



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**REVISIÓN Y EVALUACIÓN DE DAÑOS EN
PLANTELES EDUCATIVOS DE LA CIUDAD
DE MÉXICO PRODUCTO DEL SISMO DEL
19 DE SEPTIEMBRE DE 2017**

TESIS

Que para obtener el título de
Ingeniera Civil

P R E S E N T A

Jazmin Tapia Rivera

DIRECTOR DE TESIS

M. I. Octavio García Domínguez



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2019

REVISIÓN Y EVALUACIÓN DE DAÑOS EN PLANTELES
EDUCATIVOS DE LA CIUDAD DE MÉXICO PRODUCTO
DEL SISMO DEL 19 DE SEPTIEMBRE DE 2017

Jazmin Tapia Rivera

Director de tesis:
M. en I. Octavio García Domínguez

AGRADECIMIENTOS

Expreso mi más sincero agradecimiento a mi amada **Universidad Nacional Autónoma de México** por brindarme a mí y a toda la comunidad universitaria un universo diverso y multicultural, donde se genera y comparte el conocimiento, la ciencia, el arte, la tecnología, la cultura, porque la UNAM es la universidad de la nación ¡¡Goya!!

De igual manera plasmo mi más sincero agradecimiento y felicitación a la **Facultad de Ingeniería** por promover y fomentar la ciencia y tecnología aplicada a la mejora de nuestra sociedad, proporcionándonos los conocimientos y herramientas necesarias para que egresemos ingenieros competentes y comprometidos con la sociedad. Gracias a todos los profesores por la gran labor que desempeñan al compartir sus conocimientos, experiencias profesionales, valores y principios.

Agradezco a la **División de Ingeniería Civil y Geomática** por proporcionar a los alumnos el acercamiento con nuestras profesiones, mediante la impartición de cursos, prácticas de campo y de manera especial agradezco al **Departamento de Estructuras** donde tuve la oportunidad de colaborar en proyectos.

Agradezco al **Sistema de Becas para Estudiantes Indígenas y Afrodescendientes de la UNA**, por ofrecer un espacio lleno de diversidad, tradición y cultura, por el apoyo económico durante mi carrera y a mis tutoras **Jimena, Alejandra y Daniela** por las asesorías y apoyo motivacional.

De forma especial expreso mi agradecimiento al **M. en I. Octavio García Domínguez** por ser un excelente ingeniero, maestro y ser humano, gracias por compartir sus conocimientos, experiencias, valores y principios con todos sus alumnos, agradezco su valioso tiempo, paciencia, asesoría y conducción en lo que concierne al desarrollo de esta tesis.

Agradezco de forma especial a mis sinodales: **M. en I. Agustín Deméneghi Colina**, **M. en I. Luis Candelas Ramírez**, **M. en I. Héctor Javier Guzmán Olgún** y **Dr. en I. Armando Rafael Hermsillo Arteaga**, por ser unos excelentes profesionistas de la ingeniería, excelentes maestros y seres humanos, gracias por compartir sus conocimientos y experiencias, así como las aportaciones y comentarios en mejora de esta tesis.

Todos esto no podrían ser posible sin mis más grandes amores mi padre, **Feliciano Tapia Aguilar** y mi madre, **Susana Rivera Andrés**, los pilares de mi familia, mi mayor ejemplo de amor y respeto, no sé cómo podría agradecer o pagar por tanto amor incondicional, cuidados, consejos, apoyo incondicional, motivación, por guiarme y enseñarme valores y principios por medio del ejemplo, no me alcanzarían las palabras para agradecerles todo el esfuerzo, trabajo y dedicación que han realizado para que la familia prospere, espero algún día poder retribuirles tanta dedicación, gracias por creer en mí, gracias por la educación que me dieron, gracias por formar mis valores y principios,

espero nunca defraudarlos y honrarlos hasta el último de mis días. Pa, Naa, todos mis triunfos y éxitos son por y para ustedes. Los amo, Suague lé.

Agradezco a mis hermanos, **Pilar, Javier, José**, por todo el amor incondicional, por todo el apoyo y consejos, gracias por compartir todos estos años conmigo, tienen la certeza de que siempre pueden confiar y contar conmigo. Chen, Fran, Felix, los amo.

De manera especial agradezco mi mejor amiga y hermana de vida, **Karina Bello Martínez**, gracias por todo el amor y apoyo incondicional, por los consejos y sobre todo por creer en mí como yo creo en ti. Kari, te amo.

Gracias a todos los miembros de mi familia y amigos, que me apoyaron en alguna etapa de mi vida, en especial agradezco a mi tía **Aurelia Rivera Andrés**, por todo el amor y apoyo incondicional, por todos los consejos, por apoyarme siempre y también agradezco a mi tío **Enrique Rivera Andrés** por enseñarme el valor y la importancia de preservarla nuestra cultura. Familia, los amo, suague lé.

“El saber no es suficiente, debemos aplicarlo. El querer no es suficiente, debemos hacer”

Bruce Lee

INDICE

Contenido

INTRODUCCIÓN	1
EL ORIGEN DE LOS SISMOS	3
SISMICIDAD EN MÉXICO	7
SEGURIDAD ESTRUCTURAL DE LAS EDIFICACIONES	8
DAÑOS EN EDIFICACIONES OCASIONADOS POR EL SISMO DEL 19S17	11
OBJETIVO DE LA TESIS Y ALCANCES	12
CONTENIDO DEL TRABAJO	12
1. ANTECEDENTES	14
1.1 RESUMEN HISTÓRICO DE LOS SISMOS QUE HAN AFECTADO A LA CIUDAD DE MÉXICO	15
1.2 CARACTERÍSTICAS DEL SISMO DEL 19S17 VS SISMOS PASADOS DE GRAN INTENSIDAD.....	20
1.3 DAÑOS ESTRUCTURALES Y NO ESTRUCTURALES.....	23
1.4 DAÑOS ESTRUCTURALES EN INFRAESTRUCTURA EDUCATIVA EN SISMOS PASADOS	31
1.5 DAÑOS ESTRUCTURALES EN INFRAESTRUCTURA EDUCATIVA EN EL SISMO DEL 19S17	33
1.6 REHABILITACIÓN DE ESTRUCTURAS	41
1.6.1 <i>Tipos de reforzamiento</i>	42
1.6.2 <i>Reforzamientos de escuelas en sismos pasados</i>	53
2. REGLAMENTACIÓN PARA EL DISEÑO SÍSMICO	57
2.1 EVOLUCIÓN DE LAS NORMAS DE DISEÑO	58
2.2 NORMATIVIDAD DEL INSTITUTO NACIONAL DE LA INFRAESTRUCTURA FÍSICA EDUCATIVA (INIFED).....	82
2.3 CLASIFICACIÓN DE ESTRUCTURAS.....	97
2.4 CORRESPONSABLES DE SEGURIDAD ESTRUCTURAL Y DIRECTORES RESPONSABLES DE OBRA	100
3. INSPECCIÓN DE DAÑOS EN ESCUELAS DE LA CIUDAD DE MÉXICO	102
3.1 INSPECCIÓN ESTRUCTURAL OCULAR DETALLADA DE ALGUNOS PLANTELES EDUCATIVOS	103
3.1.1 <i>Levantamiento de daños en cédula de inspección</i>	104
3.1.2 <i>Clasificación y evaluación de daños reportados en cédulas de inspección</i>	123
4. PROPUESTAS CONCEPTUALES DE REFORZAMIENTO EN BASE A LA NORMATIVIDAD TÉCNICA DEL INSTITUTO NACIONAL DE LA INFRAESTRUCTURA FÍSICA EDUCATIVA (INIFED)	146
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	188
BIBLIOGRAFÍA.....	191

INTRODUCCIÓN



El origen de los sismos



Sismicidad en México



Seguridad estructural de las edificaciones



Daños en edificaciones ocasionados por el sismo del 19S17



Objetivo de la tesis y alcances



Contenido del trabajo

INTRODUCCIÓN

A lo largo de la historia han ocurrido sismos que han afectado diversas partes del país, en el caso particular de la Ciudad de México la amenaza ante daños por sismos aumenta debido a su ubicación geográfica y características del suelo.

El día 19 de septiembre de 2017 a las 13:14:40 horas ocurrió un sismo de magnitud 7.1 cuyo epicentro se localizó entre los estados de Puebla y Morelos con coordenadas 18.40 latitud Norte y -98.720 longitud Oeste, a una profundidad de 57 km al suroeste de Axochiapan y a unos 120 km de la Ciudad de México (SSN, 2017).

El sismo provocó diversos daños en construcciones públicas y particulares, entre estos, la infraestructura educativa no se vio exenta. El tema de la infraestructura y los recursos escolares es de suma importancia ya que permiten el funcionamiento de una escuela; la estructura debe salvaguardar el bienestar de los usuarios en todo momento.

En la Ciudad de México existen 19,554 escuelas de nivel básico, esto de acuerdo con datos del Instituto Nacional para la Evaluación de la Educación para el periodo 2016-2017 (INEE, 2017). El sismo ocasionó que el 90% de las estructuras escolares sufrieran algún tipo de daño, desde fisuras y grietas hasta derrumbes parciales o totales como lo fue el caso de la escuela particular Enrique Rébsamen.

Como sucede con el resto de las construcciones, los planteles escolares también pueden sufrir deterioro estructural con el paso del tiempo, debido a su antigüedad, características climatológicas y sísmicas, así como por el uso intensivo y carecer de programas adecuados para su mantenimiento y funcionamiento. Algunas de las escuelas públicas tienen más de 30 años de antigüedad, por lo que su diseño ya no cumple con la normativa actual.

El 1 de febrero de 2008 se creó el Instituto Nacional de la Infraestructura Física Educativa (INIFED) con el objetivo de fortalecer la infraestructura educativa en el país. Este instituto se encarga de emitir normas, especificaciones técnicas y elaborar guías operativas para la administración de los recursos destinados a la infraestructura educativa, mejoramiento y mantenimiento de los inmuebles escolares para la prevención y atención de daños causados en la infraestructura. El INIFED da un seguimiento técnico y administrativo a los programas de obra a cargo de las entidades federativas cuando incorporan recursos federales; participa en los programas de construcción de obra en el Distrito Federal; coordina las actividades derivadas de la prevención y atención de daños causados en la infraestructura física educativa, ocasionados por desastres naturales, como en el caso de sismos; también proporciona capacitación, consultoría y asistencia técnica.

El material que se presenta en este trabajo, es parte de las experiencias que se obtuvieron durante la participación en las brigadas de inspección del Departamento de Estructuras como parte de un proyecto desarrollado por la Facultad de Ingeniería y la Facultad de Arquitectura para el INIFED en 2017.

El origen de los sismos

La litosfera es la capa más superficial de la Tierra formado por placas tectónicas que flotan sobre la Astenósfera como se muestra en la fig. 1; debido a las corrientes magmáticas con un movimiento convectivo, las placas se encuentran sometidas a fuertes presiones desplazándose lentamente, además de ser empujadas por la nueva corteza que se forma en ciertas aberturas, principalmente submarinas; al moverse las placas pueden chocar unas contra otras originando varios fenómenos como sismos, formación de plegamientos del terreno, fallas y grietas sobre la superficie terrestre que van cambiando a lo largo del tiempo. Esta teoría se conoce como "Tectónica de Placas".

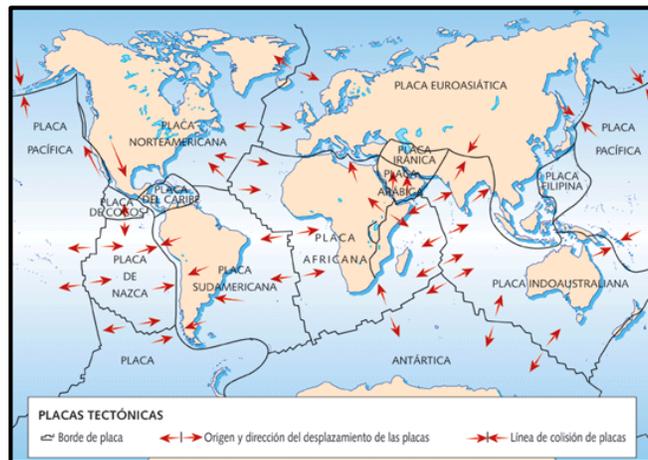


Figura 1. Distribución de las Placas Tectónicas. (Abella Inés, 2014)

Tipos de interacción entre límites de Placas

Límites divergentes

Son los límites a lo largo de la dorsal oceánica donde las placas se separan, lo que produce la ascensión del material del manto para crear nuevo suelo oceánico, fig. 2, causando temblores débiles que generalmente no ocurren cerca de áreas pobladas.

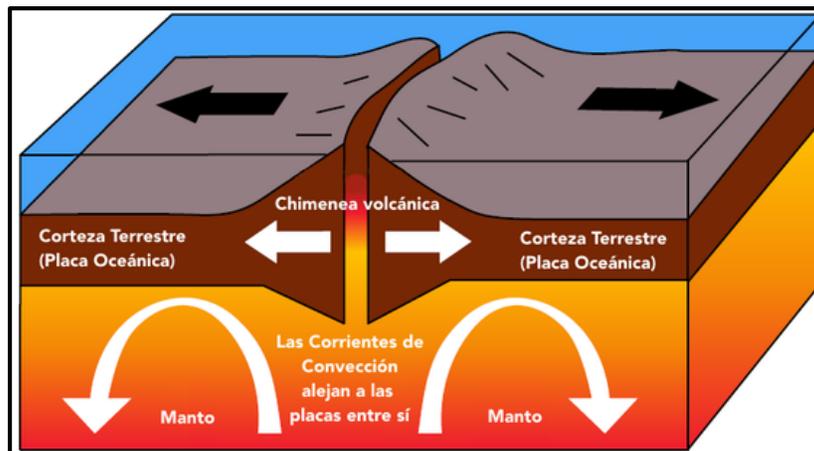


Figura 2. Límite divergente. (Galapagos Conservation Trust)

Límites convergentes

Una placa se dobla y se desliza por debajo de otra y se les denomina zonas de subducción, dando como resultado los siguientes fenómenos:

- a) Convergencia "corteza oceánica - corteza continental", se generan fenómenos como volcanes, cordilleras, sismos.
- b) Convergencia "corteza oceánica - corteza oceánica", se generan arcos de islas.
- c) Convergencia "corteza continental - corteza continental", se originan volcanes y cadenas montañosas y sismos, como se muestra en la fig. 3.

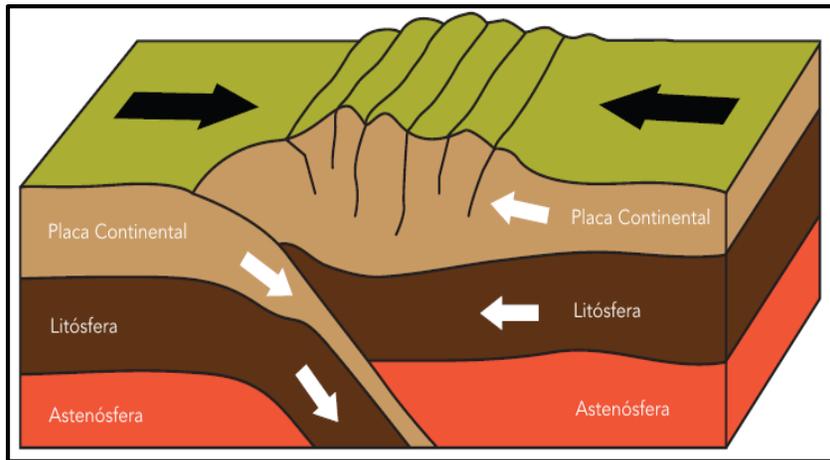


Figura 3. Límite convergente entre cortezas continentales. (Galapagos Conservation Trust)

Límites de fallas transformantes

Las placas se deslizan una con respecto a la otra, sin generar litosfera nueva y sin consumir litosfera antigua. Conforme estas placas se deslizan una a lado de la otra, la tensión se acumula hasta que las rocas se rompen, liberando energía, como se muestra en la fig. 4. Este tipo de sismos suelen ser altamente destructivos.

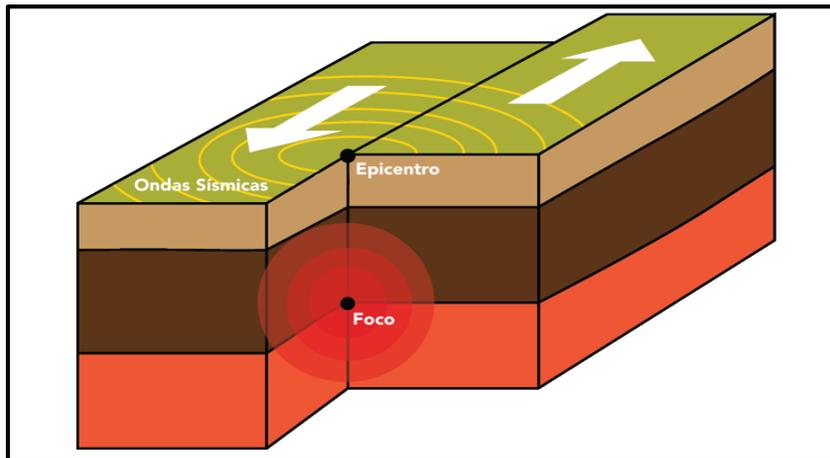


Figura 4. Límite transformante. (Galapagos Conservation Trust)

Fallas geológicas

Las fallas geológicas generalmente son parte de un grupo de fallas asociadas que se desarrollan durante el mismo intervalo de deformación y en respuesta al mismo campo de tensión regional.

Falla Normal

Se producen por la acción de fuerzas de tensión en la corteza, como se muestra en la fig. 5, uno de sus bloques se desliza hacia abajo por la acción de la gravedad, las fuerzas tectónicas actúan dilatando o expandiendo el medio en forma perpendicular a la falla.

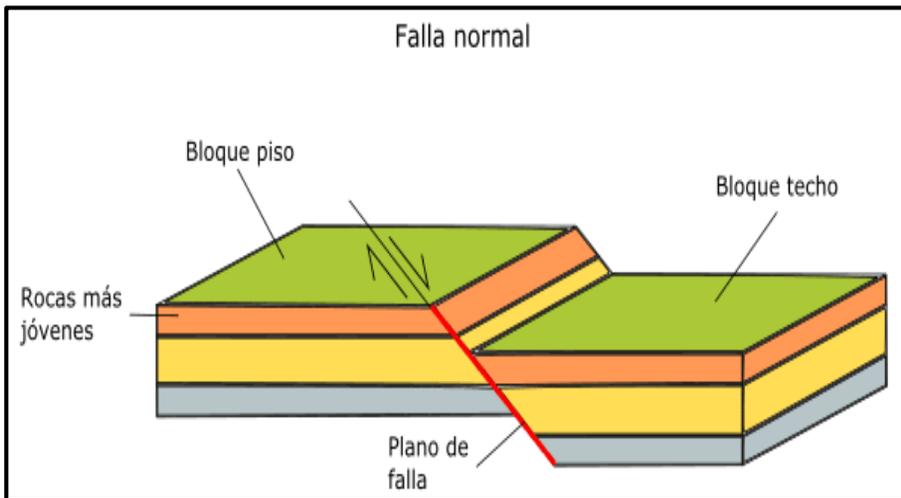


Figura 5. Falla Normal. (Blog Geología, 2018)

Falla Inversa

Se forma por la acción de fuerzas de compresión en la corteza en donde uno de sus bloques se desliza hacia arriba como se muestra en la fig. 6. Este tipo de falla ocurre con la formación de pliegues.

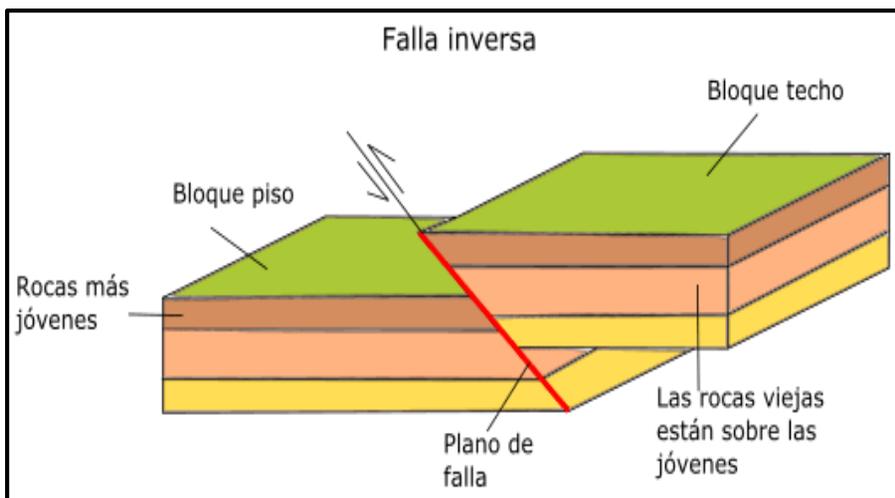


Figura 6. Falla inversa. (Blog Geología, 2018)

Falla Transformante

Se origina por fuerzas compresivas que actúan en dirección opuesta y en forma paralela en los límites de fallas transformantes como se muestra en la Fig. 7.

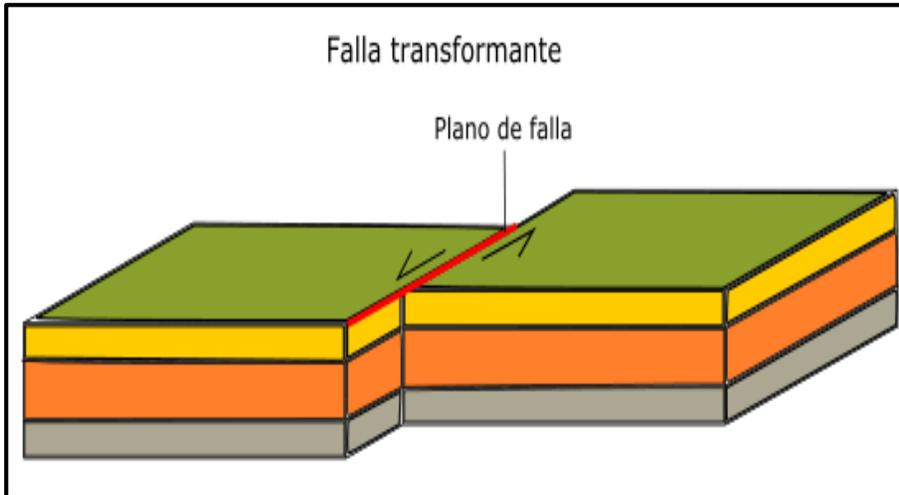


Figura 7. Falla transformante. (Blog Geología, 2018)

Sismos tectónicos

Al chocar dos placas se originan fallas que generan fuerzas de fricción en los bordes y se producen grandes esfuerzos en las rocas, cuando se sobrepasa la resistencia de las rocas ocurre una ruptura violenta y se libera la energía acumulada produciendo sismos que se propaga por el terreno. Estos sismos pueden ser interplaca o intraplaca.

Sismos interplaca: se producen cuando se vence la fuerza de fricción del contacto entre placas; estos pueden ser de dos tipos:

- Sismos en los límites de subducción.
- Sismos en los límites de fallas transformantes.

Sismos intraplaca: ocurren dentro de la placa tectónica, un caso particular son los sismos corticales que se generan en la corteza y a poca profundidad, sin embargo, algunos sismos pueden originarse a mayores profundidades en una placa de subducción.

Los países más vulnerables son aquellos que se encuentran en las regiones fronterizas de las placas, ya que la mayor cantidad de sismos se concentran en las franjas que coinciden con estos límites de placas.

De acuerdo a su actividad sísmica la superficie terrestre se ha dividido en tres regiones:

Sísmicas: son zonas de la corteza terrestre muy propensas a sufrir grandes movimientos sísmicos, suelen coincidir con regiones donde se levantan cadenas montañosas de reciente formación y en otras en donde existe fricción entre placas.

Penisísmicas: son áreas en las que sólo se registran sismos débiles y no con mucha frecuencia.

Asísmicas: son regiones muy estables de la corteza terrestre en las que raramente se registran movimientos.

Sismicidad en México

México es un país que es afectado por diversos fenómenos naturales como inundaciones, erupciones volcánicas, sismos y sequías, debido a su ubicación geográfica y a la dinámica de la corteza terrestre. El territorio mexicano es altamente sísmico porque en él se ubican cinco placas tectónicas, fig. 8, que interactúan entre sí, a saber:

- Placa Norteamericana
- Placa del Pacífico
- Placa de Rivera
- Placa de Cocos
- Placa del Caribe



Figura 8. Placas tectónicas que interactúan en el territorio mexicano y sus correspondientes velocidades relativas promedio de desplazamiento. (CENAPRED, 2014)

México cuenta con la presencia de fallas geológicas activas en diversas partes de país. Desde Mexicali, Baja California hasta los estados de Sonora y Sinaloa, la actividad sísmica está dominada por fallas de transformación, donde los eventos sísmicos generalmente tienen una magnitud pequeña o regular.

Desde el sur de Sinaloa, hasta Colima la placa de Rivera subduce bajo la placa Norteamericana, produciendo una mayor actividad sísmica en los estados de Michoacán, Jalisco y Colima.

En las costas de Colima se encuentran los límites de las placas de Rivera y Cocos que también subduce bajo la placa Norteamericana, la mayoría de los eventos sísmicos se registra en los estados de Guerrero y Oaxaca con magnitudes altas. La placa de cocos también subduce bajo la del Caribe, afectando a la parte sur de Oaxaca y Chiapas.

La placa del Caribe se mueve horizontalmente con respecto a la placa norteamericana, a esta zona se le conoce como Istmo de Tehuantepec, en la que generalmente los sismos tienen magnitud pequeña.

En ocasiones la placa de Cocos se deforma y rompe en el interior del manto produciendo sismos profundos o intraplaca que se transmiten a la superficie afectando principalmente a la Ciudad de México.

La Ciudad de México cuenta con características adversas del subsuelo, así como una gran densidad poblacional que propician un mayor riesgo sísmico, respecto a otras ciudades en el país.

El suelo de la Ciudad de México se divide en tres zonas:

- Zona I, firme o de lomas: localizada en las partes más altas del valle, está formada por suelos de alta resistencia y poco compresibles. La amplificación de las ondas sísmicas es reducida y los movimientos son de corta duración.
- Zona II o de transición: presenta características intermedias entre las Zonas I y III, tiene depósitos de suelo firme a 20 metros de profundidad o menos.
- Zona III o de lago: localizada en las regiones donde antiguamente se encontraban lagos (lago de Texcoco, lago de Xochimilco), consta de depósitos lacustres muy blandos y compresibles, con altos contenidos de agua, lo que favorece la amplificación de las ondas sísmicas.

La mayoría de los sismos de gran magnitud que han afectado a la Ciudad de México se han originado en las costas de Guerrero, Michoacán y Oaxaca.

Seguridad estructural de las edificaciones

La seguridad estructural es una condición establecida en los códigos de construcción, asociada al cumplimiento de diversos estados de comportamiento (estados límite) ante las demandas de carga que actúan desde su construcción hasta el término de su vida útil, la edificación debe contar con las características y condiciones de habitabilidad, seguridad, higiene, comodidad, accesibilidad y buen aspecto para desarrollar las actividades para los que fueron creados.

Cada municipio mexicano debe hacer uso de sus reglamentos de construcción que establecen, entre otros aspectos, los requisitos técnicos a los que deben sujetarse las construcciones, sin embargo, existen municipios que no cuentan con un reglamento de construcción y no hacen obligatorio el uso de reglamentos o manuales. Los reglamentos de la Ciudad de México y el Manual de Obras Civiles de la Comisión Federal de Electricidad (MDOC) son los más utilizados en el país.

En caso particular de la Ciudad de México, se debe hacer uso de las Normas Técnicas Complementarias para la definición de las cargas y criterios de diseño por sismo y viento; los criterios de diseño para estructuras de acero, de concreto, de mampostería y de madera, y un código separado para los criterios de diseño de cimentaciones.

En materia educativa, la seguridad de los edificios que albergan escuelas es un asunto ampliamente atendido en las normas legales, tanto en lo que se refiere a su construcción como a su mantenimiento. El INIFED tiene la encomienda de emitir normas y especificaciones técnicas para la construcción de infraestructura educativa, mantenimiento y seguimiento técnico y administrativo.

Seguridad estructural ante sismos

En ocasiones los sismos llegan a ser fenómenos de gran magnitud que pueden comprometer la seguridad estructural de casas, edificios y estructuras civiles en general.

El movimiento sísmico del suelo es transmitido a las edificaciones apoyadas sobre éste, la cimentación o base tiende a seguir el movimiento del suelo, mientras que la masa del edificio al tener ciertas propiedades dinámicas y una flexibilidad que lo hace vibra de forma diferente generando fuerzas de inercia que inducen esfuerzos en los elementos estructurales, si estos esfuerzos rebasan la capacidad de carga de los elementos se puede conducir a la falla. El sismo también perjudica al suelo ya que se pueden generar fallas geológicas provocando inestabilidad entre el terreno y la estructura que puede implicar un riesgo para la construcción.

El diseño sísmico establece los objetivos de desempeño de las construcciones, en donde el sistema estructural debe ser capaz de absorber y disipar la energía introducida por el sismo. En el Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal se establecen los niveles de desempeño esperados en forma indirecta, mediante la definición de dos estados límite, de servicio y resistencia.

Resistencia y estabilidad

Los riesgos generados por las estructuras pueden estar asociados a diferentes causas, desde una desviación relativa en los valores considerados para las acciones y la resistencia de los materiales, por solicitaciones no consideradas, por cargas excesivas sobre la estructura, por reducción de resistencia debida a los efectos del tiempo como la corrosión, efectos de la temperatura y fatiga. También es necesario considerar reducción de la resistencia provocada, por incendios, explosiones, inundaciones, asentamientos y sismos, a lo largo del tiempo.

Un riesgo disminuye cuando éste se mantiene bajo control a través de medidas adecuadas, los elementos cuyo fallo podrían poner en peligro la estabilidad de la estructura requerirán una atención particular para evitar mayores riesgos en el conjunto.

Un edificio debe resistir los esfuerzos previstos en su diseño sin superar los estados límites de resistencia, a estos límites se les asocia un nivel de daño que se considera reparable, a mayor límite de resistencia, mayor costo por reparación y rehabilitación. Para cumplir con el límite de resistencia la estructura debe analizarse ante la acción de un sismo intenso.

Estado límite de resistencia última o estado límite de falla: Se presenta con el agotamiento definitivo de la capacidad de carga (de la estructura o de cualquiera de sus miembros), o que sin agotar su capacidad de carga la estructura sufra daños irreversibles que afecten su resistencia ante nuevas aplicaciones de carga.

- Estado límite de falla dúctil: cuando la capacidad de carga de la sección (elemento o estructura), se mantenga para deformaciones apreciables mayores que las existentes antes de alcanzar el estado límite.
- Estado límite de falla frágil: cuando la capacidad de carga se reduce bruscamente alcanzando el estado límite.

Condiciones de servicio

El inmueble debe comportarse adecuadamente para las condiciones de uso para la que fue diseñada proporcionando seguridad al usuario, esto incluye que los elementos principales y secundarios de la estructura no tengan deformaciones, filtraciones, vibraciones, fisuras, etc.

Estado límite de servicio: en ocasiones aunque no se vea afectada la capacidad de carga de la estructura o sus elementos, estos tienen cierto deterioro que afecta el correcto funcionamiento del inmueble, entre estos estados se encuentran:

- Deformaciones, que ocasionen daños inaceptables a la construcción o a las vecinas, o que causen interferencia con el funcionamiento de equipos instalaciones, drenajes y servicios públicos.
- Vibraciones, que afecten el funcionamiento de la construcción, que produzcan molestias o sensación de inseguridad en sus ocupantes.
- Grietas, desprendimientos, aplastamientos, torceduras y otros daños locales

Los límites de servicio garantizan que las estructuras sufrirán daños menores ante la acción de sismos frecuentes. Para cumplir con el estado límite de servicio, la estructura debe analizarse ante una acción sísmica de baja intensidad y los desplazamientos laterales y deformaciones no deben exceder ciertos valores.

Para mantener buenas condiciones de servicio es necesario contar con un programa de inspección y mantenimiento que incluya una inspección, evaluación y diagnóstico del estado del inmueble, una planificación y adopción de medidas acordes al diagnóstico para su respectiva conservación, refuerzo, rehabilitación o si se requiere el aseguramiento de la estructura.

Peritaje estructural

Para hacer constar la seguridad estructural de un inmueble o construcción, se debe realizar un estudio especializado, avalado mediante firmas y responsivas de peritos especializados (corresponsables de seguridad estructural) que dictaminan la estabilidad, seguridad y especificaciones técnicas planteadas por el proyecto para su correcto funcionamiento.

Daños en edificaciones ocasionados por el sismo del 19S17

Debido a la magnitud, cercanía y a las condiciones del terreno en la Ciudad de México el sismo del 19 de septiembre de 2017 (19S17) generó un movimiento muy intenso que provocó daños importantes en las construcciones de la Ciudad de México y en las poblaciones cercanas al epicentro.

La autoconstrucción es muy común en el territorio mexicano, lamentablemente la mayoría de estas construcciones no cumple con los reglamento de construcción, ni cuenta con los elementos mínimos para resistir las fuerzas generadas por un sismo, otro factor que hace más vulnerable a estas construcciones es la acumulación de daños con el paso del tiempo.

En las viviendas se originaron daños estructurales en columnas, traveses y muros, así como daños menores en elementos no estructurales e instalaciones.

En el caso más grave 38 inmuebles colapsaron, estos edificios se alinearon en la zona de transición, entre el borde del lago y la zona de lomas, distribuyéndose en 36 manzanas, fig. 9.

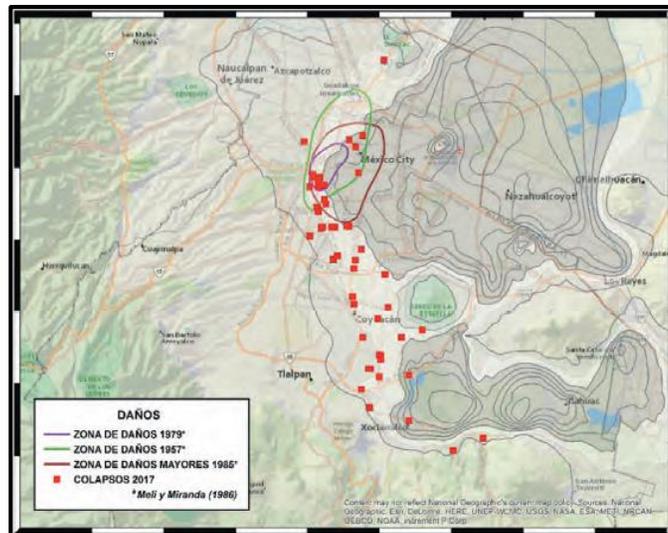


Figura 9. Edificios colapsados en el sismo del 19S17

Objetivo de la tesis y alcances

Este trabajo de tesis tuvo como propósito los siguientes objetivos:

Analizar y evaluar los daños en planteles educativos de la Ciudad de México, identificando los daños en elementos estructurales y no estructurales de algunas escuelas públicas inspeccionadas días posteriores al sismo del 19S17.

Realizar el análisis de la normativa de diseño sísmico del INIFED: Normas y Especificaciones para Estudios, Proyectos, Construcciones e Instalaciones del INIFED, Volumen 4: Seguridad Estructural, Tomo II: Diseño por Sismo (NEEPCI-DS-2014) y las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo (NTC-DS) de la actual normativa de construcción de la Ciudad de México.

Aportar propuestas conceptuales de reforzamiento con base en la normatividad técnica del INIFED, aplicable a escuelas de concreto de la Ciudad de México.

Contenido del trabajo

El trabajo se estructuró en 6 capítulos que se describen a continuación:

Capítulo 1: Antecedentes

Desde tiempos prehispánicos, México ha tenido fenómenos naturales como sismos, inundaciones, erupciones volcánicas, etc. que han puesto en peligro la vida de sus habitantes. En este capítulo se hace una recopilación histórica de los macrosismos que han afectado a la Ciudad de México y se comparan con el sismo del 19S17. Se describen de manera general los principales daños estructurales y no estructurales en infraestructura educativa, generados por los sismos de 1985 y 2017.

Finalmente, se describen los tipos de reforzamiento más comunes empleados en las construcciones en general y los reforzamientos más empleados en algunas escuelas públicas en la Ciudad de México después del sismo de 1985.

Capítulo 2: Reglamentación para el diseño sísmico

Se presenta un análisis comparativo de la información reglamentaria para el diseño sísmico de la Ciudad de México, desde la evolución del Reglamento de Construcciones para el D.F. de 1976 (RCDF-1976) hasta las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo (NTC-DS) del Reglamento de Construcciones para el D.F. de 2017 (RCDF-2017), así como las NEEPCI-DS-2014 del INIFED.

Así mismo se analiza el papel que tienen los corresponsables de seguridad estructural y directores responsables de obra en los planteles educativos.

Capítulo 3: Inspección de daños en escuelas de la Ciudad de México

En este capítulo se describe la metodología usada para realizar una inspección visual detallada en escuelas y, particularmente, de la Ciudad de México; esta metodología abarca: la identificación visual de daños, el levantamiento de daños en cédula de inspección, la clasificación y evaluación de daños reportados en dichas cédulas y un reporte fotográfico. La metodología descrita se aplica a un caso de estudio real, inspeccionado en los días posteriores a la ocurrencia del sismo 19S17.

Se determinan y comparan los espectros de diseño, según las NTC-2004, NTC-2017 y de las Normas y Especificaciones para Estudios, Proyectos, Construcciones e Instalaciones del INIFED 2014 (NEEPCI-2014) para el caso de estudio y, a partir de esta información, se realiza una revisión simplificada de la capacidad lateral de la estructura, mediante la revisión del cortante basal resistente, tomando en cuenta las demandas sísmicas requeridas por la normativa del RCDF-1976, de las NTC-DS-1987, NTC-DS-2004, NTC-DS-2017 y NEEPCI-2014.

Capítulo 4: Propuestas conceptuales de reforzamiento en base a la normatividad técnica del Instituto Nacional de la Infraestructura Física Educativa (INIFED)

Contiene las propuestas conceptuales, recomendadas en este trabajo, para el reforzamiento, reparación y mantenimiento de escuelas de la Ciudad de México, con base en la normatividad técnica del INIFED, NEEPCI-2014.

Capítulo 5: Conclusiones y recomendaciones

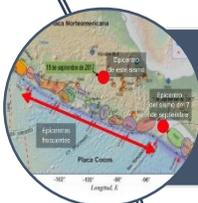
Se presentan las conclusiones y recomendaciones más importantes de este trabajo, derivadas de las experiencias obtenidas en la inspección y evaluación de daños de escuelas, producto del sismo del 19S17 y de la revisión detallada de la información disponible sobre el tema.

CAPÍTULO 1

ANTECEDENTES



Resumen histórico de los sismos que han afectado a la Ciudad de México



Características del sismo del 19S17 vs sismos pasados de gran intensidad



Daños estructurales y no estructurales



Daños estructurales en infraestructura educativa en sismos pasados



Daños estructurales en infraestructura educativa en el sismo del 19S17



Rehabilitación de estructuras

1. ANTECEDENTES

1.1 Resumen histórico de los sismos que han afectado a la Ciudad de México

Como se mencionó en el apartado anterior, México es un país altamente sísmico, por lo que a lo largo de su historia se ha visto amenazado y afectado por sismos, algunos de intensidades moderadas y altas que han perjudicado a las estructuras ocasionando, en casos extremos, cuantiosas pérdidas humanas y económicas.

En la época prehispánica y colonial los sismos eran considerados actos atribuidos a alguna divinidad y a dioses, se realizaban códices y anales nahuas para registrar estos eventos. Con la evolución de las ciencias de la tierra y los avances tecnológicos se realizaron nuevas formas de análisis y determinación de la magnitud y daños ocasionados por los sismos.

A continuación se mencionan algunos de los macrosismos que han afectado a la Ciudad de México:

Sismo de 1354

República Mexicana, Erupción del Popocatepetl

“Cumplimos ciento cincuenta y ocho años después del gran huracán y cuatro mil novecientos noventa y cuatro de la creación del mundo, tuvieron otra destrucción los de esta tierra que fueron los quinametin, gigantes que vivían en esta rinconada, que se dice ahora Nueva España, la cual destrucción fue gran temblor de tierra, que los tragó y mató, suerte que se destruyeron todos sin escapar ninguno, y si escapó alguno fue de los que estaban más hacia la tierra dentro; y asimismo muchos de los toltecas murieron y los chichimecas sus circunvecinos, que fue en el año de cetecpatl; y a esa edad le llamaron Tlachitonatiu, que quiere decir sol de tierra”. Alva, I:264-265

Sismo de 1475

[...] en el año 9 calli reinando en México Moctezuma 1º o Ilhuicamina que corresponde al de 1475 hubo fuertes terremotos, tanto que se arruinaron casi todas las casas y edificios de esta ciudad, se abrió en algunas partes la tierra y se hundieron las cumbres de algunos cerros. Pienso que sea el que llaman del Molcajete y otros dos sus vecinos que están junto a las canteras de tezontle”. Velázquez de León, 1977:272

Sismo del 26 de agosto de 1611

“Viernes como a las tres y media de la mañana [...] tembló la tierra muy recio, de que se cayeron muchas casas de México y murieron algunas gentes. Este mismo día a la cinco de la tarde volvió a temblar en tierra, de que se puso gran espanto en la ciudad. Este día está el arzobispo (Fr. García Guerra) corriendo toros, y grandes fiestas de juegos de cañas y

alcancías, de que dio en murmurar en la ciudad, dicen que mejor fuera a hacer procesiones como lo hicieron en todas las iglesias repicando con gran sentimiento las campanas". Fonseca: 612-613

Sismo del 16 de agosto de 1711

"El virrey Fernando de Alencastre llegó a la Nueva España a fines de 1710, pero no se hizo cargo del gobierno, sino hasta enero de 1711. La situación en que encontró a la Colonia era difícil, más ésta se agravó a pocos meses de iniciada su administración debido al terrible sismo que consternó a la ciudad de México el 16 de agosto de ese mismo año y que según los cronistas se prolongó durante casi media hora arruinando cientos de viviendas y edificios". Jaime Castañeda Iturbide

Sismo del 4 de abril de 1768

"[...] el terremoto mayor y más fuerte que en todo este siglo ha experimentado esta ciudad sucedió en el año de 1768, día 4 de abril, segundo de la Pascua a las 6 y 47 minutos de la mañana. Comenzó como es regular por un movimiento vibratorio de abajo para arriba que duró muy poco tiempo aunque fuertísimo, después tardaron los edificios en recobrar su equilibrio muy cerca de seis minutos, durante todo ese tiempo las oscilaciones del sur este al noroeste, como del año 54". Roberto Moreno: 273

Existieron diversos daños en los cuarteles de la ciudad de México, principalmente daños en casas (escaleras y muros), templos, puentes y algunos acueductos.

Sismo del 8 de marzo de 1800

"Fuerte terremoto en México, llamado de San Juan Dios, á las nueve de la mañana; fue bastante largo pues el periódico de la época dice al hablar de ese fenómeno paso de cuatro minutos: sus primeros movimientos de Oriente y Poniente; después con más duración de Norte a Sur, terminando con movimientos encontrados á modo de circulo. No se sabe hasta la presente causase estrago de la mayor consideración; pero las más de las fábricas y algunas iglesias quedan necesitando reparo. En varias partes se abrió el suelo: algunas de las cañerías conductoras de agua se rompieron; y la arquería por donde entra á la ciudad de Chapultepec, padeció bastante detrimento, rompiéndose su reposadera". Juan Orozco y Berra I, 353

Los daños causados por el sismo fueron principalmente en muros de piedra, fisuras, grietas y cuarteaduras antiguas que se renovaron con el sismo, fallas en marcos de puertas, ventanas, bóvedas y arcos de iglesias, existió daño en el alcantarillado. Varias casas y edificios tuvieron que ser apuntalados y en algunos casos derribadas para evitar daños mayores.

Sismo del 7 de abril de 1845

“Terremoto denominado del Señor de Santa Teresa. En la tarde a las tres y cincuenta minutos tembló muy fuerte en México; comenzó con ligeros movimientos trepidatorios que arreciaron desde mucho, siguieron luego violentas oscilaciones del norte al sur, tan marcadas que las torres de la Catedral se veían oscilar. La conmoción fue terrible y el espanto de los habitantes grandísimo, que aumento más cuando se escuchó el estruendo de la cúpula del templo del Señor de Santa Teresa que se derrumbó. Todos los edificios padecieron bastante; las arquerías que conducen agua sufrieron bastante quebrante y aun se suspendió el tráfico de algunas calles; por fortuna no hubo muchas desgracias que lamentar, pues aunque hubo algunos estropeados no fueron numerosos. El terremoto repitió con menos fuerza, á las seis y cuarenta y cinco minutos y a las siete y quince minutos de la nove, siendo oscilatorio el movimiento de norte a sur”. Juan Orozco y Berra I, 376-377

Krishna Singh Sri. (Sri Krishna, 1991) asigna una magnitud de 8.1 con epicentro en San Marcos, Guerrero.

El sismo causó daños en muros de casas y edificios, sobresaliendo el derrumbe de la cúpula del templo del Señor de Santa Teresa y algunos otros derrumbes en la plaza del Sol, calle Real, Tacubaya, Santa Fe. La zona más afectada fueron Xochimilco, San Gregorio, Azcapotzalco. Algunos tramos del sistema de alcantarillas sufrieron daños graves y los acueductos quedaron inutilizados.

Sismos del 19 de junio de 1858

“El 19 de junio de 1858 sufrió México otro fuerte temblor de iguales consecuencias que el de 1845; se desplomó una parte del convento de San Gerónimo, se cuartearon muchos templos varios de los cuales hubo que cerrarlos al culto mientras se reparaban, y se desplomaron algunas casas. Dañó la academia de San Carlos”. José Guadalupe Romero I.470

Los principales daños por el sismo fueron derrumbes en casas, agrietamiento en muros y daños mayores en varios conventos y templos de la ciudad, se hicieron visibles fallas geológicas en el terreno.

Sismo del 19 de noviembre de 1912

El 19 de noviembre de 1912, a las 7:18 horas, se sintió un sismo en la zona noroeste del Estado de México, fue registrado por la estación sismológica Central de Tacubaya con una magnitud de 6.9, con foco entre Acambay, El Oro y Acámbaro, en la ahora “falla de Acambay-Tixmadejé”. El sismo devastó el triángulo que se forma entre Acambay, Atlaconulco y Temascalcingo, sin embargo la Revolución y la inestabilidad de la época no ayudaron a la reconstrucción del pueblo y a la atención de damnificados.

Sismo del 28 de julio de 1957

El sismo de magnitud 7.7 en la escala Richter se registró a las 2 horas 40 minutos y 51 segundos con epicentro a 258 km al sur de del observatorio de Tacubaya, a los 16° 21' N y 99° 13' W, al sur de Acapulco, Guerrero. Se determinó un grado VII en la escala de Mercalli, fig. 1.1.



Figura 1.1 Ubicación del epicentro y las curvas de intensidad en la escala de Mercalli (ERN, 2017)

Los principales daños se ocasionaron en el centro (delegación Cuauhtémoc) y parte baja de la ciudad desplantada sobre el antiguo lago de Texcoco; debido al suelo blando de la zona, el pavimento se levantó en diversos puntos de la ciudad. Se produjo daños en edificios y monumentos, así como el desplome del Ángel de Independencia, fig. 1.2a, y la Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura del IPN, fig. 1.2b, un edificio de departamentos ubicado en la esquina de Frontera y Álvaro Obregón y un edificio ubicado en Insurgentes 337 esquina con Coahuila. En total se produjeron 5 colapsos parciales, 4 colapsos totales y 39 muertes.



Figura 1.2 a) El Ángel de la Independencia (LOCAL.MX) y b) la Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura del IPN después del sismo (ERN, 2017)

Los daños se atribuyeron no solo a la intensidad del sismo, también a las condiciones de carga no tomadas en cuenta, fallas en columnas y trabes por momento torsional, excesiva flexibilidad en algunas estructuras, choques entre edificios colindantes, carencia de elementos estructurales, defectos de construcción, mala calidad de los materiales, incorrecta ejecución de los diseños, falta de control en los procesos constructivos y mal estado de conservación de edificios antiguos e

inmuebles menores, ya que tenían afectaciones por sismos anteriores y asentamientos diferenciales por mal diseño de las cimentaciones. En la fig. 1.3 se observa que las zonas de mayor intensidad estimada, no corresponden totalmente con los edificios dañados y las curvas de intensidad en términos de aceleración.

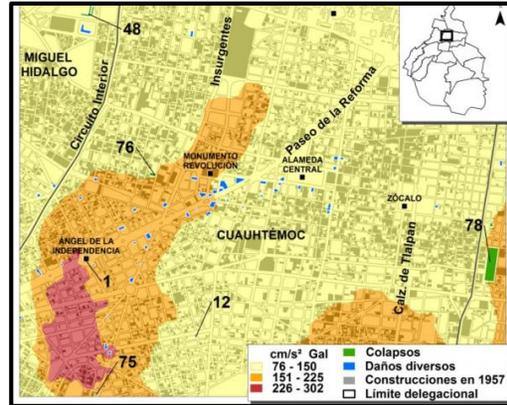


Figura 1.3 Zona ubicación de edificios con daños en el centro de la Ciudad de México (ERN, 2017)

Sismo del 19 de septiembre de 1985

El sismo de magnitud 8.1 en la escala Richter se registró a las 7 horas 17 minutos y 47 segundos con epicentro en Caleta de Campo, Michoacán debido a la rotura del contacto entre las placas de Cocos y de Norteamérica, con una extensión de 50 km x 170 km y a unos 16 km de profundidad (ICA, 1988).

El sismo de 1985 es considerado el más catastrófico de la Ciudad de México, debido a la cantidad de pérdidas económicas y vidas humanas, se estimaron más de 4,000 muertos y más de 10,000 heridos ocasionados por el sismo.

El 19 de septiembre de 1985 a las 19 horas 37 minutos se originó otro sismo de magnitud 7.6 en Michoacán al suroeste del epicentro, como se muestra en la fig. 1.4.

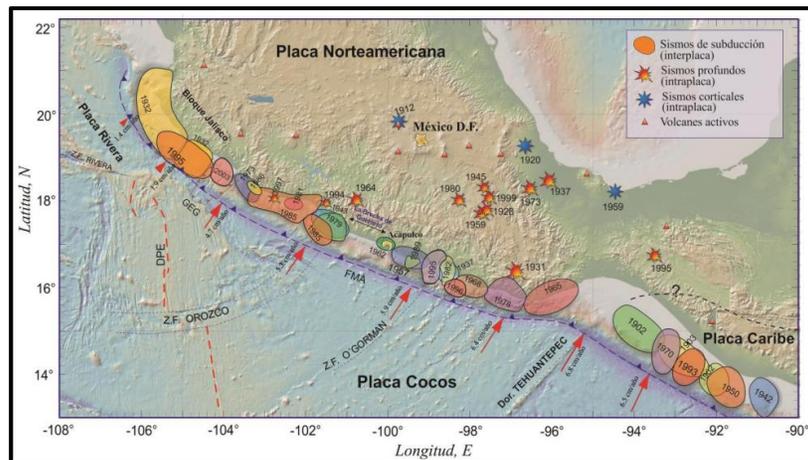


Figura 1.4 Ubicación del epicentro del Sismo del 19 de septiembre de 1985. (GTSSN, 2017)

La zona que más quedó devastada fue la delegación Cuauhtémoc en numerosas colonias: Centro, Alameda, Guerrero, Juárez, Roma. Por las características del suelo lacustre las ondas se amplificaron dramáticamente, principalmente en ciertos rangos estrechos de frecuencia de vibración, ocasionando una duración de más de 180 segundos, a pesar de que la ruptura del sismo duró sólo 45 segundos.

Los edificios de 7 a 15 niveles experimentaron grandes oscilaciones sufriendo los máximos daños y colapsos. Como consecuencia se emitieron las Normas de Emergencia donde se incluyó la división de la Ciudad de México en tres zonas sísmicas: lago, transición y lomas, y la elaboración del Reglamento del Distrito Federal.

El Comité Metropolitano para Emergencias (Secretaría General de Obras, DDF, 1988), reportó 5,728 edificios dañados o destruidos, de los cuales, el 15% se colapsaron en forma parcial o total, 38% sufrieron daño estructural y 47% no sufrieron daño. En estos datos no se incluyen las estructuras que fueron dañadas y reparadas por sus propietarios sin dar aviso al gobierno.

1.2 Características del sismo del 19S17 vs sismos pasados de gran intensidad

Sismo del 19 de septiembre de 2017

El sismo de 7.1 ocurrió a las 13 horas 14 minutos 40 segundos, dentro de la placa de Cocos, por debajo del continente, a una profundidad de 57 km, a este tipo de sismo se conoce como sismo intraplaca (SSN, 2017).

El epicentro se localizó en el límite estatal entre los estados Puebla y Morelos (18.40 latitud N y -98.72 longitud W), a 12 km al sureste de Axochiapan, Morelos y a 120 km de la Ciudad de México, como se muestra en la figura 1.5.

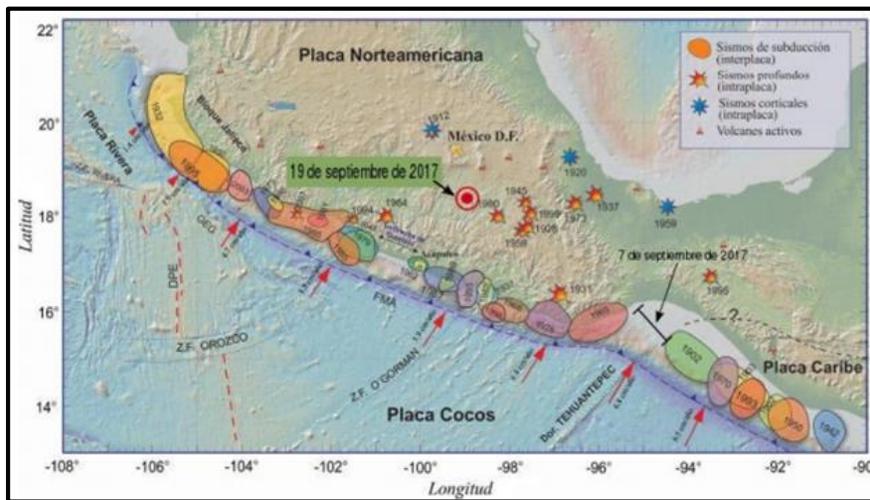


Figura 1.5 Ubicación del epicentro del Sismo del 19 de septiembre de 2017. (GTSSN, 2017)

El sismo dañó, en su mayoría, a estructuras relativamente pequeñas, de entre 4 y 7 pisos, a lo largo de una franja con orientación norte-sur dentro de la zona de transición, entre estas destacan las alcaldías Álvaro Obregón, Gustavo A. Madero, Miguel Hidalgo, Benito Juárez, Tlalpan, Iztapalapa, Xochimilco, Coyoacán y Cuauhtémoc, donde se produjeron las mayores aceleraciones espectrales como se muestra en la fig. 1.6.

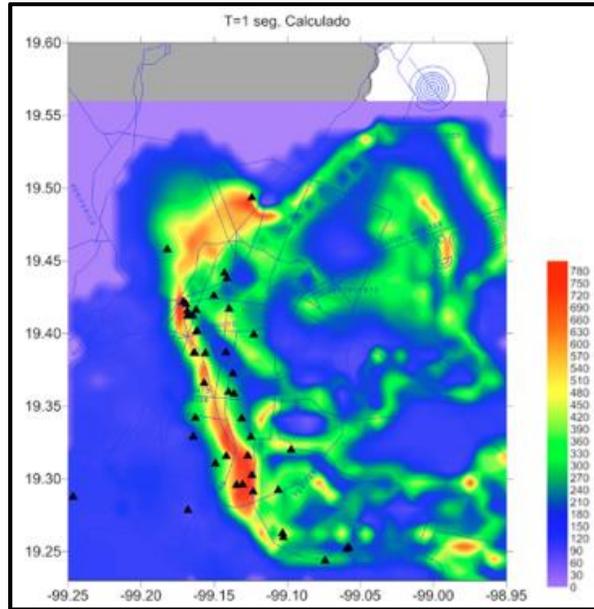


Figura 1.6 Edificios colapsados y aceleraciones espectrales para periodos de 1 segundo para estructuras de 1 a 7 pisos. (Ciencia UNAM, 2017)

Las aceleraciones espectrales obtenidas en CU, indicaron que los edificios de 1 a 12 pisos, cercanos a la estación sísmica experimentaron una aceleración promedio de 119 gal y los edificios más altos de entre 12 y 20 pisos experimentaron en promedio una aceleración de 60 gal. Las ondas con mayor período de oscilación (de baja frecuencia) amenazan estructuras más altas y las ondas con períodos cortos (de alta frecuencia) afectan a las estructuras relativamente bajas.

Debido a la emergencia, ocasionada por el 19S17, se aceleró la publicación de las nuevas NTC y de las modificaciones al RCDF, a través de la Gaceta Oficial del Distrito Federal, el 15 de diciembre de 2017.

Sismo del 19 de septiembre de 1985 vs 19S17

En 1985 el epicentro del sismo entre las placas de Coco y de Norteamérica (interplaca o de subducción), se localizó en las costas del estado de Michoacán a más de 400 km de la capital, con una magnitud de 8.1; mientras que el sismo 19S17 ocurrió dentro de la placa de Cocos (sismo intraplaca) a 120 km al sur de la Ciudad de México, con una magnitud de 7.1, fig. 1.7.

Los daños ocasionados por ambos sismos se correlacionaron con las amplificaciones del suelo blando y la resonancia con los periodos de sitio en la zona del lecho lacustre, que magnificaron las aceleraciones de las ondas sísmicas.

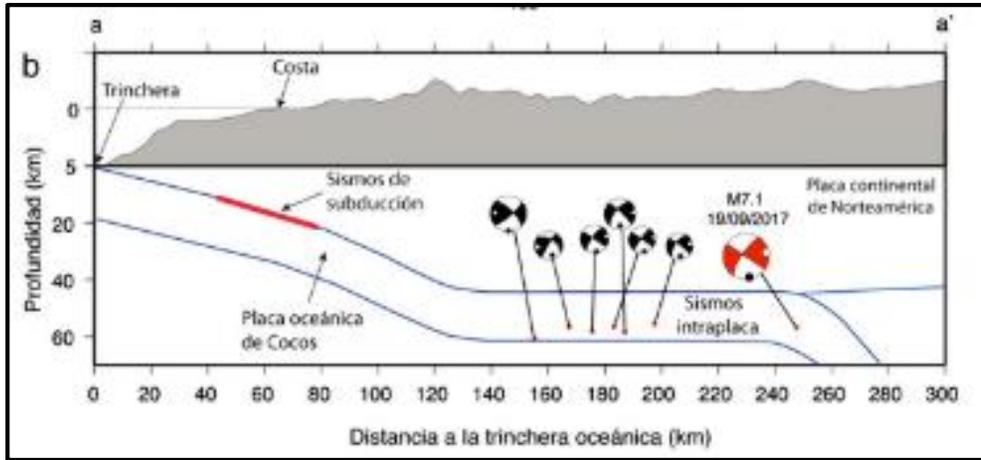
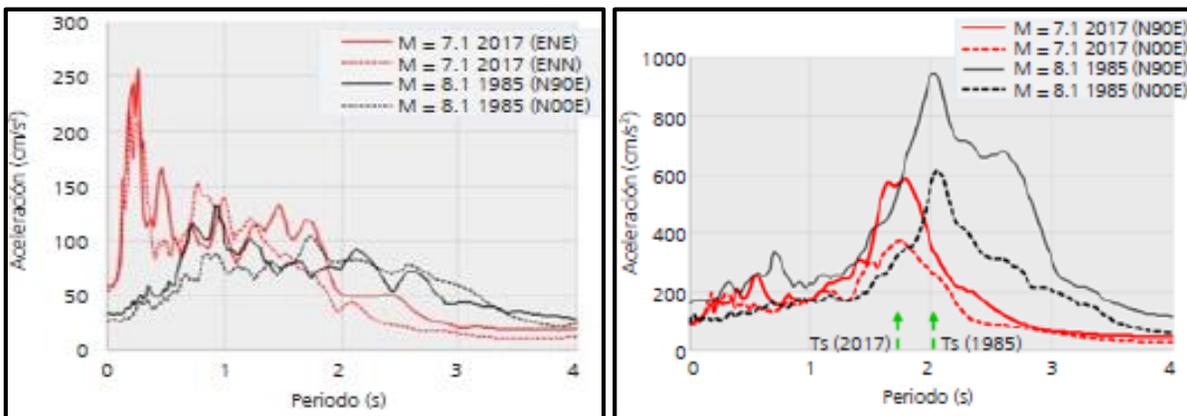


Figura 1.7 Ubicación de sismos de subducción vs sismos intraplaca en la placa de Cocos. (Ciencia UNAM, 2017)

En 1985, en Ciudad Universitaria (CU), suelo firme, la aceleración máxima registrada fue de 30 gal (1 gal = 0.01 m/s²), mientras que la aceleración máxima el 19 de septiembre de 2017 fue de 57 gal. En la estación ubicada en la Secretaria de Comunicaciones y Transportes (SCT), suelo blando, la aceleración máxima registrada fue de 160 gal, mientras que en 2017 fue de 91 gal. Las aceleraciones espectrales máximas para un amortiguamiento D=5%, se presentaron en un periodo de aprox. 0.3 segundos, con valores más de cinco veces mayores a los registrados en 1985, como se observa en la fig. 1.8a Estación CU y 1.8b Estación SCT.



a) Suelo firme Estación CU

b) Suelo blando estación SCT

Figura 1.8 Espectros de respuesta en terreno firme, para los sismos del 19 de septiembre de 1985 y 2017 (D=5%). (geotecnia, 2018)

Algunas zonas del lago registraron en 2017 aceleraciones máximas, de menor magnitud, comparadas con las correspondientes al sismo de 1985. Este último, liberó 32 veces más energía sísmica que el del 19S17. (Ciencia UNAM, 2017)

En la fig. 1.9a se muestra como las aceleraciones espectrales en CU, asociadas a los edificios de 1 a 12 pisos, cercanos a la estación sísmica, pudieron haber experimentado una aceleración promedio, aproximadamente 2 veces mayor que en 1985. En la fig. 1.9b se muestran los espectros de respuesta, obtenidos a partir del registro sísmico del 19S17, en la estación ubicada en la SCT, se puede observar que los edificios pequeños, cercanos a la estación, pudieron experimentar una aceleración promedio muy similar a las generadas a partir de los registros del sismo de 1985.

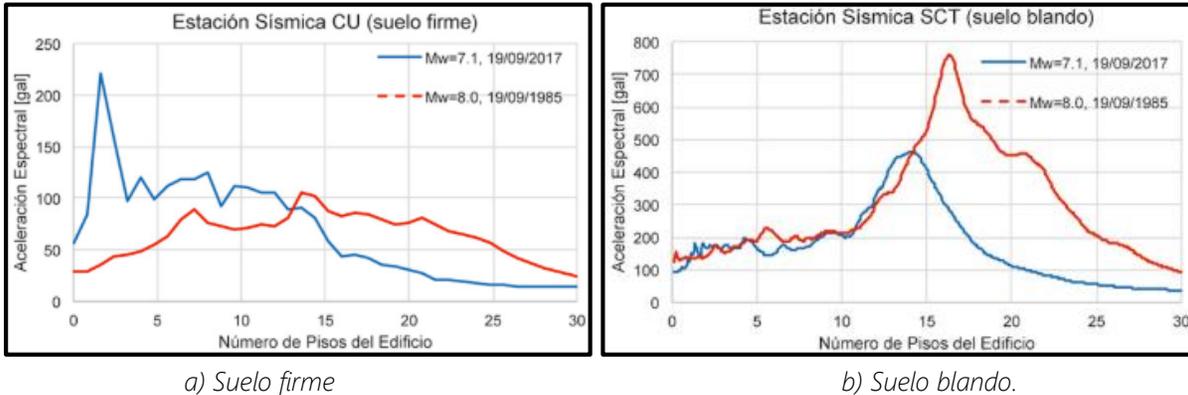


Figura 1.9 Aceleraciones experimentadas en azoteas para los sismos del 19 de septiembre de 1985 y 2017. (Ciencia UNAM, 2017)

Las mayores aceleraciones del sismo del 19S17 se registraron en las zonas con espesores menores a 30 m (zona IIIa).

1.3 Daños estructurales y no estructurales

La identificación de daños en una estructura después de un sismo es indispensable, ya que las evidencias de daños nos muestran la vulnerabilidad que tiene una estructura desde su concepción; también muestran las deficiencias y/o carencias estructurales de un edificio.

En la fig. 1.10 se observa una gráfica esfuerzo-deformación a la que se le asocia un tipo de daño de acuerdo a la deformación.

- Daños menores: Los materiales apenas han sobrepasado su límite elástico y conservan íntegramente sus capacidades de resistencia y rigidez.
- Daño significativo: Los elementos verticales mantienen su capacidad para soportar las cargas verticales, la estructura ha sufrido un daño significativo pero conserva cierta rigidez y la resistencia lateral. La estructura puede aguantar réplicas de intensidad moderada.
- Daños mayores: la estructura ha sufrido daños mayores y está cercana al colapso y podría no ser capaz de resistir réplicas de sismos.

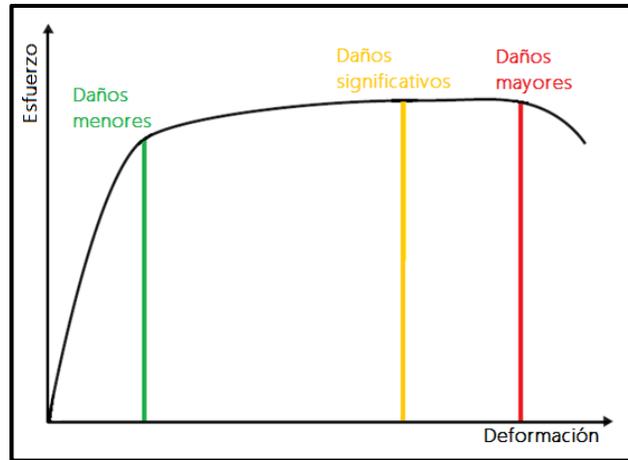


Figura 1.10 Gráfica esfuerzo-deformación y daños asociados.

