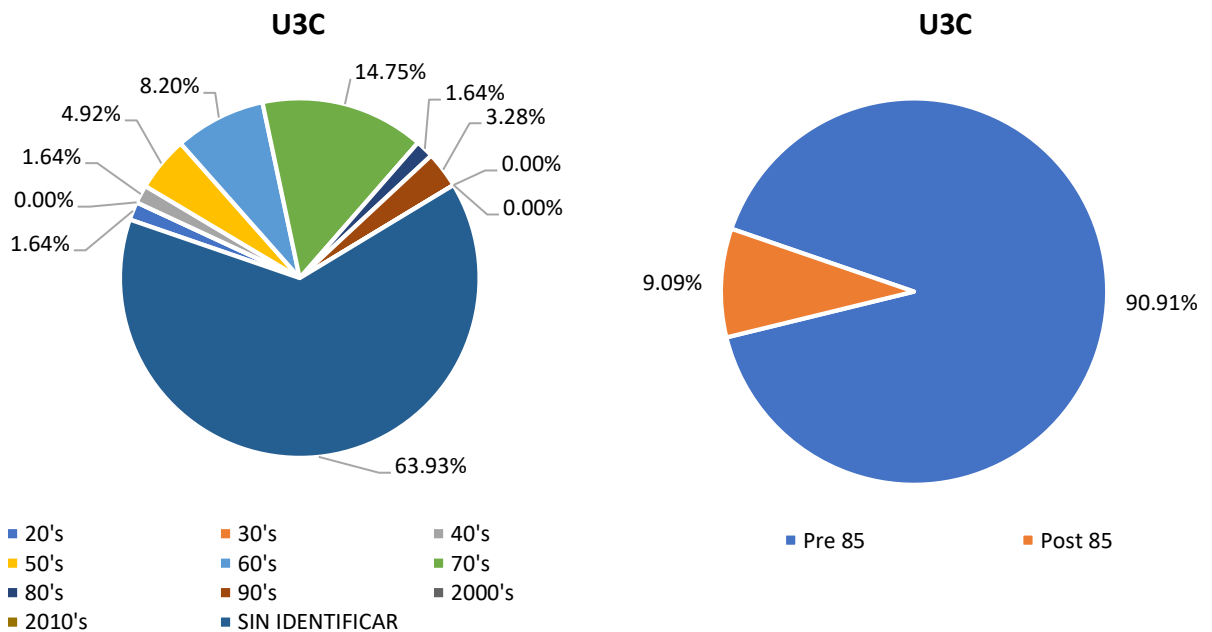


Figura 3.9 - Porcentaje de prototipos U3C por año de construcción.

3.2.4 Universo y distribución de estructuras dañadas

En el proceso de levantamiento de daños después de los sismos del 7 y 19 de septiembre del 2017, se clasificaron los daños en cuatro niveles de acuerdo con lo que los inspectores observaron en campo. Los niveles de clasificación fueron: nulo, ligero, medio y grave. La clasificación se realizó de acuerdo con la experiencia de cada uno de los equipos de reconocimiento sin tomar en cuenta aparentemente, tipos ni anchos de grieta, tampoco las consecuencias del daño en la estabilidad y seguridad estructural de toda la edificación.

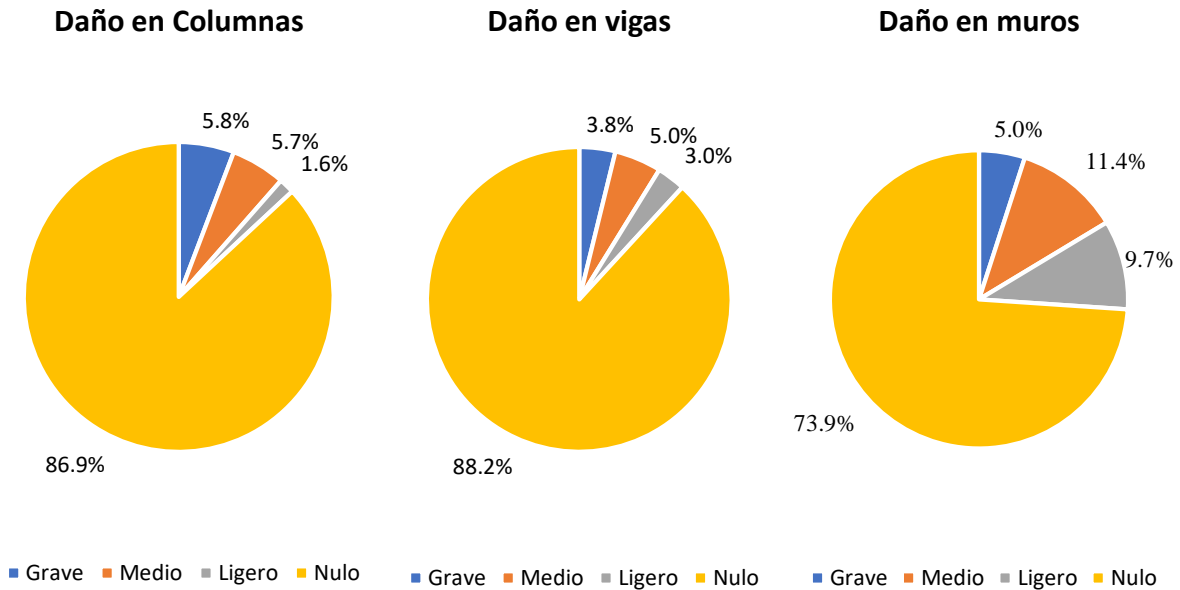


Figura 3.10 - Estructuras U1C con daños en diferentes elementos estructurales.

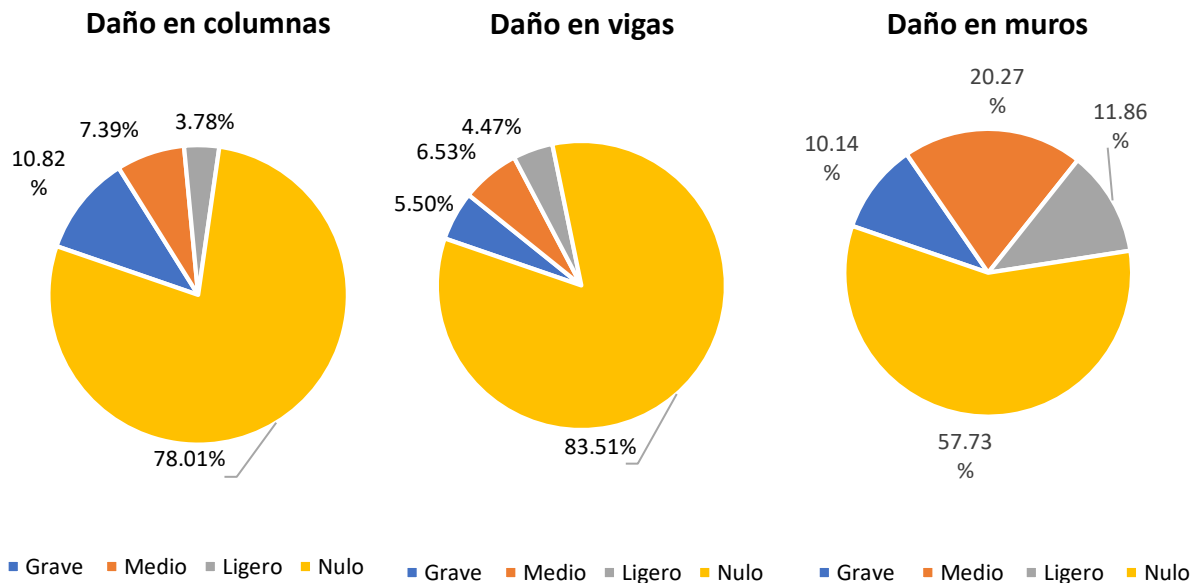


Figura 3.11 - Estructuras U2C con daños en diferentes elementos estructurales.

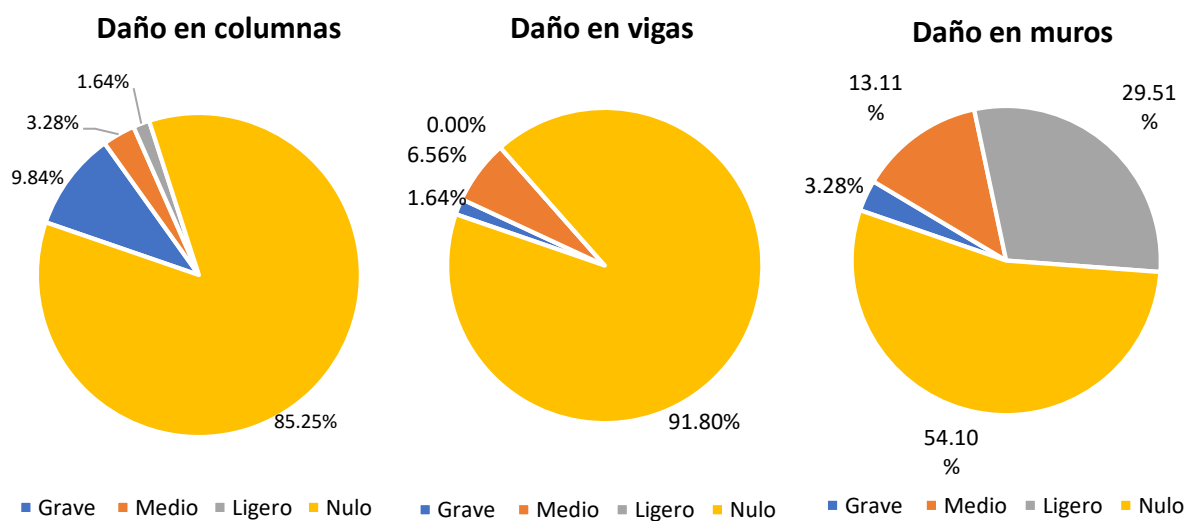


Figura 3.12 Estructuras U3C con daños en diferentes elementos estructurales.

En la figs. 3.10 a 3.12 se muestran los porcentajes de edificaciones en los que se registraron daños en muros, columnas y vigas de los prototipos U1C, U2C y U3C, respectivamente. De los tres elementos estructurales, la mayor cantidad de daño que se observó correspondió a daño en los muros, en donde para el U1C, 74% de las edificaciones se reportaron sin daño en los muros y el 10% con daño ligero, sumando un 84% de estructuras en las cuales la intensidad del daño en muros fue baja. Para el U2C, el 57.7% se registró con daño nulo mientras que el 11.8% se reportó con daño ligero sumando 69.5%. Para el U3C el 54.1% se reportó daño nulo y el 29.5% con daño ligero, sumando 83.6%. Cabe recordar que el mayor número de edificaciones corresponde al prototipo U1C. Respecto a daño grave, solamente en el 5%, 10.1% y 3.3% de las estructuras U1C, U2C y U3C, respectivamente, registraron daños graves en muros. Para el caso de las columnas, el prototipo que registró un mayor porcentaje de estructuras con daño grave es el U2C, con alrededor del 10.8%, seguido por el U3C con un 9.8%. En el caso de las vigas, los porcentajes de daño grave para los prototipos U1C, U2C y U3C fueron 3.8, 5.5 y 1.6%, respectivamente. Es importante destacar que los daños en columnas fueron mayores que en las vigas, lo que es inconsistente con los mecanismos de falla dúctil deseados. En efecto, en marcos de concreto sujetos a sismos se espera que el mecanismo plástico de falla involucre la formación de articulaciones plásticas en vigas, con incipiente agrietamiento en las columnas. En estos edificios, sin embargo, el modo de falla estuvo controlado por daño, frecuentemente en forma de grietas inclinadas. Este tipo de daño sugiere que las fuerzas cortantes en las columnas fue elemento mecánico que controló la respuesta. Las vigas, consecuentemente, exhibieron poco o nulo daño, lo cual es consistente con un comportamiento adecuado de estos elementos.

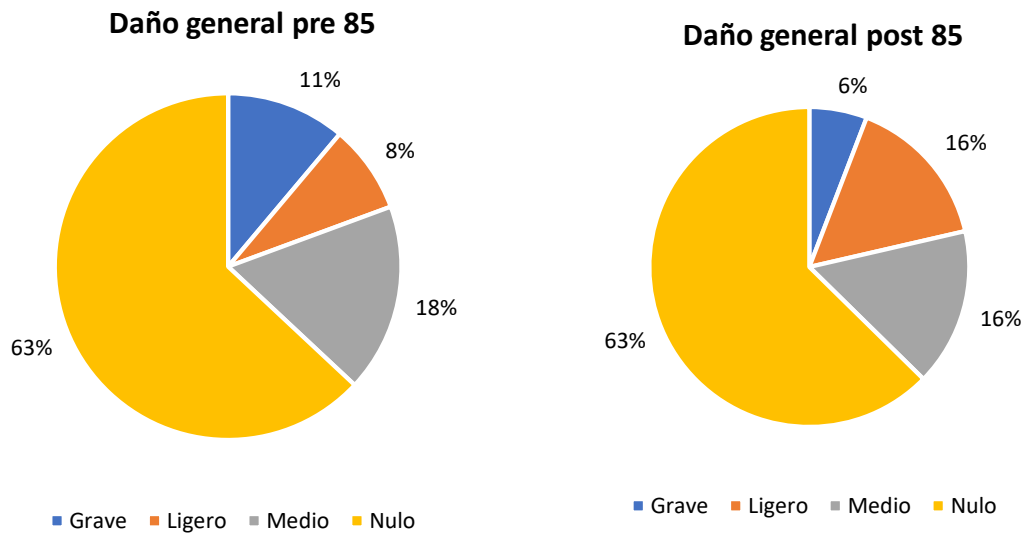


Figura 3.13 - Porcentaje de daño general para las estructuras U1C pre y post 85.

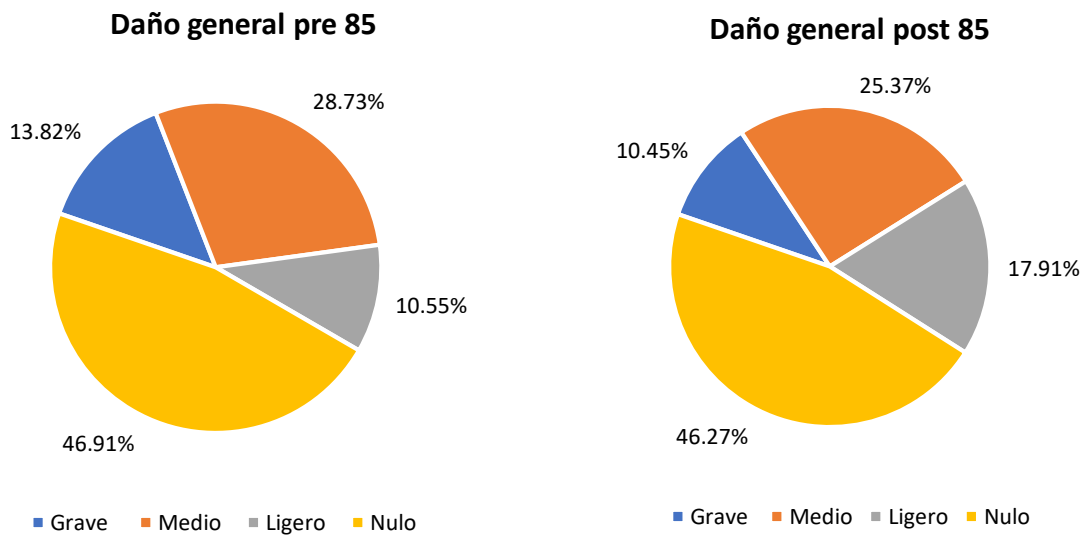


Figura 3.14 - Porcentaje de daño general para las estructuras U2C pre y post 85.

Con la finalidad de establecer algún parámetro global de daño, se clasificaron las estructuras de acuerdo con el nivel de daño más severo que se reportó en cualquiera de sus elementos estructurales. De esta manera, si se informó de daño grave en vigas, pero no en el muro, la estructura se clasificó como gravemente dañada. Esta manera de clasificar el daño tiende a ser conservadora (y, en algunos casos, muy conservadora), pero permite tener una visión global de la distribución del daño general. En las figs. 3.13 y 3.14 se muestra la distribución del daño general para los prototipos urbanos de concreto de uno y dos niveles construidos antes y después de 1985. El número de edificios construidos antes del 85 (449 de U1C, 275 de U2C y 20 de U3C) es significativamente mayor que el de los construidos después del 85 (257 de U1C, 67 de U2C y solamente 2 de U3C). De estos resultados se puede concluir que el conjunto de estructuras post 85 tiene una mejor capacidad de controlar el daño. En el conjunto de estructuras post 85 se informó solamente un 6% de estructuras U1C con daño grave

y un 10.5% de U2C. Para las pre 85 estos valores son de 11% para las U1C y 13.8% para las U2C. Debido a que el universo de U3C post 85 es casi nulo, los análisis porcentuales no son representativos. En valores absolutos esto se traduce en que solamente 15 estructuras tipo U1C y siete U2C post 85 fueron registradas con daño grave mientras que 50 de las estructuras U1C y 38 U2C pre 85 son las que sufrieron daños graves. Las modificaciones en los diseños a partir de 1985 estuvieron orientadas, por un lado, a elevar la rigidez y capacidad de deformación en el intervalo inelástico del comportamiento de las estructuras. Las modificaciones estuvieron orientadas a controlar los niveles y proponer tipos de daño dúctiles.

En las figs. 3.15 a la 3.18 se muestra la desagregación de las edificaciones registradas con diferentes niveles de daño por entidad federativa considerando la clasificación general del daño para el prototipo U1C.

Daño nulo por entidad federativa

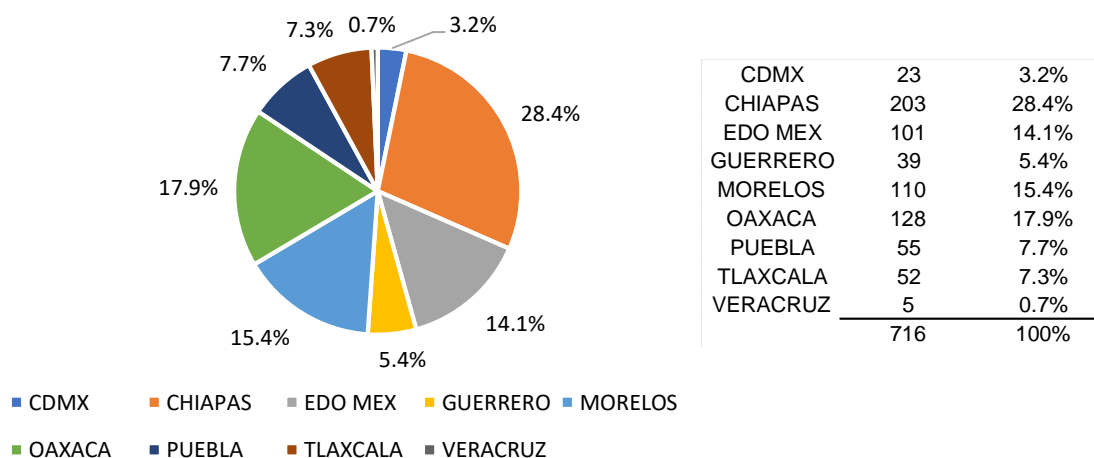


Figura 3.15 - Edificios U1C con daño nulo por entidad federativa.

Daño ligero por entidad federativa

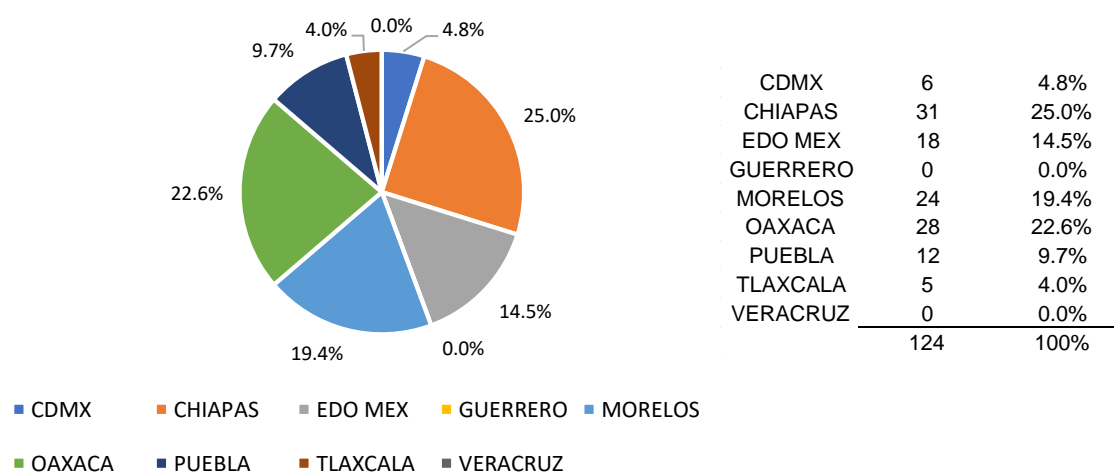


Figura 3.16 - Estructuras U1C con daño ligero por entidad federativa.

Daño medio por entidad federativa

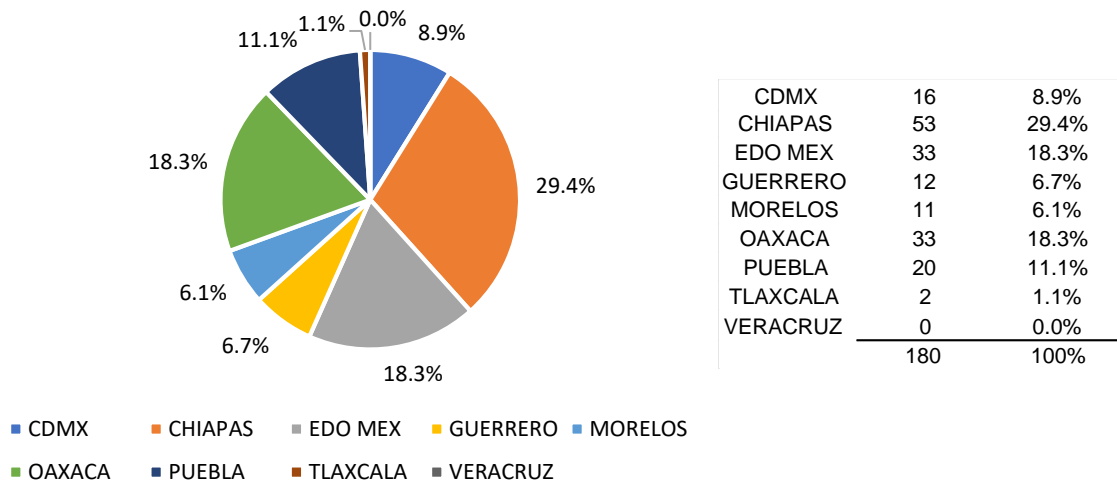


Figura 3.17 - Estructuras U1C con daño medio por entidad federativa.

Daño grave por entidad federativa

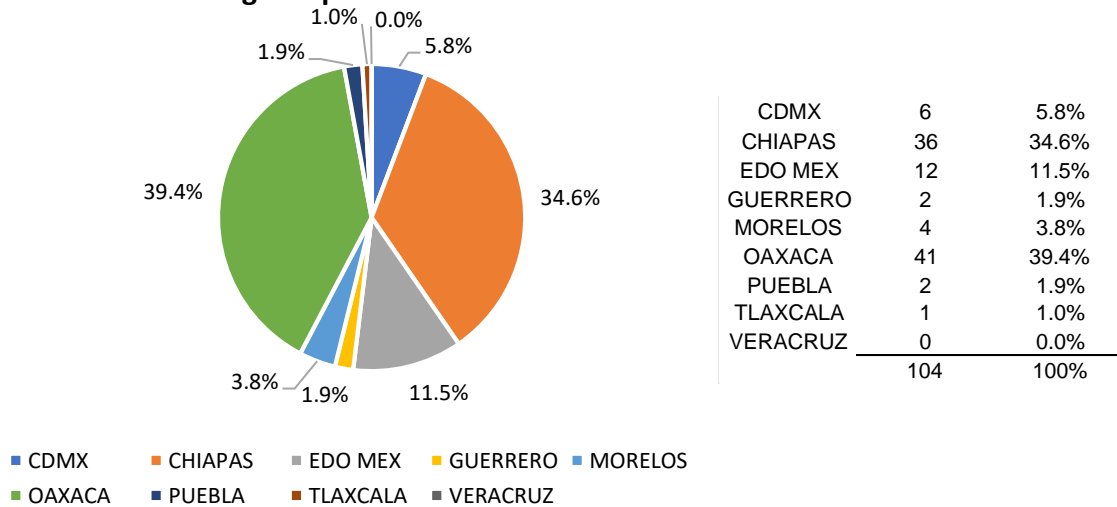


Figura 3.18 - Estructuras U1C con daño grave por entidad federativa.

Para los niveles de daño nulo, ligero y medio, la entidad federativa con un mayor número de edificaciones registradas fue Chiapas, dado que fue la entidad con el mayor número de estructuras U1C. Sin embargo, la entidad federativa en el que se registró el mayor porcentaje de edificaciones con daño grave fue Oaxaca. En el estado de Chiapas se encuentra el 28% de estructuras registradas con daño nulo, el 25% con daño ligero, el 29% con daño medio y el 35% con daño grave. Para el caso de Oaxaca se reportó el 18% con daño nulo, el 23% con daño ligero, el 18% con daño medio y el 39% con daño grave. En tercer lugar, con mayor número de estructuras fue el Estado de México, en el que se reportó 12% con daño nulo, 15% con daño ligero, al igual que para daño medio, y 12% con daño grave. El estado de Morelos tuvo casi el mismo porcentaje que el Estado de México. En Morelos se reportó 15% con daño nulo, 19% con daño ligero, 6% con daño medio y 4% con daño grave.

En las figs. 3.19 y 3.20 se muestra la desagregación de las edificaciones registradas con diferentes niveles de daño por entidad federativa considerando la clasificación general del daño para el prototipo U2C.

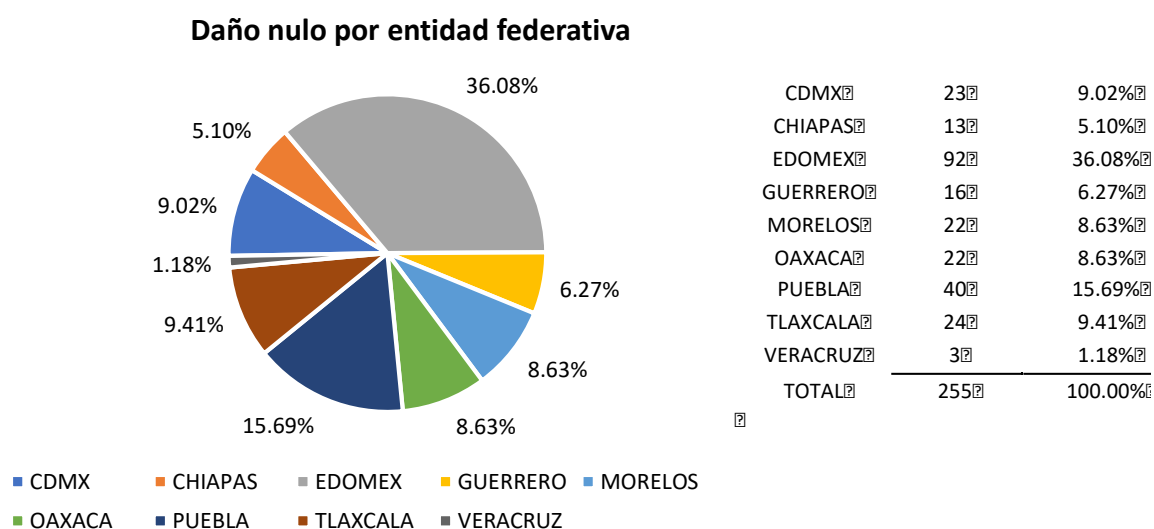


Figura 3.19 - Edificios U2C con daño nulo por entidad federativa.

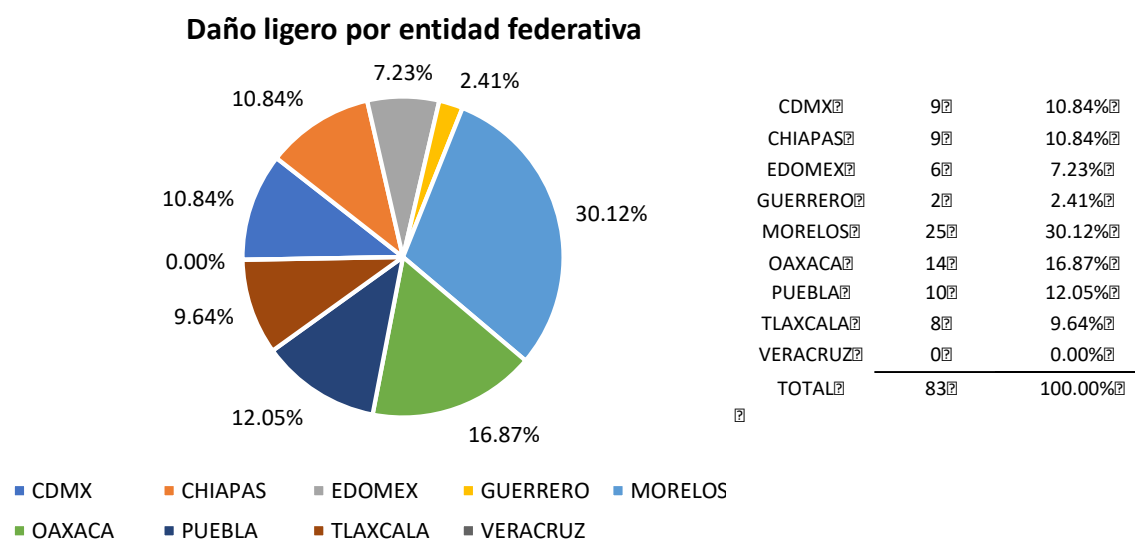


Figura 3.20 - Estructuras U2C con daño ligero por entidad federativa.

Para los niveles de daño nulo y medio, la entidad federativa con un mayor número de edificaciones registradas es el Estado de México, dado que es la entidad con el mayor número de estructuras U2C. Por otra parte, el estado de Morelos es el que reportó mayores porcentajes de escuelas con daños ligeros y graves, aún cuando el número de edificaciones U2C en este estado es casi la mitad que las del Estado de México. En el estado de Morelos se encontró que el 8.6% de estructuras registradas con daño nulo, el 30.1% con daño ligero, el 13.4% con daño medio y el 31.6% con daño grave. Para el caso del Estado de México se reportó el 36.1% con daño nulo, el 7.2% con daño ligero, el 36.2% con daño medio y el 28.4% con daño grave. El tercer estado con mayor número de estructuras es Oaxaca, en el que se reportó 8.6% con daño nulo, 16.9% con daño ligero, 16.1% con daño medio y el 17.9%

con daño grave. El daño de las estructuras urbanas U2C se localizó primordialmente en los estados de Morelos, Oaxaca y México.

Dado que el reducido número de estructuras U3C (únicamente 61 edificios reportados) no permitió desarrollar un análisis estadístico razonable, los resultados de la distribución del daño por entidad federativa de estas estructuras no se presenta.

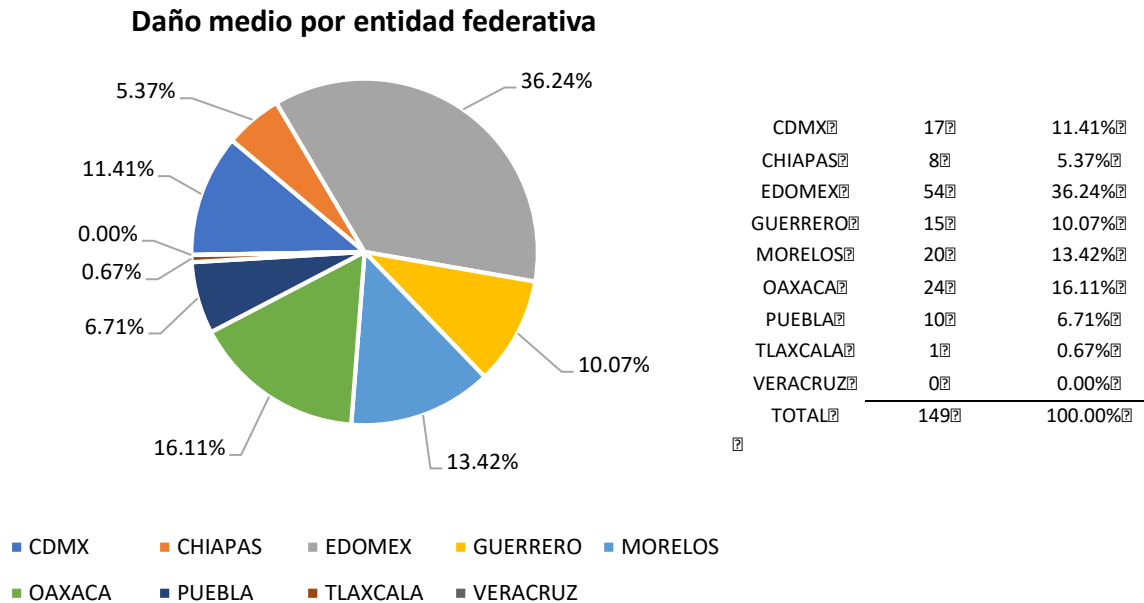


Figura 3.21 - Estructuras U2C registradas con daño medio por entidad federativa.

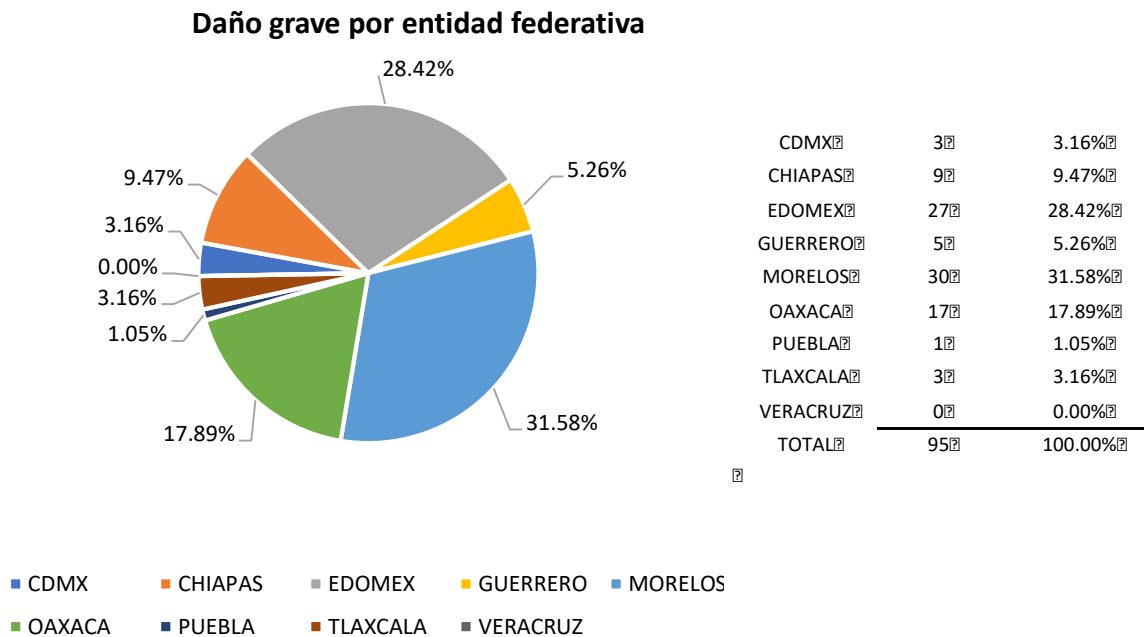


Figura 3.22 - Estructuras U2C registradas con daño grave por entidad federativa.

3.2.5 Tipos de falla

Los tipos de falla más recurrentes en los prototipos urbanos de concreto se enlistan a continuación.

Falla por cortante por efectos de columna corta - Este tipo de falla se presentó principalmente en las columnas junto a ventanas. Se produjo por la concentración de la fuerza cortante actuante en aquellas columnas en las cuales la interacción entre los muretes bajo ventana y las columnas restringieron la altura en la que se pueden deformar. Este tipo de efecto produce grietas inclinadas de cortante sensiblemente a 45° (fig. 3.23). En las estructuras de marcos de concreto, el mecanismo deseado de falla la formación de articulaciones plásticas por flexión en vigas, por lo que la falla de las columnas por efecto de la fuerza cortante no debe ocurrir. Este efecto puede evitarse respetando las separaciones entre los muretes y las columnas indicadas en los detalles de los prototipos. Este tipo de falla se debió a errores constructivos ya que no interpretó y construyó como lo especifican los planos.



Figura 3.23 - Efecto de columna cortas en escuelas de concreto.

Agrietamiento inclinado en vigas provocado por fuerza cortante - Este tipo de grietas aparecieron con una inclinación de aproximadamente 45° en las caras laterales de las vigas, son resultado de la contribución del concreto a la fuerza cortante que se ha alcanzado, produciéndose el agrietamiento por tensión diagonal (fig. 3.24). La resistencia a la fuerza cortante en un elemento de concreto depende en gran medida de la calidad del concreto y del peralte de la viga. Si la grieta es mayor, la resistencia depende de la separación de estribos utilizada. El detallado de los estribos en vigas y columnas fue uno de los cambios significativos en los reglamentos después de 1985.

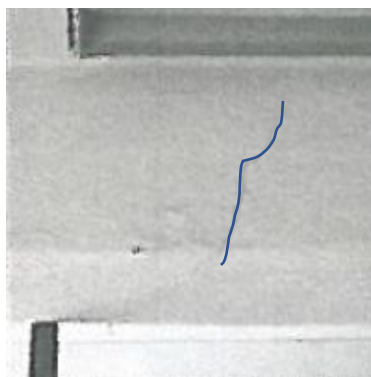


Figura 3.24 - Falla por fuerza cortante en vigas.

Falla por tensión diagonal en muros – El sistema estructural principal en las estructuras urbanas de concreto es de marcos rígidos y en algunos casos con muros de concreto. Sin embargo, el mayor porcentaje de daño para todos los prototipos urbanos de concreto se concentró en los muros y, muy probablemente, en mucha mayor medida en los muros de relleno de mampostería. La falla que se presentó fue por tensión diagonal (fig. 3.25). Si bien los muros divisorios de mampostería no forman parte del sistema estructural, el daño de éstos es inconveniente tanto por la posibilidad de dañar a los ocupantes como por los costos económicos de reponerlos. Esta falla se produce por la falta de una adecuada configuración estructural, métodos constructivos deficientes y, sobre todo, por la ausencia de elementos que desliguen los muros de la estructura principal, evitando así que los muros divisorios trabajen como muros diafragma tomando cargas laterales.

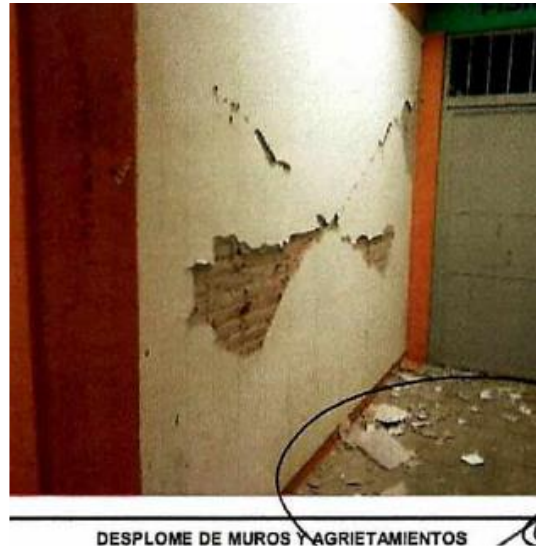


Figura 3.25 - Falla por tensión diagonal en muros de mampostería.

Falla fuera de plano- Otro tipo de falla asociado al conjunto de muros no estructurales que se observó, fue el asociado con la inestabilidad fuera de plano en los muros de mampostería (fig. 3.26). Este tipo de falla se produce por la falta de confinamiento que presentan estos.



Figura 3.26 - Fallas fuera de plano de muros de relleno y divisorios.

3.3 DAÑOS EN BARDAS

Las bardas perimetrales son elementos no estructurales muy importantes dentro de los centros escolares. Es por esta razón que en este apartado se presenta un análisis específico del daño en este tipo de elementos. En la fig. 3.27 se analiza la distribución del daño en bardas. Puede observarse que, de esta muestra, el 69% de las bardas no presentaron daño alguno. Del 31% restante, 20% no han sido identificadas con alguno de los tipos de daño. De las bardas con daño, el mayor porcentaje correspondió a desplomos o inclinaciones. Solamente en un 2% se identificó colapso total o parcial y únicamente el 4% exhibió agrietamiento. Este comportamiento de las bardas perimetrales permite concluir que, en términos generales, el comportamiento de este tipo de elementos fue el esperado, trabajando primordialmente dentro de su plano. Sin embargo, es importante resaltar que este tipo de fallas se deben evitar debido a que pueden provocar la muerte de personas que se encuentren cerca cuando ocurra el colapso. Si bien, en porcentaje, el 2% del universo es bajo, en números absolutos suman, para colapso parcial y total, 44 bardas que pudieron dañar alumnos. En las figs. 3.28 a la 3.30 se muestran algunas imágenes de los diferentes tipos de falla en las bardas, los cuales deben evitarse.

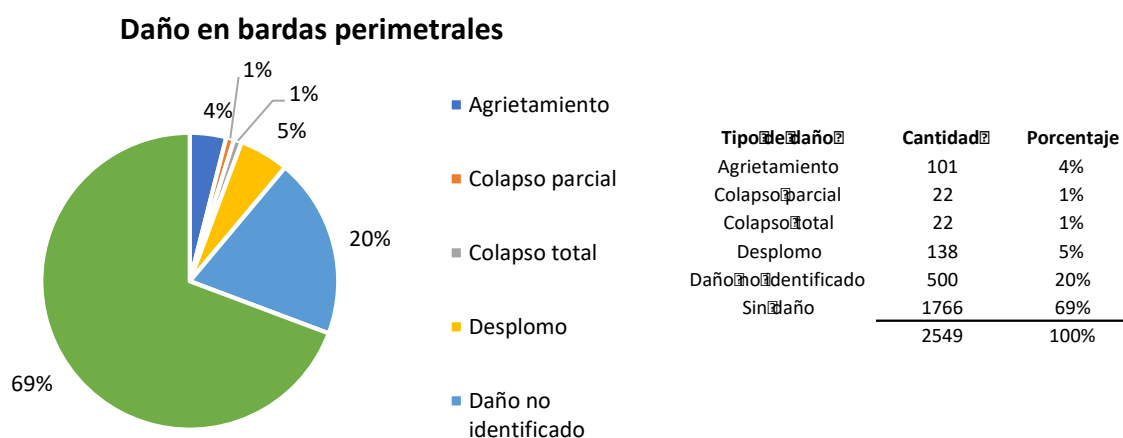


Figura 3.27 - Distribución de daño en bardas en una muestra representativa.



Figura 3.28 - Falla de bardas perimetrales por desplomo o inclinación.



Figura 3.29 - Colapso parcial o total de bardas.



Figura 3.30 - Agrietamiento en el plano de bardas perimetrales.

CAPÍTULO 4

VISITAS DE CAMPO A ESCUELAS

4.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se presentan algunas de las escuelas inspeccionadas en el estado de Morelos y en la Ciudad de México. Los planteles incluyen edificios representativos de los prototipos INIFED. Estos planteles se encuentran con distintas condiciones físicas, algunos estaban siendo reparados, otros en proceso de demolición, en construcción o bien ya en funcionamiento. En algunos de ellos se puso en marcha el uso de la cédula electrónica de levantamiento de datos mostrada en el capítulo 2. Para cada escuela se harán comentarios sobre los métodos de rehabilitación y de construcción empleados.