En la fig. 1.11 se muestra el grado de daño asociado a la importancia de los elementos estructurales.

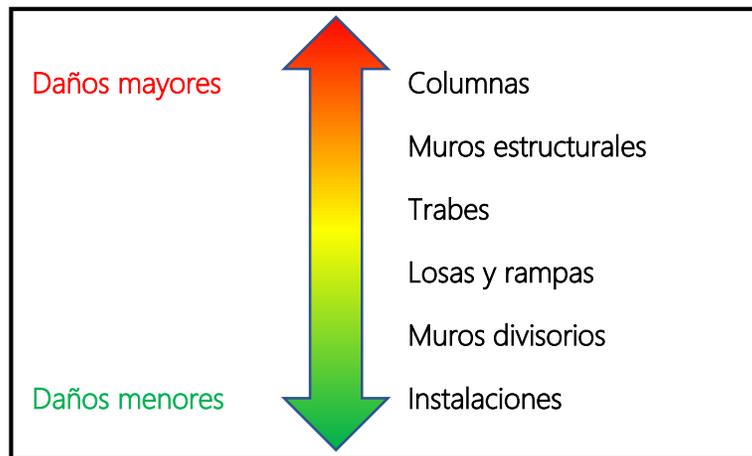


Figura 1.11 Importancia de los elementos estructurales vs nivel de daño

En la fig. 1.12 se muestra el grado de daño asociado al tipo de falla.

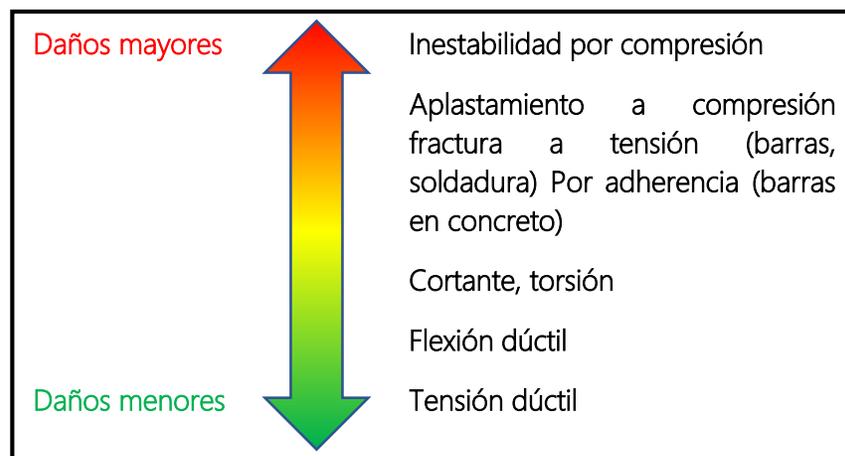


Figura 1.12 Tipos de la falla vs nivel de daño

Daños estructurales

El comportamiento de las estructuras ante un sismo depende de varios factores:

- Aceleraciones máximas del terreno.
- Periodo dominante del movimiento del suelo.
- Periodo de vibrar del edificio.

Cuando la resistencia de los elementos estructurales es menor a las fuerzas inducidas por el sismo, será muy probable que la estructura sufra daños.

Los elementos de una estructura están pensados para resistir adecuadamente esfuerzos para trabajar a tensión, compresión, flexión, torsión, cortante y pandeo. En la fig. 1.13 se observa cómo actúan los distintos esfuerzos.

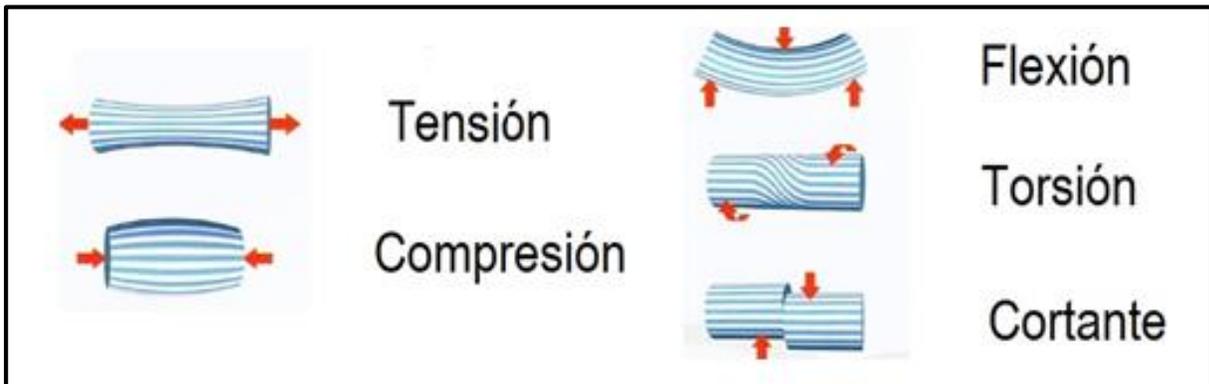


Figura 1.13 Tipos de esfuerzos (edu.xunta.es)

Comportamiento de flexión

En la fig. 1.14 se observa el comportamiento de flexión, donde los efectos de compresión y tensión en los materiales se presentan paralelamente dentro del elemento. En un extremo se producen esfuerzos de tensión haciendo que la estructura presente grietas en los materiales y esfuerzos de compresión en el extremo opuesto ocasionando aplastamiento o pandeo de los materiales.

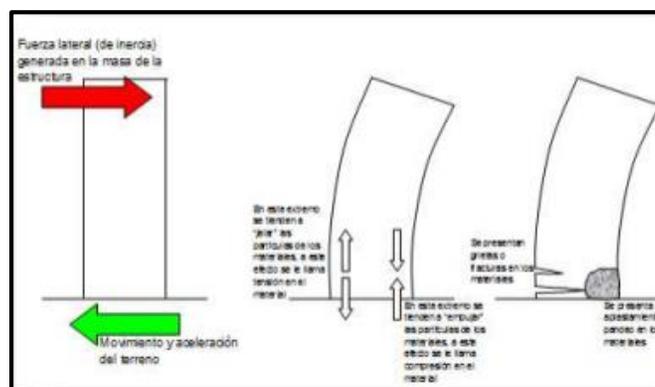


Figura 1.14 Comportamiento de flexión (ITA, 2017)

Comportamiento de cortante

En la fig. 1.15 se observa el comportamiento de cortante, en el cual, los efectos de compresión y tensión en los materiales se presentan casi perpendicularmente uno del otro dentro del elemento.

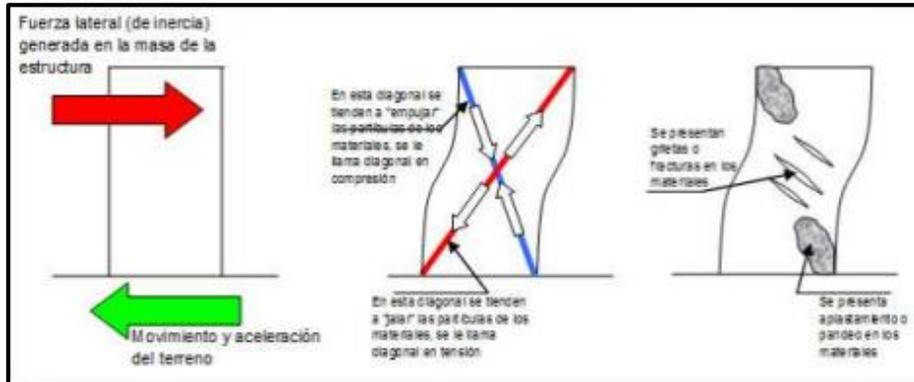


Figura 1.15 Comportamiento de cortante (ITA, 2017)

Daños en columnas de concreto

Los tipos de falla en columnas de concreto reforzado pueden ser por compresión, cortante, adherencia y flexión como se observa en la fig. 1.16; formación de articulaciones plásticas; deformación inelástica; desconchamiento del concreto a consecuencia del pandeo del refuerzo longitudinal o por la excedencia de la resistencia del concreto.

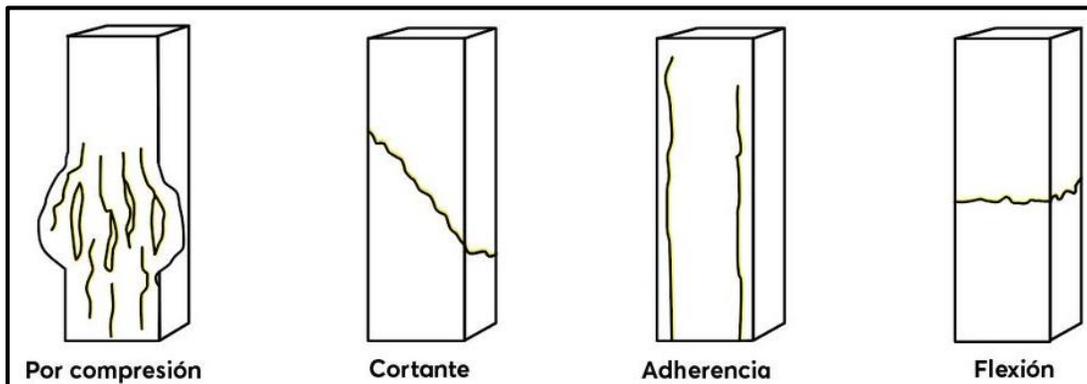


Figura 1.16 Tipos de fallas en columnas de concreto reforzado. (@NosotrxsMX, 2017)

Generalmente las fallas estructurales pueden deberse a la inadecuada resistencia al cortante de los entrepisos debido a la escasez de columnas y muros. En la fig. 1.17, se muestra el antes y el después del colapso, de un edificio de la Ciudad de México debido a la falla de cortante en sus columnas, como consecuencia del sismo del 28 de julio de 1957.



Figura 1.17 Antes y después del sismo del 28 de julio de 1957. (Murillo Jiménez Carlos Guillermo, 2019)

Cuando se generan grandes esfuerzos de cortante y tensión diagonal en columnas y vigas es necesario que estos elementos cuenten con la capacidad de deformación suficiente para soportar la sollicitación sísmica y sin afectar a su resistencia; para evitar una falla frágil y proporcionar la suficiente ductilidad es indispensable colocar refuerzo transversal bien detallado en la región de la potencial articulación plástica. En la fig. 1.18 se observan los efectos combinados de carga axial y momento flexionante en (b) columna sin refuerzo transversal y (c) columna con refuerzo transversal.

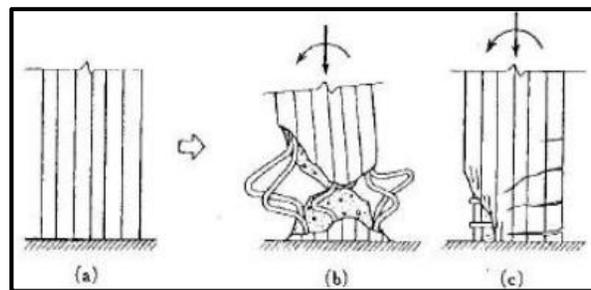


Figura 1.18 Efecto combinado de carga axial y momento flexionante en columnas (Temo Correa)

Daño por efecto de columna corta

El efecto de columna corta se presenta cuando se restringe parcialmente el desplazamiento lateral de la columna por elementos no estructurales, no desligados de la estructura, generalmente en ventanas; en la fig. 1.19 se observa como la columna falla por cortante, debido a la contribución de los muros no estructurales a la rigidez lateral del edificio que al reducir la longitud libre de la columna esta incrementa su rigidez efectiva haciendo que falle.

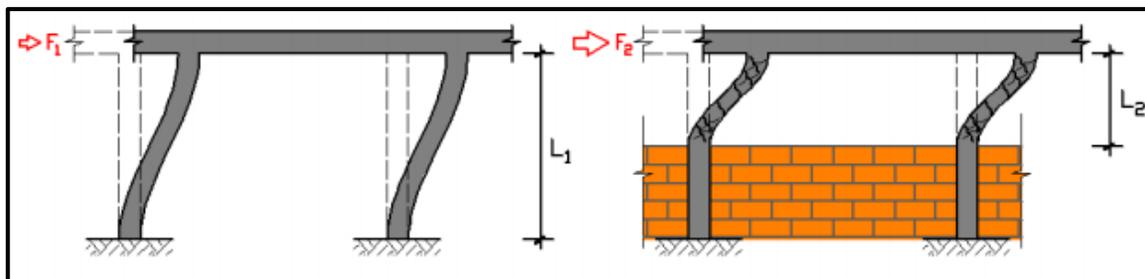


Figura 1.19 Efecto de columna corta. (B.R.S. Ingenieros, C.A.)

Daños en vigas

Los daños en vigas pueden ocasionarse por agrietamiento diagonal cerca de la conexión viga-columna, aplastamiento del concreto, pérdida de adherencia, fallas por cortante, formación de articulaciones plásticas o fluencia del acero, desconchamiento del concreto debido a un anclaje defectuoso entre la unión viga-columna, fig. 1.20.



Figura 1.20 Desconchamiento del concreto en la unión viga-columna. (Temo Correa)

Daños en losas

Los principales daños estructurales que pueden presentarse en una losa pueden ser por: punzonamiento, fig. 1.21, generado por grietas de tensión diagonal en la losa alrededor de los apoyos; grietas por cortante en losas nervadas, fig. 1.22; deformación inelástica, fluencia del acero y pérdida de adherencia y presfuerzo.

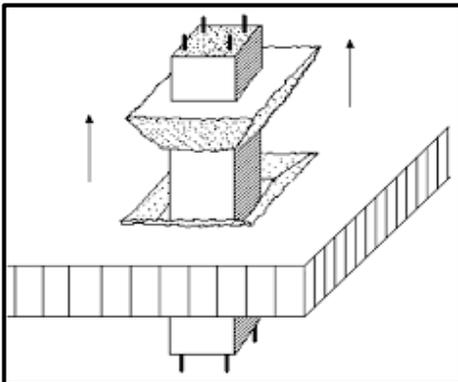


Figura 1.21 Efecto de punzonamiento en una losa. (CYPE Ingenieros)



Figura 1.22 Grietas por efecto de cortante en lasas nervadas. (DE-DICYG, 2018)

Daños en muros de cargas

Los daños pueden ser por agrietamiento, fluencia del acero, pandeo, deformaciones fuera del plano, pérdida de la conexión y aplastamiento. En la fig. 1.23 se muestra la acción combinada de flexión y fuerza cortante, agravada por la carga vertical concentrada que transmiten las vigas en el extremo libre superior del muro.



Figura 1.23 Efecto en muro transversal. Edificio Sol Oriente, Santiago. (SciELO.org)

Daños por asimetría estructural

Este tipo de daños se generan por efectos de torsión en estructuras con distintos tipos de asimetría. Las causas principales están asociadas a las siguientes condiciones:

- Estructuraciones irregulares, como las que se presentan en edificios de esquina, fig. 1.24.



Figura 1.24 Colapso de un edificio de esquina, por efectos de torsión, durante el sismo de 1985 (DE-DICYG, 1985)

- Distribuciones irregulares de rigidez o masa en el edificio, debido a cambios drásticos en la configuración estructural, así como el cambio del uso del inmueble ocasionando una sobre carga.

Daños en cimentaciones y suelo

El terreo donde se desplanta el edificio puede tener asentamientos diferenciales, agrietamiento del suelo debido a fallas geológicas, extracción de agua, etc., causando serias afectaciones en la cimentación y la estructura. En la fig. 1.25 se observa la generación de una grieta debido a una falla regional, después del sismo de septiembre de 2017 en la Ciudad de México.



Figura 1.25 Apertura de falla regional. (CICM-SMIE, 2018)

Daños por golpeteo entre edificios

En la fig. 1.26 se muestra un edificio de la Ciudad de México en el sismo de 1985, que falló debido al golpeteo entre edificios adyacentes por la no coincidencia en sus sistemas de piso, ocasionando el colapso de uno de sus entrepisos intermedios.



Figura 1.26 falla de entrepiso por golpeteo entre edificios adyacentes. (Bazán E. y Melí R., 1998)

Causas más comunes de las fallas estructurales

Entre las causas más comunes asociadas a daños importantes, colapsos parciales y/o totales en las estructuras se pueden mencionar los siguientes:

- Daño sísmico previo.
- Existencia de piso débil.
- Pronunciada asimetría en rigidez.
- Variación brusca de la rigidez a lo largo de la altura del edificio.
- Amplificación de los deslizamientos en la cúspide de los edificios.
- Edificios en esquina.

- Asentamientos diferenciales previos.
- Pobre desempeño de la cimentación.
- Golpeteo entre edificios.
- Columnas cortas.
- Masa excesiva o distribución irregular de la misma.
- Efectos de torsión causados por la no coincidencia entre el centro de masas y el centro de rigidez.

Daños no estructurales

A pesar de que los elementos no estructurales no contribuyen a la estabilidad, rigidez y resistencia estructural de un edificio, el daño que en estos se ocasiona, puede causar sensación de inseguridad entre sus ocupantes. Comúnmente estos daños se deben a que los elementos no han sido desligados adecuadamente de la estructura, mediante juntas o elementos que proporcionen flexibilidad. Entre los daños más comunes en los elementos no estructurales se pueden mencionar:

- Desprendimiento de plafones e instalaciones (tuberías, lámparas, etc.)
- Aplastamiento de las uniones entre la estructura y los elementos divisorios.
- Agrietamiento de los elementos divisorios de mampostería.
- Daños por deterioro de materiales y/o desprendimiento de aplanados, recubrimientos y elementos de fachadas.
- Deformaciones en cancelerías y rotura de cristales.

1.4 Daños estructurales en infraestructura educativa en sismos pasados

Tras el sismo de 1985, aproximadamente 1500 escuelas, ubicadas en las colonias Roma, Doctores, Guerrero, Tepito, Merced y Tlatelolco, de la Ciudad de México, resultaron dañadas, lo que en ese entonces representaba 11.4 % de la infraestructura educativa en la ciudad (Contreras, 2011).

Entre las escuelas reportadas con mayores afectaciones se encontraban:

- Secundaria 78, en Magdalena de las Salinas.
- Secundaria 31, en Xochimilco (dictaminado para demolición).
- Alberto Correa, en la colonia Roma.
- Secundaria No 3, en la Avenida Chapultepec.
- Edificio de Fresno 15 estuviera sobre una falla geológica.
- La secundaria número 11, en el centro de la ciudad.
- Secundaria 6, en el centro de la ciudad.

Daños estructurales

Los daños más observados después del sismo de 1985 se describen a continuación:

Daño en columnas

- Agrietamientos diagonales debidos a las fuerzas cortantes.
- Grietas verticales debidas a flexocompresión - adherencia.
- Deterioro en el concreto y pérdida de capacidad vertical debido a un inadecuado detallado del refuerzo transversal.
- Falla por efecto de columna corta.
- Aplastamiento de concreto.
- Pandeo del acero de refuerzo.

Daño en vigas

- Agrietamiento diagonal cerca de la conexión viga-columna.
- Aplastamiento del concreto cerca de la conexión debido a las grandes fuerzas de flexión inducidas por el sismo.
- Roturas de estribos por esfuerzos cortantes o torsionantes.
- Desconchamiento del concreto.

Daño en losas

- Grietas por tensión diagonal en la losa alrededor de los apoyos, que podrían originar punzonamiento.
- Fluencia del acero.

Daño en uniones viga-columna

- Agrietamiento y desconchamiento del concreto en uniones donde no existía refuerzo transversal.
- Fallas por adherencia del refuerzo.
- Un inadecuado confinamiento en las uniones.

Daño en muros de carga

- Agrietamiento inclinado debido a la restricción del movimiento lateral y esfuerzos cortantes.
- Agrietamiento horizontal debido a flexocompresión y/o desplazamiento.
- Pandeo del acero de refuerzo.

Daños no estructurales

Se produjeron daños en elementos no estructurales como grietas en muros divisorios de mampostería, vidrios rotos, desprendimiento de aplanados, recubrimientos y elementos de fachadas, plafones, tuberías e instalaciones.

Algunas escuelas dañadas en el sismo de 1985 no fueron reparadas tal como lo expreso el Arq. Enrique Arriaga gerente de proyectos del INIFED: "Todos estos planteles que están ubicados en la zona de fondo de lago tienen un factor de riesgo sísmico más alto y son vulnerables porque están sujetos a movimientos muy violentos" (Enrique Arriaga-INIFED, 2011).

El riesgo geológico en la ciudad de México también ha sido un factor en la magnitud de daños que pueden tener las escuelas, Carlos Sainz, Director del Instituto Local de Infraestructura Educativa de DF (ILIFED) dijo: "Hasta este momento, las escuelas con mayor riesgo geológico están en el centro de la ciudad, en la Delegación Cuauhtémoc y sus aledañas, un poco en Benito Juárez, un poco en Venustiano Carranza y Gustavo A. Madero, que es la zona sismo sensible de la ciudad" (Carlos Sainz-ILIFED, 2011).

1.5 Daños estructurales en infraestructura educativa en el sismo del 19S17

Según el INEE, el sismo ocasionó que el 90% de las estructuras escolares sufrieran algún tipo de daño (estructural y no estructural) en la Ciudad de México (CDMX). A continuación se enlistan los principales daños observados en las inspecciones por el sismo del 19S17.

Daños estructurales

Daño en columnas

- Agrietamiento diagonales debidas a las fuerzas cortantes.
- Grietas verticales debidas a flexocompresión- adherencia.
- Falla por columna corta; en la fig. 1.27 se muestra el daño por efecto de columna corta en la escuela secundaria "Ezequiel Chávez", Venustiano Carranza, CDMX.
- Deterioro en el concreto y pérdida de recubrimiento debido a la corrosión del acero provocando pérdida de capacidad vertical; en la fig. 1.28 se muestra el daño de columna por deterioro del concreto y pérdida de acero en las escuelas a) Secundaria "Celestino Gorostiza", Cuauhtémoc, CDMX; b) Prim. "Vicente Lombardo Toledo", Gustavo A. Madero y c) Prim. "Heriberto Jara", Gustavo A. Madero, CDMX.
- Aplastamiento de concreto.
- Fluencia del acero.
- Pandeo del acero de refuerzo.



Figura 1.27 Daño en columna por efecto de columna corta. (CICM-SMIE, 2018)

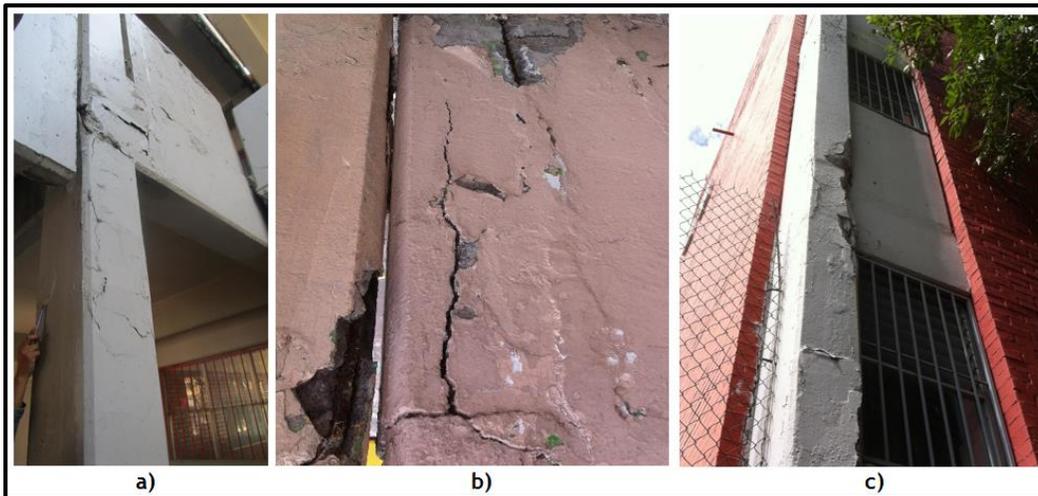


Figura 1.28 Daños en columnas por deterioro del concreto y pérdida de acero, en las escuelas a) "Celestino Gorostiza", b) "Vicente Lombardo Toledo" y c) "Heriberto Jara". (a) DE-DICYG, 2018; b y c) Ejecutable CICM-SMIE, 2018)

Daño en trabes y vigas

- Agrietamiento diagonal cerca de la conexión viga-columna.
- Aplastamiento del concreto cerca de la conexión debido a las grandes fuerzas de flexión inducidas por el sismo.
- Roturas de estribos por esfuerzos cortantes o torsionantes.
- Fallas por cortante.
- Deterioro del concreto y pérdida de acero, fig. 1.29 a) Prim. "Gral. Heriberto Jara", Gustavo A. Madero CDMX y b) Prim. "Juventino Rosas", Gustavo A. Madero, CDMX.
- Articulación plástica o fluencia del acero.



Figura 1.29 Daños en traves por deterioro del concreto y pérdida de acero, en las escuelas a) "Gral. Heriberto Jara" y b) "Juventino Rosas". (CICM-SMIE, 2018)

Daño en losas

- Grietas por tensión diagonal en la losa, como se observa en la fig. 1.30 donde se presentaron grietas por tensión en una losa de concreto de la escuela Prim. "Estado de sonora", Gustavo A. Madero, CDMX.
- Esfuerzo cortante.
- Fluencia del acero.
- Pérdida de adherencia.
- Pérdida de presfuerzo.



Figura 1.30 Grietas por tensión diagonal en losa de concreto. (CICM-SMIE, 2018)

En la fig. 1.31 se observa pérdida de adherencia y acero de refuerzo expuesto en la losa de las escuelas a) Prim. "Justo Sierra", Tacubaya, CDMX, y b) Prim. "Vicente Lombardo Toledano", Gustavo A. Madero, CDMX, que puede atribuirse a escurrimientos mal canalizados en la junta constructiva.



Figura 1.31 Daño en losas por corrosión del acero y pérdida de recubrimiento. (CICM-SMIE, 2018)

En la fig. 1.32 se observa el derrumbe parcial de la losa de concreto en la escuela primaria "Italia", Guerrero, CDMX.



Figura 1.32 Derrumbe parcial de la losa de concreto. (CICM-SMIE, 2018)

Daño en uniones viga-columna y vigas-losa

- Agrietamiento y desconchamiento del concreto en uniones donde no existía refuerzo transversal.
- Fallas por adherencia del refuerzo, pérdida del recubrimiento y exposición del acero, como se observa en la fig. 1.33 a) unión viga-columna, en la secundaria "Celestino Gorostiza", Cuauhtémoc, CDMX y b) unión viga-losa, en la escuela Prim. "Vicente Lombardo Toledano", Gustavo A. Madero, CDMX.
- Un inadecuado confinamiento en las uniones.

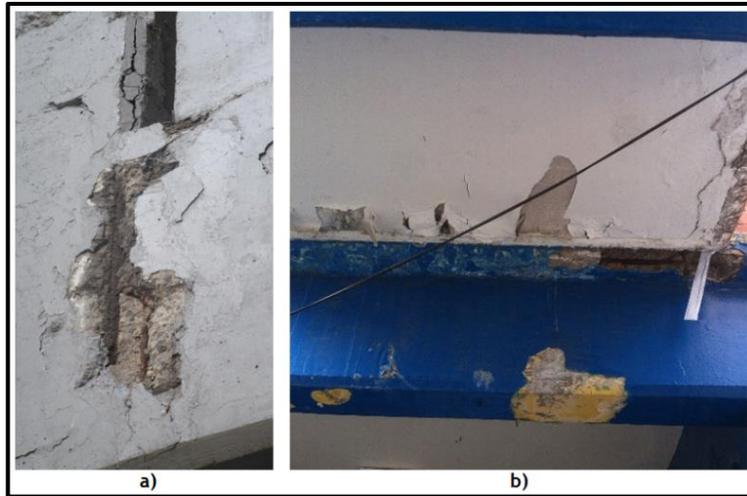


Figura 1.33 Daño por pérdida del recubrimiento y exposición del acero en la unión a) viga-columna y b) viga-losa. (CICM-SMIE, 2018)

Daño en muros de carga

En estos elementos los daños observados fueron los siguientes:

- Grietas por fuerzas cortantes asociadas con las deflexiones laterales del edificio como se muestra en la fig. 1.34, grietas en muro de carga de la Esc. Primaria "Republica De El Salvador", Azcapotzalco, CDMX.
- Agrietamiento inclinado debido a la restricción del movimiento lateral y esfuerzos cortantes.
- Agrietamiento horizontal debido a flexocompresión y/o desplazamiento.
- Pandeo del acero de refuerzo.
- Aplastamiento



Figura 1.34 Grietas por fuerzas cortantes en la Esc. Primaria "Republica De El Salvador". (CICM-SMIE, 2018)

Daños en el terreno y cimentación

- El terreo donde se desplanta el edificio puede tener asentamientos diferenciales, agrietamiento o aberturas de suelo debido a fallas geológicas, que afectan a la estructura. En la fig. 1.35 a) se observa el asentamiento del terreno circundante en el Jardín de Niños "Cocoxochitl", San Gregorio, CDMX.
- En algunos casos también pueden existir socavones en el terreno, como se observa en la fig. 1.35 b) de la escuela secundaria 196 Justo A. Zamudio Vargas



Figura 1.35 a) Asentamiento del terreno circundante b) socavación en esquina suroeste del plantel. (CICM-SMIE, 2018)

Daños en muros de mampostería

- Se produjeron daños como agrietamiento de muros de mampostería como se observa en la fig. 1.36 a) Escuela "Juventino Rosas", Gustavo A. Madero, CDMX y b) Escuela "Xochipilli", Cuauhtémoc, CDMX.
- Daños por fracturas de ladrillos, pérdida del recubrimiento y exposición de acero confinado, como en el caso de la Esc. Prim. "Gral. Heriberto Jara", Gustavo A. Madero, CDMX, fig. 1.37.

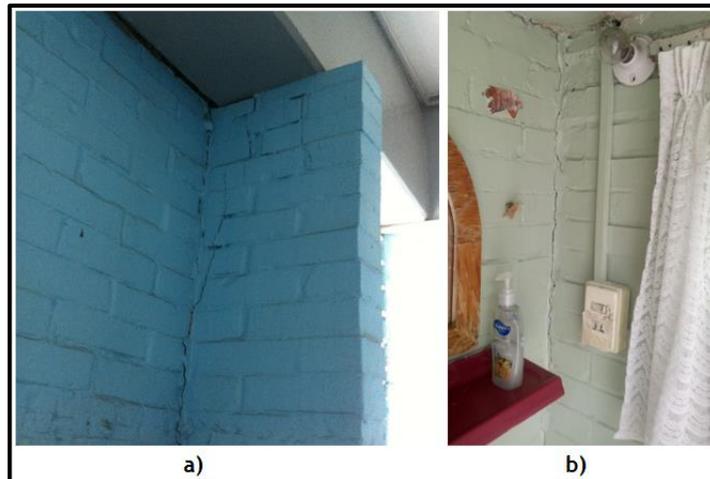


Figura 1.36 Grietas en muros de mampostería, en las escuelas a) "Juventino Rosas" y b) "Xochipilli". (CICM-SMIE, 2018)



Figura 1.37 Pérdida del recubrimiento y exposición de acero confinado en muro de mampostería. (CICM-SMIE, 2018)

Otros daños estructurales

Durante las inspecciones realizadas a escuelas de la CDMX, se detectaron diversos tipos de daños causados por el 19S17, tanto en elementos estructurales como no estructurales; sin embargo, gran porcentaje de estos daños están asociados a la falta de mantenimiento de las estructuras, haciendo que los agentes ambientales (principalmente lluvia y humedad) puedan afectar la resistencia de los elementos a través del tiempo, y que durante los sismos de septiembre estos daños se magnificaron.

En la fig. 1.38 se observan daños debido a escurrimientos pluviales en losas, trabes y columnas en las escuelas a) "Juventino Rosas", Gustavo A. Madero, CDMX; b) "Matro. José Vasconcelos", Azcapotzalco, CDMX; c) "Escuela de Participación Social No. 6", Cuauhtémoc, CDMX y d) "Gral. Heriberto Jara", Gustavo A. Madero, CDMX.



Figura 1.38 Daños debido a escurrimientos pluviales en losas, trabes y columnas en las escuelas a) "Juventino Rosas", b) "Matro. José Vasconcelos", c) "Escuela de Participación Social No. 6" y d) "Gral. Heriberto Jara". (CICM-SMIE, 2018)

Daños no estructurales

A pesar de que los daños no estructurales no afectan la estabilidad estructural del edificio, estos daños pueden aumentar el riesgo de accidentes ya que algunos elementos pueden desprenderse, caer y provocar daños a personas que se encuentren cerca. Algunos de los daños detectados son:

- Desprendimiento de instalaciones (tuberías, lámparas, etc.)
- Aplastamiento de las uniones entre la estructura y los elementos divisorios.
- Daños por deterioro de materiales y/o desprendimiento de aplanados, recubrimientos y elementos de fachadas.
- Deformaciones en cancelerías y rotura de cristales.

En la fig. 1.39 se observa el desplome de barda perimetral de la escuela primaria “Ing. Miguel Bernard”, San Gregorio Atlapuo, CDMX y en la fig. 1.40 se observa el derrumbe de un muro divisorio de mampostería en la misma escuela.



Figura 1.39 Pérdida de verticalidad (desplomo) en bardas. (CICM-SMIE, 2018)



Figura 1.40 Derrumbe de muro de mampostería. (CICM-SMIE, 2018)

1.6 Rehabilitación de estructuras

La rehabilitación de estructuras tiene como propósito restituir la capacidad y/o resistencia de una estructura para que cumpla con la función para la cual fue diseñada. En algunos casos no bastará restituir dicha capacidad y también podrá requerirse el reforzamiento de la misma, de esta forma se garantiza la seguridad de los usuarios.

En la fig. 1.41 se presenta una gráfica que muestra el comportamiento de una estructura en función del aumento de su capacidad dúctil, rigidez y/o resistencia, según se describe a continuación:

- *Estructura no reforzada con daños estructurales*: la resistencia de la estructura fue excedida.
- *Estructura con incremento de su rigidez y resistencia*: es una de las formas más económicas de reducir la vulnerabilidad de edificios poco dúctiles, aumentando su resistencia y rigidez para soportar mejor las demandas sísmicas.
- *Estructura con incremento de la ductilidad y resistencia*: consiste en aportar al edificio una mayor ductilidad antes de la falla parcial o total, de modo que se distribuya la acción sísmica por todo el edificio y se aproveche mejor su capacidad resistente.
- *Estructuras en las que se puede reducir la acción sísmica*, esta condición se puede alcanzar en los siguientes casos:
 - Cuando existe disipación de energía transmitida a la estructura a través de dispositivos de amortiguamiento que permitan disipar una parte importante de la energía sísmica que reciben.
 - Empleando dispositivos de aislamiento sísmico que funcionen como un “filtro”, entre el suelo y el edificio, que sólo deje pasar una parte de la energía debida a la acción sísmica. Con el aislamiento dinámico se consigue un desfase de frecuencia de la estructura que funciona en dirección horizontal como un oscilador de una frecuencia relativamente baja; muy recomendable en estructuras rígidas.

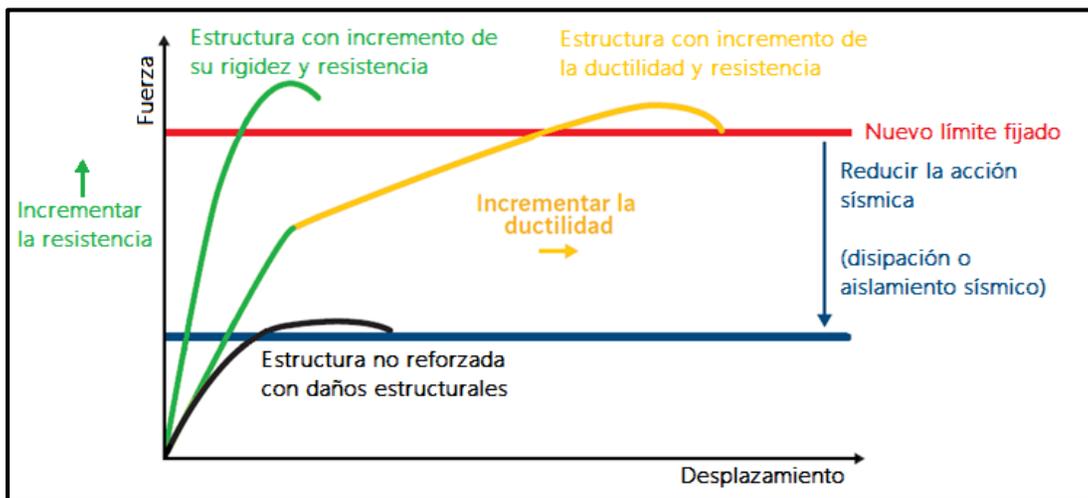


Figura 1.41 Curva de capacidad de carga de acuerdo al tipo de refuerzo

Cuando una estructura sufre daños y requiere de algún tipo de refuerzo estructural o rehabilitación, es necesario evaluar su nivel de seguridad estructural para determinar el método apropiado de rehabilitación.

Una vez que se ha realizado la identificación, evaluación y clasificación preliminar de daños del edificio, se procede a realizar una rehabilitación temporal, evaluación definitiva y reparación de la estructura.

Rehabilitación temporal

Cuando se concluye en la evaluación y clasificación preliminar de daños que no es necesaria la demolición inmediata de la estructura, es necesario proponer las medidas pertinentes para darle la suficiente resistencia provisional a elementos estructurales y garantizar la protección temporal del edificio mientras se realizan los trabajos de reforzamiento. Generalmente la rehabilitación temporal consiste en el apuntalamiento vertical y soporte lateral del edificio.

Evaluación definitiva y reparación

Se tiene que realizar una inspección detallada de los daños en la estructura; recolectar información complementaria del edificio (diseño original, proceso de construcción, uso y adaptaciones, etc.); hacer una verificación de la validez de la información recolectada; hacer una evaluación de la estructura para comprender su comportamiento sísmico y las causas de daños; todo esto con el fin de determinar si la estructura dañada es reparable y así elaborar un proyecto de reparación.

1.6.1 Tipos de reforzamiento

Restructuración y refuerzo

Se debe realizar una restructuración y/o refuerzo cuando los elementos estructurales ya no cumplen con la capacidad de carga y servicio que marca el reglamento en vigor o cuando el edificio presenta daños causados por errores y defectos en la construcción, diseño inadecuado (exceso de asimetría e irregularidad en planta y/o elevación), incremento de cargas, daños estructurales por sismos, haciendo necesaria una modificación de la estructuración del edificio. En la fig. 1.42 se muestran algunas de las diferentes técnicas de reforzamiento empleadas en la actualidad.



Figura 1.42 Reforzamiento de un edificio (Sika Colombia S.A.S., 2017)

Incremento de la resistencia de estructuras rígidas

Consiste en aumentar la resistencia del edificio para que soporte mejor las demandas sísmicas, contribuir a proteger los equipamientos no estructurales que no toleran deformaciones importantes del edificio; el incremento de la resistencia suele estar unido a un aumento del peso y de la rigidez de la estructura existente; algunas técnicas para incrementar la rigidez de un sistema estructural incluyen la adición de muros de rigidez, marcos, armaduras y contraventeo y contrafuertes.

Muros de rigidez

Los muros de rigidez ayudan a resistir fuerzas horizontales causadas por los sismos, no considerándose para el soporte de losas o techos; tienen la función de rigidizar a la estructura reduciendo las deformaciones excesivas y garantizar la estabilidad y la adecuada continuidad de bajadas de cargas.

Los muros de concreto reforzado son de los más utilizados para la rehabilitación de estructuras, ya que ayudan a reducir las excentricidades de una estructura y aumentar su capacidad sismorresistente; pueden disponerse tanto en el interior como en el exterior del edificio, siendo la manera más cómoda de colocar en la periferia del edificio; cuando se colocan en su interior, la conexión de la losa se efectúa mediante orificios que conectan el refuerzo longitudinal de los extremos del muro y parte del refuerzo intermedio.

Los muros más utilizados en las rehabilitaciones son:

- Muros de cortante: soportan fuerzas cortantes y de flexión en el plano de mayor rigidez, fig. 1.43.

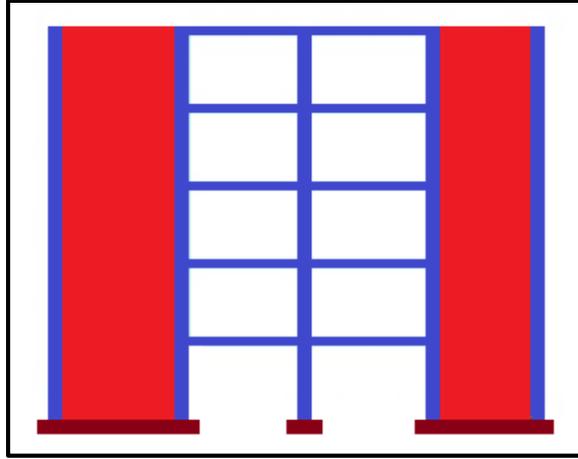


Figura 1.43 Muros de cortante

- Muros patín: Son segmentos cortos de muros unidos a las caras laterales de la columna, fig. 1.44, para mejorar su resistencia lateral e incrementar la resistencia a cortante de la columna; la conexión del muro y columna puede ser mediante a) anclado a la columna o b) encamisado de la columna, fig. 1.45.

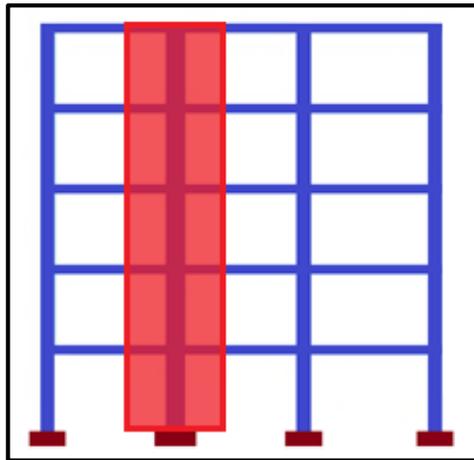


Figura 1.44 Muros patín

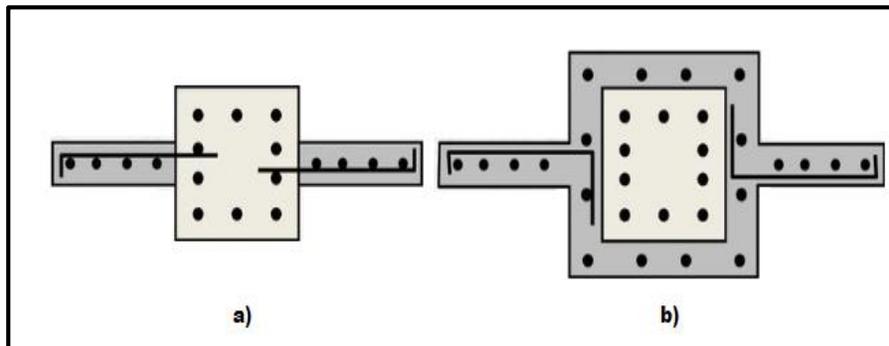


Figura 1.45 Conexión del muro patín; a) Anclado a la columna; b) Encamisado de la columna. (AF-CENAPRED)

- Muros de relleno o diafragma: son segmentos de muros de concreto reforzado o mampostería ubicados entre los ejes de columnas; puede comportarse como un muro de rigidez (las columnas constituirían el refuerzo de los extremos) o como un muro diafragma, cuando los muros, vigas y columnas no garantizan continuidad, fig. 1.46; al introducirse grandes fuerzas cortantes en las columnas y vigas en ocasiones puede ser necesario el refuerzo de estos elementos.

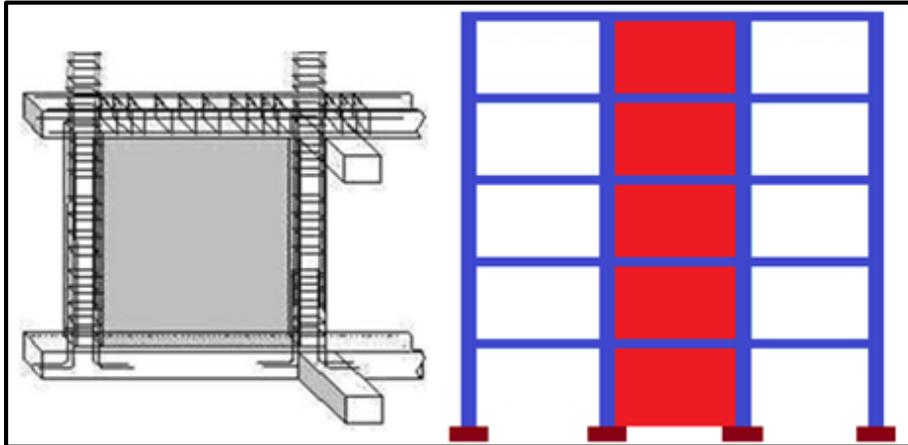


Figura 1.46 Muros de relleno

Marcos, armaduras y contraventeo

De acuerdo al uso del inmueble en ocasiones se limita el uso de muros de rigidez por lo que se recurre a utilizar otros métodos de rigidez como marcos, armaduras o contraventeos que trabajan a compresión, aunque en algunos casos pueden estar sujetos a tensión y están constituidos por cables o perfiles laminados de acero.

Cuando las columnas y vigas son capaces de resistir las nuevas componentes de un contraventeo (sobre todo por cortante) puede optarse por esta opción, de lo contrario será necesario complementar con elementos adicionales verticales.

En la fig. 1.47 se muestra un edificio con contraventeo externo (fuera del plano de marcos) conectado a la viga y losa.

Contrafuertes

Los contrafuertes pueden ser de concreto o acero, se colocan en uno o dos lados del edificio para que este pueda resistir fuerzas sísmicas y garantizar el descenso de las cargas a la cimentación; requieren únicamente de intervención externa permitiendo la actividad en el interior del edificio, también es utilizado para estabilizar bardas perimetrales.

En la fig. 1.48 se muestra contrafuertes externos, de concreto en un edificio habitacional y de acero en bardas perimetrales de una iglesia.



Figura 1.47 Contraventeo externo conectado a la viga y losa. (AF-CENAPRED)



Figura 1.48 a) contrafuertes externos de concreto (AF-CENAPRED); b) Contrafuertes de acero (Acrosa, 1999)

Incremento de la ductilidad y resistencia de estructuras flexibles

Para hacer una estructura más flexible es necesario aportar mayor ductilidad al edificio sin incrementar las fuerzas a las que está sometido, de modo que se distribuya la acción sísmica por todo el edificio y se aproveche mejor su capacidad resistente; algunas técnicas para incrementar la ductilidad son:

- Articulaciones plásticas: estas contribuyen a aumentar la capacidad de disipación de la estructura.
- Encamisado con acero, soleras y ángulos.
- Encamisado con concreto reforzado.

Encamisado con acero, soleras y ángulos

Este método puede emplearse principalmente en columnas y vigas para aumentar la capacidad de deformación o ductilidad; se efectúa mediante un esqueleto de perfiles unidos entre sí a base de placas, soleras y ángulos, también se puede combinar con contraventeos como se muestra en la fig.

1.49, cuyas columnas están encamisadas con placas, ángulos y soleras y también cuenta con un contraventeo exterior.



Figura 1.49 Edificio con contraventeos y encamisados de columnas. (AF-CENAPRED)

Encamisado con concreto reforzado

Este método puede emplearse en columnas, traveses y muros, consiste en la adición de nuevo concreto reforzado a un elemento para aumentar sus dimensiones y por ende su resistencia; en la fig. 1.50 se muestra el armado para el encamisado de concreto de una conexión viga-columna.



Figura 1.50 Armado para el encamisado de concreto. (Sísmica Adiestramiento)

Reducción de la acción sísmica

Para modificar la respuesta de la estructura ante un evento sísmico y reducir la acción sísmica es necesario implementar métodos como disipadores de energía y aislamiento sísmico.

Disipadores de energía

Los disipadores tienen la ventaja de disipar una parte importante de la energía que recibe un edificio durante un sismo; reducir las deformaciones en las estructuras de manera muy importante mitigando los daños en ellas de manera efectiva y reduciendo así los costos de reparación; reducen la

probabilidad de pérdida de rigidez, funcionalidad y de colapso de las estructuras; después de un sismo de gran magnitud los dispositivos que puedan presentar algún deterioro o desgaste pueden ser reemplazados a bajo costo y sin interrumpir la funcionalidad de las estructuras.

Un estudio realizado en 2017 (Guerrero H., Terán-Gilmore A., Ji T., Escobar J. A., 2017) demuestra que las estructuras equipadas con disipadores de energía sísmica no cuestan más de 5% que las estructuras convencionales y los beneficios que aportan en términos de desempeño ante movimientos sísmicos y la reducción de pérdidas probables son muy convenientes, sobre todo a largo plazo.

En la fig. 1.51 se observan a) puntales equipados con amortiguadores hidráulicos en el interior de un edificio y b) el detalle de un amortiguador hidráulico montado sobre un puntal.



Figura 1.51 a) Amortiguadores hidráulicos; b) Detalle de un amortiguador hidráulico. (Foreva, 2013)

Aislamiento sísmico

El aislamiento sísmico separa la base del edificio de su cimentación, fig. 1.52, permitiendo que se comporte de manera flexible ante movimientos sísmicos, además reduce la energía transferida a la estructura disminuyendo su acción sísmica evitando que ésta resulte afectada; también puede combinarse con dispositivos de amortiguamiento.



Figura 1.52 Aislamiento sísmico. (IngeCivil, 2018)

Restauración y refuerzo de elementos estructurales

En ocasiones es necesario realizar reparaciones y refuerzos específicos en algunos elementos estructurales como, columnas, vigas, uniones viga-columna y muros de concreto. Algunos de los principales refuerzos en estos elementos se describen a continuación:

Refuerzo de columnas

El encamisado de concreto suele ser muy común para el reforzamiento de columnas, incremento de la carga axial, fuerza cortante y ductilidad; la columna ya existente es envuelta con barras y estribos conectados mediante grapas al refuerzo anterior de la columna y se le añade un nuevo recubrimiento, fig. 1.53.

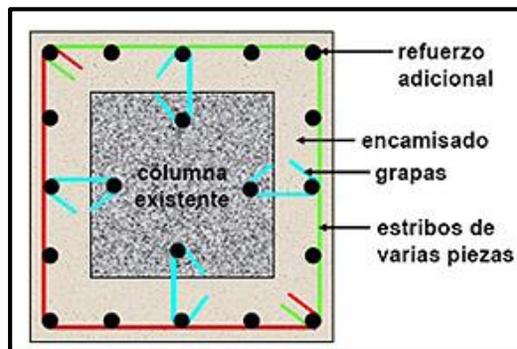


Figura 1.53 Armado de un encamisado de concreto reforzado. (AF-CENAPRED)

Si se quiere dar rigidez a la columna debe haber contacto del encamisado con la losa o viga; si el objetivo es solo aumentar ductilidad y no resistencia es suficiente aplicar la técnica de envoltura o zunchado.

En el caso de encamisados metálicos, fig. 1.54, como se mencionó anteriormente se puede realizar a base de soleras, ángulos o placas, posteriormente se rellenan los espacios con mortero o alguna resina o aditivo expansivo.

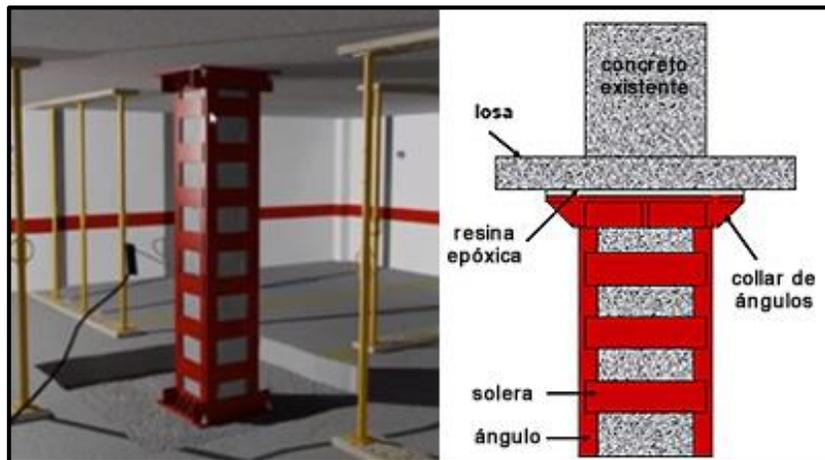


Figura 1.54 Encamisado de acero a base de ángulos y soleras. (Sísmica Adiestramiento)

Refuerzo de vigas

De manera similar a las columnas las vigas o trabes pueden reforzarse mediante encamisados de concreto y acero.

Si únicamente se requiere aumentar la resistencia a flexión de una trabe se puede recurrir a un encamisado de concreto en la parte inferior usando conectores soldados para unir el nuevo refuerzo al antiguo, así como estribos adicionales como se observa en la fig. 1.55.

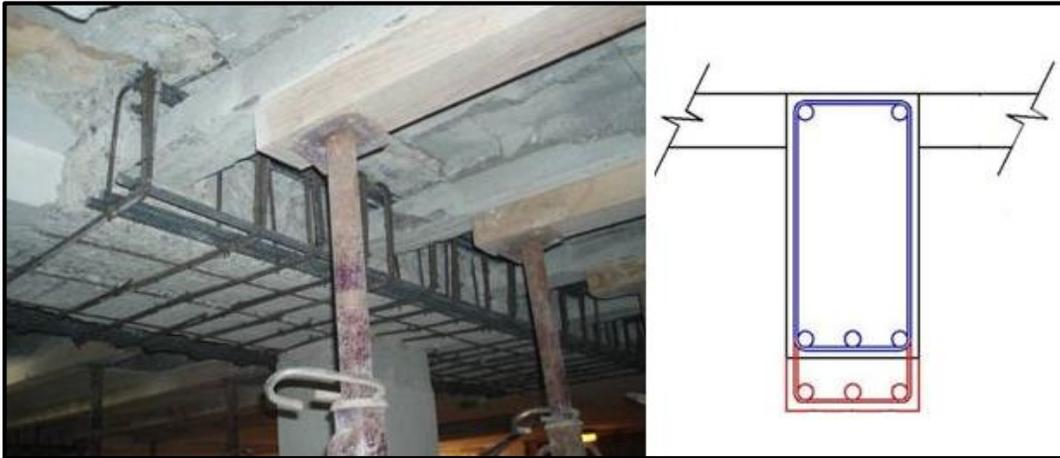


Figura 1.55 Armados de acero para aumentar la resistencia a flexión de una trabe. (Tecnalia, 2016)

En la fig. 1.56 se observa que para el refuerzo de vigas por flexión o cortante se puede hacer uso de a) conectores metálicos a las caras del elemento y b) placas metálicas adheridas con resinas epóxicas.

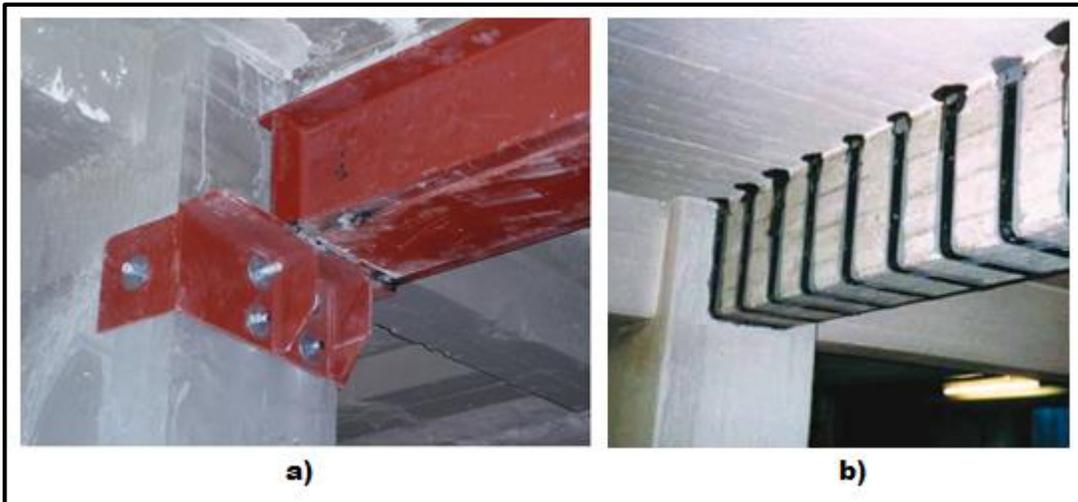


Figura 1.56 Refuerzo de vigas por medio de a) conectores metálicos; b) placas metálicas adheridas con resinas epóxicas. (AF-CENAPRED; Sika Colombia S.A.S., 2017)

Refuerzo de uniones viga-columna

Se pueden realizar encamisados tanto de acero, como de concreto reforzado, estos pueden ser localmente o en combinación con el encamisado de vigas y columnas como se observa en la figura 1.57.



Figura 1.57 Encamisado de unión viga- columna de concreto reforzado. (Sísmica Adiestramiento)

Refuerzo de muros de concreto

Se pueden realizar encamisados de concreto o combinar marcos y contraventeos con muros de rigidez para incrementar la resistencia y rigidez del edificio, en la fig. 1.58 se muestra un contraventeo conectado a un muro de concreto.



Figura 1.58 Contraventeo conectado a un muro de concreto. (CICM-SMIE, 2018)

Para restaurar fisuras y grietas reparables se puede hacer uso de lechadas, morteros y resinas, por medio de resane o inyección, como se muestra en la fig. 1.59.



Figura 1.59 Inyección de resina en las grietas del muro. (Aragosaurus.com)

Restauración y refuerzo de elementos no estructurales

Otras reparaciones, que aunque no se trate de elementos estructurales deben realizarse después de un sismo son restauración de muros divisorios, recubrimientos, otros (Ventanas, plafones, etc.).

Restauración de muros divisorios

Los muros divisorios que generalmente son de mampostería que tengan daños graves ocasionados por un sismo y requieren el retiro del mismo, deben ser reemplazados y al colocar el nuevo muro se debe evitar ligarlo a la estructura.

Si el muro presenta fisuras y grietas reparables se puede hacer uso de resinas, lechadas y morteros para su relleno; la rehabilitación también puede ser por medio de grapas que se colocan perpendiculares a la grieta, fig. 1.60, y adicionalmente se pueden colocar mallas de acero, acero de refuerzo, en bloque huecos y/o mortero.



Figura 1.60 Reparación de grietas mediante grapas. (CYPE Ingenieros-Bolivia)

Recubrimientos

En el caso de los recubrimientos estos deben ser remplazados y evitar proporcionar algún tipo de anclaje mecánico con la estructura.

Otros (Ventanas, plafones, etc.)

Se deben sustituir todos aquellos elementos necesarios para el funcionamiento y comodidad de los usuarios como plafones, cancelería y vidrios, entre otros como se muestra en la fig. 1.61 se muestran las reparaciones para habilitar un inmueble después de un sismo.



Figura 1.61 Habilitación de un inmueble después de un sismo. (ARQHYS)

1.6.2 Reforzamientos de escuelas en sismos pasados

A raíz del sismo del 19 de septiembre de 1985 se realizaron cambios en los reglamentos de construcción, particularmente en el RCDF y sus NTC, por lo que algunas estructuras ya no cumplían con las NTC-1987 y debido a los daños ocasionados por el sismo, una gran cantidad de planteles escolares tuvieron que ser reforzados.

En su mayoría los edificios se rigidizaron con marcos y contraventeos exteriores de acero como se observa en la fig. 1.62 a) Escuela Secundaria Diurna No. 270 "Celestino Gorostiza" en la delegación Cuauhtémoc; b) Escuela Secundaria Diurna No. 326 "Dr. Manuel Gutiérrez Nájera" en la delegación Gustavo A. Madero; c) Escuela Secundaria Diurna No 249 "México Tenochtitlan" en la delegación Iztapalapa y d) Escuela Secundaria No. 275 "José María Velasco" en la delegación Iztapalapa.



Figura 1.62 Contraventeos exteriores en las escuelas a) "Celestino Gorostiza; b) "Dr. Manuel Gutiérrez Nájera"; c) "México Tenochtitlan" y d) "José María Velasco". (DE-DICYG, 2018; Notimex, 2017; Secundaria 275)

Algunas escuelas también fueron reforzadas en su interior con contraventeos de acero, en sus muros interiores, como es el caso de la Escuela Secundaria Diurna No. 270 "Celestino Gorostiza"; en la fig. 1.63 se muestra el detalle de los contraventeos.



Figura 1.63 Detalle de contraventeos en el interior de la escuela "Celestino Gorostiza". (DE-DICYG, 2018)

También se instalaron escaleras de emergencia en todas las escuelas de la ciudad, como se observa en la fig. 1.64 a) "Dr. Manuel Gutiérrez Nájera", b) "Celestino Gorostiza y d) "José María Velasco".



Figura 1.64 Escaleras de emergencia en las escuelas a) "Dr. Manuel Gutiérrez Nájera", b) "Celestino Gorostiza" y c) "José María Velasco". (DE-DICYG, 2018; Secundaria 275)

Otra técnica de refuerzo muy empleada en las escuelas fueron los muros de cortante; en la fig. 1.65 se muestra la Escuela Secundaria Diurna No. 326 "Dr. Manuel Gutiérrez Nájera".



Figura 1.65 Muros de cortante en la escuela "Dr. Manuel Gutiérrez Nájera".

Otra técnica de refuerzo muy empleada en las escuelas fueron contrafuertes en muros exteriores y muros perimetrales para evitar desplomes como se muestra en la fig. 1.66 escuela "Rafael Ramírez".

En la escuela "Celestino Gorostiza" se colocaron muros de mampostería desligados de la estructura principal, como se muestra en la fig. 1.67.



Figura 1.66 Contrafuertes en muros perimetrales, escuela "Rafael Ramírez". (DE-DICYG, 2018)

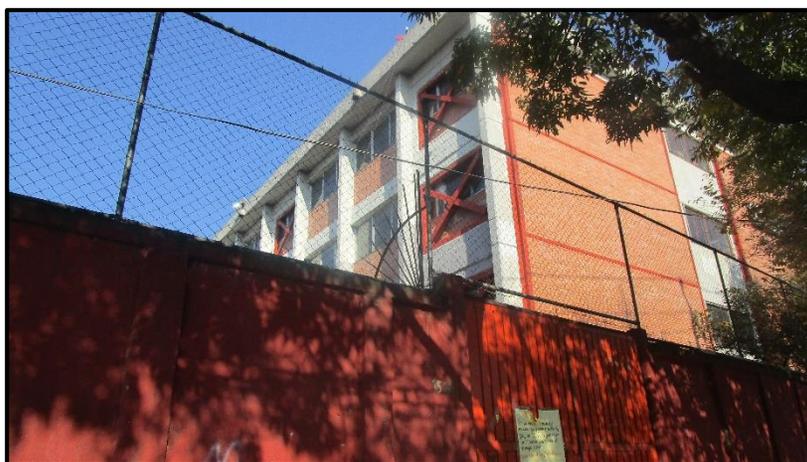


Figura 1.67 Marcos de acero en muros divisorios, escuela "Celestino Gorostiza". (DE-DICYG, 2018)

CAPÍTULO 2

REGLAMENTACIÓN PARA EL DISEÑO SÍSMICO



2. REGLAMENTACIÓN PARA EL DISEÑO SÍSMICO

En los reglamentos de construcción se fijan los requisitos técnicos para la construcción, instalación, modificación, ampliación, reparación y demolición, a fin de satisfacer las condiciones de seguridad, higiene, calidad y estética; también se establecen las disposiciones legales para la generación de licencias, permisos, así como las sanciones por violaciones al reglamento.

Una estructura tiene que diseñarse para que sea segura, económica, funcional y sustentable, satisfaciendo los fines para los que fue proyectada; entre los agentes externos que más afectaciones le causan se encuentran el sismo, viento, cargas excesivas por cambio de uso, incendios, asentamientos y eventualmente explosiones.

Particularmente la reglamentación para el diseño sísmico provee los requerimientos mínimos para el análisis y diseño sismorresistente de las estructuras que es de carácter obligatorio para proyectar estructuras.

2.1 Evolución de las normas de diseño

Cuando eventos naturales como huracanes, erupciones volcánicas, sismos, etc., sobrepasan las previsiones hechas para salvaguardar la seguridad de las construcciones y de las vidas humanas se realizan cambios en reglamentos y normas, tal es el caso de los reglamentos de construcción en la Ciudad de México, antes Distrito Federal.

Para el Distrito Federal, el primer reglamento de construcciones data de 1921 y ha sido modificado en los años 1942, 1957 (Normas de Emergencia), 1966, 1976, 1985 (Normas de Emergencia), 1987, 1993, 1995 (Normas Técnicas Complementarias), 2004.

En 2016 el D.F. cambia su nombre a Ciudad de México (CDMX) y en ese mismo año se genera la primera reglamentación para la ciudad (Compendio Reglamentos de Construcción CDMX, 2016); en 2017 aparece la Ley de Reconstrucción, las Normas para la Rehabilitación Sísmica de Edificios de Concreto dañados por el sismo del 19S17, decreto por el que se reforman, adicionan y derogan diversas disposiciones del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal (Abril 2019); en todas ellas se incorporaron importantes adecuaciones relacionadas con el mejoramiento de las recomendaciones para el diseño sísmico, los métodos de análisis y diseño y mejoras en la práctica constructiva.

Reglamento de Construcción para el D.F. de 1976. Diseño por sismo

El Diario Oficial emitió el 14 de diciembre de 1976 una nueva versión del reglamento, donde se adicionaron las Normas Técnicas Complementarias para el Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto, Acero, Mampostería, Madera, Diseño por Sismo, Cimentaciones y Análisis por Viento.

El Reglamento de Construcción del D.F. de 1976 fue el primero en incluir las Normas Técnicas y, en su momento, fue reconocido como de vanguardia con avances notables a nivel mundial. Algunos de los aspectos más importantes se resumen a continuación, haciendo referencia a algunos artículos del RCDF-1976 (DO, 1976).