4.2 VISITAS DE CAMPO

4.2.1 Ciudad de México

Esta visita tuvo lugar el día 26 de abril de 2018, en la colonia Lomas de San Bernabé en la alcaldía de La Magdalena Contreras. El propósito de esta visita fue poner en práctica la cédula digital de levantamiento de daños con gente de INIFED para recibir retroalimentación sobre su uso y los datos que se piden.

4.2.1.1 *Escuela secundaria técnica No. 72*

Esta escuela no presentó daños durante los sismos de septiembre de 2017, por tal motivo no cuenta con cédula básica de información de daños y por ello no se encuentra en la base de datos mencionada en el Capítulo 2. La escuela cuenta con cuatro edificios, dos prototipos de concreto (U2C y U3C), un prototipo regional de mampostería y un taller T84 de acero. Algo interesante de esta escuela es la irregularidad en elevación que se tiene, debido a que se encuentra sobre una ladera protegida con un muro de contención.

Cada uno de los prototipos presentó irregularidades que no corresponden con planos; para esta tesis sólo se mencionarán las irregularidades de los prototipos de concreto. Los dos edificios de concreto se encuentran comunicados, divididos por una junta constructiva. El prototipo U2C presenta más entre ejes en el sentido longitudinal que los establecidos en planos (en total 16 entre ejes). Mientras que el edificio U3C solamente cuenta con tres entre ejes en el sentido longitudinal, para ambos casos los planos especifican diez entre ejes para cada uno (fig. 4.1). Además, los claros en ambos sentidos son mayores y en algunos casos menores que los establecidos en planos.

El uso de la aplicación permitió observar todas estas irregularidades constructivas y facilitó la captura de información sobre los edificios. Los ingenieros de INIFED comentaron que si bien es más fácil la captura de datos es necesario que se den cursos sobre el correcto llenado para evitar errores o confusiones.



Figura 4.1 – Edificios U2C y U3C.

4.2.2 Estado de Morelos

Esta visita tuvo lugar el día 8 de septiembre de 2018 en la ciudad de Jojutla, casi un año después del sismo del 19 de septiembre de 2017. Se visitaron 15 planteles en distintos puntos de la ciudad; para esta tesis se presentan cuatro planteles de los 15 debido a que son los que cuentan con estructuras de concreto. En la fig. 4.2, se observa la distribución de estos planteles en un mapa.

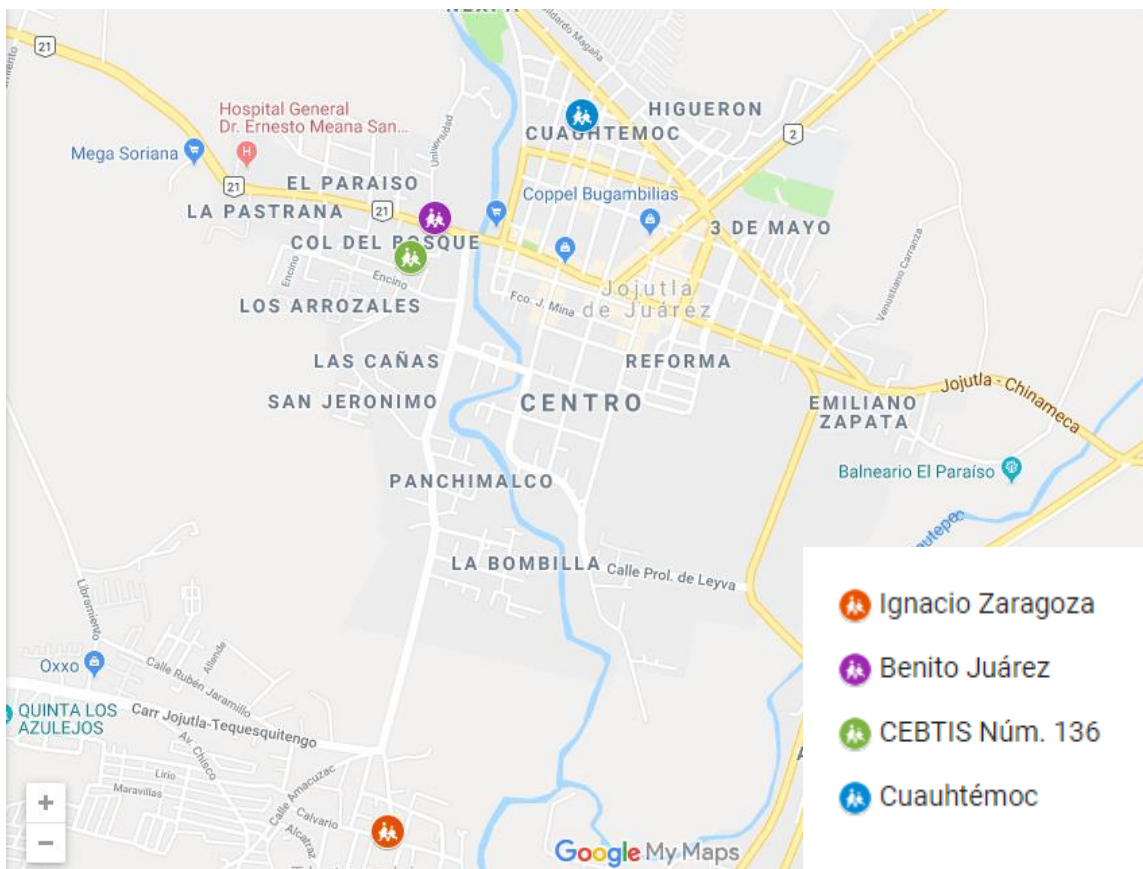


Figura 4.2 – Mapa de Jojutla con escuelas visitadas.

4.2.2.1 Escuela primaria "Ignacio Zaragoza" (Tlaltenchi)

El plantel se encuentra en la localidad de Tlaltenchi, a 15 min aproximadamente del centro de Jojutla. En la cédula básica de información de este plantel, se informa que cuenta con 2 edificios de concreto, el primero es un prototipo U2C y el segundo es atípico. Se reportó daño severo con riesgo de colapso (fig. 4.3 a). Los daños presentados corresponden con los vistos en el capítulo 2, fallas por tensión diagonal en muros y fallas por corte en columnas (fig. 4.3 b-f). El segundo edificio se reportó sin daños, pero no se incluyeron imágenes sobre su estado en la cédula. Durante la visita al lugar, el grupo de investigación del Instituto Ingeniería de la UNAM observó que el edificio con daño severo fue demolido y ya estaba en construcción uno nuevo con el mismo prototipo, pero con normas vigentes.

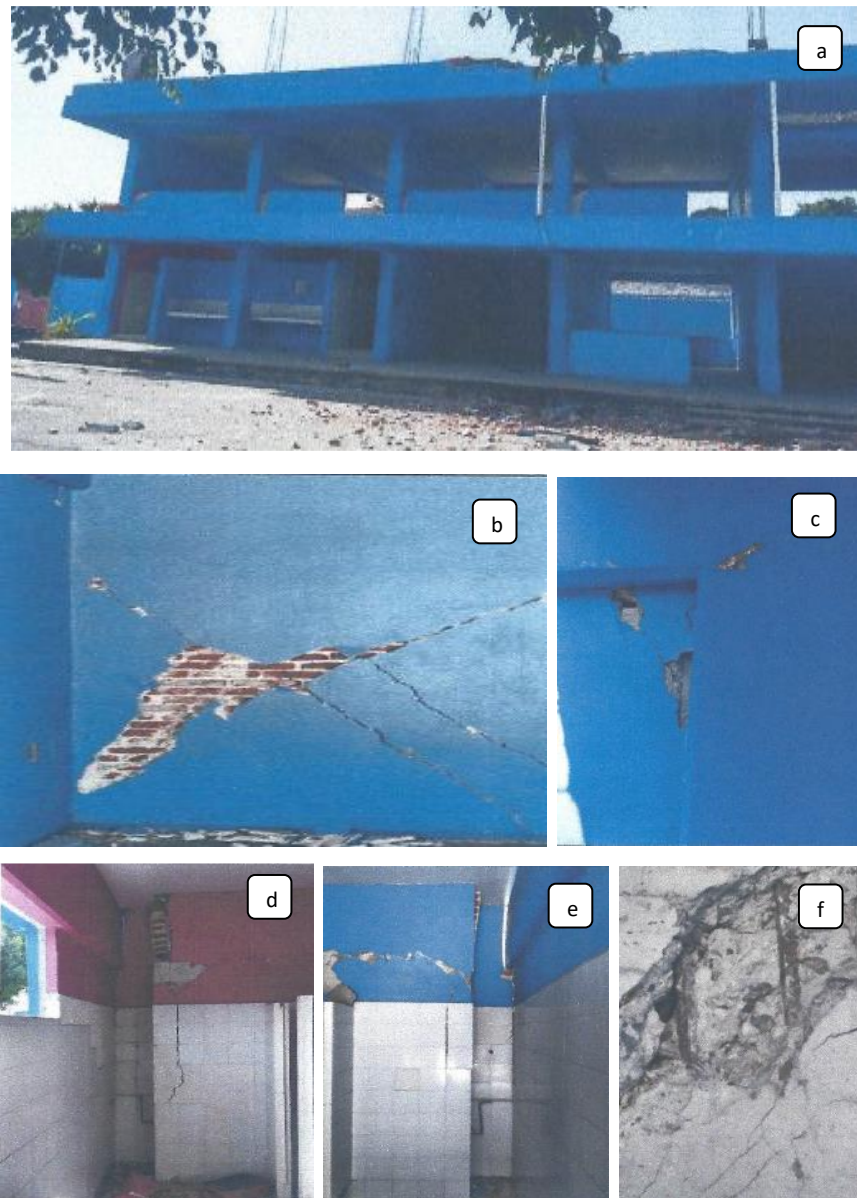


Figura 4.3 - Daños previos a la reconstrucción (fotos: INIFED).

El avance que se tenía de obra según INIFED era de 34%, como se observa en la fig. 4.4 a y b, la planta baja estaba por ser concluida y ya se había colocado el armado para los muros de concreto del segundo piso. Durante la revisión se pudo observar que se estaba confinando la mampostería de los muros divisorios y se estaba dejando un espacio para colocar un material elástico que desligara los muros de las columnas (fig. 4.4 c y d). En el primer nivel algunas columnas y muros estaban ya coladas mientras que en otras sólo estaba el armado colocado. (fig. 4.4 f-i). Es digno de mencionar que, según planos de 2011, los muros de concreto deben colocarse en ambos niveles, pero en la visita se observó que todas los entre ejes en la dirección larga del edificio en PB no contaban con muros. Se preguntó al residente de la obra del por qué de este cambio y nos mencionó que así se tenía indicado en los planos.



Figura 4.4 - Etapa de reconstrucción del plantel.

4.2.2.3 Secundaria “Benito Juárez” (Jojutla)

Este plantel se encuentra en el centro de Jojutla. La cédula de información menciona que se cuenta con siete edificios (fig. 4.5), de los cuales dos son atípicos y los restantes son prototipos de concreto. Las estructuras atípicas no reportaron daño, mientras que los prototipos, cuatro de los cinco tuvieron afectaciones graves. Están identificados con las letras C, D, E y F; los primeros tres corresponden a edificios U2C y el F es U3C. Los daños son congruentes con los análisis de la base de datos y con lo observado en otras cédulas. El daño más severo ocurrió en las columnas con falla por cortante en columnas cortas (fig. 4.6). Estos cuatro edificios se demolieron debido a la severidad del daño, el día de la visita se estaba construyendo cuatro edificios nuevos todos ellos U2C, por tal motivo no fue posible medir tamaños de grietas en las columnas. Cabe señalar que todos estos edificios dañados tenían el eje más largo en la dirección sureste, mientras que el edificio A (atípico) es perpendicular, el cual no sufrió ningún daño.

El responsable de la obra nos comentó que se tuvieron algunas modificaciones de los planos de 2011. Se aumentó el ancho de las zapatas corridas y se colocó gravilla para desplantar la losa de PB (fig. 4.7 c). Estas modificaciones se hicieron con la autorización del comisionado de la reconstrucción en el área estatal. Lo anterior se hizo debido a que el nivel de aguas freáticas se encontraba a escasos 50 cm del terreno.

Durante la inspección, se revisaron los armados empleados en los muros cabeceros, en vigas y en columnas, las separaciones entre estribos, el tamaño de barra y las dimensiones de los entre ejes, las cuales en todos los casos cumplieron con las especificadas en planos. (fig. 4.7 a, b y d)

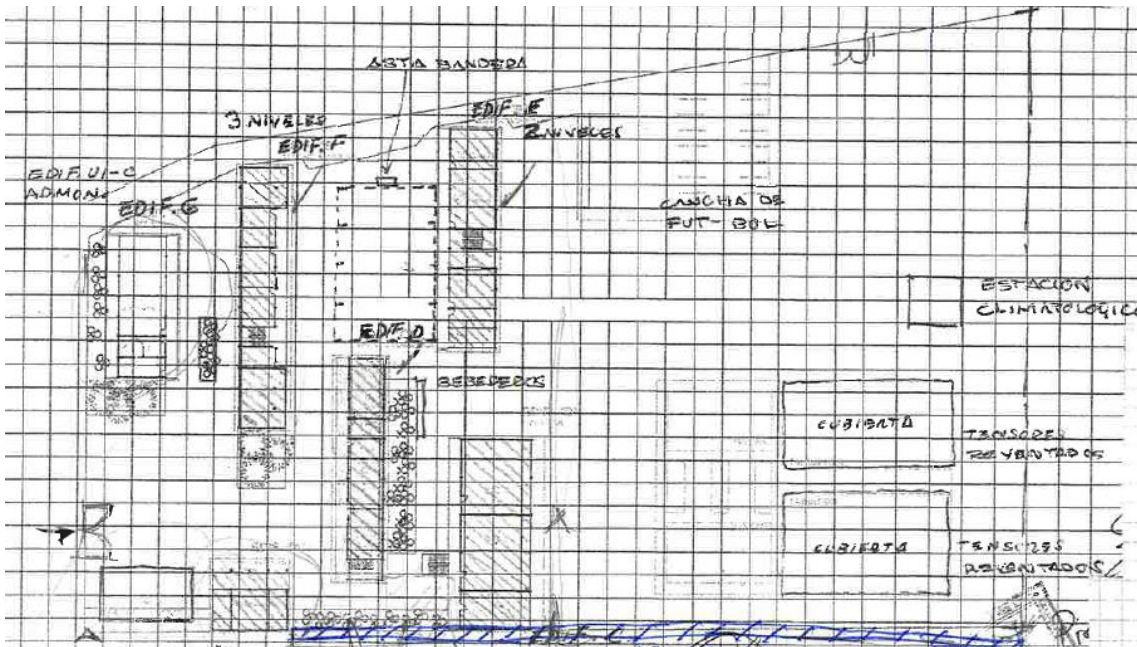


Figura 4.5 - Croquis del plantel “Benito Juárez”.



Figura 4.6 - Daños algunos daños de edificios demolidos (fotos: INIFED).



Figura 4.7 - Estado actual de reconstrucción de la escuela "Benito Juárez".

4.2.2.4 CBTIS n° 136 (Jojutla)

El Centro de Bachillerato Tecnológico, Industrial y de Servicios (CBTIS) No. 136, está ubicado a 5 min del centro de Jojutla. La cédula de información reportó 12 edificios en el plantel, de los cuales diez son de concreto y dos de acero. Se informó daño en tres estructuras, dos de concreto y una de acero. Durante la inspección no se observó daño en el sistema estructural, no así en acabados y vidrios. Muchos de los daños reportados en la cédula no fueron posibles de observar debido a que ya se habían reparado o bien se pintaron.

Sin embargo, esta escuela permite observar los cambios que se realizan a los prototipos INIFED, ya que en muchos de los edificios hay modificaciones o adecuaciones que si bien no afectaron el comportamiento de la estructura, no se deben hacer sin un estudio amplio del impacto.

El edificio E, cuenta con dos estructuras anexas, una de ellas es un baño adosado a las columnas de la estructura principal, pero como se observa en la fig. 4.8 a y b el acero de refuerzo está completamente expuesto y con corrosión. Del otro lado de la estructura se colocó un laboratorio en donde eran los pasillos de la PB (fig. 4.8 c y d).

El edificio G, es un conjunto de cuatro edificios UIC de tres entre ejes cada uno, pero a simple vista parece que es sólo uno, ya que a lo largo de la estructura existe un desnivel, por ello la viga de cerramiento de la estructura 1 está encima de la viga de cerramiento de la estructura 2, y así la estructura 2 con la 3 y la 3 con la 4 (fig. 4.8 e y f).

Además, se observaron daños muy recurrentes en las bardas perimetrales como se mencionó en el apartado tres del Capítulo 3, por ejemplo, colapsos fuera del plano debido a que no tenían confinamiento.



Figura 4.8 - Vista los edificios inspeccionados del plantel CBTIS No. 136.

4.2.2.5 Escuela primaria “General Cuauhtémoc” (Jojutla)

La escuela primaria “General Cuauhtémoc” se encuentra a 8 min del centro Jojutla. La cédula de información básica de INIFED reportó tres edificios, dos prototipos U2C y un U1C. Los prototipos U2C sufrieron daño severo en columnas, presentaron fallas por cortante en columna corta (fig. 4.9) como fue evidente en las estadísticas presentadas en el capítulo 3. Debido a esto se decidió por demoler las dos estructuras y construir los mismos prototipos en su versión 2011. El día de la visita, la escuela tenía un día de haber sido reinaugurada. Como se observa en la fig. 4.10 a y b, los edificios construidos son dos prototipos U2C con diez entre ejes cada uno. Mientras que el prototipo U1C tuvo reparaciones menores que no se mencionan en el dictamen.

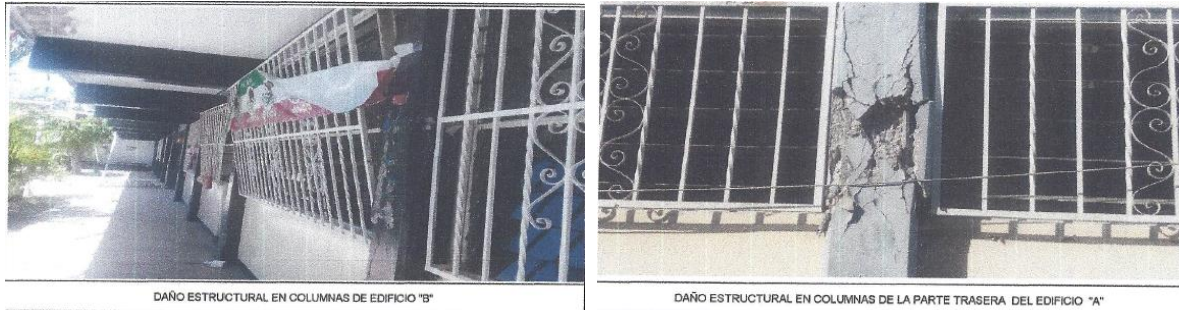


Figura 4.9 – Daños en columnas por cortante, Cédula INIFED

Durante la visita, se puso principal interés en las estructuras recién construidas para corroborar que lo especificado en los planos hubiese sido construido. Como se observa en la fig. 4.10 c, d y e, los muros se encuentran desligados de las columnas para evitar la restricción de desplazamiento en las columnas. Además, se revisó que las medidas en columnas, vigas y entre ejes, las cuales fueron correctas en todos los casos.

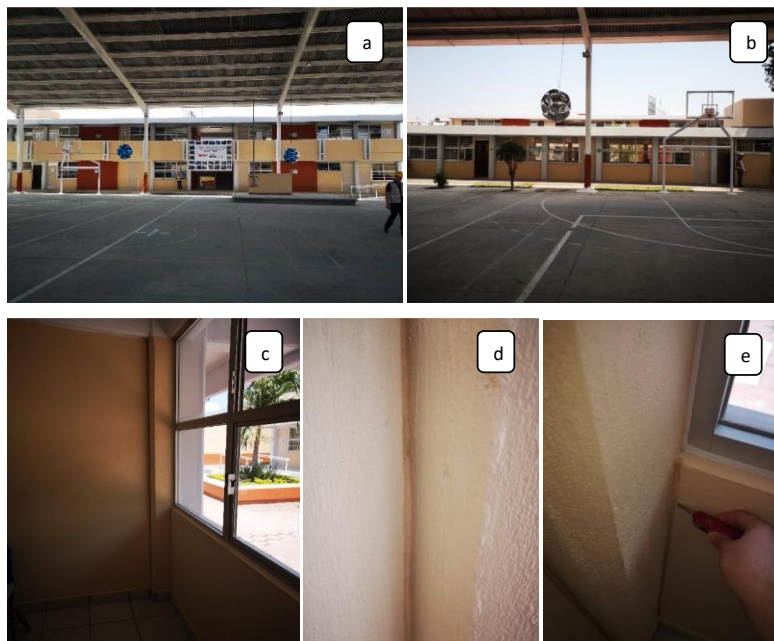


Figura 4.10 - Vista de algunos de los edificios reconstruidos en la escuela “General Cuauhtémoc”.

Para facilitar la revisión del plantel, se hizo uso de la cédula digital vista en el capítulo 2, la cual fue de utilidad para corroborar las medidas de las secciones y entre ejes. En el anexo 2.5 se observa el informe generado por la aplicación.

CAPÍTULO 5

COMPORTAMIENTO NUMÉRICO DE LOS EDIFICIOS

5.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se muestran los resultados obtenidos de los análisis estructurales realizados a los prototipos de concreto. Para ello se describen los materiales, la estructuración, las consideraciones de análisis y los resultados. Los análisis empleados en los prototipos fueron estáticos lineales para los prototipos U1C y U2C en sus versiones anteriores a 1985 y 2011, mientras que para el prototipo U3C sólo se revisó para su versión anterior a 1985.

5.2 PROPIEDADES DE LAS ESTRUCTURAS

A continuación, en las tablas 5.1, 5.2 y 5.3, se muestran las propiedades geométricas, de materiales y de secciones para los prototipos U1C, U2C y U3C en sus versiones de 2011. Además, se comparan con los prototipos anteriores a 1985. Con esto se puede ver que los prototipos pre-85 cuentan con columnas y vigas con menor inercia en sus secciones transversales. Los prototipos de 2011 cuentan con muros de mampostería desligados de la estructura lo cual, como se vio en capítulo 3, permite que los muros bajo ventana no interactúen con las columnas formando columnas cortas y generando problemas de cortante.

Tabla 5.1 - Propiedades del prototipo U1C antes de 1985 y 2011

Materiales			Geometría			Sistema estructural		
Concepto	Antes de 1985	2011	Concepto	Antes de 1985	2011	Concepto	Antes de 1985	2011
<u>Concreto</u>			Sep. entre ejes en X (m)	3.19	3.24	Columnas (cm)	25 x 45	40 x 45
- f'c (kg/cm ²)	200	250	Crujías en X	12	11	Viga long. en azotea (cm)	20 x 47	20 x 63
- E (kg/cm ²)	141,421	221,359	Sep. entre ejes en Y (m)	8.00	8.00	Viga trans. en azotea (cm)	25 x 45 / 55	25 x 55
- g ^{vol} (kg/m ³)	2200	2200	Crujías en Y	1	1	Losa (azotea)	Losa maciza, con pendiente 1.6% e=10 cm o Vigueta y bovedilla	Losa maciza, colada en sitio 10% e=10 cm
<u>Acero de refuerzo</u>			Altura de entrepiso (m)	3.48	3.48			
- fy (kg/cm ²)	4200	4200	No. de niveles	1	1			
- Es (kg/cm ²)	2,100,000	2,100,000						
- g ^{vol} (kg/m ³)	7850	7850						

Tabla 5.2 - Propiedades del prototipo U2C antes de 1985 y 2011

Materiales			Geometría			Sistema estructural							
Concepto	Antes de 1985	2011	Concepto	Antes de 1985	2011	Concepto	Antes de 1985	2011					
<u>Concreto</u>	200	250	Sep. entre ejes en X (m)	3.19	3.24	Columnas (cm)	25 x 45	30 x 45					
						Viga long. entrepiso (cm)	20 x 55	20 x 55					
						Viga long. en azotea (cm)	20 x 47	20 x 53					
- f_c (kg/cm ²)	141,421	221,359	Crujías en X	12	13	Trabe trans. entrepiso (cm)	25 x 55	25 x 55					
- E (kg/cm ²)	2200	2200				Sep. entre ejes en Y (m)	8.00	8.00	Trabe trans. en azotea (cm)	25 x 45 / 55	25 x 55		
- g_{vol} (kg/m ³)	4200	4200	Crujías en Y	1	1	Losa entrepiso	Losa maciza e=11 cm o Vigueta y bovedilla	Losa maciza e=11 cm					
- f_y (kg/cm ²)						2,100,000	2,100,000	Altura de entrepiso (m)	2.85(en) 3.03 (az)	2.85 (en) 3.03 (az)	Losa azotea	Losa maciza, con pendiente 1.6% e=10 cm o Vigueta y bovedilla	Losa maciza, con pendiente 10% e=10 cm
- Es (kg/cm ²)								No. de niveles	2	2	Muros diafragma	No	Mampostería y concreto
- g_{vol} (kg/m ³)								7850	7850				

Tabla 5.3 - Propiedades del prototipo U3C antes de 1985 y 2011

Materiales			Geometría			Sistema estructural							
Concepto	Antes de 1985	2011	Concepto	Antes de 1985	2011	Concepto	Antes de 1985	2011					
Concreto	200	250	Sep. entre ejes en X (m)	3.19	3.24	Columnas (cm)	25 x 45	30 x 45					
						Viga long. Entrepiso (cm)	20 x 55	20 x 55					
						Viga long. en azotea (cm)	20 x 47	20 x 53					
- f_c (kg/cm ²)	141,421	221,359	Crujías en X	12	13	Trabe trans. entrepiso (cm)	25 x 55	25 x 55					
- E (kg/cm ²)	2200	2200				Sep. entre ejes en Y (m)	8.00	8.00	Viga trans. en azotea (cm)	25 x 45 / 55	25 x 55		
- g_{vol} (kg/m ³)	4200	4200	Crujías en Y	1	1	Losa entrepiso	Losa maciza e=11 cm o Vigueta y bovedilla	Losa maciza e=11 cm					
- f_y (kg/cm ²)						2,100,000	2,100,000	Altura de entrepiso (m)	2.85(en) 3.03 (az)	2.85 (en) 3.03 (az)	Losa azotea	Losa maciza, con pendiente 1.6% e=10 cm o Vigueta y bovedilla	Losa maciza, con pendiente 10% e=10 cm
- Es (kg/cm ²)								No. de niveles	3	3	Muros diafragma	No	Mampostería y concreto
- g_{vol} (kg/m ³)								7850	7850				

5.2.1 Consideraciones para el modelado

Los modelos de las escuelas se realizaron con el programa ETABS 2016 v.16.2.1. Con este programa se hizo el análisis elástico lineal y el análisis estático no lineal.

Los criterios tomados en cuenta para el modelado fueron tomados de la publicación ACI 369.1M-17. A continuación se describen las hipótesis y consideraciones hechas para el modelado.

5.2.1.1 Marcos de concreto (vigas y columnas)

Los marcos rígidos de concreto están compuestos principalmente por elementos horizontales tales como vigas y losas, por elementos verticales tales como columnas y por las conexiones entre los elementos verticales y horizontales. Su propósito es, en conjunto con de muros de cortante, contravientos u otros elementos, puedan resistir las fuerzas sísmicas.

Existen distintos tipos de marcos de concreto, tales como marcos rígidos de concreto (vigas y columnas), marcos de concreto postensado y marcos de losas y columnas, para el modelado de las escuelas se ocupará el primero de estos tres, el cual debe cumplir con las siguientes características:

- a) Los marcos están compuestos por vigas con o sin losas, columnas y sus conexiones.
- b) Los marcos son colados monolíticamente lo cual permite la transmisión de cortante y momento entre las columnas y vigas.
- c) El acero de refuerzo en los elementos que contribuye a la resistencia de fuerzas sísmicas no es pretensado.

En los modelos analíticos de las columnas y vigas se representa el esfuerzo, la rigidez y la capacidad de deformación. Además, se toma en cuenta que se pueden presentar fallas por flexión y por cortante en cualquier parte de la longitud de los elementos. Por ello, las vigas y columnas fueron modeladas como elementos barra con las propiedades especificadas anteriormente. Para las losas se consideró la interconexión con los elementos verticales a través de diafragmas rígidos.

Para los modelos estáticos lineales se consideró que las vigas deben resistir esfuerzos por flexión y cortante incluyendo los efectos que provocan las losas coladas monolíticamente, en cuanto a las columnas se tomó en cuenta que deben resistir esfuerzos por flexión, cortante y cargas axiales.

Para los modelos estáticos no lineales se consideró que las columnas y las vigas tuvieran articulaciones plásticas a 0.05 del inicio y final del elemento. Para las vigas se usaron articulaciones para momento, mientras que para columnas se ocuparon articulaciones para carga axial y momento. El modelado de las articulaciones plásticas fue tomado del ASCE 41-17 en sus capítulos 7 y 8.

5.2.1.1 Niveles de desempeño para el análisis no lineal (Push-over)

El desempeño de la estructura se evaluó considerando los siguientes criterios de aceptación (ASCE 41-17, 2017):

Operación- Establece que la estructura permanece con su resistencia y rigidez originales, no obstante, puede presentarse algún agrietamiento en muros divisorios, fachadas o bien plafones. Asimismo, las instalaciones y equipo no deben dañarse.

Ocupación inmediata- La resistencia e integridad del ciclo histórico de la estructura sufre deterioro de poca consideración, aunque puede presentarse una pérdida de rigidez importante debido al agrietamiento de los elementos estructurales. También se acepta un mayor daño en comparación con el estado límite anterior, en fachadas, muros divisorios, plafones y pueden existir fallas menores en equipos y contenido que no es esencial para el funcionamiento de los edificios.

Seguridad de vida- Debe garantizarse la seguridad de vida del público usuario. Desde el punto de vista de daño, implica que las estructuras exhiban comportamiento inelástico, y pierdan un porcentaje considerable de rigidez, resistencia y capacidad de disipación de energía. Es posible que parte de los muros divisorios, fachadas y plafones sufran daño de consideración y tengan que ser repuestos en su totalidad, aunque su nivel de daño no debe implicar que se desliguen de la estructura o su colapso. Bajo las mismas condiciones, el equipo y contenido de los edificios pueden presentar daños importantes.

Colapso incipiente- Se satisface si se mantiene la estabilidad global de la estructura, aun cuando el daño estructural y no estructural sea muy grave, de tal manera que no se garantice la integridad física de los ocupantes.

Para el caso de las escuelas, y por tratarse de edificaciones del grupo A (de vital importancia), se consideró indispensable su permanencia en el criterio de aceptación Ocupación Inmediata durante un evento sísmico.

5.2.2 Análisis de cargas empleadas para los modelos

Para este análisis se tomó como base las cargas propuestas por las Normas Técnicas Complementarias sobre Criterios y Acciones para el Diseño Estructural de las Edificaciones de la Ciudad de México de 2017. Se puso especial énfasis en las cargas propias de la estructura (cargas muertas) aproximándolas lo más posible a las reales.

Tabla 5.4 - Análisis de cargas de escuelas antes de 1985.

EN AZOTEA A DOS AGUAS

Losa (h=10 cm)	240.00	kg/m ²	240.00	kg/m ²	240.00	kg/m ²
Petatillo	20.00	kg/m ²	20.00	kg/m ²	20.00	kg/m ²
Impermeabilizante	10.00	kg/m ²	10.00	kg/m ²	10.00	kg/m ²
Instalaciones	10.00	kg/m ²	10.00	kg/m ²	10.00	kg/m ²
Sobrecarga de reglamento	40.00	kg/m ²	40.00	kg/m ²	40.00	kg/m ²
Carga Muerta Total	320.00	kg/m ²	320.00	kg/m ²	320.00	kg/m ²
	CV máx		CV inst.		CV media	
Carga Viva Azotea pend <5%	100	kg/m ²	70	kg/m ²	15	kg/m ²
CARGA TOTAL	420	kg/m²	390	kg/m²	335	kg/m²

EN ENTREPISO

Losa (e=11 cm)	264.00	kg/m ²	264.00	kg/m ²	264.00	kg/m ²
Acabados	110.00	kg/m ²	110.00	kg/m ²	110.00	kg/m ²
Instalaciones	10.00	kg/m ²	10.00	kg/m ²	10.00	kg/m ²
Sobrecarga por reglamento	40.00	kg/m ²	40.00	kg/m ²	40.00	kg/m ²
Carga Muerta Total	424.00	kg/m ²	424.00	kg/m ²	424.00	kg/m ²
	CV máx		CV inst.		CV media	
Carga Viva Aulas	250	kg/m ²	180	kg/m ²	100	kg/m ²
CARGA TOTAL	674	kg/m²	604	kg/m²	524	kg/m²

EN ESCALERAS

Losa (e=11 cm)	264.00	kg/m ²	264.00	kg/m ²	264.00	kg/m ²
Escalones	195.00	kg/m ²	195.00	kg/m ²	195.00	kg/m ²
Acabados	110.00	kg/m ²	110.00	kg/m ²	110.00	kg/m ²
Instalaciones	10.00	kg/m ²	10.00	kg/m ²	10.00	kg/m ²
Sobrecarga por reglamento	40.00	kg/m ²	40.00	kg/m ²	40.00	kg/m ²
Carga Muerta Total	619.00	kg/m ²	619.00	kg/m ²	619.00	kg/m ²
	CV máx		CV inst.		CV media	
Carga Viva Escaleras	350	kg/m ²	150	kg/m ²	40	kg/m ²
CARGA TOTAL	969	kg/m²	769	kg/m²	659	kg/m²

EN BARANDALES

Barandal de acero	4	kg/m
Carga Muerta Total	4	kg/m
	CV	
Carga Viva Escaleras	100	kg/m
CARGA TOTAL	104	kg/m

Tabla 5.5 - Análisis de cargas de escuelas 2011.

EN AZOTEA A DOS AGUAS

Losa (h=10 cm)	240.00	kg/m ²	240.00	kg/m ²	240.00	kg/m ²
Petatillo	20.00	kg/m ²	20.00	kg/m ²	20.00	kg/m ²
Impermeabilizante	10.00	kg/m ²	10.00	kg/m ²	10.00	kg/m ²
Instalaciones	10.00	kg/m ²	10.00	kg/m ²	10.00	kg/m ²
Sobrecarga de reglamento	40.00	kg/m ²	40.00	kg/m ²	40.00	kg/m ²
Carga Muerta Total	320.00	kg/m ²	320.00	kg/m ²	320.00	kg/m ²
	CV máx		CV inst.		CV media	
Carga Viva Azotea pend >5%	40	kg/m ²	20	kg/m ²	5	kg/m ²
CARGA TOTAL	360	kg/m²	340	kg/m²	325	kg/m²

EN ENTREPISO

Losa (e=11 cm)	264.00	kg/m ²	264.00	kg/m ²	264.00	kg/m ²
Acabados	110.00	kg/m ²	110.00	kg/m ²	110.00	kg/m ²
Instalaciones	10.00	kg/m ²	10.00	kg/m ²	10.00	kg/m ²
Sobrecarga por reglamento	40.00	kg/m ²	40.00	kg/m ²	40.00	kg/m ²
Carga Muerta Total	424.00	kg/m ²	424.00	kg/m ²	424.00	kg/m ²
	CV máx		CV inst.		CV media	
Carga Viva Aulas	250	kg/m ²	180	kg/m ²	100	kg/m ²
CARGA TOTAL	674	kg/m²	604	kg/m²	524	kg/m²

EN ESCALERAS

Losa (e=11 cm)	264.00	kg/m ²	264.00	kg/m ²	264.00	kg/m ²
Escalones	195.00	kg/m ²	195.00	kg/m ²	195.00	kg/m ²
Acabados	110.00	kg/m ²	110.00	kg/m ²	110.00	kg/m ²
Instalaciones	10.00	kg/m ²	10.00	kg/m ²	10.00	kg/m ²
Sobrecarga por reglamento	40.00	kg/m ²	40.00	kg/m ²	40.00	kg/m ²
Carga Muerta Total	619.00	kg/m ²	619.00	kg/m ²	619.00	kg/m ²
	CV máx		CV inst.		CV media	
Carga Viva Escaleras	350	kg/m ²	150	kg/m ²	40	kg/m ²
CARGA TOTAL	969	kg/m²	769	kg/m²	659	kg/m²

EN BARANDALES

Barandal (e=12 cm)	297	kg/m
Carga Muerta Total	297	kg/m
	CV	
Carga Viva Escaleras	100	kg/m
CARGA TOTAL	397	kg/m

A efecto de revisar la capacidad resistente de las escuelas, se utilizó el criterio de resistencia última o diseño por factores de carga y resistencia (LRFD, por sus siglas en inglés). Para ello, se consideraron las combinaciones de carga que a continuación se enumeran:

1. $1.5(\text{PP} + \text{CM} + \text{Sobrecarga}) + 1.7 \text{CVmáx}$
2. $1.1(\text{PP} + \text{CM} + \text{Sobrecarga} + \text{CVinst} + \text{Sismo } x + 0.3 \text{ Sismo } y)$
3. $1.1(\text{PP} + \text{CM} + \text{Sobrecarga} + \text{CVinst} + \text{Sismo } x - 0.3 \text{ Sismo } y)$
4. $1.1(\text{PP} + \text{CM} + \text{Sobrecarga} + \text{CVinst} - \text{Sismo } x + 0.3 \text{ Sismo } y)$
5. $1.1(\text{PP} + \text{CM} + \text{Sobrecarga} + \text{CVinst} - \text{Sismo } x - 0.3 \text{ Sismo } y)$
6. $1.1(\text{PP} + \text{CM} + \text{Sobrecarga} + \text{CVinst} + \text{Sismo } y + 0.3 \text{ Sismo } x)$
7. $1.1(\text{PP} + \text{CM} + \text{Sobrecarga} + \text{CVinst} + \text{Sismo } y - 0.3 \text{ Sismo } x)$
8. $1.1(\text{PP} + \text{CM} + \text{Sobrecarga} + \text{CVinst} - \text{Sismo } y + 0.3 \text{ Sismo } x)$
9. $1.1(\text{PP} + \text{CM} + \text{Sobrecarga} + \text{CVinst} - \text{Sismo } y - 0.3 \text{ Sismo } x)$

Para la revisión de deformaciones, se utilizó la siguiente combinación de carga

10. $1.0(\text{PP} + \text{CM} + \text{Sobrecarga} + \text{CVmáx})$

donde:

- CM: Carga muerta, específicamente el peso propio de la estructura.
- Sobrecarga: Carga muerta que incluye peso de instalaciones, acabados, etc. (instalaciones genéricas).
- CVmax: Carga viva máxima.
- CVinst: Carga viva instantánea.
- CVmed: Carga viva media.
- CVinst: Carga viva de construcción (150 kg/m^2).
- Sx: Fuerza sísmica en dirección X.
- Sy: Fuerza sísmica en dirección Y.

5.2.3 Propiedades de las secciones

Las Normas Técnicas Complementarias para el Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal de 2017 (GCDMX, 2017), establecen que: “cuando se apliquen métodos de análisis lineal, el cálculo de las rigideces de los miembros estructurales se tomará en cuenta el efecto de agrietamiento”. Por tanto, para tomar en cuenta el agrietamiento, la inercia gruesa se afectó por los factores de la siguiente tabla.

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

5.3 ESPECTRO SÍSMICO

5.3.1 Espectro de diseño a partir del Manual de Diseño de Obras Civiles 2015

Los espectros de diseño del Manual de Obras Civiles (CFE, 2015), se generaron bajo la siguiente filosofía:

- Los espectros de diseño varían en forma continua dentro del territorio mexicano.
- La construcción de los espectros de diseño se inicia con un parámetro relacionado con el peligro sísmico, que es la aceleración máxima en terreno rocoso, y se continúa con factores con que se toman en cuenta las condiciones del terreno.
- Los espectros de diseño son transparentes (fig.5.1), es decir, carecen de factores de reducción ajenos al peligro sísmico.
- Las ordenadas espectrales corresponden al 5% del amortiguamiento crítico estructural. Podrán modificarse cuando se justifique un valor de amortiguamiento diferente o se consideren efectos de interacción suelo–estructura.
- A periodo estructural largo, los espectros de desplazamiento que se derivan de los espectros de aceleración tienden correctamente a los desplazamientos máximos del terreno.
- Se suministran espectros de diseño para el estado límite de servicio que no están afectados por la no linealidad del suelo.
- Se proporcionan aceleraciones para tres niveles de importancia estructural: convencional (B), importante (A) y muy importante (A+) (sólo para zonas de alta sismicidad).

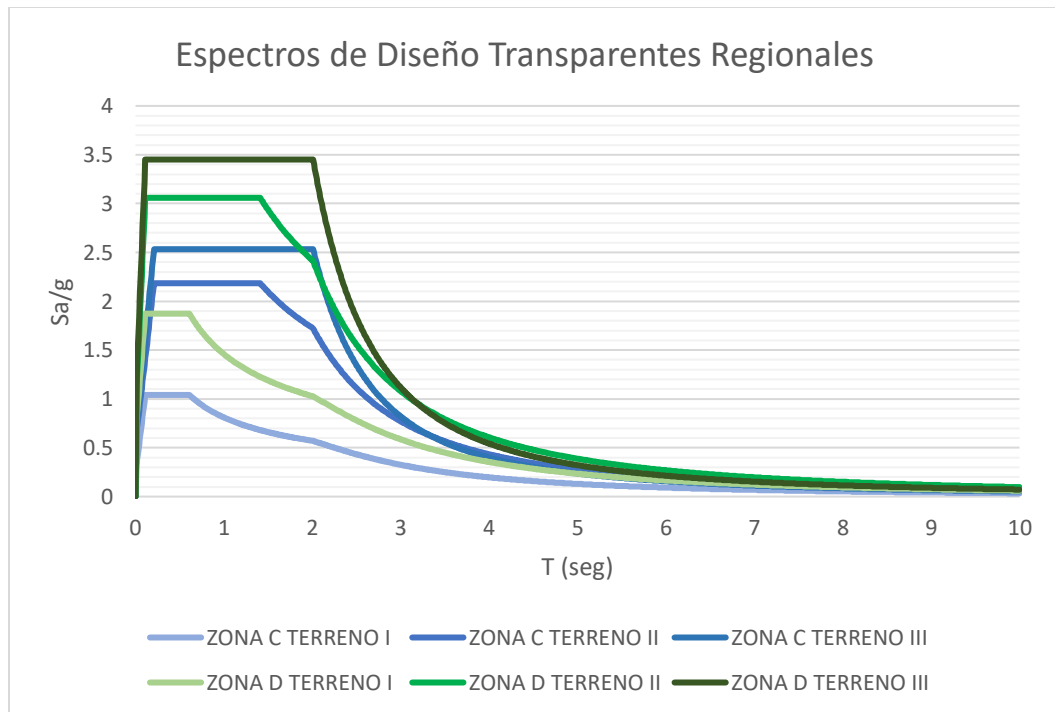


Figura 5.1 - Espectros de Diseño Transparentes Regionales, de las Zona C y D, Terrenos I, II y III (CFE, 2015).

Una vez obtenidos los Espectros de Diseño Transparentes Regionales, con ayuda del software PRODISIS v4.1, se procede a obtener los Espectros de Diseño Modificados (figs. 5.2 y 5.3) de acuerdo con lo establecido en la sección 2.3 del Manual de Diseño de Obras Civiles (CFE, 2015).

Los factores usados y su referencia en el MDOC (CFE, 2015) son:

- Factor de importancia: 1.5, (inciso 3.1.4).
- Coeficiente de amortiguamiento: 5% (tabla 3.1).
- Coeficiente de sobrerresistencia, RO: 2 (inciso 3.3.1.3).
- Factor de redundancia, ρ : 0.8 para estructuras a base de marcos con una sola crujía. Para el sentido en donde se tengan dos o más crujías, se empleó un valor de 1.25 (inciso 3.3.1.4). Por lo tanto, se tendrán dos espectros de diseño, uno para cada sentido de la estructura como se observa en las figs. 5.2 y 5.3.
- Factor de irregularidad, FI, se obtuvo de acuerdo con lo establecido en el inciso 3.3.2.4.
- Factor de comportamiento sísmico, Q: 2 (inciso 3.3.1.1).

En las tablas 5.5 y 5.6 se incluyen los parámetros espectrales descritos en el inciso 3.1.6.2 del MDOC Diseño por Sismo (CFE, 2015): aceleraciones máximas en la roca (a_0^r), aceleración máxima del terreno (a_0) y la aceleración máxima espectral (c), con los cuales se generaron los Espectros de Diseño Transparentes Regionales y los Espectros de Diseño Modificados, cuyas aceleraciones máximas se muestran en las tres últimas columnas de las tablas.

Tabla 5.6 - Aceleraciones máximas espectrales del Espectro de Diseño Transparente Regional y del Espectro de Diseño Modificado (Zona C).

Zona C								
Terreno	Aceleración máxima en la roca (cm/s^2)	Parámetros para Espectros regionales		Importancia de estructura	Amortiguamiento	Sa máxima (espectro transparente)	Sa máxima (espectro de diseño, $\rho=0.8$)	Sa máxima (espectro de diseño, $\rho=1.25$)
		a_0	c					
Terreno I	199.99	199.99	680.42	A	5%	1.041	0.636	0.4071
Terreno II	199.99	419.99	1427.25	A	5%	2.184	1.318	0.8494
Terreno III	199.99	459.98	1655.95	A	5%	2.532	1.541	0.9863

Tabla 5.7 - Aceleraciones máximas espectrales del Espectro de Diseño Transparente Regional y del Espectro de Diseño Modificado (Zona D).

Zona D								
Terreno	Aceleración máxima en la roca (cm/s^2)	Parámetros para Espectros regionales		Importancia de estructura	Amortiguamiento	Sa máxima (espectro transparente)	Sa máxima (espectro de diseño, $\rho=0.8$)	Sa máxima (espectro de diseño, $\rho=1.25$)
		a_0	c					
Terreno I	≥ 200	490	1225	A	5%	1.873	1.145	0.733
Terreno II	≥ 200	690	2000	A	5%	3.059	1.911	1.2237
Terreno III	≥ 200	752	2256	A	5%	3.451	2.157	1.3803

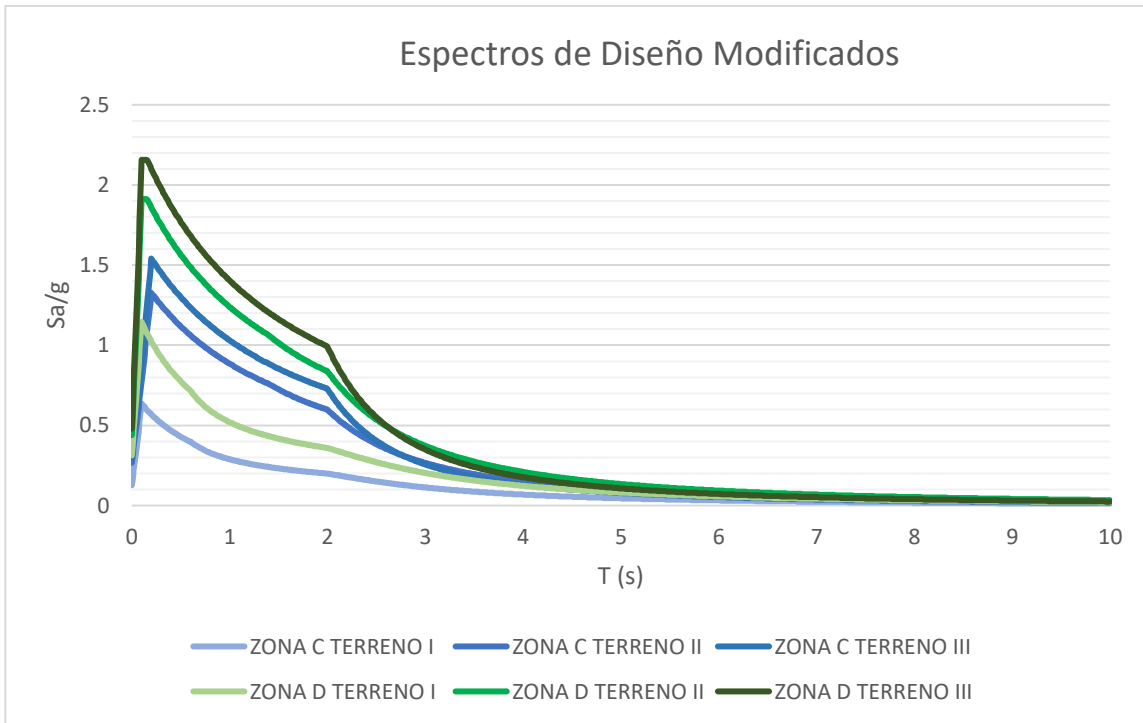


Figura 5.2 - Espectros de Diseño Modificados, de las Zonas C y D, Terrenos I, II y III (Factor de redundancia igual a 0.8) (CFE, 2015).

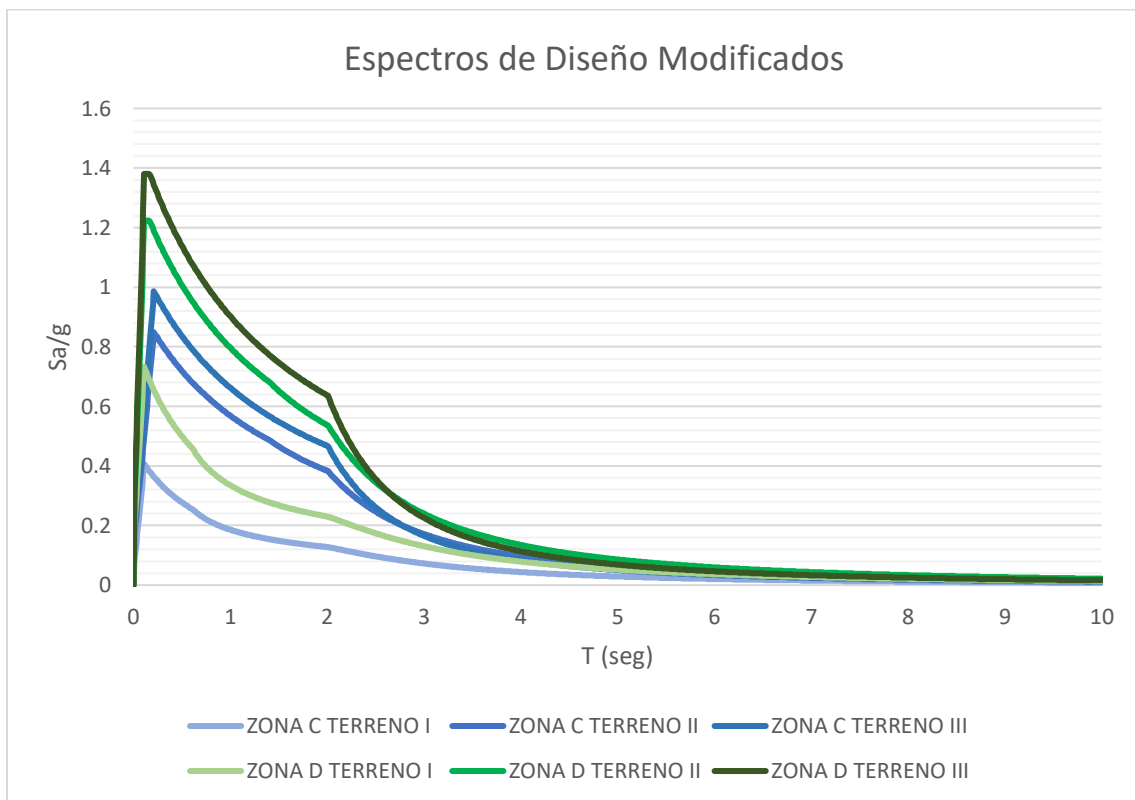


Figura 5.3 - Espectros de Diseño Modificados, de las Zonas C y D, Terrenos I, II y III (Redundancia igual a 1.25).

5.4 EDIFICIO DE CONCRETO DE UN NIVEL ANTERIOR A 1985

5.4.1 Descripción

En la tabla 5.8 se presentan las características del prototipo UIC anterior a 1985.

Tabla 5.8 - Características del edificio de concreto reforzado de un nivel anterior a 1985.

Aspectos Generales	Variable de diseño	Criterios seleccionados para el estudio de edificios índice
Configuraciones generales para el diseño	Configuración de los apoyos	Empotrado
	Interacción suelo-estructura	Considerada
	Ocupación y uso	Educacional
	Normas y códigos de diseño	NTC – para el Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto– RCDF 2017
	Calidad de la construcción	Media
	Mantenimiento	Regular
	Propiedades y calidad de los materiales	Obtenido de la literatura
	Amortiguamiento inicial	5%
Propiedades geométricas relacionadas	Irregularidades	Edificio regular y simétrico
	Cimentación	No considerada
	Número de niveles	1
	Altura de entrepiso	2.50 m
	Distribución de crujías	Uniforme
	Número de crujías	12 crujías en X / 1 crujía en Y
	Longitud típica del claro	3.19 m en X / 8.0 m en Y
	Dimensión típica del salón de clases	7.97 x 8.0 m
	Relación de alturas viga-losa	1:4.7 y 1:5.5
	Variación en la sección transversal de la columna	Nunca
	Relación de dimensión máxima para vigas y columnas	1.8:1
	Relación de capacidades a flexión columna / viga	> 1.2
	Espesor de los muros	NA
Diferencia de altura en cubierta	0.50 m	
Configuración de cargas	Cargas muertas consideradas	90 kg/m ²
	Cargas vivas	100 kg/m ² (C.V. max.) 70 kg/m ² (C.V. inst.)
Parámetros de diseño sísmico	Categoría de diseño sísmico	Baja disipación de energía
	Factor de comportamiento sísmico, [Q]	Q=2 (Tabla 3.5, MDOC, 2015)
	Coefficiente sísmico [c]	c=2.16g
	Tipo de terreno	I, II y III
	Máxima distorsión permitida	0.015 (Tabla 3.5, MDOC, 2015)
Elementos no estructurales	Cubierta	Ligada a elementos estructurales
	Muros divisorios, fachadas y otros	No ligados a elementos estructurales

Las propiedades de materiales, geometría y sistema estructural del UIC se resumen en la tabla 5.9.

Tabla 5.9 - Materiales, geometría y sistema estructural de U1C anterior a 1985 (ver sombreado azul) y 2011 (ver columnas con fondo blanco).

Materiales			Geometría			Sistema estructural		
Concepto	Antes de 1985	2011	Concepto	Antes de 1985	2011	Concepto	Antes de 1985	2011
<u>Concreto</u>								
- f'c (kg/cm ²)	200	250	Sep. entre ejes en X (m)	3.19	3.24	Columnas (cm)	25 x 45	40 x 45
- E (kg/cm ²)	141,421	221,359	Crujías en X	12	11	Viga long. en azotea (cm)	20 x 47	20 x 63
- g _{vol} (kg/m ³)	2200	2200	Sep. entre ejes en Y (m)	8.00	8.00	Viga trans. en azotea (cm)	25 x 45 / 55	25 x 55
<u>Acero de refuerzo</u>			Crujías en Y	1	1	Losa (azotea)	Losa maciza, con pendiente 1.6% e=10 cm o Vigueta y bovedilla	Losa maciza, colada en sitio 10% e=10 cm
- fy (kg/cm ²)	4200	4200	Altura de entrepiso (m)	3.48	3.48			
- Es (kg/cm ²)	2,100,000	2,100,000	No. de niveles	1	1			
- g _{vol} (kg/m ³)	7850	7850						

5.4.2 Resultados del análisis elástico

5.4.2.1 Resistencia nominal

La resistencia nominal de las vigas que conforman el marco de este prototipo se presenta en la tabla 5.10, donde se proporciona la resistencia a momento flexionante positivos y negativo, calculada a partir de los armados de los planos estructurales.

Las resistencias nominales se calcularon con las expresiones de diseño de las Normas Técnicas Complementarias del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal (GCDMX, 2017), usando un factor de resistencia unitario.

Tabla 5.10 - Resistencias nominales de U1C anterior a 1985 (se incluye resistencia para el prototipo con planos 2011).

				Anterior a 1985	2011
			Sección	Resistencia nominal	Resistencia nominal
Azotea	M+ (t.m)	T1	6.63	12.56	
		T2	16.00	12.56	
		T3	-	11.69	
		T4	-	-	
	M- (t.m)	T1	6.63	12.56	
		T2	15.12	12.56	
		T3	-	22.31	
		T4	-	-	
	V (t)	T1	21.81	24.76	
		T2	24.72	24.76	
		T3	-	38.12	
		T4	-	-	

5.4.2.2 Periodos de vibración.

En la tabla 5.11 se muestran los periodos fundamentales de vibración en sus dos direcciones ortogonales, donde la dirección X es paralela al sentido largo de la edificación, y la dirección Y es paralela al sentido corto de la edificación.

Tabla 5.11 – Periodos de vibración de U1C.

Escuela	Época de construcción	Periodo fundamental en X (s)	Periodo fundamental en Y (s)
U1-C	Anterior de 1985	0.538	0.370
	2011	0.213	0.228

5.4.2.3 Distribución de fuerzas

En la tabla 5.12 se resumen los resultados obtenidos de los análisis lineales de diseño de la escuela U1-C (planos anteriores a 1985), y se comparan con los de su homónima U1-C (planos de 2011).

Tabla 5.12 - Resultados del análisis lineal de planos anteriores a 1985 (se incluye resultados para el prototipo con planos 2011).

En todos los casos se consideró Grupo A (F.I.=1.5), para U1-C Q=2.0, R0=2.0, $\xi=0.05$, $\rho=0.80$ (en el lado corto) y $\rho=1.25$ (en el lado largo), $\alpha=0.90$ y se empleó coeficiente sísmico obtenido del MDOC 2015, para el periodo fundamental de la estructura. C.S. significa Coeficiente Sísmico.								
U1-C ANTERIOR A 1985						U1-C 2011		
ESCUELA TIPO	ZONA	TIPO TERRENO	C.S. RED. (lado corto / lado largo)	RESULTADOS	COMENTARIOS	C.S. RED. (lado corto / lado largo)	RESULTADOS	COMENTARIOS
U1-C (1 NIVEL, CONCRETO)	C	I	0.27 / 0.48	NO CUMPLE	Fallan todas las columnas, 26 en total (acero longitudinal escaso).	0.56 / 0.36	OK	
		II	1.20 / 0.70	NO CUMPLE	Fallan todas las columnas, 26 en total (acero longitudinal escaso o necesitan incrementar su sección por que el acero longitudinal requerido excede el máximo permitido). Fallan todas las trabes T-2, 13 en total (acero longitudinal en el lecho superior e inferior escaso). Fallan todas las trabes T-1, 24 en total (acero longitudinal en el lecho superior e inferior escaso).	1.31 / 0.85	NO CUMPLE	Fallan todas las columnas, 24 en total (acero longitudinal escaso). Fallan todas las trabes T-3, 12 en total (acero longitudinal en el lecho superior e inferior escaso).
		III	1.39 / 0.81	NO CUMPLE	Fallan todas las columnas, 26 en total (acero longitudinal escaso o necesitan incrementar su sección por que el acero longitudinal requerido excede el máximo permitido, además 16 columnas cuentan con acero transversal escaso). Fallan todas las trabes T-2, 13 en total (acero longitudinal en el lecho superior e inferior escaso). Fallan todas las trabes T-1, 24 en total (acero longitudinal en el lecho superior e inferior escaso).	1.52 / 0.99	NO CUMPLE	Fallan todas las columnas, 24 en total (acero longitudinal escaso). Fallan todas las trabes T-3, 12 en total (acero longitudinal en el lecho superior e inferior escaso).
	D	I	0.87 / 0.48	NO CUMPLE	Fallan todas las columnas, 26 en total (acero longitudinal escaso o necesitan incrementar su sección por que el acero longitudinal requerido excede el máximo permitido, además 16 columnas cuentan con acero transversal escaso). Fallan todas las trabes T-2, 13 en total (acero longitudinal en el lecho superior e inferior escaso). Fallan 4 trabes T-1, (acero longitudinal en el lecho superior e inferior escaso).	1.00 / 0.66	NO CUMPLE	Fallan 8 columnas, ejes 1, 2, 11 y 12 (acero longitudinal escaso), Fallan todas las trabes T-3, 12 en total (acero longitudinal en el lecho superior e inferior escaso).
		II	1.68 / 0.98	NO CUMPLE	Fallan todas las columnas, 26 en total (acero longitudinal escaso o necesitan incrementar su sección por que el acero longitudinal requerido excede el máximo permitido, además las columnas cuentan con acero transversal escaso). Fallan todas las trabes T-2, 13 en total (acero longitudinal en el lecho superior e inferior escaso). Fallan todas las trabes T-1, 24 en total (acero longitudinal en el lecho superior e inferior escaso).	1.84 / 1.19	NO CUMPLE	Fallan todas las columnas, 24 en total (acero longitudinal escaso o necesitan incrementar su sección por que el acero longitudinal requerido excede el máximo permitido, además 4 columnas cuentan con acero transversal escaso). Falla una trabe T-1, eje A (acero longitudinal en el lecho superior e inferior escaso). Falla una viga faldón F-1, eje A' (acero longitudinal en el lecho superior escaso). Fallan todas las trabes T-3, 12 en total (acero longitudinal en el lecho superior e inferior escaso).
		III	1.93 / 1.11	NO CUMPLE	Fallan todas las columnas, 26 en total (acero longitudinal escaso o necesitan incrementar su sección por que el acero longitudinal requerido excede el máximo permitido, además las columnas cuentan con acero transversal escaso). Fallan todas las trabes T-2, 13 en total (acero longitudinal en el lecho superior e inferior escaso). Fallan todas las trabes T-1, 24 en total (acero longitudinal en el lecho superior e inferior escaso).	2.08 / 1.34	NO CUMPLE	Fallan todas las columnas, 24 en total (acero longitudinal escaso o necesitan incrementar su sección por que el acero longitudinal requerido excede el máximo permitido, además 12 columnas cuentan con acero transversal escaso). Falla una trabe T-1 y una trabe T-2, eje A y B respectivamente (acero longitudinal en el lecho superior e inferior escaso). Falla una viga faldón F-1, eje A' (acero longitudinal en el lecho superior escaso). Fallan todas las trabes T-3, 12 en total (acero longitudinal en el lecho superior e inferior escaso).

Vigas de azotea

En la tabla 5.13 se comparan las fuerzas actuantes, que para este prototipo se calcularon con la normativa del MDOC (CFE, 2015), con la resistencia nominal de cada una de las vigas que integran el marco de la estructura.

Las vigas T1 y T2 fallan a flexión bajo todas las solicitaciones sísmicas correspondientes a los espectros reducidos utilizadas, excepto para la zona C terreno I.

Tabla 5.13 - Comparación de las resistencias nominales con las fuerzas actuantes de U1C (1985) en vigas de azotea.

			Sección	Resistencia nominal	Fuerza actuante (CFE 2015)
Zona C T-I	Vigas	M+	T1	6.63	4.60
		(t.m)	T2	16.00	8.85
		M-	T1	6.63	4.33
		(t.m)	T2	15.12	15.07
		V	T1	21.81	4.34
		(t)	T2	24.72	8.53
Zona C T-II	Vigas	M+	T1	6.63	11.85
		(t.m)	T2	16.00	16.14
		M-	T1	6.63	11.58
		(t.m)	T2	15.12	28.44
		V	T1	21.81	8.47
		(t)	T2	24.72	11.67
Zona C T-III	Vigas	M+	T1	6.63	13.76
		(t.m)	T2	16.00	19.76
		M-	T1	6.63	13.49
		(t.m)	T2	15.12	32.05
		V	T1	21.81	9.56
		(ton)	T2	24.72	12.63
Zona D T-I	Vigas	M+	T1	6.63	8.17
		(t.m)	T2	16.00	11.12
		M-	T1	6.63	7.90
		(t.m)	T2	15.12	22.21
		V	T1	21.81	6.37
		(t)	T2	24.72	10.02
Zona D T-II	Vigas	M+	T1	6.63	16.54
		(t.m)	T2	16.00	37.37
		M-	T1	6.63	16.28
		(t.m)	T2	15.12	25.07
		V	T1	21.81	11.14
		(t)	T2	24.72	14.04
Zona D T-III	Vigas	M+	T1	6.63	18.69
		(t.m)	T2	16.00	29.15
		M-	T1	6.63	18.43
		(t.m)	T2	15.12	41.44
		V	T1	21.81	12.37
		(t)	T2	24.72	15.12

Columna C-1

La interacción de la carga axial con la flexión respecto a los planos de simetría de las columnas más demandadas de la escuela U1-C, se muestra en las figs. 5.4 y 5.5. Como se puede observar, la columna falla por flexión bajo la sollicitación de los espectros de las Zonas C y D, terrenos I, II y III.

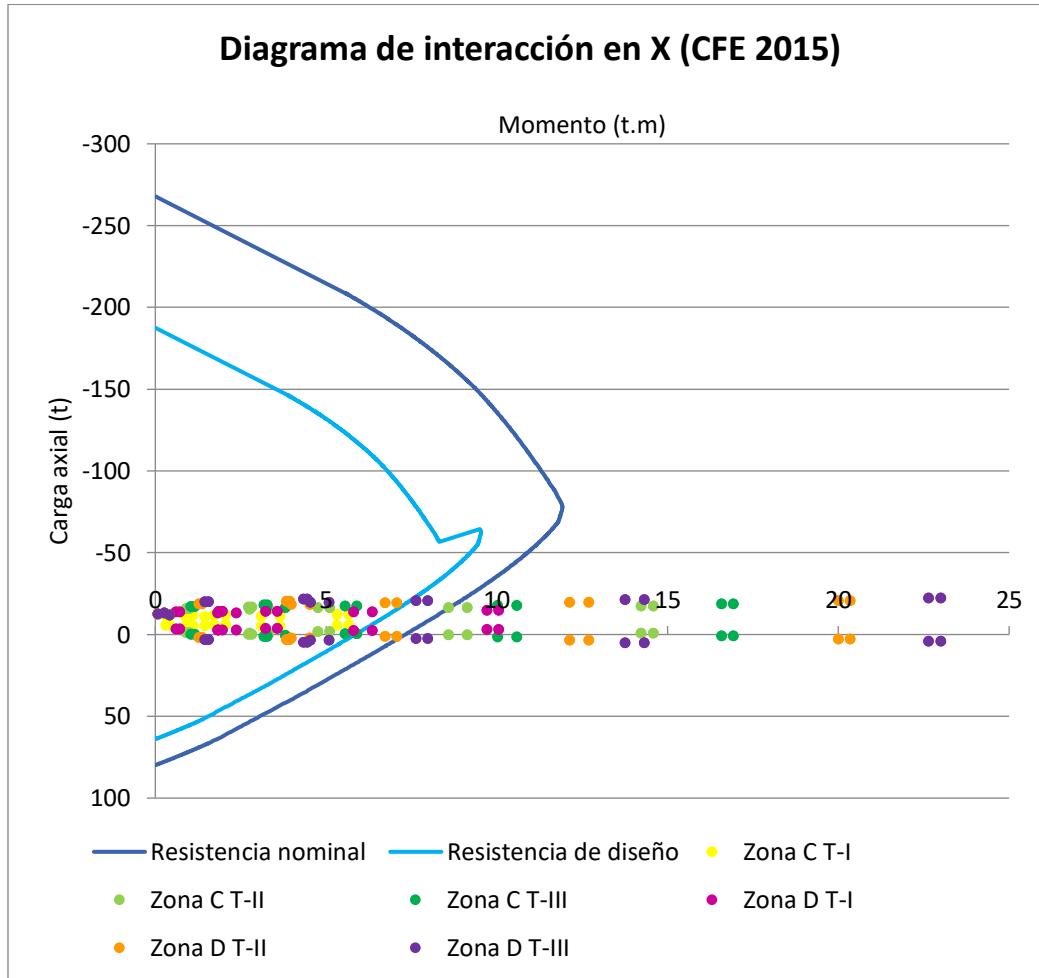


Figura 5.4 - Diagrama de interacción carga axial-momento flexionante para U1C anterior a 1985 (Dirección X, demandas espectrales del MDOC, 2015).

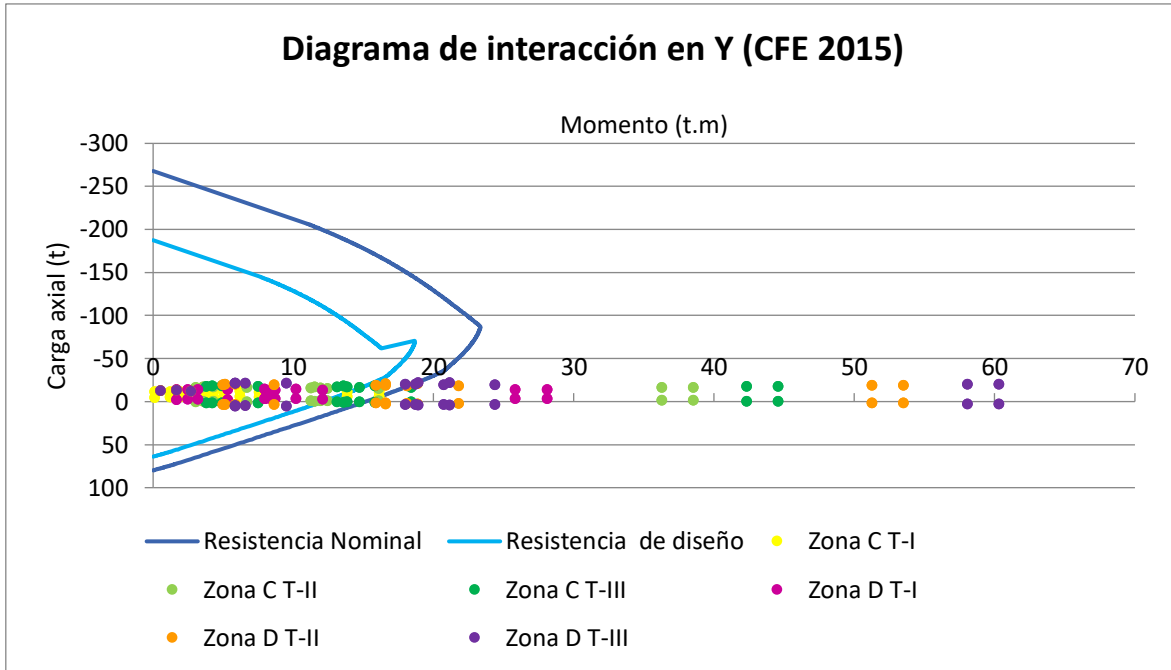


Figura 5.5 - Diagrama de interacción carga axial-momento flexionante para U1C anterior a 1985 (Dirección Y, demandas espectrales del MDOC, 2015).

5.5 EDIFICIO DE CONCRETO DE DOS NIVELES ANTERIOR A 1985

5.5.1 Descripción

En la tabla 5.14 se presentan las características del prototipo U2C anterior a 1985.

Tabla 5.14 - Características del edificio de concreto reforzado de dos niveles anterior a 1985.

Aspectos Generales	Variable de diseño	Criterios seleccionados para el estudio de edificios índice
Configuraciones generales para el diseño	Configuración de los apoyos	Empotrado
	Interacción suelo-estructura	Considerada
	Ocupación y uso	Educacional
	Normas y códigos de diseño	NTC – para el Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto– RCDF 2017
	Calidad de la construcción	Media
	Mantenimiento	Regular
	Propiedades y calidad de los materiales	Obtenido de la literatura
	Amortiguamiento inicial	5%
Propiedades geométricas relacionadas	Irregularidades	Edificio regular y simétrico
	Cimentación	No considerada
	Número de niveles	2
	Altura de entrepiso	2.50 m
	Distribución de crujías	Uniforme

	Número de crujías	12 crujías en X / 1 crujía en Y
	Longitud típica del claro	3.19 m en X / 8.0 m en Y
	Dimensión típica del salón de clases	7.97 x 8.0 m
	Relación de alturas viga-losa	1:4.7 y 1:5.5
	Variación en la sección transversal de la columna	Nunca
	Relación de dimensión máxima para vigas y columnas	1.8:1
	Relación de capacidades a flexión columna / viga	> 1.2
	Espesor de los muros	NA
	Diferencia de altura en cubierta	0.50 m
Configuración de cargas	Cargas muertas consideradas	90 kg/m ²
	Cargas vivas	100 kg/m ² / 250 kg/m ² (C.V. max.) 70 kg/m ² / 180 kg/m ² (C.V. inst.)
Parámetros de diseño sísmico	Categoría de diseño sísmico	Baja disipación de energía
	Factor de comportamiento sísmico, [Q]	Q=2 (Tabla 3.5, MDOC, 2015)
	Coefficiente sísmico [c]	c=2.16g
	Tipo de terreno	I, II y III
Elementos no estructurales	Máxima distorsión permitida	0.015 (Tabla 3.5, MDOC, 2015)
	Cubierta	Ligada a elementos estructurales
	Muros divisorios, fachadas y otros	No ligados a elementos estructurales

Las propiedades de materiales, geometría y sistema estructural de U2C se resumen en la tabla 5.15.

Tabla 5.15 - Materiales, geometría y sistema estructural de U2C anterior a 1985 (ver sombreado en azul) y 2011 (ver columnas con fondo blanco).

Materiales			Geometría			Sistema estructural		
Concepto	Antes de 1985	2011	Concepto	Antes de 1985	2011	Concepto	Antes de 1985	2011
<u>Concreto</u>						Columnas (cm)	25 x 45	30 x 45
- f'c (kg/cm ²)	200	250	Sep. entre ejes en X (m)	3.19	3.24	Viga long. entrepiso (cm)	20 x 55	20 x 55
- E (kg/cm ²)	141,421	221,359	Crujías en X	12	13	Viga long. en azotea (cm)	20 x 47	20 x 53
- g _{vol} (kg/m ³)	2200	2200	Sep. entre ejes en Y (m)	8.00	8.00	Viga trans entrepiso (cm)	25 x 55	25 x 55
<u>Acero de refuerzo</u>						Viga trans en azotea (cm)	25 x 45 / 55	25 x 55
- fy (kg/cm ²)	4200	4200	Crujías en Y	1	1	Losa entrepiso	Losa maciza e=11 cm o Vigueta y bovedilla	Losa maciza e=11 cm
- Es (kg/cm ²)	2,100,000	2,100,000	Altura de entrepiso (m)	2.85(en) 3.03 (az)	2.85 (en) 3.03 (az)	Losa azotea	Losa maciza, con pendiente 1.6% e=10 cm o Vigueta y bovedilla	Losa maciza, con pendiente 10% e=10 cm
- g _{vol} (kg/m ³)	7850	7850	No. de niveles	2	2	Muros diafragma	No	Mampostería y concreto

5.5.2 Resultados del análisis elástico

5.5.2.1 Resistencia nominal

Las resistencias nominales de las vigas que conforman el marco se presentan en la tabla 5.16, donde se proporciona la resistencia a momento flexionante positivos y negativo, calculada a partir de los armados de los planos estructurales. Para fines de comparación se incluyen los resultados del edificio de 2011.

Las resistencias nominales se calcularon con las expresiones de diseño de las Normas Técnicas Complementarias del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal (GCDMX, 2017), usando un factor de resistencia unitario.

Tabla 5.16 - Resistencias nominales de U2C anterior a 1985 (se incluye resistencia para el prototipo con planos 2011).

				Anterior de 1985	2011
			Sección	Resistencia nominal	Resistencia nominal
Azotea	Vigas	M+ (t.m)	T1	4.49	7.86
			T2	15.74	7.86
			T3	-	11.69
			T4	-	11.69
		M- (t.m)	T1	4.49	7.86
			T2	14.74	7.86
			T3	-	16.54
			T4	-	11.69
		V (t)	T1	21.92	23.95
			T2	24.72	23.95
			T3	-	37.12
			T4	-	21.08
Entrepiso	Vigas	M+ (t.m)	T1	7.91	15.74
			T2	22.31	15.74
			T3	-	19.18
			T4	-	11.69
		M- (t.m)	T1	10.41	15.74
			T2	27.21	15.74
			T3	-	27.21
			T4	-	27.21
		V (t)	T1	26.01	26.12
			T2	29.71	26.12
			T3	-	39.02
			T4	-	28.86

5.5.2.2 Periodos de vibración

En la tabla 5.17 se muestran los periodos fundamentales de vibración de prototipos anteriores a 1985 y 2011 en sus dos direcciones ortogonales, donde la dirección X es paralela al sentido largo de la edificación, y la dirección Y es paralela al sentido corto de la edificación.

Tabla 5.17 - Periodos de vibración U2C.

Escuela	Época de construcción	Periodo fundamental en X (s)	Periodo fundamental en Y (s)
U2-C	Anterior a 1985	0.638	0.552
	2011	0.099	0.054

5.5.2.3 Distribución de fuerzas

En la tabla 5.18 se resumen los resultados obtenidos de los análisis lineales de diseño de la escuela U2-C (planos anteriores a 1985), y se compara con su homónima U2-C (planos de 2011).

Tabla 5.18 - Resultados del análisis lineal de planos anteriores a 1985 (se incluye resultados para el prototipo con planos 2011).

En todos los casos se consideró Grupo A (F.I.=1.5), para U2-C Q=2.0, R0=2.0, $\xi=0.05$, $\rho=0.80$ (en el lado corto) y $\rho=1.25$ (en el lado largo), $\alpha=0.90$ y se empleó coeficiente sísmico obtenido del MDOC 2015, para el periodo fundamental de la estructura. C.S. significa coeficiente sísmico.								
			U2-C ANTERIORES A 1985			U2-C 2011		
ESCUELA TIPO	ZONA	TIPO TERRENO	C.S. (lado corto / lado largo)	RESULTADOS	COMENTARIOS	C.S. RED. (lado corto / lado largo)	RESULTADOS	COMENTARIOS
U2-C (2 NIVELES, CONCRETO)	C	I	0.39 / 0.23	NO CUMPLE	Fallan todas las columnas, 26 en total (acero longitudinal escaso o necesitan incrementar su sección por que el acero longitudinal requerido excede el máximo permitido). Fallan 12 trabes T-2, fallan 2 trabes T-1, fallan 12 trabes T-B y fallan 4 trabes T-A (acero longitudinal en el lecho superior e inferior escaso).	0.30 / 0.31	OK	
		II	1.28 / 0.79	NO CUMPLE	Fallan todas las columnas, 26 en total (acero longitudinal escaso o necesitan incrementar su sección por que el acero longitudinal requerido excede el máximo permitido, además las columnas cuentan con acero transversal escaso). Fallan todas las trabes T-2, 13 en total, fallan todas las trabes T-1, 23 en total, fallan todas las trabes T-B, 13 en total, y fallan todas las trabes T-A, 24 en total (acero longitudinal en el lecho superior e inferior escaso, además en algunas trabes se cuenta con acero transversal escaso).	0.54 / 0.49	OK	
		III	1.48 / 0.92	NO CUMPLE	Fallan todas las columnas, 26 en total (acero longitudinal escaso o necesitan incrementar su sección por que el acero longitudinal requerido excede el máximo permitido, además las columnas cuentan con acero transversal escaso). Fallan todas las trabes T-2, 13 en total, fallan todas las trabes T-1, 23 en total, fallan todas las trabes T-B, 13 en total, y fallan todas las trabes T-A, 24 en total (acero longitudinal en el lecho superior e inferior escaso, además en algunas trabes se cuenta con acero transversal escaso).	0.60 / 0.56	OK	
	D	I	0.96 / 0.57	NO CUMPLE	Fallan todas las columnas, 26 en total (acero longitudinal escaso o necesitan incrementar su sección por que el acero longitudinal requerido excede el máximo permitido, además las columnas cuentan con acero transversal escaso). Fallan todas las trabes T-2, 13 en total, fallan todas las trabes T-1, 23 en total, fallan todas las trabes T-B, 13 en total, y fallan todas las trabes T-A, 24 en total (acero longitudinal en el lecho superior e inferior escaso, además en algunas trabes se cuenta con acero transversal escaso).	0.75 / 0.75	OK	
		II	1.79 / 1.11	NO CUMPLE	Fallan todas las columnas, 26 en total (acero longitudinal escaso o necesitan incrementar su sección por que el acero longitudinal requerido excede el máximo permitido, además las columnas cuentan con acero transversal escaso). Fallan todas las trabes T-2, 13 en total, fallan todas las trabes T-1, 23 en total, fallan todas las trabes T-B, 13 en total, y fallan todas las trabes T-A, 24 en total (acero longitudinal en el lecho superior e inferior escaso, además en algunas trabes se cuenta con acero transversal escaso).	1.20 / 1.22	NO CUMPLE	Fallan columnas aledañas a muros de concreto por capacidad a tensión. Los muros de concretos demandados por fuerzas cortantes sobrepasan sus resistencias de diseño.
		III	2.02 / 1.25	NO CUMPLE	Fallan todas las columnas, 26 en total (acero longitudinal escaso o necesitan incrementar su sección por que el acero longitudinal requerido excede el máximo permitido, además las columnas cuentan con acero transversal escaso). Fallan todas las trabes T-2, 13 en total, fallan todas las trabes T-1, 23 en total, fallan todas las trabes T-B, 13 en total, y fallan todas las trabes T-A, 24 en total (acero longitudinal en el lecho superior e inferior escaso, además en algunas trabes se cuenta con acero transversal escaso). Fallan todas las trabes T-2, 13 en total (acero longitudinal en el lecho superior e inferior escaso). Fallan todas las trabes T-1, 24 en total (acero longitudinal en el lecho superior e inferior escaso).	1.30 / 1.38	NO CUMPLE	Fallan columnas aledañas a muros de concreto por capacidad a tensión. Los muros de concretos demandados por fuerzas cortantes sobrepasan sus resistencias de diseño.

Vigas en azotea

En la tabla 5.19 se comparan las fuerzas actuantes, que para este prototipo se calcularon con la normativa del MDOC (CFE, 2015), con la resistencia nominal de cada una de las vigas de azotea que integran el marco de la estructura.

Las vigas TA y TB, localizadas en la planta de azotea, fallan a flexión bajo la solicitación sísmica correspondiente a los espectros reducido para la zona C y D, terrenos I, II y III, como se observa en la tabla.

Tabla 5.19 - Comparación de las resistencias nominales con las fuerzas actuantes U2C (1985) en vigas de azotea.

		Sección	Resistencia nominal	Fuerza actuante (CFE 2015)
Zona C T-I	M+ (t.m)	TA	4.49	4.28
		TB	15.74	9.63
	M- (t.m)	TA	4.49	4.83
		TB	14.74	21.19
	V (t)	TA	21.92	4.25
		TB	24.72	9.61
Zona C T-II	M+ (t.m)	TA	4.49	15.12
		TB	15.74	39.84
	M- (t.m)	TA	4.49	15.67
		TB	14.74	53.25
	V (t)	TA	21.92	10.56
		TB	24.72	18.10
Zona C T-III	M+ (t.m)	TA	4.49	17.61
		TB	15.74	47.29
	M- (t.m)	TA	4.49	18.16
		TB	14.74	60.70
	V (t)	TA	21.92	12.01
		TB	24.72	20.07
Zona D T-I	M+ (t.m)	TA	4.49	10.89
		TB	15.74	28.27
	M- (t.m)	TA	4.49	11.44
		TB	14.74	41.65
	V (t)	TA	21.92	8.09
		TB	24.72	15.03
Zona D T-II	M+ (t.m)	TA	4.49	21.31
		TB	15.74	58.42
	M- (t.m)	TA	4.49	21.85
		TB	14.74	71.86
	V (t)	TA	21.92	14.15
		TB	24.72	23.02
Zona D T-III	M+ (t.m)	TA	4.49	24.10
		TB	15.74	66.78
	M- (t.m)	TA	4.49	24.64
		TB	14.74	80.23
	V (t)	TA	21.92	15.78
		TB	24.72	25.24

Vigas en entrepiso

En la tabla 5.20 se comparan las fuerzas actuantes, que para este prototipo se calcularon con la normativa del MDOC (CFE, 2015), con la resistencia nominal de cada una de las vigas de entrepiso que integran el marco de la estructura.

Las vigas T1 y T2, localizadas en el entrepiso, fallan a flexión bajo la solicitación sísmica correspondiente a los espectros reducido para la zona C y D, terrenos I, II y III, como se observa en la tabla.

Tabla 5.20 - Comparación de las resistencias nominales con las fuerzas actuantes U2C (1985) en vigas de entrepiso.

		Sección	Resistencia nominal	Fuerza actuante (CFE 2015)
Zona C T-I	M+ (t.m)	T1	7.91	8.99
		T2	22.31	16.74
	M- (t.m)	T1	10.41	9.66
		T2	27.21	34.69
	V (t)	T1	26.01	7.53
		T2	29.71	14.92
Zona C T-II	M+ (t.m)	T1	7.91	31.32
		T2	22.31	68.52
	M- (t.m)	T1	10.41	31.99
		T2	27.21	87.46
	V (t)	T1	26.01	20.35
		T2	29.71	28.90
Zona C T-III	M+ (t.m)	T1	7.91	36.44
		T2	22.31	80.77
	M- (t.m)	T1	10.41	37.11
		T2	27.21	99.72
	V (t)	T1	26.01	23.29
		T2	29.71	32.15
Zona D T-I	M+ (t.m)	T1	7.91	22.51
		T2	22.31	49.26
	M- (t.m)	T1	10.41	23.18
		T2	27.21	68.20
	V (t)	T1	26.01	15.29
		T2	29.71	23.80
Zona D T-II	M+ (t.m)	T1	7.91	44.03
		T2	22.31	98.98
	M- (t.m)	T1	10.41	44.69
		T2	27.21	117.93
	V (t)	T1	26.01	27.64
		T2	29.71	36.97
Zona D T-III	M+ (t.m)	T1	7.91	49.77
		T2	22.31	112.73
	M- (t.m)	T1	10.41	50.44
		T2	27.21	131.68
	V (t)	T1	26.01	30.94
		T2	29.71	40.61

Columna C-1

La interacción de la carga axial con la flexión respecto a los planos de simetría de las columnas más demandadas de la escuela U2-C se muestra en las figs. 5.6 y 5.7. Como se puede observar, la columna falla por flexión bajo la solicitación de los espectros de las Zonas C y D, terrenos I, II y III.