- La zonificación se dividió en 4 zonas, artículo 262, pero para el diseño sísmico se proporcionaron valores únicamente para las zonas I (firme), II (de transición) y III (comprensible); cualquier terreno dentro de la zona IV se clasificaba en alguna de las tres primeras, al hacer los estudios de mecánica de suelos correspondientes, artículo 231.
- Las construcciones podían clasificarse según su uso en 3 grupos (A, B y C), artículo 232; o según el tipo de estructura, artículo 233, se clasifica en tipo 1 (edificios, naves industriales, etc.), tipo 2 (tanques), tipo 3 (muros de retención) y tipo 4 (otras estructuras).
- El coeficiente sísmico "c" del para estructuras del grupo B en la zona I (firme) era de 0.16, en la zona II (de transición) de 0.20 y 0.24 en la zona III (comprensible), para construcciones del grupo A, estos valores se multiplicaban por 1.3, artículo 234.
- Se reconoció por vez primera, en forma explícita, la ductilidad que pueden desarrollar las estructuras, en función de los materiales de construcción y de la conexión entre los diferentes elementos, así como de su confinamiento y detallado.
- Los valores del factor de ductilidad que se podían asignar a las estructuras eran $Q=6.0$ y $Q=2.0$, según los casos que se describen en el artículo 235.
- Al aplicar el análisis dinámico se utilizaban los valores de a_0 , T_1 , T_2 y r que se muestran en el artículo 236, para determinar el espectro para el diseño sísmico.
- La altura máxima de la construcción para la cual es aplicable el método simplificado se limitaba a 13m; los coeficientes sísmicos reducidos por ductilidad para el método simplificado se muestran en la tabla del artículo 239.
- El artículo 242, establece que las deformaciones laterales de cada entrepiso debidas a la fuerza cortante no debían exceder de 0.008 veces la diferencia de elevaciones correspondientes, salvo donde los elementos que no forman parte integrante de la estructura estaban ligados a ella de tal forma que no sufrieran daños por las deformaciones, en este caso el límite era 0.016.
- Las separaciones entre construcciones debían ser igual al desplazamiento horizontal acumulado, calculado en cada nivel, aumentado en 0.001, 0.0015 y 0.002 de su altura, en las zonas I, II y III respectivamente. En caso de omitirse el cálculo la separación debía ser cuanto

menos de 0.006, 0.007 y 0.008 de su altura en las zonas I, II y III respectivamente. La separación en ningún caso sería menor a 5 cm, de acuerdo con el artículo 244.

- Se establecieron las cargas vivas en el capítulo XXXVI del reglamento y en el artículo 227 se declararon valores nominales de las cargas vivas. Los valores de la carga unitaria nominal W_m , en algunos casos estaban en función del área de construcción.

Normas de Emergencia en materia de construcción para el D.F. 1985

Tras el sismo de 1985 el Diario Oficial emitió el 18 de octubre del mismo año las Normas de Emergencia en materia de construcción para el Distrito Federal, con el fin de prevenir mayores daños a las personas y bienes. Las normas se aplicarían al diseño y ejecución de trabajos de refuerzo o reparación que se llevara a cabo en construcciones e instalaciones que habían sido dañadas y en las construcciones nuevas, ubicadas en las zonas de terreno blando y de transición, mientras no se contaba con el nuevo reglamento. A continuación se mencionan, de manera somera, los cambios más relevantes, haciendo referencia a los artículos de las Normas de Emergencia en materia de construcción para el Distrito Federal (DO, 1985).

- En el artículo sexto se establece que los factores de resistencia del artículo 221 del RCDF-1976 se mantuvieron sin cambio, salvo en columnas de concreto reforzado cuando se hayan adaptado en diseño sísmico un factor de ductilidad Q mayor que 2. Se tomaría $F_R=0.5$ tanto en flexocompresión como en cortante y torsión, a menos que el núcleo se hallara confinado en un zoncho, en cuyo caso para flexocompresión del núcleo se aplicaría $F_R=0.6$.
- En el artículo séptimo establece que las cargas vivas que marca el artículo 227 del RCDF-1976 se tomarían como: $W=140 \text{ kg/m}^2$, $W_a=180 \text{ kg/m}^2$ y $W_m=120+420A^{-1/2}$, pero no menor de 250 kg/m^2 .
- En el artículo octavo la altura máxima de la construcción para la cual era aplicable el método simplificado se limitó a 8.5m, como se observa en la tabla de coeficientes sísmicos reducidos por ductilidad para el método simplificado, artículo noveno.
- En el artículo noveno se estableció que el coeficiente sísmico "c" del grupo B (establecido en el artículo 234 del RCDF-1976) se incrementó a 0.27 en la zona II y a 0.40 en la zona III. Los valores de a_0 (para obtener el espectro de diseño) que se establecían en el artículo 236 del RCDF-1976 se incrementaron a 0.054 para la zona II y a 0.10 para la zona III. Para construcciones del grupo A, estos valores se tenían que multiplicar por 1.5.
- Se realizaron cambios en los factores de ductilidad, considerando los siguientes valores del factor de comportamiento sísmico, también conocido como factor de ductilidad: $Q=4.0$, $Q=3.0$, $Q=2.0$, $Q=1.5$ y $Q=1.0$ según los requisitos del artículo decimo.
- En el artículo décimo sexto se recomendó tomar en cuenta los hundimientos diferenciales en la evaluación de las solicitaciones.

Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo, D.F. 1987

El 12 de noviembre de 1987 se publicaron las Normas Técnicas Complementarias del reglamento de construcciones para el D.F. en la Gaceta Oficial del Departamento del D.F.

A raíz de los sismos de septiembre de 1985, se realizaron exploraciones en diferentes sitios del valle (Jaime y Romo, 1987; Ovando et al. 1988) cuyos resultados combinados con la información recopilada anteriormente, permitieron definir el mapa de zonificación de la ciudad, realizado por M. Mendoza, en 1987, el mapa se introdujo en el Reglamento de Construcciones de 1987 y se conservó en el reglamento de 1995. A continuación se mencionan de manera somera, los cambios más relevantes, haciendo referencia a las NTC-1987 (GODF, 1987).

- La zonificación consistía en 3 zonas, zonas I (de lomas), zona II (de transición) y zona III (lacustre) como se muestra en la figura 1 de las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Cimentaciones (NTC-DCC).
- El coeficiente sísmico "c" del Grupo B en la zona II se incrementó en un 60%, al cambiar de 0.20 a 0.32. y en la zona III el incremento fue del 67%, al pasar de 0.24 a 0.40. Para construcciones del grupo A, estos valores se tenían que multiplicar por 1.5 con el fin de garantizar que las estructuras vitales se mantengan funcionando en forma adecuada, aún en eventos que rebasen lo especificado en las Normas.
- Se adicionaron requisitos para definir el factor de comportamiento sísmico, $Q=4.0$, $Q=3.0$, $Q=2.0$, $Q=1.5$ y $Q=1.0$ los cuales se muestran en el punto 5 de las NTC-DS.
- Para determinar el espectro para el diseño sísmico se propusieron los valores que se muestran en la tabla 3.1 de las NTC-DS.
- La altura máxima de la construcción para la cual es aplicable el método simplificado al igual que en 1976 se limita a 13m pero los valores de los coeficientes sísmicos reducidos difieren, como se observa en la tabla 7.1 de las NTC-DS.
- Las deformaciones laterales de cada entrepiso debidas a la fuerza cortante no excederían 0.006 veces la diferencia de elevaciones correspondientes, salvo que los elementos incapaces de soportar deformaciones apreciables, como los muros de mampostería, que deberían estar separados de la estructura principal de manera que no sufran daños por las deformaciones de ésta, en este caso el límite sería 0.012.
- La separación de edificios en ningún caso sería menor a 5 cm y se obtendría con las fuerzas sísmicas reducidas y se multiplicarían por el factor de comportamiento sísmico, aumentado en 0.001, 0.003 o 0.006 de la altura de dicho nivel sobre el terreno en las zonas I, II o III respectivamente. En caso de emplear el método simplificado de análisis la separación debía ser cuanto menos de 0.007, 0.009 o 0.012 de su altura en las zonas I, II o III respectivamente.

Reglamento de Construcción para el D.F. 1993. Diseño por sismo

El Reglamento de construcción fue publicado en 2 de agosto de 1993 en la Gaceta Oficial del Departamento del D.F. En relación a las disposiciones para Diseño Sísmico y para los Criterios de Diseño Estructural, a continuación se resumen los cambios más relevantes, haciendo referencia a el RCDF-1993 (GODDF, 1993).

- Se conservó la clasificación de estructuras del grupo A, que son aquellas construcciones particularmente importantes en caso de desastre; en lo que corresponde al grupo B, se dividió en dos subgrupos, el B1 y el B2, definidos éstos en función de la altura de las construcciones, de su superficie total y de la zona en que se ubica; se eliminó el grupo C sumándose éstas al grupo B, artículo 174.
- Para las estructuras del grupo B, el coeficiente sísmico “c” se mantuvo igual que en el reglamento de 1987, para construcciones del grupo A, estos valores se tenían que multiplicar por 1.5, artículo 206.
- La altura máxima de la construcción para la cual era aplicable el método simplificado se limitaba a 13m, con los mismos valores que en 1987.
- Los valores de las cargas vivas unitarias de diseño se modificaron hasta en un 100%, en algunos casos como se observa en la tabla de cargas vivas unitarias del capítulo V del RCDF.
- Las diferencias entre los desplazamientos laterales de pisos consecutivos debidos a las fuerzas cortantes horizontales (artículo 209) y las separaciones entre construcciones (artículo 211) se mantienen igual a las establecidas en el reglamento de 1987.

En la tabla 2.1 se enlistan las principales modificaciones en los reglamentos y normas de 1976 a 1993, que intervienen en el diseño sísmico.

Tabla 2.1 Principales modificaciones a los Reglamento de Construcción para el diseño por sismo de 1976 a 1993

Concepto	RCDF-1976 Diseño por Sismo	Normas de Emergencia-1985 Diseño por Sismo	NTC-DS-1987	RCDF-1993 Diseño por Sismo
Zonas	<p>Zona I o zona firme, con suelos compresibles de espesor $H < 3m$.</p> <p>Zona II o zona de transición, con suelos compresibles de espesor $3m < H < 20m$.</p> <p>Zona III o zona blanda, con suelos compresibles de espesor $H \geq 20m$.</p> <p>Zona IV cualquier terreno dentro de la zona IV se podrá clasificar en alguna de las tres primeras.</p>			<p>Zona I o zona de lomas, formadas por rocas o suelos generalmente firmes, pueden existir, superficialmente o intercalados, depósitos arenosos en estado suelto o cohesivos relativamente blandos.</p> <p>Zona II o zona de transición, en la que los depósitos profundos se encuentran a 20 m de profundidad, o menos.</p> <p>Zona III o zona del lacustre, integrada por potentes depósitos de arcilla altamente compresible, separados por capas arenosas con contenido diverso de limo o arcilla. El espesor de este conjunto puede ser superior a 50 m.</p>
Clasificación según el uso	<p>Grupo A: Construcciones cuyo funcionamiento sea especialmente importante a raíz de un sismo o en caso de fallar causaría pérdidas directas o indirectas excepcionalmente altas en comparación con el costo necesario para aumentar su seguridad.</p> <p>Grupo B: Construcciones cuya falla causaría pérdidas de magnitud intermedia y/o que pueda poner en peligro a construcciones de este grupo o del A.</p> <p>Grupo C: Construcciones cuya falla por sismo implicaría un costo pequeño y no causaría normalmente daños a construcciones de los primeros grupos; estas construcciones no requieren diseño sísmico.</p>			<p>Grupo A: Se mantuvo</p> <p>Grupo B: Subgrupo B1 y B2 (según la altura, superficie cubierta y zona).</p> <p>Grupo C: Se eliminó</p>
Coefficiente sísmico "c" del grupo B	<p>Zona I: 0.16</p> <p>Zona II: 0.20</p> <p>Zona III: 0.24</p>	<p>Zona I: 0.16</p> <p>Zona II: 0.27</p> <p>Zona III: 0.40</p>		<p>Zona I: 0.16</p> <p>Zona II: 0.32</p> <p>Zona III: 0.40</p>
Factor de importancia	1.3			1.5
Factor de ductilidad	Se usan $Q=6.0$ y $Q=2.0$, según los requisitos del artículo 235.	Se usan $Q=4.0$, $Q=3.0$, $Q=2.0$, $Q=1.5$ y $Q=1.0$, según los requisitos del artículo decimo.		Se usan $Q=4.0$, $Q=3.0$, $Q=2.0$, $Q=1.5$ y $Q=1.0$, según los requisitos del punto 5 de las NTC-DS-1987.

Espectro para diseño sísmico	$a = a_0 + (c - a_0) \frac{T}{T_1} ; si T < T_1$ $a = c ; si T_1 \leq T \leq T_2$ $a = c \left(\frac{T_2}{T} \right)^r ; si T > T_2$	$a = \left(1 - 3 \frac{T}{T_a} \right) \frac{c}{4} ; si T < T_a$ $a = c ; si T_a \leq T \leq T_b$ $a = qc ; si T > T_b ; q = \left(\frac{T_b}{T} \right)^r$																																																																			
Tabla de valores para obtener el espectro para diseño sísmico	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Zona</th> <th>a₀</th> <th>T₁</th> <th>T₂</th> <th>r</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>I</td> <td>0.03</td> <td>0.3</td> <td>0.8</td> <td>1/2</td> </tr> <tr> <td>II</td> <td>0.045</td> <td>0.5</td> <td>2.0</td> <td>2/3</td> </tr> <tr> <td>III</td> <td>0.6</td> <td>0.8</td> <td>3.3</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>IV*</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Zona	a ₀	T ₁	T ₂	r	I	0.03	0.3	0.8	1/2	II	0.045	0.5	2.0	2/3	III	0.6	0.8	3.3	1	IV*					<table border="1"> <thead> <tr> <th>Zona</th> <th>a₀</th> <th>T₁</th> <th>T₂</th> <th>r</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>I</td> <td>0.03</td> <td>0.3</td> <td>0.8</td> <td>1/2</td> </tr> <tr> <td>II</td> <td>0.054</td> <td>0.5</td> <td>2.0</td> <td>2/3</td> </tr> <tr> <td>III</td> <td>0.10</td> <td>0.8</td> <td>3.3</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>IV*</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Zona	a ₀	T ₁	T ₂	r	I	0.03	0.3	0.8	1/2	II	0.054	0.5	2.0	2/3	III	0.10	0.8	3.3	1	IV*					<table border="1"> <thead> <tr> <th>Zona</th> <th>T_a</th> <th>T_b</th> <th>r</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>I</td> <td>0.2</td> <td>0.6</td> <td>1/2</td> </tr> <tr> <td>II</td> <td>0.3</td> <td>1.5</td> <td>2/3</td> </tr> <tr> <td>III</td> <td>0.6</td> <td>3.9</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table>	Zona	T _a	T _b	r	I	0.2	0.6	1/2	II	0.3	1.5	2/3	III	0.6	3.9	1
Zona	a ₀	T ₁	T ₂	r																																																																	
I	0.03	0.3	0.8	1/2																																																																	
II	0.045	0.5	2.0	2/3																																																																	
III	0.6	0.8	3.3	1																																																																	
IV*																																																																					
Zona	a ₀	T ₁	T ₂	r																																																																	
I	0.03	0.3	0.8	1/2																																																																	
II	0.054	0.5	2.0	2/3																																																																	
III	0.10	0.8	3.3	1																																																																	
IV*																																																																					
Zona	T _a	T _b	r																																																																		
I	0.2	0.6	1/2																																																																		
II	0.3	1.5	2/3																																																																		
III	0.6	3.9	1																																																																		
Método simplificado	Altura máxima de 13 m. (tabla del artículo 239)	Altura máxima de 8.5 m. (tabla del artículo octavo)	Altura máxima de 13 m. (tabla 7.1 de las NTC-DS-1987)																																																																		
Desplazamiento laterales	No excederán de 0.008 veces la diferencia de elevaciones correspondientes, en elementos que no forman parte integrante de la estructura el límite sería 0.016.	Se redujeron los máximos permisibles en un 20% respecto a 1976.																																																																			
Separación entre construcciones	Igual al desplazamiento horizontal acumulado en cada nivel, aumentado su altura en:	Igual al desplazamiento horizontal acumulado, calculado en cada nivel, aumentado su altura en:																																																																			
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Zona</th> <th>I</th> <th>II</th> <th>III</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>0.001</td> <td>0.0015</td> <td>0.002</td> </tr> <tr> <td>**</td> <td>0.006</td> <td>0.007</td> <td>0.008</td> </tr> </tbody> </table>	Zona	I	II	III		0.001	0.0015	0.002	**	0.006	0.007	0.008	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Zona</th> <th>I</th> <th>II</th> <th>III</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>0.001</td> <td>0.003</td> <td>0.006</td> </tr> <tr> <td>***</td> <td>0.007</td> <td>0.009</td> <td>0.012</td> </tr> </tbody> </table>		Zona	I	II	III		0.001	0.003	0.006	***	0.007	0.009	0.012																																										
Zona	I	II	III																																																																		
	0.001	0.0015	0.002																																																																		
**	0.006	0.007	0.008																																																																		
Zona	I	II	III																																																																		
	0.001	0.003	0.006																																																																		
***	0.007	0.009	0.012																																																																		
La separación en ningún caso será menor a 5 cm.																																																																					

(*) Si resulta en la zona III, el valor de T₂ no será menor que 5 segundos, al menos que se compruebe que es aplicable un valor menor. En ningún caso se tomara T₂ menor que el especificado para la zona correspondiente.

(**) Aumento de la altura en caso de omitirse el cálculo de desplazamientos.

(***) Aumento de la altura en caso de emplearse el método simplificado de análisis.

Normas Técnicas Complementarias para diseño por sismo, D.F. 2004

El 06 de octubre de 2004 se publicaron las Normas Técnicas Complementarias del Reglamento de Construcciones para el D.F. en la Gaceta Oficial del D.F. A continuación se mencionan de manera somera, los cambios más relevantes, haciendo referencia a los capítulos y secciones de las NTC-DS-2004 (GODF, 2004).

- De acuerdo a la sección 1.4 se seguían considerando las zonas I (lomas), II (de transición) y III (lacustre), adicionalmente, la zona III se dividió en cuatro subzonas (IIIa, IIIb, IIIc y IIId),
- Se conservó la clasificación que corresponde al grupo A y grupo B (con dos subgrupos, B1 y B2).
- Los valores del coeficiente sísmico “c” del grupo B se conservaron en 0.16 y 0.32 en las zonas I y II respectivamente y se establecieron como 0.40, 0.45, 0.40 y 0.30 para las zonas IIIa, IIIb, IIIc y IIId respectivamente, sección 1.5. Para construcciones del grupo A estos valores se debían multiplicar por 1.5.
- La altura máxima de la construcción para la cual es aplicable el método simplificado se sigue limitando a 13 m, y deja de aplicarse a diafragmas de duela de madera como se observa en la tabla 7.1 de las NTC-DS.
- Se adicionaron requisitos para definir el factor de comportamiento sísmico, $Q=4.0$, $Q=3.0$, $Q=2.0$, $Q=1.5$ y $Q=1.0$ según los requisitos del capítulo 5 las NTC-DS.
- Para aplicar el análisis dinámico modal y obtener el espectro para el diseño sísmico se utilizaran los valores establecidos en la tabla 3.1 de las NTC-DS, al igual que con los coeficientes sísmicos se establecieron nuevos valores para determinar el espectro para el diseño sísmico en las zonas IIIa, IIIb, IIIc y IIId. En la fig. 2.2 se observan los espectros de diseño, en función del periodo dominante del suelo (invariable).
- Los valores de las cargas vivas unitarias de diseño no sufrieron modificación, salvo la adición de cargas para destinar a aulas cuyos valores son igual a los destinados para oficinas, despachos y laboratorios, tabla 6.1 de las Normas Técnicas Complementarias sobre Criterios y Acciones para el Diseño Estructural de las Edificaciones (NTC-CADEE).
- Las diferencias entre los desplazamientos laterales de pisos consecutivos debidos a las fuerzas cortantes horizontales no excederían 0.006 veces la diferencia de elevaciones correspondientes, salvo que los elementos incapaces de soportar deformaciones apreciables, como los muros de mampostería, que estarían separados de la estructura principal de manera que no sufrieran daños por las deformaciones, en este caso el límite sería 0.012. sección 1.8 de las NTC-DS. En la tabla 2.2 se muestran las distorsiones permisibles de entepiso.
- En la sección 1.9 de las NTC-DS se establece la holgura que debe dejarse entre vidrios, marcos y la estructura no será menor que el desplazamiento relativo entre los extremos del tablero o marco, calculado a partir de la deformación por cortante de entepiso y dividido entre $1+H_v/B_v$, donde B_v es la base del tablero o marco y H_v su altura.
- En la sección 1.10 de las NTC-DS se establecen las separaciones entre construcciones debía ser no menor que el desplazamiento horizontal acumulado, calculado en cada nivel, aumentado en 0.001, 0.003 o 0.006 de la altura de dicho nivel, en las zonas I, II o III

respectivamente. En caso de emplearse el método simplificado de análisis sísmico, la separación debía ser cuanto menos de 0.007, 0.009 o 0.012 de su altura en las zonas I, II o III respectivamente. La separación en ningún caso sería no menor a 5 cm.

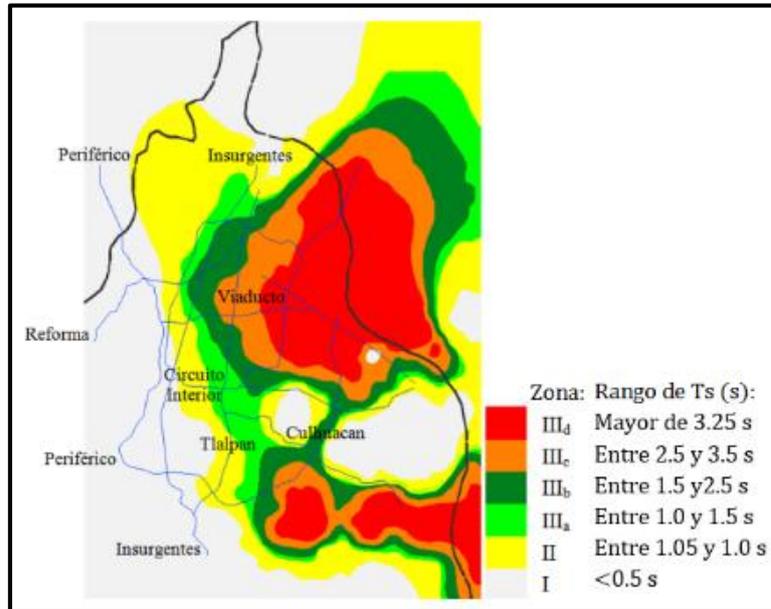


Figura 2.1 Microzonificación según las NTC-DS-2004. (Meli R., 2015)

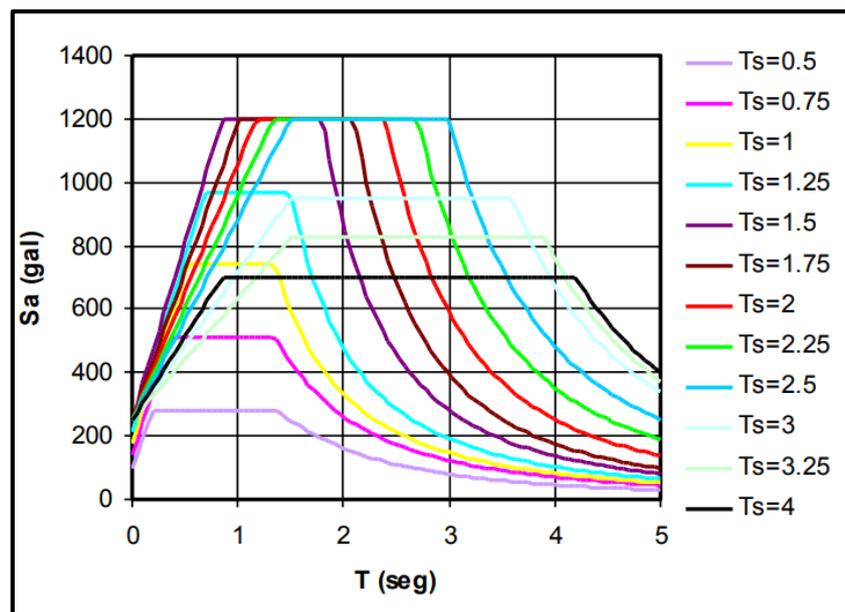


Figura 2.2 Espectros de diseño según las NTC-2004. (Meli R., 2015)

Tabla 2.2 Distorsiones permisibles en entrepisos

Sistema estructural	Distorsión
Marcos dúctiles de concreto reforzado (Q= 3 ó 4)	0.030
Marcos dúctiles de acero (Q= 3 ó 4)	0.030
Marcos de acero o concreto con ductilidad limitada (Q= 1 ó 2)	0.015
Losas planas sin muros o contravientos	0.015
Marcos de acero con contravientos excéntricos	0.020
Marcos de acero o concreto con contravientos concéntricos	0.015
Muros combinados con marcos dúctiles de concreto (Q= 3)	0.015
Muros combinados con marcos de concreto con ductilidad limitada (Q= 1 ó 2)	0.010
Muros diafragma	0.006
Muros de carga de mampostería confinada de piezas macizas con refuerzo horizontal o malla	0.005
Muros de carga de mampostería confinada de piezas macizas; mampostería de piezas huecas confinada y reforzada horizontalmente; o mampostería de piezas huecas confinada y reforzada con malla	0.004
Muros de carga de mampostería de piezas huecas con refuerzo interior	0.002
Muros de carga de mampostería que no cumplan las especificaciones para mampostería confinada ni para mampostería reforzada interiormente	0.0015

En las siguientes graficas se muestran las variaciones de los coeficientes sísmicos para estructuras del grupo B de 1976 a 2004, fig. 2.3; en la fig. 2.4 se observa la variación del factor de importancia del grupo A sobre el grupo B de 1976 a 2004; en la fig. 2.5 se muestra la gráfica de variación de los valores permitidos para distorsiones de entrepiso de 1976 a 2004.

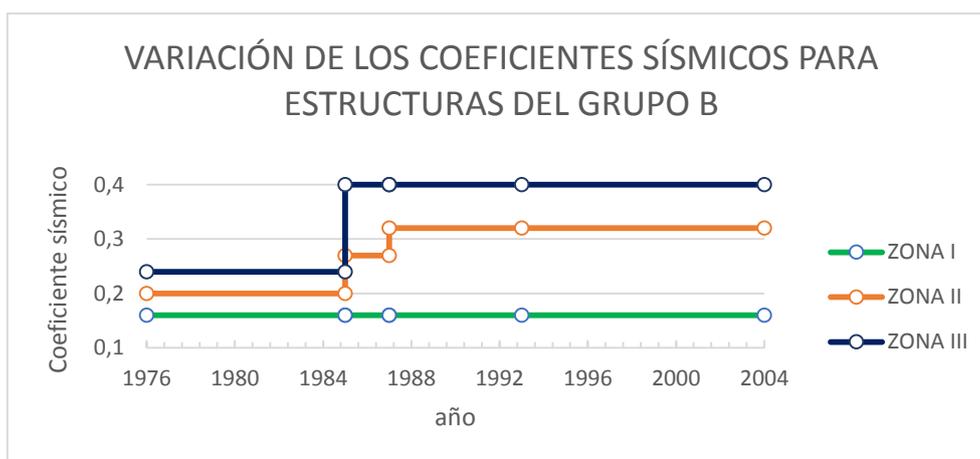


Figura 2.3 Grafica de variación de los coeficientes sísmicos para estructuras del grupo B.

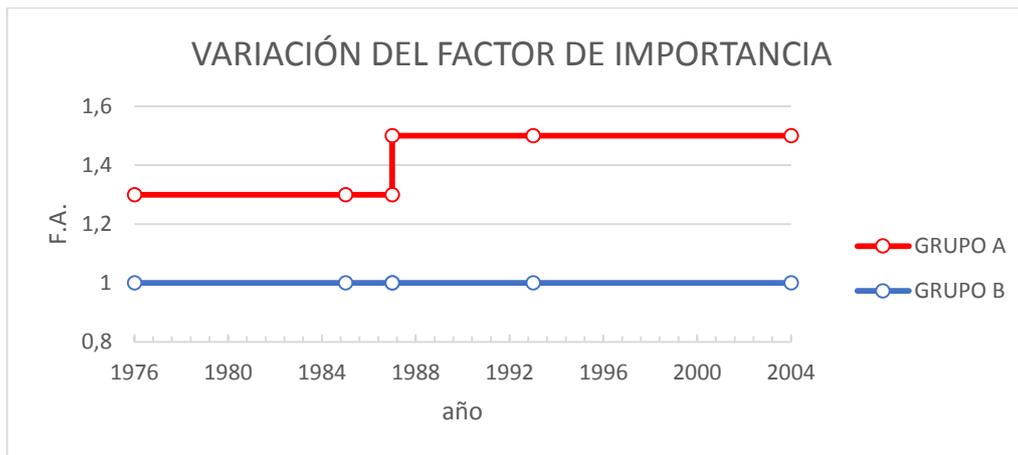


Figura 2.4 Gráfica de variación del factor de importancia

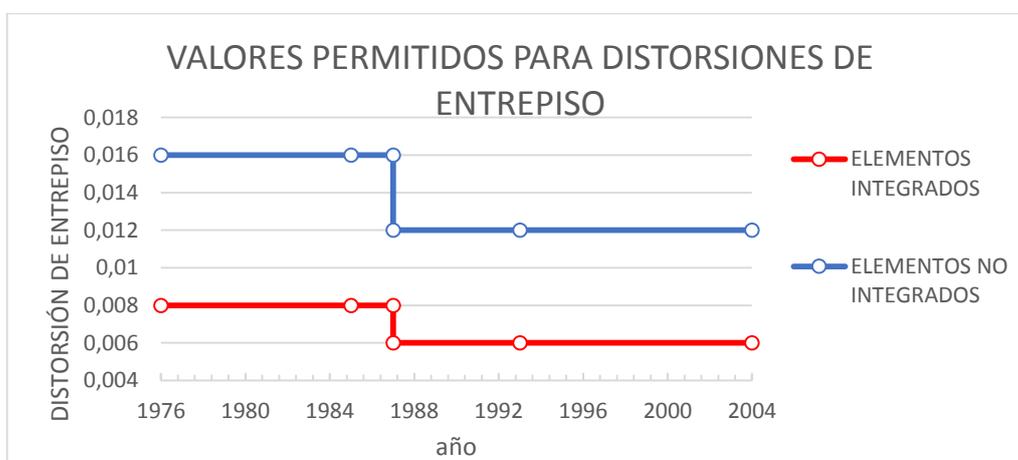


Figura 2.5 Gráfica de variación de los valores permitidos para distorsiones de entrepiso

Normas Técnicas Complementarias para diseño por sismo, D.F. 2017

El 15 de diciembre de 2017 se publicaron las Normas Técnicas Complementarias del Reglamento de Construcciones para el D.F. en la Gaceta Oficial del D.F. A continuación se mencionan de manera somera, los cambios más relevantes, haciendo referencia a los capítulos y secciones de las NTC-DS-2017 (GCDMX, 2017).

- Con base en la zonificación geotécnica, permanecen las zonas I (lomas), II (de transición) y III (lacustre), sección 1.3 de las NTC-DS.
- Se modificó la clasificación de las estructuras; el grupo A se subdividió en dos subgrupos al igual que el Grupo B, sección 1.4 de las NTC-DS.
- Cuando se aplique el método de análisis dinámico modal, los espectros de diseño se determinaran con ayuda del Sistema de Acciones Sísmicas de Diseño (SASID), para una ubicación específica, dentro de la Ciudad de México. De este programa se genera el espectro elástico para el sitio de la construcción, así como el espectro de diseño afectado por los factores de reducción por comportamiento sísmico, Q' y por sobrerresistencia, R , que se usa para revisar los requisitos de seguridad contra colapso.

- Cuando se aplique el método de análisis estático, las acciones de diseño para el estado límite de seguridad contra colapso se obtendrán como se indica en el capítulo 7 de las NTC-DS, para lo cual los parámetros necesarios se obtendrán del SASID.
- Para construcciones del subgrupo A1, el factor de importancia es de 1.5 y de 1.3 para el subgrupo A2.
- En la sección 1.8 de las NTC-DS se establece que las distorsiones de entrepiso no excederán 0.002, salvo que todos los elementos no estructurales sean capaces de soportar deformaciones apreciables o estén separados de la estructura principal, de manera que no sufran daños por sus deformaciones. En tal caso, el límite en cuestión será 0.004; pueden descontarse, las debidas a la flexión de conjunto de la estructura.
- En la sección 1.9 de las NTC-DS se establece que las separaciones entre construcciones no deben exceder el desplazamiento horizontal acumulado, calculado en cada nivel, aumentado en 0.001, 0.003 o 0.006 de la altura de dicho nivel, en las zonas I, II o III respectivamente. En ningún caso, la separación será menor a 5 cm, ni menor al desplazamiento lateral calculado para el nivel de que se trate, determinado con el análisis estructural para la revisión de la seguridad contra colapso.
- Los principales cambios están dados en términos de la resistencia requerida por cargas laterales y la distorsión máxima admisible; se tienen criterios de diseño para dos estados límite (niveles de desempeño), dados por la revisión de seguridad contra colapso y limitación de daños ante sismos frecuentes.
- Para edificaciones que excedan los límites de altura indicados en la tabla 2.1.1 de las NTC-DS debe verificarse el diseño estructural con un análisis dinámico paso a paso.
- El método simplificado de análisis sísmico se elimina de las NTC-DS y queda solo como método de verificación en la norma de mampostería.

Sistema de Acciones Sísmicas de Diseño (SASID)

El Sistema de Acciones Sísmicas de Diseño (SASID), es un programa que nos permite obtener de manera más precisa los parámetros necesarios para aplicar algún método de análisis sísmico (estático o dinámico).

En la fig. 2.6 se observa la interfaz del SASID, la barra de herramientas cuenta con 6 pestañas, que se describen a continuación:

- a) Archivo. Contiene la opción de Salir
- b) Edición. Tiene las opciones de Deshacer o Rehacer.
- c) Coordenada. Se puede ubicar el predio mediante: Punto (selección en el mapa), Coordenadas (mediante la introducción las mismas) o Dirección (calle, numero, colonia, C.P. y delegación).
- d) Espectro. Se podrán exportar los datos (PDF, .txt, .CSV, entre otras opciones); así como visualizar en el mapa las variaciones del Periodo, ordenada espectral "c", Aceleración máxima del terreno y Coeficiente de relación de desplazamientos.
- e) Mapa. Se podrá seleccionar: Mostrar los municipios, Mostrar la división de lomas, Centrar mapa y Regresar a la posición inicial.

En la parte derecha de la interfaz se selecciona:

- Factor de importancia (Grupo), al que pertenece la estructura (A1, A2 o B).
- Factor de irregularidad, dependiendo de las características de la estructura.
- Factor de comportamiento sísmico, de acuerdo a la estructura.
- Factor de hiperestaticidad (k_1).

En la parte inferior derecha de la fig. 2.6 se presentan los espectros de diseño elástico, diseño y peligro uniforme; adicionalmente se tabulan los valores del espectro elástico.

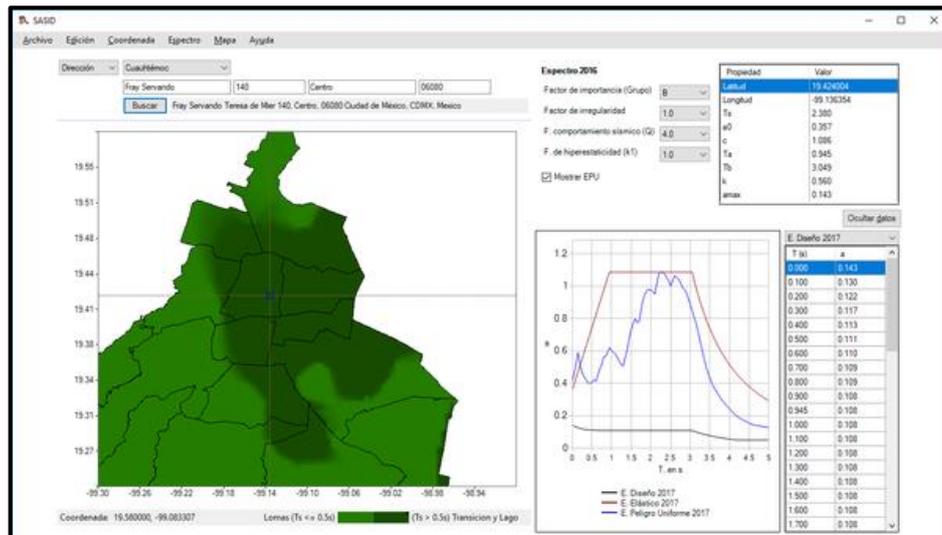


Figura 2.6 Interfaz del SASID

Comparación de las NTC-2004 y NTC-2017

A continuación se mencionan las principales diferencias que afectan a las combinaciones de acciones que se establecen en los Criterios y Acciones para el Diseño Estructural de las Edificaciones y las diferencias en las NTC-DS de las NTC-2004 y NTC-2017.

Factor de carga

En las NTC-2017 se consideran factores de carga (permanentes y variables) diferentes, para combinaciones de acciones permanentes y variables, mientras que en 2004 el factor de carga (FC) para acciones (permanentes y variables) era el mismo, como se muestra en la tabla 2.3.

Tabla 2.3 Factores de carga de las NTC-2004 y NTC-2007.

Factor de carga	NTC-2004		NTC-2017	
	Grupo A	Grupo B	Grupo A	Grupo B
Permanentes	1.5	1.4	1.5	1.3
Variables	1.5	1.4	1.7	1.5

Para combinaciones de acciones: permanentes, variables y accidentales, en ambas normas el factor de carga $FC=1.1$ y para acciones o fuerzas internas cuyo efecto sea favorable a la resistencia

y estabilidad de la estructura el $FC=0.9$; para la revisión de los estados límite de servicio el factor de carga es unitario.

Las cargas vivas unitarias fueron modificadas para algunos usos, a saber, Habitación (casas-habitación, apartamentos, viviendas, dormitorios, cuartos de hotel, internados de escuelas, cuarteles, cárceles, correccionales, hospitales y similares).

Resistencia de diseño

La resistencia de diseño se tomará igual a la resistencia nominal por el factor de reducción de resistencia, determinado de acuerdo con lo fijado en la tabla 2.4. Esta resistencia de diseño o capacidad máxima de las secciones críticas de la estructura, es la magnitud de una acción o combinación de acciones (fuerzas axiales, cortantes, momentos de flexión y torsión que actúan en una sección de la estructura), que provocaría la aparición de un estado límite de falla de la estructura o cualquiera de sus componentes.

Tabla 2.4 Los factores de reducción de resistencia para elementos de concreto armado

Reglamento		NTC-2004	NTC-2017
Efecto		FC	FC
Flexión		0.9	
Cortante y torsión		0.8	0.75
Flexión y cortante en losas o zapatas		0.7	0.65
Cuando el elemento falla en tensión.		0.8	0.75
Flexo compresión	Cuando el elemento falla en tensión.	0.8	0.75
	Cuando el núcleo esté confinado con un zuncho o un estribo o si el elemento falla en tracción.	0.8	0.75
	Cuando el núcleo no esté confinado y el elemento falla en compresión.	0.7	0.65
Aplastamiento		0.7	0.65

Estados límite de servicio

En las NTC-2004, el desplazamiento vertical en el centro de trabes, en el que se incluyen efectos a largo plazo, estaba dado por el claro/240; así mismo, para miembros cuyos desplazamientos pueden afectar elementos no estructurales el desplazamiento permisible se limita al claro/480; sin embargo en 2017 se agregaron 5 y 3 mm respectivamente, como se muestra en la tabla 2.5; para elementos en voladizos los límites anteriores se duplican.

Tabla 2.5 Límites de desplazamiento vertical en el centro de la trabe

Flecha	NTC-2004	NTC-2017
Flecha total a largo plazo	L/240	L/240+5mm
Flecha activa	L/480	L/480+3mm

Espectros para el diseño sísmico

Para el cálculo del espectro de diseño sísmico, tabla 2.7, se consideran el parámetros k que representa el cociente entre desplazamientos máximos del suelo y de la estructura usados para el cálculo de los parámetros p , a y Q' .

El factor de reducción β considera el amortiguamiento suplementario (mayor que 0.05) por efectos de interacción suelo-estructura o por el uso de disipadores de tipo viscoso; δ es la fracción de amortiguamiento crítico para la que se establece el espectro de diseño, y los valores de λ , ε y τ (que dependen del periodo del terreno T_s) que se enlistan en la tabla 3.1.1 de las NTC-DS-2017.

Las NTC-DS-2017 tienen en cuenta explícitamente los efectos del sitio.

Obtención de los parámetros que intervienen en el espectro

En las NTC-DS-2004 se usaba la tabla 3.1 y, de acuerdo a la zona sísmica, se obtenían los parámetros para el espectro, o mediante el uso de fórmulas para considerar los efectos del sitio. En las NTC-DS-2017, se emplea el Software SASID, para una ubicación específica, como se describió anteriormente.

Reducción de las ordenadas espectrales

En el cuerpo principal de las NTC-DS-2004, la obtención de las ordenadas espectrales, se realizaba dividiendo el espectro de diseño entre un factor de reducción Q' ; la sobrerresistencia estructural estaba considerada de manera implícita. En el Anexo A de esta misma norma si se podía determinar de manera explícita el factor de sobrerresistencia. En las NTC-DS-2017 las ordenadas del espectro de diseño pueden obtenerse dividiendo las ordenadas del espectro elástico entre el factor de sobrerresistencia R y el factor de reducción por comportamiento sísmico, Q' .

Factores de reducción por comportamiento sísmico

En las NTC-DS-2017, se observa que el factor de reducción, Q' , toma en consideración, además del factor de comportamiento sísmico, el amortiguamiento estructural, mientras que en las NTC-DS-2004, el factor Q' solamente dependía del valor del periodo de la estructura.

Corrección por irregularidad

En las NTC-DS-2004, el factor de reducción Q' , se multiplicaba por:

- 0.9 cuando no se cumplía con uno de los requisitos de estructura regular.
- 0.8 cuando no cumplía con dos o más de dichos requisitos.
- 0.7 cuando la estructura era fuertemente irregular.
- En ningún caso el factor Q' sería menor que uno.

En las NTC-DS-2017 el factor de reducción Q' , se multiplicará por:

- 0.8 cuando la estructura sea regular.
- 0.7 cuando la estructura sea muy irregular.
- En ningún caso el factor Q' se tomará menor que uno.

Factor de sobrerresistencia R

En las NTC-2004, considerando los efectos de sitio, el factor de reducción por sobrerresistencia era obtenido con la siguiente ecuación:

$$R = \begin{cases} \frac{10}{4 + \sqrt{\frac{T}{T_a}}}; & \text{si } T \leq T_a \\ 2; & \text{si } T > T_a \end{cases}$$

El factor de sobre-resistencia, R , en las NTC-2017, debe determinarse con la siguiente ecuación:

$$R = k_1 R_0 + k_2$$

Donde k_1 es el factor de corrección por hiperestaticidad, tabla 2.6 y R_0 es el factor básico de sobrerresistencia del sistema estructural (dependiente del valor de Q), que se tomará igual a:

$$R_0 = \begin{cases} 2.0; & \text{si } Q \geq 3 \text{ ó es Estructura de mampostería} \\ 1.75; & \text{si } Q < 3 \end{cases}$$

Tabla 2.6 valores de k_1 (factor de corrección por hiperestaticidad)

Factor k_1	Sistema estructural
0.8	Sistemas estructurales de concreto, acero o compuestos que tengan menos de tres crujías resistentes a sismo en la dirección de análisis y dos o menos crujías resistentes a sismo en la dirección normal a la de análisis.
1.0	Estructuras de mampostería, y para sistemas estructurales de concreto, acero o compuestos que tengan tres o más crujías resistentes a sismo en las dos direcciones de análisis.
1.25	Sistemas estructurales duales incluidos en las tablas 4.2.1 y 4.2.2 de las NTC-DS

k_2 es el factor de incremento para estructuras pequeñas y rígidas, que se obtiene con la expresión:

$$k_2 = 0.5 \left[1 - \left(\frac{T_b}{T} \right)^{\frac{1}{2}} \right] > 0$$

Se usará $R=1$ para el diseño de estructuras cuya resistencia a fuerzas laterales quede suministrada, parcial o totalmente, por elementos o materiales, según lo especificado en la norma. Podrán emplearse valores más altos de R cuando se haga un estudio que demuestre que esto es posible.

En la tabla 2.7 se resumen las diferencias entre los espectros de diseño de las NTC-DS-2004 y las NTC-DS-2017.

Tabla 2.7 Comparación de los espectros de diseño de las NTC-DS-2004 y NTC-DS-2017

Concepto	NTC-DS-2004	NTC-DS-2017
Espectros para el diseño	Espectros para el diseño sísmico $a = \begin{cases} a_0 + (c - a_0) \frac{T}{T_a}; & \text{si } T < T_a \\ c; & \text{si } T_a \leq T \leq T_b \\ qc; & \text{si } T > T_b \end{cases}$ $q = \left(\frac{T_b}{T}\right)^r$	$a = \begin{cases} a_0 + (\beta c - a_0) \frac{T}{T_a}; & \text{si } T < T_a \\ \beta c; & \text{si } T_a \leq T < T_b \\ \beta c p \left(\frac{T_b}{T}\right)^2; & \text{si } T \geq T_b \end{cases}$ $p = k + (1 - k) \left(\frac{T_b}{T}\right)^2$ $\beta = \begin{cases} 1 - \left[1 - \left(\frac{0.05}{\delta}\right)^\lambda\right] \frac{T}{T_a}; & \text{si } T \leq T_a \\ \left(\frac{0.05}{\delta}\right)^\lambda; & \text{si } T_a < T < \tau T_b \\ 1 + \left[\left(\frac{0.05}{\delta}\right)^\lambda - 1\right] \left(\frac{\tau T_b}{T}\right)^\epsilon; & \text{si } T \geq \tau T_b \end{cases}$
	Espectros para el diseño sísmico (Efectos de sitio) $a = \begin{cases} a_0 + (\beta c - a_0) \frac{T}{T_a}; & \text{si } T < T_a \\ \beta c; & \text{si } T_a \leq T < T_b \\ \beta c p \left(\frac{T_b}{T}\right)^2; & \text{si } T \geq T_b \end{cases}$ $p = k + (1 - k) \left(\frac{T_b}{T}\right)^2$ β=factor de reducción por amortiguamiento suplementario, que es igual a uno cuando se ignora la interacción suelo–estructura.	
Obtención de los parámetros	Espectros para el diseño sísmico Tabla 3.1 de las NTC; de acuerdo a la zona sísmica. Espectros para el diseño sísmico (Efectos de sitio) Parámetro a ₀ $a_0 = \begin{cases} 0.1 + 0.15(T_S - 0.5); & \text{si } 0.5 \leq T_S \leq 1.5s \\ 0.25; & \text{si } T_S > 1.5s \end{cases}$ Parámetro k	Sistema de Acciones Sísmicas de Diseño (SASID), cuando los estudios geotécnicos no indiquen la existencia de anomalías en las características del subsuelo con respecto a la zona circundante.

	$k = \begin{cases} 2 - T_S; & \text{si } 0.5 \leq T_S \leq 1.65s \\ 0.35; & \text{si } T_S > 1.65s \end{cases}$ Parámetro c $c = \begin{cases} 0.28 + 0.92(T_S - 0.5); & \text{si } 0.5 < T_S \leq 1.5s \\ 1.2; & \text{si } 1.5 < T_S \leq 2.5s \\ 1.2 - 0.5(T_S - 2.5); & \text{si } 2.5 < T_S \leq 3.5s \\ 0.7; & \text{si } T_S > 3.5s \end{cases}$ Parámetro T_a $T_a = \begin{cases} 0.2 + 0.65(T_S - 0.5); & \text{si } 0.5 < T_S \leq 2.5s \\ 1.5; & \text{si } 2.5 < T_S \leq 3.5s \\ 4.75 - T_S; & \text{si } 3.5 < T_S \leq 3.9s \\ 0.85; & \text{si } T_S > 3.9s \end{cases}$ Parámetro T_b $T_b = \begin{cases} 1.35; & \text{si } T_S \leq 1.125s \\ 1.2T_S; & \text{si } 1.125 < T_S \leq 3.5s \\ 4.2; & \text{si } T_S > 3.5s \end{cases}$	
Reducción de las ordenadas espectrales	$a_{reducida} = \frac{a}{Q'}$ Espectros para el diseño sísmico (Efectos de sitio) $a_{reducida} = \frac{a}{Q'R}$	$a_{reducida} = \frac{a}{Q'R}$
Factores de reducción por comportamiento sísmico	Factor de reducción de las ordenadas espectrales Q' $Q' = \begin{cases} Q; & \text{si se desconoce } T \text{ o si } T \geq T_a \\ 1 + \frac{T}{T_a}(Q - 1); & \text{si } T < T_a \end{cases}$ Espectros para el diseño sísmico (Efectos de sitio) Factor de reducción de las ordenadas espectrales Q'	Factor de reducción $Q' = \begin{cases} 1 + (Q - 1)\sqrt{\frac{\beta T}{k T_a}}; & \text{si } T \leq T_a \\ 1 + (Q - 1)\sqrt{\frac{\beta}{k}}; & \text{si } T_a < T \leq T_b \\ 1 + (Q - 1)\sqrt{\frac{\beta p}{k}}; & \text{si } T > T_b \end{cases}$

	$Q' = \begin{cases} 1 + (Q - 1) \sqrt{\frac{\beta T}{k T_a}}; & \text{si } T \leq T_a \\ 1 + (Q - 1) \sqrt{\frac{\beta}{k}}; & \text{si } T_a < T \leq T_b \\ 1 + (Q - 1) \sqrt{\frac{\beta p}{k}}; & \text{si } T > T_b \end{cases}$	
Corrección por irregularidad	$Q' = \alpha * Q' \geq 1$ $\alpha = \begin{cases} 0.7 \\ 0.8 \\ 0.9 \\ 1.0 \end{cases}$	$Q' = \alpha * Q' \geq 1$ $\alpha = \begin{cases} 0.7 \\ 0.8 \\ 1.0 \end{cases}$
Factor de sobrerresistencia	<p>Espectros para el diseño sísmico (Efectos de sitio)</p> $R = \begin{cases} \frac{10}{4 + \sqrt{\frac{T}{T_a}}}; & \text{si } T \leq T_a \\ 2; & \text{si } T > T_a \end{cases}$	$R = k_1 R_0 + k_2$

Revisión por cortante basal

Las NTC-DS-2004 consideran que el cortante basal obtenido dinámicamente no puede ser menor que el dado por la siguiente expresión:

$$0.8a \frac{W_o}{Q'}$$

De ser menor, se incrementarán todas las fuerzas de diseño y desplazamientos laterales correspondientes, en una proporción tal que V_o iguale a este valor. En ningún caso V_o se tomará menor que $a_o W_o$.

Para los efectos de sitio, las NTC-DS-2004 y NTC-DS-2017, establecen que, si en la dirección de análisis se encuentra que la fuerza cortante basal V_o obtenida con el análisis dinámico modal es menor a:

$$a_{\min} W_o$$

Se incrementarán todas las fuerzas de diseño en una proporción tal que V_o iguale este valor; los desplazamientos no se afectarán por esta corrección. En esta expresión, W_o es el peso total de la estructura al nivel del desplante.

Aceleración espectral

El cortante sísmico en la base de la estructura se determina para cada una de las direcciones de análisis. Si V_{SX} es el cortante sísmico en la base (X) es $V_{SX} = S_{dX}(T)W$.

En las NTC-DS-2004 la aceleración espectral horizontal de diseño en X ($S_{dX}(T)$) debe ser el valor máximo de $\frac{0.8a}{Q'}$ ó a_o .

Para los efectos de sitio, las NTC-DS-2004 y NTC-DS-2017, establecen que, la aceleración espectral horizontal de diseño en X ($S_{dX}(T)$) debe ser el valor máximo de $\frac{a}{Q'R}$ ó a_{\min} .

En las NTC-DS-2004 a_{\min} se tomará igual a 0.03 cuando $T_s < 0.5$ s o 0.05 si $T_s \geq 1.0$ s, donde T_s es el periodo dominante más largo del terreno en el sitio de interés. En las NTC-DS-2017, adicionalmente, para valores de T_s comprendidos entre 0.5 y 1.0, a_{\min} se hará variar linealmente entre 0.03 y 0.05.

Revisión de desplazamientos laterales

En las NTC-DS-2004, el desplazamiento será el que resulte del análisis con las fuerzas sísmicas reducidas según los criterios de reducción de fuerzas sísmicas, multiplicado por el factor de comportamiento sísmico, Q.

En las NTC-DS-2017, para efectos de revisión, los desplazamientos laterales se obtienen del análisis realizado con las fuerzas sísmicas de diseño, y deberá considerarse la mayor distorsión

de las que se calculan para cada elemento o subsistema vertical contenido en el entrepiso (marcos, muros y cualquier otro elemento vertical). Se deberán revisar los desplazamientos laterales para las dos condiciones de diseño siguientes.

- Para el cumplimiento del estado límite de seguridad contra colapso, se revisará que las distorsiones obtenidas con el espectro de diseño, multiplicadas por QR, no excedan los valores especificados para la distorsión límite (γ_{max}), según el sistema estructural que se haya adoptado, tablas 4.2.1, 4.2.2 y 4.2.3 de las NTC-DS.
- Para el cumplimiento del requisito de limitación de daños ante sismos frecuentes, se revisará que las distorsiones de entrepiso para esta condición no excedan 0.002, salvo que todos los elementos no estructurales sean capaces de soportar deformaciones apreciables o estén separados de la estructura principal de manera que no sufran daños por sus deformaciones. En tal caso, el límite en cuestión será 0.004.

Tabla 2.8 Comparación de cortante basal y desplazamientos laterales de las NTC-DS-2004 y NTC-DS-2017

Concepto	NTC-DS-2004	NTC-DS-2017
Revisión por cortante basal	$V_o > 0.8a \frac{W_o}{Q'}$	$V_o > a_{min} W_o$
	Efectos en el sitio $V_o > a_{min} W_o$	
$S_{ax}(T)$, aceleración espectral horizontal de diseño	$S_{ax}(T) = MAX\left(\frac{0.8a}{Q'}; a_o\right)$	$S_{ax}(T) = MAX\left(\frac{a}{QR}; a_{min}\right)$ $a_{min} = \begin{cases} 0.03; & \text{si } T_s < 0.5s \\ 0.04T_s - 0.01; & \text{si } 0.5s < T_s < 1s \\ 0.05; & \text{si } T_s \geq 1.0s \end{cases}$
	$S_{ax}(T) = MAX\left(\frac{a}{QR}; a_{min}\right)$ Efectos en el sitio $a_{min} = \begin{cases} 0.03; & \text{si } T_s < 1.0s \\ 0.05; & \text{si } T_s \geq 1.0s \end{cases}$	
Desplazamiento laterales	<i>Factor de desplazamiento</i> = Q	<i>Factor de desplazamiento</i> = QR
	Efectos en el sitio <i>Factor de desplazamiento</i> = QR	

Determinación de las fuerzas cortantes

Para calcular las fuerzas cortantes en diferentes entrepisos de una estructura, se supondrá un conjunto de fuerzas horizontales actuando sobre cada uno de los puntos donde se supongan concentradas las masas de los pisos; cada fuerza se tomará igual al peso de la masa que corresponde multiplicando por un coeficiente proporcional a h, siendo h la altura de la masa en cuestión sobre el desplante (o nivel a partir del cual las deformaciones estructurales pueden ser apreciables), sin incluir tanques, apéndices y otros elementos cuya estructuración difiera radicalmente de la del resto de la estructura bajo análisis.

En las NTC-DS-2004 el factor de proporcionalidad se tomará de tal manera que la relación V_o/W_o en la base sea igual a c/Q' pero no menor que a_o , donde a_o es la ordenada espectral que

corresponde a $T=0$, Q' el factor de comportamiento sísmico reducido y c es el valor dado por la Tabla 3.1. La fuerza lateral que actúa en el i -ésimo nivel, F_i , resulta ser:

$$F_i = \frac{c}{Q'} W_i h_i \frac{\sum W_i}{\sum W_i h_i}; \frac{c}{Q'} \geq a_0$$

Donde W_i es el peso de la i -ésima masa; y h_i la altura de la i -ésima masa sobre el desplante.

En las NTC-DS-2017 el coeficiente se tomará de tal manera que la relación V_o/W_o sea igual a $c/(Q'R)$ pero no menor que a_0 , donde a_0 es la ordenada espectral que corresponde a $T=0$ y c el coeficiente que se obtiene con el SASID. La fuerza lateral que actúa en el i -ésimo nivel, F_i , resulta:

$$F_i = \frac{c}{Q'R} W_i h_i \frac{\sum W_i}{\sum W_i h_i}$$

donde W_i es el peso de la i -ésima masa; h_i , la altura de la i -ésima masa sobre el desplante; y Q' , el factor de reducción por comportamiento sísmico.

Reducción de las fuerzas cortantes

Podrán adoptarse fuerzas cortantes reducidas siempre y cuando se tome en cuenta el valor aproximado del período fundamental de vibración de la estructura, de acuerdo con lo siguiente:

En las NTC-DS-2004:

- a) El período fundamental de vibración T , se tomará igual a:

$$2\pi \sqrt{\frac{\sum W_i x_i^2}{g \sum F_i x_i}}$$

Donde x_i es el desplazamiento del nivel i , relativo a la base de la estructura, en la dirección de la fuerza, g la aceleración de la gravedad, y las sumatorias se llevan a todos los niveles.

- b) Si T es menor o igual que T_b , se procederá como en el inciso a de esta sección pero de tal manera que la relación V_o/W_o en la base sea igual a a/Q' , calculándose a y Q' , según el espectro para diseño sísmico y el factor de reducción de fuerzas sísmicas.
- c) Si T es mayor que T_b , cada una de las fuerzas laterales se tomará igual a:

$$F_i = W_i (k_1 h_i + k_2 h_i^2) \frac{a}{Q'}$$

Donde:

$$k_1 = [1 - 0.5r(1 - q)] \frac{\sum W_i}{\sum W_i h_i}$$

$$k_2 = 0.75r(1 - q) \frac{\sum W_i}{\sum W_i h_i^2}$$

$$q = \left(\frac{T_b}{T}\right)^r$$

El valor de a no se tomará menor que a_0 y h_i la altura de la masa i sobre el desplante.

En las NTC-DS-2017:

- a) El período fundamental de vibración T , se tomará igual a:

$$2\pi \sqrt{\frac{\sum W_i x_i^2}{g \sum F_i x_i}}$$

Donde x_i es el desplazamiento del nivel i , relativo a la base de la estructura, en la dirección de la fuerza, g la aceleración de la gravedad, y las sumatorias se llevan a todos los niveles.

- b) Si T es menor o igual que T_b , se procederá como en el inciso a de esta sección pero de tal manera que la relación V_o/W_o en la base sea igual a $a/(Q'R)$, calculándose a , Q' y R según el espectro para diseño sísmico y el factor de reducción de fuerzas sísmicas.
 c) Si T es mayor que T_b , cada una de las fuerzas laterales se tomará igual a:

$$F_i = W_i(k_3 h_i + k_4 h_i^2) \frac{a}{Q'R}$$

Donde:

$$k_3 = P \frac{\sum W_i}{\sum W_i h_i}$$

$$k_4 = 1.5(1 - P) \frac{\sum W_i}{\sum W_i h_i^2}$$

$$P = k + (1 - k) \left(\frac{T_b}{T}\right)^2$$

En la tabla 2.9 se realiza la comparación de fuerzas cortantes de diseño.

Tabla 2.9 Comparación de las fuerzas cortantes de diseño de las NTC-DS-2004 y NTC-DS-2017

Fuerzas cortantes	NTC-DS-2004	NTC-DS-2017
Determinación	$F_i = \frac{c}{Q'} W_i h_i \frac{\sum W_i}{\sum W_i h_i}; \frac{c}{Q'} \geq a_0$	$F_i = \frac{c}{Q'R} W_i h_i \frac{\sum W_i}{\sum W_i h_i}$
Reducción	$F_i = W_i(k_1 h_i + k_2 h_i^2) \frac{a}{Q'}$ $k_1 = [1 - 0.5r(1 - q)] \frac{\sum W_i}{\sum W_i h_i}$ $k_2 = 0.75r(1 - q) \frac{\sum W_i}{\sum W_i h_i^2}$ $q = \left(\frac{T_b}{T}\right)^r$	$F_i = W_i(k_3 h_i + k_4 h_i^2) \frac{a}{Q'R}$ $k_3 = P \frac{\sum W_i}{\sum W_i h_i}$ $k_4 = 1.5(1 - P) \frac{\sum W_i}{\sum W_i h_i^2}$ $P = k + (1 - k) \left(\frac{T_b}{T}\right)^2$

Efectos de torsión

En las NTC-DS-2004 el momento torsionante se tomará por lo menos igual a la fuerza cortante de entrepiso multiplicada por la excentricidad que para cada marco o muro resulte más desfavorable de las siguientes:

$$1.5e_s + 0.1b$$

$$e_s - 0.1b$$

Donde: b es la dimensión de la planta que se considera, medida perpendicularmente a la acción sísmica. En estructuras para las que el factor de comportamiento sísmico Q sea mayor o igual a 3, en ningún entrepiso la excentricidad torsional calculada estáticamente deberá exceder de $0.2b$.

Mientras que en las NTC-DS-2017, el momento torsionante debe tomarse por lo menos igual a la fuerza lateral que actúa en el nivel multiplicada por la excentricidad que para cada elemento vertical sismorresistente resulte más desfavorable de las siguientes:

$$1.5e_s + e_a$$

$$e_s - e_a$$

Donde: e_a es la excentricidad accidental en la dirección de análisis, medida perpendicularmente a la acción sísmica.

La excentricidad accidental, e_{ai} , en la dirección perpendicular a la de análisis en el i -ésimo entrepiso:

$$e_{ai} = \left[0.5 + \frac{0.05(i-1)}{(n-1)} \right] b_i$$

$$e_{ai} = 0.05b_i \quad \text{para el piso 1}$$

$$e_{an} = 0.10b_n \quad \text{para el piso } n$$

Donde: b_i es la dimensión del i -ésimo piso en la dirección perpendicular a la dirección de análisis; y n , el número de pisos del sistema estructural.

Efectos de segundo orden

En las NTC-DS-2004, los efectos de segundo orden pueden despreciarse si, en algún entrepiso se cumple con la siguiente condición:

$$\frac{\Delta}{H} \leq 0.08 \frac{V}{W}$$

Donde: Δ es el desplazamiento lateral relativo entre los dos niveles que limitan el entrepiso considerado (se calcula multiplicando por Q los causados por las fuerzas sísmicas reducidas); H la altura del entrepiso; V la fuerza cortante calculada en el entrepiso y W el peso de la construcción situada encima del entrepiso, incluyendo cargas muertas y vivas, multiplicadas por el factor de carga correspondiente.

En las NTC-DS-2007 en vez de usar Δ/H se utiliza ψ para denotar el cociente del desplazamiento relativo entre dos niveles de piso o secciones horizontales, dividido entre la correspondiente diferencia de elevaciones, quedando la fórmula de la siguiente manera:

$$\psi \leq 0.08 \frac{V}{W}$$

Efectos bidireccionales

En las NTC-DS-2004 los efectos de ambos componentes horizontales del movimiento del terreno y en las NTC-DS-2017 para el método estático o el dinámico modal espectral los efectos de los dos componentes horizontales del movimiento del terreno se deben combinar, tomando en cada dirección en que se analice la estructura 100% de los efectos del componente que obra en esa dirección y 30% de los efectos del que obra perpendicularmente a él, con los signos que resulten más desfavorables para cada concepto.

Evaluación y rehabilitación

En la última actualización de las NTC-2017, se incorporaron capítulos correspondientes a Evaluación y Rehabilitación a las NTC para Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto (NTC-DCEC) y las NTC de Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería (NTC-DCEM), lo cual, constituye un avance importante en materia de evaluación y rehabilitación de estructuras dañadas.

En las NTC-2017 también se incorpora la Norma Técnica Complementaria para la Revisión de la Seguridad Estructural de las Edificaciones (NTC-RSEE-2017) que establece los requisitos para el proceso de revisión, clasificación y evaluación de daños; requisitos y actualización de los Corresponsables en Seguridad Estructural que tendrán a su cargo la coordinación de la Revisión; la elaboración de dictámenes de la seguridad estructural y la expedición de la responsiva y tramites de los servicios profesionales de quienes intervienen en la Revisión.

2.2 Normatividad del Instituto Nacional de la Infraestructura Física Educativa (INIFED)

El INIFED cuenta con una normatividad técnica que incluye las siguientes Normas Mexicanas NMX:

- NMX-R-003-SCFI-2011 ESCUELAS - SELECCIÓN DEL TERRENO PARA CONSTRUCCIÓN –REQUISITOS (CANCELA A LA NMX-R-003-SCFI-2004).
- NMX-R-021-SCFI-2013 ESCUELAS – CALIDAD DE LA INFRAESTRUCTURA FÍSICA EDUCATIVA –REQUISITOS (CANCELA A LA NMX-R-021-SCFI-2005).
- NMX-R-024-SCFI-2015 ESCUELAS - SUPERVISIÓN DE OBRA DE LA INFRAESTRUCTURA FÍSICA EDUCATIVA - REQUISITOS (CANCELA A LA NMX-R-024-SCFI-2009)
- NMX-R-079-SCFI-2015 ESCUELAS – SEGURIDAD ESTRUCTURAL DE LA INFRAESTRUCTURA FÍSICA EDUCATIVA – REQUISITOS
- NMX-R-080-SCFI-2015 ESCUELAS – BEBEDEROS DE AGUA POTABLE–REQUISITOS
- NMX-R-084-SCFI-2015 ESCUELAS – LEVANTAMIENTO DE DATOS PARA EL DIAGNÓSTICO DE LA INFRAESTRUCTURA FÍSICA EDUCATIVA – DIRECTRICES Y REQUISITOS

Las Normas y Especificaciones para Estudios, Proyectos, Construcción e Instalaciones 2014 (NEEPCI-2014) se integran en los siguientes volúmenes:

- Volumen 1: Aspectos generales

Contiene la integración y estructura de los demás volúmenes y sus normas, y las definiciones de los términos que se juzguen necesarios, y aquellos aspectos de las normas que por ser aplicables a ciertos conceptos de obra tengan que repetirse en varias de éstas.