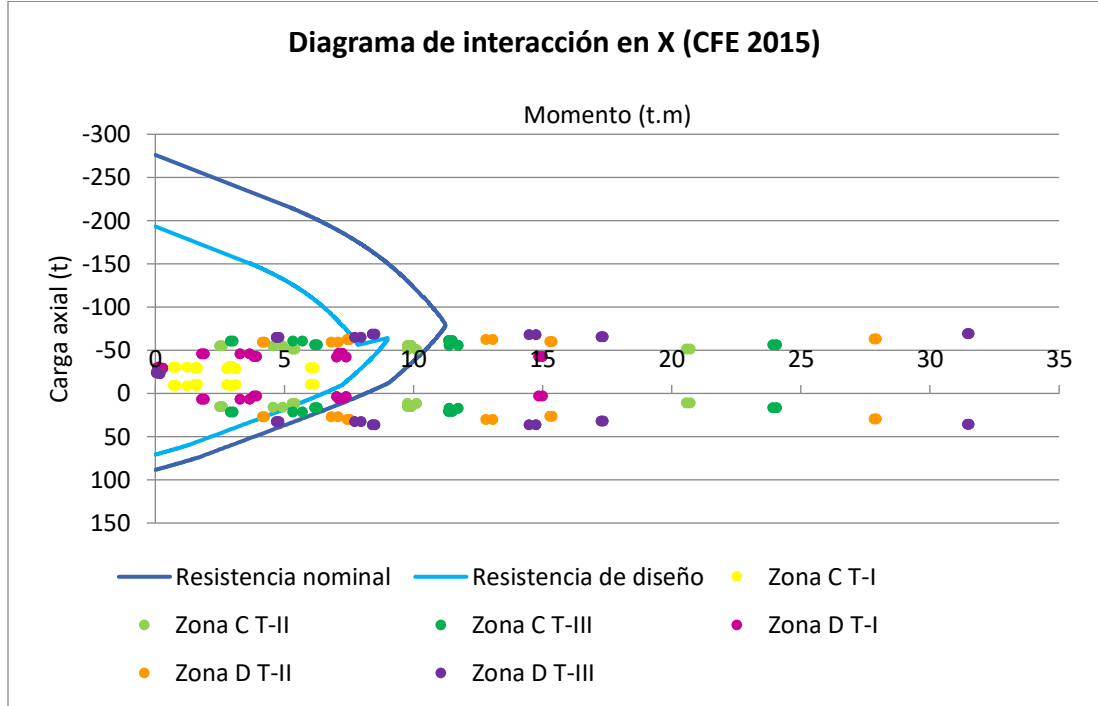


Figura 5.6 - Diagrama de interacción carga axial-momento flexionante para U2C anterior a 1985 (Dirección X, demandas espectrales del MDOC, 2015).

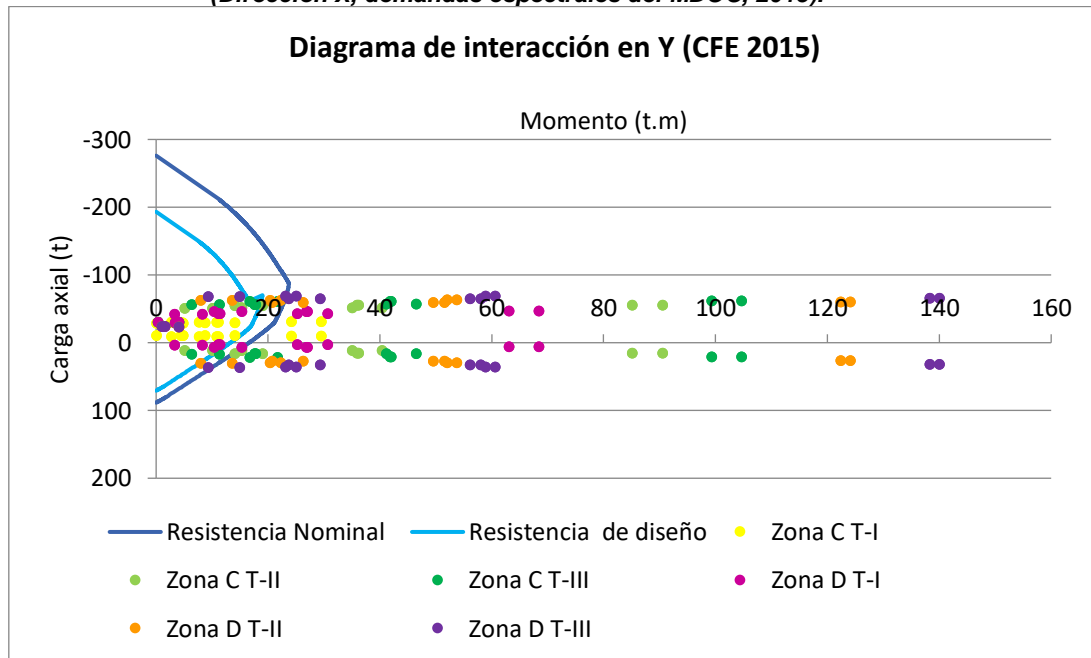


Figura 5.7 - Diagrama de interacción carga axial-momento flexionante para U2C anterior a 1985 (Dirección Y, demandas espectrales del MDOC, 2015).

5.6 EDIFICIO DE CONCRETO DE TRES NIVELES ANTERIOR A 1985

5.6.1 Descripción

En la tabla 5.21 se presentan las características del prototipo U3C anterior a 1985.

Tabla 5.21 - Características del edificio de concreto reforzado de tres niveles anterior a 1985.

Aspectos Generales	Variable de diseño	Criterios seleccionados para el estudio de edificios índice
Configuraciones generales para el diseño	Configuración de los apoyos	Empotrado
	Interacción suelo-estructura	Considerada
	Ocupación y uso	Educacional
	Normas y códigos de diseño	NTC – para el Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto– RCDF 2017
	Calidad de la construcción	Media
	Mantenimiento	Regular
	Propiedades y calidad de los materiales	Obtenido de la literatura
	Amortiguamiento inicial	5%
Propiedades geométricas relacionadas	Irregularidades	Edificio regular y simétrico
	Cimentación	No considerada
	Número de niveles	3
	Altura de entrepiso	2.50 m
	Distribución de crujías	Uniforme
	Número de crujías	12 crujías en X / 1 crujía en Y
	Longitud típica del claro	3.19 m en X / 8.0 m en Y
	Dimensión típica del salón de clases	7.97 x 8.0 m
	Relación de alturas viga-losa	1:4.7 y 1:5.5
	Variación en la sección transversal de la columna	Nunca
	Relación de dimensión máxima para vigas y columnas	1.7:1
	Relación de capacidades a flexión columna / viga	> 1.2
	Espesor de los muros	NA
	Diferencia de altura en cubierta	0.50 m
Configuración de cargas	Cargas muertas consideradas	90 kg/m ²
	Cargas vivas	100 kg/m ² / 250 kg/m ² (C.V. max.) 70 kg/m ² / 180 kg/m ² (C.V. inst.)
Parámetros de diseño sísmico	Categoría de diseño sísmico	Baja disipación de energía
	Factor de comportamiento sísmico, [Q]	Q=2 (Tabla 3.5, MDOC, 2015)
	Coefficiente sísmico [c]	c=2.16g
	Tipo de terreno	I, II y III
	Máxima distorsión permitida	0.015 (Tabla 3.5, MDOC, 2015)
Elementos no estructurales	Cubierta	Ligada a elementos estructurales

	Muros divisorios, fachadas y otros	No ligados a elementos estructurales
--	------------------------------------	--------------------------------------

Las propiedades de materiales, geometría y sistema estructural de U3C se resumen en la tabla 5.22.

Tabla 5.22 - Materiales, geometría y sistema estructural de U3C anterior a 1985 (ver sombreado en azul) y 2011 (ver columnas con fondo blanco).

Materiales			Geometría			Sistema estructural		
Concepto	Antes de 1985	2011	Concepto	Antes de 1985	2011	Concepto	Antes de 1985	2011
<u>Concreto</u>						Columnas (cm)	25 x 45	30 x 45
- f _c (kg/cm ²)	200	250	Sep. entre ejes en X (m)	3.19	3.24	Viga long. entrepiso (cm)	20 x 55	20 x 55
- E (kg/cm ²)	141,421	221,359	Crujías en X	12	13	Viga long. en azotea (cm)	20 x 47	20 x 53
- g _{vol} (kg/m ³)	2200	2200	Sep. entre ejes en Y (m)	8.00	8.00	Viga trans entrepiso (cm)	25 x 55	25 x 55
<u>Acero de refuerzo</u>			Crujías en Y	1	1	Viga trans. en azotea (cm)	25 x 45 / 55	25 x 55
- f _y (kg/cm ²)	4200	4200	Altura de entrepiso (m)	2.85(en) 3.03 (az)	2.85 (en) 3.03 (az)	Losa entrepiso	Losa maciza e=11 cm o Vigueta y bovedilla	Losa maciza e=11 cm
- Es (kg/cm ²)	2,100,000	2,100,000	No. de niveles	3	3	Losa azotea	Losa maciza, con pendiente 1.6% e=10 cm o Vigueta y bovedilla	Losa maciza, con pendiente 10% e=10 cm
- g _{vol} (kg/m ³)	7850	7850	Muros diafragma				No	Mampostería y concreto

5.6.2 Resultados del análisis elástico

5.6.2.1 Resistencia nominal

Las resistencias nominales de las vigas que conforman el marco se presentan en la tabla 5.23, donde se proporciona la resistencia a momento flexionante positivos y negativo, calculada a partir de los armados de los planos estructurales.

Las resistencias nominales se calcularon con las expresiones de diseño de las Normas Técnicas Complementarias del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal (GCDMX, 2017), usando un factor de resistencia unitario.

Tabla 5.23 Resistencias nominales de U3C anterior a 1985 (se incluye resistencia para el prototipo con planos 2011).

				Anterior a 1985	2011
			Sección	Resistencia nominal	Resistencia nominal
Azotea	Vigas	M+ (ton.m)	T1	9.64	16.11
			T2	19.18	16.11
			T3	-	11.69
			T4	-	11.69

		M-	T1	11.60	11.08
		(ton.m)	T2	15.12	11.08
			T3	-	16.54
			T4	-	11.69
		V	T1	22.80	25.40
		(ton)	T2	24.71	25.40
			T3	-	37.23
			T4	-	21.13
Entrepiso	Vigas	M+	T1	15.04	17.14
			T2	19.91	17.14
			T3	-	22.31
			T4	-	11.69
		M-	T1	21.47	19.91
			T2	38.05	19.91
			T3	-	36.40
			T4	-	27.21
		V	T1	30.47	27.48
			T2	30.00	27.48
			T3	-	40.43
			T4	-	28.93

5.6.2.2 Periodos de vibración

En la tabla 5.24 se muestran los periodos fundamentales de vibración de la estructura prototipo en sus dos direcciones ortogonales, donde la dirección X es paralela al sentido largo de la edificación, y la dirección Y es paralela al sentido corto de la edificación.

Tabla 5.24 - Periodos de vibración U3C.

Escuela	Época de construcción	Periodo fundamental en X (s)	Periodo fundamental en Y (s)
U3-C	Antes de 1985	0.603	0.748
	2011	0.180	0.089

5.6.2.3 Distribución de fuerzas

En la tabla 5.25, se resumen los resultados obtenidos de los análisis lineales de diseño de la escuela U3-C (antes de 1985) y se comparan con los de su homónima U3-C (planos de 2011).

Tabla 5.25 - Resultados del análisis lineal de planos anteriores a 1985(se incluye resultados para el prototipo con planos 2011).

En todos los casos se consideró Grupo A (F.I.=1.5), para U3-C Q=2.0, R0=2.0, $\xi=0.05$, $\rho=0.80$ (en el lado corto) y $\rho=1.25$ (en el lado largo), $\alpha=0.90$ y se empleó coeficiente sísmico obtenido del MDOC 2015, para el periodo fundamental de la estructura. C.S.RED. es coeficiente sísmico reducido por ductilidad.

ESCUELA TIPO	ZONA	TIPO TERRENO	U3-C ANTERIOR DE 1985			U3-C 2011		
			C.S. RED. (lado corto / lado largo)	RESULTADOS	COMENTARIOS	C.S. RED. (lado corto / lado largo)	RESULTADOS	COMENTARIOS
U3-C (3 NIVELES, CONCRETO)	C	I	0.34 / 0.25	NO CUMPLE	Fallan todas las columnas, 26 en total (acero longitudinal escaso). Fallan 18 traves T-2, fallan 9 traves T-1 (acero longitudinal escaso).	0.56 / 0.36	NO CUMPLE	Fallan dos traves T-3, (acero longitudinal escaso).
		II	0.99 / 0.68	NO CUMPLE	Fallan todas las columnas, 26 en total (acero longitudinal escaso o necesitan incrementar su sección por que el acero longitudinal requerido excede el máximo permitido además algunas columnas cuentan con acero transversal escaso). Fallan todas las traves T-2, 39 en total, fallan todas las traves T-1, 76 en total (acero longitudinal en el lecho superior e inferior escaso, además en algunas traves se cuenta con acero transversal escaso).	0.72 / 0.78	NO CUMPLE	Fallan dos traves T-3, fallan dos traves T-2 y fallan dos traves T-1 (acero longitudinal escaso).
		III	1.15 / 0.79	NO CUMPLE	Fallan todas las columnas, 26 en total (acero longitudinal escaso o necesitan incrementar su sección por que el acero longitudinal requerido excede el máximo permitido además algunas columnas cuentan con acero transversal escaso). Fallan todas las traves T-2, 39 en total, fallan todas las traves T-1, 76 en total (acero longitudinal en el lecho superior e inferior escaso, además en algunas traves se cuenta con acero transversal escaso).	0.82 / 0.90	NO CUMPLE	Fallan dos traves T-3, fallan tres traves T-2 y fallan cinco traves T-1 (acero longitudinal escaso).
	D	I	0.62 / 0.46	NO CUMPLE	Fallan todas las columnas, 26 en total (acero longitudinal escaso o necesitan incrementar su sección por que el acero longitudinal requerido excede el máximo permitido además algunas columnas cuentan con acero transversal escaso). Fallan todas las traves T-2, 39 en total, fallan todas las traves T-1, 76 en total (acero longitudinal en el lecho superior e inferior escaso, además en algunas traves se cuenta con acero transversal escaso).	1.06 / 0.67	NO CUMPLE	Fallan dos traves T-3, falla una trabe T-1 (acero longitudinal escaso).
		II	1.38 / 0.95	NO CUMPLE	Fallan todas las columnas, 26 en total (acero longitudinal escaso o necesitan incrementar su sección por que el acero longitudinal requerido excede el máximo permitido además algunas columnas cuentan con acero transversal escaso). Fallan todas las traves T-2, 39 en total, fallan todas las traves T-1, 76 en total (acero longitudinal en el lecho superior e inferior escaso, además en algunas traves se cuenta con acero transversal escaso).	1.74 / 1.20	NO CUMPLE	Fallan dos traves T-3, fallan nueve traves T-2 y fallan diez traves T-1 (acero longitudinal escaso). Los muros de concreto y mampostería, demandados por fuerzas cortantes sísmicas, sobrepasan sus resistencias de diseño.
		III	1.57 / 1.08	NO CUMPLE	Fallan todas las columnas, 26 en total (acero longitudinal escaso o necesitan incrementar su sección por que el acero longitudinal requerido excede el máximo permitido además algunas columnas cuentan con acero transversal escaso). Fallan todas las traves T-2, 39 en total, fallan todas las traves T-1, 76 en total (acero longitudinal en el lecho superior e inferior escaso, además en algunas traves se cuenta con acero transversal escaso).	1.96 / 1.36	NO CUMPLE	Fallan dos traves T-3, fallan nueve traves T-2 y fallan diez traves T-1 (acero longitudinal escaso). Los muros de concreto y mampostería, demandados por fuerzas cortantes sísmicas, sobrepasan sus resistencias de diseño.

Vigas de azotea

En la tabla 5.26 se comparan las fuerzas actuantes, que para este prototipo se calcularon con la normativa del MDOC (CFE, 2015), con la resistencia nominal de cada una de las vigas de azotea que integran el marco de la estructura.

Las vigas TB fallan ante todas las solicitaciones de los espectros de las Zonas C y D, para los terrenos I, II y III. Las vigas TA fallan ante todas las solicitaciones, con excepción de la debida al espectro de la Zona C terreno I.

Tabla 5.26 - Comparación de las resistencias nominales con las fuerzas actuantes de U3C (1985) en vigas de azotea.

		Sección	Resistencia nominal	Fuerza actuante (CFE 2015)
Zona C T-I	M+ (t.m)	TA	9.64	3.97
		TB	19.18	10.75
	M- (t.m)	TA	11.60	5.68
		TB	15.12	24.54
	V (t)	TA	22.80	4.62
		TB	24.71	10.42
Zona C T-II	M+ (t.m)	TA	9.64	12.21
		TB	19.18	41.27
	M- (t.m)	TA	11.60	13.92
		TB	15.12	55.65
	V (t)	TA	22.80	9.81
		TB	24.71	18.68
Zona C T-III	M+ (t.m)	TA	9.64	14.34
		TB	19.18	49.20
	M- (t.m)	TA	11.60	16.05
		TB	15.12	63.57
	V (t)	TA	22.80	11.16
		TB	24.71	20.76
Zona D T-I	M+ (t.m)	TA	9.64	7.83
		TB	19.18	23.39
	M- (t.m)	TA	11.60	9.55
		TB	15.12	37.89
	V (t)	TA	22.80	7.06
		TB	24.71	13.99
Zona D T-II	M+ (t.m)	TA	9.64	17.44
		TB	19.18	60.70
	M- (t.m)	TA	11.60	19.15
		TB	15.12	75.07
	V (t)	TA	22.80	13.11
		TB	24.71	23.78
Zona D T-III	M+ (t.m)	TA	9.64	19.85
		TB	19.18	69.64
	M- (t.m)	TA	11.60	21.56
		TB	15.12	84.02
	V (t)	TA	22.80	14.63
		TB	24.71	26.13

Vigas entrepiso

En la tabla 5.27 se comparan las fuerzas actuantes, que para este prototipo se calcularon con la normativa del MDOC (CFE, 2015), con la resistencia nominal de cada una de las vigas de entrepiso que integran el marco de la estructura.

Las vigas T1 y T2 fallan ante todas las solicitaciones de los espectros de las Zonas C y D, para los terrenos I, II y III.

Tabla 5.27 - Comparación de las resistencias nominales con las fuerzas actuantes de U3C (1985) en vigas de entrepiso.

		Sección	Resistencia nominal	Fuerza actuante (CFE 2015)
Zona C T-I	M+ (t.m)	T1	15.04	18.87
		T2	19.91	35.41
	M- (t.m)	T1	21.47	21.44
		T2	38.05	57.42
	V (t)	T1	30.47	15.22
		T2	30.00	20.82
Zona C T-II	M+ (t.m)	T1	15.04	53.28
		T2	19.91	120.40
	M- (t.m)	T1	21.47	55.85
		T2	38.05	142.41
	V (t)	T1	30.47	36.43
		T2	30.00	43.34
Zona C T-III	M+ (t.m)	T1	15.04	62.19
		T2	19.91	141.59
	M- (t.m)	T1	21.47	64.76
		T2	38.05	163.59
	V (t)	T1	30.47	41.93
		T2	30.00	48.95
Zona D T-I	M+ (t.m)	T1	15.04	34.99
		T2	19.91	70.88
	M- (t.m)	T1	21.47	37.57
		T2	38.05	92.88
	V (t)	T1	30.47	25.16
		T2	30.00	30.22
Zona D T-II	M+ (t.m)	T1	15.04	75.13
		T2	19.91	172.09
	M- (t.m)	T1	21.47	77.70
		T2	38.05	194.09
	V (t)	T1	30.47	49.91
		T2	30.00	57.03
Zona D T-III	M+ (t.m)	T1	15.04	85.18
		T2	19.91	195.98
	M- (t.m)	T1	21.47	87.75
		T2	38.05	217.98
	V (t)	T1	30.47	56.10
		T2	30.00	63.36

Columna C-1

La interacción de la carga axial con la flexión respecto a los planos de simetría de las columnas más demandadas de la escuela U3-C se muestra en las figs. 5.8 y 5.9. Como se evidencia, las columnas fallan ante todas las solicitaciones de los espectros de las Zonas C y D, para los terrenos I, II y III.

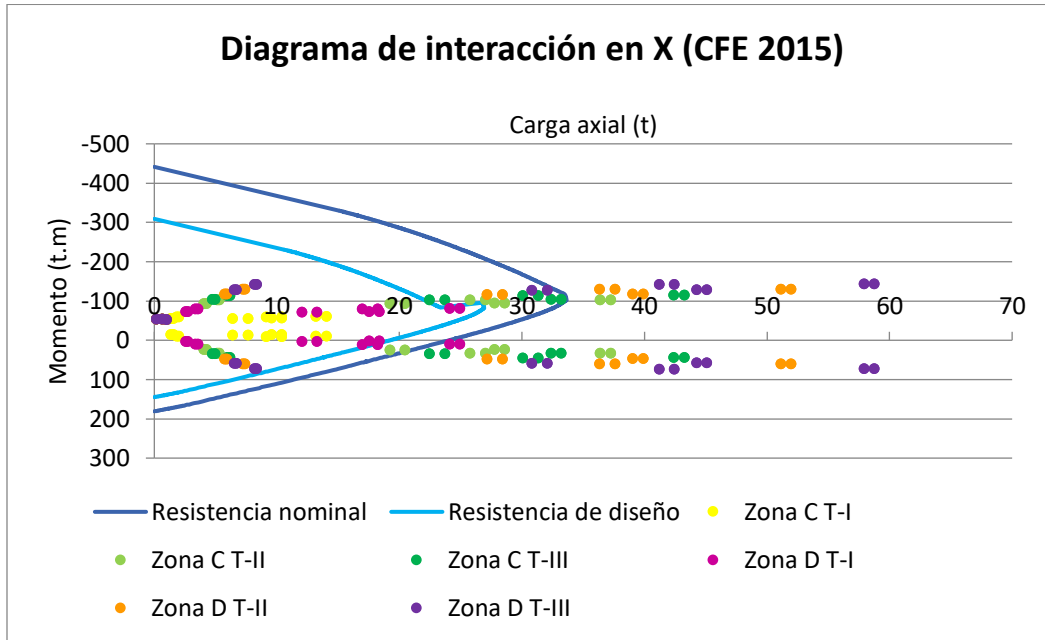


Figura 5.8 - Diagrama de interacción carga axial-momento flexionante para U3C anterior a 1985 (Dirección X, demandas espectrales del MDOC, 2015).

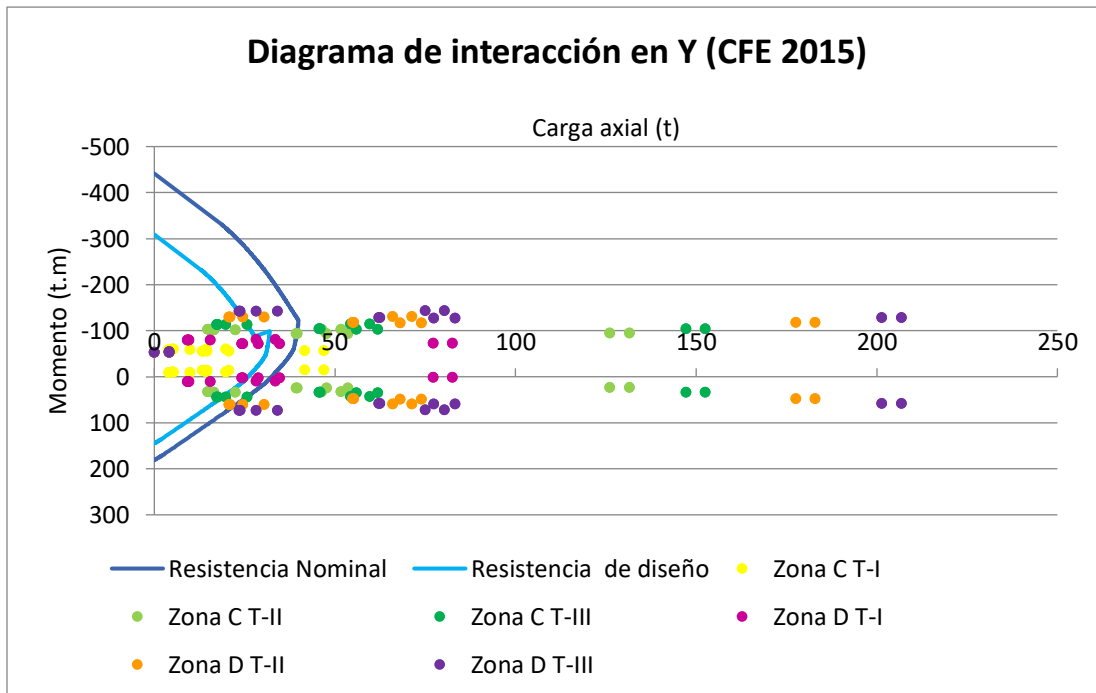


Figura 5.9 - Diagrama de interacción carga axial-momento flexionante para U3C anterior a 1985 (Dirección Y, demandas espectrales del MDOC, 2015).

5.7 EDIFICIO DE CONCRETO DE UN NIVEL, AÑO 2011

5.7.1 Descripción

En la tabla 5.28 se presentan las características del edificio de concreto de un nivel del año 2011.

Tabla 5.28 - Características de edificio de concreto reforzado de un nivel del 2011.

Aspectos Generales	Variable de diseño	Criterios seleccionados para el estudio de edificios índice
Configuraciones generales para el diseño	Configuración de los apoyos	Empotrado
	Interacción suelo-estructura	Considerada
	Ocupación y uso	Educacional
	Normas y códigos de diseño	NTC – para el Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto– RCDF 2017
	Calidad de la construcción	Media
	Mantenimiento	Regular
	Propiedades y calidad de los materiales	Obtenido de la literatura
	Amortiguamiento inicial	5%
Propiedades geométricas relacionadas	Irregularidades	Edificio regular y simétrico
	Cimentación	No considerada
	Número de niveles	1
	Altura de entrepiso	2.50 m
	Distribución de crujías	Uniforme
	Número de crujías	11 crujías en X / 1 crujía en Y
	Longitud típica del claro	3.24 m en X / 8.0 m en Y
	Dimensión típica del salón de clases	6.48 x 8.0 m
	Relación de alturas viga-losa	1:5.3 y 1:5.5
	Variación en la sección transversal de la columna	Nunca
	Relación de dimensión máxima para vigas y columnas	1.177:1
	Relación de capacidades a flexión columna / viga	> 1.2
	Espesor de los muros	NA
	Diferencia de altura en cubierta	0.93 m
Configuración de cargas	Cargas muertas consideradas	90 kg/m ²
	Cargas vivas	40 kg/m ² (C.V. max.)
		20 kg/m ² (C.V. inst.)
Parámetros de diseño sísmico	Categoría de diseño sísmico	Baja disipación de energía
	Factor de comportamiento sísmico, [Q]	Q=2 (Tabla 3.5, MDOC, 2015)
	Coefficiente sísmico [c]	c=2.16g
	Tipo de terreno	I, II y III
	Máxima distorsión permitida	0.015 (Tabla 3.5, MDOC, 2015)
Elementos no estructurales	Cubierta	Ligada a elementos estructurales
	Muros divisorios, fachadas y otros	No ligados a elementos estructurales
Consideraciones básicas para el análisis no lineal	Configuración del modelo	Modelo 3D
	Dirección del análisis sísmico	X / Y (sin componente vertical)
	Sistema estructural	Marcos principales

	Consideraciones del diafragma	Diafragma rígido
	Modelo de capacidad estructural de los elementos	Bi-lineal
	Límite de rotación plástica para elementos estructurales	ASCE 41-17 (2017)
	Ubicación de rótula plástica de flexión / flexocompresión	A 5% de la longitud del elemento desde el nodo inferior
	P-Δ, Efectos globales	Considerado
	P-Δ, Efectos locales	No considerado
	Software	ETABS 2016 v16.2.1

Las propiedades de materiales, geometría y sistema estructural de este prototipo, se resumen en la tabla 5.29.

Tabla 5.29 - Materiales, geometría y sistema estructural de U1C del 2011 (ver sombreado azul) y anterior a 1985 (ver columnas con fondo blanco).

Materiales			Geometría			Sistema estructural		
Concepto	Antes de 1985	2011	Concepto	Antes de 1985	2011	Concepto	Antes de 1985	2011
<u>Concreto</u>			Sep. entre ejes en X (m)	3.19	3.24	Columnas (cm)	25 x 45	40 x 45
- f'_c (kg/cm ²)	200	250	Crujías en X	12	11	Viga long. en azotea (cm)	20 x 47	20 x 63
- E (kg/cm ²)	141,421	221,359	Sep. entre ejes en Y (m)	8.00	8.00	Viga trans. en azotea (cm)	25 x 45 / 55	25 x 55
- g_{vol} (kg/m ³)	2200	2200	Crujías en Y	1	1	Losas (azotea)	Losas macizas, con pendiente 1.6% e=10 cm o Vigueta y bovedilla	Losas macizas, coladas en sitio 10% e=10 cm
<u>Acero de refuerzo</u>			Altura de entrepiso (m)	3.48	3.48			
- f_y (kg/cm ²)	4200	4200	No. de niveles	1	1			
- Es (kg/cm ²)	2,100,000	2,100,000						
- g_{vol} (kg/m ³)	7850	7850						

5.7.2 Resultados del análisis elástico

5.7.2.1 Resistencia nominal

Las resistencias nominales de las vigas que conforman el marco de este prototipo se presentan en la tabla 5.30, donde se proporciona la resistencia a momento flexionante positivos y negativo, calculada a partir de los armados de los planos estructurales.

Las resistencias nominales se calcularon con las expresiones de diseño de las Normas Técnicas Complementarias del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal (GCDMX, 2017), usando un factor de resistencia unitario.

Tabla 5.30 - Resistencias nominales de U1C del 2011 (se incluye resistencia para el prototipo con planos de 1985).

				Anterior a 1985	2011
			Sección	Resistencia nominal	Resistencia nominal
Azotea	Vigas	M+ (t.m)	T1	6.63	12.56
			T2	16.00	12.56
			T3	-	11.69
			T4	-	-
		M- (t.m)	T1	6.63	12.56
			T2	15.12	12.56
			T3	-	22.31
			T4	-	-
		V (t)	T1	21.81	24.76
			T2	24.72	24.76
			T3	-	38.12
			T4	-	-

5.7.2.2 Periodos de vibración

En la tabla 5.31 se muestran los periodos fundamentales de vibración de la estructura prototipo en sus dos direcciones ortogonales, donde la dirección X es paralela al sentido largo de la edificación, y la dirección Y es paralela al sentido corto de la edificación.

Tabla 5.31 – Periodos de vibración de U1C.

Escuela	Época de construcción	Periodo fundamental en X (s)	Periodo fundamental en Y (s)
U1-C	Antes de 1985	0.538	0.370
	2011	0.213	0.228

5.11.2.3 Distribución de fuerzas

En la tabla 5.32 se resumen los resultados obtenidos de los análisis lineales de diseño de la escuela U1-C (planos de 2011) y se comparan con los de su homónima U1-C (planos de 1985).

Tabla 5.32 - Resultados del análisis lineal de planos del 2011 (se incluye resultados para el prototipo con planos anteriores a 1985).

En todos los casos se consideró Grupo A (F.l.=1.5), para U1-C Q=2.0, R0=2.0, $\xi=0.05$, $\rho=0.80$ (en el lado corto) y $\rho=1.25$ (en el lado largo), $\alpha=0.90$ y se empleó coeficiente sísmico obtenido del MDOC 2015, para el periodo fundamental de la estructura. C.S. RED. significa coeficiente sísmico reducido.								
U1-C ANTES DE 1985						U1-C 2011		
ESCUELA TIPO	ZONA	TIPO TERRENO	C.S. RED. (lado corto / lado largo)	RESULTADOS	COMENTARIOS	C.S. RED. (lado corto / lado largo)	RESULTADOS	COMENTARIOS
U1-C (1 NIVEL, CONCRETO)	C	I	0.27 / 0.48	NO CUMPLE	Fallan todas las columnas, 26 en total (acero longitudinal escaso).	0.56 / 0.36	OK	
		II	1.20 / 0.70	NO CUMPLE	Fallan todas las columnas, 26 en total (acero longitudinal escaso o necesitan incrementar su sección por que el acero longitudinal requerido excede el máximo permitido). Fallan todas las trabes T-2, 13 en total (acero longitudinal en el lecho superior e inferior escaso). Fallan todas las trabes T-1, 24 en total (acero longitudinal en el lecho superior e inferior escaso).	1.31 / 0.85	NO CUMPLE	Fallan todas las columnas, 24 en total (acero longitudinal escaso). Fallan todas las trabes T-3, 12 en total (acero longitudinal en el lecho superior e inferior escaso).
		III	1.39 / 0.81	NO CUMPLE	Fallan todas las columnas, 26 en total (acero longitudinal escaso o necesitan incrementar su sección por que el acero longitudinal requerido excede el máximo permitido, además 16 columnas cuentan con acero transversal escaso). Fallan todas las trabes T-2, 13 en total (acero longitudinal en el lecho superior e inferior escaso). Fallan todas las trabes T-1, 24 en total (acero longitudinal en el lecho superior e inferior escaso).	1.52 / 0.99	NO CUMPLE	Fallan todas las columnas, 24 en total (acero longitudinal escaso). Fallan todas las trabes T-3, 12 en total (acero longitudinal en el lecho superior e inferior escaso).
	D	I	0.87 / 0.48	NO CUMPLE	Fallan todas las columnas, 26 en total (acero longitudinal escaso o necesitan incrementar su sección por que el acero longitudinal requerido excede el máximo permitido, además 16 columnas cuentan con acero transversal escaso). Fallan todas las trabes T-2, 13 en total (acero longitudinal en el lecho superior e inferior escaso). Fallan 4 trabes T-1, (acero longitudinal en el lecho superior e inferior escaso).	1.00 / 0.66	NO CUMPLE	Fallan 8 columnas, ejes 1, 2, 11 y 12 (acero longitudinal escaso), Fallan todas las trabes T-3, 12 en total (acero longitudinal en el lecho superior e inferior escaso).
		II	1.68 / 0.98	NO CUMPLE	Fallan todas las columnas, 26 en total (acero longitudinal escaso o necesitan incrementar su sección por que el acero longitudinal requerido excede el máximo permitido, además las columnas cuentan con acero transversal escaso). Fallan todas las trabes T-2, 13 en total (acero longitudinal en el lecho superior e inferior escaso). Fallan todas las trabes T-1, 24 en total (acero longitudinal en el lecho superior e inferior escaso).	1.84 / 1.19	NO CUMPLE	Fallan todas las columnas, 24 en total (acero longitudinal escaso o necesitan incrementar su sección por que el acero longitudinal requerido excede el máximo permitido, además 4 columnas cuentan con acero transversal escaso). Falla una trabe T-1, eje A (acero longitudinal en el lecho superior e inferior escaso). Falla una viga faldón F-1, eje A' (acero longitudinal en el lecho superior escaso). Fallan todas las trabes T-3, 12 en total (acero longitudinal en el lecho superior e inferior escaso).
		III	1.93 / 1.11	NO CUMPLE	Fallan todas las columnas, 26 en total (acero longitudinal escaso o necesitan incrementar su sección por que el acero longitudinal requerido excede el máximo permitido, además las columnas cuentan con acero transversal escaso). Fallan todas las trabes T-2, 13 en total (acero longitudinal en el lecho superior e inferior escaso). Fallan todas las trabes T-1, 24 en total (acero longitudinal en el lecho superior e inferior escaso).	2.08 / 1.34	NO CUMPLE	Fallan todas las columnas, 24 en total (acero longitudinal escaso o necesitan incrementar su sección por que el acero longitudinal requerido excede el máximo permitido, además 12 columnas cuentan con acero transversal escaso). Falla una trabe T-1 y una trabe T-2, eje A y B respectivamente (acero longitudinal en el lecho superior e inferior escaso). Falla una viga faldón F-1, eje A' (acero longitudinal en el lecho superior escaso). Fallan todas las trabes T-3, 12 en total (acero longitudinal en el lecho superior e inferior escaso).

Vigas de azotea

En la tabla 5.32 se comparan las fuerzas actuantes, que para este prototipo se calcularon con el MDOC (CFE, 2015), con la resistencia nominal de cada una de las vigas de azotea que integran el marco de la estructura.

Las vigas T3 fallan a flexión bajo todas las solicitaciones sísmicas correspondientes a los espectros reducidos utilizados, excepto para la zona C terreno I. En el caso de las vigas T1 y T2, fallan a flexión, únicamente, para la zona D terreno III, como se observa en la tabla.

Tabla 5.33 - Comparación de las resistencias nominales con las fuerzas actuantes de U1C (2011) en vigas de azotea.

		Sección	Resistencia nominal	Fuerza actuante			Sección	Resistencia nominal	Fuerza actuante
Zona C T-I	M+ (t.m)	T1	12.56	3.52	Zona D T-I	M+ (t.m)	T1	12.56	6.49
		T2	12.56	3.52			T2	12.56	6.49
		T3	11.69	8.33			T3	11.69	14.86
	M- (t.m)	T1	12.56	3.88		M- (t.m)	T1	12.56	6.85
		T2	12.56	3.88			T2	12.56	6.85
		T3	22.31	17.88			T3	22.31	26.69
	V (t)	T1	24.76	3.63		V (t)	T1	24.76	5.47
		T2	24.76	3.63			T2	24.76	5.47
		T3	38.12	8.51			T3	38.12	10.84
Zona C T-II	M+ (t.m)	T1	12.56	8.52	Zona D T-II	M+ (t.m)	T1	12.56	12.01
		T2	12.56	8.52			T2	12.56	12.01
		T3	11.69	24.20			T3	11.69	35.34
	M- (t.m)	T1	12.56	8.88		M- (t.m)	T1	12.56	12.37
		T2	12.56	8.88			T2	12.56	12.37
		T3	22.31	33.08			T3	22.31	44.23
	V (t)	T1	24.76	6.73		V (t)	T1	24.76	8.88
		T2	24.76	6.73			T2	24.76	8.88
		T3	38.12	11.81			T3	38.12	14.76
Zona C T-III	M+ (t.m)	T1	12.56	9.92	Zona D T-III	M+ (t.m)	T1	12.56	13.59
		T2	12.56	9.92			T2	12.56	13.59
		T3	11.69	28.69			T3	11.69	40.39
	M- (t.m)	T1	12.56	10.28		M- (t.m)	T1	12.56	13.95
		T2	12.56	10.28			T2	12.56	13.95
		T3	22.31	37.57			T3	22.31	49.28
	V (t)	T1	24.76	7.59		V (t)	T1	24.76	9.86
		T2	24.76	7.59			T2	24.76	8.88
		T3	38.12	13.00			T3	38.12	16.10

Columna C-1

La interacción de la carga axial con la flexión respecto a los planos de simetría de las columnas más demandadas de la escuela U1-C, se muestra en las figs. 5.10 y 5.11. Como se puede observar, la columna falla por flexión en la dirección Y para los terrenos II y III en la zona C y todos los terrenos en la zona D.

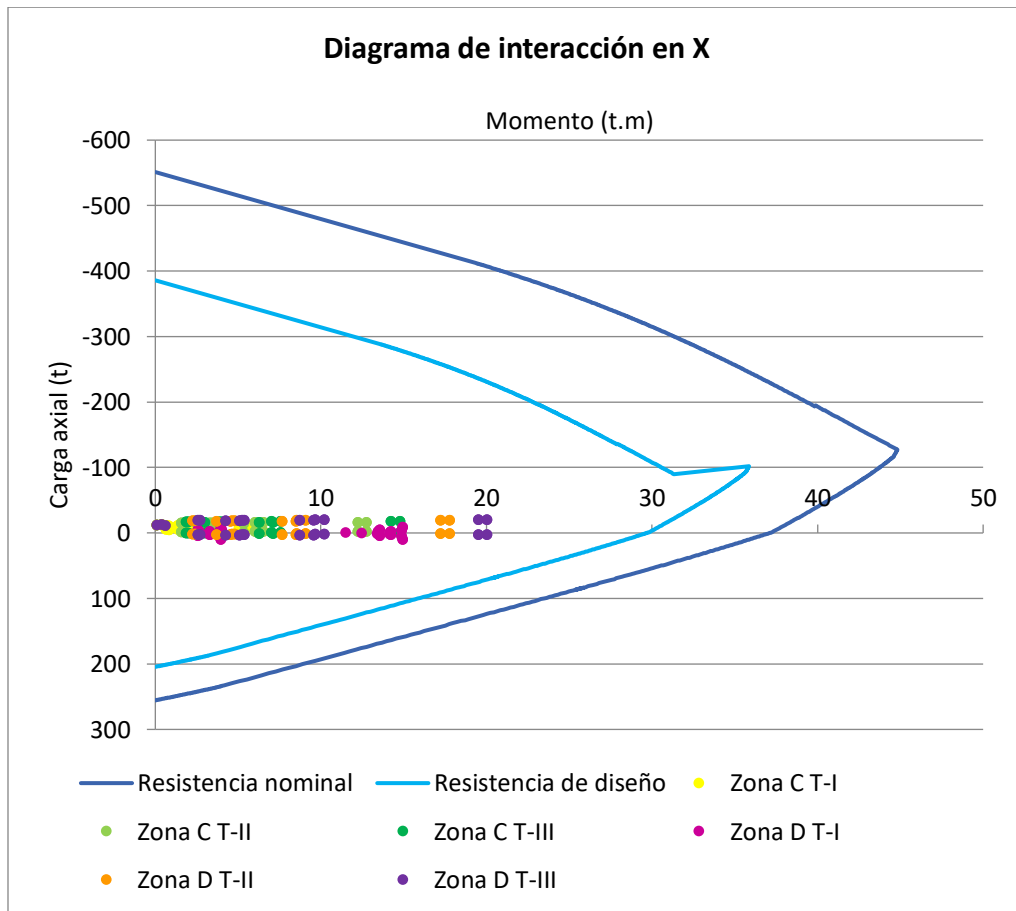


Figura 5.10 - Diagrama de interacción carga axial-momento flexionante para U1C del 2011(Dirección X, demandas espectrales del MDOC, 2015).

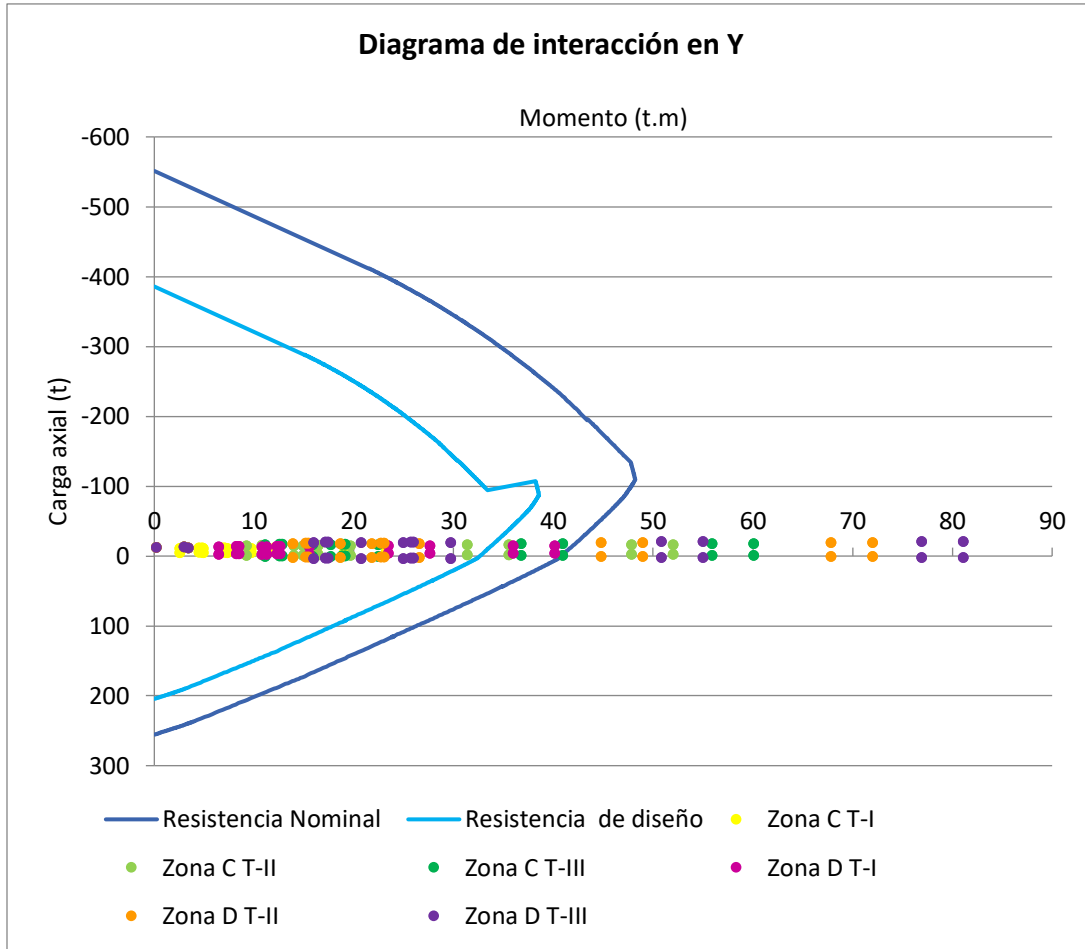


Figura 5.11 - Diagrama de interacción carga axial-momento flexionante para U1C del 2011 (Dirección Y, demandas espectrales del MDOC, 2015).

5.7.3 Análisis estático no lineal

5.7.3.1 Consideraciones específicas para el prototipo

Se hicieron las mismas consideraciones que el prototipo de 1985.

5.7.3.2 Curva envolvente fuerza – desplazamiento

En las figs. 5.12 y 5.13 se presentan las curvas de capacidad (cortante basal-desplazamiento de azotea) para el edificio índice de concreto reforzado un nivel en las direcciones X y Y, respectivamente.

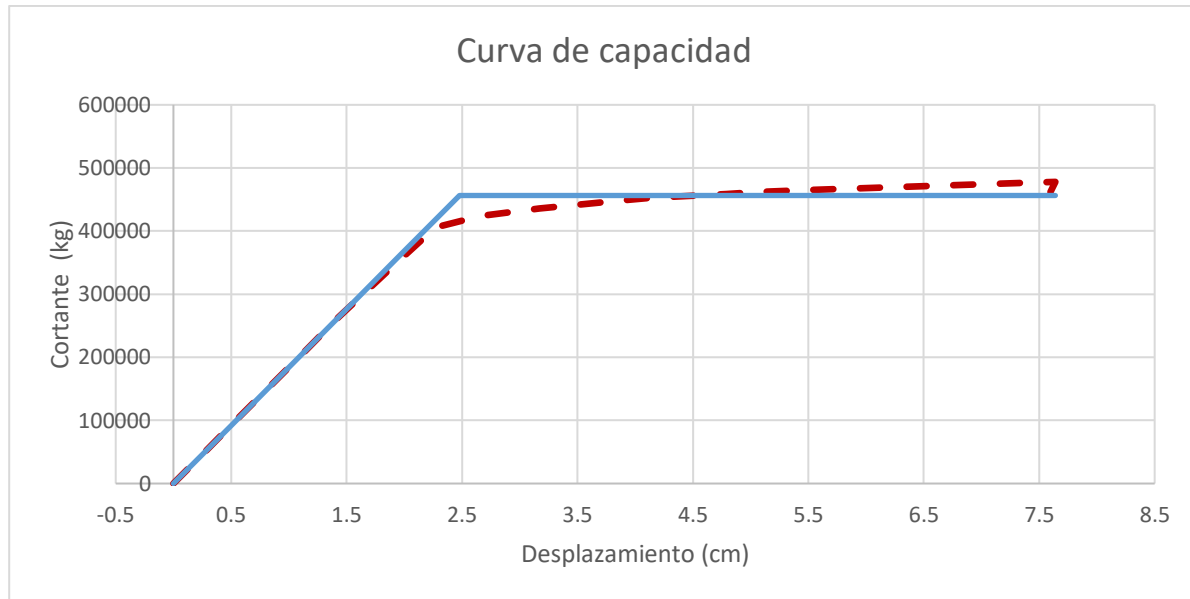


Figura 5.12 - Curva de capacidad (Dirección X).

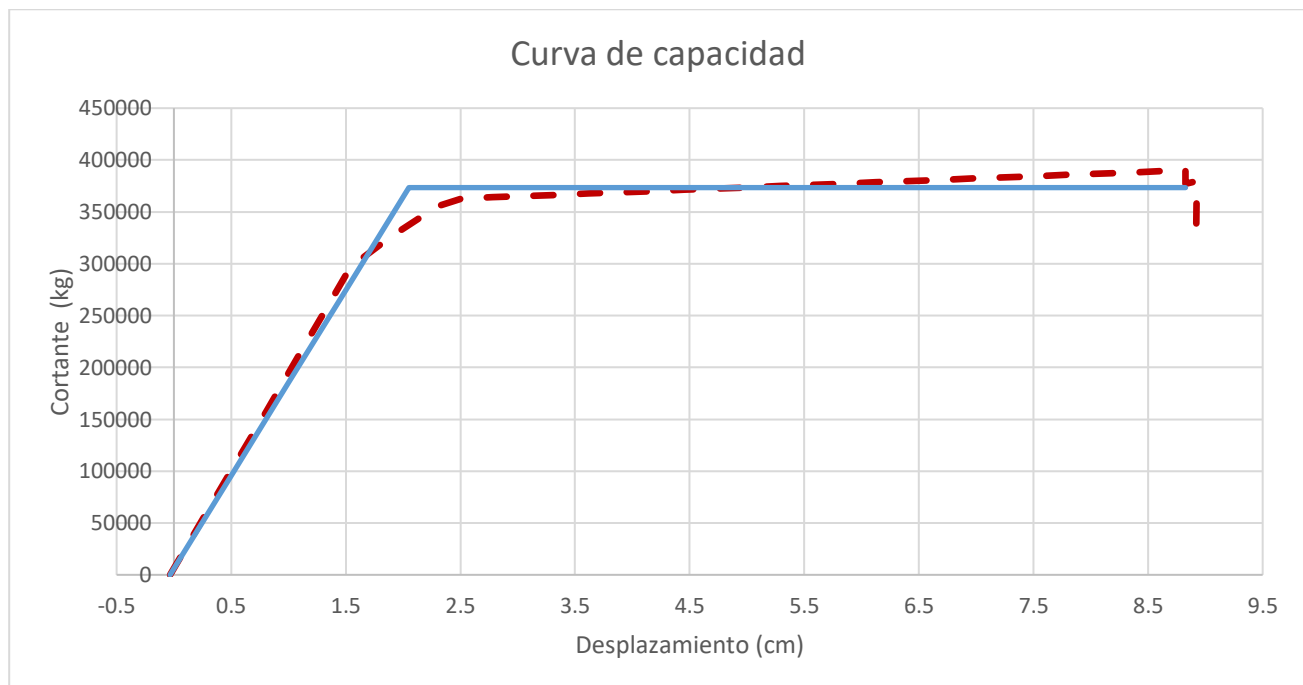


Figura 5.13 - Curva de capacidad (Dirección Y).

Con la finalidad de comparar la calidad de los materiales, se modificaron las propiedades de las propiedades del concreto, en planos se especifica un concreto clase 1 con $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$, por ello se creó un modelo con concreto clase 1 $f'c = 350 \text{ kg/cm}^2$ (optimista) y otro con concreto clase 2 $f'c = 200 \text{ kg/cm}^2$. Con ello se pretende hacer un análisis de escenarios, en donde el concreto de mayor resistencia sea el escenario optimista y el concreto con menor resistencia sea el escenario realista o pesimista. Para la obtención del módulo de elasticidad del concreto se usó la fórmula del reglamento de construcción para concreto clase 1 ($E_c = 14000 \sqrt{f'c}$) y para concreto clase 2 ($E_c = 8000 \sqrt{f'c}$)

Como se observa en las figs. 5.14 y 5.15, la mayor diferencia existe entre el prototipo de 250 kg/cm² y el de 200 kg/cm², mientras que para el prototipo optimista la diferencia con el de 250 kg/cm² no es tan grande. Con esto se puede ver que la estructura sufre una mayor deformación conforme la resistencia de los materiales disminuye.

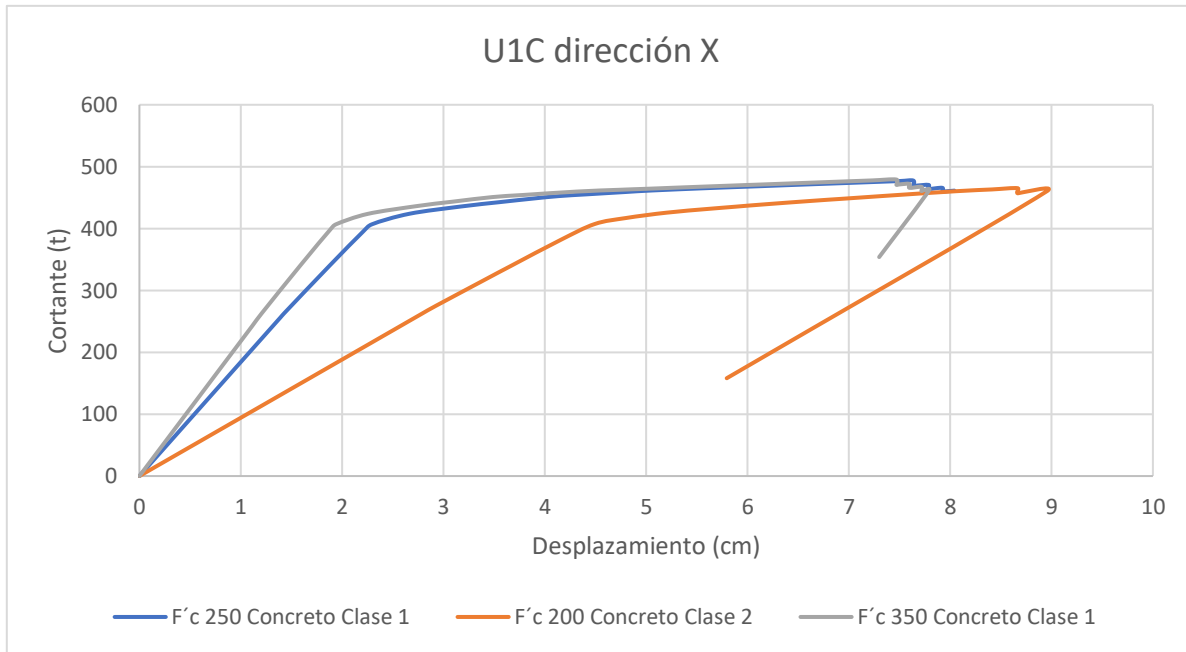


Figura 5.14 – Comparación de curvas en distintos escenarios (dirección X).

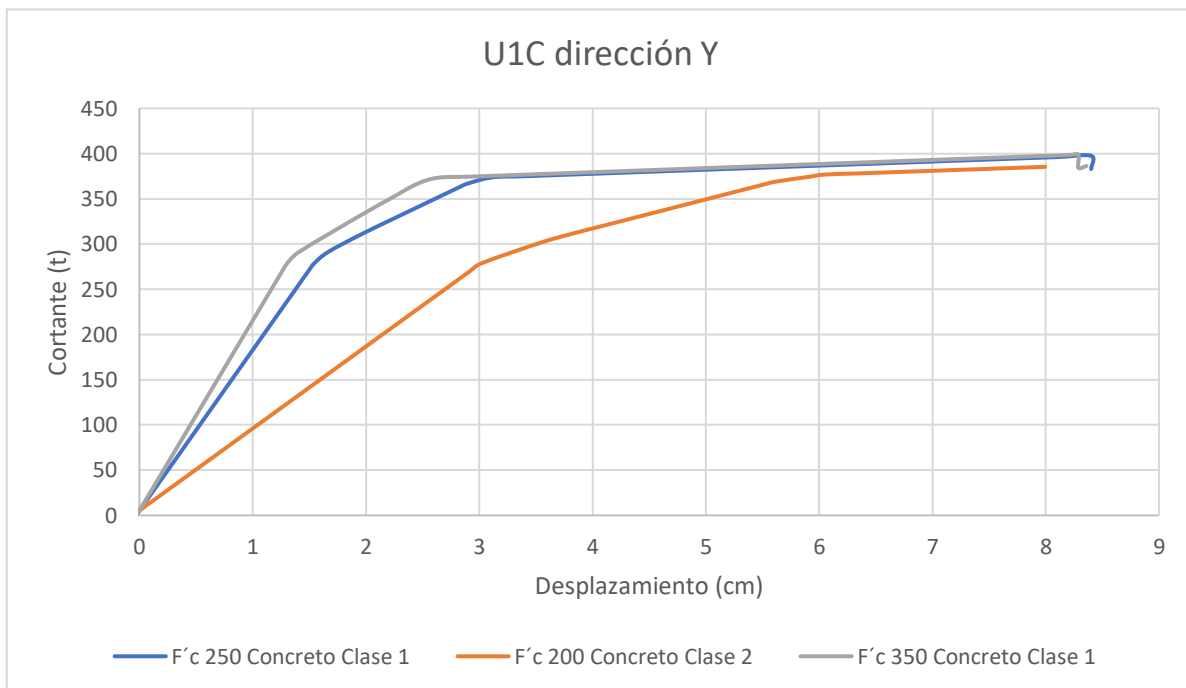


Figura 5.15 – Comparación de curvas en distintos escenarios (dirección Y).

5.7.3.3 Comparación con la demanda sísmica

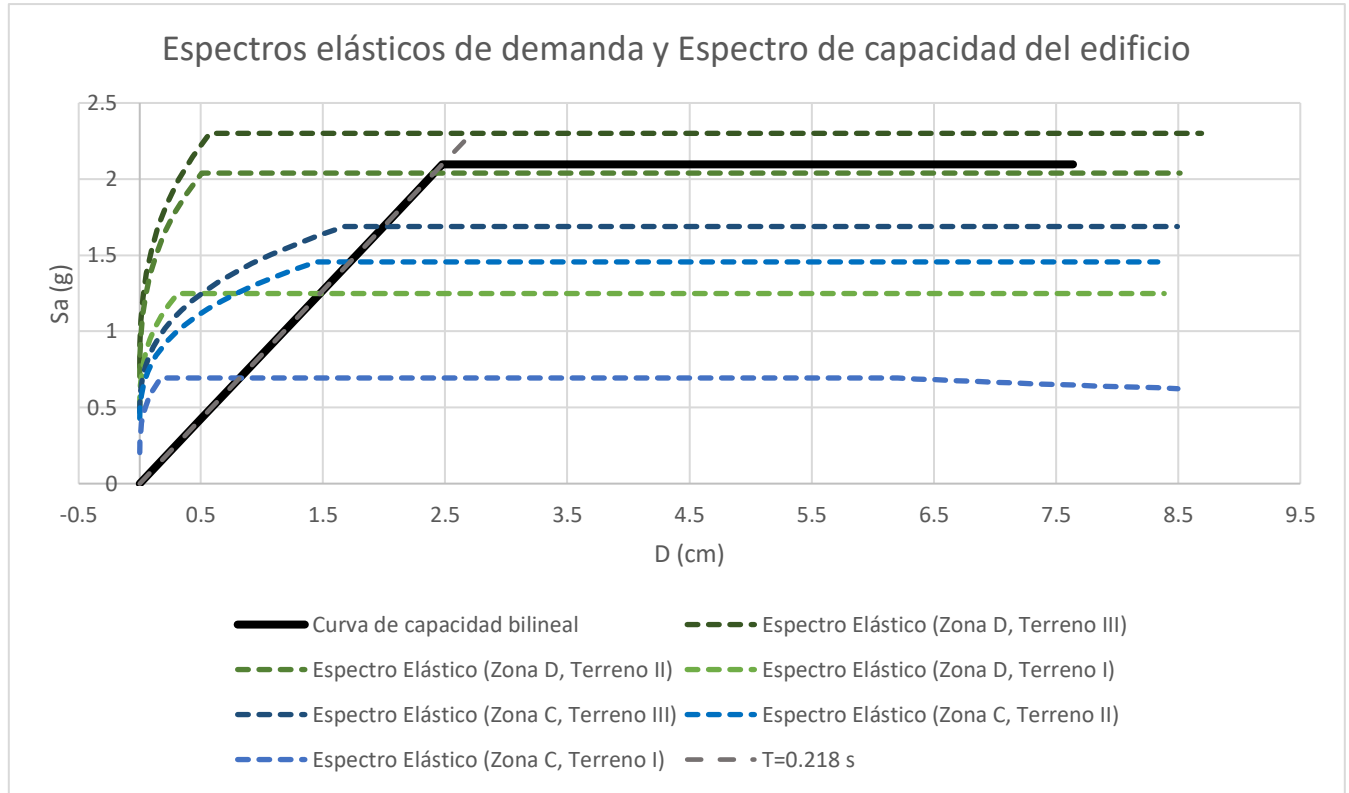


Figura 5.16 - Comparación de los Espectros Elásticos de Demanda con el Espectro de Capacidad (Dirección X).

En la fig. 5.16 se comparan los espectros elásticos de demanda con el espectro de capacidad en la dirección X, para $F'c=250 \text{ kg/cm}^2$

La curva de capacidad es idealizada con un modelo elasto-plástico perfecto para determinar los puntos de desempeño mediante el Método N2 (Fajfar y Gaspersic, 1996). La rigidez inicial elástica del sistema idealizado se determina de tal manera que las áreas bajo la curva cortante basal-desplazamiento de azotea y la curva idealizada sean iguales.

La demanda sísmica está representada por la intersección de los espectros de demanda elásticos y la línea correspondiente al periodo elástico ($T=0.218 \text{ s}$).

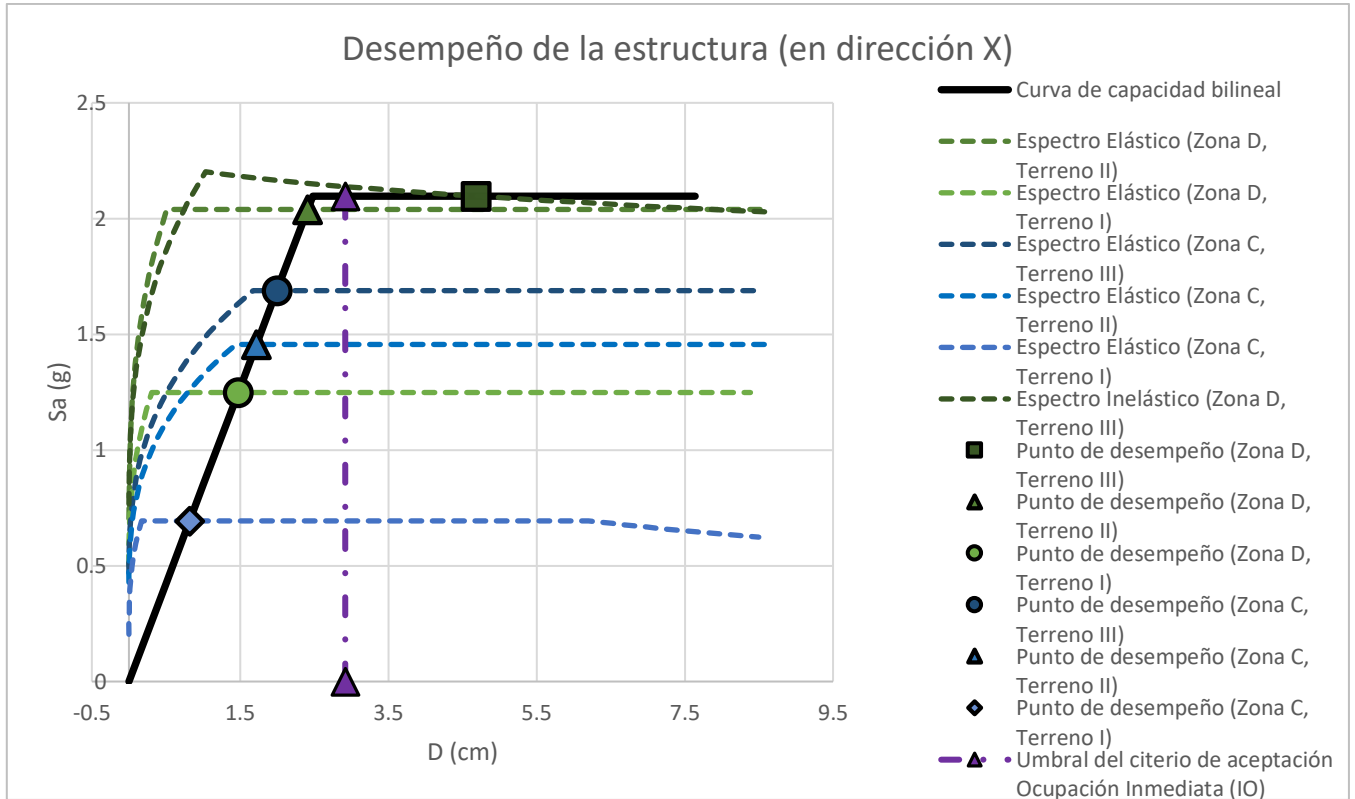


Figura 5.17 - Desempeño de U1C bajo las demandas espectrales (Dirección X).

En la fig. 5.17 se comparan la respuesta calculada y la idealizada con las demandas espectrales inelásticas. La intersección de la respuesta idealizada (curva de capacidad bilineal) con los espectros inelásticos son llamados “puntos de desempeño”. En la gráfica se señala el umbral asociado al criterio de desempeño de Ocupación Inmediata (IO, en inglés), el cual está delimitado por el primer elemento que excede el umbral de Ocupación Inmediata establecido en las articulaciones plásticas localizadas en los extremos de cada elemento que conforman el marco del *edificio índice*. Para definir el rango de IO, se siguió la recomendación de SEAOC (Asociación de Ingenieros estructuristas de California, 1995); el rango de IO estuvo limitado por la rigidez y el 30% de la capacidad de desplazamiento inelástico.

Como se observa en la figura 5.17, el umbral IO cumple para todos los terrenos de cada zona, excepto para el caso más desfavorable que es la zona III terreno D.

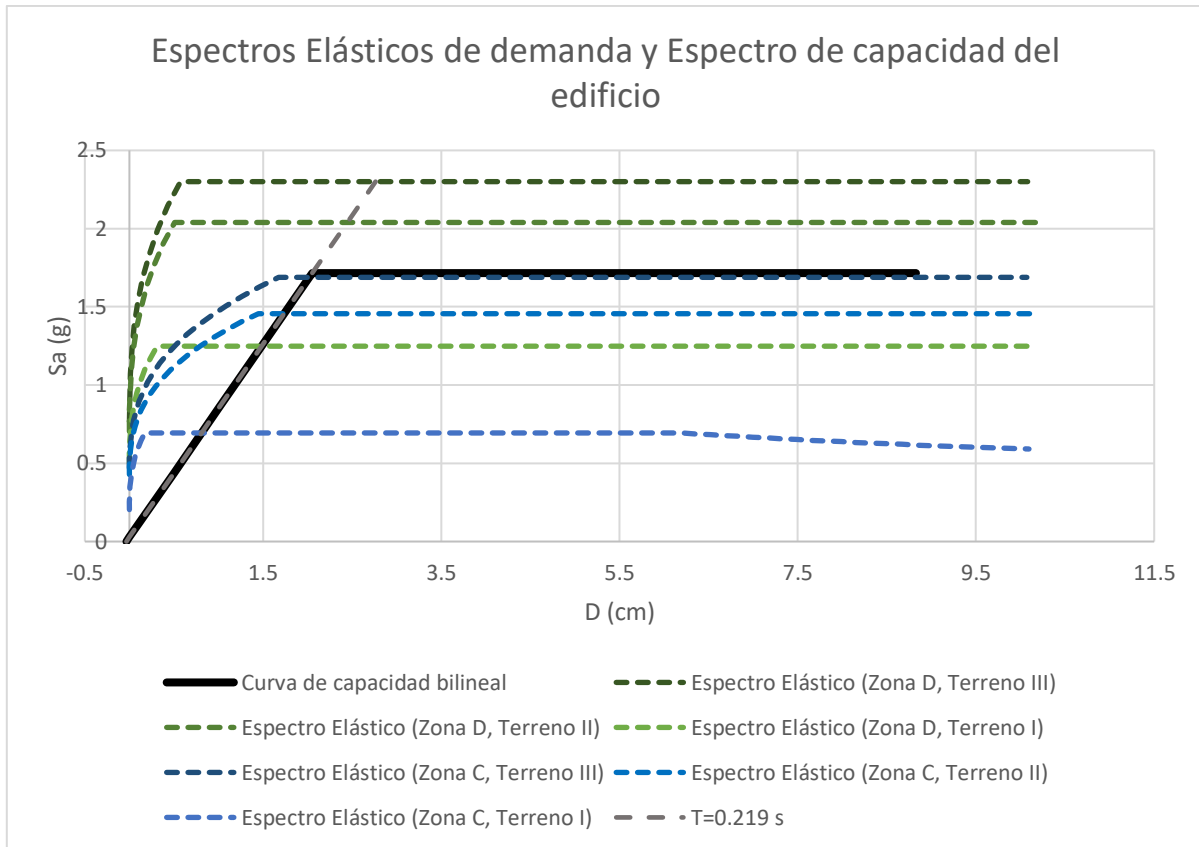


Figura 5.18 - Comparación de los Espectros Elásticos de Demanda con el Espectro de Capacidad (Dirección Y).

En la fig. 5.18 se comparan los espectros elásticos de demanda con el espectro de capacidad en la dirección Y.

La curva de capacidad es idealizada con un modelo elasto-plástico perfecto para determinar los puntos de desempeño mediante el Método N2 (Fajfar y Gaspersic, 1996).

La demanda sísmica está representada por la intersección de los espectros de demanda elásticos y la línea correspondiente al periodo elástico ($T=0.219$ s).

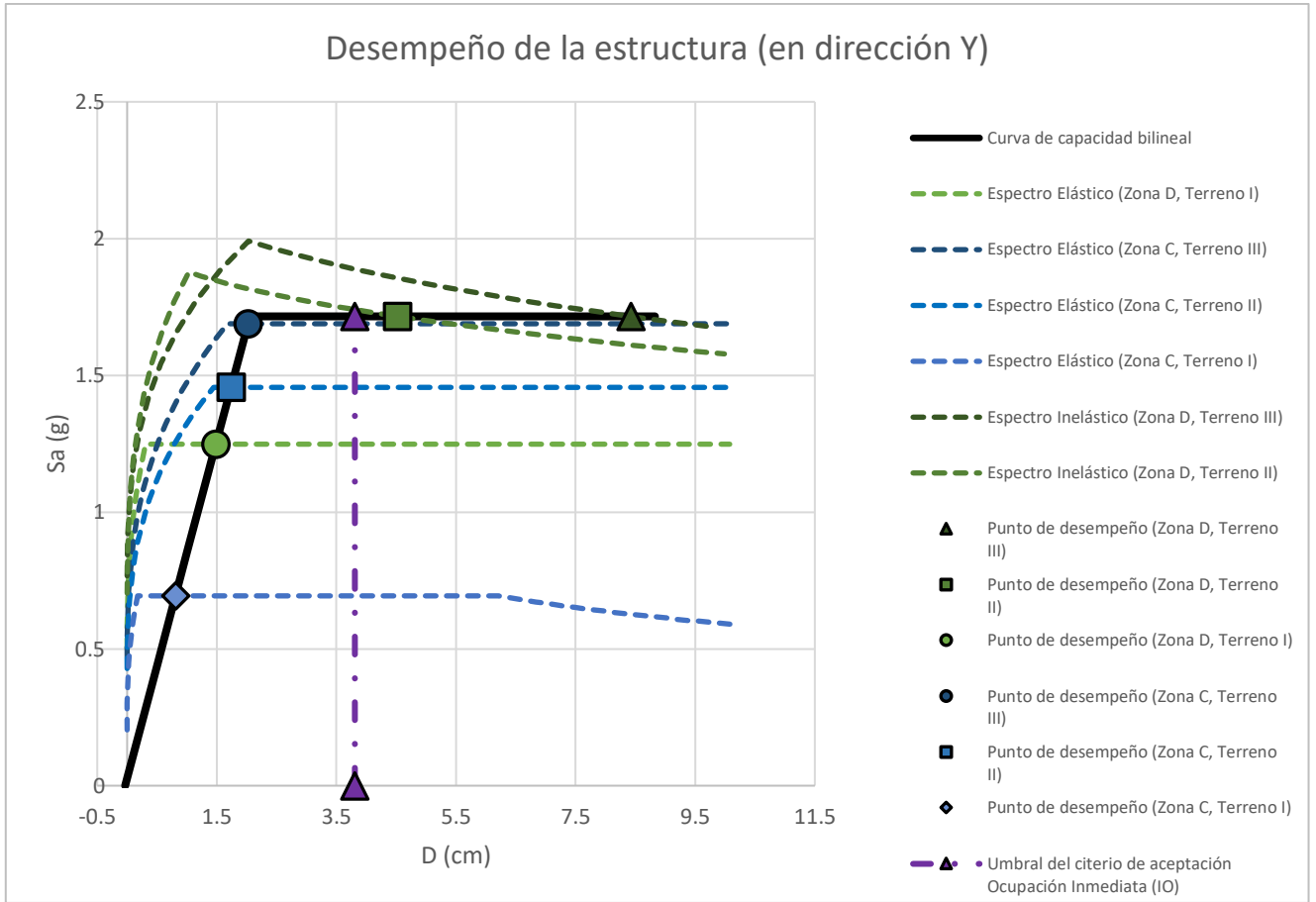


Figura 5.19 - Desempeño de U1C bajo las demandas espectrales (Dirección Y).

En la fig. 5.19 se comparan la respuesta calculada y la idealizada con las demandas espectrales inelásticas. En la gráfica se muestran los puntos de desempeño para cada uno de los espectros de demanda, así como el umbral asociado al nivel de desempeño de Ocupación Inmediata (IO, en inglés), el cual está delimitado por el primer elemento que excede el umbral de Ocupación Inmediata establecido en las articulaciones plásticas localizadas en los extremos de cada elemento que conforman el marco del *edificio índice*. Al igual que la dirección X, el umbral IO estuvo limitado por la rigidez y el 30% de la capacidad de desplazamiento inelástico.

5.8 EDIFICIO DE CONCRETO DE DOS NIVELES AÑO 2011

5.8.1 Descripción

En la tabla 5.34 se presentan las características del prototipo.

Tabla 5.34 - Características de edificio de concreto reforzado de dos niveles de 2011.

Aspectos Generales	Variable de diseño	Criterios seleccionados para el estudio de edificios índice
Configuraciones generales para el diseño	Configuración de los apoyos	Empotrado
	Interacción suelo-estructura	Considerada
	Ocupación y uso	Educacional
	Normas y códigos de diseño	NTC – para el Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto– RCDF 2017
	Calidad de la construcción	Media
	Mantenimiento	Regular
	Propiedades y calidad de los materiales	Obtenido de la literatura
	Amortiguamiento inicial	5%
Propiedades geométricas relacionadas	Irregularidades	Edificio regular y simétrico
	Cimentación	No considerada
	Número de niveles	2
	Altura de entrepiso	2.50 m
	Distribución de crujeías	Uniforme
	Número de crujeías	13 crujeías en X / 1 crujeía en Y
	Longitud típica del claro	3.24 m en X / 8.0 m en Y
	Dimensión típica del salón de clases	6.48 x 8.0 m
	Relación de alturas viga-losa	1:5, 1:5.3 y 1:5.5
	Variación en la sección transversal de la columna	Nunca
	Relación de dimensión máxima para vigas y columnas	1.17:1 X, 1.83:1 Y (2do nivel) 1.22:1 X, 1.83:1 Y (1er nivel)
	Relación de capacidades a flexión columna / viga	> 1.2
	Espesor de los muros	0.20 m, 0.15 m y 0.14 m
	Diferencia de altura en cubierta	0.93 m
Configuración de cargas	Cargas muertas consideradas	90 kg/m ²
	Cargas vivas	40 kg/m ² / 250 kg/m ² (C.V. max.) 20 kg/m ² / 180 kg/m ² (C.V. inst.)
Parámetros de diseño sísmico	Categoría de diseño sísmico	Baja disipación de energía
	Factor de comportamiento sísmico, [Q]	Q=2 (Tabla 3.5, MDOC, 2015)
	Coefficiente sísmico [c]	c=2.16g
	Tipo de terreno	I, II y III
	Máxima distorsión permitida	0.015 (Tabla 3.5, MDOC, 2015)
Elementos no estructurales	Cubierta	Ligada a elementos estructurales
	Muros divisorios, fachadas y otros	No ligados a elementos estructurales
Consideraciones básicas para el análisis no lineal	Configuración del modelo	Modelo 3D
	Dirección del análisis sísmico	X / Y (sin componente vertical)
	Sistema estructural	Marcos principales

	Consideraciones del diafragma	Diafragma rígido
	Modelo de capacidad estructural de los elementos	Bi-lineal
	Límite de rotación plástica para elementos estructurales	ASCE 41-17 (2017)
	Ubicación de rótula plástica de flexión / flexocompresión	A 5% de la longitud del elemento desde el nodo inferior
	P-Δ, Efectos globales	Considerado
	P-Δ, Efectos locales	No considerado
	Software	ETABS 2016 v16.2.1

Las propiedades de materiales, geometría y sistema estructural de este *prototipo* se resumen en la tabla 5.35.

Tabla 5.35 - Materiales, geometría y sistema estructural de edificio índice de concreto reforzado de dos niveles de 2011 (ver sombreado en azul) y anterior a 1985 (ver columnas con fondo blanco).

Materiales			Geometría			Sistema estructural		
Concepto	Antes de 1985	2011	Concepto	Antes de 1985	2011	Concepto	Antes de 1985	2011
<u>Concreto</u>						Columnas (cm)	25 x 45	30 x 45
- f'c (kg/cm ²)	200	250	Sep. entre ejes en X (m)	3.19	3.24	Viga long. entrepiso (cm)	20 x 55	20 x 55
- E (kg/cm ²)	141,421	221,359	Crujías en X	12	13	Viga long. en azotea (cm)	20 x 47	20 x 53
- g _{vol} (kg/m ³)	2200	2200	Sep. entre ejes en Y (m)	8.00	8.00	Viga trans entrepiso (cm)	25 x 55	25 x 55
<u>Acero de refuerzo</u>						Viga trans en azotea (cm)	25 x 45 / 55	25 x 55
- fy (kg/cm ²)	4200	4200	Crujías en Y	1	1	Losa entrepiso	Losa maciza e=11 cm o Vigueta y bovedilla	Losa maciza e=11 cm
- Es (kg/cm ²)	2,100,000	2,100,000	Altura de entrepiso (m)	2.85(en) 3.03 (az)	2.85 (en) 3.03 (az)	Losa azotea	Losa maciza, con pendiente 1.6% e=10 cm o Vigueta y bovedilla	Losa maciza, con pendiente 10% e=10 cm
- g _{vol} (kg/m ³)	7850	7850	No. de niveles	2	2	Muros diafragma	No	Mampostería y concreto

5.8.2 Resultados del análisis elástico

Las resistencias nominales de las vigas que conforman el marco de este prototipo se presentan en la tabla 5.36, donde se proporciona la resistencia a momento flexionante positivos y negativo, calculada con los armados de los planos estructurales.

Las resistencias nominales se calcularon con las expresiones de diseño de las Normas Técnicas Complementarias del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal (GCDMX, 2017), usando un factor de resistencia unitario.

Tabla 5.36 Resistencias nominales de U2C del 2011 (se incluye resistencia para el prototipo con planos anteriores a 1985).

				Anterior a 1985	2011
			Sección	Resistencia nominal	Resistencia nominal
Azotea	Vigas	M+ (t.m)	T1	4.49	7.86
			T2	15.74	7.86
			T3	-	11.69
			T4	-	11.69
		M- (t.m)	T1	4.49	7.86
			T2	14.74	7.86
			T3	-	16.54
			T4	-	11.69
		V (t)	T1	21.92	23.95
			T2	24.72	23.95
			T3	-	37.12
			T4	-	21.08
Entrepiso	Vigas	M+ (t.m)	T1	7.91	15.74
			T2	22.31	15.74
			T3	-	19.18
			T4	-	11.69
		M- (t.m)	T1	10.41	15.74
			T2	27.21	15.74
			T3	-	27.21
			T4	-	27.21
		V (t)	T1	26.01	26.12
			T2	29.71	26.12
			T3	-	39.02
			T4	-	28.86

5.8.2.2 Periodos de vibración

En la tabla 5.37 se muestran los periodos fundamentales de vibración de la estructura prototipo en sus dos direcciones ortogonales, donde la dirección X es paralela al sentido largo de la edificación, y la dirección Y es paralela al sentido corto de la edificación.

Tabla 5.37 – Periodos de vibración de U2C.

Escuela	Época de construcción	Periodo fundamental en X (s)	Periodo fundamental en Y (s)
U2-C	Antes de 1985	0.638	0.552
	2011	0.099	0.054

5.8.2.3 Distribución de fuerzas

En la tabla 5.38 se resumen los resultados obtenidos de los análisis lineales de diseño de la escuela U2-C (planos de 2011) y se comparan con los de su homónima U2-C (planos de 1985).

Tabla 5.38 - Resultados del análisis lineal del U2C 2011 (se incluyen los resultados para el prototipo con planos 1985).

En todos los casos se consideró Grupo A (F.I.=1.5), para U2-C Q=2.0, R0=2.0, ξ=0.05, ρ=0.80 (en el lado corto) y ρ=1.25 (en el lado largo), α=0.90 y se empleó coeficiente sísmico obtenido del MDOC 2015, para el periodo fundamental de la estructura.								
U2-C ANTES DE 1985 – EI6						U2-C DESPUES DE 1985 – EI9		
ESCUELA TIPO	ZONA	TIPO TERRENO	C.S. RED. (lado corto / lado largo)	RESULTADOS	COMENTARIOS	C.S. RED. (lado corto / lado largo)	RESULTADOS	COMENTARIOS
U2-C (2 NIVELES, CONCRETO)	C	I	0.39 / 0.23	NO CUMPLE	Fallan todas las columnas, 26 en total (acero longitudinal escaso o necesitan incrementar su sección por que el acero longitudinal requerido excede el máximo permitido). Fallan 12 traves T-2, fallan 2 traves T-1, fallan 12 traves T-B y fallan 4 traves T-A (acero longitudinal en el lecho superior e inferior escaso).	0.30 / 0.31	OK	
		II	1.28 / 0.79	NO CUMPLE	Fallan todas las columnas, 26 en total (acero longitudinal escaso o necesitan incrementar su sección por que el acero longitudinal requerido excede el máximo permitido, además las columnas cuentan con acero transversal escaso). Fallan todas las traves T-2, 13 en total, fallan todas las traves T-1, 23 en total, fallan todas las traves T-B, 13 en total, y fallan todas las traves T-A, 24 en total (acero longitudinal en el lecho superior e inferior escaso, además en algunas traves se cuenta con acero transversal escaso).	0.54 / 0.49	OK	
		III	1.48 / 0.92	NO CUMPLE	Fallan todas las columnas, 26 en total (acero longitudinal escaso o necesitan incrementar su sección por que el acero longitudinal requerido excede el máximo permitido, además las columnas cuentan con acero transversal escaso). Fallan todas las traves T-2, 13 en total, fallan todas las traves T-1, 23 en total, fallan todas las traves T-B, 13 en total, y fallan todas las traves T-A, 24 en total (acero longitudinal en el lecho superior e inferior escaso, además en algunas traves se cuenta con acero transversal escaso).	0.60 / 0.56	OK	
	D	I	0.96 / 0.57	NO CUMPLE	Fallan todas las columnas, 26 en total (acero longitudinal escaso o necesitan incrementar su sección por que el acero longitudinal requerido excede el máximo permitido, además las columnas cuentan con acero transversal escaso). Fallan todas las traves T-2, 13 en total, fallan todas las traves T-1, 23 en total, fallan todas las traves T-B, 13 en total, y fallan todas las traves T-A, 24 en total (acero longitudinal en el lecho superior e inferior escaso, además en algunas traves se cuenta con acero transversal escaso).	0.75 / 0.75	OK	
		II	1.79 / 1.11	NO CUMPLE	Fallan todas las columnas, 26 en total (acero longitudinal escaso o necesitan incrementar su sección por que el acero longitudinal requerido excede el máximo permitido, además las columnas cuentan con acero transversal escaso). Fallan todas las traves T-2, 13 en total, fallan todas las traves T-1, 23 en total, fallan todas las traves T-B, 13 en total, y fallan todas las traves T-A, 24 en total (acero longitudinal en el lecho superior e inferior escaso, además en algunas traves se cuenta con acero transversal escaso).	1.20 / 1.22	NO CUMPLE	Fallan columnas aledañas a muros de concreto por capacidad a tensión. Los muros de concretos demandados por fuerzas cortantes sobrepasan sus resistencias de diseño.
		III	2.02 / 1.25	NO CUMPLE	Fallan todas las columnas, 26 en total (acero longitudinal escaso o necesitan incrementar su sección por que el acero longitudinal requerido excede el máximo permitido, además las columnas cuentan con acero transversal escaso). Fallan todas las traves T-1, 23 en total, fallan todas las traves T-B, 13 en total, y fallan todas las traves T-A, 24 en total (acero longitudinal en el lecho superior e inferior escaso, además en algunas traves se cuenta con acero transversal escaso).sección por que el acero longitudinal requerido excede el máximo permitido, además las columnas cuentan con acero transversal escaso). Fallan todas las traves T-2, 13 en total (acero longitudinal en el lecho superior e inferior escaso). Fallan todas las traves T-1, 24 en total (acero longitudinal en el lecho superior e inferior escaso).	1.30 / 1.38	NO CUMPLE	Fallan columnas aledañas a muros de concreto por capacidad a tensión. Los muros de concretos demandados por fuerzas cortantes sobrepasan sus resistencias de diseño.

Vigas en azotea

En la tabla 5.39 se comparan las fuerzas actuantes, que para este prototipo se calcularon con el MDOC (CFE, 2015), con la resistencia nominal de cada una de las vigas de azotea que integran el marco de la estructura.

Las vigas T1, localizadas en la planta de azotea fallan a flexión bajo la solicitación sísmica correspondiente al espectro reducido para la zona D terreno III, como se observa en la tabla.

Tabla 5.39 - Comparación de las resistencias nominales con las fuerzas actuantes de U2C (2011) en vigas de azotea.