- Volumen 2: Estudios preliminares

Contiene las normas relativas a los estudios de factibilidad, selección del terreno, aspectos legales del predio, vialidad, etc. y lo que sea necesario establecer de acuerdo con el tipo de proyecto o estudio de que se trate, integrado por los siguientes tomos:

Tomo I. Planeación, programación y evaluación.

Tomo II. Estudios.

Tomo III. Selección del terreno.

- Volumen 3: Habitabilidad y funcionamiento

Contiene las normas relativas al proyecto y lo que sea necesario establecer de acuerdo con el tipo de proyecto o estudio de que se trate, está integrado por los siguientes tomos:

Tomo I. Diseño arquitectónico.

Tomo II. Accesibilidad.

Tomo III. Diseño de mobiliario.

Tomo IV. Acondicionamiento acústico.

- Volumen 4: Seguridad estructural

Contiene los lineamientos mínimos que debe cumplir la estructura para garantizar la integridad de los ocupantes ante los diversos fenómenos naturales, así mismo cumplir con el estado límite de servicio y el estado límite de falla, está conformado por los siguientes tomos:

Tomo I. Disposiciones y criterios generales.

Tomo II. Diseño por sismo.

Tomo III. Diseño por viento.

Tomo IV. Diseño de cimentaciones.

Tomo V. Diseño de estructuras de concreto.

Tomo VI. Diseño de estructuras de acero.

Tomo VII. Diseño de estructuras de mampostería.

- Volumen 5: Instalaciones de servicio

Está integrado con el conjunto de normas relativas a los diversos tipos de trabajos de instalaciones básicas y especiales que se requieran y está conformado por los siguientes tomos:

Tomo I. Instalaciones eléctricas.

Tomo II. Instalaciones hidrosanitarias.

Tomo III. Instalaciones de aire acondicionado.

- Volumen 6: Edificación

Está integrado con el conjunto de normas relativas a los diversos tipos de trabajos de obra civil e instalaciones y está conformado por los siguientes tomos:

- Tomo I. Generalidades.
- Tomo II. Obras preliminares.
- Tomo III. Cimentaciones.
- Tomo IV. Estructuras.
- Tomo V. Muros.
- Tomo VI. Recubrimientos.
- Tomo VII. Pisos.
- Tomo VIII. Techos y plafones.
- Tomo XI. Herrería y carpintería.

- Volumen 7: Conservación

Está integrado con el conjunto de normas relativas a los diversos tipos de trabajos de mantenimiento y conservación y está conformado por los siguientes tomos:

- Tomo I. Envolvente.
- Tomo II. Estructuras.
- Tomo III. Instalaciones.

La Normatividad técnica relativa a las especificaciones, diseño y cálculo de estructuras para la construcción de Infraestructura Educativa es de observancia obligatoria en los términos que marca la Ley General de la Infraestructura Física Educativa (LG-IFE, 2008) siendo aplicable a todas las edificaciones y espacios que formen parte integrante de un plantel escolar, independientemente del uso particular al que esté destinado.

A continuación se hace énfasis en aquellos capítulos referentes a la seguridad estructural y al diseño sísmico.

Volumen 4 “Seguridad estructural”

La normatividad de Seguridad Estructural se basa en los documentos del RCDF-2004, las NTC-2004 y el Manual de Diseño de Obras Civiles de la Comisión Federal de Electricidad de 1993 (MDOC-CFE-1993), para el Diseño por Sismo y Diseño por Viento.

Tomo I. Normas de Disposiciones y Criterios Generales

En las Normas de Disposiciones y Criterios Generales (NEEPCI-DCG-2014) se definen las acciones que pueden actuar sobre la estructura y sus posibles efectos para que sean tomados en cuenta para fines de diseño estructural, así como las condiciones de seguridad y de servicio que deberán revisarse al realizar el diseño estructural de la construcción y los criterios de aceptación relativos a dichas condiciones. También se describen las combinaciones de acciones que deberán suponerse aplicadas simultáneamente para revisar cada una de las condiciones de seguridad y servicio establecidas.

Condiciones de diseño

Se revisará que para las distintas combinaciones de acciones y para cualquier estado límite de falla posible, la resistencia de diseño sea mayor o igual al efecto de las acciones que intervengan en la combinación de cargas en estudio, multiplicado por los FC correspondientes, según lo especificado a continuación:

- a. Para combinaciones que incluyan exclusivamente acciones permanentes y variables, se aplicará $FC=1.4$. Cuando se trate de edificaciones del Grupo A, $FC=1.5$.
- b. Las construcciones escolares, independientemente del destino de los locales y espacios que contengan (aulas, oficinas, laboratorios, talleres, anexos, etc.) invariablemente se clasificarán dentro del Grupo A.
- c. Para combinaciones de acciones que incluyan una acción accidental, acciones permanentes y variables, $FC=1.1$ aplicado a los efectos de todas las acciones que intervengan en la combinación.
- d. Para acciones o fuerzas internas cuyo efecto sea favorable a la resistencia o estabilidad de la estructura, $FC=0.9$; se tomará como intensidad de la acción el valor mínimo probable.
- e. Para revisión de estados límite de servicio se tomará en todos los casos $FC=1.0$.

Se revisará que no se rebase ningún estado límite de servicio bajo el efecto de las posibles combinaciones de acciones, sin multiplicar por el FC.

Estados límite de servicio

Son límites establecidos a manera de evitar condiciones que afecten la comodidad de los ocupantes o que puedan causar daños, estos pueden ser desplazamientos, vibraciones u otros:

- Desplazamientos, que no excedan:
 - Un desplazamiento vertical en el centro de trabes y en el que se incluyen efectos a largo plazo, igual al claro entre 240 más 5 mm; además, en miembros en los cuales sus desplazamientos afecten a elementos no estructurales, como muros de mampostería, que no sean capaces de soportar desplazamientos apreciables. El estado límite se considerará a un desplazamiento vertical, medido después de colocar los elementos no estructurales, igual al claro de la trabe entre 480 más 3 mm. Para elementos en voladizo los límites anteriores se duplicarán.
 - Un desplazamiento horizontal relativo entre dos niveles sucesivos de la estructura, igual a la altura del entrepiso dividido entre 500, para edificaciones en las cuales se hayan unido los elementos no estructurales capaces de sufrir daños bajo pequeños desplazamientos; en otros casos, el límite será igual a la altura del entrepiso dividido entre 250. Para diseño sísmico o por viento se observará lo dispuesto en las normas correspondientes.

- Vibraciones: las amplitudes debidas a vibraciones no podrán exceder los valores establecidos anteriormente, y deberán imponerse límites a las amplitudes máximas de las vibraciones, de acuerdo con su frecuencia.
- Otros estados límite: se observará lo que dispongan las Normas técnicas complementarias relativas a los distintos tipos de estructuras y a los estados límite de servicio de la cimentación.

Acciones de diseño

Se considerarán tres categorías de acciones de acuerdo a la duración en que actúan sobre la estructura con su intensidad máxima:

- Acciones permanentes: son las que actúan en forma continua sobre la estructura y cuya intensidad puede considerarse que no varía sustancialmente con el tiempo.

Cargas muertas: debidas al peso propio de la estructura y de los elementos constructivos no estructurales, incluyendo el peso de acabados, recubrimientos, cancelerías, instalaciones, equipos fijos y de otros elementos no estructurales que pudieran colocarse posteriormente. Para la determinación de los valores nominales de diseño de las cargas muertas, se emplearán los pesos señalados en la Tabla No. 5.1 "Pesos volumétricos de materiales constructivos", de las NEEPCI-DCG-2014 (INIFED, 2014).

Peso muerto de losas de concreto:

- En losas de concreto de peso normal coladas en el lugar se incrementará en 20 kg/m².
- Cuando sobre una losa se coloque una capa de mortero de peso normal, el peso calculado de esta capa se incrementará también 20 kg/m² de manera que el incremento total será de 40 kg/m².
- Tratándose de losas y morteros que posean pesos volumétricos diferentes del normal, estos valores se modificarán en proporción a los pesos volumétricos.

Empujes estáticos de tierras y líquidos: Las fuerzas debidas al empuje estático de suelos se determinarán de acuerdo con lo establecido en las NTC-DCC.

- Acciones variables: son las que obren sobre la estructura con una intensidad que varía significativamente con el tiempo.

Cargas vivas: fuerzas que se producen por el uso y ocupación de las edificaciones y que no tienen carácter permanente. A menos que se justifiquen racionalmente otros valores, estas cargas se tomarán iguales a las especificadas en la tabla 2.10 y se considerarán como uniformemente repartidas sobre el área tributaria de cada elemento.

- Acciones accidentales: son las que pueden alcanzar magnitudes significativas sólo durante lapsos breves y que no se deben al funcionamiento propio de la construcción, como sismos, viento, explosiones, etc.

Tabla 2.10 Cargas vivas unitarias [kg/m²]

Destino del piso ó cubierta	w (media)	wa (inst.)	wm (máxima)
a) Habitación (casas-habitación, departamentos, viviendas, dormitorios, cuartos de hotel, internados de escuelas, cuarteles, cárceles, correccionales, hospitales y similares).	70	90	170
b) Oficinas, despachos y laboratorios	100	180	250
c) Aulas	100	180	250
d) Comunicación para peatones (pasillos, escaleras, rampas, vestíbulos y pasajes de acceso libre al público)	40	150	350
e) Estadios y lugares de reunión sin asientos individuales.	40	350	450
f) Lugares de reunión (templos, cines, teatros, gimnasios, salones de baile, restaurantes, bibliotecas, aulas, salas de juego y similares)	40	250	350
g) Comercios, fábricas y bodegas	0.8wm	0.9wm	wm
h) Cubiertas y azoteas con pendiente no mayor de 5%	15	70	100
i) Cubiertas y azoteas con pendiente mayor de 5%; otras cubiertas, cualquier pendiente	5	20	40
j) Volados en vía pública (marquesinas, balcones y similares).	15	70	300
k) Garajes y estacionamientos (para automóviles exclusivamente)	40	100	250

Intensidades de diseño

Cuando deba considerarse en el diseño el efecto de acciones cuyas intensidades no estén especificadas en el RCDF ni en sus NTC, estas intensidades deberán establecerse siguiendo procedimientos aprobados por el INIFED y con base en los siguientes criterios generales:

- a) Para acciones permanentes se tomará en cuenta la variabilidad de las dimensiones de los elementos, de los pesos volumétricos y de las otras propiedades relevantes de los materiales, para determinar un valor máximo probable de la intensidad. Cuando el efecto de la acción permanente sea favorable a la estabilidad de la estructura, se determinará un valor mínimo probable de la intensidad.
- b) De acuerdo con la combinación de acciones para la que se esté diseñando, en cada acción variable se considerarán las siguientes intensidades posibles:
 1. Intensidad media, se estimará como el valor medio que puede tomar la acción en un lapso de varios años y cuyo valor nominal se sumará al de las acciones permanentes, para estimar efectos a largo plazo.
 2. Intensidad instantánea, se determinará como el valor máximo probable en el lapso en que pueda presentarse una acción accidental y cuyo valor nominal se empleará para combinaciones que incluyan acciones permanentes y accidentales.

3. Intensidad máxima, se determinará como el valor máximo probable durante la vida esperada de la edificación y cuyo valor nominal se empleará en combinaciones que incluyan exclusivamente acciones permanentes.
 4. Intensidad mínima, cuyo valor se tomará en sustitución del efecto de la acción que resulte favorable a la estabilidad de la estructura y que en lo general se toma igual a cero.
- c) Para las acciones accidentales se considerará como intensidad de diseño el valor que corresponde a un periodo de retorno de cincuenta años.

Combinaciones de acciones

Se consideran dos categorías de combinaciones que se revisarán para todos los posibles estados límite, tanto de falla como de servicio:

- a) Acciones permanentes y variables: las acciones permanentes que actúen sobre la estructura y las distintas acciones variables, de las cuales la más desfavorable se tomará con su intensidad máxima y el resto con su intensidad instantánea, o bien todas ellas con su intensidad media cuando se trate de evaluar efectos a largo plazo.
- b) Acciones permanentes, variables y accidentales: se considerarán las acciones permanentes, las variables con sus valores instantáneos y únicamente una acción accidental en cada combinación.

Resistencia de diseño

Se tomará igual a la resistencia nominal por el factor de reducción de resistencia, determinado de acuerdo con lo fijado en la tabla 2.11; la resistencia nominal será tal, que la probabilidad de que no sea alcanzada resulte del 2%.

Tabla 2.11 Factores de reducción de resistencia para elementos de concreto armado

Para flexión	Para cortante y torsión	En flexo compresión	
		Cuando el núcleo esté confinado con un zuncho o un estribo o si el elemento falla en tracción.	Cuando el núcleo no esté confinado y el elemento falla en compresión.
0.9	0.8	0.8	0.7

Tomo II. Diseño por Sismo

Zonificación

Para fines de diseño sísmico, se utilizará el mapa de la Figura 2.7, donde el territorio de la República Mexicana se clasifica en cuatro zonas (A, B, C y D) que representan zonas de menor a mayor riesgo sísmico, definido en función de la sismicidad propia de cada región.

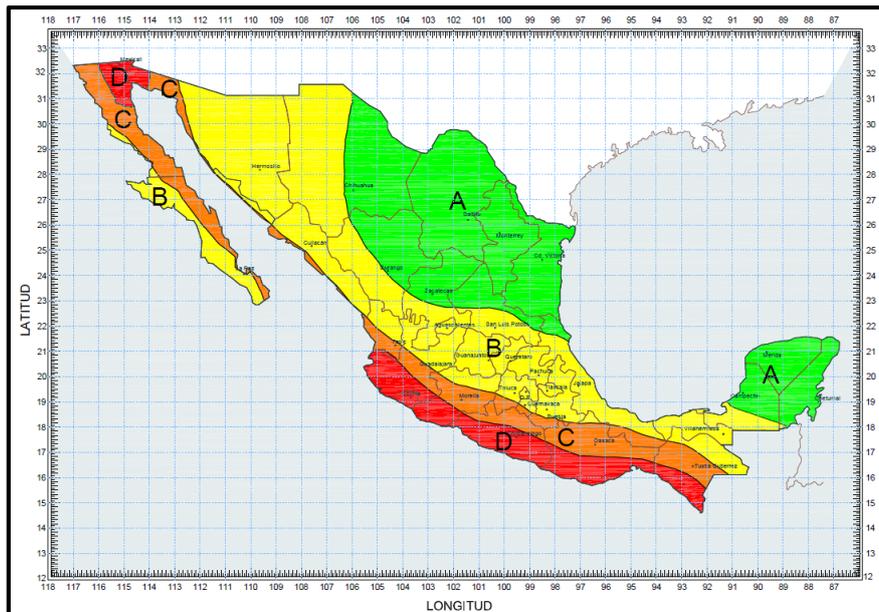


Figura 2.7 Zonificación sísmica de la República Mexicana. (INIFED, 2014)

Condiciones y criterios de análisis

Las estructuras se analizarán bajo la acción de dos componentes horizontales ortogonales, no simultáneos, del movimiento del terreno. Los efectos correspondientes (deformaciones y fuerzas internas) se efectuarán sumando vectorialmente los efectos gravitacionales con los efectos sísmicos como se muestra en la tabla 2.12.

Tabla 2.12 Combinación de acciones en cada sección crítica

Construcción	Edificios	Péndulos invertidos, tanques elevados, torres, chimeneas y estructuras semejantes
Combinación en cada sección crítica	100% de la componente en la dirección principal y 30% de la componente en la dirección ortogonal.	100% de la componente en la dirección principal y 50% de la componente en la dirección ortogonal.

En análisis de los efectos debidos a cada componente del movimiento del terreno deberá satisfacer los siguientes requisitos, con las justificaciones que corresponden al método simplificado de análisis:

- La influencia de fuerzas laterales se analizará tomando en cuenta los desplazamientos horizontales, los verticales que sean significativos, los giros de todos los elementos integrantes de la estructura, así como la continuidad y rigidez de los mismos. En particular se considerarán los efectos de la inercia rotacional en los péndulos invertidos.
- En las estructuras metálicas revestidas de concreto reforzado se podrá considerar la acción combinada de estos materiales en el cálculo de resistencias y rigideces cuando se asegure el trabajo combinado de las secciones compuestas.

- c) Se revisará que la estructura y la cimentación no rebasen ningún estado límite de falla o de servicio. Se supondrá que no habrá tensiones entre la subestructura y el terreno, debiéndose satisfacer el equilibrio de las fuerzas y momentos totales calculados.
- d) Se verificará que las deformaciones de los sistemas estructurales, incluyendo las de las losas de piso, sean compatibles entre sí. Se revisará que todos los elementos estructurales, incluso las losas, sean capaces de resistir los esfuerzos inducidos, por muros, fuerzas sísmicas, hundimientos diferenciales, o cualquier otro mecanismo.
- e) Para el diseño de todo elemento que contribuya en más de 35% a la capacidad total en fuerza cortante, momento torsionante o momento de volteo de un entrepiso dado, se adoptarán factores de resistencia del 20% inferior al que le correspondería de acuerdo con las especificaciones correspondientes.

Muros divisorios, de fachada y de colindancia:

- Muros que contribuyan a resistir fuerzas laterales: en marcos que contengan tableros de mampostería que formen parte integrante de la estructura, su rigidez se tomará en cuenta en el análisis sísmico siempre y cuando estén ligados y confinados adecuadamente por castillos y dalas, además de verificar su resistencia.
- Muros que no contribuyan a resistir fuerzas laterales: muros divisorios que deberán sujetarse a la estructura de manera que no restrinjan su deformación en el plano del muro.

Estructuras con sistemas no convencionales de resistencia sísmica

Cuando la estructura se aisle sísmicamente en su base, o se adopten dispositivos especiales capaces de disipar energía por amortiguamiento o comportamiento inelástico, se podrán emplear criterios de diseño sísmico que a satisfacción del INIFED, cumplan tanto con la eficacia de los dispositivos o soluciones estructurales, así como con la validez de los valores del amortiguamiento y del factor de comportamiento sísmico que se propongan.

Tipos de análisis

Para el análisis sísmico de estructuras de edificios, se puede recurrir a tres métodos: Método simplificado de análisis, Análisis estático y Análisis dinámico, dependiendo de sus características:

Método simplificado de análisis

Al igual que en las NTC-DS-2004, las NEEPCI-DS-2014, para aplicar el método simplificado de análisis se deben cumplir simultáneamente los siguientes requisitos:

- a) En cada planta, al menos el 75 por ciento de las cargas verticales estarán soportadas por muros ligados entre sí mediante losas monolíticas u otros sistemas de piso suficientemente resistentes y rígidos al corte, con una distribución sensiblemente simétrica (deberá cumplir que la excentricidad torsional 'es' calculada estáticamente, no

exceda del 10% de la dimensión en planta del edificio medida paralelamente a dicha excentricidad, b), con respecto a dos ejes ortogonales. La excentricidad torsional (es) podrá estimarse como el cociente del valor absoluto de la suma algebraica del momento de las áreas efectivas de los muros, con respecto al centro de cortante del entrepiso, entre el área total de los muros orientados en la dirección de análisis. El área efectiva es el producto del área bruta de la sección transversal del muro y del factor F_{AE} , que está dado por:

$$F_{AE} = 1; \text{ si } \frac{H}{L} \leq 1.33 \quad ; \quad F_{AE} = \left(1.33 \frac{L}{H}\right)^2 \quad ; \text{ si } \frac{H}{L} > 1.33$$

donde H es la altura del entrepiso y L la longitud del muro.

- b) La relación entre longitud y anchura de la planta del edificio no excederá de 2.0, a menos que, para fines de análisis sísmico, se pueda suponer dividida dicha planta en tramos independientes cuya relación entre longitud y anchura satisfaga esta restricción y cada tramo resista según el método.
- c) La relación entre la altura y la dimensión mínima de la base del edificio no excederá de 1.5, y la altura del edificio no será mayor de 13 m.

En este método se verificará únicamente que en cada piso la suma de las resistencias al corte de los muros de carga, proyectadas en la dirección en que se considera la aceleración, sea cuando menos igual a la fuerza cortante total que obre en dicho piso, empleando los coeficientes sísmicos reducidos que se indican en la Tabla 2.13 para construcciones del grupo A.

Análisis estático y dinámico

Los métodos dinámicos pueden utilizarse para el análisis de toda estructura, cualesquiera que sean sus características, mientras que el método estático puede utilizarse para analizar estructuras regulares, de altura no mayor de 30 m, y estructuras irregulares de no más de 20 m. Para edificios ubicados en zona con tipo de suelo I, los límites anteriores se amplían a 40 m y 30 m, respectivamente. Con las mismas limitaciones relativas al uso del análisis estático, para estructuras ubicadas en las zonas II o III también será admisible emplear los métodos de Análisis dinámico modal, Periodo y amortiguamiento efectivos y Rigideces y amortiguamiento de la cimentación, en los cuales se tienen en cuenta los periodos dominantes del terreno en el sitio de interés y la interacción suelo-estructura.

Espectros para el diseño sísmico

Las fórmulas para obtener la ordenada del espectro de aceleraciones para diseño sísmico, "a", son las mismas que se especifican en las NTC-DS-2004, pero en vez de usar la tabla que dicta la norma, los valores de a_0 , c, T_a , T_b y r se obtienen de la Tabla 2.14.

Tabla 2.13 Coeficientes sísmicos reducidos para el método simplificado, correspondiente a estructuras del grupo A.

Zona sísmica	Tipo de suelo	Muros de piezas macizas, altura de la construcción			Muros de piezas huecas, altura de la construcción		
		Menor de 4m	Entre 4 y 7 m.	Entre 7 y 13 m.	Menor de 4m	Entre 4 y 7 m.	Entre 7 y 13 m.
A	I	0.06	0.06	0.06	0.08	0.08	0.08
	II	0.09	0.11	0.12	0.11	0.14	0.17
	III	0.11	0.12	0.15	0.12	0.15	0.20
B	I	0.09	0.11	0.11	0.12	0.14	0.14
	II	0.20	0.23	0.27	0.23	0.27	0.33
	III	0.20	0.24	0.29	0.23	0.29	0.35
C	I	0.27	0.27	0.27	0.36	0.36	0.36
	II	0.48	0.48	0.48	0.65	0.65	0.65
	III	0.48	0.48	0.48	0.65	0.65	0.65
D	I	0.38	0.38	0.38	0.50	0.50	0.50
	II	0.65	0.65	0.65	0.86	0.86	0.86
	III	0.65	0.65	0.65	0.86	0.86	0.86

(*)La Ciudad de México se encuentra clasificada en la zona sísmica B.

Tabla 2.14 Valores de a_0 , c , T_a , T_b y r , para estructuras del grupo A* para distintas zonas sísmicas.

Zona* sísmica	Tipo de suelo	a_0	c	T_a^1	T_b^1	r
A	I	0.03	0.12	0.20	0.60	1/2
	II	0.06	0.24	0.30	1.50	2/3
	III	0.08	0.30	0.60	2.90	1
B**	I	0.06	0.21	0.20	0.60	1/2
	II	0.12	0.45	0.30	1.50	2/3
	III	0.15	0.54	0.60	2.90	1
C	I	0.54	0.54	0.00	0.60	1/2
	II	0.96	0.96	0.00	1.40	2/3
	III	0.96	0.96	0.00	1.90	1
D	I	0.75	0.75	0.00	0.60	1/2
	II	1.29	1.29	0.00	1.20	2/3
	III	1.29	1.29	0.00	1.70	1

(1) Periodos en segundos

(*) Los espectros de diseño especificados en la tabla, son aplicables a estructuras del Grupo A, ya toman en cuenta el destino de la construcción.

(**)La Ciudad de México se encuentra clasificada en la zona sísmica B.

Factor de reducción

Igual que en las NTC-DS-2004 para el cálculo de las fuerzas sísmicas para análisis estático y de las obtenidas del análisis dinámico modal con los métodos de análisis dinámico, se empleará un factor de reducción Q' .

Factor de comportamiento sísmico Q

Para las construcciones con estructuraciones clasificadas como del tipo 1 (edificios) se aplicarán los factores de comportamiento sísmico Q , que correspondan, según se cumplan con los requisitos señalados en la tabla 2.15; en todos los casos se empleará para toda la estructura y en la dirección que se analiza el valor mínimo de Q que corresponda a los diversos entrepisos de la estructura en dicha dirección. El factor de comportamiento sísmico Q puede diferir en las dos direcciones ortogonales en que se analiza la estructura, según las propiedades de cada dirección.

Tabla 2.15 Valores del factor de comportamiento sísmico según tipo de edificio y caso

Caso	Requisitos para construcciones con estructuración tipo 1 (Edificios)	Factor de comportamiento sísmico
1	La resistencia en todos los entrepisos es suministrada exclusivamente por marcos no contraventeados de concreto reforzado o de acero, o por marcos contraventeados o con muros de concreto reforzado en los que en cada entrepiso los marcos son capaces de resistir, sin contar muros ni contravientos, cuando menos 50% de la fuerza sísmica actuante.	$Q = 4.0$
	Si hay muros ligados adecuadamente en todo su perímetro a los marcos estructurales o a castillos y dadas ligados a los marcos, se tomarán en cuenta en el análisis de la estructura, pero su capacidad ante fuerzas laterales solo se tomará en cuenta si estos muros son de piezas macizas y los marcos sean o no contraventeados, y los muros de concreto reforzado son capaces de resistir el menos el 80% de las fuerzas laterales totales sin la contribución de los muros de mampostería.	
	El mínimo cociente de la capacidad resistente de un entrepiso entre la acción de diseño no difiere en más de 35% del promedio de dichos cocientes para todos los entrepisos. Para verificar el cumplimiento de dicho requisito, se calculará la capacidad resistente de cada entrepiso teniendo en cuenta todos los elementos que pueden contribuir a la resistencia, en particular los muros ligados a la estructura en la forma que se especifica en el requisito (b).	

	Los marcos y muros de concreto reforzado cumplen con los requisitos correspondientes a marcos dúctiles.	
	Los marcos rígidos de acero cumplen con los requisitos correspondientes a marcos dúctiles.	
2	Deben satisfacer las condiciones (b), (d), (e) pero en cualquier entrepiso dejan de satisfacerse las condiciones (a) o (c) especificadas para el caso 1, pero la resistencia en todos los entrepisos es suministrada por columnas de acero o de concreto reforzado con losas planas, por marcos rígidos de acero, por marcos de concreto reforzado, por muros de éste material, por combinaciones de éstos y marcos. Las estructuras con losas planas deberán además satisfacer los requisitos que sobre el particular marcan estas normas para estructuras de concreto.	Q = 3.0
3	La resistencia a fuerzas laterales es suministrada por losas planas con columnas de acero o de concreto reforzado, por marcos de acero con ductilidad baja o provistos de contraventeo con ductilidad normal, o de concreto reforzado, que no cumplan con los requisitos de marco dúctil, por muros de concreto reforzado, placas de acero y compuestos de acero y concreto, que no cumplen en algún entrepiso con lo especificado por los casos 1 y 2 de esta tabla, o por muros de mampostería de piezas macizas confinados por castillos, dalas, columnas o trabes de concreto reforzado o de acero, que satisfacen los requisitos de estas normas para estructuras de mampostería. Cuando la resistencia es suministrada por elementos de concreto prefabricado o presforzado.	Q = 2.0
4	La resistencia a fuerzas laterales es suministrada en todos los niveles por muros de mampostería de piezas huecas, confinados o con refuerzo interior que satisfacen los requisitos de estas normas para estructuras de mampostería, o por combinaciones de dichos muros con elementos como los descritos para los casos 2 y 3, o por marcos y armaduras de madera.	Q = 1.5
5	Estructuras de cualquier tipo cuya resistencia a fuerzas laterales sea suministrada al menos parcialmente por elementos o materiales diferentes de los arriba especificados, a menos que se haga un estudio que demuestre, que se puede emplear un valor más alto que el que aquí se especifica.	Q = 1.0

Para cualquier estructura perteneciente a una construcción escolar, proyectada o analizada con factores de comportamiento sísmico Q con valores superiores a 2.0, según se cumplan los requisitos establecidos para los casos 1 o 2 de la tabla 3.9; la Entidad Federal responsable de la

Infraestructura Física Educativa, verificará el riguroso cumplimiento de los requisitos y especificaciones.

Para las construcciones con estructuraciones clasificadas como del tipo 2 (péndulos invertidos, apéndices) y tipo 5 (tanques, depósitos y similares) tratándose de tanques elevados se aplicarán los factores de comportamiento sísmico Q de la tabla 3.9, dependiendo de la forma en que se estructura el sistema resistente. Para los depósitos apoyados directamente sobre el terreno se usará un valor de $Q = 1.5$ para el caso de recipientes de concreto reforzado, o bien de $Q = 2.0$ cuando se trate de recipientes de acero.

Para las construcciones con estructuraciones clasificadas como del tipo 3 (muros de retención) no se requiere el factor de comportamiento sísmico Q .

Condiciones de regularidad

Al igual que en las NTC-DS-2004 para que una estructura sea regular debe satisfacer los siguientes requisitos:

- a) Su planta es sensiblemente simétrica con respecto a dos ejes ortogonales por lo que toca a masas, así como a muros y otros elementos resistentes.
- b) La relación de su altura a la dimensión menor de su base no pasa de 2.5.
- c) La relación de largo a ancho de la base no excede de 2.5.
- d) En planta no tiene entrantes ni salientes cuya dimensión exceda de 20% de la dimensión de la planta medida paralelamente a la dirección que se considera del entrante o saliente.
- e) En cada nivel tiene un sistema de techo o piso rígido y resistente.
- f) No tiene aberturas en sus sistemas de techo o piso cuya dimensión exceda de 20% de la dimensión en planta medida paralelamente a la dimensión que se considere de la abertura, las áreas huecas no ocasionan asimetrías significativas ni difieren en posición de un piso a otro y el área total de aberturas no excede en ningún nivel de 20% del área de la planta.
- g) El peso de cada nivel incluyendo la carga viva que debe considerarse para el diseño sísmico, no es mayor del 110 % del piso inmediato inferior ni, excepción hecha del último nivel de la construcción, es menor que 70% de dicho peso.
- h) Ningún piso tiene una área, delimitada por los paños exteriores de sus elementos resistentes verticales, mayor que 110% de la del piso inmediato inferior ni menor que 70% de ésta. Se exime de este último requisito únicamente al último piso de la construcción. Además el área en ningún entrepiso excede en más de 50% a la menor de los pisos inferiores.
- i) Todas las columnas están restringidas en todos los pisos en dos direcciones ortogonales por diafragmas horizontales y por trabes o losas planas.

- j) Ni la resistencia ni la rigidez al corte de ningún entrepiso excede en más de 50% a la del entrepiso inmediatamente inferior. El último entrepiso queda excluido de este requisito.
- k) En ningún entrepiso la excentricidad torsional calculada estáticamente, es, excede del 10% de la dimensión en planta de ese entrepiso medida paralelamente a la excentricidad mencionada.

La estructura irregular no satisface uno o más requisitos de la estructura regular.

La estructura fuertemente irregular, cumple con:

- a) La excentricidad torsional calculada estáticamente, es, excede en algún entrepiso de 20% de la dimensión en planta de ese entrepiso, medida paralelamente a la excentricidad mencionada.
- b) La rigidez o la resistencia al corte de algún entrepiso exceden en más de 100% a la del piso inmediatamente inferior.
- c) La relación de largo a ancho de la base excede de 4.

Corrección por irregularidad.

Al igual que en las NTC-DS-2004 el factor de reducción Q' se multiplicará por 0.9, 0.8, 0.7, según sea el caso.

Análisis estático

Para la determinación de las fuerzas cortantes se utilizan las fórmulas establecidas en las NTC-DS-2004, fuerza lateral (F_i), y podrán adoptarse fuerzas cortantes reducidas siempre y cuando se tome en cuenta el valor aproximado del período fundamental de vibración de la estructura. Para la determinación de péndulos invertidos, efectos de torsión, efectos de segundo orden, efectos bidireccionales y comportamiento asimétrico, el INIFED se basa en las NTC-2004.

Momentos de volteo:

Para cada marco o grupo de elementos resistentes en un nivel dado podrá reducirse, tomándolo igual al calculado multiplicado por $0.8 + 0.2z$ (siendo z la relación entre la altura a la que se calcula el factor reductivo por momento de volteo y la altura total de la construcción), pero no menor que el producto de la fuerza cortante en el nivel en cuestión multiplicada por su distancia al centro de gravedad de la parte de la estructura que se encuentra por encima de dicho nivel. En péndulos invertidos no se permite reducción de momento de volteo.

Análisis dinámico

Para el análisis modal, análisis paso a paso, revisión por cortante basal, efectos bidireccionales, las NEEPCI-DS-2014 (INIFED, 2014) se basa en las NTC-2004.

Apéndice

Para el diseño sísmico de las estructuras ubicadas en las zonas II y III de la Ciudad de México será permisible tener en cuenta explícitamente los efectos de sitio y la interacción suelo–estructura. Donde la obtención de los Espectros para el diseño sísmico, Revisión de desplazamientos laterales y la Interacción suelo–estructura (Análisis estático, Análisis dinámico modal, Periodo y amortiguamiento efectivos y Rigideces y amortiguamiento de la cimentación), se calculan equivalente al de las NTC-DS-2004.

2.3 Clasificación de estructuras

Clasificación de las construcciones según su destino

En las NEEPCI-DCG-2014 (Disposiciones y Criterios Generales) el INIFED se hace una clasificación de estructuras. Según su uso, las construcciones se clasificarán en los siguientes grupos:

Grupo A: construcciones que requieren un alto grado de seguridad, cuya falla estructural podría causar la pérdida de un número elevado de vidas o pérdidas económicas o culturales de magnitud excepcionalmente altas, o que constituyan un peligro significativo por contener sustancias tóxicas, inflamables o explosivas; así como construcciones cuyo funcionamiento es esencial a raíz de un sismo, o emergencia provocada por un desastre, tal como hospitales, escuelas, terminales de transporte, estaciones de bomberos, centrales eléctricas, centrales de telecomunicaciones, estadios, depósitos de sustancias inflamables ó tóxicas, museos y edificios que alojen archivos y registros públicos de particular importancia.

Grupo B: construcciones que requieren un grado de seguridad intermedio, cuya falla estructural ocasionaría pérdidas de magnitud intermedia o que pondrían en peligro otras construcciones de este grupo o del grupo A, tales como edificaciones destinadas a viviendas, oficinas y locales comerciales, hoteles y construcciones comerciales e industriales no clasificadas dentro del grupo A, las que se subdividen en:

Subgrupo B1: construcciones de más de 30 m de altura o con más de 6000 m² de área total construida, ubicada en suelos tipo I y II y construcciones de más de 15 m de altura ó 3000 m² de área total construida, en suelos tipo III. Además templos, salas de espectáculos y edificios que tengan salas de reunión que puedan alojar a más de 200 personas.

Subgrupo B2: Las demás construcciones de este grupo.

Grupo C: construcciones en que es admisible un grado de seguridad bajo, cuya falla estructural ocasionaría pérdidas de magnitud sumamente pequeña y no causaría normalmente daños a construcciones de los grupos A y B, ni pérdida de vidas.

Estructuras tipo

El INIFED cuenta con un Catálogo de estructuras tipo, conformado por diseños de estructuras de acuerdo a la tipología: acero, mampostería o concreto; en distintas versiones de acuerdo a la zona (urbana o regional), zona sísmica (A, B, C y D) y al año de expedición.

- **Tipología de acero:** Construcciones de acero, de 1966, 1968, 1970, 1971, 1980, 1984, 1986, en sus distintas versiones, tanto para zona regional, zona urbana y en zonas sísmicas A, B, C y D, que se describen a más detalle en el Catálogo de estructuras tipo.
- **Tipología de mampostería:** Construcciones de mampostería de 1986 en sus diferentes versiones, para zona regional en zonas sísmicas A, B, C y D.
- **Tipología de concreto:** Construcciones de concreto, para zona urbana, en sus diferentes versiones, tabla 2.16.

Tabla 2.16 Estructuras de tipología de concreto del INIFED

Tipo	Descripción	Año de diseño
U1C (70)	Urbana, 1 piso, concreto	1970
U1C (85)	Urbana, 1 piso, concreto	1985
U1C (90)	Urbana, 1 piso, concreto	1990
U2C (70)	Urbana, 2 pisos, concreto	1970
U2C (85)	Urbana, 2 pisos, concreto	1985
U2C (90)	Urbana, 2 pisos, concreto	1990
U3C (70 C y D)	Urbana, 3 pisos, concreto, zonas sísmicas C y D	1970
U3C (70)	Urbana, 3 pisos, concreto, zonas sísmicas B, C y D	1970
U3C (85)	Urbana, 3 pisos, concreto v-2, zonas sísmicas B, C y D	1985
U3C (90)	Urbana, 3 pisos, concreto, zonas sísmicas B, C y D	1990

Clasificación de daños

El INIFED clasifica los daños en tres niveles, ligeros, moderados/severos y graves. La clasificación se hizo consistente con la establecida en las Normas Técnicas Complementarias para la Rehabilitación Sísmica de Edificios de Concreto Dañados por el Sismo del 19 de Septiembre de 2017 (NTC-Rehabilitación, 2017), con los criterios de verificación física de la infraestructura educativa, señalados en la norma NMX-R-021-SCFI-2013 "Calidad de la Infraestructura Física Educativa-Requisitos" y con lo señalado en la norma NMX-R-084-SCFI-2015 "Levantamiento de Datos para el Diagnóstico de la Infraestructura Física Educativa – Directrices y requisitos", para la recopilación de los datos en campo y el desarrollo de los informes.

Daños ligeros

Son daños ligeros cuando afectan escasamente la capacidad estructural. Se requieren medidas de reparación para la mayor parte de los elementos y de modos de comportamiento. Grietas de hasta 0.2 mm de grosor en elementos de concreto reforzado se pueden considerar como daños ligeros. Los muros de mampostería de carga sin refuerzo interior vertical ni horizontal se

considerarán con daño ligero si las grietas tienen hasta 1 mm de grosor. Se considerará que los muros no estructurales de mampostería tienen daños ligeros si las grietas tienen hasta 5 mm de grosor.

En la fig.3.7 se presenta un ejemplo de desprendimiento de aplanados y grietas menores de 5 mm en muros divisorios, clasificado como daño ligero.



Figura 3.7 Daño ligero. (CICM-SMIE, 2018)

Daños moderados (intermedios)

El daño es intermedio cuando afecta medianamente la capacidad estructural. La rehabilitación de los elementos dañados requerirá su reparación y reforzamiento y dependerá del tipo de elemento y modo de comportamiento. Se considera como daño intermedio a las grietas en el concreto superiores a 0.2 mm y hasta de 1 mm de grosor y en la mampostería sin refuerzo interior ni horizontal en muros de cargas superiores a 1 mm y hasta de 5 mm. Se considerará que los muros no estructurales de mampostería tienen daño intermedio si el grosor de las grietas es mayor que 5 mm y hasta 10 mm. En la fig. 3.8 se presentan un ejemplo de daño intermedio.



Figura 3.8 Daños intermedio. (CICM-SMIE, 2018)

Daños graves

El daño es grave, cuando afecta significativamente la capacidad estructural. La rehabilitación implica una intervención amplia, con reemplazo o reforzamiento de algunos elementos. Ejemplos

de daños graves son barras de refuerzo expuestas o pandeadas, concreto con aplastamiento significativo o con grietas mayores de 1mm de grosor, o muros de carga de mampostería sin refuerzo interior vertical ni horizontal, con grietas mayores de 5 mm de grosor o con piezas aplastadas o desprendidas; o muros no estructurales, con grietas mayores de 10 mm o con piezas aplastadas y desprendidas. Se considerará daño grave la presencia de grietas que indiquen la formación de conos o pirámides truncados derivados de fallas en cortante por penetración entre columnas y losas planas. Este nivel de daño requerirá la demolición total y un proyecto de una edificación nueva. Deberá sustentarse la demolición por medio de un dictamen de un Corresponsable en Seguridad Estructural. En la fig. 3.8 se presentan un ejemplo de daño grave.



Figura 3.9 Daño grave. (CICM-SMIE, 2018)

2.4 Corresponsables de seguridad estructural y Directores responsables de obra

A raíz del sismo del 19 de septiembre de 1985 se realizaron cambios en el Reglamento de Construcción del Distrito Federal y las Normas Técnicas Complementarias; en el capítulo Estructural reforzaron mucho más las condiciones de construcción: más refuerzo, nuevas fórmulas para que los edificios tuvieran mayor seguridad estructural, escaleras de emergencia, etcétera. Varias estructuras escolares no cumplían con la nueva normativa vigente y tuvieron que ser rehabilitadas y se creó la figura del Corresponsable en Seguridad a Estructural para revisar el cumplimiento de las nuevas condicionantes y la revisión cíclica del buen estado de las edificaciones.

Peritaje estructural

EL Director Responsable de Obra (DRO) y el Corresponsable en Seguridad Estructural (CSE) son los peritos autorizados por el gobierno de la Ciudad de México, encargados de hacer el seguimiento de todo el proceso de construcción de una obra, desde el proyecto, la planeación y la construcción, hasta responsabilizarse, junto con el propietario, del adecuado destino y mantenimiento que se dé a la estructura.

Ambos profesionales, deben someterse a una certificación de sus capacidades y a refrendar su validación cada tres años, además de ser sometidos a una vigilancia constante en el cumplimiento de su deber.

El DRO, el CSE y los Especialistas Auxiliares (EA), están presentes desde el ante proyecto, y durante la construcción de la obra, para garantizar que se realice de acuerdo a las normas establecidas de diseño y construcción, garantizando así la seguridad estructural.

En la fig. 3.10 se observa un esquema de la relación que se establece entre el propietario del inmueble, contratista, DRO, CSE, EA, proyectista y otros responsables de la construcción de una obra.

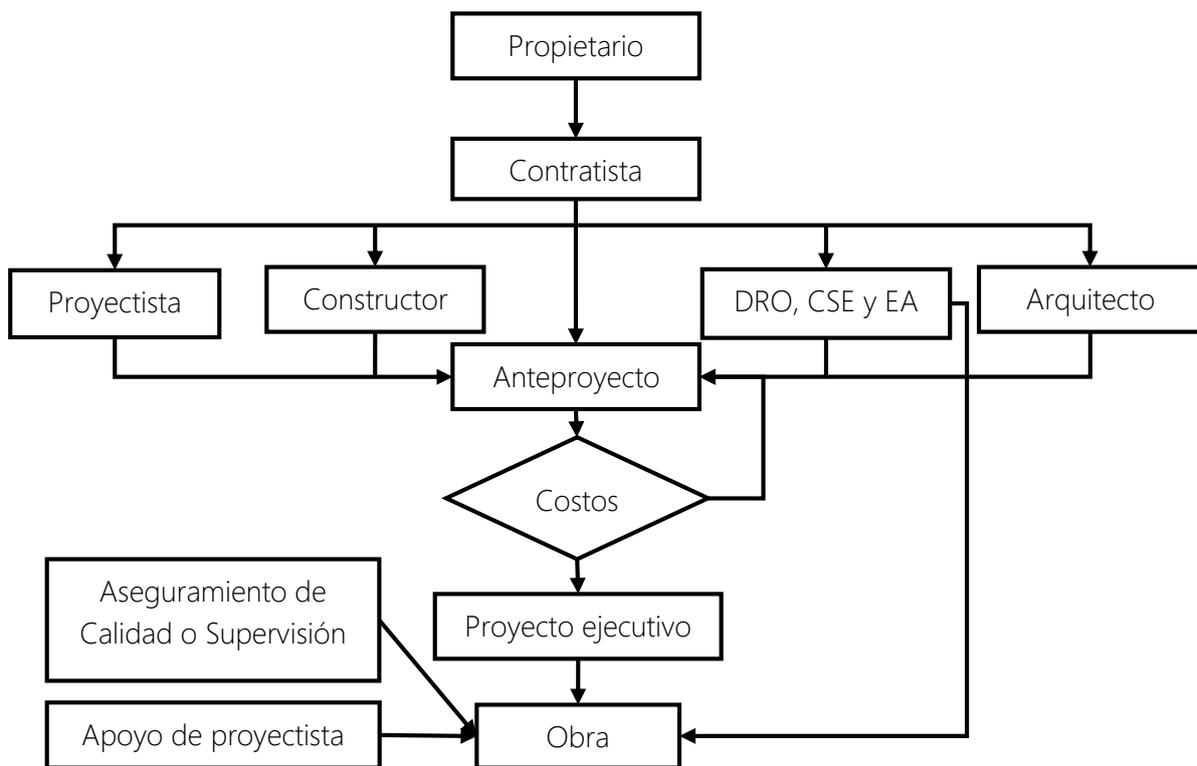


Figura 3.10 Interacción entre responsables de la construcción

En las NTC-RSEE-2017 se clasifican los CSE, de acuerdo a lo siguiente:

- Nivel 1: son aquellos corresponsables con al menos 5 años de experiencia acreditada en diseño estructural y que aprueben el examen para Nivel 1. Podrán realizar dictámenes, incluyendo a los Dictámenes técnicos de estabilidad y de seguridad estructural y a las Constancias de seguridad estructural, señalados en los Arts. 34, 38 y 71 del RCDF-2017.
- Nivel 2: son los corresponsables con al menos 15 años de experiencia acreditada en diseño estructural y que aprueben los exámenes para Nivel 2. Realizan y coordinan las revisiones de proyectos especificados para su nivel.

Los DRO, CSE y EA deben mantenerse en evaluación, capacitación y actualización profesional.

CAPÍTULO 3

INSPECCIÓN DE DAÑOS EN ESCUELAS DE LA CIUDAD DE MÉXICO



Inspección estructural ocular detallada de algunos planteles educativos

INFORMACIÓN GENERAL		DATOS DEL PROYECTO	
Nombre del Proyecto	SECTOR EDUCATIVO	Nombre del Proyecto	SECTOR EDUCATIVO
Fecha de Inspección	27/06/2021	Comentarios generales	SECTOR EDUCATIVO
Código del Proyecto	SECTOR EDUCATIVO	Código del Proyecto	SECTOR EDUCATIVO
Nombre del Inspectores	SECTOR EDUCATIVO	Nombre del Inspectores	SECTOR EDUCATIVO
Nombre del Cliente	SECTOR EDUCATIVO	Nombre del Cliente	SECTOR EDUCATIVO

SISTEMA ESTRUCTURAL		SISTEMA DE ACABADOS	
Estado de la estructura	SECTOR EDUCATIVO	Estado de la estructura	SECTOR EDUCATIVO
Estado de la estructura	SECTOR EDUCATIVO	Estado de la estructura	SECTOR EDUCATIVO
Estado de la estructura	SECTOR EDUCATIVO	Estado de la estructura	SECTOR EDUCATIVO
Estado de la estructura	SECTOR EDUCATIVO	Estado de la estructura	SECTOR EDUCATIVO

Levantamiento de daños en cédulas de inspección



Clasificación y evaluación de daños reportados en cédulas de inspección

3. INSPECCIÓN DE DAÑOS EN ESCUELAS DE LA CIUDAD DE MÉXICO

Los daños ocasionados por los sismos de septiembre de 2017, obligaron al INIFED a realizar una exhaustiva campaña de revisión estructural de los planteles de educación básica (prescolar, primaria y secundaria), con apoyo de diversas instituciones educativas prestigiosas y colegios de ingenieros, en todos los estados afectados.

En la Ciudad de México, el INIFED en colaboración con la Facultad de Arquitectura y la DICyG de la Facultad de Ingeniería de la UNAM, establecieron un convenio de colaboración, en el que se integró un grupo de especialistas para la revisión de 376 planteles, cuyas actividades estaban suspendidas como consecuencia del sismo del 19S17. Para ello se formaron brigadas de inspección, que identificaron la seguridad y funcionalidad de las escuelas, proponiendo las recomendaciones o reparaciones pertinentes para garantizar la seguridad de los alumnos y de los usuarios, según se detalla a continuación.

3.1 Inspección estructural ocular detallada de algunos planteles educativos

La inspección estructural ocular, consiste en una revisión detallada del interior y exterior del sistema estructural y, de ser posible, de la cimentación, con el objeto de evaluar las condiciones estructurales de los elementos y la estructura, de esta forma se puede conocer el grado de riesgo en el que se encuentra la estructura.

Esta actividad la debe llevar a cabo un ingeniero civil, especialistas en ingeniería estructural, ingeniería geotécnica o personal calificado y acreditado.

Durante la inspección se deben recopilar una memoria fotográfica, información sobre antecedentes del entorno de la propia edificación, datos técnicos y sus características generales, con el propósito de respaldar los juicios emitidos a los puntos analizados, todo lo anterior debe redactarse en una cédula de inspección para facilitar el manejo de la información.

Como producto de la inspección, se emitirá y suscribirá una cédula apoyada con un reporte fotográfico. En esta cédula se manifestará el hallazgo o no de daños en elementos estructurales y no estructurales o de deficiencias encontradas en las estructuras y/o sus materiales, para calificar la condición del plantel.

Por otro lado, cuando el caso lo requiera, se podrá elaborar un Dictamen de Seguridad Estructural, que cumplirá mínimamente con los siguientes requisitos:

- Datos generales del inmueble educativo.
- Fundamento del Director Responsable de Obra para su elaboración.
- Edad de las construcciones que se analizan.
- Zona sísmica en la que se ubica el inmueble y tipo de suelo.

- Revisión estructural que incluye el suelo, la cimentación y la estructura, tomando en cuenta su emplazamiento y entorno.
- Análisis conceptual y numérico de la estructura, con base en su estado físico, para fundamentar el diagnóstico estructural.
- En su caso, estudios especializados que respalden el dictamen.
- Conclusiones y en su caso recomendaciones, dictaminando la seguridad estructural de las construcciones del inmueble educativo.

El dictamen tendrá una vigencia de 5 años como máximo, o menor cuando la infraestructura haya estado expuesta a un sismo intenso.

3.1.1 Levantamiento de daños en cédula de inspección

Formato de la cédula de inspección

El formato de la cédula de inspección utilizado se derivó del propuesto por el CENAPRED, considerando los requisitos del INIFED. El formato resultante cuenta con 5 apartados, como se muestra en la fig. 3.2a y 3.2b, a continuación se muestran las secciones del formato utilizado en las inspecciones realizadas.

Lo primero que aparece en el formato de captura de datos para la calificación de daños del inmueble, es el nombre del responsable de la brigada de inspección y la Clave del Centro de Trabajo (CCT).

		Cédula para la calificación de la magnitud de daños post-sísmicos de la infraestructura física educativa derivados del sismo ocurrido el 19 de septiembre de 2017.		
RESPONSABLE DE LA BRIGADA:		CCT:		

Figura 3.1 Información del responsable de brigada y plantel inspeccionado. (INIFED-UNAM, 2017)

REVISIÓN Y EVALUACIÓN DE DAÑOS EN PLANTELES EDUCATIVOS DE LA CIUDAD DE MÉXICO PRODUCTO DEL SISMO DEL 19 DE SEPTIEMBRE DE 2017

INIFED		Cédula para la calificación de la magnitud de daños post-sísmicos de la infraestructura física educativa derivados del sismo ocurrido el 19 de septiembre de 2017.		UNAM	
RESPONSABLE DE LA BRIGADA:			CCT:		
DATOS GENERALES		Coordenadas geográficas:			
Nombre del plantel:		Cuerpo:			
Calle y núm.:		Colonia:		Código postal:	
Ciudad:		Delegación/Municipio:		Estado:	
Referencias (entre calles):					
Contacto: nombre, cargo:			Teléfono:		Email:
nivel educativo básico: <input type="checkbox"/> Preescolar <input type="checkbox"/> Primaria <input type="checkbox"/> Secundaria <input type="checkbox"/> CAM (Educación Especial)	Información Aproximada Área del terreno: _____ Área total construida: _____ Año de construcción: _____ Edad estimada: _____ Dimensiones: Frente X = _____ m Fondo Y = _____ m		Altura: Número total de niveles: n= _____ Número de sótanos= _____ Ocupantes: Numero de usuarios = _____		Zonificación Geotécnica: <input type="checkbox"/> I. Lomerío <input type="checkbox"/> II. Transición <input type="checkbox"/> III. Lacustre
					Topografía <input type="checkbox"/> Planicie <input type="checkbox"/> Ladera <input type="checkbox"/> Rivera de rio/lago <input type="checkbox"/> Fondo de valle <input type="checkbox"/> Depósitos lacustres <input type="checkbox"/> Otro _____
SISTEMA ESTRUCTURAL <i>La dirección X es paralela a la fachada, indicar X, Y en el croquis</i>					
Sistemas porticados			Muros de carga		
Dirección x: <input type="checkbox"/> Marcos de acero <input type="checkbox"/> Marcos de concreto <input type="checkbox"/> Columnas y losa plana (sin trabe) <input type="checkbox"/> Uso de contravientos			Dirección y: <input type="checkbox"/> Marcos de acero <input type="checkbox"/> Marcos de concreto <input type="checkbox"/> Columnas y losa plana (sin trabe) <input type="checkbox"/> Uso de contravientos		
<input type="checkbox"/> Marcos y muros diafrag. <input type="checkbox"/> Muros de concreto <input type="checkbox"/> Otros _____			<input type="checkbox"/> Marcos y muros diafragma <input type="checkbox"/> Muros de concreto <input type="checkbox"/> Otros _____		
			Mampostería <input type="checkbox"/> Confinada <input type="checkbox"/> Refuerzo int. <input type="checkbox"/> Simple		
			Material <input type="checkbox"/> De concreto <input type="checkbox"/> Tabique de barro <input type="checkbox"/> Block de cemento <input type="checkbox"/> Otro _____		
Sistemas de cimentación y diafrámas					
Cimentación		Sistema de piso		Sistema de entripiso	
<input type="checkbox"/> Zapatas aisladas <input type="checkbox"/> Zapatas corridas <input type="checkbox"/> Cimiento piedra <input type="checkbox"/> Losa cimentación		<input type="checkbox"/> Cajón <input type="checkbox"/> Pilotes/pilas <input type="checkbox"/> No se sabe		<input type="checkbox"/> Firme de concreto aparente <input type="checkbox"/> Firme de asfalto <input type="checkbox"/> Firme de concreto con recub. <input type="checkbox"/> Otro: _____	
		<input type="checkbox"/> Losa maciza <input type="checkbox"/> Losa reticular <input type="checkbox"/> Losa aligerada con block <input type="checkbox"/> Vigüeta y bovedilla		<input type="checkbox"/> Losa-acero <input type="checkbox"/> Otro: _____	
				Techos / Cubiertas <input type="checkbox"/> Igual al entripiso <input type="checkbox"/> Multipanel <input type="checkbox"/> Lámina <input type="checkbox"/> Otro: _____	
Vulnerabilidad					
Posición del edificio en la manzana: <input type="checkbox"/> Esquina <input type="checkbox"/> Medio <input type="checkbox"/> Aislado		Planta: <input type="checkbox"/> Geometría regular <input type="checkbox"/> Asimetría, muros, cubos, cargas <input type="checkbox"/> Grandes aberturas entrante/saliente <input type="checkbox"/> Geometría irregular en planta "L" "T" "H"		Irregular en elevación: <input type="checkbox"/> Planta baja débil <input type="checkbox"/> Planta flexible <input type="checkbox"/> Dobles alturas <input type="checkbox"/> Columna corta	
				<input type="checkbox"/> Grandes masas en pisos superiores <input type="checkbox"/> Reducción brusca en pisos superiores Separación edificio vecino: _____ cm	
EVALUACIÓN DE DAÑOS		DAÑOS ESTRUCTURALES			
Comportamiento Geotécnico		Afectaciones al Entorno: <input type="checkbox"/> Grietas en el suelo <input type="checkbox"/> Socavones <input type="checkbox"/> Redes fracturadas <input type="checkbox"/> Daños en edif. Colindantes <input type="checkbox"/> Daño en bardas perimetrales		Afectaciones al Inmueble: <input type="checkbox"/> Grietas en firmes P.B. <input type="checkbox"/> Inclinación _____ % <input type="checkbox"/> Desplomes _____ % <input type="checkbox"/> Hundimientos _____ %	
		Muros: <input type="checkbox"/> Carga _____ cm <input type="checkbox"/> Diafragma _____ cm <input type="checkbox"/> Losas <input type="checkbox"/> Escalera <input type="checkbox"/> Bardas		Entripiso crítico (más débil y/o dañado): Total columnas (muros) en el entripiso = _____ No. de columnas (muros) daño severo = _____ (colapso, aplastamiento, pandeo, grietas > 2 mm) Porcentaje de daño estimado en el entripiso = _____ %	
		Fisuras Grieta diagonal Grieta vertical Grieta horizontal Cuarteadura Fractura Pandeo Aplastamiento Desplome Colapso		Nivel de Daño Estimado de la Estructura: Área: _____ m2 <input type="checkbox"/> Daño insignificante <input type="checkbox"/> Daño ligero <input type="checkbox"/> Daño moderado <input type="checkbox"/> Daño severo <input type="checkbox"/> Daño muy grave	
		Sección o espesor de muro (cm)			
Otros daños: <input type="checkbox"/> Vidrios <input type="checkbox"/> Acabados <input type="checkbox"/> Plafones <input type="checkbox"/> Fachadas <input type="checkbox"/> Bardas/prelites <input type="checkbox"/> Cubos <input type="checkbox"/> Mobiliario no fijo <input type="checkbox"/> Instalaciones					
CROQUIS DEL INMUEBLE: Existen planos y documentos: <input type="checkbox"/> Arquitectónicos <input type="checkbox"/> Estructurales <input type="checkbox"/> Mem calc. <input type="checkbox"/> Otros					
(Marcar el norte) 					
NOTA IMPORTANTE: <u>Este documento "NO" constituye un aval para el reingreso, uso de los espacios e instalaciones educativas, y "NO" representa un dictamen, ni autorización alguna para el regreso a clases.</u>					

Figura 3.2a Formato de captura de datos para calificación de daños de escuelas (hoja 1). (INIFED-UNAM, 2017)

Información General

Esta sección, fig. 3.3, contiene datos generales del plantel y de la persona contactada que suministró información y con la cual puede llegarse a hacer contacto posteriormente.

- Nombre del plantel: denominación oficial del edificio o grupo de edificios en cuyo predio se ubica la edificación a evaluar.
- Cuerpo (edificio o área): nombre o siglas en particular que identifica a la estructura específica a evaluar. Se deberá emplear un formato de inspección para cada una de las edificaciones que conformen un inmueble. Por ejemplo, cuerpo A, B, C, etc., también puede contar con varias edificaciones dentro de un mismo conjunto (Oficinas generales, Anexo, Bodegas, Gimnasio, etc.).
- Dirección: nombre completo de la calle, número, colonia, código postal, ciudad, delegación/municipio, así como referencias para su respectiva ubicación y estado donde se ubica el plantel.
- Datos de la persona contactada: Nombre del contacto, cargo o puesto que ocupa en el plantel, teléfono y email.

INFORMACIÓN GENERAL		Fecha:	Coordenadas:		
Nombre del plantel:		Cuerpo:			
Calle y núm.:		Colonia:	Código postal:		
Ciudad:		Delegación/Municipio:	Estado:		
Referencias:					
Contacto: nombre, cargo:		Teléfono:		Email:	
nivel educativo básico	<input type="checkbox"/> preescolar	Área total construida: _____	Número total de niveles: n= _____	Zonificación Geotécnica	<input type="checkbox"/> Planicie
	<input type="checkbox"/> primaria	Año de construcción: _____	Número de sótanos= _____		
<input type="checkbox"/> secundaria	Área del terreno: _____	Numero de alumnos= _____	Número ocupantes= _____	<input type="checkbox"/> II. Transición	<input type="checkbox"/> Ribera de río/lago
<input type="checkbox"/> CAM	Edad estimada del inmueble: _____	Dimensiones:		<input type="checkbox"/> III. Lacustre	<input type="checkbox"/> Fondos de valle
<input type="checkbox"/> otro		Frente X = _____ m	Fondo Y = _____ m		<input type="checkbox"/> Depósitos lacustres
					<input type="checkbox"/> Otro

Figura 3.3 Información general del plantel. (INIFED-UNAM, 2017)

Nivel educativo básico: se elegirá la opción correspondiente a la que pertenece el plantel (preescolar, primaria, secundaria, CAM u otro).

Construcción: datos generales del plantel como área total construida, año de construcción, área del terreno y edad estimada del inmueble, número de niveles, sótanos, alumnos y ocupantes y dimensiones generales (X,Y) del edificio, como se observa en la fig.3.4

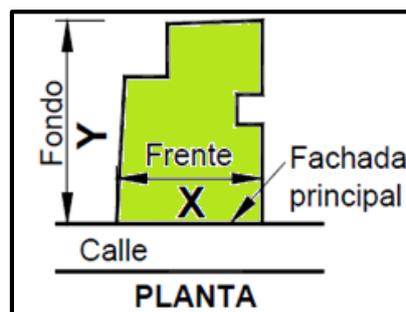


Figura 3.4 Sistema de referencia del plantel. (SNPC-CENAPRED, 2011)

Zonificación geotécnica: se seleccionará la opción de acuerdo a la zonificación que marca el reglamento de construcción de la CDMX (lomerío, transición y lacustre).

Topografía: se deberá marcar el cuadro correspondiente a la morfología del terreno como se observa en la fig. 3.5. y se describe a continuación:

- Planicie: gran área de terreno plana, sin variaciones de pendiente considerables en su extensión.
- Ladera de cerro: Declive lateral de un cerro, monte o montaña, cuya pendiente deberá anotarse en porcentaje en el campo correspondiente.
- Rivera río / lago: orilla de algún río o lago que puede ser susceptible de ser inundada o socavada por la acción del propio cuerpo de agua al que se halla cercana. En este caso se debe incluir en el registro la distancia existente entre la construcción y el río o lago, en metros.
- Fondo de valle: espacio entre dos elevaciones poco distantes entre sí, fondo de alguna cañada o cañón.
- Depósitos lacustres: terreno llano formado por la desecación ya sea natural o el relleno de material sólido transportado y depositado por ríos a cuerpos de agua interiores; lechos secos de antiguos ríos y lagos.

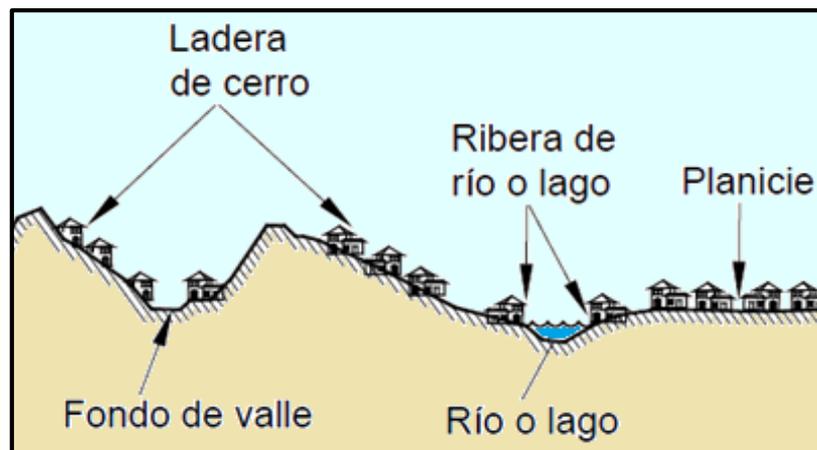


Figura 3.5 Topografía. (SNPC-CENAPRED, 2011)

Sistema estructural

Esta sección, fig. 3.6, contiene datos de cómo está conformado el sistema estructural del plantel, desde su cimentación, muros, entrepisos, así como la vulnerabilidad estructural o susceptibilidad de daño que pudiera presentar la estructura ante la incidencia de un sismo.

SISTEMA ESTRUCTURAL				La dirección X es paralela a la fachada, indicar X, Y en el croquis							
Dirección X <input type="checkbox"/> Marcos de acero <input type="checkbox"/> Marcos de concreto <input type="checkbox"/> Columnas y losa plana (sin vigas) <input type="checkbox"/> Uso de contravientos		<input type="checkbox"/> Muros de concreto <input type="checkbox"/> Muros de carga (mampostería) <input type="checkbox"/> Marcos y muros diafragma <input type="checkbox"/> Otros		Dirección Y <input type="checkbox"/> Marcos de acero <input type="checkbox"/> Marcos de concreto <input type="checkbox"/> Columnas y losa plana (sin vigas) <input type="checkbox"/> Uso de contravientos		<input type="checkbox"/> Muros de concreto <input type="checkbox"/> Muros de carga (mampostería) <input type="checkbox"/> Marcos y muros diafragma <input type="checkbox"/> Otros		Sistema de techo <input type="checkbox"/> Igual al entrepiso <input type="checkbox"/> Lámina <input type="checkbox"/> Teja <input type="checkbox"/> Otro: _____			
Muros de mampostería <input type="checkbox"/> confinada <input type="checkbox"/> Refuerzo interior <input type="checkbox"/> Simple		<input type="checkbox"/> Bloque concreto <input type="checkbox"/> Tabique arcilla <input type="checkbox"/> Tabique hueco arcilla <input type="checkbox"/> Tabicón de concreto <input type="checkbox"/> Vitroblock		Sistema de piso <input type="checkbox"/> Firme de concreto aparen. <input type="checkbox"/> Firme de asfalto <input type="checkbox"/> Firme de concreto recub. <input type="checkbox"/> Otro: _____		Sistema de entepiso <input type="checkbox"/> losa maciza <input type="checkbox"/> losa reticular <input type="checkbox"/> Vigüeta y bovedilla <input type="checkbox"/> Otro: _____		Cimentación <input type="checkbox"/> Zapatas aisladas <input type="checkbox"/> Zapatas corridas <input type="checkbox"/> Cimiento piedra <input type="checkbox"/> Losa cimentación <input type="checkbox"/> Cajón <input type="checkbox"/> Pilotes/pilas <input type="checkbox"/> No se sabe			
VULNERABILIDAD Planta <input type="checkbox"/> Geometría regular <input type="checkbox"/> Asimetría, muros, cubos, cargas <input type="checkbox"/> Grandes aberturas, entrante/saliente <input type="checkbox"/> Geometría irregular en planta "L", "T", "H"				Irregular en elevación <input type="checkbox"/> Planta flexible <input type="checkbox"/> Planta baja de doble altura <input type="checkbox"/> Columna corta <input type="checkbox"/> Planta baja flexible				Posición del edificio en la manzana: <input type="checkbox"/> Esquina <input type="checkbox"/> Medio <input type="checkbox"/> Aislado <input type="checkbox"/> Grandes masas en pisos superiores <input type="checkbox"/> Reducción brusca en pisos superiores Separación edificio vecino: _____ cm			

Figura 3.6 Sistema estructural del plantel. (INIFED-UNAM, 2017)

Se seleccionará el tipo de sistema estructural predominante, en la dirección X y Y.