		Sección	Resistencia nominal	Fuerza actuante			Sección	Resistencia nominal	Fuerza actuante
Zona C T-I	M+ (t.m)	T1	7.86	1.02	Zona D T-I	M+ (t.m)	T1	7.86	2.57
		T2	7.86	1.02			T2	7.86	2.57
		T3	11.69	6.99			T3	11.69	6.99
		T4	11.69	0.00			T4	11.69	0.00
	M- (t.m)	T1	7.86	3.04		M- (t.m)	T1	7.86	5.35
		T2	7.86	3.04			T2	7.86	5.35
		T3	16.54	10.44			T3	16.54	10.44
		T4	11.69	2.49			T4	11.69	2.49
	V (t)	T1	23.95	2.74		V (t)	T1	23.95	4.06
		T2	23.95	2.74			T2	23.95	4.06
		T3	37.12	7.79			T3	37.12	7.79
		T4	21.08	2.07			T4	21.08	2.07
Zona C T-II	M+ (t.m)	T1	7.86	1.68	Zona D T-II	M+ (t.m)	T1	7.86	4.93
		T2	7.86	1.68			T2	7.86	4.93
		T3	11.69	6.99			T3	11.69	6.99
		T4	11.69	0.00			T4	11.69	0.00
	M- (t.m)	T1	7.86	4.03		M- (t.m)	T1	7.86	7.82
		T2	7.86	4.03			T2	7.86	7.82
		T3	16.54	10.44			T3	16.54	10.44
		T4	11.69	2.49			T4	11.69	2.49
	V (t)	T1	23.95	3.30		V (t)	T1	23.95	5.46
		T2	23.95	3.30			T2	23.95	5.46
		T3	37.12	7.79			T3	37.12	7.79
		T4	21.08	2.07			T4	21.08	2.07
Zona C T-III	M+ (t.m)	T1	7.86	1.93	Zona D T-III	M+ (t.m)	T1	7.86	5.74
		T2	7.86	1.93			T2	7.86	5.74
		T3	11.69	6.99			T3	11.69	6.99
		T4	11.69	0.00			T4	11.69	0.00
	M- (t.m)	T1	7.86	4.40		M- (t.m)	T1	7.86	8.63
		T2	7.86	4.40			T2	7.86	8.63
		T3	16.54	10.44			T3	16.54	10.44
		T4	11.69	2.49			T4	11.69	2.49
	V (t)	T1	23.95	3.52		V (t)	T1	23.95	5.92
		T2	23.95	3.52			T2	23.95	5.92
		T3	37.12	7.79			T3	37.12	7.79
		T4	21.08	2.07			T4	21.08	2.07

Vigas en entrepiso

En la tabla 5.40 se comparan las fuerzas actuantes, que para este prototipo se calcularon con el MDOC (CFE, 2015), con la resistencia nominal de cada una de las vigas de entrepiso que integran el marco de la estructura. En el caso de las vigas de entrepiso, ninguna falla ante las solicitaciones utilizadas.

Tabla 5.40 - Comparación de las resistencias nominales con las fuerzas actuantes de U2C (2011) en vigas de entrepiso.

		Sección	Resistencia nominal	Fuerza actuante			Sección	Resistencia nominal	Fuerza actuante
Zona C T-I	M+ (t.m)	T1	15.74	1.57	Zona D T-I	M+ (t.m)	T1	15.74	2.05
		T2	15.74	1.57			T2	15.74	2.05
		T3	19.18	15.49			T3	19.18	15.49
		T4	11.69	5.33			T4	11.69	5.33
	M- (t.m)	T1	15.74	3.97		M- (t.m)	T1	15.74	6.29
		T2	15.74	3.97			T2	15.74	6.29
		T3	27.21	26.10			T3	27.21	26.10
		T4	27.21	10.20			T4	27.21	10.20
	V (t)	T1	26.12	5.67		V (t)	T1	26.12	5.99
		T2	26.12	5.67			T2	26.12	5.99
		T3	39.02	19.21			T3	39.02	19.21
		T4	28.86	7.42			T4	28.86	7.42
Zona C T-II	M+ (t.m)	T1	15.74	1.57	Zona D T-II	M+ (t.m)	T1	15.74	4.02
		T2	15.74	1.57			T2	15.74	4.02
		T3	19.18	15.49			T3	19.18	15.49
		T4	11.69	5.33			T4	11.69	5.33
	M- (t.m)	T1	15.74	4.96		M- (t.m)	T1	15.74	8.77
		T2	15.74	4.96			T2	15.74	8.77
		T3	27.21	26.10			T3	27.21	26.10
		T4	27.21	10.20			T4	27.21	10.20
	V (t)	T1	26.12	5.67		V (t)	T1	26.12	7.48
		T2	26.12	5.67			T2	26.12	7.48
		T3	39.02	19.21			T3	39.02	19.21
		T4	28.86	7.42			T4	28.86	7.42
Zona C T-III	M+ (t.m)	T1	15.74	1.66	Zona D T-III	M+ (t.m)	T1	15.74	4.83
		T2	15.74	1.66			T2	15.74	4.83
		T3	19.18	15.49			T3	19.18	15.49
		T4	11.69	5.33			T4	11.69	5.33
	M- (t.m)	T1	15.74	5.34		M- (t.m)	T1	15.74	9.58
		T2	15.74	5.34			T2	15.74	9.58
		T3	27.21	26.10			T3	27.21	26.10
		T4	27.21	10.20			T4	27.21	10.20
	V (t)	T1	26.12	5.67		V (t)	T1	26.12	7.97
		T2	26.12	5.67			T2	26.12	7.97
		T3	39.02	19.21			T3	39.02	19.21
		T4	28.86	7.42			T4	28.86	7.42

Columna C-1

La interacción de la carga axial con la flexión respecto a los planos de simetría de las columnas C1 más demandadas, se muestra en las figs. 5.20 y 5.21. Mientras que la interacción de la carga axial con la flexión respecto a los planos de simetría de las columnas C2 más demandadas se muestra en las figs. 5.22 y 5.23.

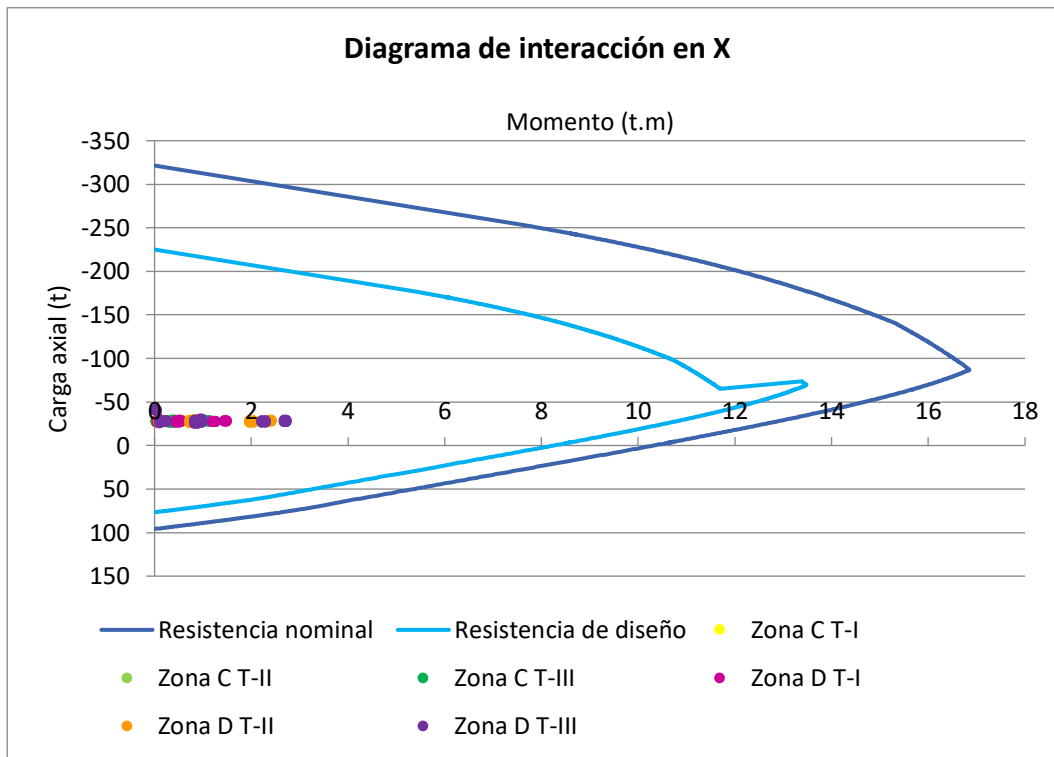


Figura 5.20 - Diagrama de interacción carga axial-momento flexionante para U2C del 2011 (Columna C-1, Dirección X, demandas espectrales del MDOC, 2015).

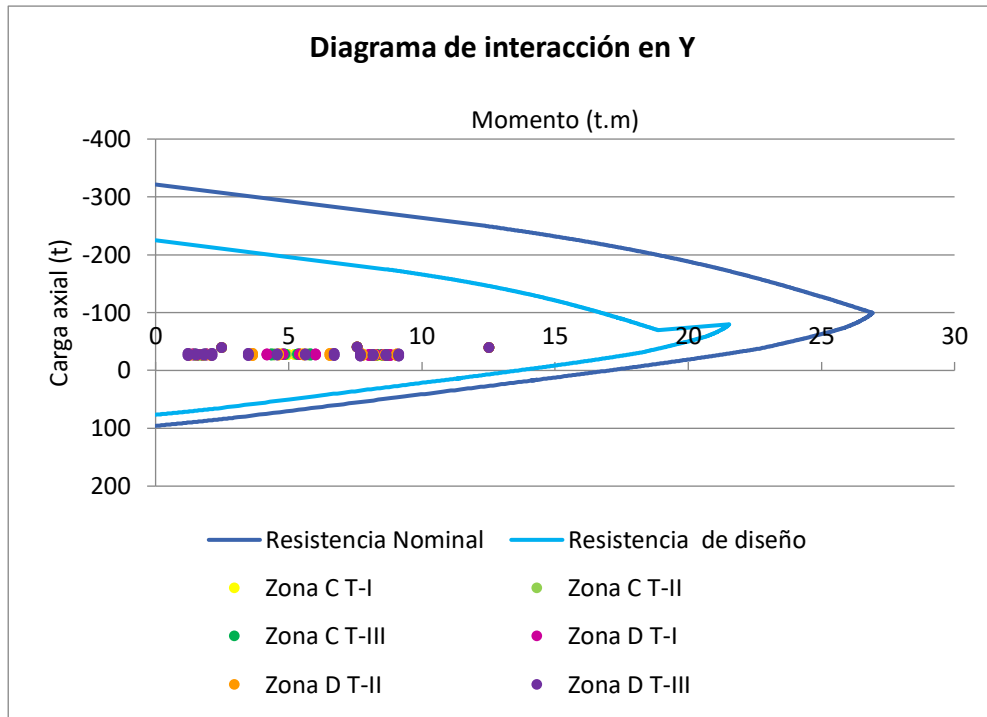


Figura 5.21 - Diagrama de interacción carga axial-momento flexionante para U2C del 2011 (Columna C-1, Dirección Y, demandas espectrales del MDOC, 2015).

Columna C-2

La columna C-2 falla por flexión-tensión en ambas direcciones para los terrenos II y III en la zona D.

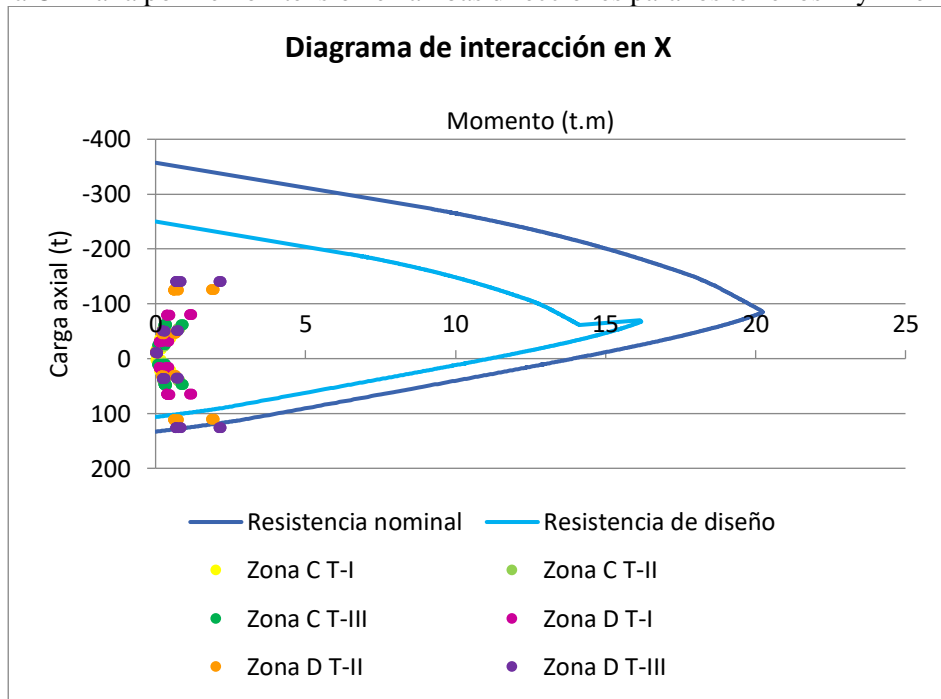


Figura 5.22 - Diagrama de interacción carga axial-momento flexionante para U2C del 2011 (Columna C-2, Dirección X, demandas espectrales del MDOC, 2015).

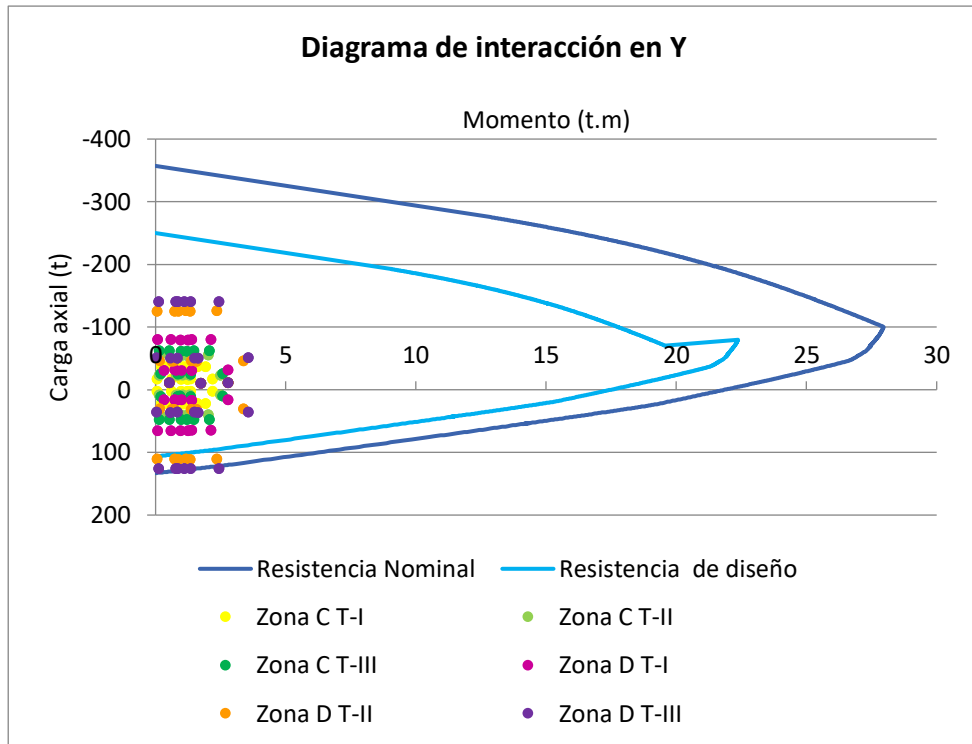


Figura 5.23 - Diagrama de interacción carga axial-momento flexionante para U2C del 2011 (Columna C-2, Dirección Y, demandas espectrales del MDOC, 2015).

Muros diafragma

En la tabla 5.41 se comparan las fuerzas actuantes, que para este prototipo se calcularon con el MDOC (CFE, 2015), con la resistencia nominal de cada uno de los muros que integran el marco de la estructura.

Las fuerzas cortantes en los muros de concreto sobrepasan sus resistencias de diseño debidas a sollicitaciones sísmicas correspondientes a los espectros reducidos de la zona D con terrenos tipo II y III.

Tabla 5.41 - Comparación de las resistencias nominales con las fuerzas actuantes de U2C (2011) en muros diafragma.

		Sección	Resistencia nominal	Fuerza actuante
Zona C T-I	V (ton)	M1	218.96	50.52
		M2	323.23	89.75
		M3	323.23	89.75
		MT-R	18.45	3.62
Zona C T-II	V (ton)	M1	218.96	81.13
		M2	323.23	152.35
		M3	323.23	152.35
		MT-R	18.45	5.67
Zona C T-III	V (ton)	M1	218.96	92.67
		M2	323.23	171.68
		M3	323.23	171.68
		MT-R	18.45	6.31
Zona D T-I	V (ton)	M1	218.96	122.14
		M2	323.23	212.09
		M3	323.23	212.09
		MT-R	18.45	7.67
Zona D T-II	V (ton)	M1	218.96	198.43
		M2	323.23	331.55
		M3	323.23	331.55
		MT-R	18.45	11.65
Zona D T-III	V (ton)	M1	218.96	221.21
		M2	323.23	370.41
		M3	323.23	370.41
		MT-R	18.45	12.94

5.8.3 Análisis estático no lineal

6.8.3.1 Consideraciones específicas para el prototipo

Se hicieron las mismas consideraciones que para su versión de 1985.

6.8.3.2 Curva envolvente fuerza – desplazamiento

En las figs. 5.24 y 5.25 se presentan las curvas de capacidad (cortante basal-desplazamiento de azotea) en las direcciones X y Y, respectivamente para $F'c = 250 \text{ kg/cm}^2$.

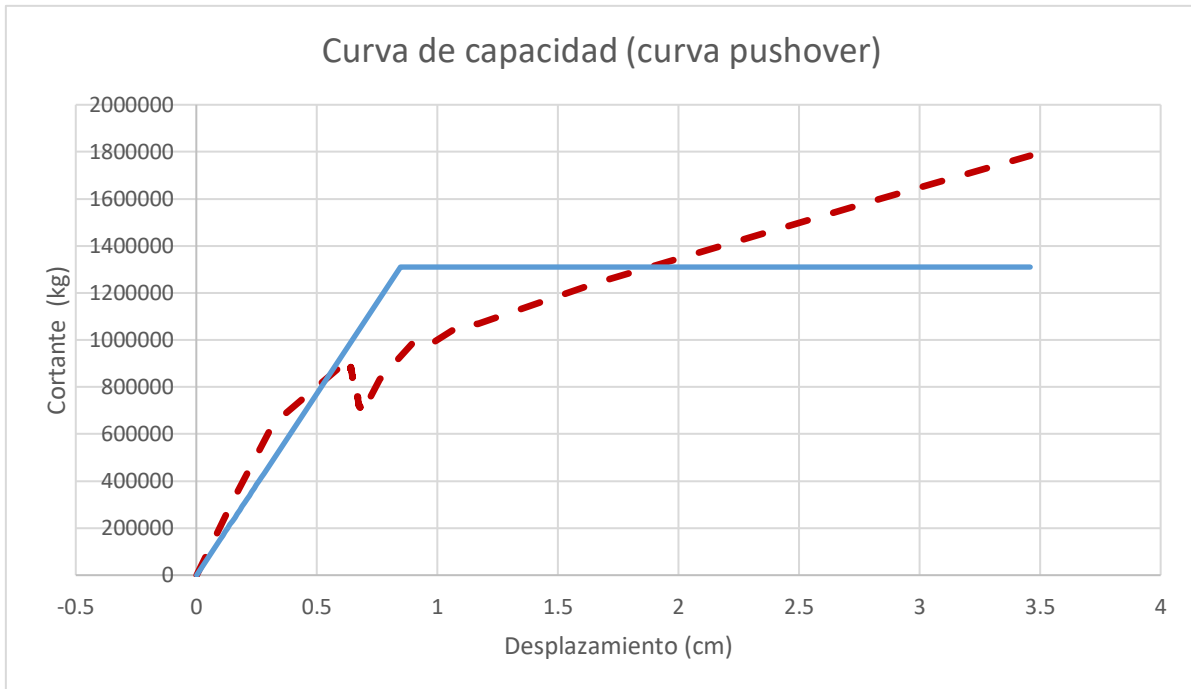


Figura 5.24 - Curva de capacidad de U2C 2011 (Dirección X).

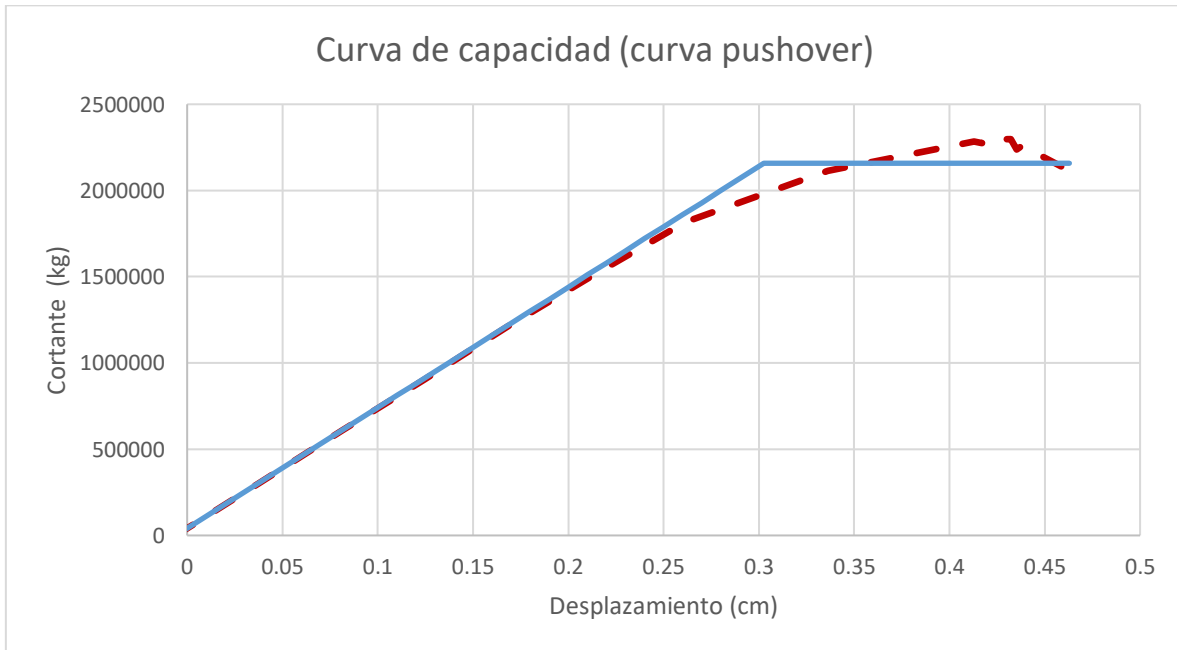


Figura 5.25 - Curva de capacidad de U2C 2011 (Dirección Y).

Al igual que, en el prototipo de un nivel, se realizó la misma comparación de escenarios variando las propiedades de los materiales (resistencia y módulo de elasticidad). A continuación, se muestran los resultados.

Al igual que, el prototipo de un nivel, a menor resistencia en los materiales la deformación es mayor. Mientras que para la mayor resistencia (350 kg/cm^2) la deformación es parecida al de 250 kg/cm^2 .

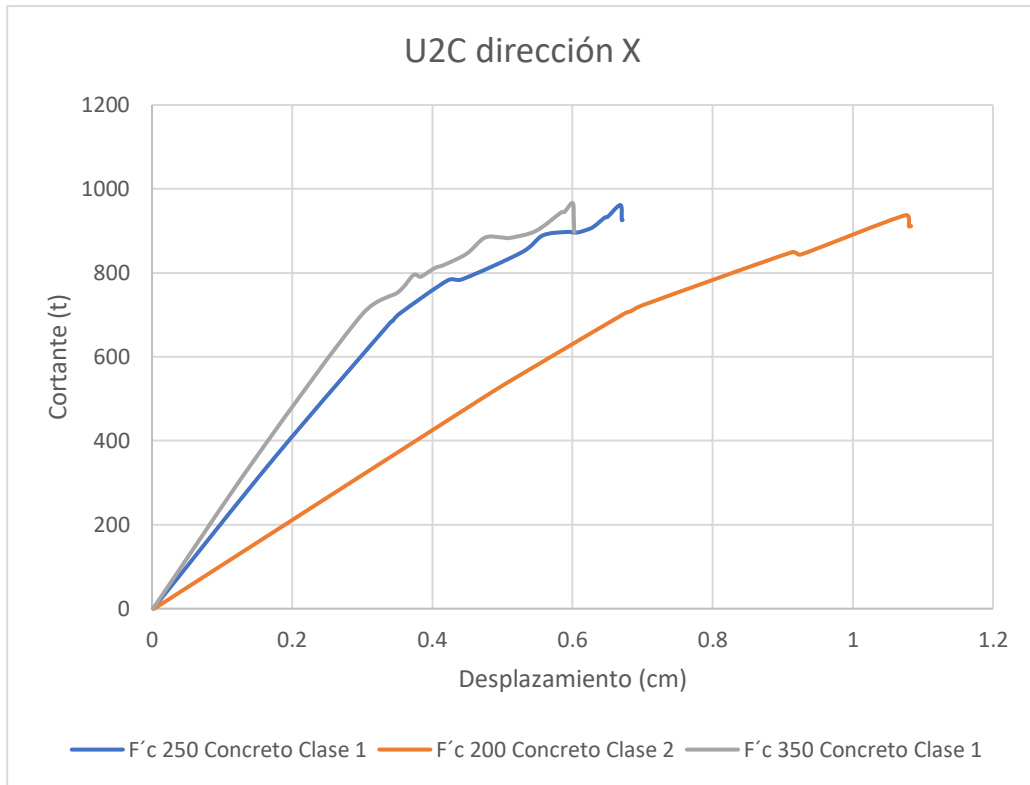


Figura 5.26 – Comparación de curvas en distintos escenarios (dirección X).

5.8.3.3 Comparación con la demanda sísmica

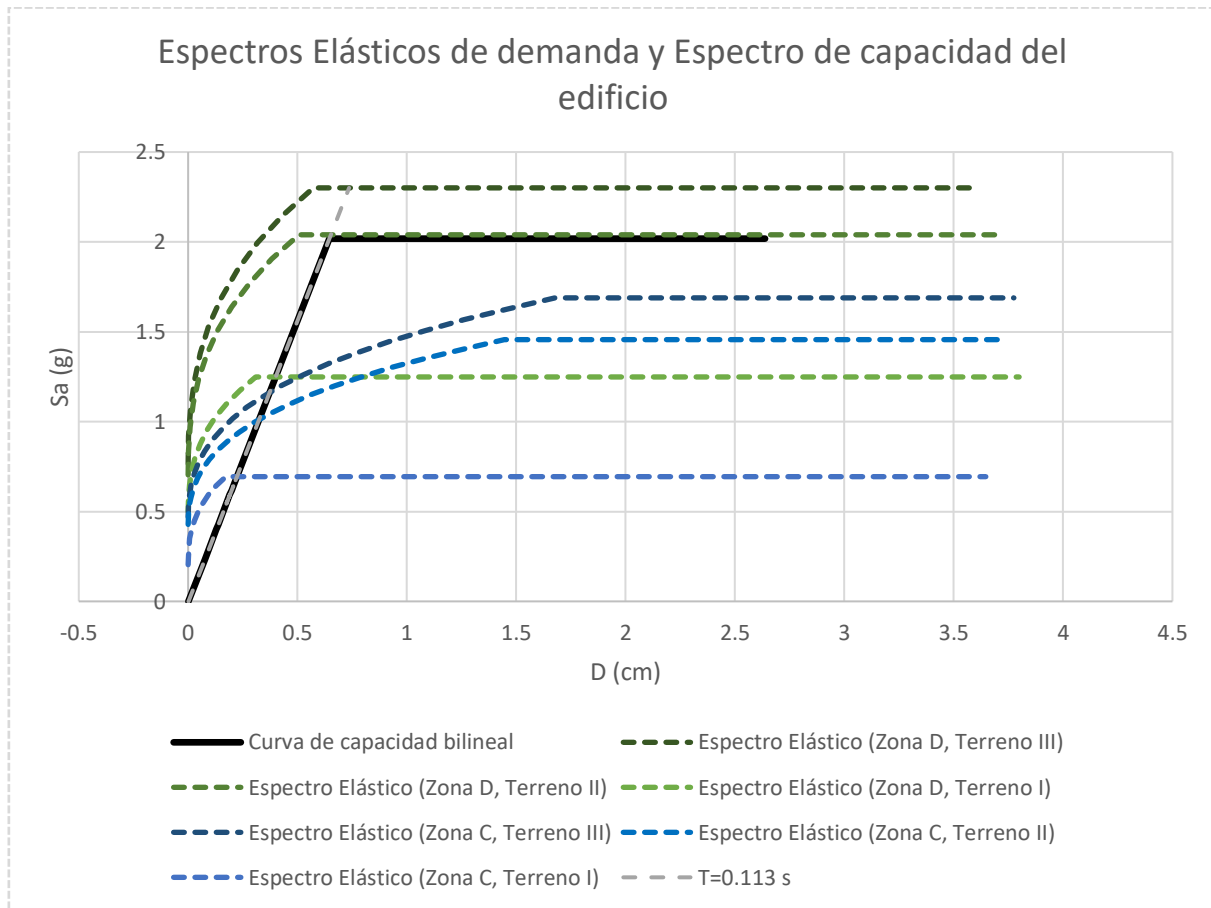


Figura 5.27 - Comparación de los Espectros Elásticos de Demanda con el Espectro de Capacidad (Dirección X).

En la fig. 5.27 se comparan los espectros elásticos de demanda con el espectro de capacidad en la dirección X.

La curva de capacidad es idealizada con un modelo elasto-plástico perfecto para determinar los puntos de desempeño mediante el Método N2 (Fajfar y Gaspersic, 1996).

La demanda sísmica está representada por la intersección de los espectros de demanda elásticos y la línea correspondiente al periodo elástico ($T=0.218$ s).

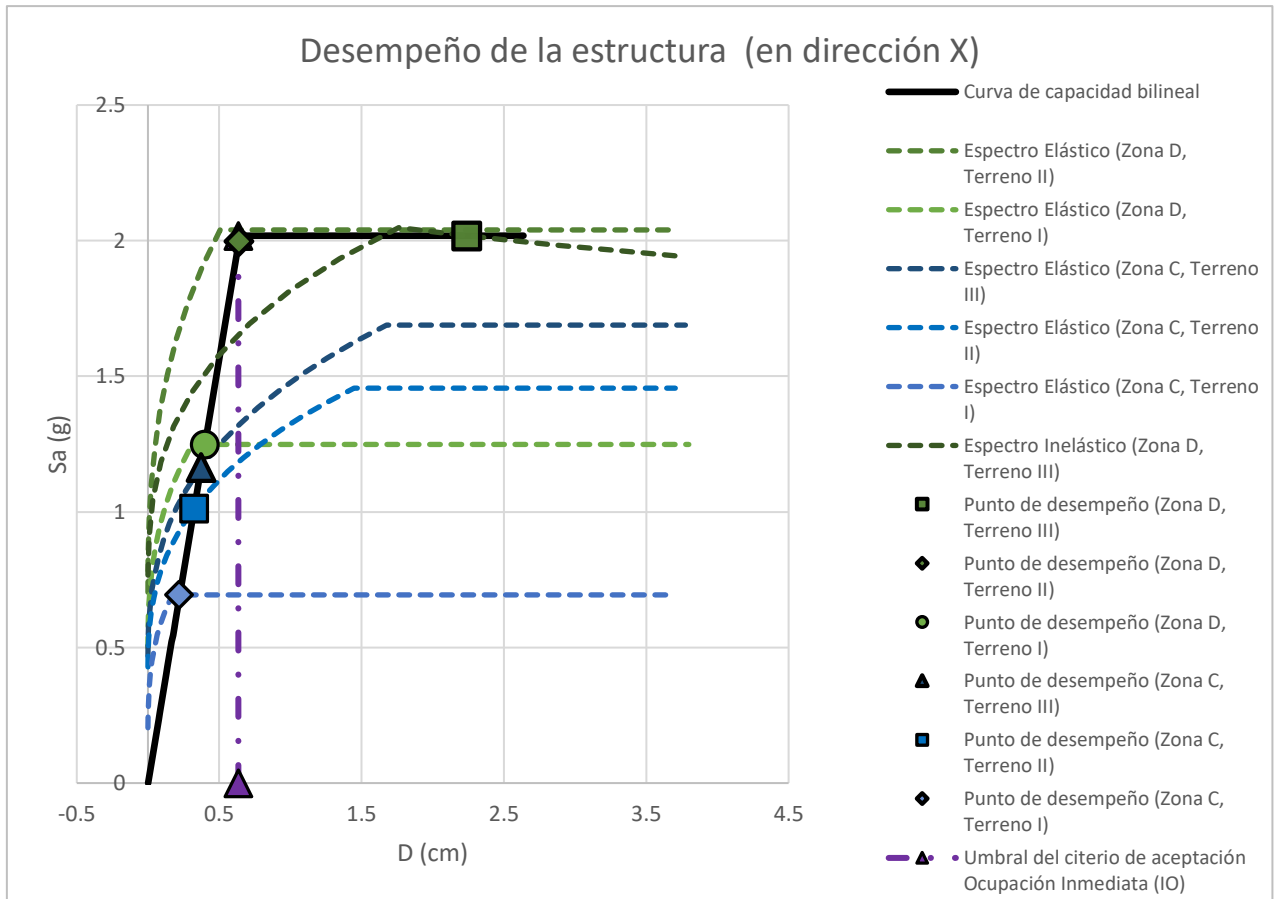


Figura 5.28 - Desempeño de U2C 2011 bajo las demandas espectrales (Dirección X).

En la fig. 5.28 se comparan la respuesta calculada y la idealizada con las demandas espectrales inelásticas. La intersección de la respuesta idealizada (curva de capacidad bilineal) con los espectros inelásticos son llamados “puntos de desempeño”. En la gráfica se señala el umbral asociado al criterio de desempeño de Ocupación Inmediata (IO, en inglés), el cual está delimitado por el primer elemento que excede el umbral de Ocupación Inmediata establecido en las articulaciones plásticas localizadas en los extremos de cada elemento que conforman el marco del *edificio índice*. el rango de IO estuvo limitado por la rigidez y el 30% de la capacidad de desplazamiento inelástico.

Al igual que la estructura de un nivel, el desplazamiento alcanzado para el terreno III zona D supera el umbral IO, mientras que los otros están dentro de este.

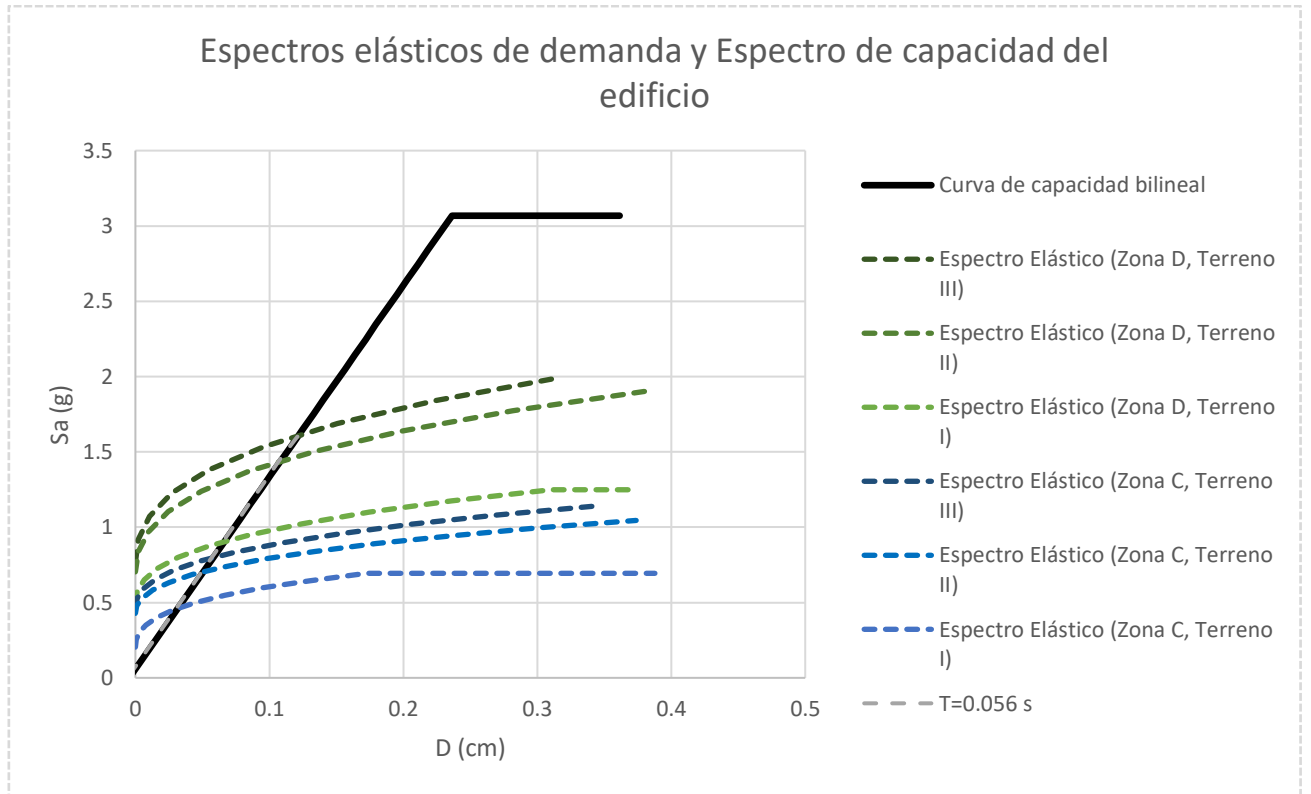


Figura 5.29 - Comparación de los Espectros Elásticos de Demanda con el Espectro de Capacidad (Dirección Y).

En la fig. 5.29 se comparan los espectros elásticos de demanda con el espectro de capacidad en la dirección Y.

La curva de capacidad es idealizada con un modelo elasto-plástico perfecto para determinar los puntos de desempeño mediante el Método N2 (Fajfar y Gaspersic, 1996).

La demanda sísmica está representada por la intersección de los espectros de demanda elásticos y la línea correspondiente al periodo elástico ($T=0.219$ s).

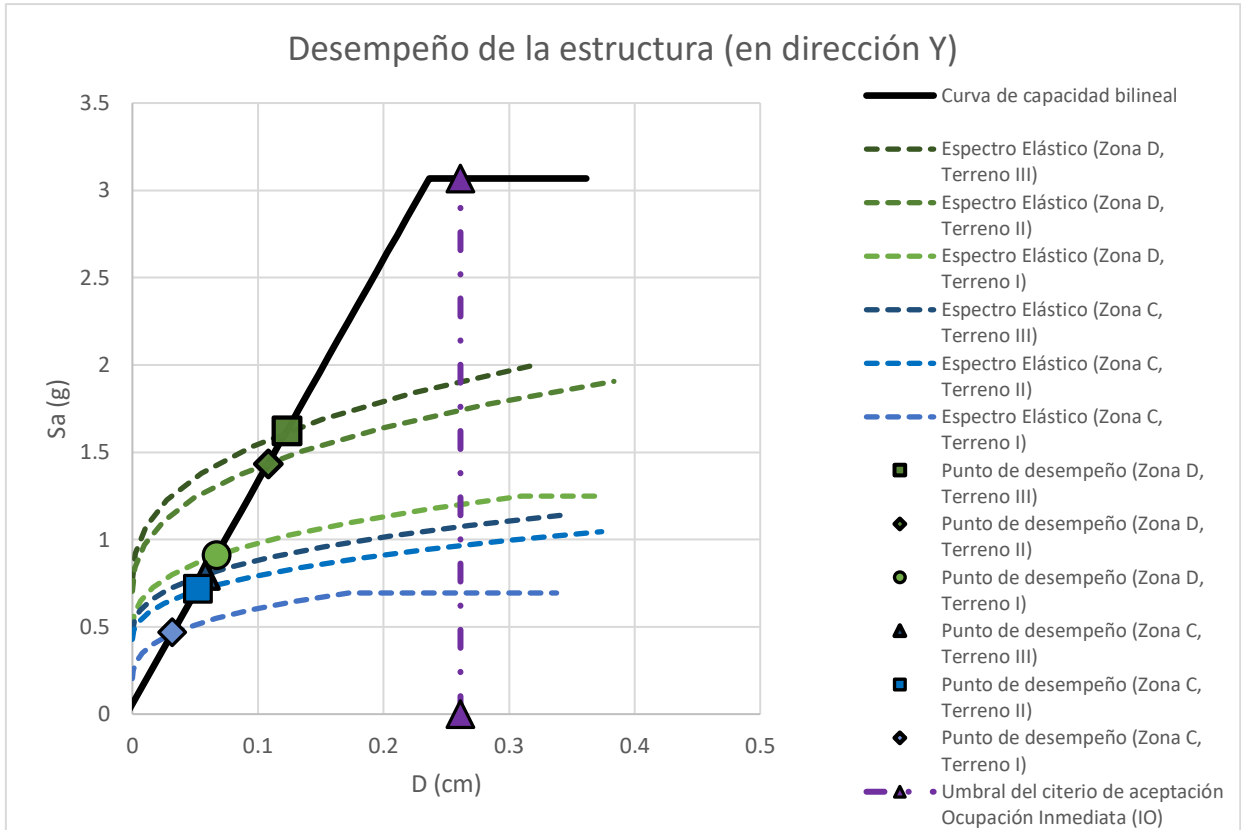


Figura 5.30 - Desempeño U2C 2011 bajo las demandas espectrales (Dirección Y).

En la fig. 5.30 se comparan la respuesta calculada y la idealizada con las demandas espectrales inelásticas. En la gráfica se muestran los puntos de desempeño para cada uno de los espectros de demanda, así como el umbral asociado al nivel de desempeño de Ocupación Inmediata (IO, en inglés), el cual está delimitado por el primer elemento que excede el umbral de Ocupación Inmediata establecido en las articulaciones plásticas localizadas en los extremos de cada elemento que conforman el marco del *edificio índice*. el rango de IO estuvo limitado por la rigidez y el 30% de la capacidad de desplazamiento inelástico.

Para este caso, todos los desplazamientos alcanzados no superan el rango IO, por lo tanto la estructura se comporta de manera adecuada.

CAPÍTULO 6

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se presentan las conclusiones y las recomendaciones a seguir luego del estudio de la infraestructura educativa en los distintos ámbitos tratados en esta tesis.

6.2 BASE DE DATOS Y RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN

Con base en la información analizada en las cédulas proporcionadas se concluye y recomienda:

- Establecer un protocolo de acción ante eventos sísmicos eficaz.
- Unificar criterios, métodos y formatos para las evaluaciones de las estructuras, independientemente del uso que tengan.
- Ante un fenómeno natural, como los movimientos sísmicos, es necesario establecer diferentes niveles de revisión, los cuales se sugieren sean dos: a) revisión rápida y b) revisión exhaustiva.
- Establecer un criterio único de evaluación del nivel del daño en una estructura con la finalidad de tomar decisiones rápidas sobre su posible ocupación inmediata.
- Como apoyo a la descripción de los daños observados en una estructura, es necesario hacer un informe fotográfico con la suficiente cantidad de fotografías de tal manera que, ante alguna duda, se pueda identificar lo sucedido con el soporte de este material.
- Designar a una instancia responsable el levantamiento de daños, la cual sea la encargada de la logística de las revisiones y de los criterios antes mencionados, con la finalidad de agilizar procesos y mitigar riesgos.
- Hacer uso de las tecnologías de la información que permitan disponer de la información recabada en campo con prontitud.
- La institución responsable debe de brindar a su personal responsable de las revisiones la capacitación necesaria para saber cómo actuar ante una emergencia con prontitud.

Se considera indispensable establecer una metodología de evaluación de estructuras que permita establecer las condiciones de seguridad que guarda una estructura después de un evento sísmico, por ejemplo. En esta metodología se deberán establecer los puntos mínimos necesarios para tener la información suficiente para la toma de decisiones sobre aspectos como seguridad de la edificación y económicos, si es que del dictamen se observa que la estructura se puede rehabilitar.