Muros de mampostería: según sea el caso se deberá marcar el cuadro correspondiente al tipo de esta: Confinada, Refuerzo interior o mampostería Simple. También se debe seleccionar el material con el que está hecho la mampostería (bloques de concreto, tabiques de arcilla, tabique hueco de arcilla, tabicón de concreto o vitroblock).

Sistema de piso: según sea el caso, se deberá marcar el cuadro correspondiente al sistema de piso predominante en el cuerpo, puede seleccionarse firme de concreto aparente, firme de asfalto, firme de concreto recubierto u otro que se debe especificar.

Sistema de entepiso: Se refiere propiamente a la combinación de elementos estructurales horizontales, losas y vigas, que contribuyen a la transmisión de las cargas a las columnas, estas pueden ser:

- Losa maciza
- Losa reticular
- Vigüeta y bovedilla
- Otro: Se debe especificar.

Sistema de techo: se podrá seleccionar la opción de igual al entre piso, lamina, teja u otro que debe especificarse, según sea el caso.

Cimentación: se seleccionará el sistema de cimentación sobre la cual se desplanta el edificio, ya sea superficial (fig. 3.7) o profunda, como es el caso de las pilas y pilotes (fig. 3.8), en el caso de una cimentación no contemplada se seccionará Otro y se indicará en el espacio en que consiste la cimentación.

- Zapatas aisladas: es una losa de concreto sobre la que se apoya una sola columna, consisten en una ampliación de la base de la columna para distribuir de manera adecuada los esfuerzos que se transmiten al suelo.
- Zapatas corridas: losa de concreto alargada empleada como apoyo para varias columnas a la vez o para el apoyo de muros.

- Cimientos de piedra: cimentación formada a base de mampostería irregular, generalmente piedra; se emplea comúnmente en vivienda. Este tipo de cimentación puede presentar la configuración de zapata corrida, pero se deberá clasificar como cimientos de piedra.
- Losa de cimentación: es una placa extensa de concreto reforzado que se apoya directamente sobre el terreno, y permite repartir el peso y las cargas del edificio sobre toda su superficie de construcción.
- Cajón: cimentación constituida por cajones de concreto sobre los que se apoya la estructura.

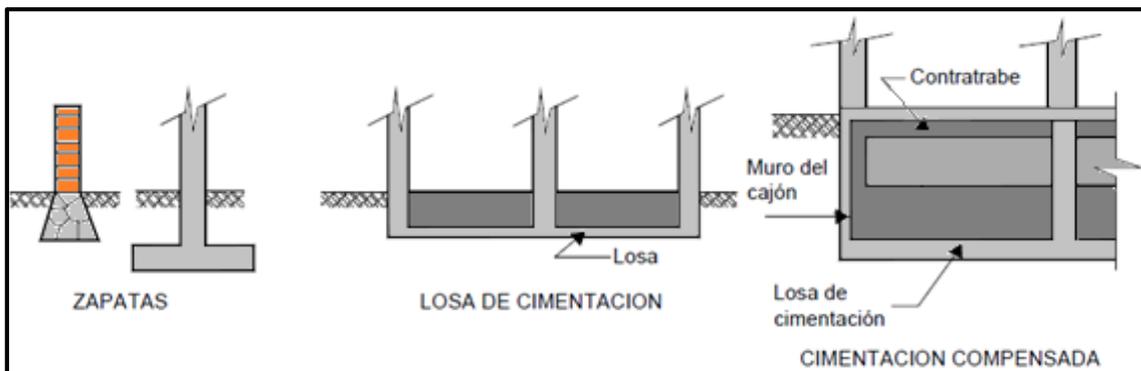


Figura 3.7 Tipos de cimentaciones superficiales. (SNPC-CENAPRED, 2011)

- Pilotes/pilas: los pilotes son elementos esbeltos y alargados que trabajan esencialmente bajo carga axial transmitiendo el peso de la estructura a las capas inferiores del subsuelo; generalmente de concreto y prefabricados.
- La diferencia con las pilas radica en su tamaño, así se puede considerar como pilote al elemento con sección de 60 cm o menor, mientras que pilas tienen una sección transversal de dimensiones mayores a un metro.

Vulnerabilidad: la configuración general de la estructura es un aspecto que influye en la vulnerabilidad de la estructura ya que si presenta irregularidades tanto en planta como en elevación, es más propensa a sufrir daños.

Planta. Seleccionar, según sea el caso:

- Geometría regular
- Asimetría, muros, cubos, cargas, fig. 3.9
- Grandes aberturas, entrante saliente, fig. 3.10
- Geometría irregular en planta "L", "T" o "H", fig. 3.11

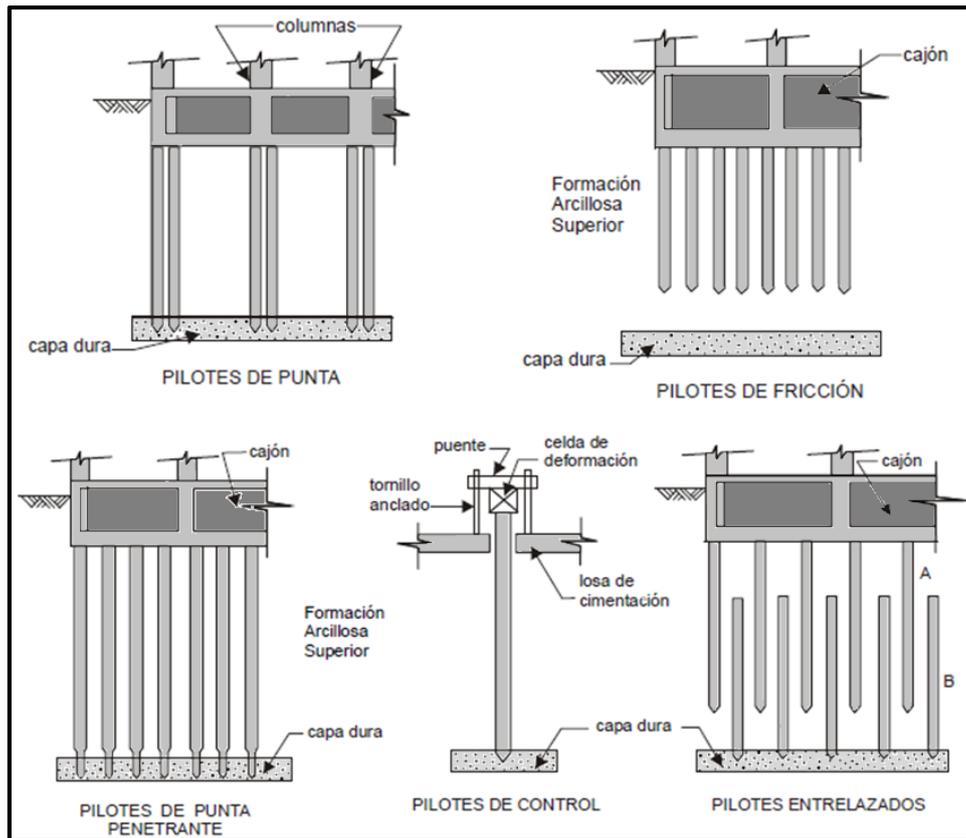


Figura 3.8 Tipos de cimentaciones profundas. (SNPC-CENAPRED, 2011)

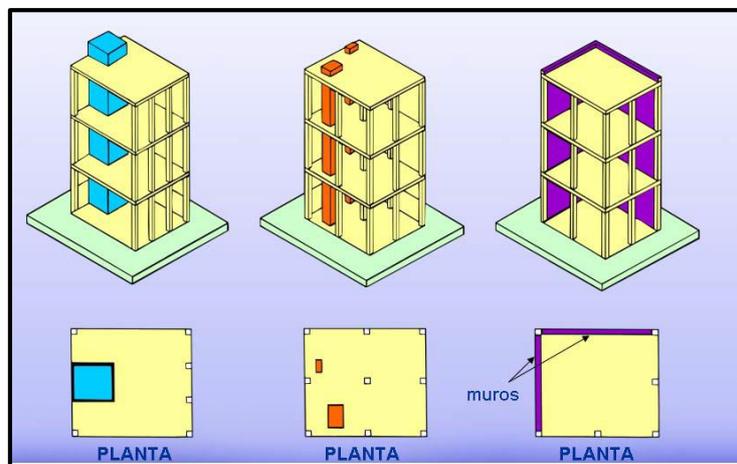


Figura 3.9 Asimetría por disposición de elementos resistentes. (SNPC-CENAPRED, 2011)

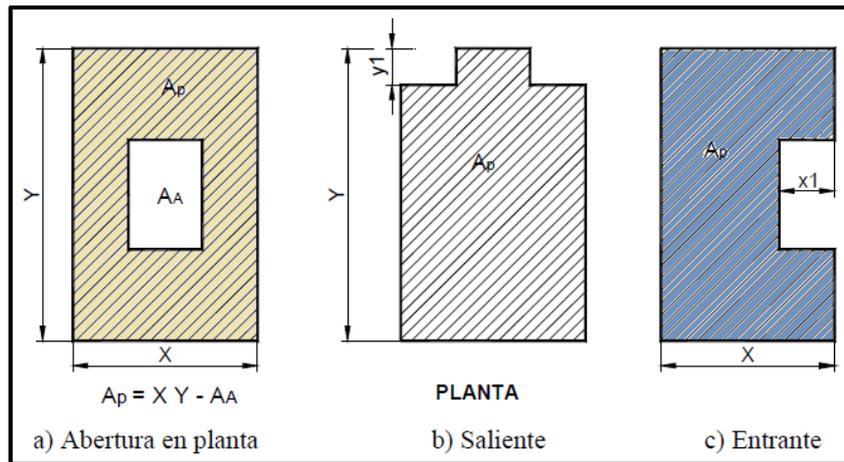


Figura 3.10 Irregularidades en plant. (SNPC-CENAPRED, 2011)

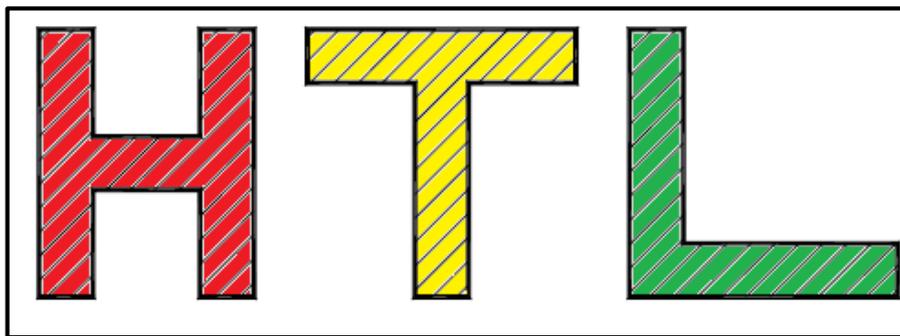


Figura 3.11 Geometría irregular en planta "L", "T" o "H". (SNPC-CENAPRED, 2011)

Irregular en elevación. Se puede seleccionar:

- Planta flexible
- Planta baja de doble altura
- Columna corta
- Planta baja flexible
- Grandes masas en pisos superiores, fig. 3.12.
- reducción brusca de en pisos superiores.

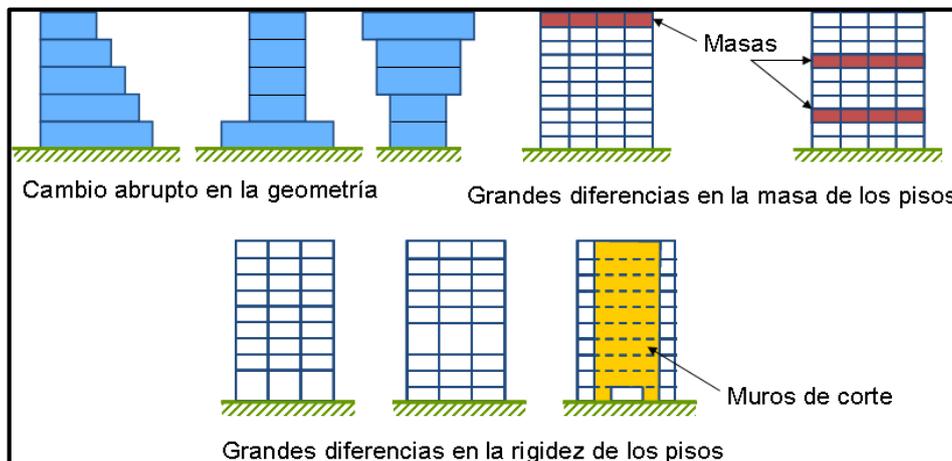


Figura 3.12 Irregularidades en elevación. (SNPC-CENAPRED, 2011)

Posición en manzana. Se puede seleccionar tres opciones (fig. 3.13):

- Edificios en esquina: pueden tener torsiones de entrepiso importantes al contar con dos fachadas contiguas libres y las otras dos de colindancia.
- Edificios en medio de la cuadra: se interpreta que debe tener colindancias cerradas en ambos lados con predios vecinos y la fachada abierta hacia la vialidad.
- Edificio aislado de edificaciones vecinas, que puede tener ventanas en las cuatro caras.

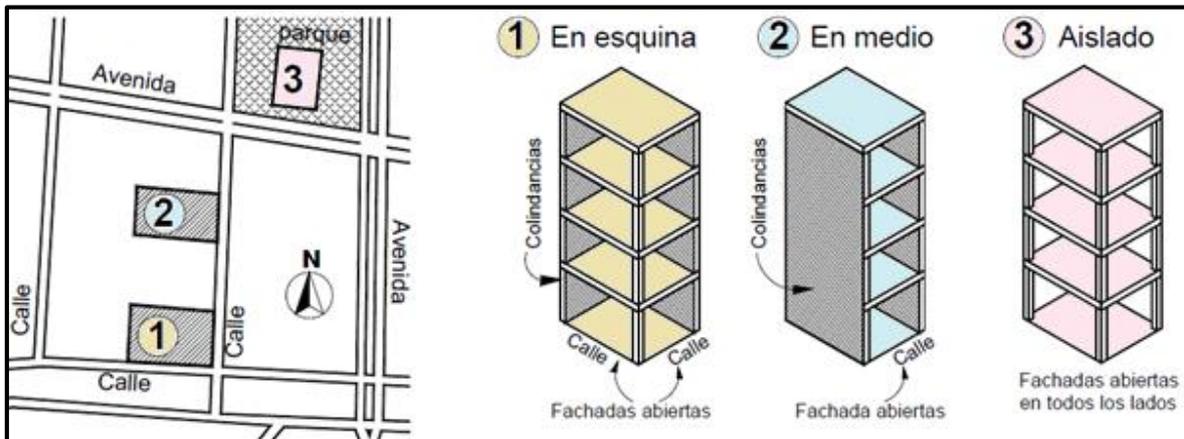


Figura 3.13 Posición del plantel en la manzana. (SNPC-CENAPRED, 2011)

Evaluación de daños

En esta sección se considera la condición y grado de deterioro (fig. 3.14) que presenta el plantel, según lo observado.

EVALUACIÓN DE DAÑOS			
Geotécnicos <input type="checkbox"/> Grietas en el terreno <input type="checkbox"/> Hundimiento diferencial: _____ <input type="checkbox"/> Inclinación edif.: _____	Fisuras Grietas vertical Grieta horizontal Cuarteadura Fractura Pandeo Aplastamiento Desplome Colapso	Sección o espesor de muro (cm) _____ cm _____ cm	Entrepiso crítico (más débil y/o dañado): No. de columnas (muros) daño severo = _____ (colapso, aplastamiento, pandeo, grietas > 2 mm) Total columnas (muros) en el entrepiso = _____
			Muros Columnas Trabes concreto mampostería losas bardas escalera
Otros daños: <input type="checkbox"/> Vidrios <input type="checkbox"/> Acabados <input type="checkbox"/> Plafones <input type="checkbox"/> Fachadas <input type="checkbox"/> Bardas/pretilos <input type="checkbox"/> Cubos <input type="checkbox"/> Mobiliario no fijo <input type="checkbox"/> Instalaciones			

Figura 3.14 Evaluación de daños del plantel. (INIFED-UNAM, 2017)

Geotécnicos. Cuando se haya detectado en la inspección la presencia de:

- Grietas en el terreno b(fisuras o agrietamientos del suelo)
- Hundimiento diferencial: movimientos descendentes de la superficie del suelo y que tienen lugar de manera diferente en áreas relativamente planas
- Inclinación del edificio: el edificio presenta pérdida de verticalidad debido principalmente a hundimientos diferenciales en el terreno o a la falla parcial de la cimentación; puede también deberse al daño en algunos elementos estructurales, puede obtenerse de la siguiente forma:

$$\text{inclinación} = \frac{\text{desplazamiento horizontal en la azotea}}{\text{altura del edificio}} * 100(\%)$$

Muros. Se marcarán las casillas correspondientes a los daños observados entre muros, columnas, trabes, mampostería, losas, bardas y escaleras.

Entrepiso crítico (más débil y/o daño): en el caso de que el plantel inspeccionado se observara daños severos (colapso, aplastamiento, pandeo o grietas superiores a 2mm) se indicará el número de columnas afectadas del total de columnas en el entrepiso.

Nivel de daño de la estructura: se seleccionará la casilla de daño general de la estructura.

Otros daños: se marcarán los daños no estructurales que se observaron durante la inspección (daños en acabados, rotura de vidrios, plafones, fachadas, instalaciones, etc.)

Croquis del inmueble

En esta sección se debe elaborar un croquis general del predio (con la ubicación del plantel y del cuerpo analizado), croquis de planta del cuerpo inspeccionado, croquis de elevación del inmueble. Estos esquemas deben ser lo más claros posibles para su correcta interpretación.

Ejemplo

En la Ciudad de México se realizaron inspecciones a escuelas de nivel básico, entre ellas la escuela secundaria Celestino Gorostiza, cuyo plantel se dividió en 4 cuerpos. A continuación se muestran las cédulas de inspección de los respectivos cuerpos del plantel:

- Edificio A Aulas (fig. 4.15a y fig. 4.15b)
- Edificio B Biblioteca y Aulas (fig. 4.16a y fig. 4.16b)
- Edificio C Dirección y Aulas (fig. 4.17a y fig. 4.17b)
- Cubo de escaleras (fig. 4.18a y fig. 4.18b)

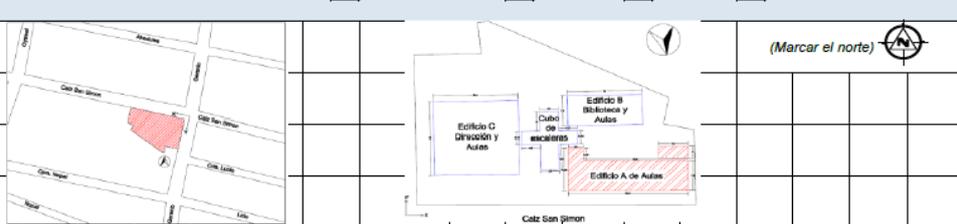
		Cédula para la calificación de la magnitud de daños post-sísmicos de la infraestructura física educativa derivados del sismo ocurrido el 19 de septiembre de 2017.			
RESPONSABLE DE LA BRIGADA: Ing. Octavio García Domínguez			CCT: 09DES0270A		
DATOS GENERALES		Fecha: 21/oct/2017	Coordenadas geográficas: 19°27'33.4"N 99°08'59.53"W		
Nombre del plantel: Celestino Gorostiza		Cuerpo: Edificio A Aulas			
Calle y núm.: Cda San Simón 351		Colonia: Santa María Insurgentes	Código postal: 6430		
Ciudad: Cd de México		Delegación/Municipio: Cuauhtémoc	Estado: Cd de México		
Referencias (entre calles): Geranio y Oyamel					
Contacto: nombre, cargo: Israel N Gutiérrez Sánchez / Consejero		Teléfono: 5543725438		Email:	
nivel educativo básico	<input type="checkbox"/> Preescolar <input type="checkbox"/> Primaria <input checked="" type="checkbox"/> Secundaria CAM <input type="checkbox"/> (Educación Especial)	Información Aproximada Área del terreno: 2159 m ² Área total construida: 259 m ² Año de construcción: 1981 Edad estimada: 36 años Dimensiones: Frente X = 28.8 m Fondo Y = 14 m	Altura: Número total de niveles: n= 3 Número de sótanos= 0 Ocupantes: Numero de usuarios = 120	Zonificación Geotécnica: <input type="checkbox"/> I. Lomerío <input type="checkbox"/> II. Transición <input checked="" type="checkbox"/> III. Lacustre	Topografía <input checked="" type="checkbox"/> Planicie <input type="checkbox"/> Ladera <input type="checkbox"/> Rivera de río/lago <input type="checkbox"/> Fondo de valle <input type="checkbox"/> Depósitos lacustres <input type="checkbox"/> Otro
	SISTEMA ESTRUCTURAL <i>La dirección X es paralela a la fachada, indicar X, Y en el croquis</i>				
Sistemas porticados			Muros de carga		
Dirección X <input type="checkbox"/> Marcos de acero <input checked="" type="checkbox"/> Marcos de concreto <input type="checkbox"/> Columnas y losa plana (sin trabe) <input type="checkbox"/> Uso de contravientos	<input type="checkbox"/> Marcos y muros diafrag. <input type="checkbox"/> Muros de concreto <input type="checkbox"/> Otros	Dirección Y <input type="checkbox"/> Marcos de acero <input checked="" type="checkbox"/> Marcos de concreto <input type="checkbox"/> Columnas y losa plana (sin trabe) <input type="checkbox"/> Uso de contravientos	<input type="checkbox"/> Marcos y muros diafragma <input type="checkbox"/> Muros de concreto <input type="checkbox"/> Otros	Mampostería <input type="checkbox"/> Confinada <input type="checkbox"/> Refuerzo int. <input type="checkbox"/> Simple	Material <input type="checkbox"/> De concreto <input type="checkbox"/> Tabique de barro <input type="checkbox"/> Block de cemento <input type="checkbox"/> Otro
Sistemas de cimentación y diafrágrams					
Cimentación <input type="checkbox"/> Zapatas aisladas <input type="checkbox"/> Zapatas corridas <input type="checkbox"/> Cimiento piedra <input type="checkbox"/> Losa cimentación	<input checked="" type="checkbox"/> Cajón <input checked="" type="checkbox"/> Pilotes/pilas <input type="checkbox"/> No se sabe	Sistema de piso <input checked="" type="checkbox"/> Firme de concreto aparente <input type="checkbox"/> Firme de asfalto <input checked="" type="checkbox"/> Firme de concreto con recub. <input type="checkbox"/> Otro	Sistema de entripiso <input checked="" type="checkbox"/> Losa maciza <input type="checkbox"/> Losa reticular <input type="checkbox"/> Losa aligerada con block <input type="checkbox"/> Vigueta y bovedilla	<input type="checkbox"/> Losa-acero <input type="checkbox"/> Otro	Techos / Cubiertas <input checked="" type="checkbox"/> Igual al entripiso <input type="checkbox"/> Multipanel <input type="checkbox"/> Lámina <input type="checkbox"/> Otro
Vulnerabilidad Planta <input checked="" type="checkbox"/> Geometría regular <input type="checkbox"/> Asimetría, muros, cubos, cargas <input type="checkbox"/> Grandes aberturas entrante/saliente <input type="checkbox"/> Geometría irregular en planta "L" "T" "H"		Irregular en elevación <input type="checkbox"/> Planta baja débil <input type="checkbox"/> Planta flexible <input type="checkbox"/> Dobles alturas <input checked="" type="checkbox"/> Columna corta	Posición del edificio en la manzana: <input type="checkbox"/> Esquina <input checked="" type="checkbox"/> Medio <input type="checkbox"/> Aislado <input type="checkbox"/> Grandes masas en pisos superiores <input type="checkbox"/> Reducción brusa en pisos superiores Separación edificio vecino: 40 cm		
EVALUACIÓN DE DAÑOS		DAÑOS ESTRUCTURALES			
Comportamiento Geotécnico Afectaciones al Entorno <input type="checkbox"/> Grietas en el suelo <input type="checkbox"/> Socavones <input type="checkbox"/> Redes fracturadas <input type="checkbox"/> Daños en edif. Colindantes <input type="checkbox"/> Daño en bardas perimetrales Afectaciones al Inmueble <input type="checkbox"/> Grietas en firmes P.B. <input type="checkbox"/> Inclinación % <input type="checkbox"/> Desplomes % <input type="checkbox"/> Hundimientos %		Fisuras Grieta diagonal Grieta vertical Grieta horizontal Cuarteadura Fractura Pandeo Aplastamiento Desplome Colapso Sección o espesor de muro (cm)		Entripiso crítico (más débil y/o dañado): Total columnas (muros) en el entripiso = 20 No. de columnas (muros) daño severo = 0 (colapso, aplastamiento, pandeo, grietas > 2 mm) Porcentaje de daño estimado en el entripiso = % NIVEL DE DAÑO ESTIMADO DE LA ESTRUCTURA Área: m ² <input checked="" type="checkbox"/> Daño insignificante <input type="checkbox"/> Daño ligero <input type="checkbox"/> Daño moderado <input type="checkbox"/> Daño severo <input type="checkbox"/> Daño muy grave	
Otros daños: <input type="checkbox"/> Vidrios <input checked="" type="checkbox"/> Acabados <input type="checkbox"/> Plafones <input checked="" type="checkbox"/> Fachadas <input type="checkbox"/> Bardas/pretilas <input type="checkbox"/> Cubos <input type="checkbox"/> Mobiliario no fijo <input type="checkbox"/> Instalaciones					
CROQUIS DEL INMUEBLE: Existen planos y documentos: <input type="checkbox"/> Arquitectónicos <input type="checkbox"/> Estructurales <input type="checkbox"/> Mem. calc. <input type="checkbox"/> Otros					
					
NOTA IMPORTANTE: Este documento "NO" constituye un aval para el reingreso, uso de los espacios e instalaciones educativas, y "NO" representa un dictamen, ni autorización alguna para el regreso a clases.					

Figura 4.15a Cédula de inspección: Edificio A Aulas. (DE-DICYG, 2018)

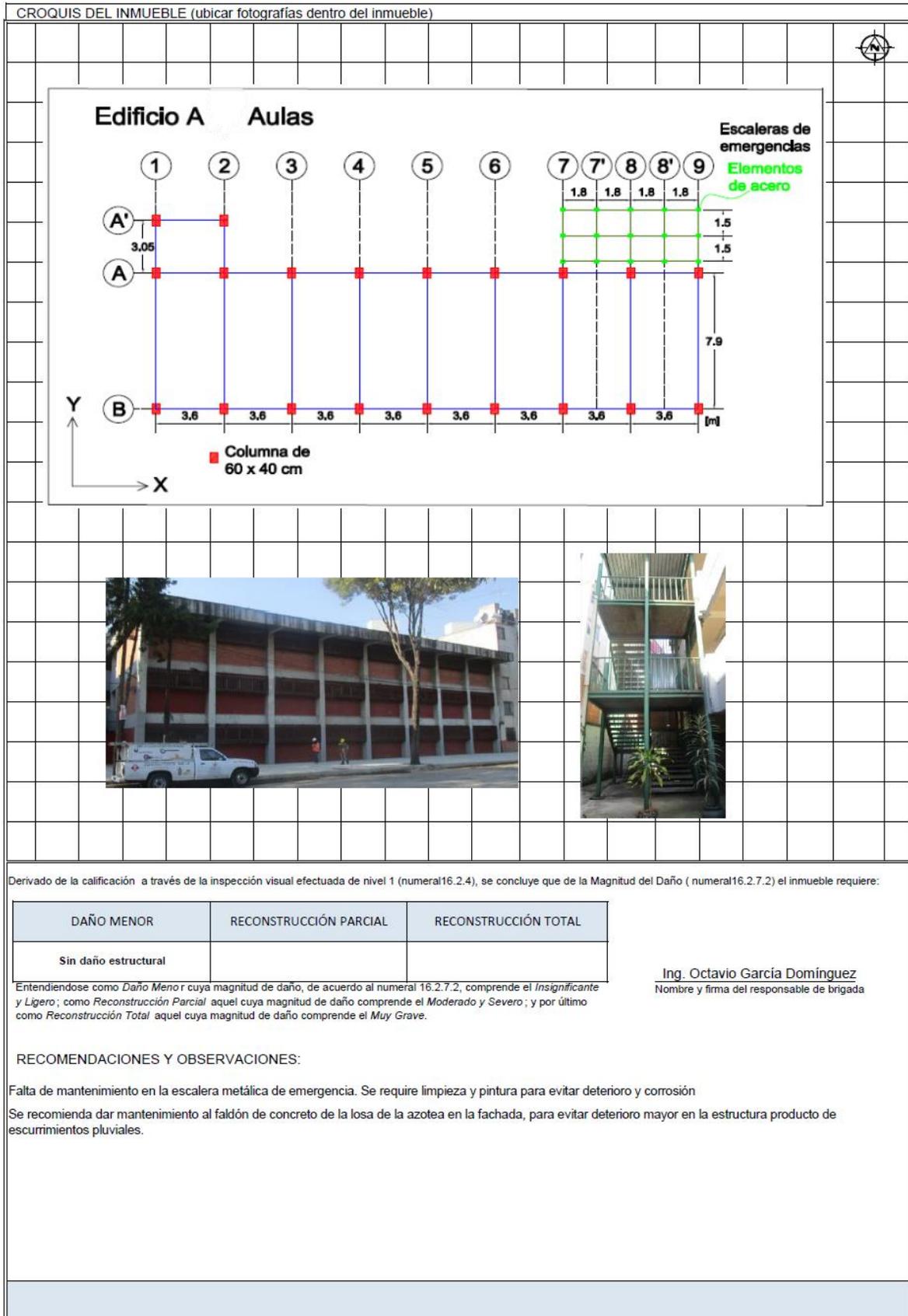


Figura 4.15b Cédula de inspección: Edificio A Aulas. (DE-DICYG, 2018)

INIFED		Cédula para la calificación de la magnitud de daños post-sísmicos de la infraestructura física educativa derivados del sismo ocurrido el 19 de septiembre de 2017.		INGENIERIA																	
RESPONSABLE DE LA BRIGADA: Ing. Octavio García Domínguez			CCT: 09DES0270A																		
DATOS GENERALES		Fecha: 21/oct/2017	Coordenadas geográficas: 19°27'33.4"N 99°08'59.53"W																		
Nombre del plantel: Celestino Gorostiza		Cuerpo: Edificio B Biblioteca y Aulas																			
Calle y núm.: Cda San Simón 351		Colonia: Santa María Insurgentes	Código postal: 6430																		
Ciudad: Cd de México		Delegación/Municipio: Cuauhtémoc	Estado: Cd de México																		
Referencias (entre calles): Geranio y Oyamel																					
Contacto: nombre, cargo: Israel N Gutiérrez Sánchez / Conserje		Teléfono: 5543725438		Email:																	
nivel educativo básico	<input type="checkbox"/> Preescolar	Información Aproximada Área del terreno: 2159 m ² Área total construida: 1422 m ² Año de construcción: 1981 Edad estimada: 36 años Dimensiones: Frente X = 18 m Fondo Y = 7.9 m	Altura: Número total de niveles: n= 3 Número de sótanos= 0		Zonificación Geotécnica: <input type="checkbox"/> I. Lomerío <input type="checkbox"/> II. Transición <input checked="" type="checkbox"/> III. Lacustre																
	<input checked="" type="checkbox"/> Primaria <input checked="" type="checkbox"/> Secundaria <input type="checkbox"/> CAM (Educación Especial)		Ocupantes: Numero de usuarios = 120																		
SISTEMA ESTRUCTURAL		La dirección X es paralela a la fachada, indicar X, Y en el croquis																			
Sistemas porticados		Muros de carga																			
Dirección X	<input type="checkbox"/> Marcos de acero	<input type="checkbox"/> Marcos y muros diafrag.	Dirección Y	<input type="checkbox"/> Marcos de acero	<input type="checkbox"/> Marcos y muros diafragma																
	<input checked="" type="checkbox"/> Marcos de concreto	<input type="checkbox"/> Muros de concreto		<input checked="" type="checkbox"/> Marcos de concreto	<input type="checkbox"/> Muros de concreto																
	<input type="checkbox"/> Columnas y losa plana (sin trabe)	<input type="checkbox"/> Otros		<input type="checkbox"/> Columnas y losa plana (sin trabe)	<input type="checkbox"/> Otros																
	<input type="checkbox"/> Uso de contravientos			<input type="checkbox"/> Uso de contravientos																	
Sistemas de cimentación y diafrámas																					
Cimentación		Sistema de piso		Sistema de entrepiso																	
<input type="checkbox"/> Zapatas aisladas	<input checked="" type="checkbox"/> Cajón	<input checked="" type="checkbox"/> Firme de concreto aparente	<input checked="" type="checkbox"/> Losa maciza	<input type="checkbox"/> Losa-acero	<input checked="" type="checkbox"/> Igual al entrepiso																
<input type="checkbox"/> Zapatas corridas	<input checked="" type="checkbox"/> Pilotes/pilas	<input type="checkbox"/> Firme de asfalto	<input type="checkbox"/> Losa reticular	<input type="checkbox"/> Otro:	<input type="checkbox"/> Multipanel																
<input type="checkbox"/> Cimiento piedra		<input checked="" type="checkbox"/> Firme de concreto con recub.	<input type="checkbox"/> Losa aligerada con block	<input type="checkbox"/> Lámina	<input type="checkbox"/> Otro:																
<input type="checkbox"/> Losa cimentación	<input type="checkbox"/> No se sabe	<input type="checkbox"/> Otro:	<input type="checkbox"/> Vigüeta y bovedilla																		
Vulnerabilidad		Posición del edificio en la manzana: <input type="checkbox"/> Esquina <input checked="" type="checkbox"/> Medio <input type="checkbox"/> Aislado																			
Planta	<input checked="" type="checkbox"/> Geometría regular	Irregular en elevación	<input type="checkbox"/> Planta baja débil	<input type="checkbox"/> Grandes masas en pisos superiores																	
	<input type="checkbox"/> Asimetría, muros, cubos, cargas		<input type="checkbox"/> Planta flexible	<input type="checkbox"/> Reducción brusca en pisos superiores																	
	<input type="checkbox"/> Grandes aberturas entrante/salient	<input type="checkbox"/> Dobles alturas	Separación edificio vecino: _____ cm																		
	<input type="checkbox"/> Geometría irregular en planta "L" "T" "H"	<input checked="" type="checkbox"/> Columna corta																			
EVALUACIÓN DE DAÑOS		DAÑOS ESTRUCTURALES																			
Comportamiento Geotécnico		<table border="1"> <tr> <td>Columnas</td> <td>Trabes</td> <td>Carga</td> <td>Muros</td> <td>Diafragma</td> <td>Losas</td> <td>Escalera</td> <td>Bardas</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>		Columnas	Trabes	Carga	Muros	Diafragma	Losas	Escalera	Bardas									Entrepiso crítico (más débil y/o dañado):	
Columnas	Trabes			Carga	Muros	Diafragma	Losas	Escalera	Bardas												
Afectaciones al Entorno <input type="checkbox"/> Grietas en el suelo <input type="checkbox"/> Socavones <input type="checkbox"/> Redes fracturadas <input type="checkbox"/> Daños en edif. Colindantes <input type="checkbox"/> Daño en bardas perimetrales Afectaciones al Inmueble <input type="checkbox"/> Grietas en firmes P.B. <input type="checkbox"/> Inclinación _____ % <input type="checkbox"/> Desplomes _____ % <input type="checkbox"/> Hundimientos _____ %		Fisuras Grieta diagonal Grieta vertical Grieta horizontal Cuarteadura Fractura Pandeo Aplastamiento Desplome Colapso Sección o espesor de muro (cm)		Total columnas (muros) en el entrepiso = 12 No. de columnas (muros) daño severo = 0 (colapso, aplastamiento, pandeo, grietas > 2 mm) Porcentaje de daño estimado en el entrepiso = _____ %																	
				NIVEL DE DAÑO ESTIMADO DE LA ESTRUCTURA																	
				Área: _____ m ² <input type="checkbox"/> Daño insignificante <input type="checkbox"/> Daño ligero <input type="checkbox"/> Daño severo <input type="checkbox"/> Daño muy grave																	
Otros daños: <input type="checkbox"/> Vidrios <input type="checkbox"/> Acabados <input type="checkbox"/> Plafones <input checked="" type="checkbox"/> Fachadas <input type="checkbox"/> Bardas/pretilas <input type="checkbox"/> Cubos <input type="checkbox"/> Mobiliario no fijo <input type="checkbox"/> Instalaciones																					
CROQUIS DEL INMUEBLE: Existen planos y documentos: <input type="checkbox"/> Arquitectónicos <input type="checkbox"/> Estructurales <input type="checkbox"/> Mem. calc. <input type="checkbox"/> Otros																					
NOTA IMPORTANTE: Este documento "NO" constituye un aval para el ingreso, uso de los espacios e instalaciones educativas, y "NO" representa un dictamen, ni autorización alguna para el regreso a clases.																					

Figura 4.16a Cédula de inspección: Edificio B Biblioteca y Aulas. (DE-DICYG, 2018)

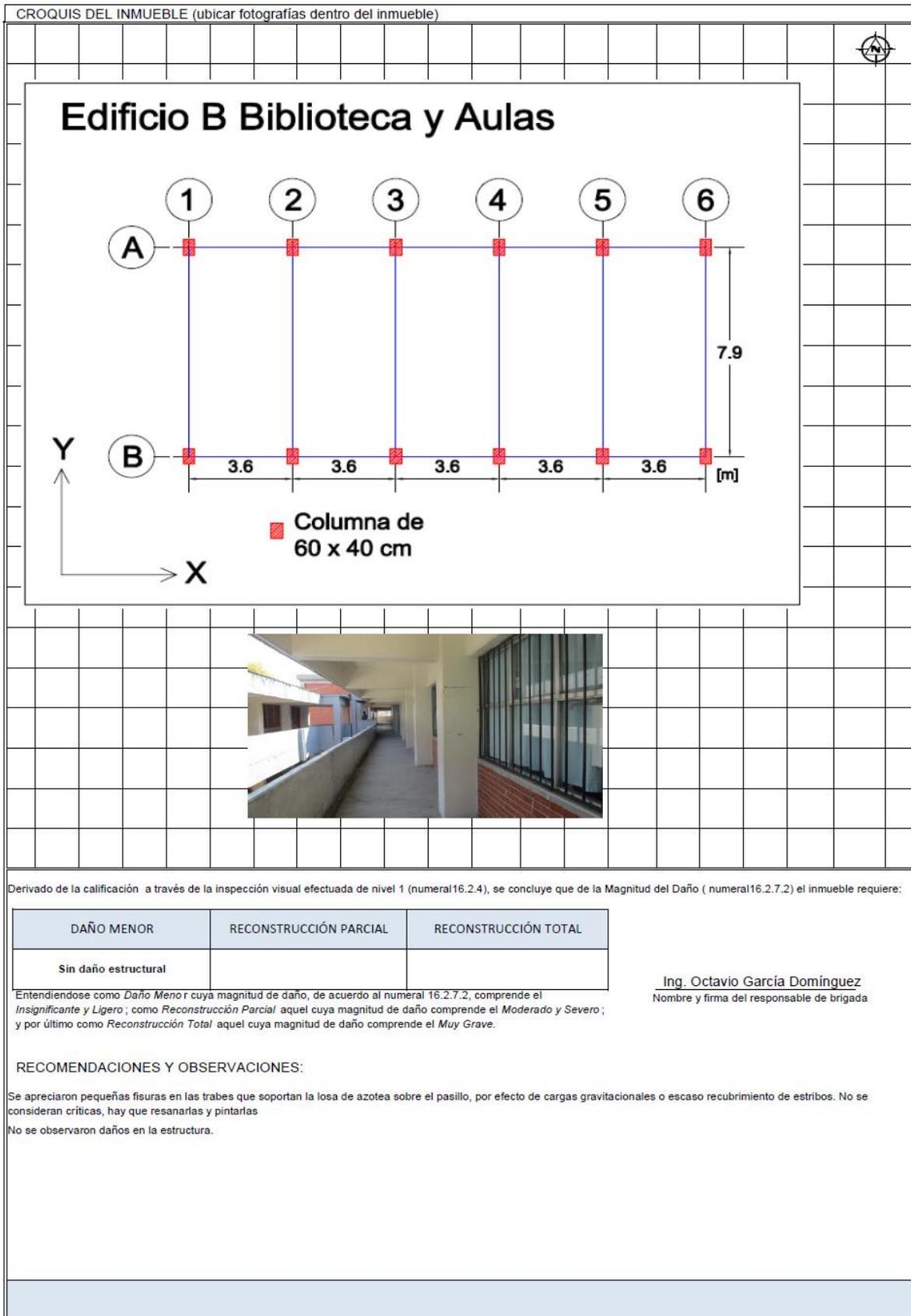


Figura 4.16b Cédula de inspección: Edificio B Biblioteca y Aulas. (DE-DICYG, 2018)

		Cédula para la calificación de la magnitud de daños post-sísmicos de la infraestructura física educativa derivados del sismo ocurrido el 19 de septiembre de 2017.	
RESPONSABLE DE LA BRIGADA: Ing. Octavio García Domínguez		CCT: 09DES0270A	
DATOS GENERALES			
Fecha: 21/oct/2017		Coordenadas geográficas: 19°27'33.4"N 99°08'59.53"W	
Nombre del plantel: Celestino Gorostiza		Cuerpo: Edificio C Dirección y Aulas	
Calle y núm.: Cda San Simón 351		Colonia: Santa María Insurgentes	Código postal: 6430
Ciudad: Cd de México		Delegación/Municipio: Cuauhtémoc	Estado: Cd de México
Referencias (entre calles): Geranio y Oyamel			
Contacto: nombre, cargo: Israel N Gutiérrez Sánchez / Conserje		Teléfono: 5543725438	Email:
nivel educativo básico <input type="checkbox"/> Preescolar <input checked="" type="checkbox"/> Primaria <input checked="" type="checkbox"/> Secundaria <input type="checkbox"/> CAM (Educación Especial)	Información Aproximada Área del terreno: 2159 m ² Área total construida: 259 m ² Año de construcción: 1981 Edad estimada: 36 años Dimensiones: Frente X = 20.4 m Fondo Y = 19 m	Altura: Número total de niveles: n= 4 Número de sótanos= 0 Ocupantes: Numero de usuarios = 120	Zonificación Geotécnica: <input type="checkbox"/> I. Lomerío <input type="checkbox"/> II. Transición <input checked="" type="checkbox"/> III. Lacustre Topografía <input checked="" type="checkbox"/> Planicie <input type="checkbox"/> Ladera <input type="checkbox"/> Rivera de río/lago <input type="checkbox"/> Fondo de valle <input type="checkbox"/> Depósitos lacustres <input type="checkbox"/> Otro
SISTEMA ESTRUCTURAL <i>La dirección X es paralela a la fachada, indicar X, Y en el croquis</i>			
Sistemas porticados Dirección X: <input type="checkbox"/> Marcos de acero, <input checked="" type="checkbox"/> Marcos de concreto, <input type="checkbox"/> Columnas y losa plana (sin trabe), <input checked="" type="checkbox"/> Uso de contravientos Dirección Y: <input type="checkbox"/> Marcos y muros diafrag., <input type="checkbox"/> Muros de concreto, <input type="checkbox"/> Otros		Muros de carga Dirección X: <input type="checkbox"/> Marcos de acero, <input checked="" type="checkbox"/> Marcos de concreto, <input type="checkbox"/> Columnas y losa plana (sin trabe), <input checked="" type="checkbox"/> Uso de contravientos Dirección Y: <input type="checkbox"/> Marcos y muros diafragma, <input type="checkbox"/> Muros de concreto, <input type="checkbox"/> Otros Mampostería: <input type="checkbox"/> Confinada, <input type="checkbox"/> Refuerzo int., <input type="checkbox"/> Simple Material: <input type="checkbox"/> De concreto, <input type="checkbox"/> Tabique de barro, <input type="checkbox"/> Block de cemento, <input type="checkbox"/> Otro	
Sistemas de cimentación y diafrámas			
Cimentación <input type="checkbox"/> Zapatas aisladas, <input checked="" type="checkbox"/> Zapatas corridas, <input type="checkbox"/> Cimiento piedra, <input type="checkbox"/> Losa cimentación, <input checked="" type="checkbox"/> Cajón, <input checked="" type="checkbox"/> Pilotes/pilas, <input type="checkbox"/> No se sabe		Sistema de piso <input checked="" type="checkbox"/> Firme de concreto aparente, <input checked="" type="checkbox"/> Firme de concreto con recub., <input type="checkbox"/> Otro	
Sistema de entrepiso <input checked="" type="checkbox"/> Losa maciza, <input type="checkbox"/> Losa aligerada con block, <input type="checkbox"/> Viguetas y bovedilla, <input type="checkbox"/> Losa-acero, <input type="checkbox"/> Otro		Techos / Cubiertas <input checked="" type="checkbox"/> Igual al entrepiso, <input type="checkbox"/> Multipanel, <input type="checkbox"/> Lámina, <input type="checkbox"/> Otro	
Vulnerabilidad Posición del edificio en la manzana: <input type="checkbox"/> Esquina, <input checked="" type="checkbox"/> Medio, <input type="checkbox"/> Aislado Planta: <input checked="" type="checkbox"/> Geometría regular, <input type="checkbox"/> Asimetría, muros, cubos, cargas, <input type="checkbox"/> Grandes aberturas entrante/saliente, <input type="checkbox"/> Geometría irregular en planta "L" "T" "H" Irregular en elevación: <input type="checkbox"/> Planta baja débil, <input type="checkbox"/> Planta flexible, <input type="checkbox"/> Dobles alturas, <input checked="" type="checkbox"/> Columna corta <input type="checkbox"/> Grandes masas en pisos superiores, <input type="checkbox"/> Reducción brusca en pisos superiores, Separación edificio vecino: _____ cm			
EVALUACIÓN DE DAÑOS		DAÑOS ESTRUCTURALES	
Comportamiento Geotécnico Afectaciones al Entorno: <input type="checkbox"/> Grietas en el suelo, <input type="checkbox"/> Socavones, <input type="checkbox"/> Redes fracturadas, <input type="checkbox"/> Daños en edif. Colindantes, <input type="checkbox"/> Daño en bardas perimetrales Afectaciones al Inmueble: <input type="checkbox"/> Grietas en firmes P.B., <input type="checkbox"/> Inclinación _____ %, <input type="checkbox"/> Desplomes _____ %, <input type="checkbox"/> Hundimientos _____ %		Entrepiso crítico (más débil y/o dañado): Total columnas (muros) en el entrepiso = 28 No. de columnas (muros) daño severo = 0 (colapso, aplastamiento, pandeo, grietas > 2 mm) Porcentaje de daño estimado en el entrepiso = _____ %	
Otros daños: <input type="checkbox"/> Vidrios, <input type="checkbox"/> Acabados, <input type="checkbox"/> Plafones, <input checked="" type="checkbox"/> Fachadas, <input checked="" type="checkbox"/> Bardas/pretilas, <input type="checkbox"/> Cubos, <input type="checkbox"/> Mobiliario no fijo, <input type="checkbox"/> Instalaciones		NIVEL DE DAÑO ESTIMADO DE LA ESTRUCTURA Área: _____ m ² <input type="checkbox"/> Daño insignificante <input type="checkbox"/> Daño ligero <input checked="" type="checkbox"/> Daño moderado <input type="checkbox"/> Daño severo <input type="checkbox"/> Daño muy grave	
CROQUIS DEL INMUEBLE: Existen planos y documentos: <input type="checkbox"/> Arquitectónicos, <input type="checkbox"/> Estructurales, <input type="checkbox"/> Mem. calc., <input type="checkbox"/> Otros			
NOTA IMPORTANTE: Este documento "NO" constituye un aval para el reingreso, uso de los espacios e instalaciones educativas, y "NO" representa un dictamen, ni autorización alguna para el regreso a clases.			

Figura 4.17a Cédula de inspección: Edificio C Dirección y Aulas. (DE-DICYG, 2018)

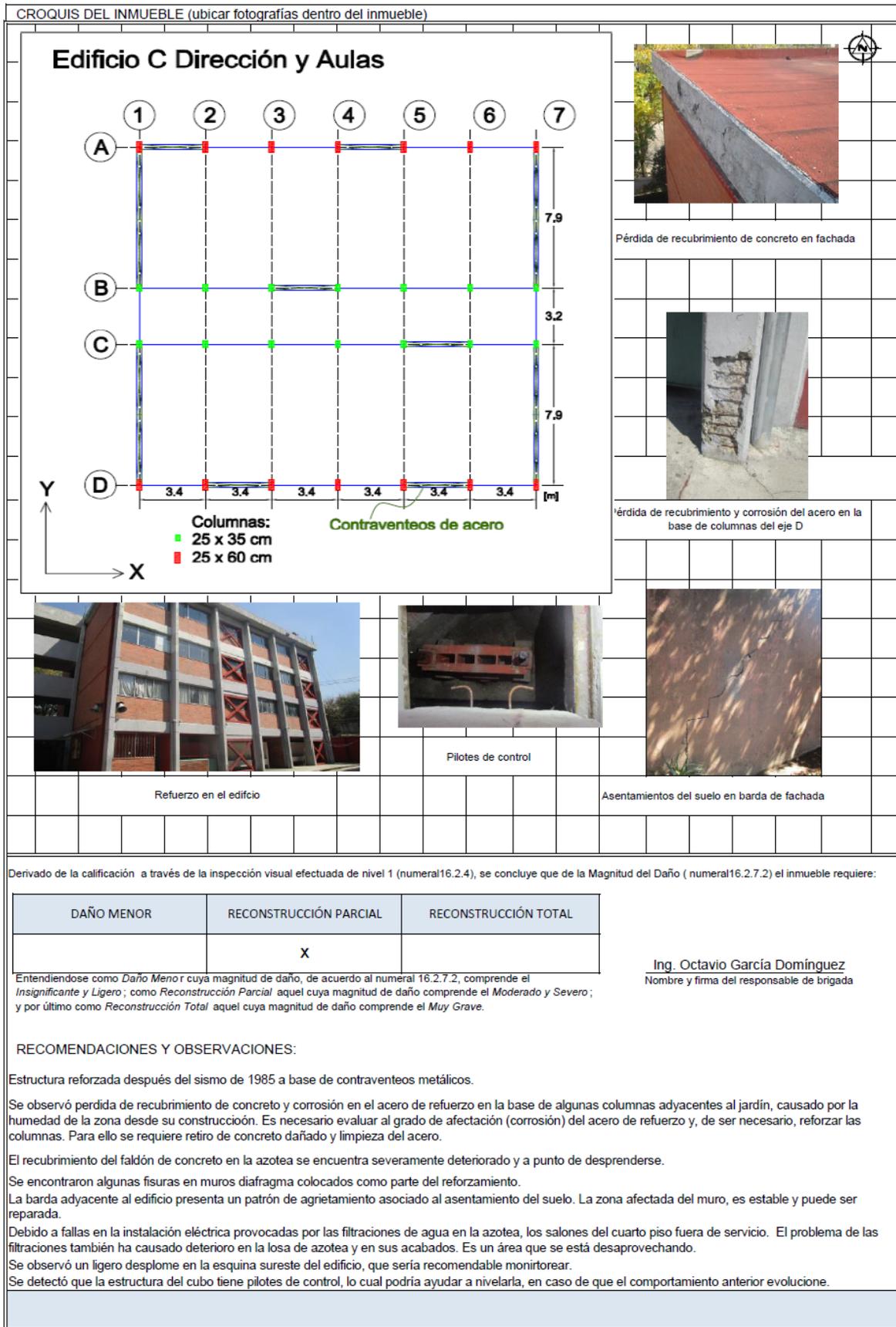


Figura 4.17a Cédula de inspección: Edificio C Dirección y Aulas. (DE-DICYG, 2018)

INIFED		Cédula para la calificación de la magnitud de daños post-sísmicos de la infraestructura física educativa derivados del sismo ocurrido el 19 de septiembre de 2017.		SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA																																					
RESPONSABLE DE LA BRIGADA: Ing. Octavio García Domínguez			CCT: 09DES0270A																																						
DATOS GENERALES		Fecha: 21/oct/2017	Coordenadas geográficas: 19°27'33.4"N 99°08'59.53"W																																						
Nombre del plantel: Celestino Gorostiza		Cuerpo: Cubo de escaleras																																							
Calle y núm.: Cda San Simón 351		Colonia: Santa María Insurgentes	Código postal: 6430																																						
Ciudad: Cd de México		Delegación/Municipio: Cuauhtémoc	Estado: Cd de México																																						
Referencias (entre calles): Geranio y Oyamel																																									
Contacto: nombre, cargo: Israel N Gutiérrez Sánchez / Conserje		Teléfono: 5543725438		Email:																																					
nivel educativo básico	<input type="checkbox"/> Preescolar	Información Aproximada Área del terreno: 2159 m ² Área total construida: 85.14 m ² Año de construcción: 1981 Edad estimada: 36 años Dimensiones: Frente X = 14 m Fondo Y = 14.7 m	Altura: Número total de niveles: n= 4 Número de sótanos= 0 Ocupantes: Numero de usuarios = 120	Zonificación Geotécnica: <input type="checkbox"/> I. Lomerío <input type="checkbox"/> II. Transición <input checked="" type="checkbox"/> III. Lacustre	Topografía <input checked="" type="checkbox"/> Planicie <input type="checkbox"/> Ladera <input type="checkbox"/> Rivera de río/lago <input type="checkbox"/> Fondo de valle <input type="checkbox"/> Depósitos lacustres <input type="checkbox"/> Otro _____																																				
	<input checked="" type="checkbox"/> Primaria <input checked="" type="checkbox"/> Secundaria <input type="checkbox"/> CAM <input type="checkbox"/> (Educación Especial)																																								
SISTEMA ESTRUCTURAL <i>La dirección X es paralela a la fachada, indicar X, Y en el croquis</i>																																									
Sistemas porticados			Muros de carga																																						
Dirección x	<input type="checkbox"/> Marcos de acero	<input type="checkbox"/> Marcos y muros diafrag.	Dirección y	<input type="checkbox"/> Marcos de acero	Muros de carga																																				
	<input checked="" type="checkbox"/> Marcos de concreto	<input type="checkbox"/> Muros de concreto		<input checked="" type="checkbox"/> Marcos de concreto		<input checked="" type="checkbox"/> Muros de concreto																																			
	<input type="checkbox"/> Columnas y losa plana (sin trabe)	<input type="checkbox"/> Otros _____		<input type="checkbox"/> Columnas y losa plana (sin trabe)	<input type="checkbox"/> Otros _____																																				
	<input type="checkbox"/> Uso de contravientos			<input type="checkbox"/> Uso de contravientos																																					
Sistemas de cimentación y diafrágrams																																									
Cimentación		Sistema de piso		Sistema de entripiso																																					
<input type="checkbox"/> Zapatas aisladas	<input checked="" type="checkbox"/> Cajón	<input checked="" type="checkbox"/> Firme de concreto aparente	<input checked="" type="checkbox"/> Losa maciza	<input type="checkbox"/> Losa-acero	Techos / Cubiertas																																				
<input type="checkbox"/> Zapatas corridas	<input checked="" type="checkbox"/> Pilotes/pilas	<input type="checkbox"/> Firme de asfalto	<input type="checkbox"/> Losa reticular	<input type="checkbox"/> Otro: _____	<input checked="" type="checkbox"/> Igual al entripiso																																				
<input type="checkbox"/> Cimiento piedra	<input type="checkbox"/> No se sabe	<input checked="" type="checkbox"/> Firme de concreto con recub.	<input type="checkbox"/> Losa aligerada con block	<input type="checkbox"/> Lámina	<input type="checkbox"/> Otro: _____																																				
<input type="checkbox"/> Losa cimentación		<input type="checkbox"/> Otro: _____	<input type="checkbox"/> Vigüeta y bovedilla																																						
Vulnerabilidad		Posición del edificio en la manzana: <input type="checkbox"/> Esquina <input checked="" type="checkbox"/> Medio <input type="checkbox"/> Aislado																																							
Planta	<input type="checkbox"/> Geometría regular	Irregular en elevación	<input type="checkbox"/> Planta baja débil	<input type="checkbox"/> Grandes masas en pisos superiores																																					
	<input type="checkbox"/> Asimetría, muros, cubos, cargas		<input type="checkbox"/> Planta flexible	<input type="checkbox"/> Reducción brusca en pisos superiores																																					
	<input type="checkbox"/> Grandes aberturas entrante/salient	<input type="checkbox"/> Dobles alturas	Separación edificio vecino: _____ cm																																						
	<input checked="" type="checkbox"/> Geometría irregular en planta "L" "T" "H"	<input type="checkbox"/> Columna corta																																							
EVALUACIÓN DE DAÑOS		DAÑOS ESTRUCTURALES																																							
Comportamiento Geotécnico		<table border="1"> <tr> <td></td> <td>Fisuras</td> <td>Grieta diagonal</td> <td>Grieta vertical</td> <td>Grieta horizontal</td> <td>Cuarteadura</td> <td>Fractura</td> <td>Pandeo</td> <td>Aplastamiento</td> <td>Desplome</td> <td>Colapso</td> <td>Sección o espesor de muro (cm)</td> </tr> <tr> <td>Columnas</td> <td></td> <td></td> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Trabes</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>			Fisuras	Grieta diagonal	Grieta vertical	Grieta horizontal	Cuarteadura	Fractura	Pandeo	Aplastamiento	Desplome	Colapso	Sección o espesor de muro (cm)	Columnas			<input checked="" type="checkbox"/>									Trabes				<input checked="" type="checkbox"/>								Entripiso crítico (más débil y/o dañado):	
	Fisuras			Grieta diagonal	Grieta vertical	Grieta horizontal	Cuarteadura	Fractura	Pandeo	Aplastamiento	Desplome	Colapso	Sección o espesor de muro (cm)																												
Columnas			<input checked="" type="checkbox"/>																																						
Trabes				<input checked="" type="checkbox"/>																																					
Afectaciones al Entorno <input type="checkbox"/> Grietas en el suelo <input type="checkbox"/> Socavones <input type="checkbox"/> Redes fracturadas <input type="checkbox"/> Daños en edif. Colindantes <input type="checkbox"/> Daño en bardas perimetrales Afectaciones al Inmueble <input type="checkbox"/> Grietas en firmes P.B. Inclinación _____ % Desplomes 1 _____ % Hundimientos _____ %				Total columnas (muros) en el entripiso = 12 No. de columnas (muros) daño severo = 2 (colapso, aplastamiento, pandeo, grietas > 2 mm) Porcentaje de daño estimado en el entripiso = _____ %																																					
				NIVEL DE DAÑO ESTIMADO DE LA ESTRUCTURA																																					
				Área: _____ m ² <input type="checkbox"/> Daño insignificante <input checked="" type="checkbox"/> Daño moderado <input type="checkbox"/> Daño severo <input type="checkbox"/> Daño muy grave																																					
Otros daños: <input type="checkbox"/> Vidrios <input checked="" type="checkbox"/> Acabados <input type="checkbox"/> Plafones <input type="checkbox"/> Fachadas <input checked="" type="checkbox"/> Bardas/pretilas <input type="checkbox"/> Cubos <input type="checkbox"/> Mobiliario no fijo <input type="checkbox"/> Instalaciones																																									
CROQUIS DEL INMUEBLE: Existen planos y documentos: <input type="checkbox"/> Arquitectónicos <input type="checkbox"/> Estructurales <input type="checkbox"/> Mem. calc. <input type="checkbox"/> Otros																																									
NOTA IMPORTANTE: Este documento "NO" constituye un aval para el reingreso, uso de los espacios e instalaciones educativas, y "NO" representa un dictamen, ni autorización alguna para el regreso a clases.																																									

Figura 4.18a Cédula de inspección: Cubo de escaleras. (DE-DICYG, 2018)

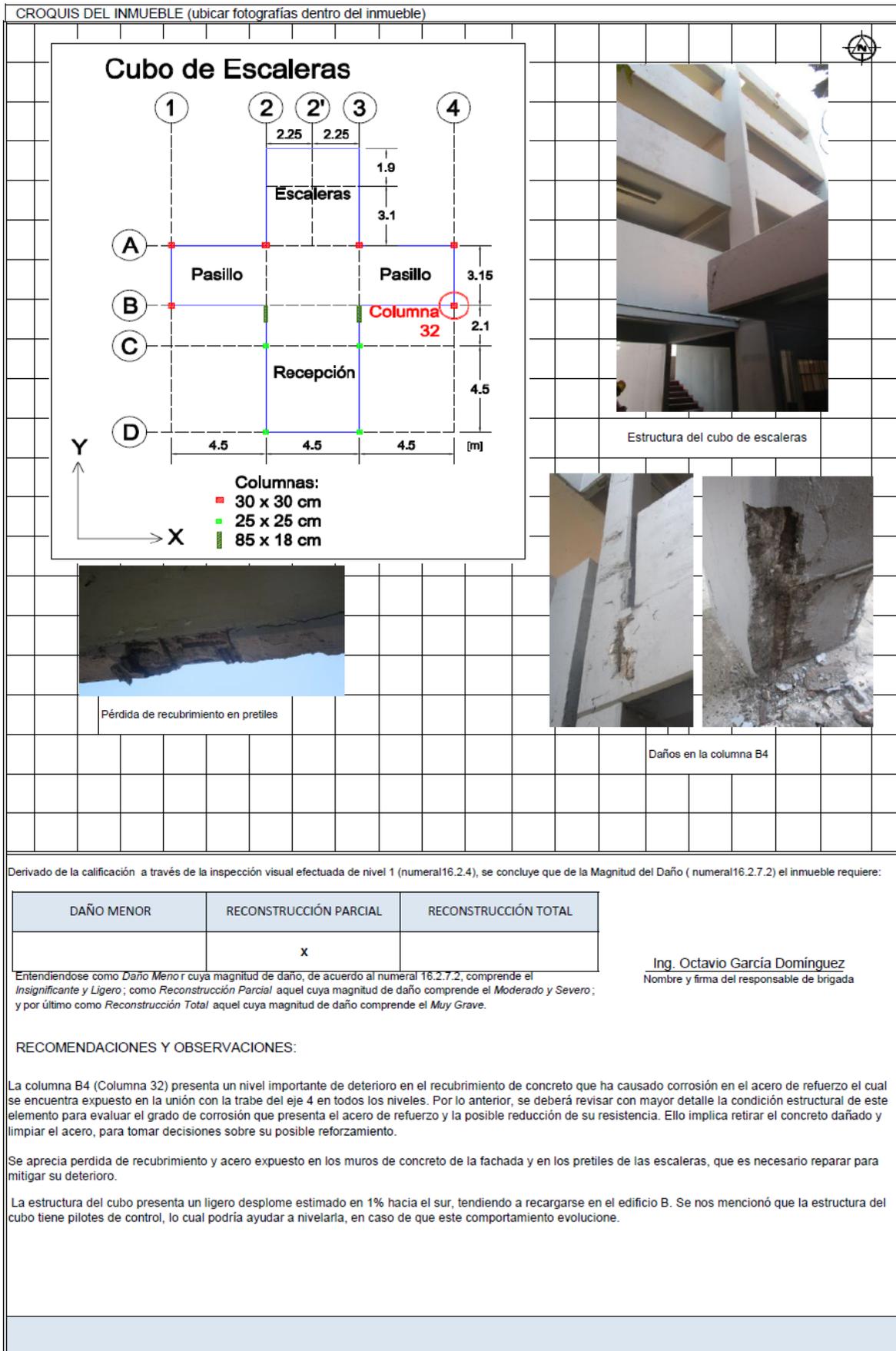


Figura 4.18b Cédula de inspección: Cubo de escaleras. (DE-DICYG, 2018)

3.1.2 Clasificación y evaluación de daños reportados en cédulas de inspección

En toda inspección estructural ocular detallada con la información recopilada (memoria fotográfica, antecedentes del entorno de la propia edificación, datos técnicos, etc.) se realiza la clasificación y evaluación de daños para determinar su situación.

Durante las inspecciones realizadas a las escuelas se detectaron daños estructurales y no estructurales en la infraestructura educativa, como los ya mencionados en el apartado 1.5 del capítulo 1. Cabe resaltar que tanto daños estructurales como no estructurales, en su mayoría, estuvieron asociados a la falta de mantenimiento de la infraestructura educativa a través de los años.

Ejemplo

En las siguientes figuras se presenta un reporte fotográfico donde se ilustran los daños en la escuela secundaria Celestino Gorostiza, documentados en las cédulas anteriores.

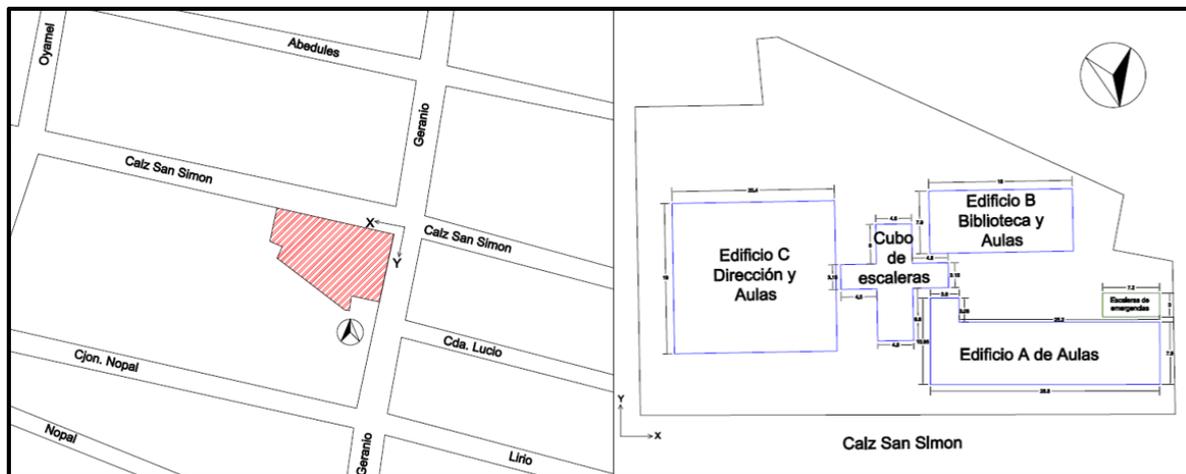


Figura 3.19 Croquis de localización y de conjunto de los edificios de la escuela secundaria Celestino Gorostiza.

Edificio A (Aulas)

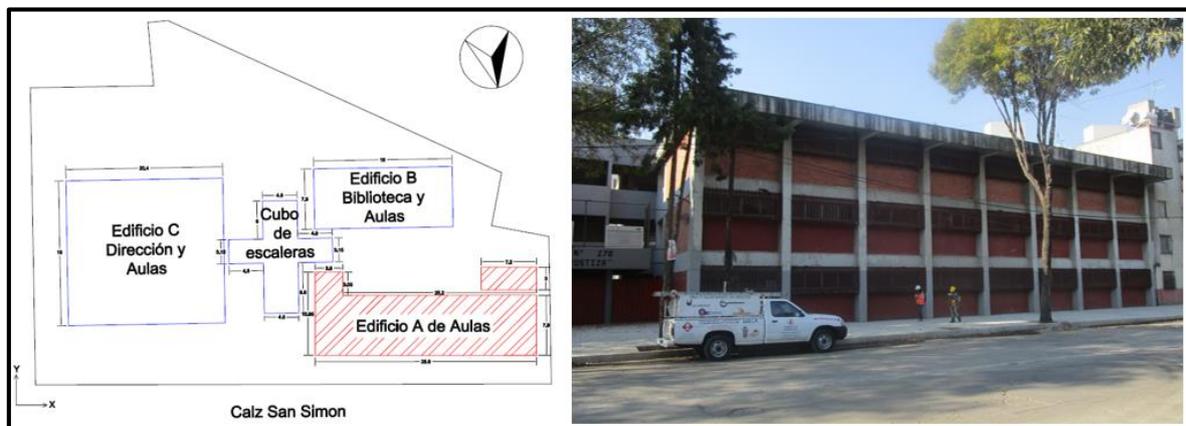


Figura 3.20 Identificación y vista del cuerpo A. (DE-DICYG, 2018)



Figura 3.21 Daños preexistentes, deterioro del concreto debido a escurrimientos pluviales. (DE-DICYG, 2018)



Figura 3.22 Daños preexistentes, deterioro del concreto y pérdida de recubrimiento debida a la corrosión del acero. (DE-DICYG, 2018)



Figura 4.23 Daños no estructurales en muros divisorios de mampostería. (DE-DICYG, 2018)



Figura 4.24 Falta de mantenimiento en la escalera metálica de emergencia, existencia de corrosión. (DE-DICYG, 2018)

Edificio B (Biblioteca y Aulas)



Figura 3.25 Identificación y vista parcial del cuerpo B. (DE-DICYG, 2018)



Figura 3.26 Daños en juntas de muros divisorios. (DE-DICYG, 2018)



Figura 3.27 Grietas de tensión en trabe. (DE-DICYG, 2018)

Edificio C (Dirección y Aulas)

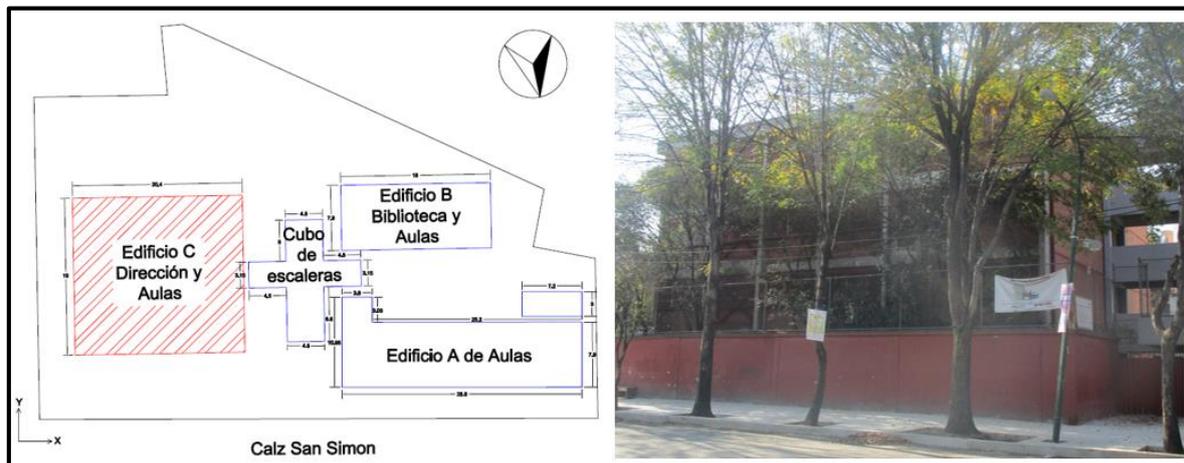


Figura 3.28 Identificación y vista del cuerpo C. (DE-DICYG, 2018)



Figura 3.29 Daños preexistentes, deterioro del recubrimiento. (DE-DICYG, 2018)



Figura 3.30 Daños por deterioro del concreto y corrosión del acero. (DE-DICYG, 2018)



Figura 3.31 Daños por corrosión del acero debido a escurrimientos pluviales y falta de mantenimiento. (DE-DICYG, 2018)

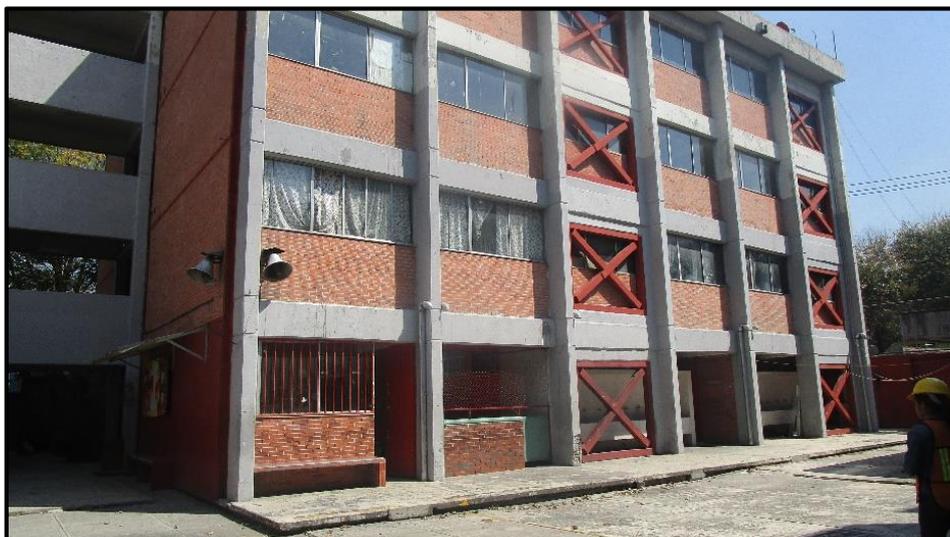


Figura 3.32 Refuerzo del edificio y asentamiento del cuerpo y del terreno circundante. (DE-DICYG, 2018)



Figura 3.33 Pilotes de control, sin evidencias de mantenimiento. (DE-DICYG, 2018)



Figura 3.34 Pérdida de recubrimiento y corrosión del acero en la base de la columna del eje D. (DE-DICYG, 2018)

Cubo de escaleras

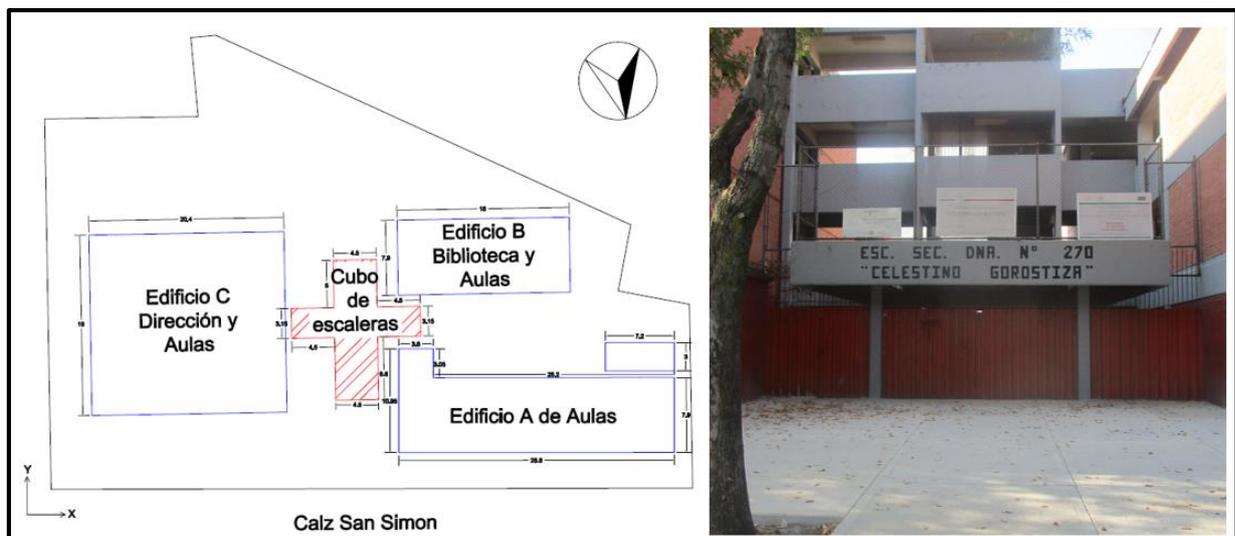


Figura 3.35 Identificación y vista del cubo de escaleras. (DE-DICYG, 2018)



Figura 3.36 Daños por deterioro del concreto y corrosión del acero en la columna B4 (columna 32). (DE-DICYG, 2018)



Figura 3.37 Deterioro del concreto y corrosión del acero en muro. (DE-DICYG, 2018)



Figura 3.38 Deterioro del concreto, pérdida de recubrimiento en juntas constructivas y corrosión del acero debido a escurrimientos pluviales y movimientos relativos entre cuerpos. (DE-DICYG, 2018)



Figura 3.39 Pérdida de recubrimiento y corrosión en el acero, en pretiles. (DE-DICYG, 2018)

- Bardas perimetrales



Figura 4.40 Daños en bardas por asentamientos diferenciales o desplomos. (DE-DICYG, 2018)

A continuación se presentan las principales afectaciones en este plantel, así como las recomendaciones pertinentes para su reparación:

Edificio A (Aulas)

- Daños preexistentes por falta de mantenimiento, en la escalera metálica de emergencia. Se requiere limpieza y pintura para evitar deterioro y corrosión.
- Deterioro del concreto y pérdida de recubrimiento debida a la corrosión del acero, por lo que se recomienda dar mantenimiento al faldón de concreto de la losa de la azotea en la fachada, para evitar deterioro mayor en la estructura producto de escurrimientos pluviales.

Edificio B (Biblioteca y Aulas)

- Daños preexistentes menores por falta de mantenimiento.
- Se apreciaron pequeñas fisuras en las trabes que soportan la losa de azotea sobre el pasillo, por efecto de cargas gravitacionales o escaso recubrimiento de estribos. No se consideran críticas, hay que resanarlas y pintarlas.
- No se observaron daños en la estructura.

Edificio C (Dirección y Aulas)

- Estructura reforzada después del sismo de 1985 a base de contraventeos metálicos.
- Se observó pérdida de recubrimiento de concreto y corrosión en el acero de refuerzo en la base de algunas columnas adyacentes al jardín, causado por la humedad de la zona desde su construcción. Es necesario evaluar al grado de afectación (corrosión) del acero de refuerzo y, de ser necesario, reforzar las columnas. Para ello se requiere retiro de concreto dañado y limpieza del acero.
- El recubrimiento del faldón de concreto en la azotea se encuentra severamente deteriorado y a punto de desprenderse.
- Se encontraron algunas fisuras en muros diafragma, colocados como parte del reforzamiento.
- La barda adyacente al edificio presenta un patrón de agrietamiento asociado al asentamiento del suelo. La zona afectada del muro, es estable y puede ser reparada.
- Debido a fallas en la instalación eléctrica provocadas por las filtraciones de agua en la azotea, los salones del cuarto piso se encuentran fuera de servicio. El problema de las filtraciones también ha causado deterioro en la losa de azotea y en sus acabados. Es un área que no se encuentra en uso.
- Daño ligero en bardas, desplome en la esquina sureste del edificio, que sería recomendable monitorear.

Cubo de escaleras.

- La columna B4 (Columna 32) presenta un nivel importante de deterioro en el recubrimiento de concreto que ha causado corrosión en el acero de refuerzo el cual se encuentra expuesto en la unión con la trabe del eje 4 en todos los niveles. Por lo anterior, se deberá revisar con mayor detalle la condición estructural de este elemento para evaluar el grado de corrosión que presenta el acero de refuerzo y la posible reducción de su resistencia. Ello implica retirar el concreto dañado y limpiar el acero, para tomar decisiones sobre su posible reforzamiento.
- Daños preexistentes por falta de mantenimiento, pérdida de recubrimiento y acero expuesto en los muros de concreto de la fachada y en los pretilos de las escaleras, que es necesario reparar para mitigar su deterioro.
- La estructura del cubo presenta un ligero desplome estimado en 1% hacia el sur, tendiendo a recargarse en el edificio B. Los responsables del plantel mencionaron que la

estructura del cubo tiene pilotes de control, lo cual podría ayudar a nivelarla, en caso de que este comportamiento evolucione.

Calificación de la magnitud de los daños

Una vez que se han analizado los daños en el plantel, se manejó una cédula adicional, en la que se requiere emitir una calificación de la magnitud de los daños post-sísmicos del edificio o cuerpos inspeccionados.

La escala del daño al que se refiere la cédula se dividió en los siguientes niveles:

- Daño menor: el cuerpo presenta daños ligeros en algunos elementos estructurales que no comprometen la seguridad de la estructura.
- Reconstrucción parcial: los daños encontrados en elementos estructurales, son moderados y requieren reparación, restitución y/o reforzamiento.
- Reconstrucción total: el nivel de daño es grave y se pone en riesgo la seguridad estructural y de sus ocupantes, por lo que se recomienda la demolición del cuerpo.

Para el caso de estudio presentado anteriormente se asignaron las siguientes calificaciones:

- Edificio A Aulas. El cuerpo no tenía daño estructura, por lo que se califica como Daño Menor.
- Edificio B Biblioteca y Aulas. El cuerpo no tenía daño estructura, por lo que se califica como Daño Menor.
- Edificio C Dirección y Aulas. Reconstrucción parcial.
- Cubo de escaleras. Reconstrucción parcial.

En la fig. 3.41 se muestra el resumen de inspección de daños de la Escuela Secundaria Celestino Gorostiza

 INIFED INFRAESTRUCTURA EDUCATIVA	Cédula para la calificación de la magnitud de daños post-sísmicos de la infraestructura física educativa derivados del sismo ocurrido el 19 de septiembre de 2017.	 SENER	 COGEMER
RESPONSABLE DE BRIGADA: Ing. Octavio García Domínguez		CCT: 09DES0270A	
NOMBRE DEL PLANTEL: Celestino Gorostiza			
Integración del resultado de las Cédulas para la calificación de la magnitud de daños postsísmicos de los Edificios, bardas y otros cuerpos que conforman este Plantel:			
DAÑO MENOR	RECONSTRUCCIÓN PARCIAL	RECONSTRUCCIÓN TOTAL	Nombre del Edificio/cuerpo
Sin daño estructural			Edificio A-Aulas
DAÑO MENOR	RECONSTRUCCIÓN PARCIAL	RECONSTRUCCIÓN TOTAL	Nombre del Edificio/cuerpo
Sin daño estructural			Edificio B Biblioteca y Aulas
DAÑO MENOR	RECONSTRUCCIÓN PARCIAL	RECONSTRUCCIÓN TOTAL	Nombre del Edificio/cuerpo
	X		Edificio C-Dirección y Aulas
DAÑO MENOR	RECONSTRUCCIÓN PARCIAL	RECONSTRUCCIÓN TOTAL	Nombre del Edificio/cuerpo
	X		Cubo de escaleras
espacio para insertar el número de edificios/cuerpos que integren el plantel, incluyendo bardas, cubiertas de patios, modulos de baños, escaleras, etc.			
Derivado de cada una de las Cédulas para la calificación de la magnitud de daños postsísmicos de los Edificios, bardas y otros cuerpos que conforman este Plantel, se concluye que en su conjunto este requiere:			
DAÑO MENOR	RECONSTRUCCIÓN PARCIAL	RECONSTRUCCIÓN TOTAL	Nombre y firma del responsable de la brigada
	X		Ing. Octavio García Domínguez
Considerando <i>Plantel con Daño Menor</i> cuando los edificios que lo conforman hayan sido calificados con magnitud de daño insignificante y/o ligero.			
Considerando <i>Plantel con Reconstrucción Parcial</i> cuando los edificios que lo conforman hayan sido calificados con magnitud de daño moderado y/o severo.			
Considerando <i>Plantel con Reconstrucción Total</i> cuando todos los edificios que lo conforman hayan sido calificados con magnitud de daño muy grave.			
Con base en lo establecido en el último párrafo del numeral 16.2.7.2 de la Norma Mexicana NMX-R-079-SCFI-2015 "Escuelas-Seguridad Estructural de la Infraestructura Física Educativa-Requisitos", el INIFED deberá requerir de un dictamen llevado a cabo por un DRO y/o CSE, sólo en los casos en que los Planteles sean calificados con Reconstrucción Parcial que consideren alguna demolición y en todos los casos de los Planteles calificados con Reconstrucción Total; quedando exentos del dictamen referido los Planteles calificados con Reconstrucción Parcial en el que no se considere demolición y los Planteles calificados con Daño Menor.			

Figura 3.41 Resumen de inspección de daños de la Escuela Secundaria Celestino Gorostiza. (DE-DICYG, 2018)

Evaluación integral de la seguridad estructural

Posterior a la inspección estructural ocular detallada, en el caso de diagnosticar un posible daño estructural, se deberá realizar una evaluación integral de la seguridad estructural, para determinar la integridad y estabilidad del plantel o cuerpo inspeccionado. Razo, 2019, propone un método para la evaluación integral de la seguridad estructural que consiste en los siguientes pasos:

1. Revisión de la información técnica.
2. Inspección ocular.
3. Levantamiento geométrico.
4. Levantamiento topográfico.
5. Determinación de las propiedades mecánicas de los materiales.
6. Estudio geotécnico.
7. Estudios dinámicos.
8. Modelación y calibración del modelo estructural.
9. Análisis estructural.
10. Revisión de estados límite.

La participación de ingenieros civiles, geománticos y especialistas en cada una de las áreas y etapas de la evaluación, es indispensable para obtener un correcto diagnóstico de la seguridad estructural del plantel.

Análisis de resistencia lateral

En este apartado se realiza la evaluación de la resistencia lateral de la escuela secundaria Celestino Gorostiza, de acuerdo a las NTC-DS y las NEEPCI-DS-2014, comparando el coeficiente sísmico requerido por estas normas y el coeficiente sísmico obtenido del cociente entre la resistencia lateral a cortante del entrepiso basal y el peso total de la estructura.

Espectros de diseño

En las figuras 3.42 y 3.43 se observan los espectros de diseño según las NTC-DS-2004, NEEPCI-DS-2014 y NTC-DS-2017 respectivamente, en el caso del espectro de diseño de las NTC-DS-2017 se utilizó el software PRODIS.

En la tabla 3.1 se muestran los valores de los coeficientes sísmicos, de las respectivas normas para la zona III, donde se encuentra la escuela Celestino Gorostiza.

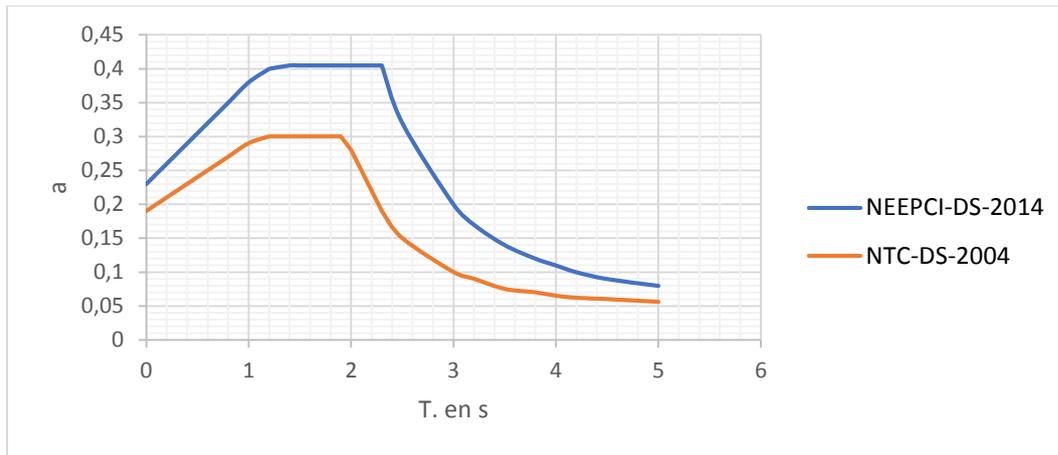


Figura 3.42 Espectro de diseño para la escuela Celestino Gorostiza, según las NTC-DS-2004 y las NEEPCI-DS-2014 (INIFED, 2014)

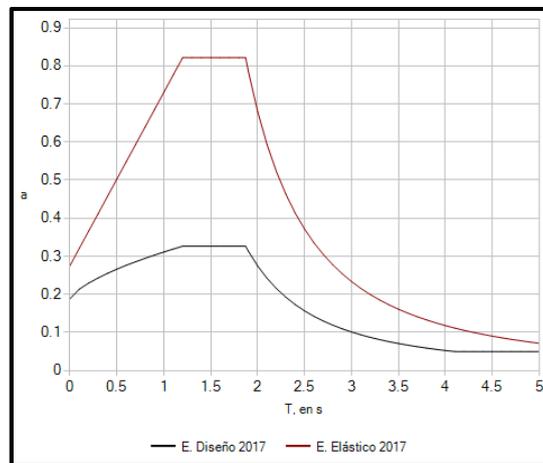


Figura 3.43. Espectro de diseño para la escuela Celestino Gorostiza, NTC-DS-2017. (SASID)

Tabla 3.1 Coeficientes sísmicos de las respectivas normas para la zona III donde se encuentra la escuela Celestino Gorostiza.

Reglamento	Zona	Factor de importancia	Coeficiente sísmico C_D		C_D reducido ($Q=2$)
			Estructura tipo B	Estructura tipo A	
1976	III	1.3	0.24	0.312	0.156
1987	III	1.5	0.4	0.6	0.3
2004	IIIa	1.5	0.4	0.6	0.3
2014	III	1.5	0.54	0.81	0.405
2017	III	1.3	0.251	0.326	0.326

Revisión rápida de la resistencia lateral

Una forma simple de evaluar la resistencia de una estructura, es mediante la obtención de la fuerza de cortante basal, ya que la estructura debió ser diseñada en su primer entrepiso para ser capaz de resistir esta fuerza.

- **Metodología (Torres Edwin, 2019)**
- ✓ Calcular el peso total del edificio (W_{TOTAL}) y área total de columnas de la planta baja (bd).
- ✓ Calcular el coeficiente sísmico asociado a la resistencia lateral que posee la estructura (CR)

$$C_R = \frac{V_{CR APROX}}{W_{TOTAL}}$$

- ✓ Comparar la resistencia lateral que posee la estructura (CR) respecto a la que teóricamente debería haber sido suministrada para cumplir con las normas de diseño (CD)

$$C_R/C_D$$

- **Caso de estudio Escuela Secundaria Celestino Gorostiza**

En el caso de la escuela Celestino Gorostiza desconocemos las cuantías de acero longitudinal y transversal en las columnas, por lo que se usará una expresión simplificada de la resistencia a corte para la estimación de la resistencia lateral y se realizará la comparación entre los coeficientes sísmicos de diseño de las normas con el coeficiente sísmico asociado a la resistencia lateral que posee la estructura.

En el caso de los cuerpos de la escuela Celestino Gorostiza, se consideró el área nominal de la sección transversal de las columnas, ya que no se tiene información sobre el deterioro de los elementos y propiedades de los materiales. Para obtener resultados más confiables, será necesario realizar pruebas destructivas y no destructivas que permitan conocer estas propiedades y estimar un nivel de deterioro en los elementos.

Edificio A (Aulas)

Para el peso propio del edificio, se determinó el peso de cada elemento estructural y no estructural, incluyendo instalaciones y acabados, como se muestra en las siguientes tablas.

Nivel	Elementos	Área Unit. [m ²]	Cantidad	Área [m ²]	Espesor [m]	h o Long [m]	Volumen [m ³]	Peso volumétrico [Ton/m ³]	W [Ton]
Nivel 1	Columnas	0.2	20	4.8	-	2.85	13.68	2.4	32.83
	Muros 1	22.5	9	202.635	0.12	2.85	24.3162	1.6	38.91
	Muros 2	5.1	16	82.08	0.12	1.425	9.8496	1.6	15.76
	Vigas 1	0.2	9	2.16	-	7.9	17.064	2.4	40.95
	Vigas 2	0.2	16	3.84	-	3.60	13.824	2.4	33.18
	Losa	238.5	1	238.5	0.11	-	26.235	2.4	62.96
Nivel 2	Columnas	0.2	20	4.8	-	3.03	14.544	2.4	34.91
	Muros 1	22.5	9	202.635	0.12	3.03	24.3162	1.6	38.91
	Muros 2	5.1	16	82.08	0.12	1.515	9.8496	1.6	15.76
	Vigas 1	0.2	9	2.16	-	7.9	17.064	2.4	40.95
	Vigas 2	0.2	16	3.84	-	3.60	13.824	2.4	33.18
	Losa	238.5	1	238.5	0.11	-	26.235	2.4	62.96
Nivel 3	Columnas	0.2	20	4.8	-	3.03	14.544	2.4	34.91
	Muros 1	22.5	9	202.635	0.12	3.03	24.3162	1.6	38.91
	Muros 2	5.1	16	82.08	0.12	1.515	9.8496	1.6	15.76
	Vigas 1	0.2	9	2.16	-	7.9	17.064	2.4	40.95
	Vigas 2	0.2	16	3.84	-	3.60	13.824	2.4	33.18
	Losa	238.5	1	238.5	0.11	-	26.235	2.4	62.96

Peso	[Kg/m ²]	[m ²]	[Kg]
Instalaciones	20	238.5	4770
Acabado	15	238.5	3577.5

Nivel	Cargas Muerta [Ton]			CV acc Escuela [Ton]	Peso/ Nivel [Ton]
	PP	Inst.	Acab.		
Nivel 1	224.59	4.77	3.5775	42.93	275.87
Nivel 2	226.67	4.77	3.5775	42.93	277.94
Nivel 3	226.67	4.77	3.5775	42.93	277.94

$$W_{TOTAL} = 831.76 \text{ [Ton]}$$

Los coeficientes de diseño (C_D) utilizados por las normas de 1976 a 2017, para el D.F, y de las NEEPCI-DS-2014 del INIFED, se presentan en la siguiente tabla:

Norma	RCDF NTC			NEEPCI	NTC
	1976	1987	2004	2014	2017
Coeficiente de Diseño C_D	0.156	0.3	0.3	0.405	0.326

A continuación se describe el cálculo del coeficiente sísmico asociado a la resistencia lateral que posee la estructura:

$$\text{Área total de columnas de PB, } bd = 48000 [\text{cm}^2]$$

Para obtener la resistencia aproximada a corte en la planta baja (resistencia lateral mínima esperada) se realizaron las siguientes consideraciones:

$$f'c = 200 \left[\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \right]$$

$$f^*c = 0.8f'c = 0.8 * 200 \left[\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \right] = 160 \left[\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \right]$$

En la siguiente tabla se presentan las ecuaciones utilizadas por las normas, antes mencionadas, para determinar la capacidad a cortante de elementos de concreto y los resultados obtenidos.

Norma	RCDF NTC			NEEPCI	NTC
	1976	1987	2004	2014	2017
$V_{CR \text{ APROX}}$	$0.5F_R db \sqrt{f^*c}$				$0.5F_R db \sqrt{f'c}$

	$0.5 * 1 * 48000[cm^2] \sqrt{160 \left[\frac{kg}{cm^2} \right]}$	$0.5 * 48000[cm^2] \sqrt{200 \left[\frac{kg}{cm^2} \right]}$
$V_{CR \text{ APROX}} [kg]$	303578.66 [kg]	339411.25 [kg]
$V_{CR \text{ APROX}} [Ton]$	303.58 [Ton]	339.41 [Ton]

Con base en los resultados anteriores, en la siguiente tabla se presenta el valor del coeficiente sísmico asociado a la resistencia lateral que posee la estructura del cuerpo A, en su entrepiso basal, (C_R). En esta tabla se puede observar que para las normas anteriores la resistencia a cortante y por ende el coeficiente sísmico antes mencionado, es menor que el correspondiente a las NTC-2017. Este incremento se explica debido a que en la normatividad actual la resistencia a cortante es función del f'_c y no del f^*_c .

$$C_R = \frac{V_{CR \text{ APROX}}}{W_{TOTAL}}$$

Norma	RCDF NTC			NEEPCI	NTC
	1976	1987	2004	2014	2017
C_R	0.365				0.408

Asumiendo que la capacidad lateral de la estructura es función del coeficiente sísmico asignado por la norma, se puede hacer una comparación de la resistencia lateral que posee la estructura respecto a la que teóricamente debería haber sido suministrada para cumplir con dichas normas. Lo anterior se puede ver fácilmente realizando el cociente entre los coeficientes antes mencionados.

Relación entre coeficientes sísmicos C_R/C_D , con $C_R=0.408$ (obtenido a partir de las NTC-2017).

- Con el reglamento de 1976, cumple.

$$\frac{C_R}{C_D} = \frac{0.408}{0.156} = 2.616$$

- Con los reglamentos de 1987 y 2004 de las NTC DF, cumple.

$$\frac{C_R}{C_D} = \frac{0.408}{0.30} = 1.360$$

- Con el reglamento del INIFED 2004, cumple.

$$\frac{C_R}{C_D} = \frac{0.408}{0.405} = 1.008$$

- Con el reglamento de 2017, cumple.

$$\frac{C_R}{C_D} = \frac{0.408}{0.326} = 1.252$$

De los resultados obtenidos, se observa que el coeficiente resistente C_R obtenido a partir de las NTC del 2017, es superior al coeficiente de diseño C_D que marcan las distintas versiones de las NTC-DS consideradas. A la luz de los resultados obtenidos y con base en las hipótesis y consideraciones que se emplearon para estos cálculos, la estructura posee una resistencia lateral, superior a la demandada por la normatividad empleada en su diseño (RCDF-1976), así mismo su capacidad lateral cumple con las normas posteriores, incluyendo las NEEPCI-DS-2014, del INIFED, la cual es la más estricta para este caso.

En la tabla siguiente se presentan los resultados anteriores en función de la fuerza cortante resistente en la planta baja y la demandada por las normas:

Norma	RCDF NTC			NEEPCI	NTC
	1976	1987	2004	2014	2017
Coeficiente de Diseño C_D	0.156	0.3	0.3	0.405	0.326
$V_{CR \text{ APROX}}$ [Ton]	303.58 [Ton]				339.41 [Ton]
V_0	$V_0 = C_S W_i = C_D W_i$ $V_0 = 0.156 * 831.76[\text{Ton}]$				$V_0 = C_S W_i = C_D W_i$ $V_0 = 0.326 * 831.76[\text{Ton}]$
V_0 [Ton]	129.75 [Ton]				271.15 [Ton]

Relación entre $V_{CR \text{ APROX}}/V_0$, con $V_{CR \text{ APROX}}=339.41$ [Ton] (obtenido a partir de las NTC-2017).

- Con los reglamentos de 1976, 1987 y 2004 de las NTC DF y 2014 del INIFED, cumple.

$$\frac{V_{CR \text{ APROX}}}{V_0} = \frac{339.41[\text{Ton}]}{129.75[\text{Ton}]} = 2.616$$

- Con las NTC de 2017, cumple.

$$\frac{V_{CR \text{ APROX}}}{V_0} = \frac{339.41[\text{Ton}]}{271.15[\text{Ton}]} = 1.2517$$

En el caso de la capacidad de resistencia lateral, este edificio supera la capacidad de resistencia lateral mínima estipulada en las normas.

La revisión realizada para el cuerpo A, se reproduce para los cuerpos B, C y Cubo de escaleras, los cuales se presentan a continuación.

Edificio B (Biblioteca y aulas)

Peso propio del edificio:

Nivel	Elementos	Área Unit. [m ²]	Cantidad	Área [m ²]	Espesor [m]	h o Long [m]	Volumen [m ³]	Peso volumétrico [Ton/m ³]	W [Ton]
Nivel 1	Columnas	0.2	12	2.88	-	2.85	8.208	2.4	19.70
	Muros 1	22.5	6	135.09	0.12	2.85	16.2108	1.6	25.94
	Muros 2	5.1	10	51.3	0.12	1.425	6.156	1.6	9.85
	Vigas 1	0.2	6	1.44	-	7.9	11.376	2.4	27.30
	Vigas 2	0.2	10	2.4	-	3.60	8.64	2.4	20.74
	Losa	142.2	1	142.2	0.11	-	15.642	2.4	37.54
Nivel 2	Columnas	0.2	12	2.88	-	3.03	8.7264	2.4	20.94
	Muros 1	22.5	6	135.09	0.12	3.03	16.2108	1.6	25.94
	Muros 2	5.1	10	51.3	0.12	1.515	6.156	1.6	9.85
	Vigas 1	0.2	6	1.44	-	7.9	11.376	2.4	27.30
	Vigas 2	0.2	10	2.4	-	3.60	8.64	2.4	20.74
	Losa	142.2	1	142.2	0.11	-	15.642	2.4	37.54
Nivel 3	Columnas	0.2	12	2.88	-	3.03	8.7264	2.4	20.94
	Muros 1	22.5	6	135.09	0.12	3.03	16.2108	1.6	25.94
	Muros 2	5.1	10	51.3	0.12	1.515	6.156	1.6	9.85
	Vigas 1	0.2	6	1.44	-	7.9	11.376	2.4	27.30
	Vigas 2	0.2	10	2.4	-	3.60	8.64	2.4	20.74
	Losa	142.2	1	142.2	0.11	-	15.642	2.4	37.54

Peso	[Kg/m ²]	[m ²]	[Kg]
Instalaciones	20	142.2	2844
Acabado	15	142.2	2133

Nivel	Cargas Muerta [Ton]			CV acc Escuela [Ton]	Peso/ Nivel [Ton]
	PP	Inst.	Acab.		
Nivel 1	141.07	2.844	2.133	25.596	171.64
Nivel 2	142.31	2.844	2.133	25.596	172.88
Nivel 3	142.31	2.844	2.133	25.596	172.88

$$W_{TOTAL} = 517.40$$

$$\text{Área total de columnas de PB, } bd = 28,800 [\text{cm}^2]$$

Para obtener la resistencia aproximada a corte en la planta baja (resistencia lateral mínima esperada) se realizaron las siguientes consideraciones:

$$f'c = 200 \left[\frac{kg}{cm^2} \right]$$

$$f^*c = 0.8f'c = 0.8 * 200 \left[\frac{kg}{cm^2} \right] = 160 \left[\frac{kg}{cm^2} \right]$$

En la siguiente tabla se presentan los coeficientes de diseño utilizados por las normas (C_D) de 1976 a 2017, para el D.F y los resultados de: la capacidad a cortante de elementos de concreto coeficiente sísmico asociado a la resistencia lateral que posee la estructura del cuerpo B, en su entrepiso basal, (C_R), y el cociente entre los coeficientes sísmicos C_R y C_D, con C_R=0.394

(obtenido a partir de las NTC-2017) para hacer una comparación de la resistencia lateral que posee la estructura respecto a la que teóricamente debería haber sido suministrada para cumplir con dichas normas.

Norma	RCDF NTC			NEEPCI	NTC
	1976	1987	2004	2014	2017
Coefficiente de Diseño C_D	0.156	0.3	0.3	0.405	0.326
$V_{CR \text{ APROX}}$ [kg]	182147.19 [kg]				203646.75 [kg]
$V_{CR \text{ APROX}}$ [Ton]	182.15 [Ton]				203.65 [Ton]
$C_R = V_{CR \text{ APROX}}/W_{TOTAL}$	0.352				0.394
* C_R/ C_D	2.523	1.312	1.312	0.972	1.207
¿Cumple?	Si	Si	Si	No	Si

* $C_R=0.394$

De los resultados obtenidos, se observa que el coeficiente resistente C_R obtenido a partir de las NTC del 2017, es superior al coeficiente de diseño C_D que marcan las NTC-DS anteriores, es decir, se utilizó un coeficiente sísmico mayor al que se establecía en las normas de 1976, sin embargo, para las NEEPCI-DS-2014 del INIFED, la cual es la más estricta para este caso, no cumple.

En la tabla siguiente se presentan los resultados anteriores en función de la fuerza cortante resistente en la planta baja y la demandada por las normas:

Norma	RCDF NTC			NEEPCI	NTC
	1976	1987	2004	2014	2017
Coefficiente de Diseño C_D	0.156	0.3	0.3	0.405	0.326
$V_{CR \text{ APROX}}$ [Ton]	182.15 [Ton]				203.65 [Ton]
V_0	$V_0 = C_S W_i = C_D W_i$ $V_0 = 0.156 * 517.40$ [Ton]				$V_0 = C_S W_i = C_D W_i$ $V_0 = 0.326 * 517.40$ [Ton]
V_0 [Ton]	80.715[Ton]				168.673 [Ton]
* $V_{CR \text{ APROX}}/ V_0$	2.523				1.207
¿Cumple?	Si				Si

* $V_{CR \text{ APROX}}=203.647$ [Ton]

En el caso de la capacidad de resistencia lateral, este edificio supera la capacidad de resistencia lateral mínima estipulada en las normas actuales y anteriores.

Edificio C (Dirección y aulas)

Peso propio del edificio:

Nivel	Elementos	Área Unit. [m ²]	Cantidad	Área [m ²]	Espesor [m]	h o Long [m]	Volumen [m ³]
Nivel 1	Columnas 1	0.2	14	2.1	-	2.85	5.985
	Columnas 2	0.1	14	1.225	-	2.85	3.49125
	Muros 1	22.5	14	315.21	0.12	2.85	37.8252
	Muros 2	4.8	14	67.83	0.12	1.425	8.1396
	Vigas 1	0.2	14	2.1	-	7.9	16.59
	Vigas 2	0.2	28	4.2	-	3.40	14.28
	Losa	387.6	1	387.6	0.11	-	42.636
Nivel 2	Columnas 1	0.2	14	2.1	-	3.03	6.363
	Columnas 2	0.1	14	1.225	-	3.03	3.71175
	Muros 1	22.5	14	315.21	0.12	3.03	37.8252
	Muros 2	4.8	14	67.83	0.12	1.515	8.1396
	Vigas 1	0.2	14	2.1	-	7.9	16.59
	Vigas 2	0.2	28	4.2	-	3.40	14.28
	Losa	387.6	1	387.6	0.11	-	42.636
Nivel 3	Columnas 1	0.2	14	2.1	-	3.03	6.363
	Columnas 2	0.1	14	1.225	-	3.03	3.71175
	Muros 1	22.5	14	315.21	0.12	3.03	37.8252
	Muros 2	4.8	14	67.83	0.12	1.515	8.1396
	Vigas 1	0.2	14	2.1	-	7.9	16.59
	Vigas 2	0.2	28	4.2	-	3.4	14.28
	Losa	387.6	1	387.6	0.11	-	42.636
Nivel 4	Columnas 1	0.2	14	2.1	-	3.03	6.363
	Columnas 2	0.1	14	1.225	-	3.03	3.71175
	Muros 1	22.5	14	315.21	0.12	3.03	37.8252
	Muros 2	4.8	14	67.83	0.12	1.515	8.1396
	Vigas 1	0.2	14	2.1	-	7.9	16.59
	Vigas 2	0.2	28	4.2	-	3.40	14.28
	Losa	387.6	1	387.6	0.11	-	42.636

Peso	[Kg/m ²]	[m ²]	[Kg]
Instalaciones	20	387.6	7752
Acabado	15	387.6	5814

Nivel	Cargas Muerta [Ton]			CV acc Escuela [Ton]	Peso/ Nivel [Ton]
	PP	Inst.	Acab.		
Nivel 1	272.70	7.752	5.814	69.768	356.04
Nivel 2	274.14	7.752	5.814	69.768	357.47
Nivel 3	274.14	7.752	5.814	69.768	357.47
Nivel 4	274.14	7.752	5.814	69.768	357.47

$$W_{TOTAL} = 1428.45 \text{ [Ton]}$$

Área total de columnas de PB, $bd=33250[\text{cm}^2]$

Resistencia aproximada a corte en la planta baja (resistencia lateral mínima esperada). Se realizaron las siguientes consideraciones:

$$f'c = 200 \left[\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \right]$$

$$f^*c = 0.8f'c = 0.8 * 200 \left[\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \right] = 160 \left[\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \right]$$

Norma	RCDF NTC			NEEPCI	NTC
	1976	1987	2004	2014	2017
Coefficiente de Diseño C_D	0.156	0.3	0.3	0.405	0.326
$V_{CR \text{ APROX}} [\text{kg}]$	210291.46 [kg]				235113.00 [kg]
$V_{CR \text{ APROX}} [\text{Ton}]$	210.29 [Ton]				235.11 [Ton]
$C_R = V_{CR \text{ APROX}}/W_{\text{TOTAL}}$	0.147				0.165
$*C_R/ C_D$	1.055	0.549	0.549	0.406	0.505
¿Cumple?	Si	No	No	No	No

$*C_R=0.165$

Con los resultados obtenidos, se observa que el coeficiente resistente C_R obtenido a partir de las NTC del 2017, es superior al coeficiente de diseño C_D que marca el RCDF-1976, mientras que para las normas posteriores a 1976 el C_D es menor, es decir, la estructura no cumple con las NTC de 1987 a 2017.

En la tabla siguiente se presentan los resultados anteriores en función de la fuerza cortante resistente en la planta baja y la demandada por las normas:

Norma	RCDF NTC			NEEPCI	NTC
	1976	1987	2004	2014	2017
Coefficiente de Diseño C_D	0.156	0.3	0.3	0.405	0.326
$V_{CR \text{ APROX}} [\text{Ton}]$	210.292 [Ton]				235.113 [Ton]
V_0	$V_0 = C_S W_i = C_D W_i$ $V_0 = 0.156 * 1428.45 [\text{Ton}]$				$V_0 = C_S W_i = C_D W_i$ $V_0 = 0.326 * 1428.45 [\text{Ton}]$
$V_0 [\text{Ton}]$	222.838 [Ton]				465.675 [Ton]
$*V_{CR \text{ APROX}}/ V_0$	1.055				0.505
¿Cumple?	Si				No

$*V_{CR \text{ APROX}}=235.113 [\text{Ton}]$

En el caso de la capacidad de resistencia lateral, este edificio no cuenta con la capacidad de resistencia lateral mínima estipulada en las normas de 2017.

Cubo de Escaleras

Peso propio del edificio:

Nivel	Elementos	Área Unit. [m ²]	Cantidad	Área [m ²]	Espesor [m]	h o Long [m]	Volumen [m ³]	Peso volumétrico [Ton/m ³]	W [Ton]
Nivel 1	Columnas 1	0.09	6	0.54	-	2.85	1.539	2.4	3.69
	Columnas 2	0.15	2	0.306	-	2.85	0.8721	2.4	2.09
	Columnas 3	0.06	4	0.25	-	2.85	0.7125	2.4	1.71
	Muros 1	14.3	2	28.5	0.12	2.85	3.42	2.4	8.21
	Vigas 1	0.1	2	0.18	-	14.75	2.655	2.4	6.37
	Vigas 2	0.1	8	0.72	-	4.50	3.24	2.4	7.78
	Losa	94.7	1	94.725	0.11	-	10.41975	2.4	25.01
Nivel 2	Columnas 1	0.09	6	0.54	-	3.03	1.6362	2.4	3.93
	Columnas 2	0.15	2	0.306	-	3.03	0.92718	2.4	2.23
	Muros 1	14.3	2	28.5	0.12	3.03	3.42	2.4	8.21
	Muros 2	6.8	4	27.27	0.12	1.515	3.2724	2.4	7.85
	Vigas 1	0.1	2	0.18	-	10.25	1.845	2.4	4.43
	Vigas 2	0.1	8	0.72	-	4.50	3.24	2.4	7.78
	Losa	74.5	1	74.475	0.11	-	8.19225	2.4	19.66
Nivel 3	Columnas 1	0.09	6	0.54	-	3.03	1.6362	2.4	3.93
	Columnas 2	0.15	2	0.306	-	3.03	0.92718	2.4	2.23
	Muros 1	14.3	2	28.5	0.12	3.03	3.42	2.4	8.21
	Muros 2	6.8	4	27.27	0.12	1.515	3.2724	2.4	7.85
	Vigas 1	0.1	2	0.18	-	10.25	1.845	2.4	4.43
	Vigas 2	0.1	8	0.72	-	4.5	3.24	2.4	7.78
	Losa	74.5	1	74.475	0.11	-	8.19225	2.4	19.66
Nivel 4	Columnas 1	0.09	6	0.54	-	3.03	1.6362	2.4	3.93
	Columnas 2	0.15	2	0.306	-	3.03	0.92718	2.4	2.23
	Muros 1	14.3	2	28.5	0.12	3.03	3.42	2.4	8.21
	Muros 2	6.8	4	27.27	0.12	1.515	3.2724	2.4	7.85
	Vigas 1	0.1	2	0.18	-	10.25	1.845	2.4	4.43
	Vigas 2	0.1	8	0.72	-	4.50	3.24	2.4	7.78
	Losa	74.5	1	74.475	0.11	-	8.19225	2.4	19.66

Nivel		1		2	
Peso	[Kg/m ²]	[m ²]	[Kg]	[m ²]	[Kg]
Instalaciones	20	94.725	1894.5	74.475	1489.5
Acabado	15	94.725	1420.875	74.475	1117.125

Nivel	Cargas Muerta [Ton]			CV acc Escuela [Ton]	Peso/ Nivel [Ton]
	PP	Inst.	Acab.		
Nivel 1	54.86	1.8945	1.420875	17.0505	75.23
Nivel 2	54.08	1.4895	1.117125	13.4055	70.09
Nivel 3	54.08	1.4895	1.117125	13.4055	70.09
Nivel 4	54.08	1.4895	1.117125	13.4055	70.09

$$W_{TOTAL} = 285.50 \text{ [Ton]}$$

$$\text{Área total de columnas de PB, bd} = 10960 \text{ [cm}^2\text{]}$$

Para obtener la resistencia aproximada a corte en la planta baja (resistencia lateral mínima esperada) se realizaron las siguientes consideraciones:

$$f'c = 200 \left[\frac{kg}{cm^2} \right]$$

$$f^*c = 0.8f'c = 0.8 * 200 \left[\frac{kg}{cm^2} \right] = 160 \left[\frac{kg}{cm^2} \right]$$

En la siguiente tabla se presentan los coeficientes de diseño utilizados por las normas (C_D) de 1976 a 2017, para el D.F y los resultados de: la capacidad a cortante de elementos de concreto coeficiente sísmico asociado a la resistencia lateral que posee la estructura del cuerpo del Cubo de escaleras, en su entrepiso basal, (C_R), y el cociente entre los coeficientes sísmicos C_R y C_D , con $C_R=0.271$ (obtenido a partir de las NTC-2017) para hacer una comparación de la resistencia lateral que posee la estructura respecto a la que teóricamente debería haber sido suministrada para cumplir con dichas normas.

Norma	RCDF NTC			INIFED	NTC
	1976	1987	2004	2014	2017
Coefficiente de Diseño C_D	0.156	0.3	0.3	0.405	0.326
$V_{CR \text{ APROX}} [kg]$	69317.13 [kg]				77498.90 [kg]
$V_{CR \text{ APROX}} [Ton]$	69.32 [Ton]				77.50 [Ton]
$C_R = V_{CR \text{ APROX}}/W_{TOTAL}$	0.243				0.271
* C_R / C_D	1.740	0.905	0.905	0.670	0.833
¿Cumple?	Si	No	No	No	No

* $C_R=0.271$

Con los resultados obtenidos, se observa que el coeficiente resistente C_R obtenido a partir de las NTC del 2017, es superior al coeficiente de diseño C_D que marca el RCDF-1976, mientras que para las normas posteriores a 1987 el C_D es menor, es decir, la estructura no cumple con las normas de 1987 a 2017.

En la tabla siguiente se presentan los resultados anteriores en función de la fuerza cortante resistente en la planta baja y la demandada por las normas:

Norma	RCDF NTC			INIFED	NTC
	1976	1987	2004	2014	2017
Coefficiente de Diseño C_D	0.156	0.3	0.3	0.405	0.326
$V_{CR \text{ APROX}} [Ton]$	69.32 [Ton]				77.50 [Ton]
V_0	$V_0 = C_S W_i = C_D W_i$ $V_0 = 0.156 * 285.50 [0Ton]$				$V_0 = C_S W_i = C_D W_i$ $V_0 = 0.326 * 285.50 [Ton]$
$V_0 [Ton]$	44.538 [Ton]				93.073 [Ton]
* $V_{CR \text{ APROX}} / V_0$	1.740				0.833
¿Cumple?	Si				No

* $V_{CR \text{ APROX}}=77.50 [Ton]$

En el caso de la capacidad de resistencia lateral, este edificio no cuenta con la capacidad de resistencia lateral mínima estipulada en las normas actuales.

Los resultados obtenidos son congruentes con lo que se observó en la escuela Celestino Gorostiza.

CAPÍTULO 4

PROPUESTAS CONCEPTUALES DE REFORZAMIENTO EN BASE A LA NORMATIVIDAD TÉCNICA DEL INSTITUTO NACIONAL DE LA INFRAESTRUCTURA FÍSICA EDUCATIVA (INIFED)



Control de calidad y supervisión de las reparaciones



Selección de los materiales, equipo, métodos de: preparación, limpieza y aplicación de los materiales



Procedimientos generales para la rehabilitación de estructuras (reparación, refuerzo, protección y mantenimiento)

4. PROPUESTAS CONCEPTUALES DE REFORZAMIENTO EN BASE A LA NORMATIVIDAD TÉCNICA DEL INSTITUTO NACIONAL DE LA INFRAESTRUCTURA FÍSICA EDUCATIVA (INIFED)

La intervención o rehabilitación estructural de los edificios es un asunto de vital importancia y urgente después de un sismo por lo que, sin tener los alcances y pretensiones de un manual, en el presente capítulo se ilustran diferentes estrategias y técnicas de intervención y rehabilitación de estructuras, según la normativa del INIFED, que se pueden aplicar en escuelas, con daños causados por sismos y agentes ambientales, como las localizadas en la Ciudad de México.

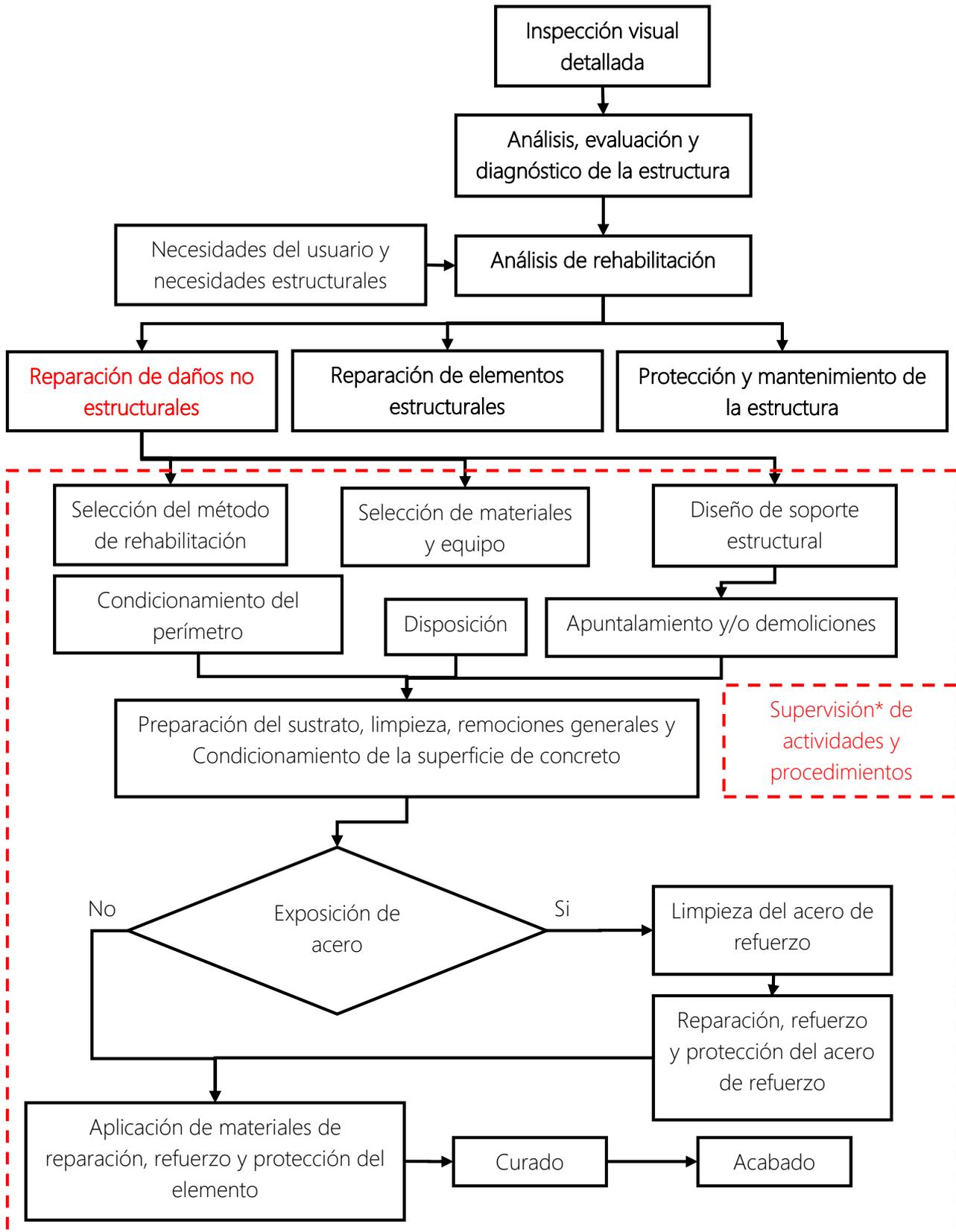
Requisitos de ejecución

De acuerdo a las Normas y especificaciones para estudios, proyectos, construcciones e instalaciones del INIFED, Volumen 7: Conservación; integrado por: Tomo I Envolvente, Tomo II Estructuras y Tomo III Instalaciones, para la ejecución de trabajos de mantenimiento y rehabilitación de la estructura se deben tener en cuenta los siguientes requisitos:

- Se verificará el estado físico de las edificaciones del inmueble educativo mediante una inspección visual, como se describe en el capítulo 3 de esta tesis.
- Determinar las causas del deterioro, extensión y nivel de daño de los elementos que conforman la estructura. Se debe verificar del cumplimiento de las normas vigentes mediante un análisis estructural.
- Evaluar, diagnosticar y determinar el tipo de intervención o método de reparación que se aplicara al elemento dañado.
- Antes de definir el tipo de intervención y técnicas a utilizar, se debe determinar el grado de daño del elemento, el método de ejecución, la selección de materiales adecuados para que el elemento reparado pueda alcanzar rápidamente la resistencia y mantenga su adherencia indefinidamente, así como que exista una compatibilidad entre la resistencia y rigidez de los materiales empleados con los materiales originales.
- Las obras de conservación se ejecutarán de acuerdo con lo fijado en el proyecto y/o lo ordenado por el contratante, conforme a las especificaciones e instructivos que en cada caso proporcionen los fabricantes y apruebe el propio contratante.
- Los trabajos de conservación se realizarán, preferentemente, sin interrumpir las labores propias que se desarrollen dentro de los edificios escolares. Las acciones se planearán con la debida anticipación teniendo en cuenta los períodos de receso escolar para su ejecución.

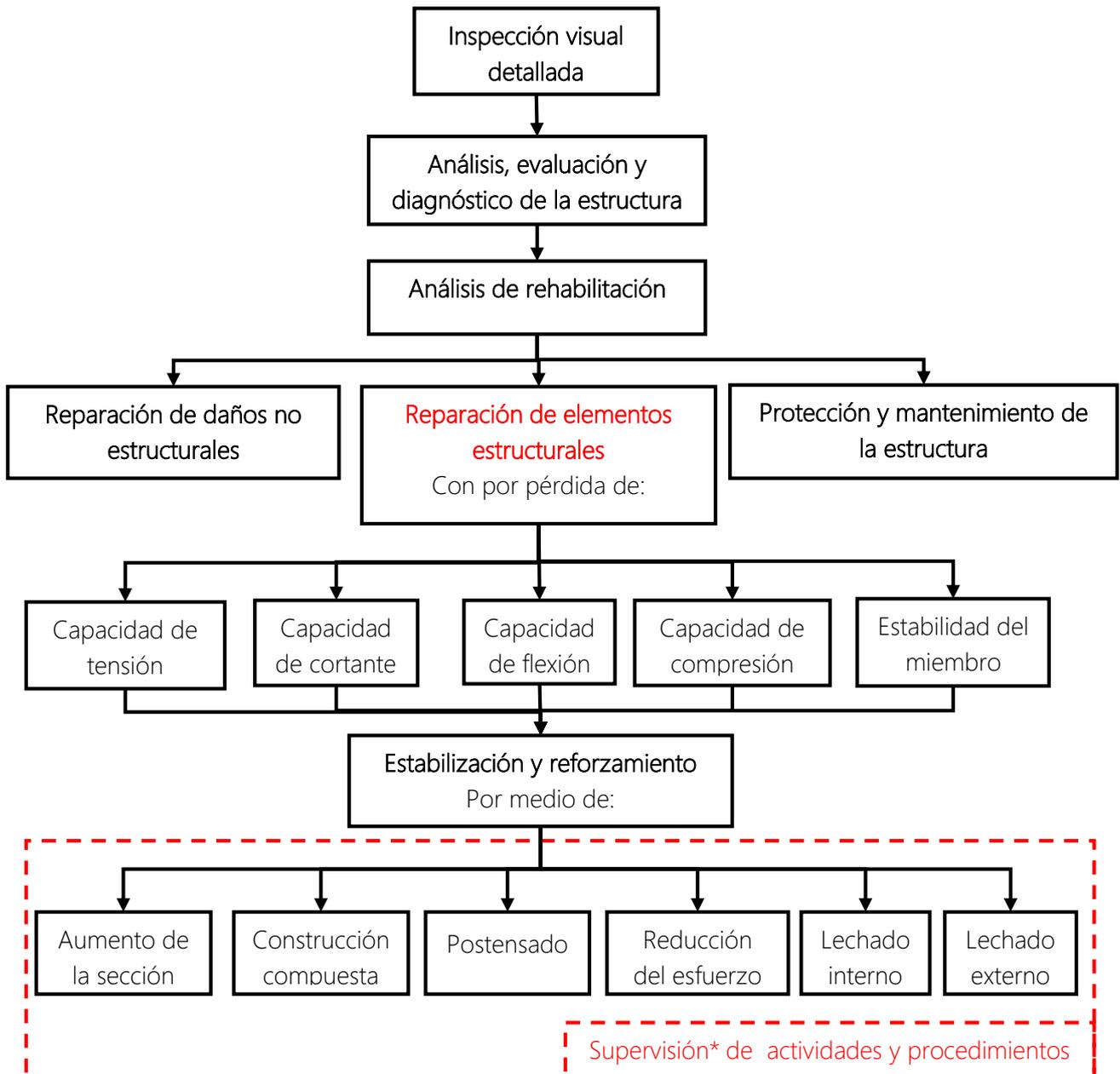
Reparación y refuerzo de estructuras

En las figs. 4.1 y 4.2 se muestran los diagramas de flujo de los procedimientos generales para la reparación de daños no estructurales y reparación de elementos estructurales respectivamente.



(*) Control de calidad por parte de personal capacitado y el residente de obra.

Figura 4.1 Diagrama de flujo de los procedimientos generales de reparación de superficies de la estructura



(*) Control de calidad por parte de personal capacitado y el residente de obra.

Figura 4.2 Diagrama de flujo del procedimiento de estabilización y reforzamiento de la estructura.

Contemplación de trabajos adicionales

Los procedimientos de reforzamiento, reparación y mantenimiento descritos en este capítulo, pueden o no contemplar trabajos adicionales, tales como apuntalamiento y/o demoliciones, limpieza, preparación del sustrato y reparaciones de los sistemas eléctricos, hidráulicos, etc. Queda a juicio del residente de obra considerar todas las reparaciones y actividades preliminares para la ejecución de los procesos de rehabilitación, así como modificaciones en los procesos.

Materiales

Según la normativa del INIFED, se puede hacer uso de los siguientes materiales:

- **Concretos:** El concreto de cemento portland es uno de los materiales más utilizados en reparaciones y refuerzos.
- **Morteros:** Se pueden utilizar de acuerdo a la dosificación según el tipo de problema patológico de la estructura y de las características de la zona a ser reparada.
- **Resinas:** Estas se pueden utilizar puras o combinadas con fibras, especialmente cuando en situaciones en que el concreto necesita ser modificado o donde su uso es inadecuado.
- **Aditivos:** Formulados para mejorar algunas de las propiedades de los concretos y morteros y pueden aplicarse en su estado fresco o endurecido. Considerándose como aditivo todo producto adicionado hasta un máximo de 5% en relación a la masa del cemento.
- **Hidrofugantes:** Pinturas y recubrimiento aplicados a las superficies de las estructuras de concreto destinadas a protegerlas e impermeabilizarlas.
- **Adhesivos y primarios:** Utilizados para mejorar la adherencia y unir otros materiales.

Tabla 5.1 Características y aplicaciones de materiales para reparación.

Material	Característica	Aplicación
Concreto	Elevado módulo de elasticidad, baja adherencia, resistencia y durabilidad variables	Reparaciones grandes
Aditivos aceleradores de endurecimiento	Aumenta la resistencia inicial del concreto y morteros	Reparaciones que requieren de un rápido descimbrado o necesidad de servicio rápido
Aditivo retardador	Permite mayor tiempo de manipulación de morteros y concretos	Reparaciones que requieren de una mayor manipulación, trabajosas y demoradas
Aditivo expansor mortero polimérico de base de concreto	Reducción de los efectos de contracción	Llenado de cavidades donde no se permite la contracción
Aditivo impermeabilizante	Reduce la absorción de agua por capilaridad	Morteros de revestimiento impermeabilizantes

Aditivo polimérico de base de cemento	Baja contracción o contracción compensada, buena adherencia, elevada resistencia y baja permeabilidad	Reparaciones superficiales y revestimiento de elementos estructurales de 5 y hasta 50 mm
Mortero base cemento	Contracción compensada, elevada resistencia, elevada adherencia, baja permeabilidad, flujo auto compactable o consistencia seca.	Reparaciones locales y revestimientos de elementos estructurales con espesores de 10 a 60 mm
Mortero de base epóxica	Tixotrópico, elevada resistencia a compresión, a la abrasión, a la acción de productos químicos, elevada adherencia al concreto	Reparaciones de elementos estructurales, pisos, tanques o de elevada resistencia química
Revestimiento monolítico laminado	Resistencia química elevada, alta capacidad de absorber movimientos y deformaciones estructurales	Revestimientos de tanques
Silicatación	Aumento de la dureza y disminución de la porosidad superficial	Pisos y superficies de concreto arquitectónico
Hidrofugantes	Elevada penetración en el sustrato, reduce la absorción de agua y penetración de cloruros	Concreto arquitectónico en interiores y exteriores
Barniz	Elevada adherencia al sustrato, reduce la penetración al CO ₂	Concreto arquitectónico en interiores y exteriores
Selladores	Buena adherencia y gran elasticidad	Juntas de dilatación o movimiento
Adhesivos	Requiere sustrato húmedo o seco	Unión de concreto nuevo con concreto viejo
Primer para acero de refuerzo	Requiere de acero de refuerzo seco y limpio, adhiere y protege las varillas	Protección contra corrosión

Equipo

En la normativa del INIFED los equipos que deben ser instalados en la obra (de forma permanente y/o que pasen a formar parte de la misma) no están especificados, por lo que los equipos estarán en función de los requisitos y criterios en la ejecución de las actividades de mantenimiento y rehabilitación.

Preparación del sustrato y limpieza de las superficies

La calidad final de la reparación o refuerzo de una estructura, será determinada en gran medida por los trabajos de limpieza y preparación del sustrato, es indispensable seleccionar el método adecuado para lograr una adherencia adecuada entre el material existente y el nuevo.