6.3 EVALUACIÓN DE DAÑOS

Como se pudo ver en el capítulo 3, las escuelas de concreto se localiza principalmente en zonas con mayor urbanización, tal es el caso de las estructuras de dos y tres niveles, en las cuales el 40% y el 60% , respectivamente, se encuentran en la Ciudad de México y Estado de México. En contraste, para las estructuras de un nivel, los estados con mayor cantidad de escuelas son Chiapas y Oaxaca con 50% de ellas.

Con respecto al año de construcción, los tres prototipos de concreto fueron construidos, en su mayoría, antes de 1985. Ello se tradujo en mayor daño debido a las técnicas constructivas y los requisitos de diseño empleados en esos años que han sido superados.

Los elementos más dañados en estas estructuras fueron las columnas debido a las fallas por columna corta descritas. La frecuencia de este tipo de daño fue de 5.8 % en U1C, 10.82% en U2C y 9.84% en U3C con daño grave. También se presentaron daños en vigas y en muros, pero el daño de estos elementos fue menor que en columnas.

Los daños más típicos se presentaron en columnas con fallas por concentración de cortante por efecto de columnas cortas, lo cual es debido a la interacción de muros o parapetos bajo ventana, cuyos efectos fueron exacerbados por la falta de detallado suficiente para resistir el cortante demandado. Además, se presentaron gran cantidad de daños en muros de relleno, que si bien no forman parte de la estructuración pueden causar daños a los usuarios y grandes gastos de reparación o reconstrucción.

6.4 VISITAS DE CAMPO A ESCUELAS

De los cinco planteles visitados, cada uno de ellos se encontraba en diferentes condiciones, es decir, algunas estaban en proceso de rehabilitación o reconstrucción y algunas otras no sufrieron daño alguno. Las visitas permitieron corroborar lo observado en los Capítulos 2 y 3. Además, se pudo constatar que los métodos constructivos empleados para la reconstrucción exhiben algunas diferencias entre los planos y el campo. Por ello se hacen las siguientes recomendaciones:

- Homologar los prototipos para cada una de las zonas sísmicas, con la finalidad de una evaluación del daño más rápida.
- Realizar revisiones en campo a las construcciones de escuelas, con el objetivo de detectar errores y salvaguardar la seguridad estructural.
- Evitar la autoconstrucción de escuelas que asemejen a prototipos INIFED, pero con modificaciones sin sustento de diseño sismorresistente.

Con lo visto en campo se constata que la mayoría de las estructuras escolares no corresponde a prototipos, sino a estructuras con cierto grado de atipicidad, sea en materiales o bien debido a una baja calidad de diseño, detallado y construcción sismorresistente.

6.5 COMPORTAMIENTO NUMÉRICO DE LOS EDIFICIOS

Es evidente el desempeño superior esperado de los edificios diseñados después de 1985. De acuerdo con los resultados numéricos, las estructuras construidas antes de 1985 presentarían daños severos y, probablemente, el colapso ante las demandas de diseño. Solamente los edificios localizados en terreno tipo I en la Zona C presentarían daños ligeros (consistentes con el nivel de desempeño OI) y moderados.

Para los edificios anteriores a 1985, se recomienda diseñar e implantar un programa de evaluación de la seguridad estructural y de rehabilitación sísmica de las escuelas en la Zona C, terrenos tipo II y III, y la Zona D, terrenos tipo I, II y III a fin de que cumplan con la normatividad de la Comisión Federal de Electricidad (CFE, 2015) y en el Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal (GCDMX, 2017).

Con respecto a los edificios de concreto diseñados posteriormente al sismo de 1985, se concluye que tienen altas probabilidades de exhibir un comportamiento consistente con el nivel de desempeño OI. Se recomienda revisar el diseño de los edificios para la Zona D, terreno tipo III ya que, según los análisis numéricos, pueden experimentar daños moderados/severos para las solicitaciones de diseño.

La elaboración de modelos numéricos tridimensionales fue de vital importancia para el desarrollo de esta tesis, debido a que permitieron modelar el comportamiento esperado de los edificios con mayor exactitud, sobre todo con los modelos no lineales. Lo anterior, significó un reto debido a la cantidad de conocimiento que se necesita para realizar este tipo de modelado.

REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

Alcocer, S.M., Muriá D., Arce J.C., Durán R., Fernández L., Ordaz M., Arroyo D., Jaime M.A., Rodríguez G., Rodríguez M., (2018)., “Servicio de Asesoramiento para Apoyar la Recuperación de la Infraestructura Escolar en México Afectada por los Sismos de septiembre de 2017”, Instituto de Ingeniería, UNAM, 435 pp.

Alcocer, S.M., Aguilar, G., Flores, L., Bitrán, D., Durán, R., López, O.A., Pacheco, M.A., Reyes, C., Uribe, C.M., y Mendoza, M.J. (2001). “El sismo de Tehuacán del 15 de junio de 1999,” Centro Nacional de Prevención de Desastres (SEGOB), Serie de Informes Técnicos, ISBN 970-628-601-2, dic. 2001, 198 pp.

Báez, C. (2018). Comunicación personal.

CENAPRED (2015), Infografía "Desastres en México - Impacto Social y Económico". <https://goo.gl/B49ktw>

CENAPRED (2016), Impacto Socioeconómico de los Principales Desastres Ocurridos en México en el Año 2016 (RESUMEN EJECUTIVO). <https://goo.gl/dA7rjL>

Comisión Federal de Electricidad, (2015). “Manual de Diseño de Obras Civiles. Diseño por Sismo,” Distrito Federal.

Cruz, V.M. (2013). “Los sismos: Una amenaza cotidiana” la caja de cerillos editorial. México D.F., ISBN 978-607-8205-05-9, pp. 26-51.

El Financiero (2018) “Aumenta a 369 víctimas por sismo en México”. <https://www.elfinanciero.com.mx/nacional/esto-es-lo-que-sabemos-de-danos-del-sismo-en-los-estados>

Gobierno de la Ciudad de México (GCDMX) (2017). “Normas Técnicas Complementarias,” Gaceta Oficial de la Ciudad de México, No. 220 bis, diciembre 15, 2017.

Gobierno de la Ciudad de México (GCDMX) (2018a), “Programa para la Reconstrucción de la Ciudad de México,” <http://www.reconstruccion.cdmx.gob.mx/storage/app/uploads/public/5a5/951/9f3/5a59519f3f047556008364.pdf>

Instituto Nacional de la Infraestructura Física Educativa, INIFED (2017a). “Evaluación de condiciones estructurales de la infraestructura educativa a partir de visitas técnicas, y criterios para la determinación de la rehabilitación,” Ciudad de México.

Instituto Nacional sobre la Infraestructura Física Educativa, INIFED (2017b). “Catálogo general de detalles para rehabilitación de estructuras con daños ligeros, sismos de septiembre de 2017,” Ciudad de México.

Instituto Nacional de la Infraestructura Física Educativa, INIFED (2017c). “Espacio Educativo”, No. 6, Nov-dic, pp. 14-17.

Instituto Nacional de la Infraestructura Física Educativa, INIFED (2017d). “Catálogo de Estructuras Tipo INIFED,” 47 pp.

Pérez-Campos, X. (2018). Comunicación personal.

Plataforma CDMX (2018). “Plataforma CDMX, reconstrucción” GCDMX. <https://plataforma.cdmx.gob.mx/niveles-de-riesgo/derrumbes>

Ramírez, L. (2017). Comunicación personal.

Singh, S.K. (2018). Comunicación personal.

Singh, S.K., Reinoso, E., Arroyo, D., Ordaz, M., Cruz-Atienza, V., Pérez-Campos, X., Iglesias, A., y Hjörleifsdóttir V. (2018). “Deadly intraslab Mexico earthquake of 19 September 2017 (Mw7.1): ground motions and damage pattern in Mexico City,” accepted for publication in *Seismological Research Letters*.

SHCP (2018) “Fuerza México”. <https://www.transparenciapresupuestaria.gob.mx/es/PTP/fuerzamexico>

SSN (2017) “Informe especial: Sismo de Tehuantepec (2017-09-07 23:49 Mw 8.2)”. Servicio sismológico nacional. Instituto de geofísica de la UNAM.

SSN (2017) “Informe especial: Sismo Puebla-Morelos (2017-09-19 13:40 M 7.1)”. Servicio sismológico nacional. Instituto de geofísica de la UNAM.

SSN (2019) “Catálogo de sismos”. Servicio sismológico nacional. Instituto de geofísica de la UNAM. <http://www2.ssn.unam.mx:8080/catalogo/>

Structural Engineers Association of California, SEAOC, (1995). *Performance based seismic engineering of buildings – Vision 2000*, California, USA, 1995.

The Japan Building Disaster Prevention Association. (2001) “Standard for Seismic Evaluation and Guidelines for Seismic Retrofit of Existing R/C Buildings”.

ANEXO 2.1

**LISTADO DE DATOS QUE SE INCLUYEN EN LAS CÉDULAS DE
EVALUACIÓN**

ANEXO 2.2

CAMPOS QUE SE INCLUYEN EN LA BASE DE DATOS

ANEXO 2.3

CAMPOS QUE SE INCLUYEN EN LA BASE DE DATOS

ANEXO 2.4

MANUAL PARA EL USO DE LA CÉDULA DIGITAL

ANEXO 2.5

INFORME DE LA CÉDULA DIGITAL DE INFORMACIÓN

ANEXO 3.1

PLANOS ESTRUCTURALES DE PROTOTIPOS

Anexo 3.1

LISTADO DE DATOS QUE SE INCLUYEN EN LAS CÉDULAS DE EVALUACIÓN

CCT _____

Por plantel	Si	No	
<ul style="list-style-type: none"> • Fecha • CCT • Coordenadas • No de usuarios • Área total del plantel • Número de cédula 	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	
Por edificio			
<ul style="list-style-type: none"> • Identificación del edificio • Tipo de estructura • Número de entre ejes • Material muros • Material cubiertas • Instalación eléctrica • Instalación hidrosanitaria • Aire acondicionado • Instalaciones especiales • Descripción general del daño • Descripción ampliada del daño (Aquella incluida en el apartado 6) 	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	
Áreas e instalaciones exteriores			
<ul style="list-style-type: none"> • Descripción del daño 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Reporte fotográfico	Fotos claras <input type="checkbox"/>	Fotos poco claras <input type="checkbox"/>	No incluye <input type="checkbox"/>
Planta de conjunto	Con cotas claras <input type="checkbox"/>	Con cotas poco claras <input type="checkbox"/>	Sin cotas/No <input type="checkbox"/>
Clasificación			

Verde.- Todos los puntos destacados en negritas están incluidos, reporte fotográfico con fotos claras y para el caso de las estructuras clasificadas como "Atípicas" deben estar incluidas las dimensiones de los elementos estructurales y su ubicación en planta.

Amarillo.- Todos los puntos destacados en negritas están incluidos, reporte fotográfico con fotos poco claras y para el caso de las estructuras clasificadas como "Atípicas" debe estar incluida la ubicación en planta con dimensiones de los elementos estructurales.

Rojo.-No incluye alguno de los puntos destacados.

Daños estructurales reportados:

Colapso	Estructura separada de su cimentación	Asentamiento diferencial (NTG)	Inclinación notoria	columnasPB, Nulo [%]	columnasPB, Ligero [%]	columnasPB, Medio [%]	columnasPB, Grave [%]	Columnas PS,Nulo [%]	Columnas PS,Ligero [%]	Columnas PS,Medio [%]	Columnas PS,Grave [%]
No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No
No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No
No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No
No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No
No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No
No	No	No	No	No	Si	No	No	No	No	No	No
No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No
No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No

Muros PB,Nulo [%]	Muros PB,Ligero [%]	Muros PB,Medio [%]	Muros PB,Grave [%]	Muros PS,Nulo [%]	Muros PS,Ligero [%]	Muros PS,Medio [%]	Muros PS,Grave [%]	Vigas PB,Nulo [%]	Vigas PB,Ligero [%]	Vigas PB,Medio [%]	Vigas PB,Grave [%]
No	Si	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No
No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No
No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No
No	No	Si	No	No	No	No	No	No	No	No	No
No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No
No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No
No	No	Si	No	No	No	No	No	No	No	No	No
No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No
No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No

Vigas PS,Nulo [%]	Vigas PS,Ligero [%]	Vigas PS,Medio [%]	Vigas PS,Grave [%]	Losa PB,Nulo [%]	Losa PB,Ligero [%]	Losa PB,Medio [%]	Losa PB,Grave [%]	Losa PS,Nulo [%]	Losa PS,Ligero [%]	Losa PS,Medio [%]	Losa PS,Grave [%]	Fallas en cimentación
No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No
No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No
No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No
No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No
No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No
No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No
No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No
No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No
No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No

Daños no estructurales reportados:

Muros de fachada	Muros divisorios	Elementos de cubierta de la losa	Cancelería	Ventanas	Bardas perimetrales	Luminaria	Tinacos	Cisterna	Barandales / parapetos / pretilas	Objetos caídos
No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No
No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No
No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No
No	No	Si	No	No	No	No	No	No	No	No
No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No
No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No
Si	Si	No	No	No	No	No	Si	No	No	No
No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No
No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No

Fallas en los sistemas:

Objetos caídos	Fallas en el sistema hidrosanitario	Fallas del suministro eléctrico	Fallas en el sistema de gas	Falla en el sistema de telecomunicaciones
No	No	No	No	No
No	No	No	No	No
No	No	No	No	No
No	No	No	No	No
No	No	No	No	No
No	No	No	No	No
No	Si	No	No	No
No	No	No	No	No
No	No	No	No	No

Acciones de restauración:

Acciones de restauración	Costo total de las acciones de rehabilitación para los elementos estructurales	Costo total de las acciones de reparación para los elementos no estructurales
EDIF. "A": SUSTITUCIÓN DE APLANADOS EN MUROS, EDIF. "D": SUSTITUCIÓN DE MURO DAÑADO Y RETIRO DE LÁMINA EN MAL ESTADO.	\$ 106,214.00	
EDIF. "A": SUSTITUCIÓN DE APLANADOS EN MUROS, EDIF. "D": SUSTITUCIÓN DE MURO DAÑADO Y RETIRO DE LÁMINA EN MAL ESTADO.	\$ 106,214.00	
EDIF. "A": SUSTITUCIÓN DE APLANADOS EN MUROS, EDIF. "D": SUSTITUCIÓN DE MURO DAÑADO Y RETIRO DE LÁMINA EN MAL ESTADO.	\$ 106,214.00	
EDIF. "A": SUSTITUCIÓN DE APLANADOS EN MUROS, EDIF. "D": SUSTITUCIÓN DE MURO DAÑADO Y RETIRO DE LÁMINA EN MAL ESTADO.	\$ 106,214.00	
EDIF. "A": SUSTITUCIÓN DE APLANADOS EN MUROS, EDIF. "D": SUSTITUCIÓN DE MURO DAÑADO Y RETIRO DE LÁMINA EN MAL ESTADO.	\$ 106,214.00	
EDIF. "A", "D" Y "G": REPARACIÓN DE FISURAS EN APLANADO DE MUROS, COLUMNAS, TRABES Y LOSAS.	\$ 362,696.00	
EDIF. "A", "D" Y "G": REPARACIÓN DE FISURAS EN APLANADO DE MUROS, COLUMNAS, TRABES Y LOSAS.	\$ 362,696.00	
EDIF. "A", "D" Y "G": REPARACIÓN DE FISURAS EN APLANADO DE MUROS, COLUMNAS, TRABES Y LOSAS.	\$ 362,696.00	

VULNERABILIDAD

Posición en manzana: Esquina Medio Aislado

<p>Irregularidad en planta</p> <input type="checkbox"/> Esquina <input type="checkbox"/> Longitud entrantes/salientes > 20 % <input type="checkbox"/> En "L" u otra geometría irregular	<p>Irregularidad en elevación</p> <input type="checkbox"/> Planta baja flexible <input type="checkbox"/> Marcos o muros no llegan a la cimentación <input type="checkbox"/> Columnas cortas <input type="checkbox"/> Reducción de la planta en pisos superiores	<input type="checkbox"/> Sistemas de entepiso inclinados <input type="checkbox"/> Grandes masas en pisos superiores <input type="checkbox"/> Arreglo irregular de ventanas en fachada <input type="checkbox"/> Cambio brusco de rigidez
<p>Otras fuentes de vulnerabilidad</p> <input type="checkbox"/> Conexión excéntrica trabe-columna <input type="checkbox"/> Péndulo invertido/una sola hilera de columnas <input type="checkbox"/> Un elemento resiste más del 35% del sismo	<input type="checkbox"/> Columna débil-viga fuerte <input type="checkbox"/> Losa plana <input type="checkbox"/> Losa plana Reticular	<p>Edificio vecino <input type="checkbox"/> No aplica</p> <p>Nivel de daño <input type="checkbox"/> Ligero <input type="checkbox"/> Intermedio <input type="checkbox"/> Grave</p> <p>No. de pisos: _____ Colindancia: _____ cm Uso del inmueble: _____</p>

SISTEMA ESTRUCTURAL

<p>Material en muros</p> <input type="checkbox"/> Concreto reforzado <input type="checkbox"/> Concreto prefabricado <input type="checkbox"/> Tabicón de concreto (macizo) <input type="checkbox"/> Bloque de concreto (20x40 cm) <input type="checkbox"/> Ladrillo de barro macizo <input type="checkbox"/> Tabique de arcilla hueco <input type="checkbox"/> Paneles con capa de mortero	<input type="checkbox"/> Otro: _____	<p>SISTEMA DE PISO / TECHO</p> <p>Sistema de piso</p> <input type="checkbox"/> Losa apoyada en traveses <input type="checkbox"/> Losa plana (<i>sin traveses</i>) <input type="checkbox"/> Vigas y piso de madera	<p>Losa de concreto</p> <input type="checkbox"/> Maciza <input type="checkbox"/> Aligerada <input type="checkbox"/> Prefabricada de concreto <input type="checkbox"/> Vigueta y bobedilla <input type="checkbox"/> Lámina acanalada con capa <input type="checkbox"/> Reticular
<p>Refuerzo en la mampostería</p> <input type="checkbox"/> Sin refuerzo <input type="checkbox"/> Mampostería confinada <input type="checkbox"/> Mampostería mal confinada <i>(sin refuerzo en puertas/ventanas)</i>	<input type="checkbox"/> Con refuerzo interior <input type="checkbox"/> Otro: _____	<p>Distancia a ejes de: Traveses secundarios: _____ cm Vigas, viguetas o nervaduras: _____ cm Largueros: _____ cm</p>	<p>Espesor total: _____ cm Capa compresión: _____ cm</p>

<p>ESTRUCTURA PRINCIPAL VERTICAL</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2"></th> <th colspan="2">Planta Baja</th> <th colspan="2">Niveles</th> <th rowspan="2">Sótano</th> <th rowspan="2">Apéndice</th> <th rowspan="2">Cubos <i>(escaleras / elevador)</i></th> </tr> <tr> <th>X</th> <th>Y</th> <th>X</th> <th>Y</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Marcos</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Acero</td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>Concreto</td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>Conc. prefabricado</td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>Cols. y losa plana</td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>Contrav.</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Acero</td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>Concreto</td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>Cubre varios pisos</td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>Cables</td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>Muros</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>De carga mampostería</td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>Diafragma mampost.</td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>De concreto</td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>con vigas de acoplamiento:</td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> </tbody> </table>		Planta Baja		Niveles		Sótano	Apéndice	Cubos <i>(escaleras / elevador)</i>	X	Y	X	Y	Marcos								Acero	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Concreto	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Conc. prefabricado	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Cols. y losa plana	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Contrav.								Acero	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Concreto	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Cubre varios pisos	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Cables	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Muros								De carga mampostería	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Diafragma mampost.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	De concreto	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	con vigas de acoplamiento:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<p>Planos:</p> Arquitectónicos <input type="checkbox"/> Estructurales <input type="checkbox"/> Memoria de cálculo <input type="checkbox"/> Autocostrucción <input type="checkbox"/> <i>(sin cálculo)</i> Otro <input type="checkbox"/> Especificar: _____
		Planta Baja		Niveles					Sótano	Apéndice	Cubos <i>(escaleras / elevador)</i>																																																																																																																										
	X	Y	X	Y																																																																																																																																	
Marcos																																																																																																																																					
Acero	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																																																																																																														
Concreto	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																																																																																																														
Conc. prefabricado	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																																																																																																														
Cols. y losa plana	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																																																																																																														
Contrav.																																																																																																																																					
Acero	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																																																																																																														
Concreto	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																																																																																																														
Cubre varios pisos	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																																																																																																														
Cables	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																																																																																																														
Muros																																																																																																																																					
De carga mampostería	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																																																																																																														
Diafragma mampost.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																																																																																																														
De concreto	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																																																																																																														
con vigas de acoplamiento:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																																																																																																														

REHABILITACIÓN No aplica

<p>Tipo</p> <input type="checkbox"/> Arquitectónicas <input type="checkbox"/> Reparación estruct. <input type="checkbox"/> Refuerzo <input type="checkbox"/> Reestructuración	<p>Técnicas empleadas</p> <input type="checkbox"/> Recimentación <input type="checkbox"/> Encamisado concreto <input type="checkbox"/> Encamisado acero <input type="checkbox"/> Muros: malla y mortero <input type="checkbox"/> Contraventeo	<input type="checkbox"/> Adición de muros concreto <input type="checkbox"/> Adición muros mampostería <input type="checkbox"/> Contrafuertes externos <input type="checkbox"/> Fibra carbono / sintéticos <input type="checkbox"/> Otro	<p>Descripción breve:</p>
---	--	---	---------------------------

EVALUACIÓN DE DAÑOS

<p>Problemas geotécnicos</p> <input type="checkbox"/> Grietas en el terreno circundante <input type="checkbox"/> Hundimientos diferenciales	<input type="checkbox"/> Hundimiento (-) o emersión (+) general = _____ cm <input type="checkbox"/> Inclinación del edificio: _____ %	<p>Estructura</p> <input type="checkbox"/> Colapso total	<p>Colapso parcial</p> <input type="checkbox"/> Techo <input type="checkbox"/> Planta baja <input type="checkbox"/> Piso intermedio <input type="checkbox"/> Sección del edificio _____ % <input type="checkbox"/> Choque con edificio vecino
---	--	--	--

CROQUIS DE LA PLANTA BAJA

Indicar:

Ubicación de columnas

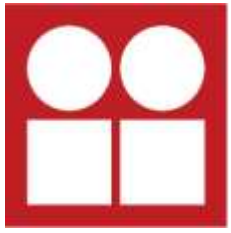
Ubicación de muros de concreto

Ubicación de muros de mampostería

Secciones de columnas

Secciones de muros

} Con aberturas
y sin aberturas
o contravientos



**INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM®**



Manual para el uso y el llenado de la Cédula digital de información de daños estructurales por sismos 7-19 septiembre 2017.

26 de junio de 2018

Elaboró: Rubén Bautista Monroy

Objetivo

Desarrollar una herramienta digital que permita obtener información del estado estructural de la infraestructura educativa luego de los eventos sísmicos del 7 y 19 de septiembre de 2017.

Meta

Con la información obtenida en campo, construir una base de datos de los planteles visitados para su posterior análisis. Además poder gestionar ésta información con la finalidad de generar índices de vulnerabilidad sísmica para futuros eventos.

Introducción

Herramienta para la captura de datos en campo que permite:

1.- La construcción, en tiempo real, de una base de datos que contiene información sobre las condiciones estructurales de la Infraestructura Educativa (INFE), la cual será útil para la detección de riesgos y mitigarlos posteriormente, gestionar la atención de los planteles y generar estrategias para la recuperación de la INFE en futuros eventos a través de la evaluación y monitoreo de los edificios escolares.

2.- Agilizar el proceso de evaluación de la INFE.

Se trata de una aplicación electrónica que se opera desde un dispositivo móvil (Smartphone o Tablet). Una vez descargada la aplicación, se podrán realizar levantamientos sin la necesidad de una conexión a internet móvil, de modo que en los planteles donde no haya este servicio, se podrá realizar el levantamiento sin conexión y posteriormente conectado a internet, subir la información debido a que el formulario se almacena en el dispositivo.

La Cédula está integrada por dos partes. La primera se compone de 15 campos que contienen los datos generales del plantel y en la segunda, se incluyen los datos del levantamiento para cada uno de los edificios del plantel. Es posible incluir fotografías de los inmuebles y de los daños encontrados.

Requerimientos mínimos de sistema

- Sistema operativo

Android: Superior a Android 5.0 (Lollipop)

IOS: superior a la versión 8.2

- Memoria interna

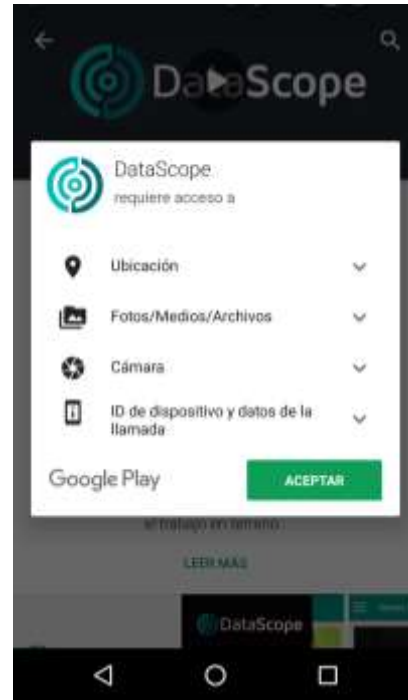
Igual o superior a 4 GB, deseable 8 GB, además se puede complementar con el uso de tarjetas SD externas.

- Cámara

Para tener una buena calidad en imágenes, se debe contar con una cámara de 5 MP.

Descargar la aplicación *Datascopes* de la *Play store* para dispositivos con sistema *Android* o de la *App store* para dispositivos *IOS*.

Android



IOS (iPhone)



Abrir la aplicación, escribir el correo de usuario y contraseña que fueron proporcionados anteriormente.



Oprimir el botón INICIAR SESIÓN, a continuación se mostrarán los formularios disponibles. Para comenzar el levantamiento, seleccionar el formulario “1. Cédula Digital de información de daños estructurales por sismo 7-19 septiembre de 2017”. En este apartado se colocarán datos generales del plantel educativo a revisar.



Pasos a seguir:

1. Colocar la fecha del día que se realizó la inspección.



2. Colocar el CCT (Clave del centro de trabajo). (**Letras en mayúsculas y sin espacios**). Si la escuela cuenta con más de un centro de trabajo, colocarlo en el apartado de otros CCT's separarlos por comas y sin espacios. (ejemplo: 07DRP0012D,07DRP0012M,...).



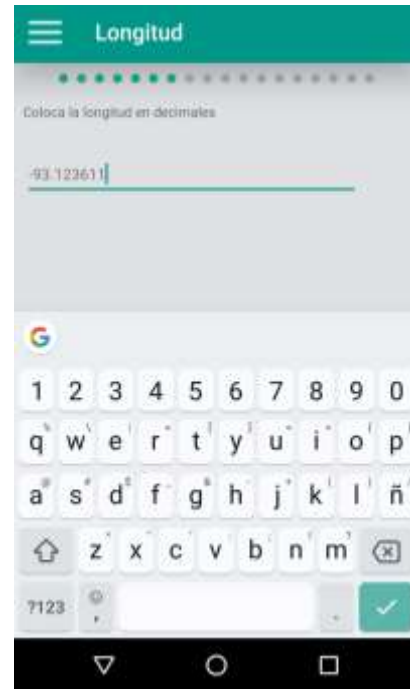
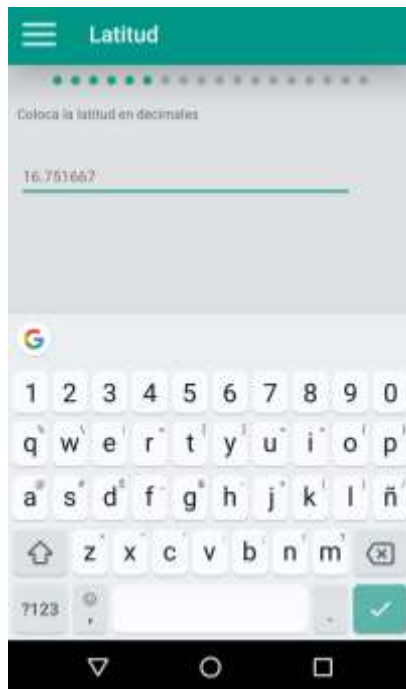
3. Escribir el nombre del plantel.



4. Seleccionar el nivel educativo.
5. Indicar si la escuela es patrimonio o monumento (INAH,INBA)



6. Colocar la latitud y la longitud del plantel en decimales (con seis decimales), para ello se puede hacer uso de alguna otra aplicación móvil (ejem. *GPS Location*).



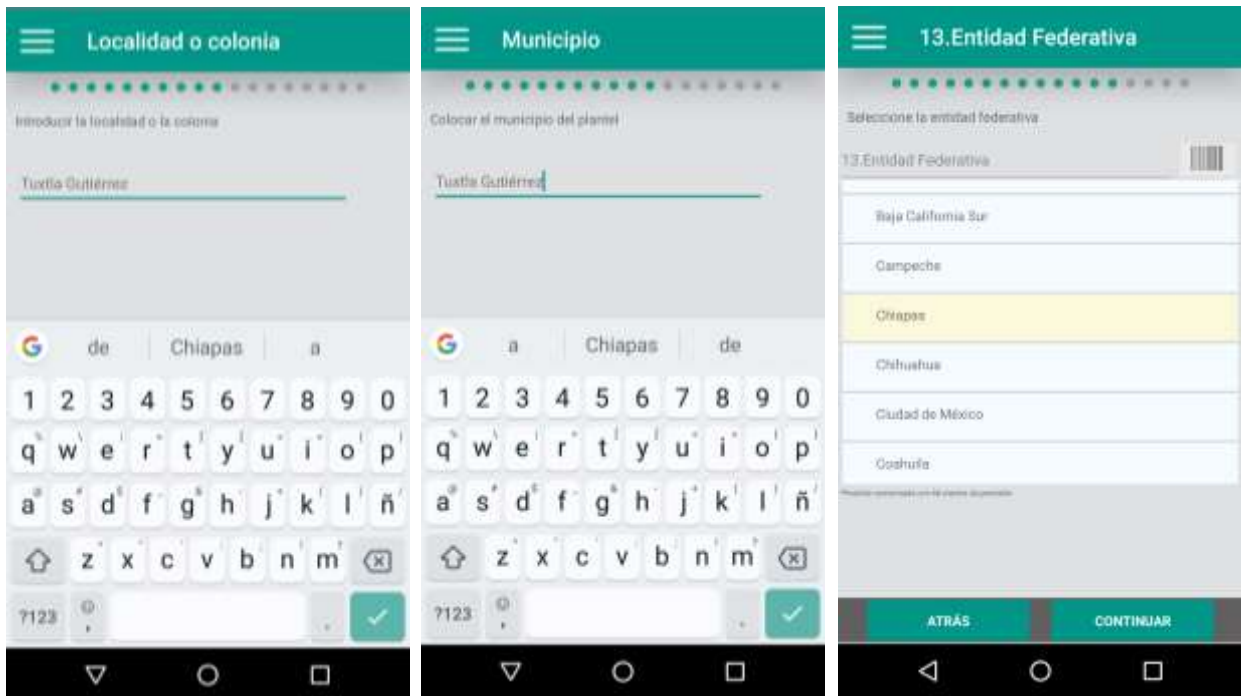
7. Colocar la calle y el número donde se encuentra el plantel, **Evitar el uso de símbolos como (#, No., Núm., N.), sólo se debe colocar la calle seguida del número.** En caso de no contar con número se colocara (S/N). (ejemplo: Periférico norte 35)



8. Colocar el Código postal.



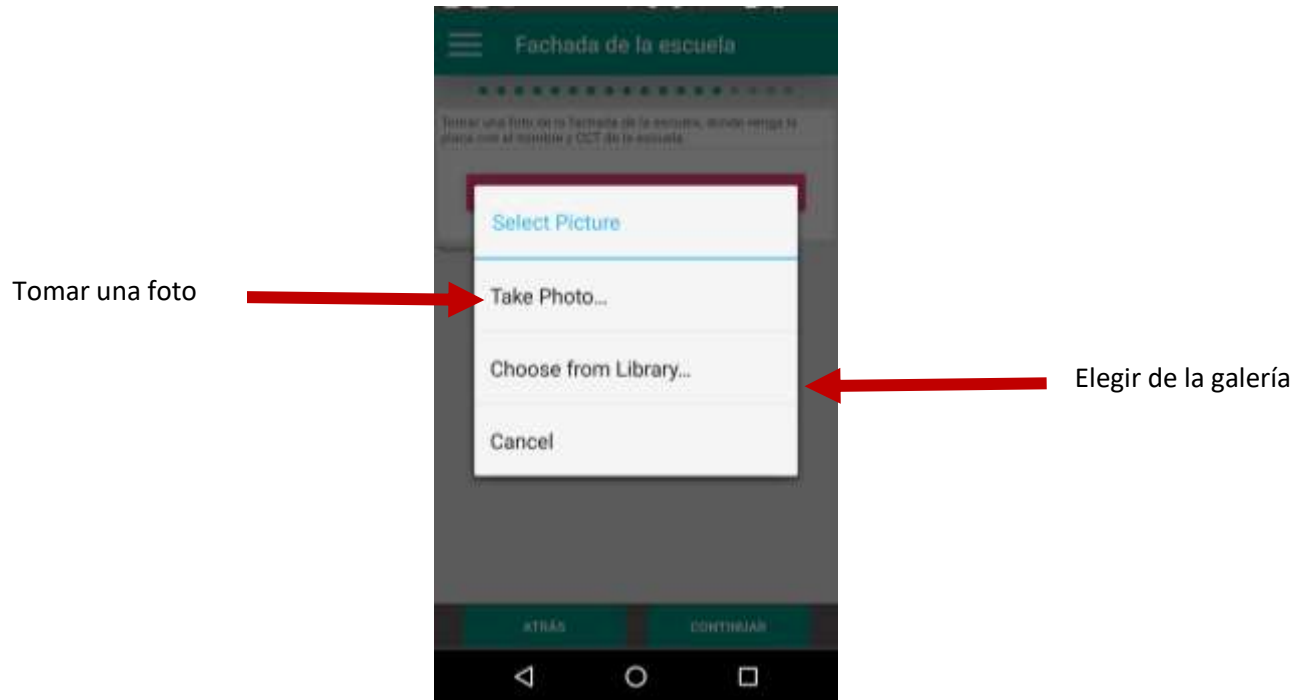
9. Colocar la localidad o la colonia, el municipio y la entidad federativa donde se encuentra el plantel.



10. Colocar el número de alumnos, docentes y personal administrativo que asiste actualmente al plantel.



11. Hacer una fotografía de la fachada de la escuela o bien si se tomó previamente seleccionarla de la galería de fotos, donde venga la placa con el nombre de la escuela y el CCT.



12. Colocar el número de edificios con los que cuenta el plantel.



13. Indicar si en la escuela se presentaron daños en bardas perimetrales caídas o con algún tipo de daño.

16. Daños en bardas

Colocar si la escuela tubo daños en:

16. Daños en bardas

Seleccione texto...

Bardas perimetrales

Seleccione texto...

Si la respuesta fue "SI", describe el daño ocasionado.

ATRÁS CONTINUAR

14. Coloca el nombre de quien realizó el levantamiento general.

Coloca tu nombre

Nombre del que realizó el formulario

Rubén Bautista Morroy

que Rubén de

1 2 3 4 5 6 7 8 9 0

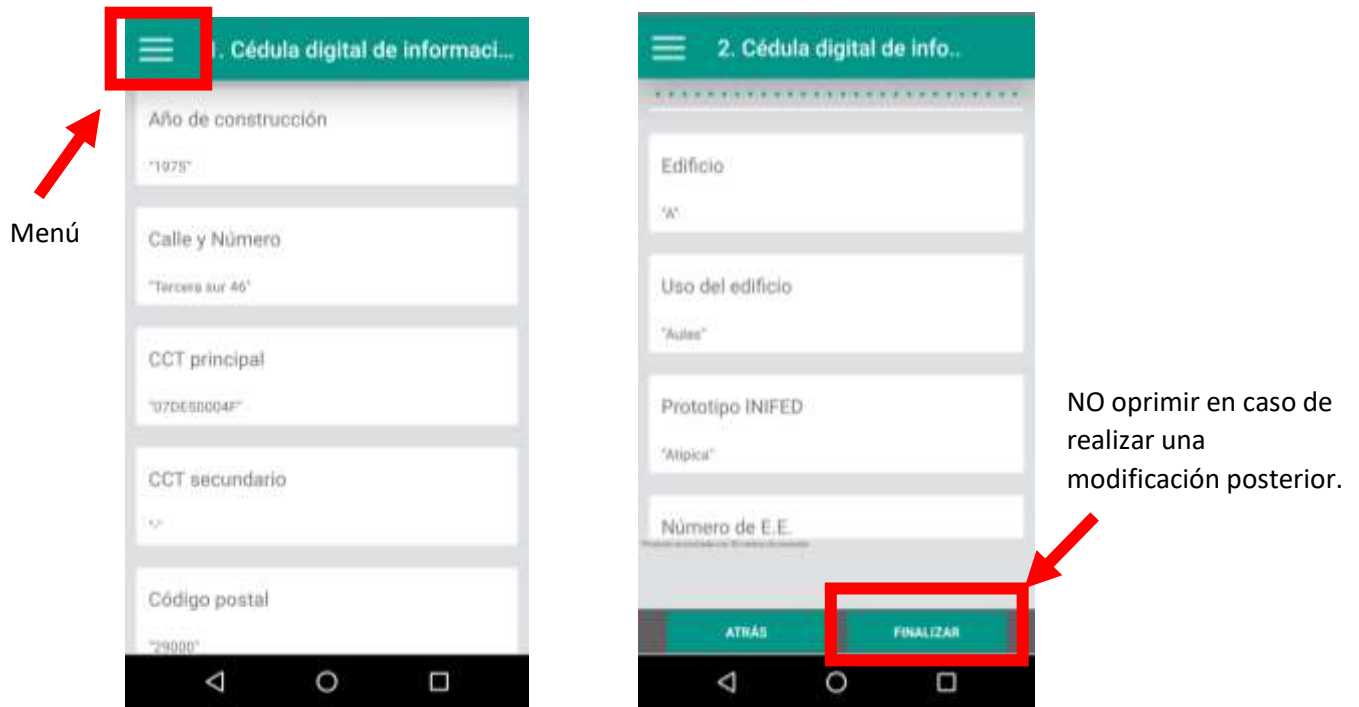
q w e r t y u i o p

a s d f g h j k l ñ

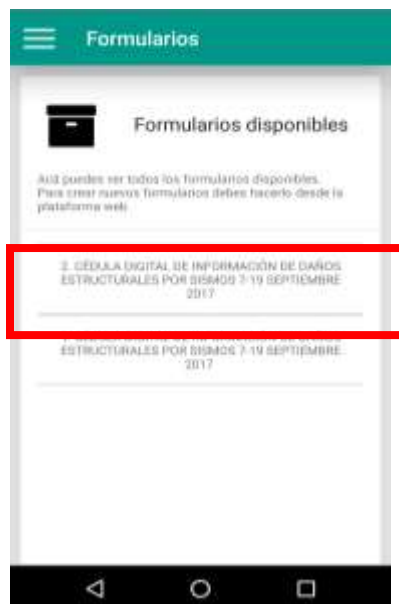
z x c v b n m

7123

Al finalizar se mostrarán todos los datos ingresados previamente. Si se desea modificar algún campo, oprimir el botón *Atrás*, Si se desea realizar una modificación posterior, es importante no oprimir el botón de finalizar, en caso contrario el formulario se enviará a la base de datos con la información errónea. Simplemente oprima el botón de menú y prosiga con el llenado del formulario por escuela.



Una vez terminado el llenado de los datos generales de la escuela, se procede a llenar la segunda parte de la cédula, la cual se realizará **por edificio**, por lo cual se debe ser congruente con el número de edificios que se señaló en paso 14 del apartado anterior. Es decir, si se escribió que el plantel cuenta con 6 edificios, se deben tener 6 formularios hechos.



Pasos a seguir:

1. Colocar la clave del centro de trabajo, **usar el mismo CCT que en el paso 2 de la primera parte.**



2. Tomar una foto de la fachada del edificio, donde se pueda apreciar bien a toda la estructura.



- Indicar el o los materiales predominantes de la estructura.



- Colocar la letra correspondiente para cada edificio, es decir, el primer edificio será el edificio A, el segundo el B, el tercero C, etc.
- Colocar el año de construcción del edificio. En el caso que este dato no esté lo suficientemente claro, colocar la década aproximada de construcción seguida de un asterisco, es decir, si se cree que el edificio se construyó entre los años 1971 al 1979, colocar 1970*



6. Colocar el uso del edificio. Si cuenta con más de un uso, separar los usos por comas; es decir, si el edificio se usa como aulas, tiene baños y hay una oficina, se escribirá *Aulas,Baños,Oficinas*.



7. Colocar el prototipo de acuerdo al *catálogo de estructuras INIFED*. En el caso último que no se pueda determinar el prototipo, seleccionar la opción *Atípica*.



8. Colocar el material del que están hechos los muros divisorios, de fachada y de carga. En el caso que la estructura no cuente con alguno de ellos, seleccionar la opción *No aplica*.



9. Indicar si los muros divisorios y de fachada están ligados o desligados de las columnas. Un muro está ligado, si está en contacto con las columnas.



10. Colocar los valores de geometría que se solicitan, Si el edificio es de un solo nivel, en el apartado de altura de entre piso de los pisos posteriores colocar 0.

9. Geometría del edificio

Coloca los datos correspondientes.

9. Geometría del edificio

Longitud total en el sentido longitudinal (m)	Selecciona número...
Longitud total en el sentido transversal (m)	Selecciona número...
Número de crujías en sentido longitudinal	Selecciona número...
Número de crujías en sentido transversal	Selecciona número...
Círculo promedio en sentido longitudinal	Selecciona número...
Círculo promedio en sentido transversal	Selecciona número...
Altura de entre piso en planta baja (m)	Selecciona número...

ATRÁS CONTINUAR

Geometría del edificio

Coloca los datos correspondientes.

Geometría del edificio

Altura de entre piso en planta baja (m)	2.4
Altura de entre piso en pisos posteriores (m)	0
Número de pisos	1

ATRÁS CONTINUAR

11. Colocar si el edificio cuenta con cubo de escaleras o bien, si tiene escaleras exteriores o ambas.

Escaleras

Marcar si hay:

Escaleras

Cubo de escaleras	<input type="checkbox"/>
Escaleras independientes	<input type="checkbox"/>

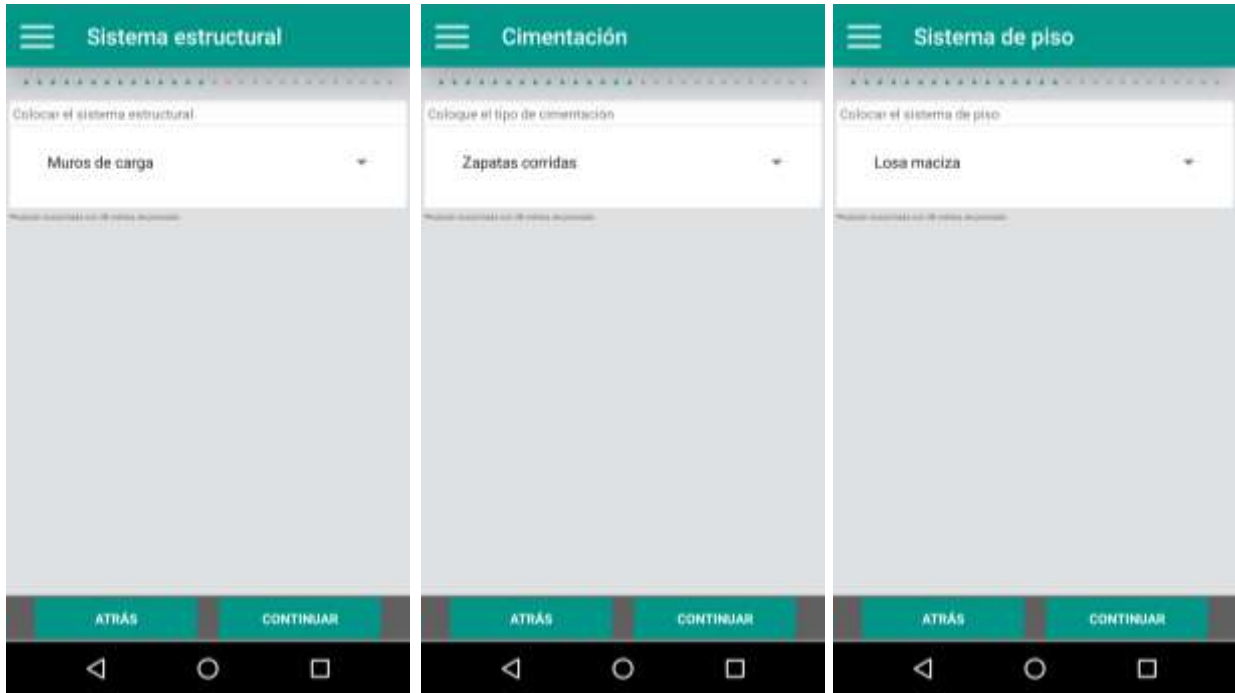
ATRÁS CONTINUAR

12. En el apartado de secciones se colocarán las secciones de columnas y de vigas principales, es decir, las que más predominen.
- Si las columnas o vigas son rectangulares de concreto, colocar las dimensiones “A” y “B” de las columnas, y para vigas tomar “A” como peralte y a “B” como ancho.
 - Si las columnas son circulares colocar sólo en “A” el diámetro y en “B” igual a 0.
 - Si las columnas o vigas son perfiles metálicos, colocar el perfil metálico en el apartado de sección transversal y en “A” y “B” iguales a 0.
 - Si la estructura no tiene columnas o vigas poner en sección transversal “no aplica”, y en “A” y “B” iguales a 0.

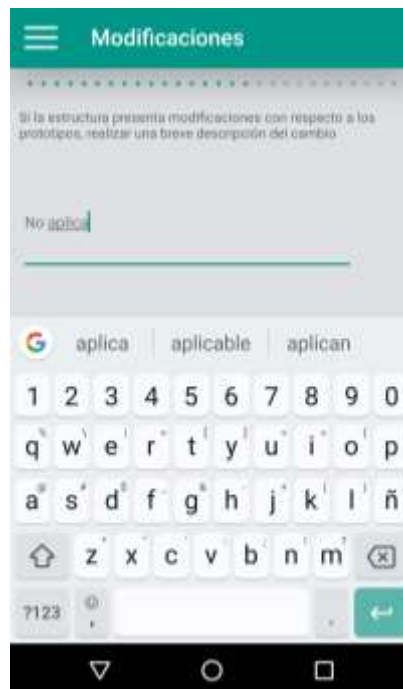
The screenshot shows the 'Secciones' app interface. At the top, there is a green header with a hamburger menu icon and the title 'Secciones'. Below the header, there is a grey bar with the text 'Colocar el tipo y medida de la sección transversal'. Underneath, there is a section labeled 'Secciones' with a barcode icon. The main content area has a white background and contains the following elements: a text input field with the placeholder 'No aplica' and the label 'Sección transversal o Perfil de columnas 1'; a numeric input field with the value '0' and the label 'Medida A (m)'; and another numeric input field with the value '0' and the label 'Medida B (m)'. At the bottom, there is a green bar with two buttons: 'ATRÁS' and 'CONTINUAR'. The Android navigation bar is visible at the very bottom.

The screenshot shows the 'Secciones' app interface, similar to the one for columns. It has the same green header and grey bar. The 'Secciones' section is present. The main content area contains: a text input field with the placeholder 'No aplica' and the label 'Sección transversal o Perfil de vigas 1'; a numeric input field with the value '0' and the label 'Medida A (m)'; and another numeric input field with the value '0' and the label 'Medida B (m)'. At the bottom, there is a green bar with two buttons: 'ATRÁS' and 'CONTINUAR'. The Android navigation bar is visible at the very bottom.

13. Seleccionar el sistema estructural, el tipo de cimentación y el sistema de losa que presenta el edificio.



14. Si la estructura cuenta con alguna modificación o tuvo alguna rehabilitación, escribir brevemente dicho cambio, en el caso que no cuente con modificaciones, indicarlo escribiendo *No aplica*.

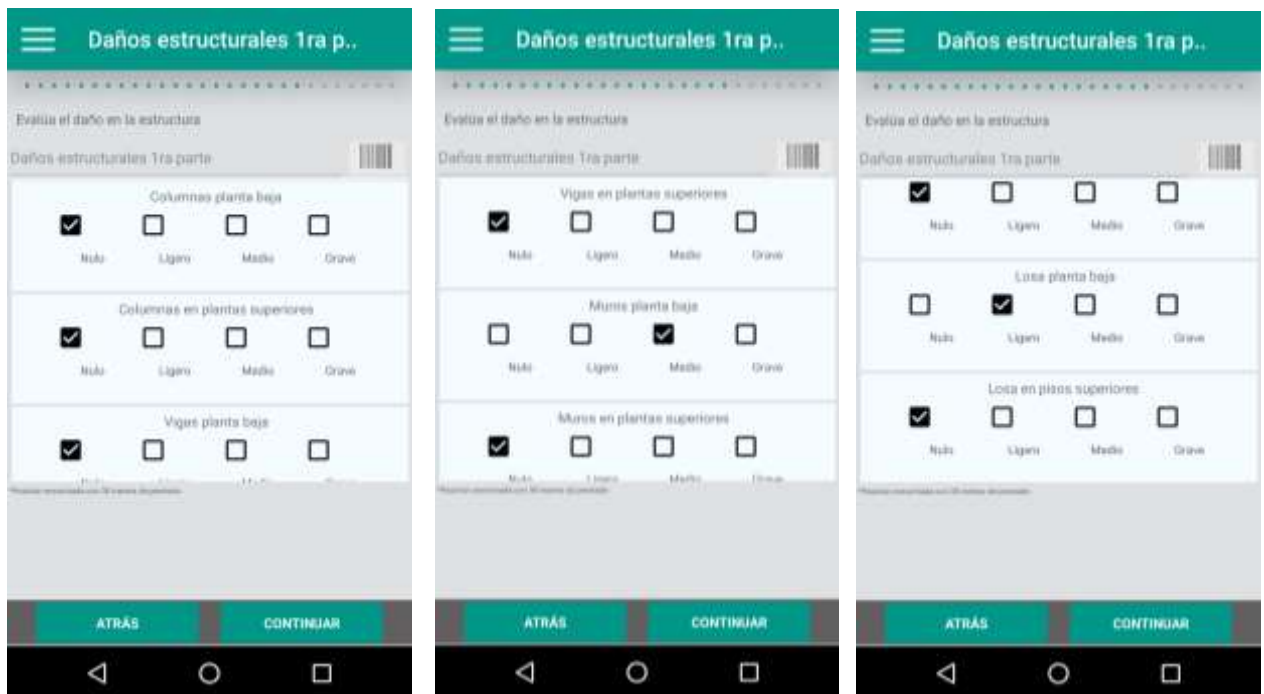


15. Seleccionar el tipo de rehabilitación que se empleó, si no ha sido reforzada colocar *Sin refuerzo*.
16. Si se modificó la estructura, colocar el año en que se realizaron esos trabajos, en el caso de que no haya sido modificada colocar un cero (0).
17. Realizar un pequeño croquis de la planta baja de la estructura y fotografiarlo.
18. Indicar los daños que tuvo la estructura debido al evento sísmico. Para ello, guiarse de la siguiente tabla que cataloga el nivel de daño según el espesor de grietas que presenta el elemento.

Severidad del daño de acuerdo a las NTC Rehabilitación

	Grietas en concreto	Grietas en muros de mampostería sin refuerzo	Grietas en muros de mampostería no estructural
Ligero	<input type="checkbox"/> ≤ 0.2 mm	<input type="checkbox"/> ≤ 1 mm	<input type="checkbox"/> ≤ 5 mm
Intermedio	<input type="checkbox"/> > 0.2 mm y ≤ 1 mm	<input type="checkbox"/> > 1 mm y ≤ 5 mm	<input type="checkbox"/> > 5 mm y ≤ 10 mm
Grave	<input type="checkbox"/> > 1 mm	<input type="checkbox"/> > 5 mm	<input type="checkbox"/> > 10 mm
	<input type="checkbox"/> Acero expuesto <input type="checkbox"/> Acero pandeado <input type="checkbox"/> Aplastamiento del Concreto	<input type="checkbox"/> Piezas aplastadas <input type="checkbox"/> Piezas desprendidas <input type="checkbox"/> Grietas en forma de cono por fallas en cortante	<input type="checkbox"/> Piezas aplastadas <input type="checkbox"/> Piezas desprendidas <input type="checkbox"/> Grietas en forma de cono por fallas en cortante

Clasificación obtenida de las NTC rehabilitación 2017, publicadas en el DOF el 4 de diciembre 2017. Para consultar oprima [aquí](#).



19. En el apartado de *Daños estructurales 2 parte*, indicar si la estructura presentó alguno de los daños indicados.



20. Marcar si hubo daños no estructurales en los campos que se indican.

21. Reportar si hubo daño en las instalaciones del edificio, en el sistema hidrosanitario, de gas y en las telecomunicaciones.



22. Describir brevemente el daño en las instalaciones; si no hubo daño, escribir *No aplica*.

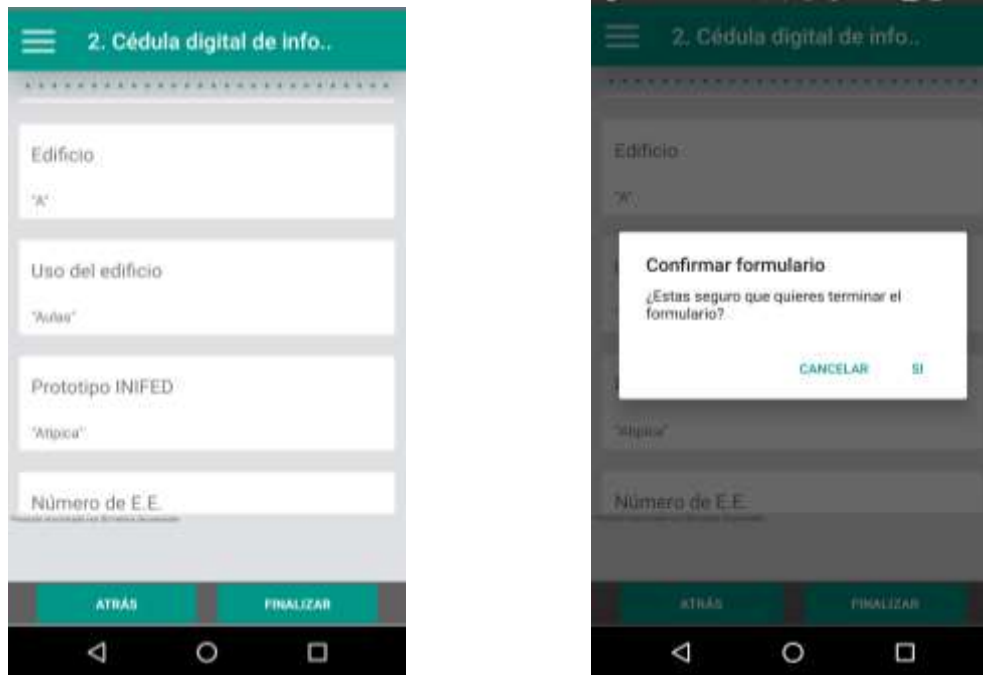


23. Tomar algunas fotografías de los daños más notorios en el edificio.

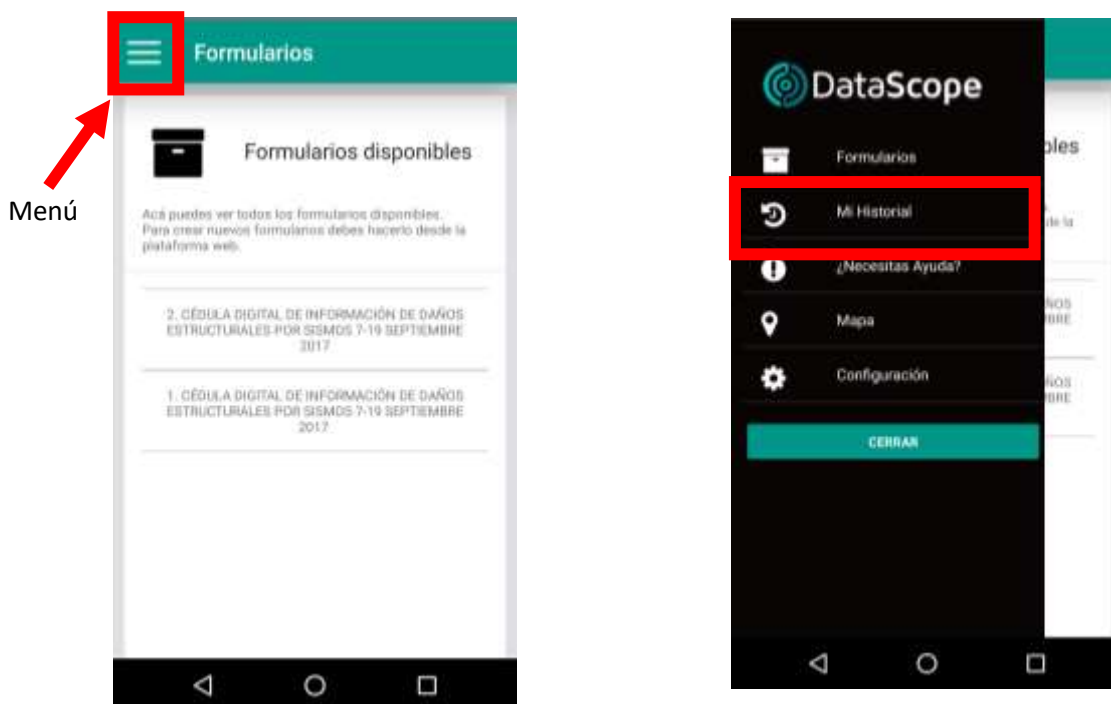
24. Observaciones: mencionar si los daños aparecieron a consecuencia del sismo o son por otro motivo o combinación de ambos. Además, en qué nivel del edificio se presentan los daños; si el edificio se encuentra en algún tipo de riesgo como de ladera, cuencas, cañadas, barrancas, cañones susceptibles a erosión, cercanía con márgenes de ríos o arroyos, zonas inundables, zonas industriales, vías férreas u otro tipo de aclaraciones.



Al finalizar se mostrarán todos los datos ingresados previamente; si se desea modificar algún campo, oprimir el botón *Atrás*, hasta llegar al campo que se desee cambiar. Al oprimir el botón atrás NO se borra la información ya capturada. Si se desea realizar una modificación posterior, es importante no oprimir el botón de finalizar, en caso contrario el formulario se enviará a la base de datos con la información errónea.



Al concluir cada uno de los registros de los edificios, ir al menú y seleccionar el apartado mi Historial.



Ahí se podrán ver los formularios realizados; en la pestaña de pendientes se encontrarán los formularios que se han realizado pero que se han dejado para una revisión posterior.



Si se oprime algún registro pendiente, se podrán ver los datos llenados y modificarlos, en caso de ser necesario.

En el apartado de completadas se podrán ver los formularios realizados y enviados a la base de datos.



Contacto en caso de cualquier duda:

Correo:

inifedformulario@gmail.com

Teléfono:

(52) 5552520870

WhatsApp

(52) 5552520870

Material de apoyo:

Video tutorial:

https://youtu.be/uHc_bTLXI5U

GPSLOCATION, aplicación para saber las coordenadas gps.

<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.narkira.gpslocation>

1.Fecha

2. Clave del Centro de Trabajo (CCT)

Observaciones de otros CCT's

otros CCT's

CCT

3.Nombre del plantel

4.Nivel educativo

6.Latitud

7.Longitud

8.Calle y Número

9.Código postal

10.Localidad o colonia

11.Municipio

12.Entidad Federativa

13.Ocupación

Docentes

Alumnos



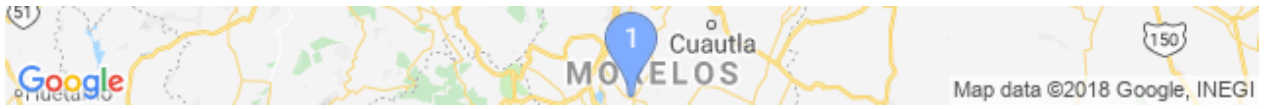
14.Fachada de la escuela

15.Número de edificios

16.Daños en bardas

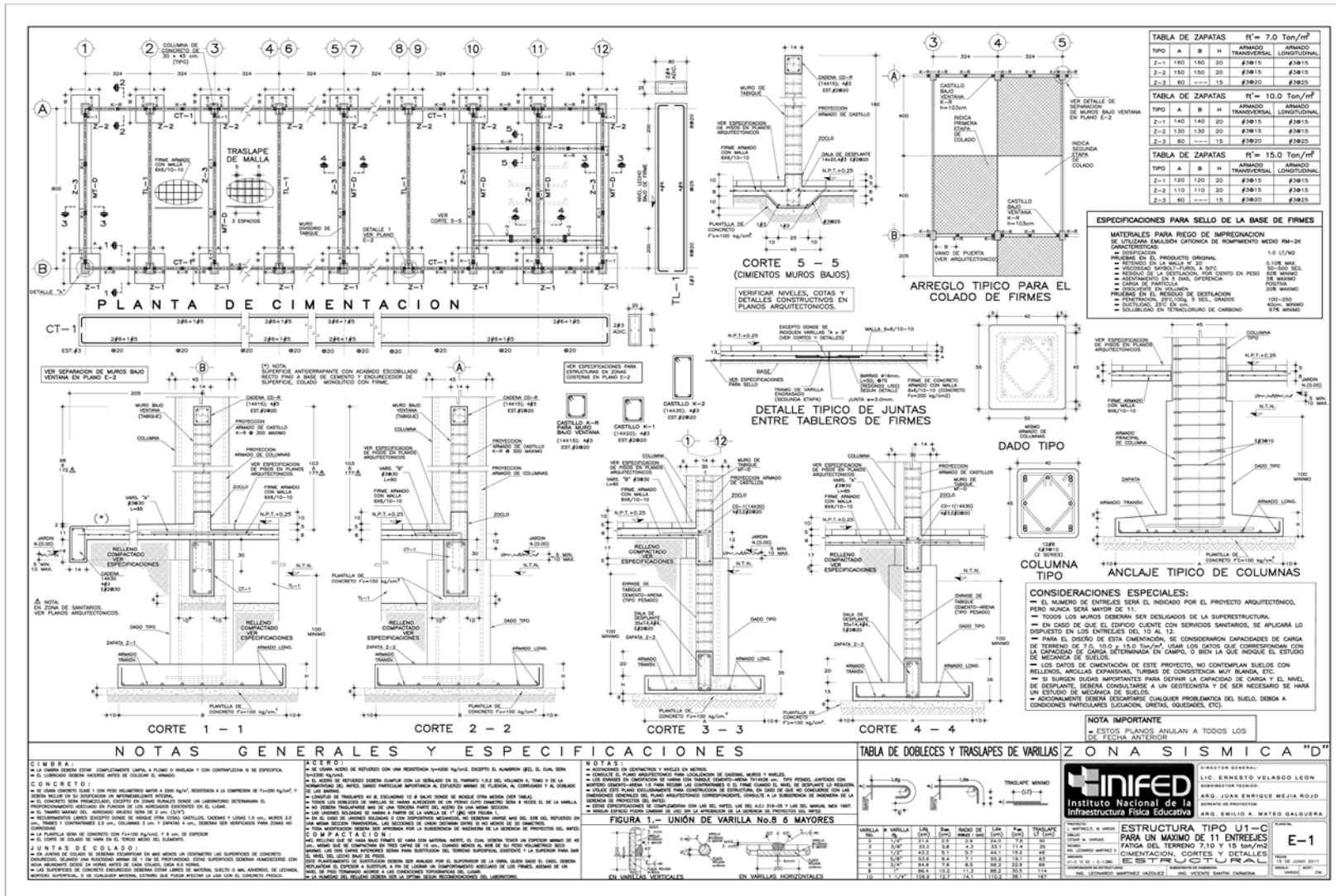
Si la respuesta fue "SI", describir el daño ocasionado

Bardas perimetrales

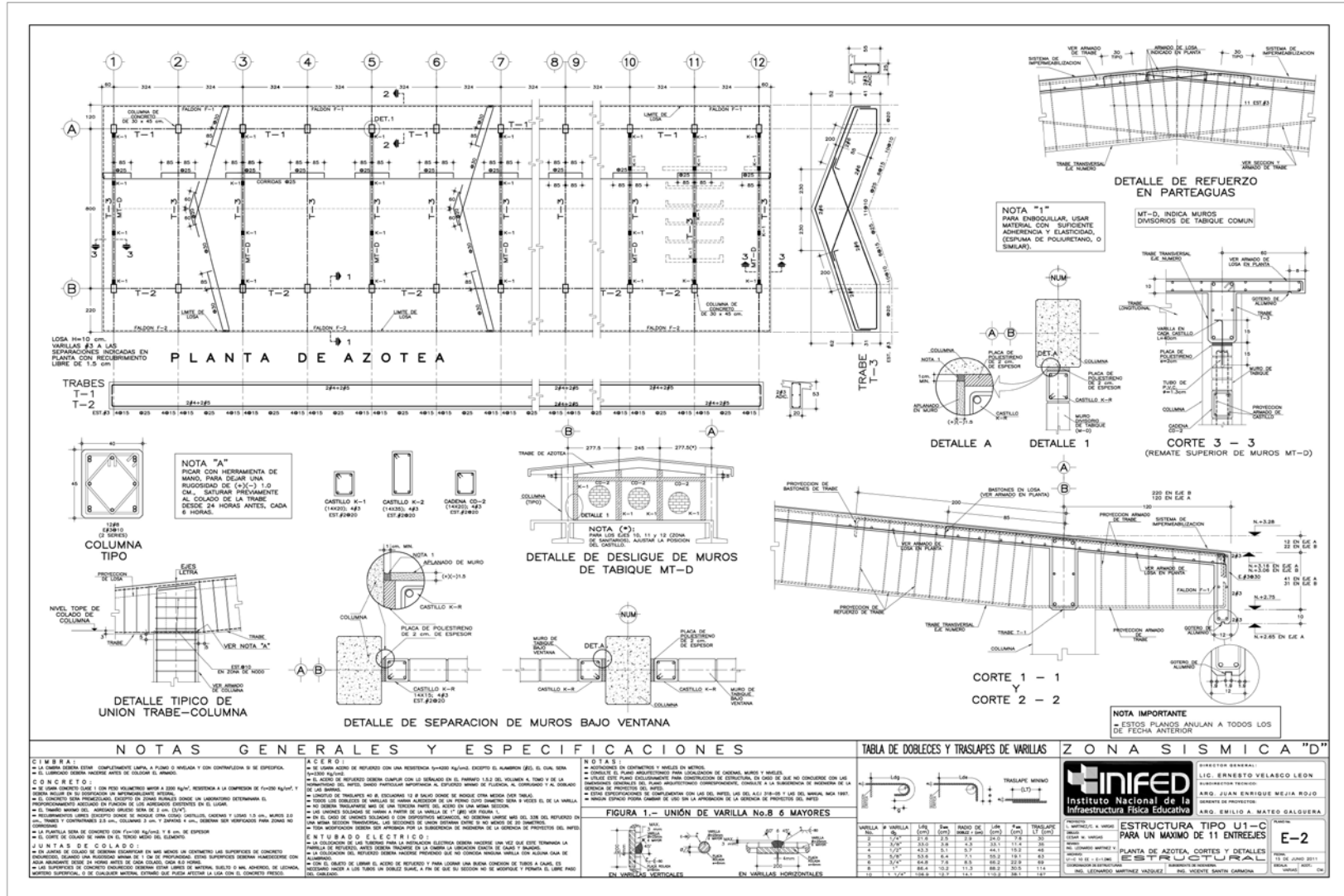


Anexo 4.1 PLANOS DE LOS DISTINTOS PROTOTIPOS

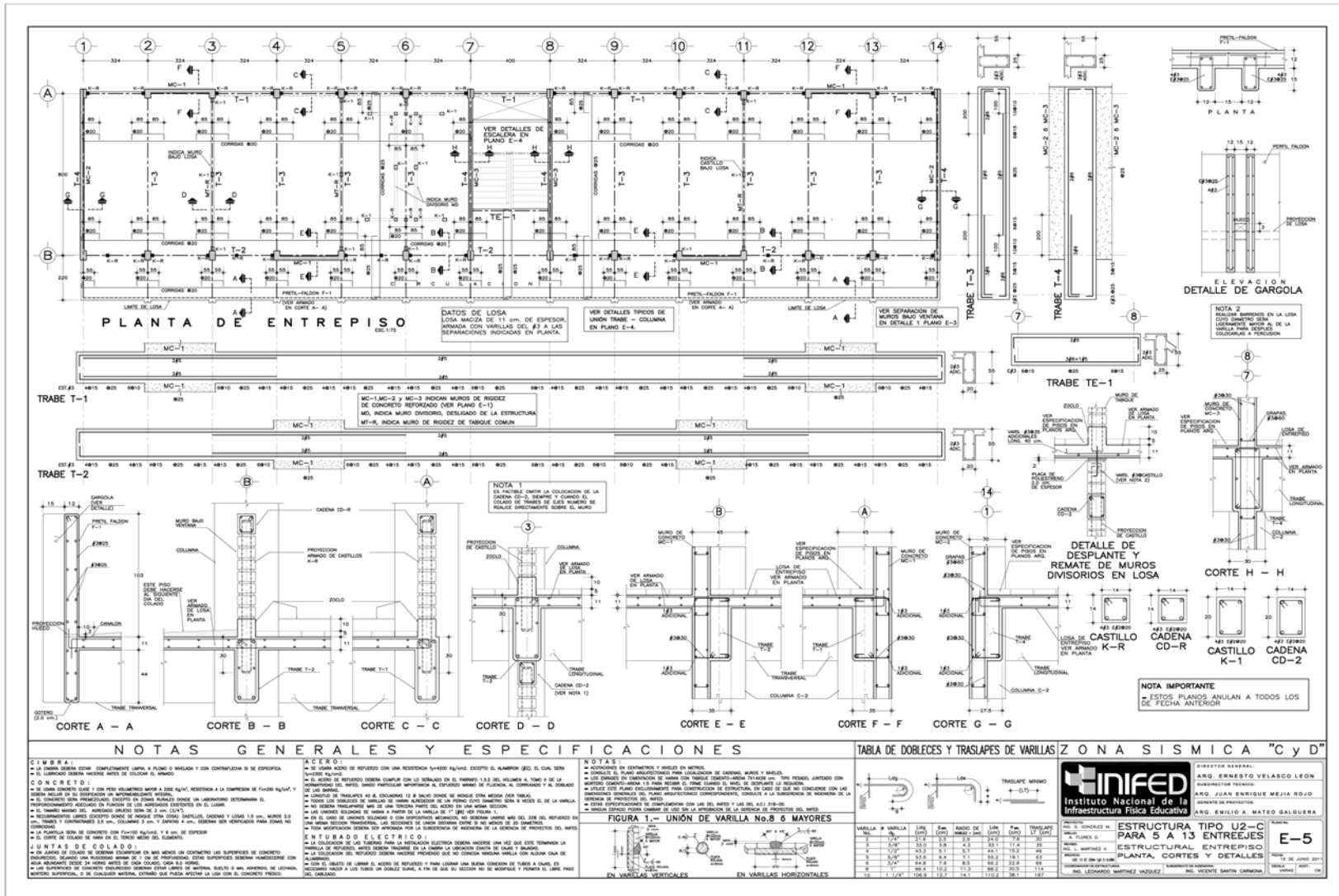
Prototipo U1-C planta de cimentación



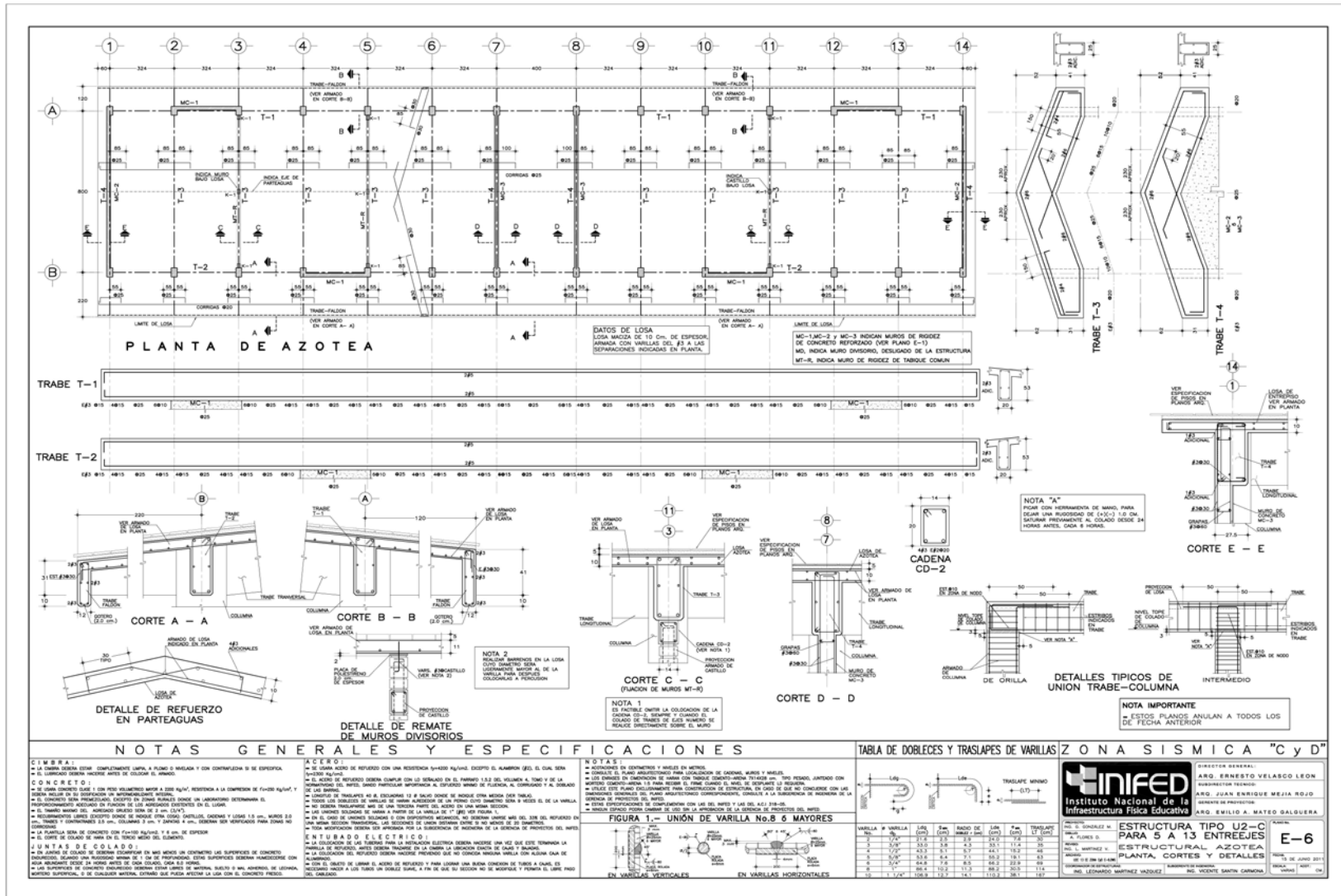
Prototipo U1-C planta de azotea



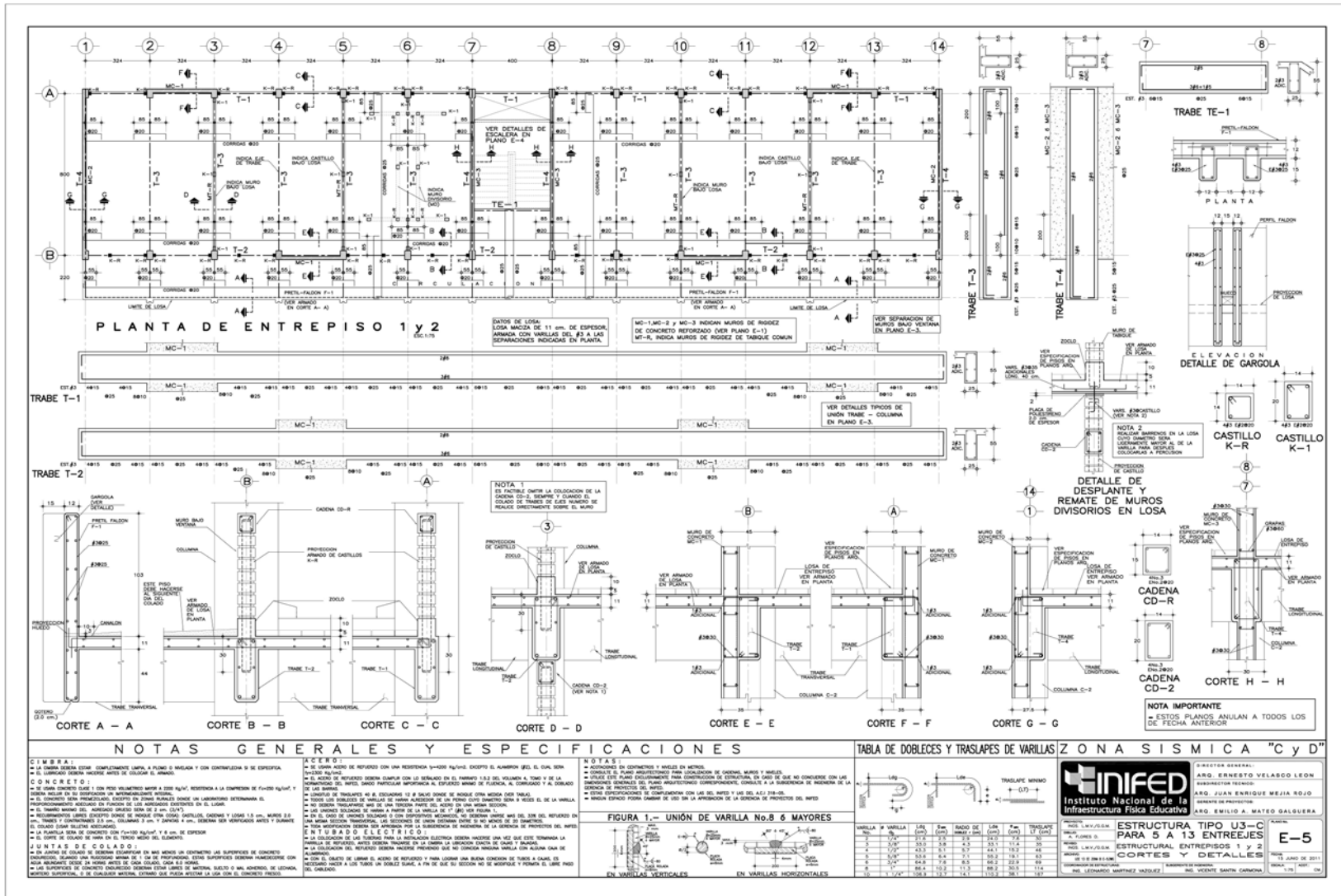
Prototipo U2-C planta de entrespiso



Prototipo U2-C planta de azotea



Prototipo U3-C planta de entrespiso



Prototipo A-70 rigidizada planta de cimentación

PROCEDIMIENTO DE SUSTITUCIÓN DE COLUMNAS DAÑADAS

- 1.- APUNTALAMIENTO A BASE DE PERILES DE 4"x4" PARA SUSTITUCIÓN DE COLUMNAS.
- 2.- RETIRAR TRINTE EXISTENTE EN EL MURO DE LAS COLUMNAS AFECTADAS.
- 3.- REALIZAR CADA DE DIMENSIÓN DE 3000 mm. EN FRASE DE PISO CONFORME A LO INDICADO EN EL DETALLE A. LA PROFUNDIDAD DE SIEMPRE DEBE EXCEDIR LA PLACA BASE EXISTENTE.
- 4.- RECORRAR COLUMNAS Y ATESORADOS AFECTADOS 1 m. ARRIBA DE LA PLACA BASE EXISTENTE.
- 5.- RECORRAR LA COLUMNA EXISTENTE Y ARRIBA HASTA LA TRINTE TRANSVERSAL EXISTENTE.
- 6.- EL CEMENTADO DEBIDO EN LA PARTE SUPERIOR DE LA PLACA BASE Y EN EL MURO TRANSVERSAL, DEBE REALIZARSE DURANTE EL RETIRO DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES MECANICAMENTE AUTOMÁTICO.
- 7.- SE COLOCARÁ LA NUEVA COLUMNA HSS 8"x8"x1/4", CONFORME A LO INDICADO EN DETALLE 1 Y 2.
- 8.- REALIZAR BARRIDO EN LA COLUMNA HSS 8"x8"x1/4", PARA COLOCAR NUEVAMENTE EL TRINTE ORIGINAL, SEGUINDO LAS DIMENSIONES, ELANQUES Y AJUSTES EXISTENTES.
- 9.- RETIRAR EL APUNTALAMIENTO EXISTENTE, UNA VEZ TERMINADOS LOS TRABAJOS DE SOLDADURA.

NOTA IMPORTANTE:
SI SE OBSERVA QUE LOS MUROS TRANSVERSALES NO PRESENTAN GABIOS Y ESTÁN DEBIDAMENTE CONFINADOS CON CASTILLOS Y CADENAS EN FORMA SIMILAR A LA AJA INDICADA, NO SERÁ NECESARIO EFECTUAR ESTA REPARACIÓN.

NOTAS:

- ADICIONES EN CENTRIMETROS.
- EL CONCRETO TENDRÁ UNA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE $f_c=250 \text{ kg/cm}^2$.
- EL TAMAÑO DEL AGREGADO GRAVE SERÁ DE 20mm PARA COLADO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES NUEVOS (CONTRABARRIOS, Muros, ETC.) Y DE 13 (1/2)" PARA ELEMENTOS ESTRUCTURALES AJUSTADOS DE SECCIÓN.
- EL AGUJO DE REFUEZO SERÁ DE $14\#200 \text{ kg/cm}^2$.

NOTAS IMPORTANTES

- LA LOCALIZACIÓN DE LOS MUROS TRANSVERSALES DE BARRIDO DEBE SER SIMÉTRICA RESPECTO AL NÚMERO DE ENTRESIES CUANDO LA ESTRUCTURA CUENTE HASTA CON 8 ENTRESIES. SIEMPRE COLOCAR 300 Ø MUROS TRANSVERSALES DE BARRIDO EN CASO DE QUE LA ESTRUCTURA CUENTE CON 9 A 12 ENTRESIES DE COLOCAR 4 MUROS COMO MÍNIMO.
- LOS MUROS LONGITUDINALES NO SIEMPRE SON DE CONCRETO Y SE CONSTITUYEN UN BARRIDO DE 4 MUROS (2 POR CADA LONGITUDINAL) EN EDIFICIOS DE 9 ENTRESIES O MAYORES Y MÍNIMO 2 MUROS EN EDIFICIOS DE 3 A 8 ENTRESIES.
- LA RIGIDIZACIÓN INDICADA EN ESTE PLANO SE APLICARÁ A LAS ESTRUCTURAS QUE NO SUPEREN DADOS SEVEROS O GRAVES DURANTE LOS EVENTOS BUSCADOS DEL 7 Y 19 DE SEPTIEMBRE DE 2017, DONDE EL FIN DE OTORGABLES MAYOR CAPACIDAD ANTE FUTUROS EVENTOS SÍSMICOS.

CURADO DEL CONCRETO:

- SI SE USA CEMENTO DE RESISTENCIA NORMAL, DEBERÁ ESTAR LA ESTRUCTURA EN CONDICIONES DE HUMEDAD Y TEMPERATURA SUPERIOR A LOS 10°C POR LO MENOS DURANTE 7 DÍAS Y SE REDUCIRÁ A 5. EN CASO DE USAR CEMENTO DE RESISTENCIA RÁPIDA CUALQUIER OTRO PROCEDIMIENTO DE CURADO DEBERÁ AJUSTARSE A LAS NORMAS VIGENTES.

Entre ejes	ZAPATA	B	H	h	Refuerzo Transv.1	Refuerzo Long.1	Refuerzo Transv.2	Refuerzo Long.2
$f_c=5.0$ HASTA 8	Z-1	200	25	15	#4@20	#3@20	#3@20	#3@20
Ton/m^2 DE 9 a 12	Z-1	250	25	15	#4@20	#3@25	#3@20	#3@20
$f_c=7.5$ HASTA 8	Z-1	160	20	15	#4@25	#3@25	#3@25	#3@25
Ton/m^2 DE 9 a 12	Z-1	200	20	15	#4@25	#3@25	#3@25	#3@25
$f_c=10.0$ HASTA 8	Z-1	140	20	15	#3@20	#3@25	#3@25	#3@25
Ton/m^2 DE 9 a 12	Z-1	160	20	15	#3@20	#3@25	#3@25	#3@25
$f_c=15.0$ HASTA 8	Z-1	120	20	15	#3@20	#3@25	#3@25	#3@25
Ton/m^2 DE 9 a 12	Z-1	140	20	15	#3@20	#3@25	#3@25	#3@25

VARILLA # VARILLA	LARG.	TRAPADO DE	TRAPADO DE	TRAPADO DE	TRAPADO DE
1	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20
2	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20
3	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20
4	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20
5	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20
6	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20
7	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20
8	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20
9	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20
10	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20

USAR ZAPATAS DE LONGITUD TOTAL DE L=6.12 m.

USAR ZAPATAS DE LONGITUD TOTAL DE L=8.00 m.

ESTRUCTURA	LONGITUD	ENTRESIES
ESTRUCTURA A-70 LOSA h=10.00 m.	HASTA 8 ENTRE EJES	DE 9 A 12 ENTRE EJES
ESTRUCTURA A-70 LOSA h=6.00 m.	HASTA 10 ENTRE EJES	DE 11 A 12 ENTRE EJES

NOTA IMPORTANTE:
SI SE USA CEMENTO DE RESISTENCIA NORMAL, DEBERÁ ESTAR LA ESTRUCTURA EN CONDICIONES DE HUMEDAD Y TEMPERATURA SUPERIOR A LOS 10°C POR LO MENOS DURANTE 7 DÍAS Y SE REDUCIRÁ A 5. EN CASO DE USAR CEMENTO DE RESISTENCIA RÁPIDA CUALQUIER OTRO PROCEDIMIENTO DE CURADO DEBERÁ AJUSTARSE A LAS NORMAS VIGENTES.

INIFED
Instituto Nacional de la Infraestructura Física Educativa

PROYECTO DE RIGIDIZACIÓN DE ESTRUCTURA TIPO A-70 O SIMILAR
DETALLES GENERALES ZONAS SISMICAS C Y D

E-1

NOVEMBRE 2017

Prototipo ANM-17 planta de azotea