La preparación del sustrato comprende el conjunto de procedimientos los tratamientos previos de la superficie de los elementos estructurales, en las tablas 4.2 y 4.3 se clasifica y describen los procedimientos de preparación del sustrato. La información contenida en la tabla 4.3 fue obtenida de una revisión detallada de la bibliografía para la reparación de estructuras dañadas (Iglesias J. Jesús, Robles F.V. Francisco, De la Cera A. José y González C. Oscar M. 1985; Helene Paulo & Pereira Fernanda 2007; Peter H. Emmons 2005; Paulo R. do Lago Helene, 1997 e Instituto Chileno del Cemento y del Hormigón, 1985).

Tabla 4.2 Principales procedimientos de preparación del sustrato adecuados para concreto y acero (INIFED-V7-TII, 2014)

Preparación del sustrato	Concreto		Acero	
	superficie			
	Seca	Húmeda	Seca	Húmeda
Escarificación manual	Adecuado	Adecuado	Inadecuado	Inadecuado
Disco de desbaste	Adecuado	Adecuado	Aceptable	Aceptable
Escarificación mecánica	Adecuado	Adecuado	Inadecuado	Inadecuado
Demolición	Adecuado	Adecuado	Inadecuado	Inadecuado
Lijado manual o eléctrico	Inadecuado	Aceptable	Inadecuado	Aceptable
Cepillado manual	Adecuado	Aceptable	Adecuado	Aceptable
Pistola de agujas	Inadecuado	Inadecuado	Adecuado	Adecuado
Chorro de arena	Adecuado	Adecuado	Adecuado	Aceptable
Disco de corte	Aceptable	Adecuado	Adecuado	Adecuado

Tabla 4.3 Características de los principales procedimientos de preparación del sustrato

Preparación del sustrato	Usos más comunes	Equipo	Procedimiento
Escarificación manual	Preparación de pequeñas superficies y zonas de difícil acceso para equipos mayores	Puntero, cincel y mazo	Señalar el área a intervenir. Escarificar de afuera hacia adentro (no dejar zonas quebradizas o astilladas). No picar el acero de refuerzo. Retirar el material hasta dejar una superficie sana, rugosa y compacta que permita las

			mejores condiciones de adherencia.
Disco de desbaste	Preparación y de grandes superficies	Pulidora industrial con disco para desbaste de pisos.	Aplicar el disco sobre la superficie aprovechando el peso del propio equipo y efectuar desbaste en capas o pasadas cruzadas a 90°, cada vez, un espesor pequeño, manteniendo la uniformidad del espesor en toda la superficie.
Escarificación mecánica	Preparación de grandes superficies. Repicado.	Bujarda para taladro rotopercurtor. Máquina escarificadora para piso o Martillo cincelador neumático	Señalar el área a intervenir. Escarificar de afuera hacia adentro (no dejar zonas quebradizas o astilladas). No picar el acero de refuerzo.
Demolición	Preparación, demolición o excavación de grandes superficies	Martillo neumático. Máquina de molienda transportada por un tractor de cama baja y equipo para remover escombros (cargador, palas, cabezas y dientes de molienda)	Señalar el área a intervenir. Demoler o excavar la zona afectada, no dejar zonas quebradizas o astilladas. No picar el acero de refuerzo. Retirar el material hasta dejar una superficie sana, rugosa y compacta que permita las mejores condiciones de adherencia.
Lijado manual o eléctrico	Manual: Preparación de pequeñas superficies o barras de acero Eléctrico: Preparación de superficies de concreto o placas de acero	Manual: lijas para concreto o acero Eléctrico: Lijadora electromecánica con acople para disco de lija con adecuada protección.	Manual: Pulir la superficie manualmente, con movimientos circulares, eliminando todos los productos mal adheridos, en el caso del acero, se debe conseguir el "blanco metálico" Eléctrico: Pulir las superficies mediante movimientos circulares manteniendo la lija paralela al área de trabajo.
Cepillado manual	Preparación de pequeñas	Grata o cepillo con cerdas de acero.	Cepillar la superficie hasta remover completamente

	superficies y de difícil acceso. Remoción de la corrosión en barras de acero		todo material producto de corrosión y/o adherencias de material en mal estado, considerando como nivel óptimo el "blanco metálico"
Pistola de agujas	Remoción de corrosión o retiro de pinturas en elementos metálicos.	Pistola electromecánica de agujas. Compresor de aire (presión de 80 a 120 psi)	Recorrer la superficie afectada a medida que se desprenda la corrosión y pintura con la pistola electromecánica.
Chorro de arena	Preparación de grandes superficies de concreto y áreas angulosas	Compresor de aire, equipo de chorro de arena, abrasivo (arena), manguera para alta presión, boquilla direccional y agua.	Con la mezcla de agua y arena limpiar de arriba hacia abajo, moviendo en círculos la boquilla y manteniendo el chorro perpendicular a la superficie aplicada.
Disco de corte	Retiro de rebabas, delimitación del contorno del área de la preparación abertura de surcos y ranuras para el tratamiento de fisuras	Máquina de corte, con disco diamantado	Señalar el área a intervenir. Realizar el corte manteniendo el disco en posición ortogonal con relación a la superficie.

La limpieza de las superficies es entendida como el conjunto de procedimientos efectuados instantes antes de la aplicación de los materiales de recuperación, en las tablas 4.4 y 4.5 se clasifican y describen los procedimientos de limpieza del sustrato. La información contenida en la tabla 4.5 fue obtenida de una revisión detallada de la bibliografía para la reparación de estructuras dañadas (Iglesias J. Jesús, Robles F.V. Francisco, De la Cera A. José y González C. Oscar M. 1985; Helene Paulo & Pereira Fernanda 2007; Peter H. Emmons 2005; Paulo R. do Lago Helene, 1997 e Instituto Chileno del Cemento y del Hormigón, 1985).

Tabla 4.4 Procedimientos de limpieza del sustrato adecuados para concreto y acero (INIFED-V7-TII, 2014)

Limpieza	Concreto		Acero	
	superficie			
	Seca	Húmeda	Seca	Húmeda
Chorro de agua fría	Inadecuado	Adecuado	Inadecuado	Aceptable
Chorro de agua caliente	Inadecuado	Adecuado	Inadecuado	Aceptable
Vapor	Inadecuado	Adecuado	Inadecuado	Aceptable

Soluciones acidas	Inadecuado	Adecuado	Inadecuado	Inadecuado
Soluciones alcalinas	Inadecuado	Adecuado	Inadecuado	Adecuado
Remoción de aceites y grasas superficiales	Inadecuado	Inadecuado	Adecuado	Adecuado
Chorro de aire comprimido	Adecuado	Aceptable	Adecuado	Aceptable
Solventes volátiles	Adecuado	Adecuado	Inadecuado	Aceptable
Saturación con agua	Inadecuado	Inadecuado	Adecuado	Inadecuado
Aspiración al vacío	Adecuado	Inadecuado	Aceptable	Aceptable

Tabla 4.5 Características de los principales procedimientos de limpieza del sustrato

Preparación del sustrato	Usos más comunes	Equipo y herramienta	Procedimiento
Chorro de agua fría	Limpieza de grandes y pequeñas superficies	Equipo de trabajo pesado para limpieza con chorro de agua a alta presión (20.7 a 69 MPa)	Limpiar de arriba hacia abajo, moviendo en círculos la boquilla para remover partículas sueltas.
Chorro de agua caliente	Limpieza de grandes y pequeñas superficies contaminadas levemente con grasas, desincrustación de sales en el acero de refuerzo.	Manguera para alta presión, equipo tipo lava-a-chorro y salida direccional	Limpiar de arriba hacia abajo, moviendo en círculos la boquilla para remover partículas sueltas.
Vapor	Limpieza de grandes y pequeñas superficies contaminadas con impurezas orgánicas o minerales	Manguera para alta presión con aislante térmico, salida direccional y caldera para generar vapor	Limpiar de arriba hacia abajo, moviendo en círculos la boquilla para remover partículas sueltas.
Soluciones acidas	Limpieza de grandes y pequeñas superficies previo a la aplicación de selladores, recubrimientos, etc.	Contenedor para almacenar la solución ácida. Sistema aplicador de baja presión, rociador de plástico.	Saturar la estructura con agua limpia para evitar la penetración del ácido en el concreto sano. Preparar la solución conforme lo establezca la hoja técnica del producto. Aplicar la solución para remover la capa superficial

			de la pasta de cemento hasta exponer el agregado fino e inmediatamente después lavar con abundante agua.
Soluciones alcalinas	Limpieza de grandes superficies que contienen residuos ácidos impregnados, hongos y/o musgos	Brocha y cepillo, equipos industriales	Saturar la estructura con agua limpia para evitar la penetración de solución alcalina en el concreto sano. Aplicar la solución simultáneamente con el lavado de la estructura a una velocidad mayor a 300 rpm.
Remoción de aceites y grasas superficiales	Limpieza de superficies contaminadas con grasas y aceites	Maquina electromecánica, cepillos	Aplicar un removedor de grasas directamente en el área afectada, dejar actuar por 20 minutos, posteriormente lavar con cepillos y abundante agua
Chorro de aire comprimido	Eliminar el polvo después de otros procedimientos de preparación	Manguera de alta presión, compresor dotado con filtro de aire	Limpiar las oquedades de adentro hacia afuera, rellenarlas de papel y ejecutar la limpieza adyacente.
Solventes volátiles	Limpieza de grandes y pequeñas superficies previo a la aplicación de resinas de base epóxica	Acetona industrial, estopa y brocha	Aplicar la acetona industrial con ayuda de brochas y estopa, frotando para eliminar los contaminantes.
Saturación con agua	Tratamiento de superficies previo a la aplicación de morteros y concreto a base de cemento	Pulverizador, membrana de curado	Mantener inundado el elemento, desde 12 horas antes, previo a la aplicación del mortero o concreto, secar con estopa seca y sopar con aire.
Aspiración al vacío	Limpieza de superficies de concreto para recibir adhesivos que requieren sustratos secos	Aspirador de polvo industrial compacto	Aspirar colocando la boquilla de la manguera aprox. a 2mm de distancia de la superficie de concreto

Métodos de colocación

Para la selección del método de colocación del concreto, mortero o lechada, se debe considerar:

1. Material de reparación compatible con el material original del elemento.
2. Método de colocación que transporte adecuadamente el material hasta el sustrato del elemento, de forma que el material original y el nuevo tengan una adherencia óptima.
3. Verificación de la factibilidad del uso del material de reparación y el método seleccionado.

A continuación se enlistan las características de los métodos de aplicación, tabla 4.3, la información fue obtenida de una revisión detallada de la bibliografía para la reparación de estructuras dañadas (Iglesias J. Jesús, Robles F.V. Francisco, De la Cera A. José y González C. Oscar M. 1985; Helene Paulo & Pereira Fernanda 2007; Peter H. Emmons 2005; Paulo R. do Lago Helene, 1997 e Instituto Chileno del Cemento y del Hormigón, 1985).

Tabla 4.6 Características de los métodos de aplicación

Método de colocación	Usos más comunes	Equipo, herramientas y material	Procedimiento
Empaquetado seco	En reparaciones pequeñas y profundas, en posición vertical y/o horizontal sobrecabeza.	Martillo de goma o maceta, madera dura, material empaquetado seco colocado en capas, cimbras de restricción	Colocación del mortero de empaquetado seco en capas de máximo 3 cm. La compactación se realiza con un palo de madera dura para evitar el pulido de la superficie. Curado durante 7 días.
Cimbra y colado en el lugar	Reparaciones profundas, en superficies en posición vertical, horizontal sobrecabeza.	Carretilla o contenedores de concreto, vibrador, material de cimbrado	Colocar el material de reparación dentro del cimbrado (montado previamente) hasta su llenado; realizar el vibrado correspondiente. Curado durante 7 días.
Molde y bomba	Reparaciones profundas, en superficies en posición vertical, horizontal sobrecabeza.	Equipo de bombeo de concreto, vibrador, material de cimbrado	Colocar el material de reparación (por medio de bombeo) dentro del cimbrado (montado previamente) hasta su llenado; realizar el vibrado correspondiente. Curado durante 7 días.

Agregado precolado lechadeado	Reparaciones profundas, en superficies en posición vertical.	Equipo mezclador, bomba para el transporte, moldes previstos de niples de tubos y válvulas.	Colocar el agregado en la cavidad durante el montaje del molde con una relación de vacíos del 40 al 50%. Bombear la lechada a través de la conexión inferior, llenando los huecos inferiores, una vez que la lechada sale del tubo superior se cierra la válvula y se desconecta la bomba, conéctala al tubo superior y bombear hasta concluir con el llenado de toda la cavidad.
Concreto lanzado (seco)	Reparaciones profundas, en superficies en posición vertical, inclinadas, horizontal o sobrecabeza.	Mezcladora, Maquina para lanzado, compresor, equipos de acabado superficial	Utilizar guías de referencia para controlar el espesor de las capas, premezclar el aglomerante y agregados, el premezclado se transporta a través de la manguera con aire comprimido hasta la boquilla, equipada con un anillo para agua, donde el agua transportada y la mezcla se combinan, y se lanza el material sobre la superficie, el espesor de cada capa debe ser de máximo 15 cm, curar durante 7 días.
Concreto lanzado (húmedo)	Reparaciones profundas, en superficies en posición vertical, inclinadas, horizontal o sobrecabeza.	Mezcladora, Maquina para lanzado, compresor	Utilizar guías de referencia para controlar el espesor de las capas, premezclar el concreto sin aditivos aceleradores, el premezclado es transportado por la bomba a través de la manguera, hacia la boquilla, se puede combinar con otros aditivos, se combina con aire comprimido y se lanza el material sobre la superficie, el espesor de cada capa debe ser de máximo 15 cm, curar durante 7 días
Aplicación manual	Reparaciones superficies (evitar exposición de acero) en posición	Mezcladora, guantes, espátula o llana para	Aplicar la mezcla (dimensionalmente estable) manualmente (utilizando guantes)

	vertical, horizontal o sobrecabeza.	acabado superficial	y llana) sobre la superficie, apretando fuertemente Acabado superficial con llana.
Técnica de capas sobrepuestas y horizontales	Reparaciones superficiales generalizadas, en losas o plataformas de concreto	Mezcladora, Martillo neumático, fresa escarificadora, chorro de arena y agua para limpiar la superficie	Limpieza y preparación del sustrato (escarificado). Colocación de material de reparación, compactar intensamente si el material empleado es mortero de base cemento.

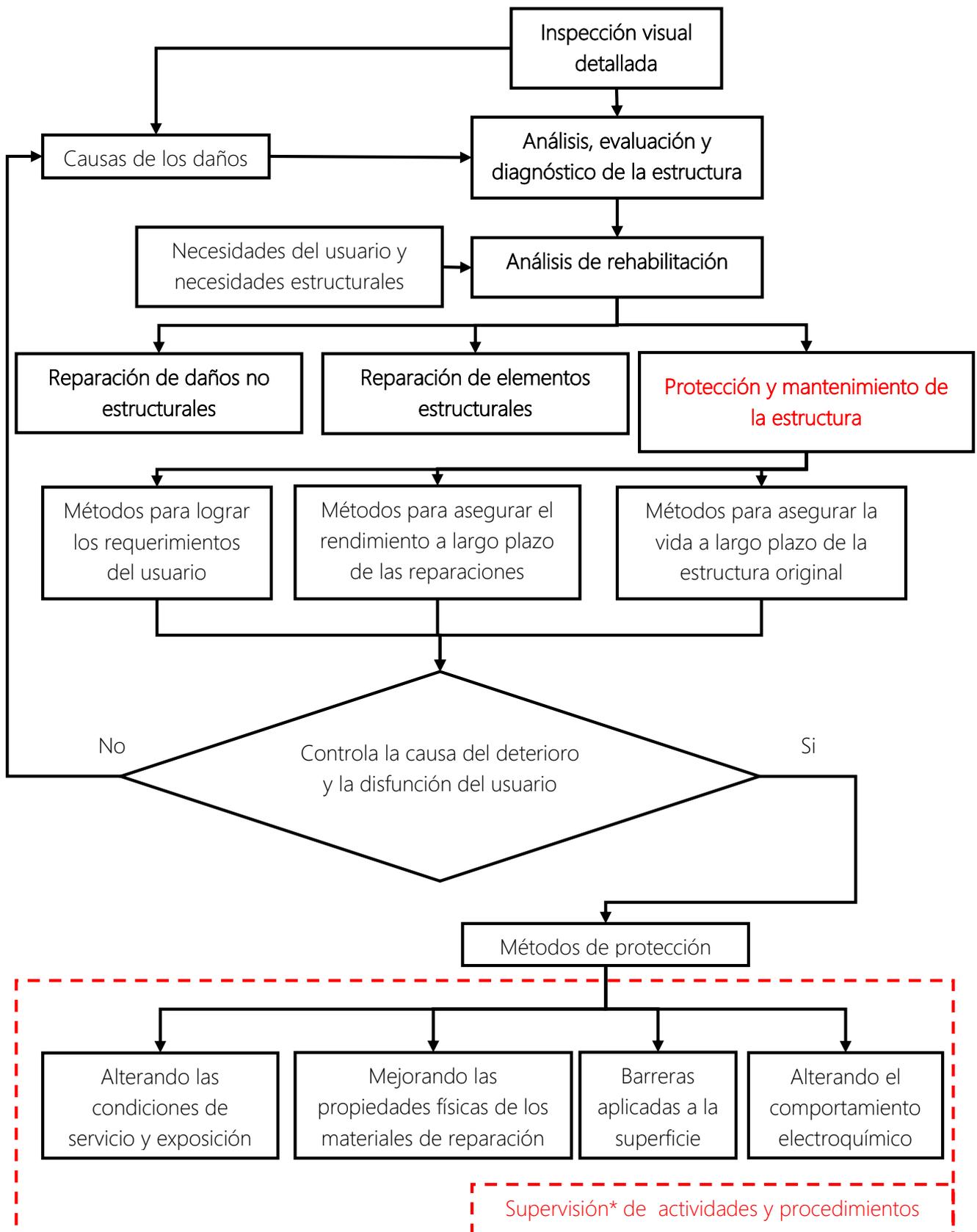
Protección y mantenimiento de estructuras

El mantenimiento puede definirse como los métodos de protección aplicados a estructuras que sirven para controlar las causas de deterioro, asegurando el adecuado desempeño de sus funciones durante la vida útil del edificio.

Como se mencionó en el capítulo 1, durante las inspecciones realizadas a escuelas de la CDMX gran porcentaje de los daños están asociados a la falta de mantenimiento de las estructuras ya que durante la vida útil de la estructura, los elementos que la conforman podrían ser susceptibles a los ataques medio ambientales y disminuir su desempeño, por lo que deberán recibir atención preventiva y correctiva para prolongar el buen estado del edificio. Las principales acciones de mantenimiento son por ataques de sulfatos a elementos de concreto y por corrosión del acero de refuerzo.

La protección y mantenimiento pueden aplicarse en cualquier momento de la construcción o durante la vida de la estructura; el mantenimiento preventivo se aplica para prever daños en la estructura y el mantenimiento correctivo es aquel que se emplea después de las manifestaciones patológicas en los elementos de concreto y/o acero.

En la fig. 5.3 se muestra un diagrama de flujo del procedimiento general de protección y mantenimiento de una estructura.



(*) Control de calidad por parte de personal capacitado y el residente de obra.

Figura 5.3 Diagrama de flujo de la estrategia de protección y mantenimiento de la estructura

Entre los principales métodos de protección se encuentran:

- Alterando las condiciones de servicio y exposición
- Mejorando las propiedades físicas de los materiales de reparación
- Barreras aplicadas a la superficie: La mayoría de los métodos de protección utilizan una barrera aplicada que aísla o modifica la condición agresiva de servicio, como los que se muestran en la tabla 5.1, aplicadas a superficies de concreto.

Tabla 5.1 Métodos de protección (barreras aplicadas a superficies de concreto)

Método	Uso típicos	Control
Impregnación	Cortinas contra cloruros y dióxido de carbono, protección por congelación y deshielo	
Recubrimiento	Barreras contra cloruros y dióxido de carbono barreras resistente a químicos, protección por congelación y deshielo y usos estéticos	Absorción de agua, transmisión del vapor, difusiones de líquidos y gases
Arreglo de superficie	Pisos resistentes a químicos y barreras contra carbonatación, absorción de energía	Humedad, absorción de líquidos, flujos de escurrimiento de superficie
Sello de juntas	Impermeabilización de grietas, juntas para pisos, absorción de energía	flujos de escurrimiento y vapor
Inyectado	Impermeabilización de grietas y juntas	flujos de escurrimiento y vapor

- Alterando el comportamiento electroquímico: por medio de protección catódica por corriente directa, sirve para controlar la corrosión del acero de refuerzo.

Control de calidad y supervisión de las reparaciones

En cualquiera de los casos anteriores y en todo proceso constructivo y de reparación se debe realizar una supervisión y verificación del proceso desde la inspección visual, hasta el refuerzo, reparación y/o mantenimiento de la estructura. En la evaluación de la calidad del diseño de una intervención, se debe analizar los siguientes puntos:

- Calidad de la concepción
- Justificación teórica
- Viabilidad técnica
- Costos
- Viabilidad administrativa
- Viabilidad ecológica

Se debe cumplir con:

- Calidad durante la identificación de daños, para elegir la mejor estrategia de reparación y/o refuerzo.
- Calidad de los materiales y sistemas, desde la selección y durante la adquisición del material (recibimiento en obra), almacenamiento y consumo.
- Control del gasto (consumo) de los materiales y sistemas, mediante el empleo de inventarios y estrategias de consumo.
- Calidad de los equipamientos de acuerdo al método a emplear para las reparaciones.
- Calidad durante la ejecución de la reparación, supervisión de los procesos de rehabilitación, la mano de obra que se utilice en la ejecución deberá ser especializada para el tipo de trabajo del que se trate.
- Calidad de la seguridad durante la reparación, mediante el uso del equipo de protección, correspondiente para cada actividad.
- Criterios de la seguridad de aceptación de la reparación, que serán planteados por el encargado del proceso.
- Funcionalidad de las reparaciones, comprobada con la verificación de la vida útil residual.

Procedimientos generales para la rehabilitación de estructuras

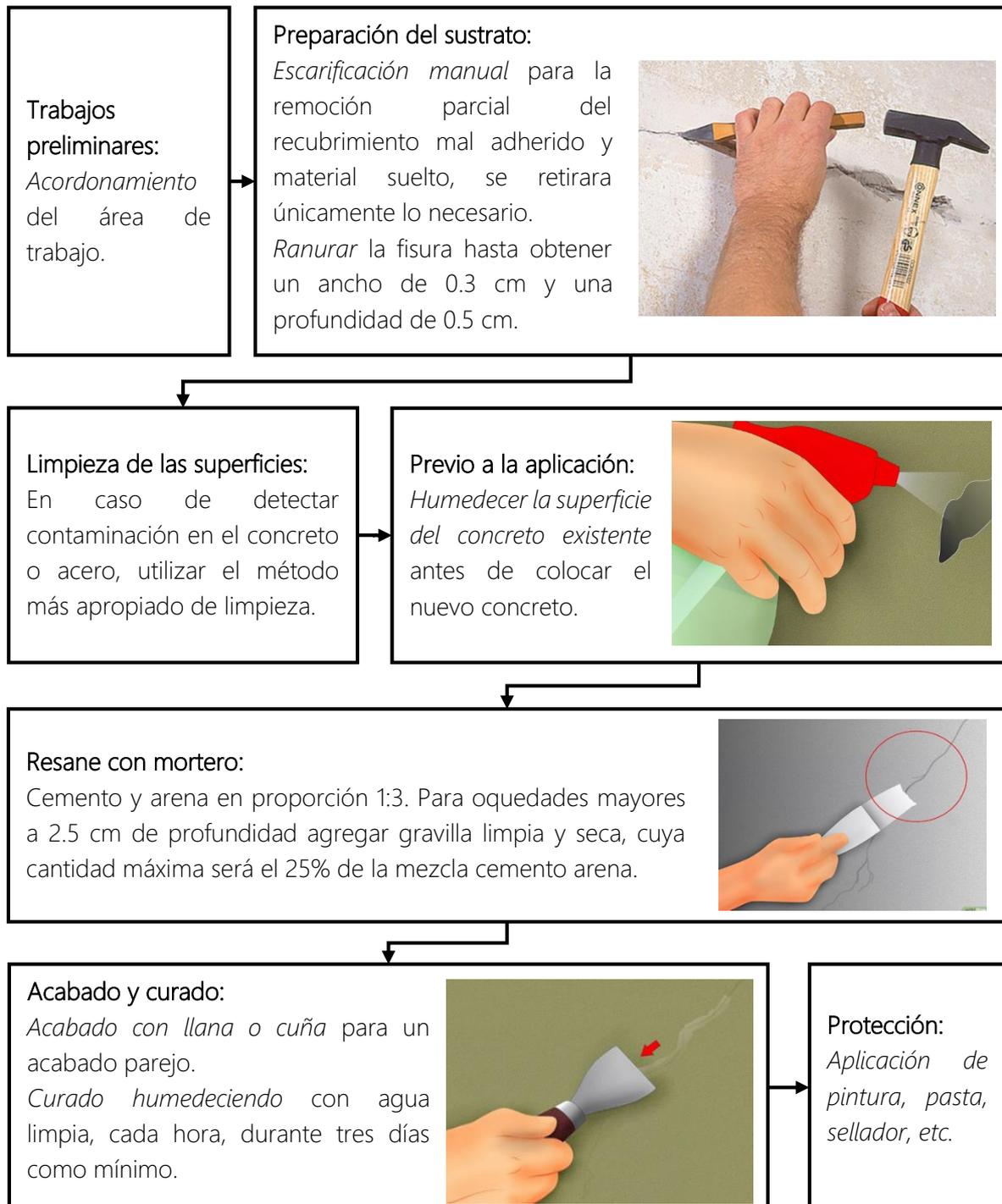
Algunos de los principales métodos para el reforzamiento frente a sismos se mencionaron anteriormente en el capítulo 1, sección 6, y tienen el fin de restaurar la resistencia original de los elementos estructurales y aumentar la ductilidad. En el caso de daños no estructurales, pero que interfieren en el funcionamiento y estética del edificio se debe realizar la reparación y mantenimiento correspondiente.

A continuación se presentan propuestas de procedimientos generales de reparación y refuerzo de estructuras, según los daños más comunes detectados en las inspecciones posteriores al sismo del 19S17 (descritas en el capítulo 1, sección 5), que podrán ser empleadas en la rehabilitación de escuelas, de la CDMX.

Reparaciones generales en elementos de concreto (losa, muros, columnas, trabes, bardas)

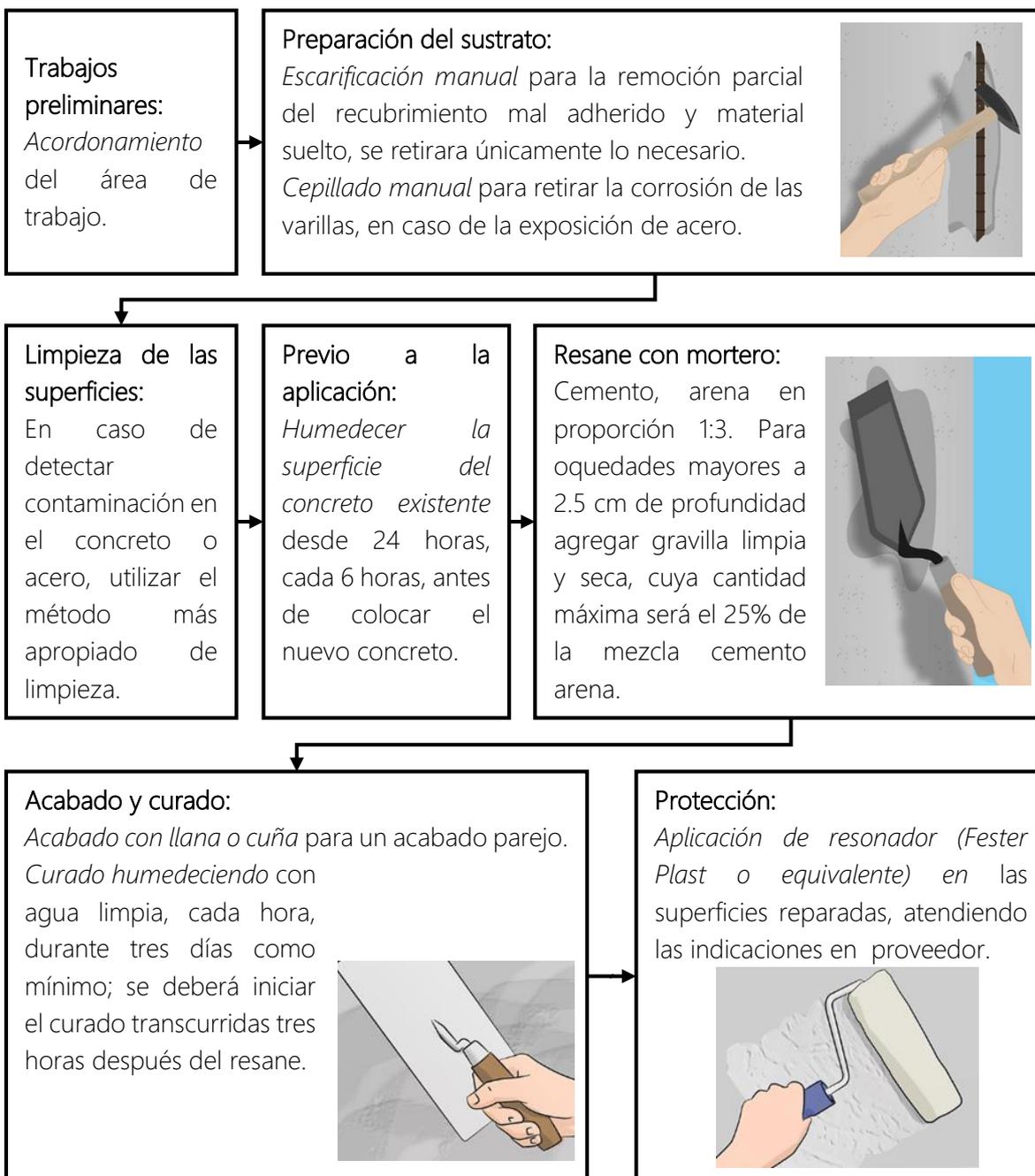
Procedimiento de reparación de fisuras menores a 3 mm en elementos de concreto

El siguiente método se puede aplicar a muros, columnas, barandales, trabes y losas, adecuando el procedimiento para cada elemento. Queda a juicio del residente de obra considerar todas las reparaciones y actividades preliminares para la ejecución de los procesos de rehabilitación.



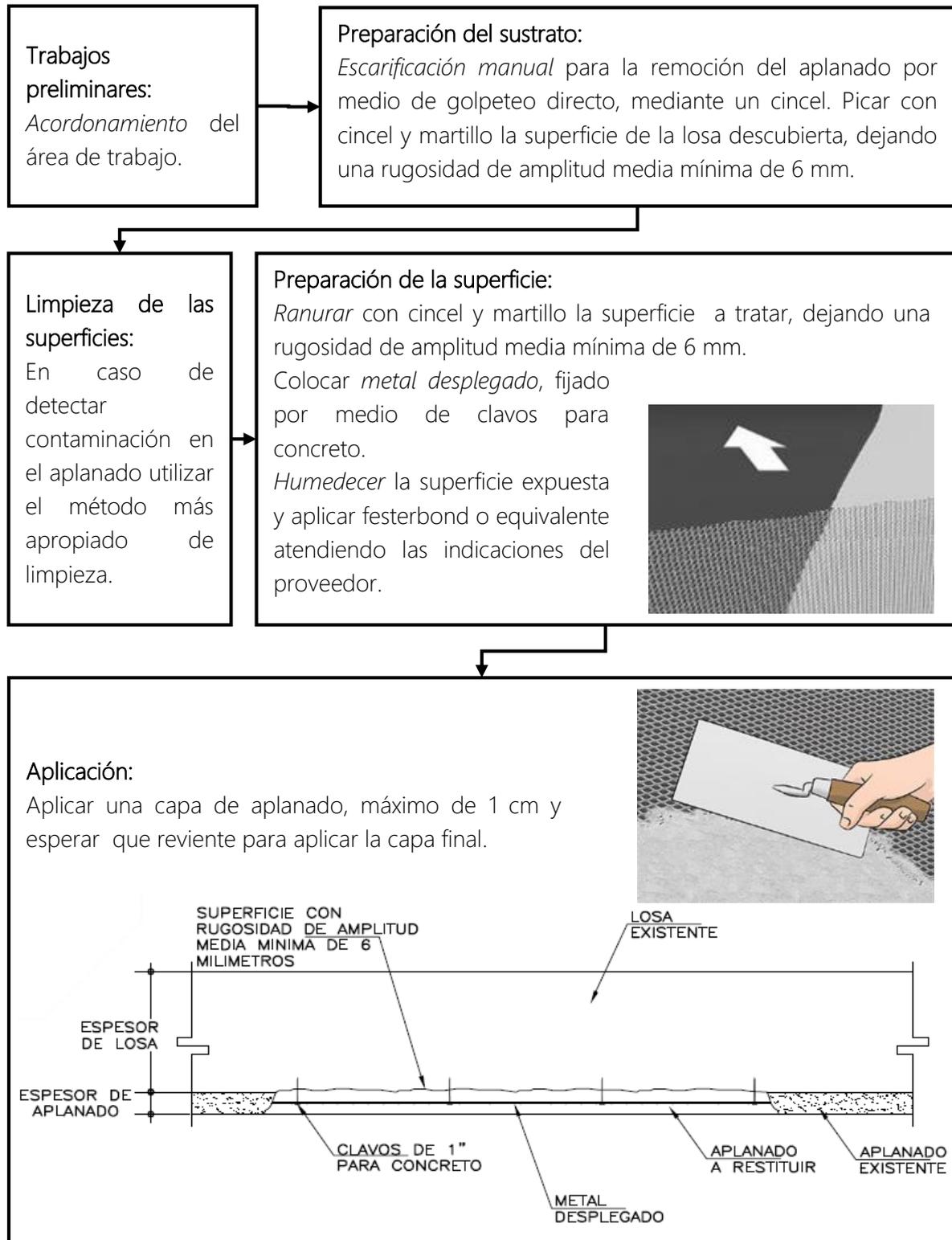
Procedimiento de reparación de elementos de concreto con desprendimiento de recubrimiento (Desconchamiento)

El siguiente procedimiento puede aplicarse a elementos (trabes, muros, columnas, barandales y losas) sin daño estructural y para áreas menores al 20% del elemento, que presentan desconchamiento. Queda a juicio del residente de obra considerar todas las reparaciones y actividades preliminares para la ejecución de los procesos de rehabilitación, así como todas las adecuaciones y cambios en el proceso.



Procedimiento de auscultación y restitución de aplanados

El siguiente procedimiento puede aplicarse a losas, muros, columnas, trabes o bardas con problemas de aplanados. Queda a juicio del residente de obra considerar todas las reparaciones y actividades preliminares, así como las adecuaciones y cambios para la ejecución del proceso aquí mencionado.



Acabado y curado:

Las fisuras de la última capa del aplanado, deberán cerrarse por medio de arena cernida y cemento.

Colocar el material de forro (mortero, yeso u otro material) del elemento (muro, losa, etc.), y si es el caso, curar mínimo durante 3 días.



Protección:

Aplicación de pintura para sellar (*Festertex primer o equivalente*) atendiendo las indicaciones del proveedor.

Procedimiento de restitución parcial de acero de refuerzo

El siguiente procedimiento de reforzamiento puede aplicarse a elementos de concreto armado (losas, trabes, muros, columnas), cuyo acero de refuerzo presenta desintegración, cortes o niveles importantes de corrosión, con una disminución de más, menos 15% del área de acero original. Los detalles del reforzamiento deberán ser proporcionados por el ingeniero a cargo del análisis de rehabilitación estructural. Queda a juicio del residente de obra considerar todas las reparaciones y actividades preliminares, así como las adecuaciones y cambios para la ejecución del siguiente proceso:

Trabajos preliminares:

Acordonamiento del área de trabajo.
Apuntalamiento de la columna, trabes y losa (en caso de ser necesario).

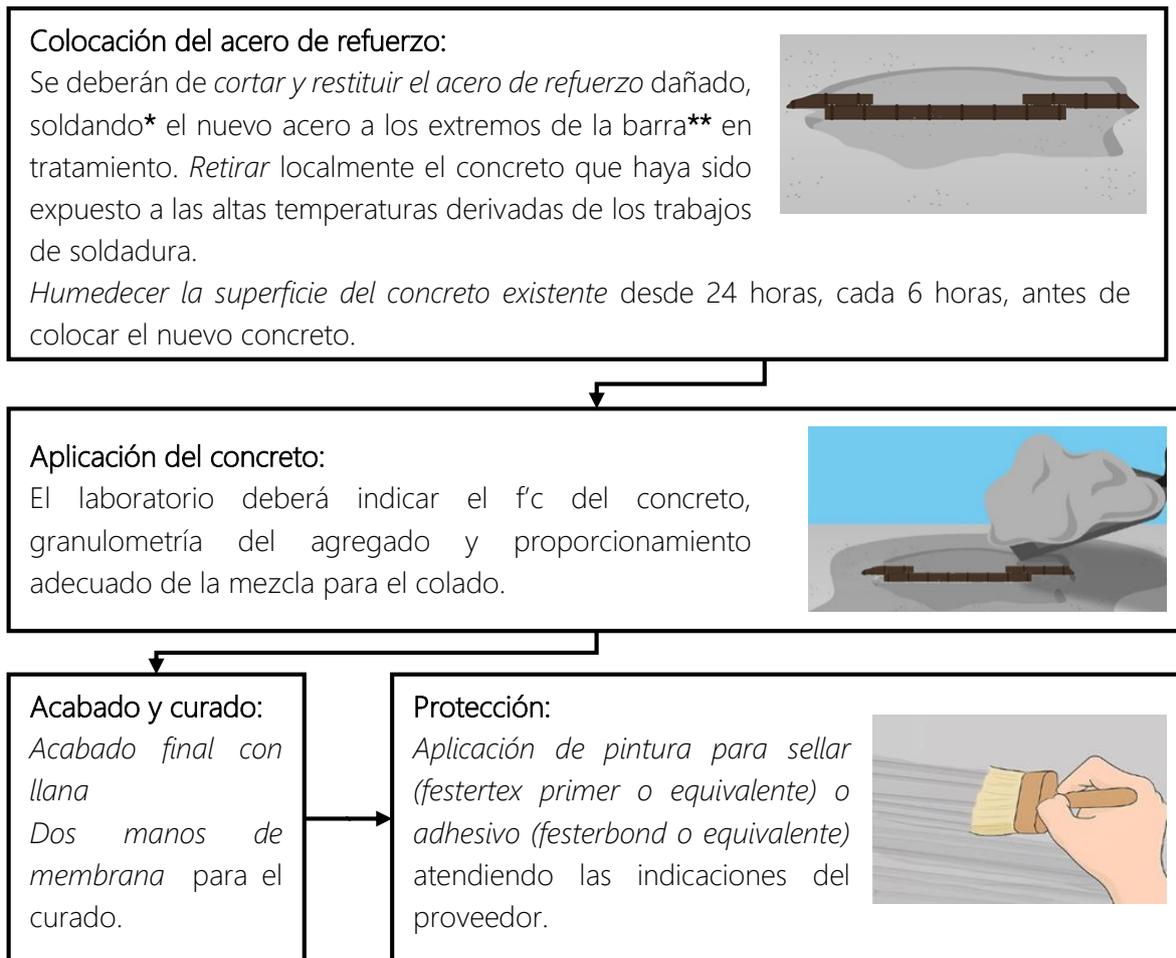
Preparación del sustrato:

Escarificación manual y/o mecánica para la remoción del concreto, se retirara únicamente lo necesario, haciendo una caja con paredes verticales y horizontales (5 cm más del concreto suelto y detrás de las varillas de refuerzo). *Cepillado manual* para retirar la corrosión de las varillas.



Limpieza de las superficies:

En caso de detectar contaminación en el concreto o acero, utilizar el método más apropiado de limpieza.



(*) El amperaje y electrodo deberá ser el adecuado para evitar la cristalización del acero por soldar.

(**) La zona de la barra existente donde se soldará la nueva barra deberá estar sana y garantizar la unión a tope o de traslape.

Rehabilitación de columnas

Procedimiento de reforzamiento a compresión de columna por medio del aumento de su sección y acero de refuerzo

El siguiente procedimiento de reforzamiento puede aplicarse a columnas sin daño estructural (con concreto desprendido, con o sin acero expuesto). En el caso de columnas con daño estructural los detalles del reforzamiento de las figs.4.4a y 4.4b podrán ser sustituidos por el diseño de armado proporcionado por el ingeniero a cargo del análisis de rehabilitación estructural. Queda a juicio del residente de obra considerar todas las reparaciones y actividades preliminares para la ejecución del proceso aquí mencionado, así como todas las adecuaciones y cambios en el proceso.

Trabajos preliminares:

Acordonamiento del área de trabajo.
Apuntalamiento de traveses y losa que descargan sobre la columna dañada.

Preparación del sustrato:

Escarificación manual y/o mecánica para la remoción parcial del recubrimiento de columna y del dado, en caso de detectar agrietamiento o falta de firmeza en el concreto interior, se retirara únicamente lo necesario.
Cepillado manual para retirar la corrosión de las varillas, en caso de exposición de acero.

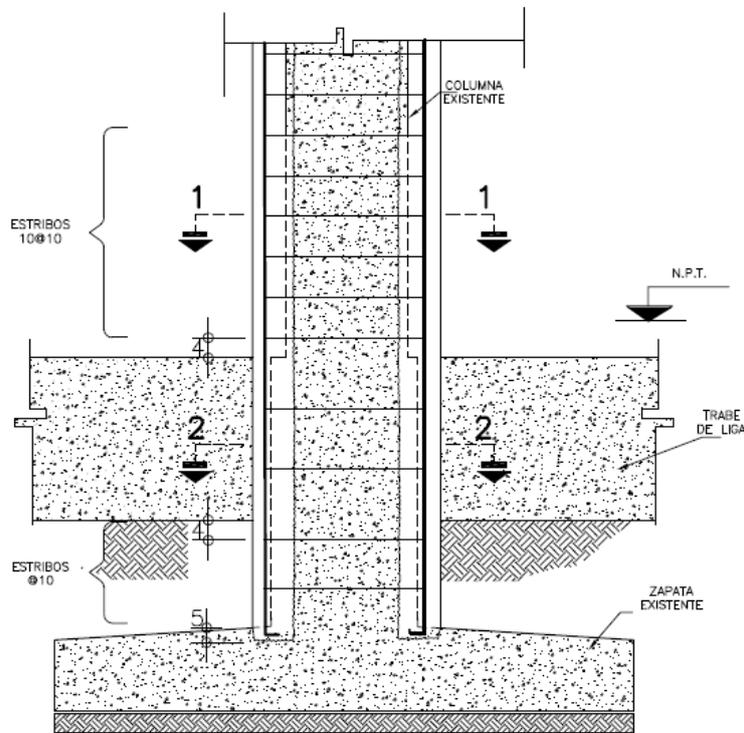
Limpieza de las superficies:

En caso de detectar contaminación en el concreto o acero, utilizar el método más apropiado de limpieza.

Preparación del armado y la superficie de concreto:

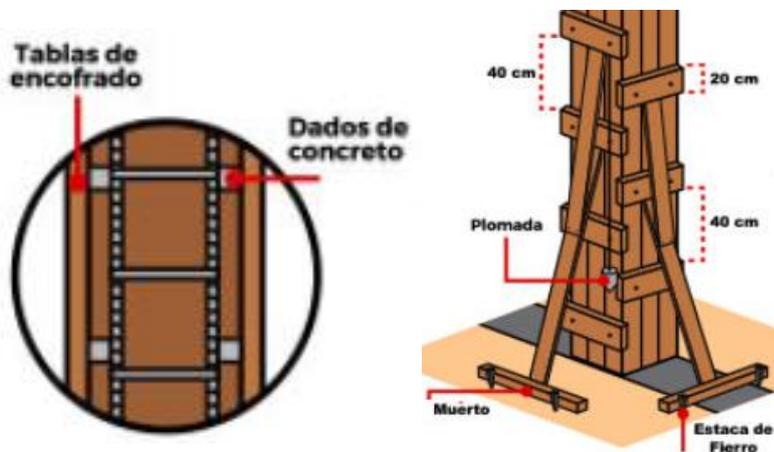
Colación del armado adicional según detalles de en los cortes 1-1 y 2-2, como se observa en las figs. 5.4a y 5.4b.

Humedecer la superficie del concreto existente desde 24 horas, cada 6 horas, antes de colocar el nuevo concreto.



Cimbrado:

Colocar previamente cimbra, nivelada y plomo.



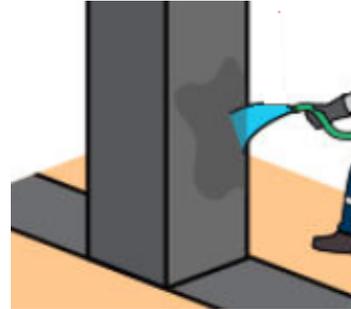
Aplicación del concreto:

El laboratorio deberá indicar el f'_c del concreto, granulometría del agregado y proporcionamiento adecuado de la mezcla para la colocación de forros de la columna.

Acabado y curado:

Acabado final con fino de cemento para tapar el poro, sobre todo en la parte del desplante (dado).

Curado con agua limpia durante 14 días como mínimo.



Protección:

Aplicación de pintura para sellar (festertex primer o equivalente) las superficies reparadas, atendiendo las indicaciones en proveedor.

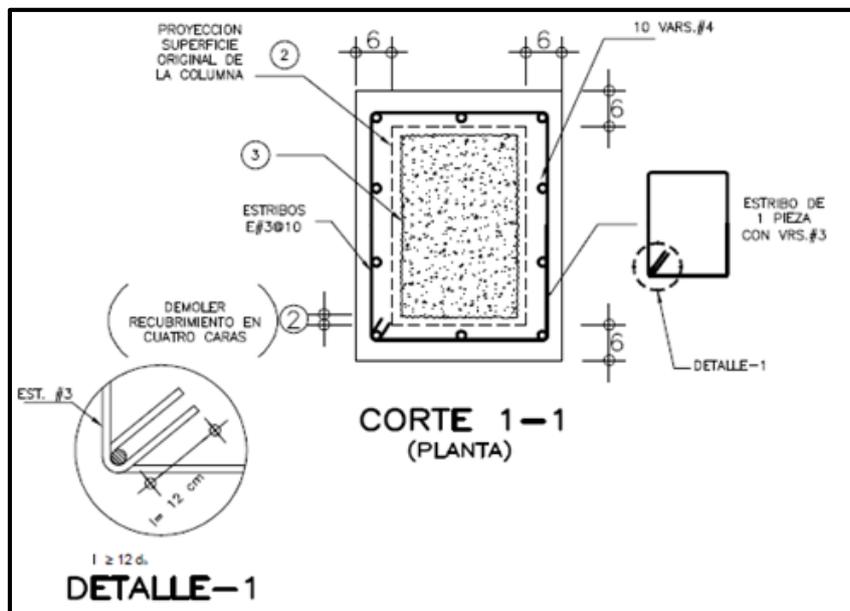


Figura 5.4a Detalles del reforzamiento de columna, corte 1-1. (INIFED, 2017)

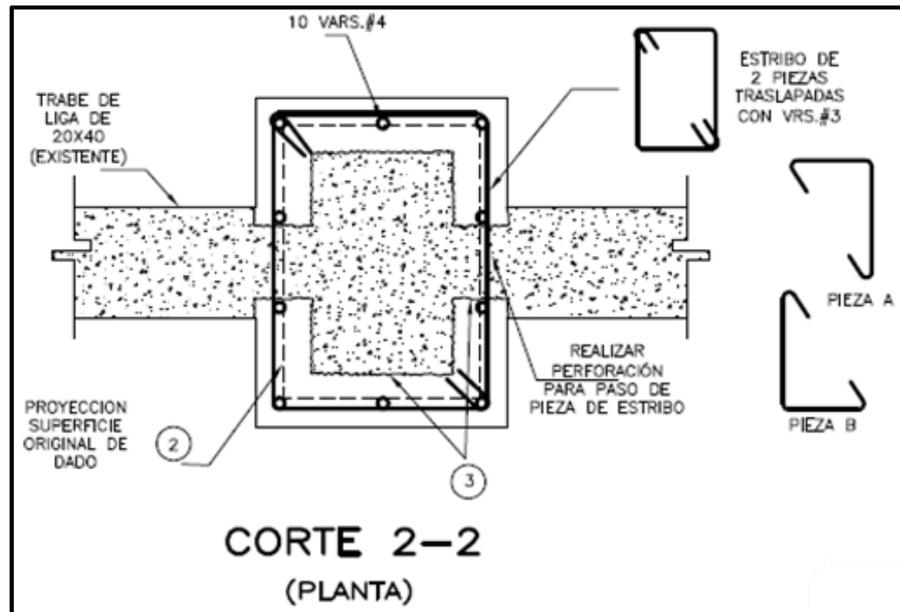
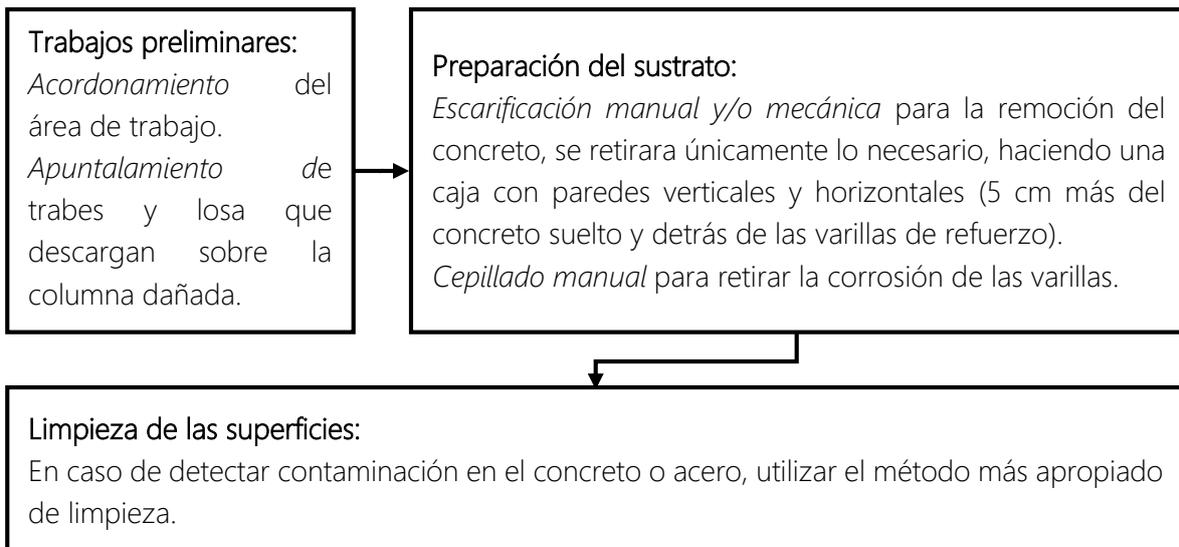


Figura 5.4b Detalles del reforzamiento de columna, corte 2-2. (INIFED, 2017)

Procedimiento de reforzamiento a compresión de columna con daño estructural (refuerzo con soleras)

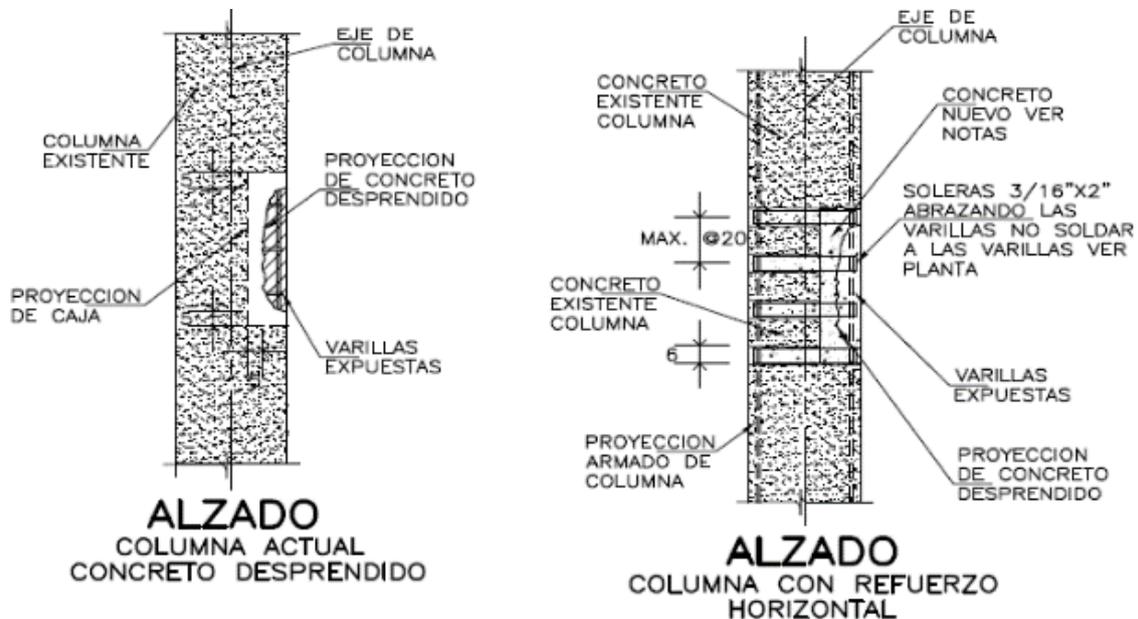
El siguiente procedimiento de reforzamiento puede aplicarse a columnas con daño estructural. Los detalles del reforzamiento de las figs. 4.4a y 4.4b podrán ser sustituidos por el diseño de refuerzo proporcionado por el ingeniero a cargo del análisis de rehabilitación estructural. Queda a juicio del residente de obra considerar todas las reparaciones y actividades preliminares para la ejecución del proceso aquí mencionado, así como todas las adecuaciones y cambios en el proceso



Preparación de la superficie:

Ranurar la columna (ancho de 6 cm).

Colación de soleras como estribos adicionales según detalles de rehabilitación de las siguientes figuras y para columnas con concreto desprendido ver el detalle de la fig. 5.5



Calentar soleras* y soldarlas entre sí, no soldar a varillas de la columna.

Humedecer la superficie del concreto existente desde 24 horas, cada 6 horas, antes de colocar el nuevo concreto.

Aplicación del concreto:

El laboratorio deberá indicar el f'_c del concreto, granulometría del agregado y proporcionamiento adecuado de la mezcla** para el colado.

Acabado y curado:

Acabado final con fino de cemento para tapan el poro.
Dos manos de membrana para el curado.

Protección:

Aplicación de pintura para sellar (festertex primer o equivalente) o adhesivo (festerbond o equivalente) atendiendo las indicaciones del proveedor.

(*) Antes de soldar, se calentaran las soleras con soplete a una temperatura de 90°C de tal manera que al enfriarse, a temperatura ambiente, la contracción apriete a las varilla, no deberá acelerarse el enfriamiento con ningún método.

(**) Mezcla con coeficiente de contracción muy bajo.

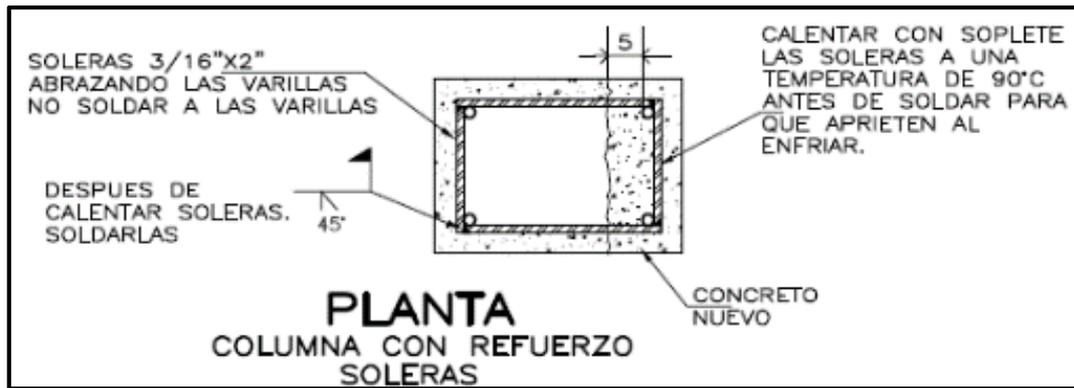


Figura 5.5 Detalle de refuerzo de columna con concreto desprendido. (INIFED, 2017)

Rehabilitación de trabes

Procedimiento de reforzamiento de la capacidad a cortante de trabe de concreto

El siguiente procedimiento de reforzamiento puede aplicarse a trabes de concreto armado transversal, con articulación o grieta activa o con grietas de trayectoria vertical. Los detalles del reforzamiento de las figs. 5.4a y 5.4b podrán ser omitidos y sustituidos por el diseño de refuerzo proporcionado por el ingeniero a cargo del análisis de rehabilitación estructural. Queda a juicio del residente de obra considerar todas las reparaciones y actividades preliminares, así como las adecuaciones y cambios para la ejecución del proceso aquí mencionado.

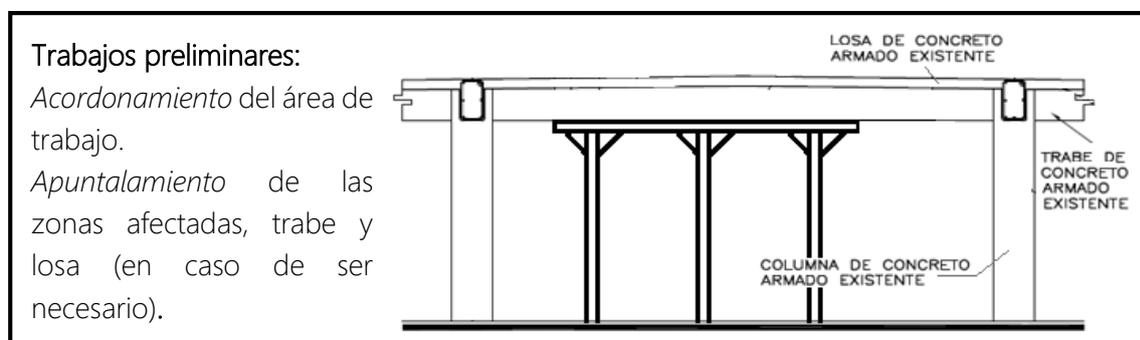
Especificaciones:

Placas de acero:

- Placa de acero de ¼" de espesor, ASTM A-36, $f_y=2,530$ kg/cm².
- Soldadura E-70XX de la A.W.S.

Anclajes:

- Sistema químico de inyección HILTI, HIT HY 150, con varilla roscada HAS-E o similar.



Preparación del sustrato:

Escarificación manual y/o mecánica para la remoción del concreto o *disco de desbaste* para desbastar la superficie mediante abrasión directa o *chorro de arena*.
Cepillado manual para retirar la corrosión de las varillas, en caso de exposición de acero.



Limpieza de las superficies:

En caso de detectar contaminación en el concreto o acero, utilizar el método más apropiado de limpieza. *Chorro de agua fría* para eliminar polvo y material suelto.



Preparación de las placas metálicas:

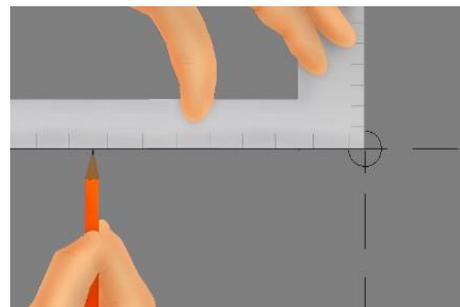
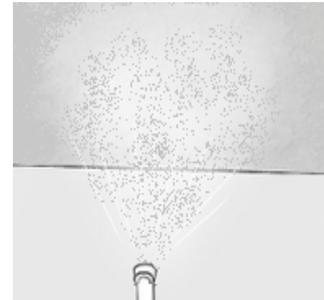
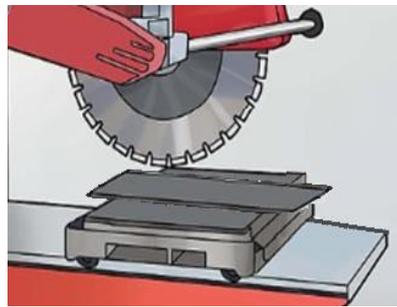
Elaborado de las placas metálicas (cortadas a la medida para su colocación, perforadas para alojar varillas roscadas).

Lanzar chorro de arena para dejar un grado comercial SSPC SP-6, después soplar con aire limpio a presión para eliminar la arena y polvo.

Trazar los puntos donde se localizaran las perforaciones en la trabe de concreto que recibirán las placas de acero, como se observa en la fig.

Verificar las dimensiones de las placas de acero y barrenos del terreno para *perforar* la trabe en los puntos marcados.

Aplicación (en la superficie de contacto placa-trabe) de película de 1.5 a 2 mm de espesor, de sikadur-30 o equivalente, siguiendo las especificaciones del fabricante, opcionalmente colocar una capa (1cm de espesor) de mortero epóxico DENSOCRET RF o similar.

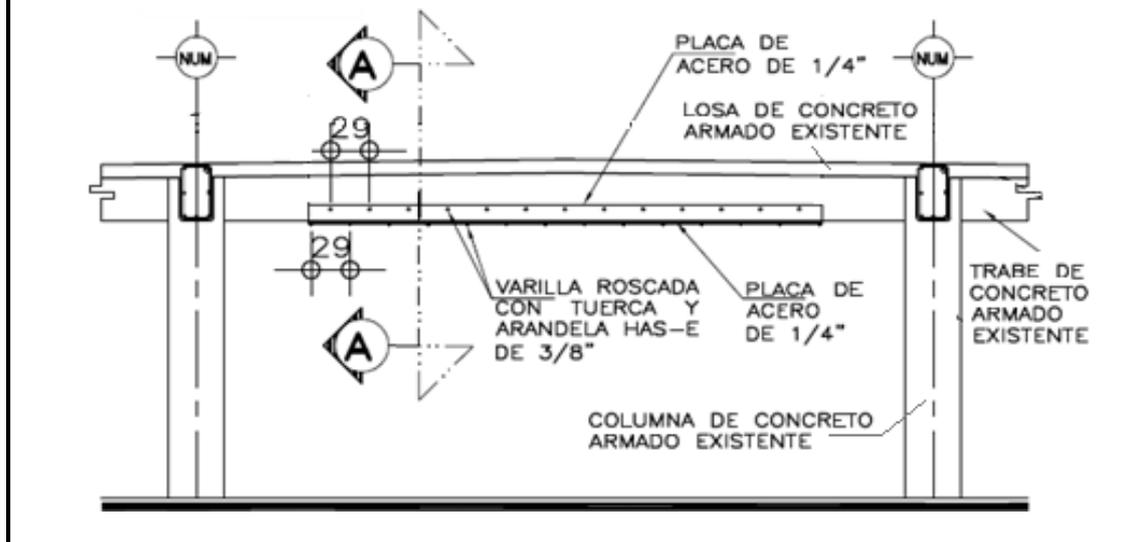


Colocación de las placas:

De acuerdo a los detalles del corte A-A, figs. 5.6a y 5.6b, se colocaran de modo que se produzca el aplastamiento del adhesivo, y que permita la adaptación de la placa a la trabe. La presión (0.2 a 0.4 Kg/cm²) de las placas se puede realizar mediante puntales telescópicos o barras ancladas a la estructura, la resina que desborde se debe colocar a modo de chaflán a 45° entre la placa y el concreto de la trabe. La presión debe ser constante y mantenerse hasta que el adhesivo adquiriera una resistencia superior al concreto de la trabe.

Para evitar el deslizamiento entre el agujero de la placa y la barra roscada es necesario colocar resina epóxica en el espacio anular.

Una vez colocadas las placas de acero vertical y horizontal, se verificara la posición correcta y se realizara su conexión mediante soldadura, aplicar cordones de soldadura. Verificación de la soldadura mediante inspección visual.



Limpieza de las superficies

Eliminar rugosidades, bordes agudos y material suelto producto de la soldadura.

Protección:

Curado, evitar la irradiación solar directa y la húmeda en las primeras 5 horas.

Aplicación de tres capas de pintura para sellar (marca SYLPYL o similar) 8 horas después de la soldadura, con equipo compresor y pistola de aire, atendiendo las indicaciones del fabricante.

1ra capa: primer anticorrosivo SYLPYL 13 o similar

2da capa: acabado epóxico SYLPYL 100GLASYL o similar

3ra capa: acabado de poliuretano asfáltico SYLPYL 2011 o similar, en color y acabado mate o brillante (a criterio del usuario)

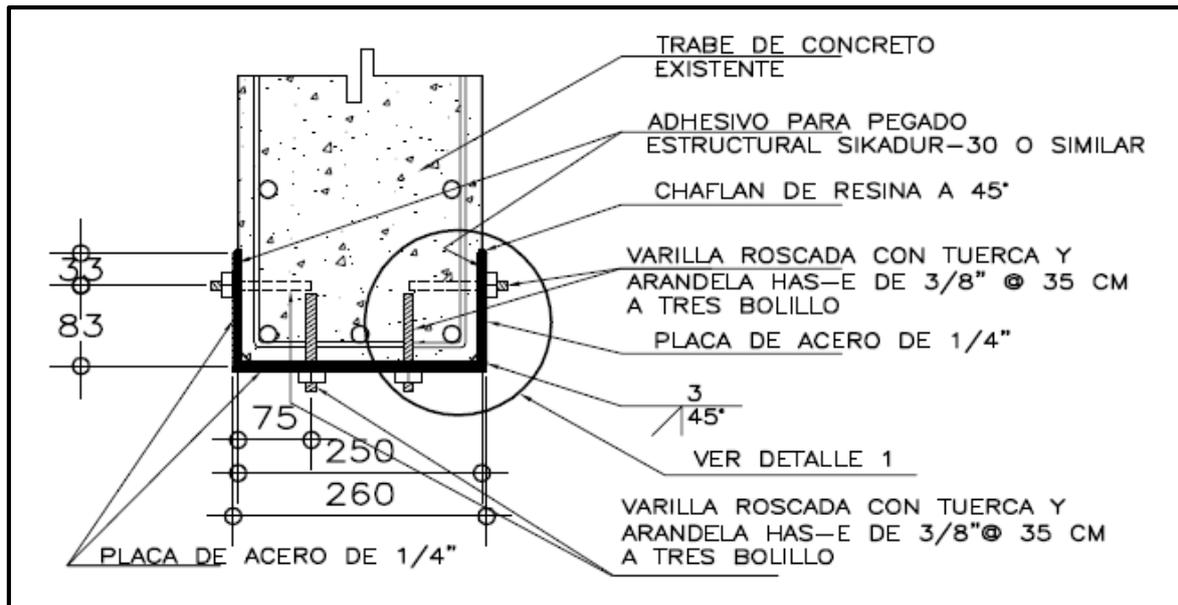


Figura 5.6a Reforzamiento de trabe. (INIFED, 2017)

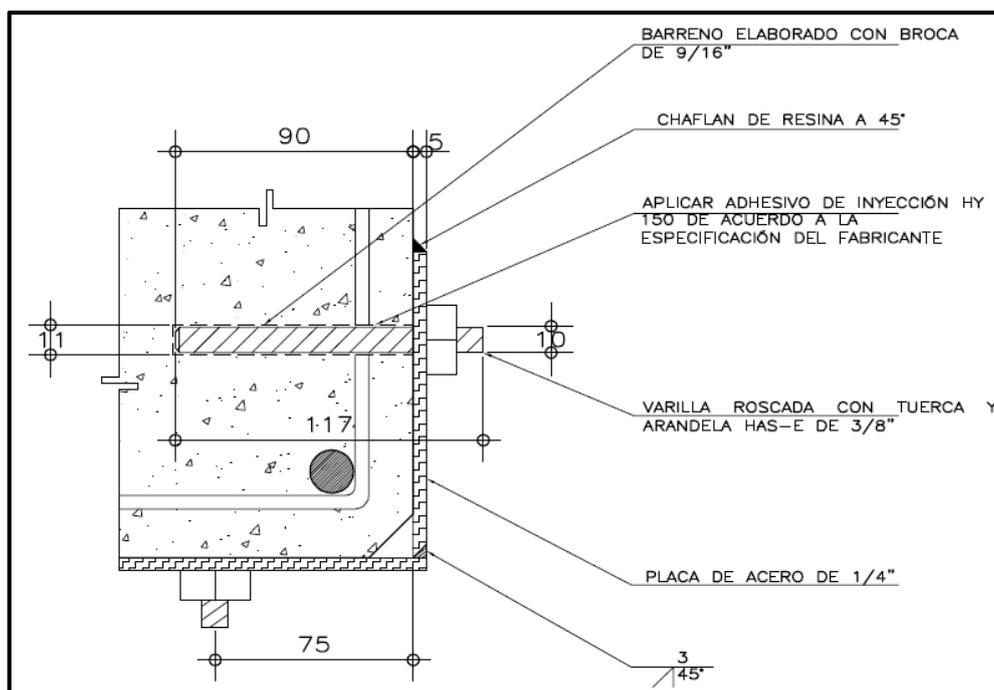


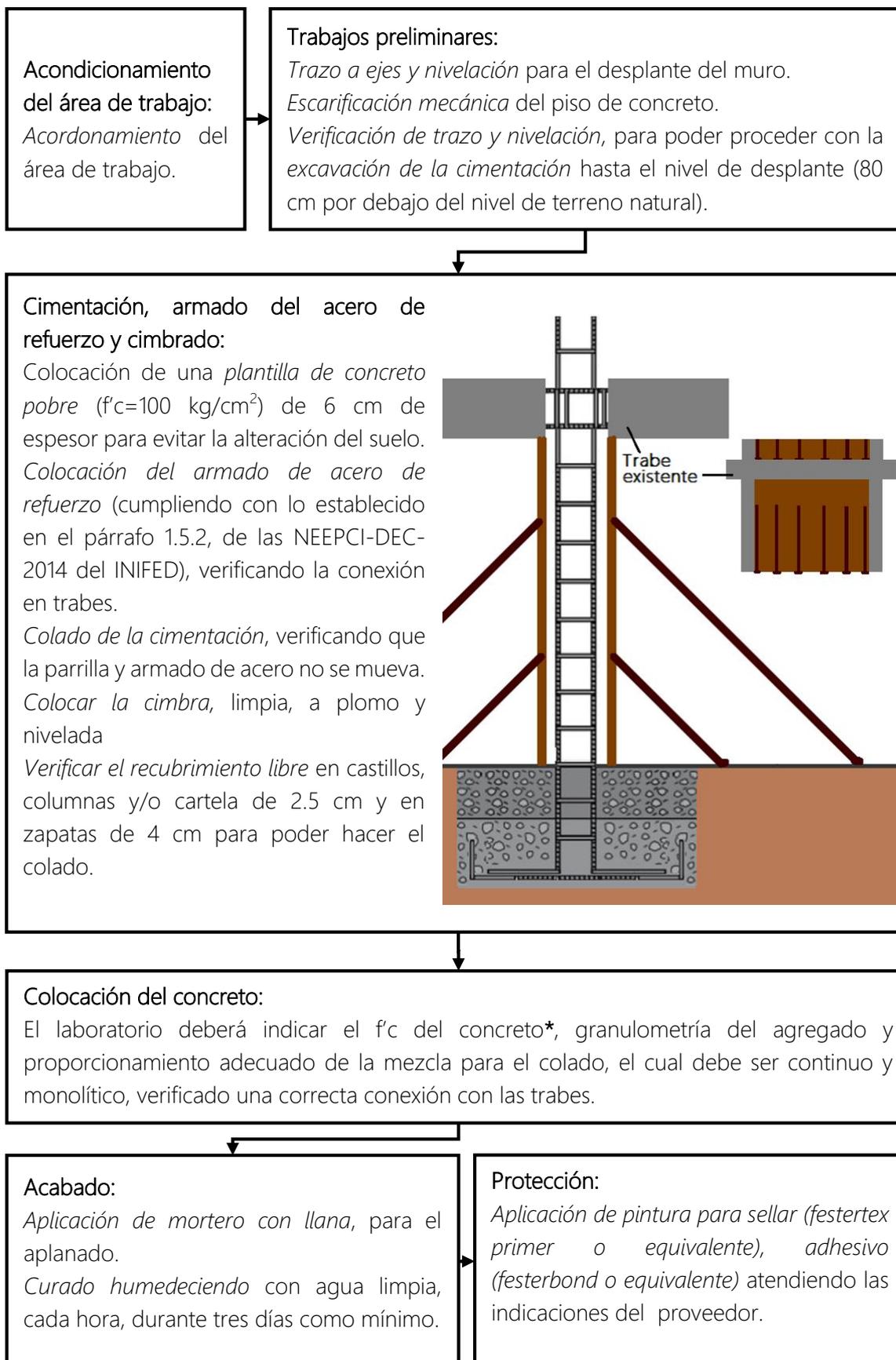
Figura 5.6b Detalle de refuerzo de trabe. (INIFED, 2017)

Refuerzo con muros de cortante

Procedimiento de adición de muro de cortante dentro de marcos existentes

El siguiente procedimiento de reforzamiento puede aplicarse cuando la estructura necesita un refuerzo para aumentar la resistencia lateral y la capacidad del momento viga columna, incrustando un muro de cortante entre las columnas y trabe ya existentes. Los detalles del armado de acero de refuerzo deberán ser proporcionados por el ingeniero a cargo del análisis de rehabilitación estructural. Queda a juicio del residente de obra considerar todas las

reparaciones y actividades preliminares, así como las adecuaciones y cambios para la ejecución del proceso aquí mencionado.



Rehabilitación de muros de mampostería

Procedimiento de reparación de muros con problemas de salitre

El siguiente procedimiento de reparación puede aplicarse a muros con problemas de salitre. Queda a juicio del residente de obra considerar todas las reparaciones y actividades preliminares, así como las adecuaciones y cambios para la ejecución del proceso aquí mencionado



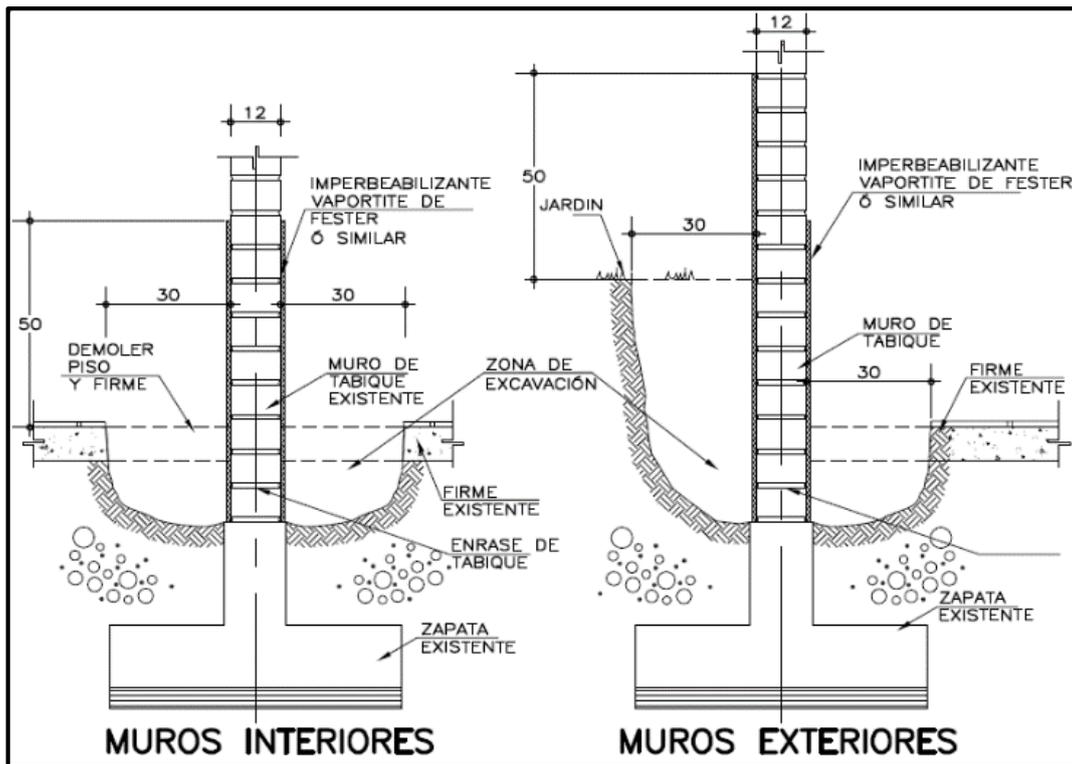
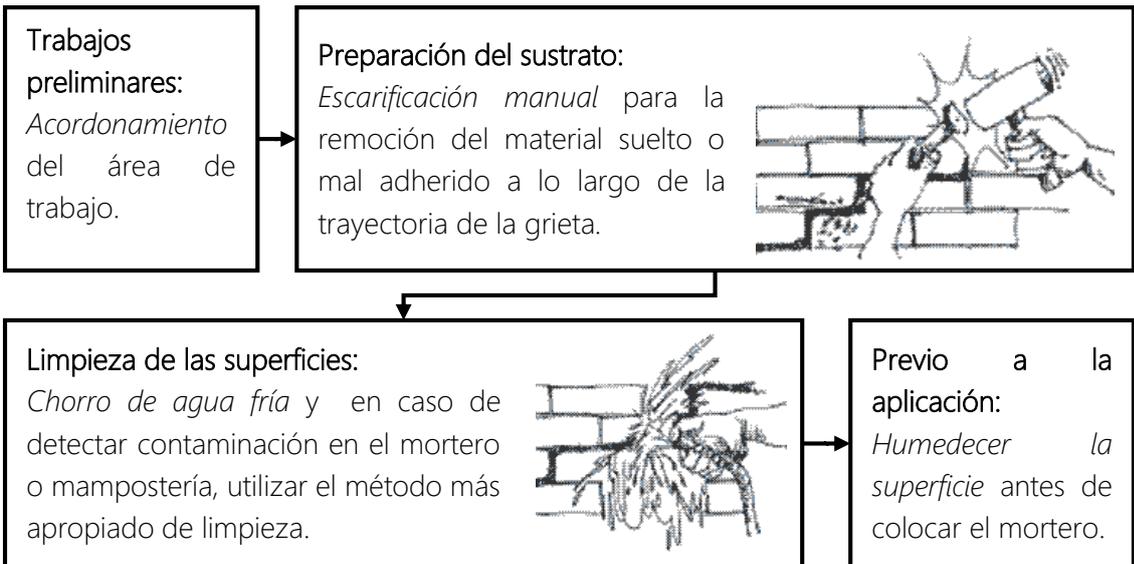


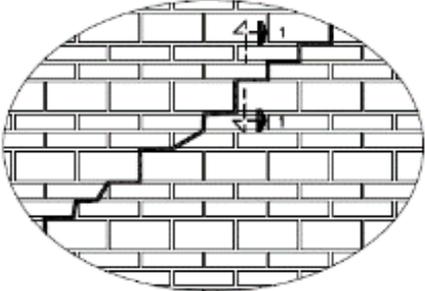
Figura 5.7 Reparación de muros (interiores y exteriores) con problemas de salitre. (INIFED, 2017)

Procedimiento de reparación de agrietamientos en muros de tabique aparente

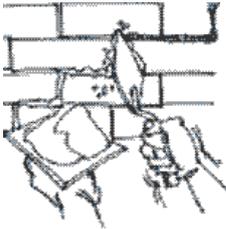
El siguiente procedimiento de reparación puede aplicarse en muros de mampostería con agrietamiento. Queda a juicio del residente de obra considerar todas las reparaciones y actividades preliminares, así como las adecuaciones y cambios para la ejecución del proceso aquí mencionado.



Colocación del mortero:
 Aplicación del mortero* sobre la grieta, cuyo espesor y profundidad deberán ser ligeramente menores al de las rajuelas por colocar
 Colocación mediante percusión de trozos de piedra laja en toda la trayectoria de la grieta, como se observa en el corte 1-1, figs. 5.8a y 5.8b



Acabado:
 Aplicación de mortero, nuevamente, a fin de uniformizar su fijación en toda la trayectoria y dar el aspecto original de la junta o del tabique reparado.



Protección:
 Aplicación de pintura para sellar (*Festertex primer* o equivalente), adhesivo (*festerbond* o equivalente) atendiendo las indicaciones del proveedor.

(*) El mortero debe ser colocado en un tiempo menor o igual a 2 horas posteriores a su fabricación, deberá ser desechado si se excede de ese tiempo.

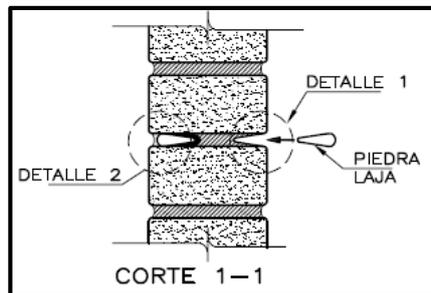


Figura 5.8a Detalle de muro agrietado, corte 1-1. (INIFED, 2017)

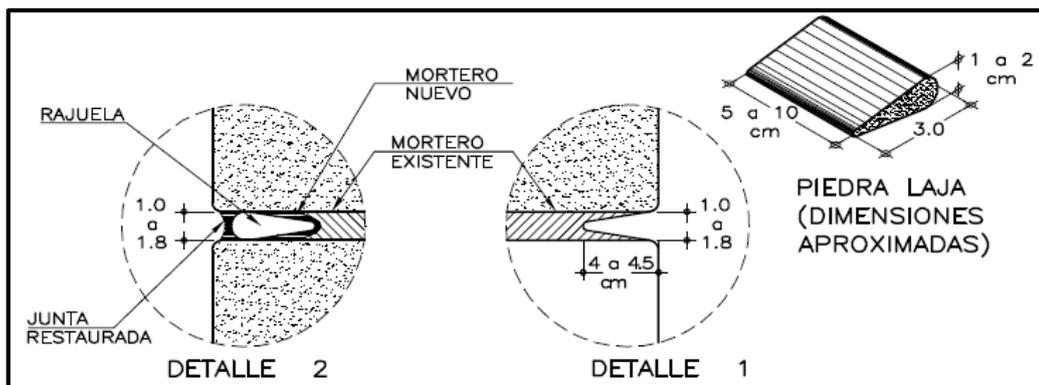
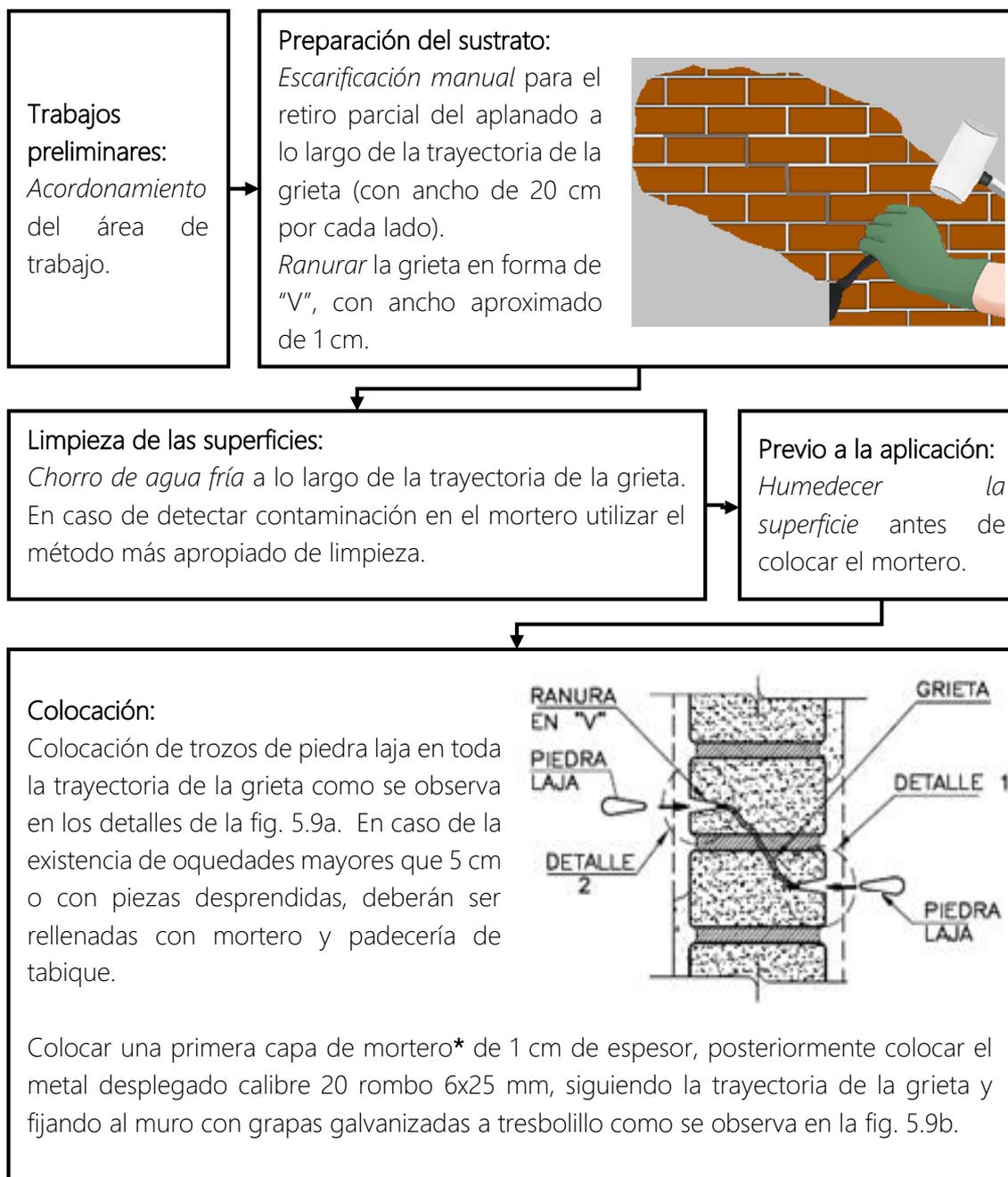


Figura 5.8b Detalles de reparación de muros de tabique aparente que presentan grietas. (INIFED, 2017)

Procedimiento de agrietamientos en muros de tabique con aplanado

El siguiente procedimiento de reparación puede aplicarse en muros de tabique con aplanado. Queda a juicio del residente de obra considerar todas las reparaciones y actividades preliminares, así como las adecuaciones y cambios para la ejecución del proceso aquí mencionado.



(*) Mortero de cemento-arena en proporción 1:3 ($f'c = 100 \text{ kg/cm}^2$). El mortero debe ser colocado en un tiempo menor o igual a 2 horas posteriores a su fabricación, deberá ser desechado si se excede de ese tiempo. La arena utilizada para la fabricación del mortero deberá estar bien graduada (sin muchos finos) para evitar contracciones excesivas.

Acabado:

Aplicación de mortero, para restituir el aplanado y humedecer la superficie del muro para evitar contracciones importantes en el aplanado existente y el nuevo.

Curado humedeciendo con agua limpia, cada hora, durante tres días como mínimo.

Protección:

Aplicación de pintura para sellar (festertex primer o equivalente), adhesivo (festerbond o equivalente) atendiendo las indicaciones del proveedor.

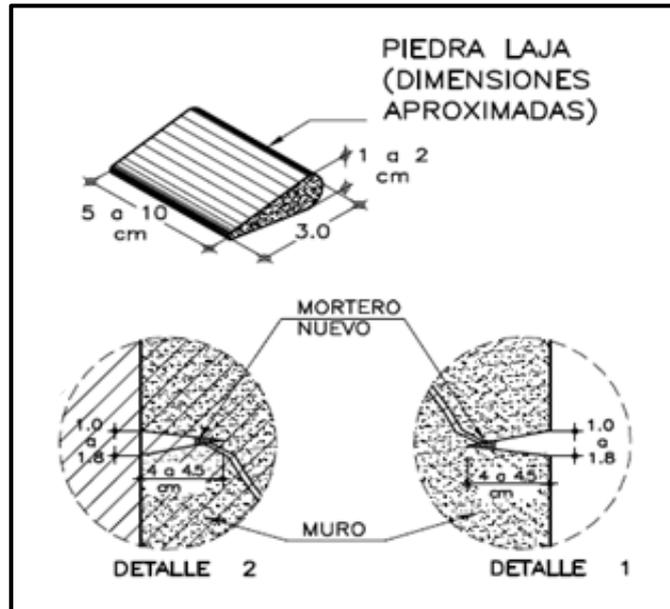


Figura 5.9a Reparación de muros de tabique con aplanado que presentan grietas. (INIFED, 2017)

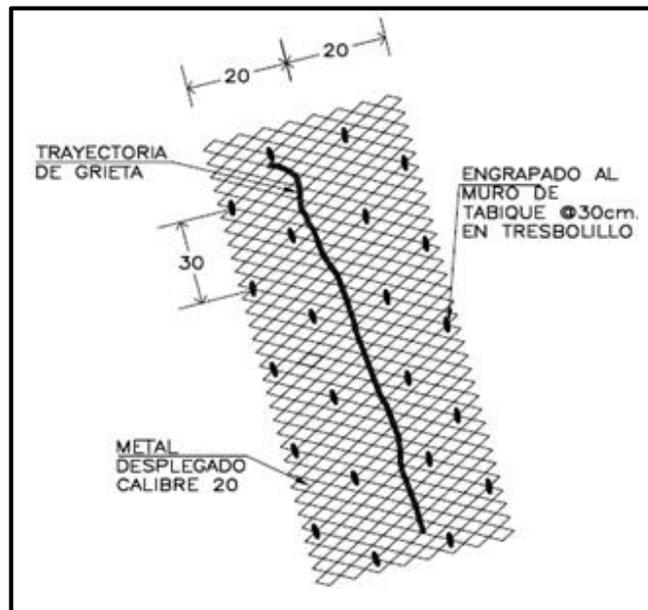


Figura 5.9b Reparación de muros de tabique con aplanado que presentan grietas. (INIFED, 2017)

Procedimiento de colocación de castillo en extremo de muro

Los detalles del reforzamiento podrán ser proporcionados por el ingeniero a cargo del análisis de rehabilitación estructural. Queda a juicio del residente de obra considerar todas las reparaciones y actividades preliminares, así como las adecuaciones y cambios para la ejecución del proceso aquí mencionado:

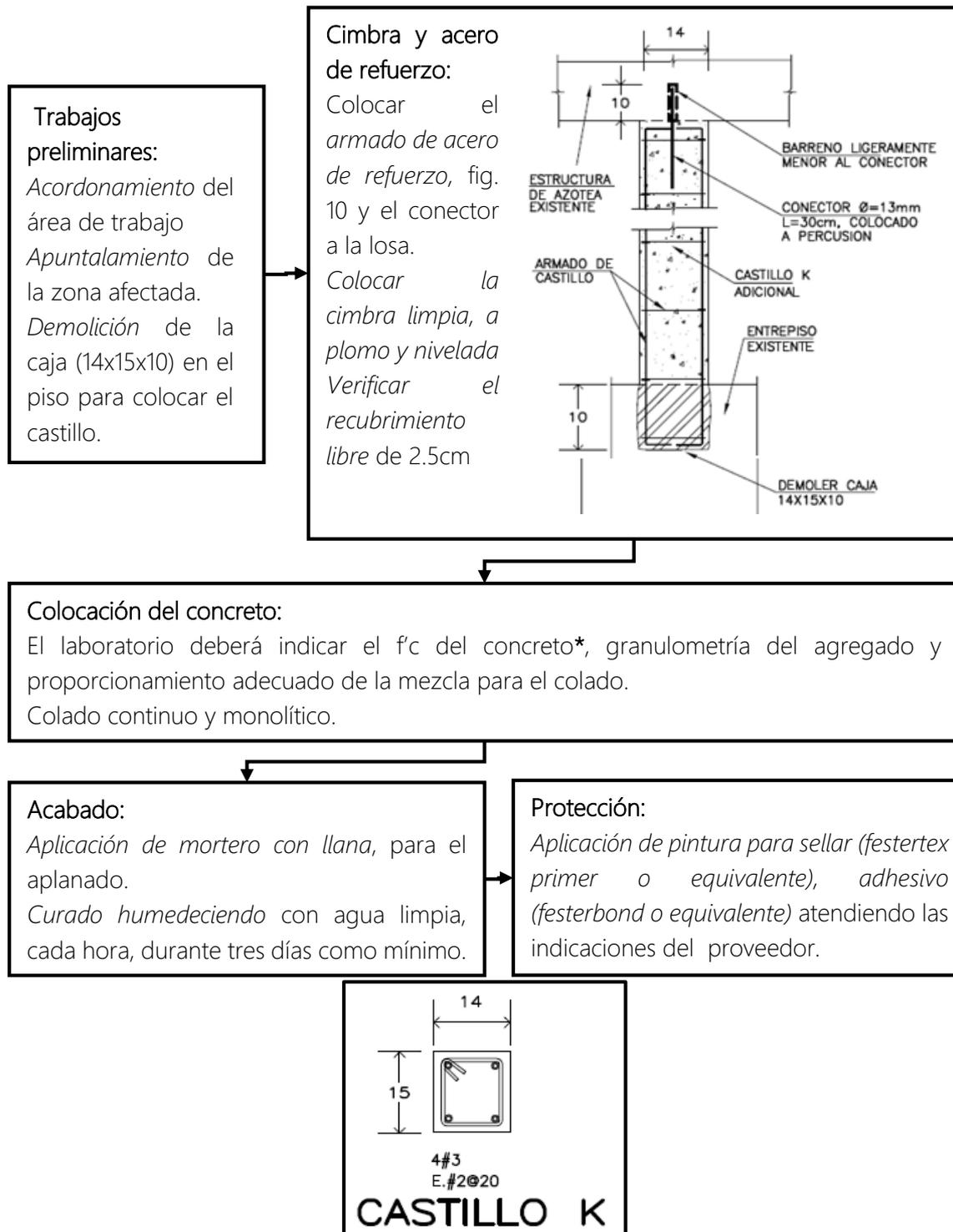
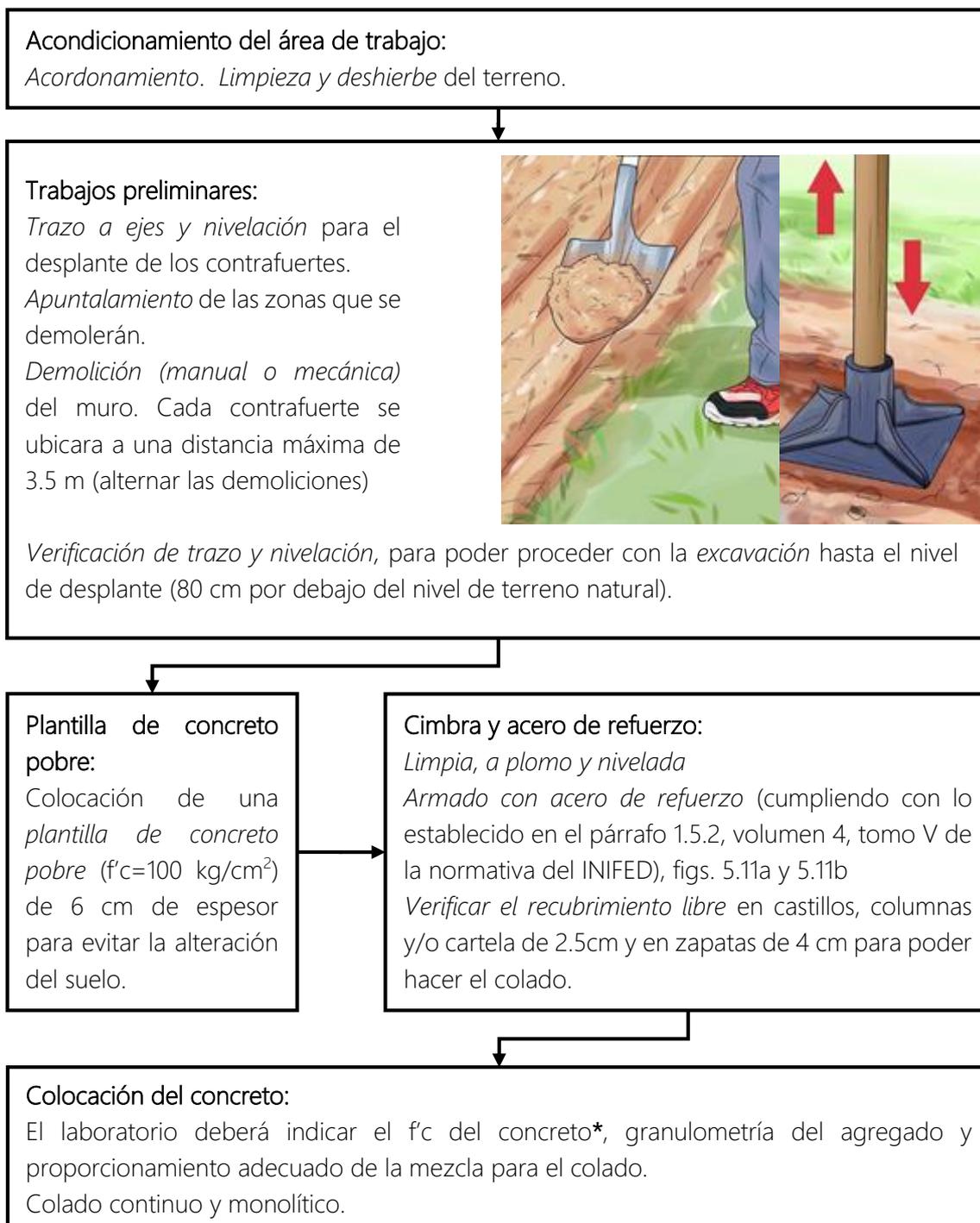


Figura 5.10 Detalle de armado del castillo K. (INIFED, 2017)

Bardas perimetrales

Procedimiento de colocación de contrafuertes en bardas perimetrales

Los detalles del armado de acero de refuerzo podrán ser remplazados por el diseño proporcionado por el ingeniero a cargo del análisis de rehabilitación estructural. Queda a juicio del residente de obra considerar todas las reparaciones y actividades preliminares, así como las adecuaciones y cambios para la ejecución del proceso.



(*) Concreto clase 1, con peso volumétrico mayor a $2,200 \text{ kg/cm}^2$.

Acabado:

Aplicación de mortero, para restituir el aplanado y humedecer la superficie del muro para evitar contracciones importantes en el aplanado existente y el nuevo.

Curado humedeciendo con agua limpia, cada hora, durante tres días como mínimo.

Protección:

Aplicación de pintura para sellar (Festertex primer o equivalente), adhesivo (festerbond o equivalente) atendiendo las indicaciones del proveedor.

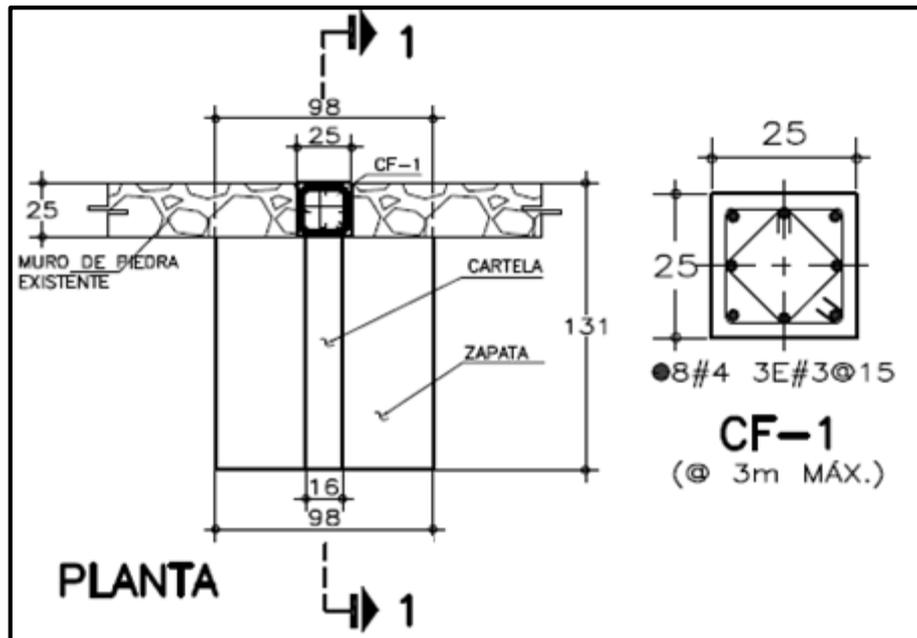


Figura 5.11a Detalle de armado de contrafuertes en muros perimetrales. (INIFED, 2017)

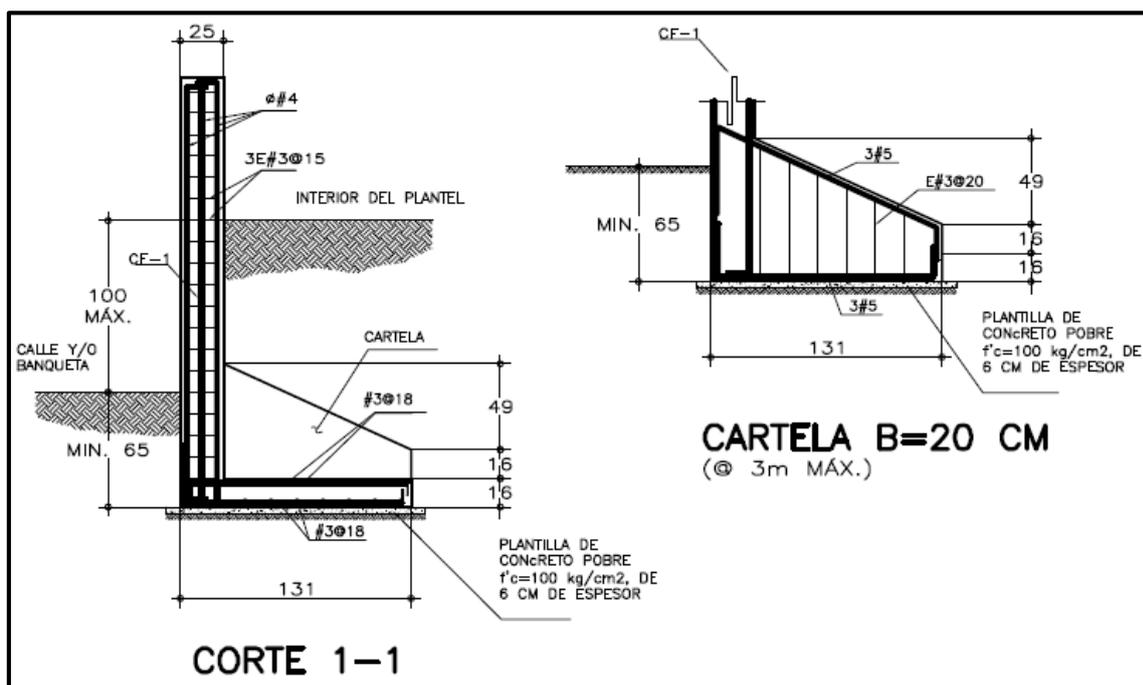


Figura 5.11b Detalle del corte 1-1. (INIFED, 2017)

Procedimiento de rehabilitación del terreno y cimentación

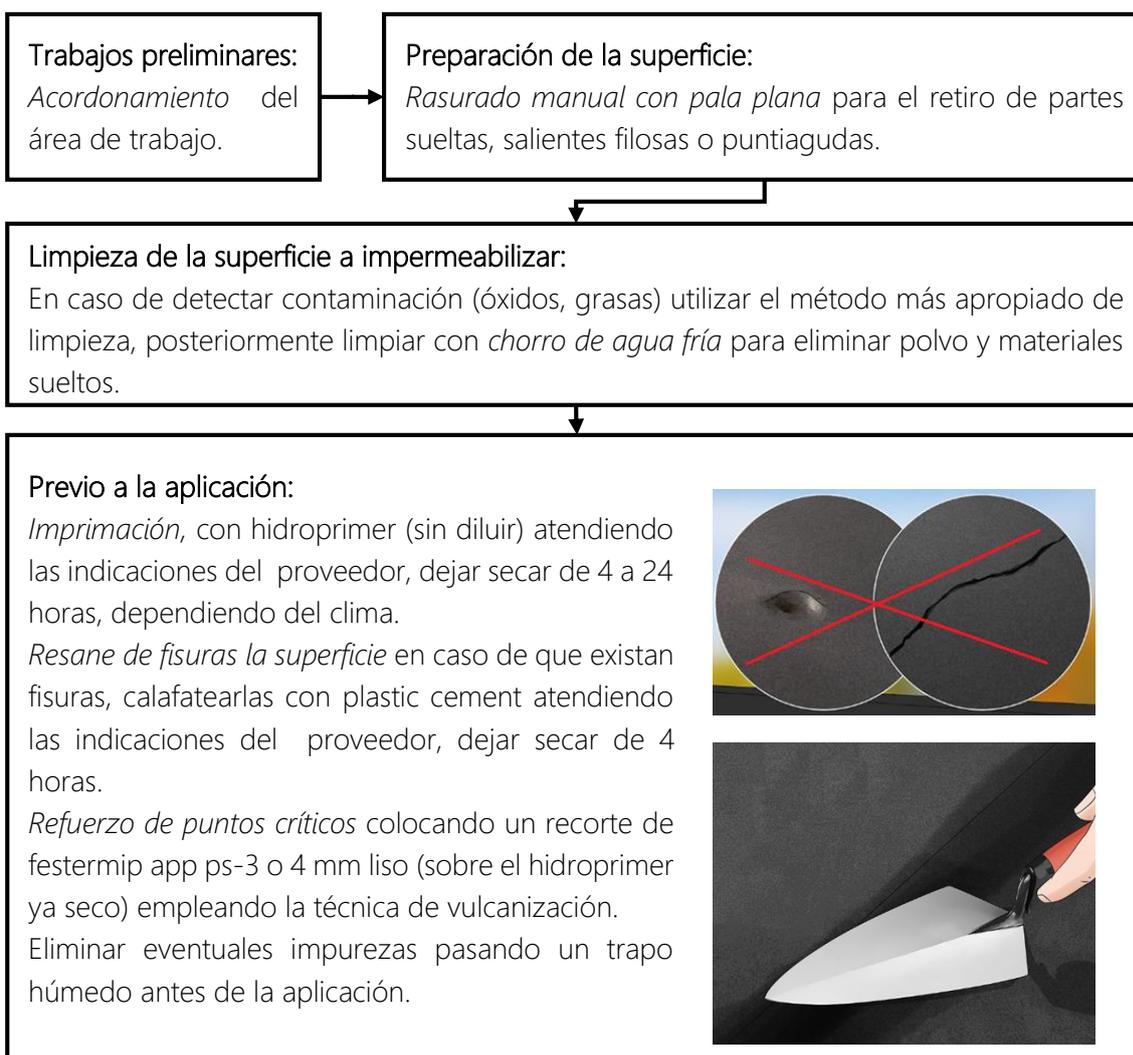
En el caso de la cimentación se deberá recurrir a especialistas en el área de geotecnia y cimentaciones para que determinen las condiciones del terreno en el que se desplanta el edificio, así como las condiciones de la cimentación y, de requerirse, su respectiva rehabilitación.

Protección y mantenimiento

Procedimiento de impermeabilización en azoteas

La impermeabilización se realiza para la prevención y corrección de daños debido a escurrimientos pluviales en losas, que pueden afectar también a traveses, muros y columnas.

El sistema de impermeabilización utilizado en el procedimiento se trata de un sistema prefabricado impermeabilizante multicapa de asfalto modificado "app" (para climas templados o cálidos) con un mínimo de 25% de polímero en asfalto modificado. Con refuerzo central de fibra de vidrio de 90 gr/m², con resina termo fija de borosilicato tipo "e", hilo de refuerzo longitudinal, con 4 mm de espesor total, acabado aparente con gravilla a base de reolita pigmentada y esmaltada a fuego con resina silicón en color terracota.



Aplicación:

El sistema prefabricado impermeable multicapa de asfalto modificado se coloca por medio de termofusión a base de fuego soplete de gas butano; como se observa en las figs. 5.12a y 5.12b. Los traslapes serán como mínimo de 10 cm.

Se rematará con membrana de hule sintético líquido, elaston 3 o equivalente, fig. 5.12c.

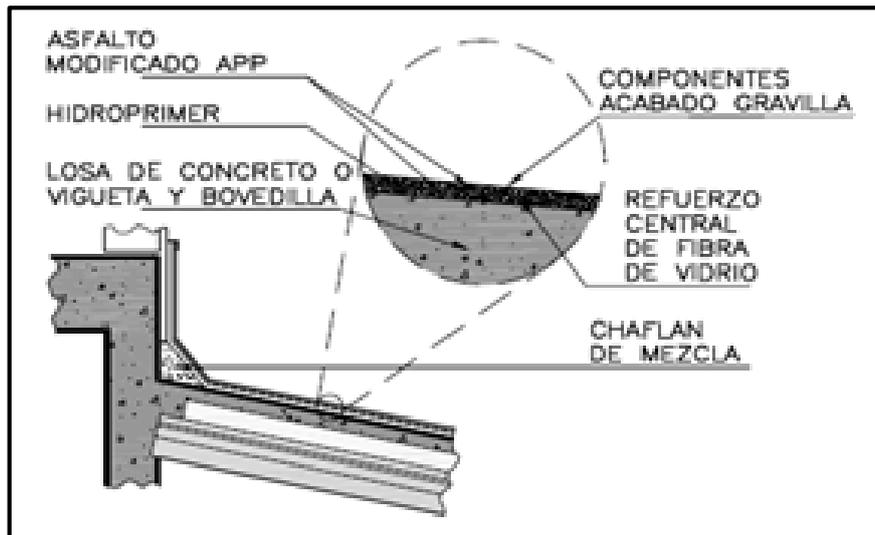


Figura 5.12a Detalle en corte (chafalón). (INIFED, 2017)

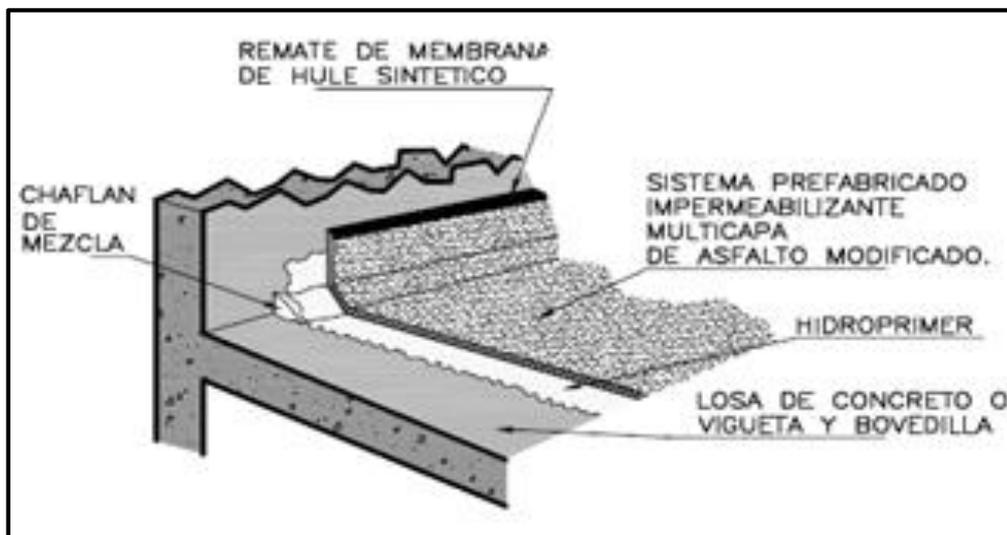


Figura 5.12b Detalle isométrico (chafalón). (INIFED, 2017)

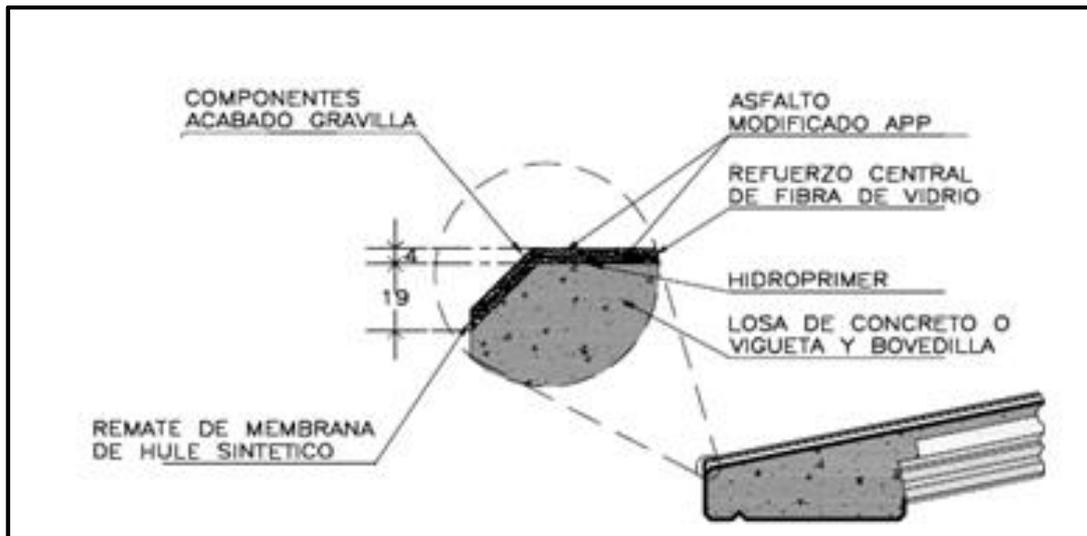


Figura 5.12c Detalle de remate en losa. (INIFED, 2017)

Procedimiento de colocación de tapajuntas entre edificios

Trabajos preliminares:

Acordonamiento del área de trabajo.

Retirar todo el material a lo largo de la trayectoria de la junta.



Colocación:

Colocar una lámina lisa galvanizada, calibre no. 26, fija con pijas y taquetes, como se muestra en la figura 5.13.

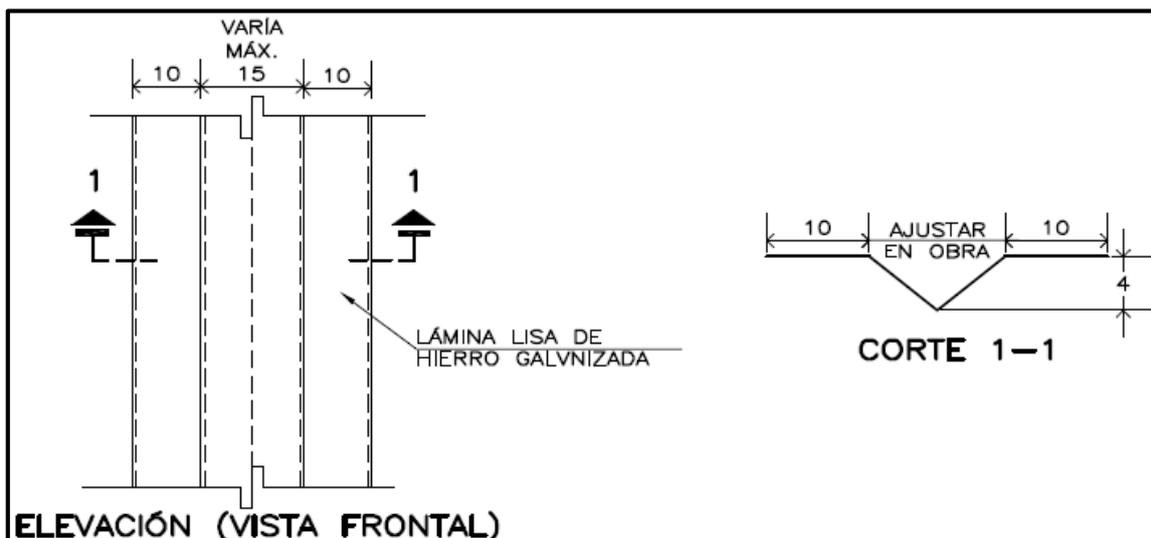


Figura 5.13 Colocación de tapajuntas. (INIFED, 2017)

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A lo largo de su historia, la Ciudad de México se ha visto afectada por sismos de gran magnitud lo que ha obligado al mejoramiento y actualización de su reglamento y las normas de construcción; en la última actualización, NTC-2017, se incorporaron los capítulos correspondientes a Evaluación y Rehabilitación a las NTC-DCEC y las NTC-DCEM, lo que constituyó un avance importante en materia de evaluación y rehabilitación de estructuras y será de gran ayuda para atender los daños, posteriores al sismo 19S17.

De las experiencias adquiridas en las brigadas de inspección de escuelas, se pudo observar que no se contaba con la información técnica suficiente y confiable de los planteles; si a eso se le suma los problemas de logística para la interacción con los responsables, la labor realizada fue lenta, causando demoras en la integración del diagnóstico y entrega de la información a las autoridades del INIFED para la toma de decisiones.

En las inspecciones realizadas se identificaron algunas escuelas que sufrieron daños estructurales por el sismo de 1985 y que fueron reforzadas, en su mayoría, con contraventeos, muros de cortante, aumento de la sección de columnas y adición de contrafuertes en muros externos y perimetrales; lo anterior para contar con el nivel de seguridad dado por las demandas sísmicas registradas. Se observó que los cuerpos estructurales reforzados, presentaron un comportamiento satisfactorio durante el sismo 19S17, no así algunos de los cuerpos no reforzados.

Durante la campaña de revisión de las escuelas, se encontraron diversos tipos de daño en elementos estructurales y no estructurales. Al respecto, es de importancia mencionar que el mayor porcentaje de estos daños, no fueron producidos por el sismo; lamentablemente su origen tiene que ver con la acción de agentes ambientales, deterioro de la construcción por su antigüedad y, principalmente, por la falta de mantenimiento, lo que se hizo notar o magnificó con la ocurrencia del sismo del 19S17. Lo anterior, recalca la importancia de que las escuelas cuenten con protocolos adecuados y programas de mantenimiento preventivo.

De acuerdo con el INIFED, para escuelas en la Ciudad de México, se deben utilizar los módulos estructurales urbanos de 2 y 3 pisos (U2C y UC3); sin embargo, en las inspecciones se detectó que muchas de las estructuras no utilizan estos prototipos, sobre todo en el caso de escuelas de nivel preescolar, donde se encontraron adaptaciones de casas o viviendas autoconstruidas.

Considerando que las escuelas son estructuras catalogadas dentro del Grupo A (INIFED 2014) y Grupo A2 (NTC-DS-2017), debe ser obligatorio realizarles una evaluación estructural integral para verificar que cumplan con la normatividad actual. Así mismo, también es necesario revisar y aplicar la normatividad y/o requisitos para el otorgamiento de licencias a escuelas particulares incorporadas a la SEP (uso del suelo y características de la construcción, constancia de seguridad estructural y/o visto bueno de seguridad y operación).

De la revisión de la normatividad aplicable para la construcción de escuelas en el país, se encontró que las normas del INIFED, aplicadas en la Ciudad de México, presentan gran semejanza con las NTC-2004; sin embargo, el INIFED es más estricto al asignar coeficientes sísmicos mayores.

Del levantamiento y evaluación de daños en cada uno de los edificios del plantel Celestino Gorostiza, tomado como caso de estudio en esta tesis, (A "Aulas", B "Biblioteca y Aulas", C "Dirección y Aulas" y "Cubo de escaleras"), se calificó a este inmueble como "Reconstrucción Parcial", ya que a pesar que algunos de sus cuerpos presentaron con daño menor (edificios A y B), los edificios C y cubo de escaleras, presentaron daños que ameritan una reconstrucción parcial.

De la evaluación simplificada de la resistencia lateral de las estructuras del caso de estudio, en función del cociente entre el coeficiente sísmico de las normas de referencia y el coeficiente sísmico asociado a la resistencia lateral que posee la estructura, se concluye lo siguiente:

Para el caso del cuerpo A la estructura posee una resistencia lateral superior a la demandada por la normatividad empleada en su diseño (NTC-1976), así mismo su capacidad lateral cumple con las normas posteriores, incluyendo las NEEPCI-DS-2014 del INIFED. Estos resultados son congruentes con los daños ligeros detectados durante la inspección.

Del análisis de los resultados del cuerpo B, se obtuvo que este posee una resistencia lateral superior a la demandada por la normatividad empleada en su diseño (NTC-1976 y además cumple con la normatividad de 1976 a 2004 y NTC-2017; sin embargo, no cumple con las NEEPCI-DS-2014 del INIFED. Los pocos daños observados confirman que estas últimas normas son más estrictas que las actualmente aprobadas para la ciudad de México.

De acuerdo al análisis de la resistencia lateral del cuerpo C, este cumple sólo con la resistencia de diseño dada por el reglamento de 1976; sin embargo, el refuerzo existente es un indicador de nivel de daño que pudo ocurrirle después del sismo de 1985.

Los resultados del análisis del cubo de escaleras también arrojaron resultados desfavorables para las normas posteriores a 1976, donde la capacidad de resistencia lateral no cumple, y al no estar reforzada, es la estructura con más daños observados producto del sismo.

En general, se concluye que los resultados del análisis simplificado de resistencia lateral empleado en este trabajo, resultan ser congruentes con la inspección estructural ocular del caso de estudio.

Las evidencias de daños estructurales, mecanismos de falla y deterioros de los materiales identificados durante una inspección a través de fisuras, grietas, desprendimiento de concreto, corrosión del acero, etc., deben documentarse claramente y ser parte de la memoria técnica de una edificación, para entender el comportamiento que ha experimentado desde su construcción y de ser necesario, realizar una evaluación estructural detallada.

La evaluación integral de la seguridad estructural, que comprende trabajos de campo y gabinete, no solo debe realizarse para una revisión post-sismo, sino también como una medida de prevención, que dará certeza de la condición estructural del plantel.

Las propuestas de procedimientos de reparación, refuerzo y mantenimiento establecidos en el capítulo 4 de esta tesis, son aplicables en escuelas de la Ciudad de México, con estructuras de concreto dañadas por el sismo y con daños preexistentes, siempre y cuando exista, en todo momento, una supervisión del proceso de estas actividades, en cuanto a la calidad de los materiales, herramientas, maquinaria y mano de obra calificada, contando con el aval del CSE.

Es de suma importancia que las figuras del DRO y del CSE sean ejercidas por Ingenieros civiles o especialistas en estructuras, que cuenten con el conocimiento y experiencia necesarios para llevar a cabo las actividades conducentes, definidas en las normas actuales.

BIBLIOGRAFÍA

SSN. México: Servicio Sismológico Nacional. (2017). Disponible en: <http://www.ssn.unam.mx/> (Consultado: Febrero 2019).

INEE. Instituto Nacional para la Evaluación de la Educación. (2017). "Periodo 2016-2017". Disponible en: https://www.inee.edu.mx/portalweb/informe2018/04_informe/capitulo_0201.html (Consultado: Febrero 2019).

INIFED. Instituto Nacional de la Infraestructura Física y Educativa. "¿Qué hacemos?". Disponible en: <https://www.gob.mx/inifed/que-hacemos> (Consultado: Febrero 2019).

Abella Inés. (2014). "Las placas tectónicas". Blog en línea publicado el 31 de octubre de 2014. Disponible en: <https://materialescienciasociales.com/2014/10/31/la-formacion-del-relieve/> (Consultado: Febrero 2019).

Galapagos Conservation Trust. "Descubriendo Galápagos: La tectónica de placas". Sitio web de Galapagos Conservation Trust. Disponible en: <http://descubriendogalapagos.ec/tag/placas-tectonicas-2/> (Consultado: Febrero 2019).

Blog Geología. (2018) "Fallas geológicas". Blog Geología, ramas y aplicaciones: Geología estructural, publicado el 16 de marzo de 2018. Disponible en: <https://geologiaweb.com/geologia-estructural/fallas-geologicas/> (Consultado: Febrero 2019).

Francisco Medina Martínez. (2003). "Sismicidad y volcanismo en México. Serie: La ciencia para todos". Fondo de cultura económica. México, D.F. 2003.

MATTAUER M. (1976). "Las Deformaciones de los Materiales de la Corteza Terrestre". Ediciones Omega. España, Barcelona. 1976.

Emilio Rosenblueth, Virginia García Acosta, Teresa Rojas Rabiela, Francisco Javier Núñez de la Peña, Jesús Orozco Castellanos (1992), "Macrosismos: Aspectos físicos, sociales, económicos y políticos". Talleres de impresores Cuadratín y Medio, S.A. de C.V. México, D.F. 1992.

Camilo Werlinger I., Miroslav Rodríguez. "Bibliografía Marina y Oceanografía: conceptos y procesos Tomo I: Tectónica de placas". Disponible en: <http://biblio3.url.edu.gt/Publi/Libros/2013/BioMarina/02.pdf> (Consultado: Febrero 2019).

CENAPRED. Centro Nacional de Prevención de Desastres (2014), "Fenómenos Geológicos". Guía Básica para la Elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos. México. 2006. Versión electrónica publicada en noviembre de 2014. Disponible en: <http://www.cenapred.gob.mx/es/Publicaciones/archivos/55.pdf> (Consultado: Febrero 2019).

Nava A. (1998). *"Terremotos"*. Fondo de Cultura Económica. México. 1998.

Pérez-Gavilán J.J., Aguirre J., Ramírez L. (2018). *"Sismicidad y seguridad estructural en las construcciones: lecciones aprendidas en México"*. Artículo publicado en la revista "Salud Pública de México". Vol. 60, suplemento 1 de 2018. Disponible en: <https://doi.org/10.21149/9300> (Consultado: Febrero 2019).

GTSSN. Grupo de trabajo del Servicio Sismológico Nacional, UNAM. (2017). *"Reporte especial: Sismo del día 19 de Septiembre de 2017, Puebla-Morelos (M 7.1)"*. Disponible en: http://www.ssn.unam.mx/sismicidad/reportes-especiales/2017/SSNMX_rep_esp_20170919_Puebla-Morelos_M71.pdf (Consultado: Febrero 2019).

ICA (1992). *"Catálogo de temblores que han afectado al valle de México del siglo XIV al XX"*. Fundación ICA, A.C. Ed. Lumisa. México, 1992.

Fundación ICA. (1988). *"Experiencias derivadas de los sismos de Septiembre de 1985"*. Fundación ICA, A.C. Noriega Editores, México.

RFA. (1986). *"Especial, Ciudad de México, 19 de septiembre de 1985"*. Revista de la Facultad de Arquitectura de la UNAM, Volumen Uno, 1986. División de Estudios de Posgrado.

García Acosta Virginia, Suarez Reynoso Gerardo. (1996). *"Los sismos en la historia de México Vol. 1"*. UNAM/CIESAS/Fondo de Cultura Económica. México. 1996.

Jaime Castañeda Iturbide. T. II y Carlos María de Bustamante. *"Temblores de México"*. P 108.

A.H.A.C.M. Historia Temblores, exp.1-2,6 forjas

Krishna Singh Sri. (1991). *"Terremotos y estimación de movimientos fuertes en México"*. Trabajo de ingreso a la academia Mexicana de Ingeniería. México. 1991.

Teresa Rojas Rabiela, Juan Manuel Pérez Zevallos, Virginia García Acosta (1985) *"Y volvió a temblar: cronología de los sismos en México (de 1 pedernal a 1821)"*. CIESAS. México. 1985.

ERN (2017). *"A 60 años del sismo del Ángel del 28 de julio de 1957"*. Disponible en: https://www.ern.com.mx/boletines/ERNterate_Notas_Sismo28julio1957.pdf (Consultado: Marzo 2019).

LOCAL.MX. *"El Ángel que se cayó en el temblor del 57 se puede visitar ¡Vayan!"* Artículo publicado el 12 de julio, 2018. Disponible en: <https://local.mx/ciudad-de-mexico/cronica-ciudad/el-angel-sismo-57/> (Consultado: Marzo 2019).

Geotecnia (2018). Carlos Roberto Torres Álvarez. "Efectos de sitio del sismo del 19 de septiembre de 2017 en la Ciudad de México". Artículo publicado en la Revista "geotecnia" núm 246, Diciembre 2017- Febrero 2018.

Ciencia UNAM (2017). Víctor M. Cruz Atienza, Shri Krishna y Mario Ordaz. "*¿Qué ocurrió el 19 de septiembre de 2017 en México?*". Publicado en Ciencia UNAM el 21 de septiembre de 2017. Disponible en: <http://ciencia.unam.mx/leer/652/-que-ocurrio-el-19-de-septiembre-de-2017-en-mexico-> (Consultado: Marzo 2019).

Meli R. y Miranda E. (1996), "*Evaluación de los efectos de los sismos de septiembre de 1985 en los edificios de la Ciudad de México, Evaluación de daños*", Publicación del Instituto de Ingeniería UNAM.

Laura Romero. (2017) "*Edificios caídos, en zonas de alta calidad de vida*". Publicado el 09 de octubre de 2017, Gaceta UNAM. México.

CNPC. Coordinación Nacional de Protección Civil. (2014). "*Metodología para la evaluación de la seguridad estructural de edificios*". México, 10 de noviembre de 2014.

Coordinación Nacional de Protección Civil. (2016). "*Evaluación de la seguridad estructural de edificios*". México, 24 de junio de 2016.

Contreras Cintya. (2011). "*Cuando pase el temblor... en riesgo 42 escuelas en el DF*" Nota del diario Excélsior. Publicado el 19 de septiembre de 2011.

San Bartolomé Ángel, Quiun Daniel y Silva Wilson. (2010). "*Comentarios relativos al tipo de falla en los muros de concreto de edificios chilenos en el sismo del 27 de febrero de 2010*". Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-30112011000200004 (Consultado: Marzo 2019).

La redacción, Proceso. (1985). "*1294 escuelas dañadas*". Nota publicada el 05 de octubre de 1985. Disponible en: <https://www.proceso.com.mx/142154/1294-escuelas-danadas> (Consultado: Marzo 2019).

Jesús Iglesias J., Francisco Robles F. V., José de la Cera A., y Oscar, M. González C, (1985). "*Reparación de estructuras de concreto y mampostería*". México D.F., 1985.

Paulo R do Lago Helene. (1997). "*Manual para reparación, refuerzo y protección de las estructuras de concreto*". Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C. México. 1997.

Héctor Guerrero Bobadilla. (2018). "*Beneficio de los disipadores de energía sísmica*". Publicada en la Gaceta del IIUNAM – 134, en Noviembre 2018.

CENAPED. (2018). "*Metodología para la evaluación de la seguridad estructural de edificios*".

http://dione.cuaed.unam.mx/propuestas.graficas/CENAPRED/unidad_06/g00_p13.html
(Consultado: Abril 2019).

edu.xunta.es. "Esfuerzos". Disponible en:
https://www.edu.xunta.es/espazoAbalar/sites/espazoAbalar/files/datos/1464947489/contido/4_esfuerzos.html (Consultado: Abril 2019).

ITA. Instituto Tecnológico de Aguascalientes. (2017). "Columnas (Tipos y clasificación)". Publicado el 20 de mayo de 2017. Disponible en: <https://www.slideshare.net/MarlenMGlvez/columnas-tipos-y-clasificacin> (Consultado: Abril 2019).

Murillo Jiménez Carlos Guillermo. (2019). "Fallas en Edificaciones Producidas por Fuerzas Sísmicas". Publicado el 20 de marzo de 2019. Disponible en: <https://www.inforcivil.org/fallas-en-edificaciones-producidas-por-fuerzas-sismicas/> (Consultado: Abril 2019).

Temo Correa. "Descripción de las fallas más comunes en estructuras de concreto reforzado y de mampostería". Disponible en: <https://es.slideshare.net/TemoCorrea/causas-evaluacion-reparacion> (Consultado: Abril 2019).

B.R.S. Ingenieros, C.A. "El efecto de columna corta estudio de casos". José Luis Beauperthuy U. y Alfredo José Urich B. Disponible en:
https://www.construccionenacero.com/sites/construccionenacero.com/files/u11/ci27_el_efecto_de_columna_corta_casos_de_estudios.pdf (Consultado: Abril 2019).

CYPE Ingenieros. "Comprobación de punzonamiento- Manual del usuario". Disponible en:
http://www.cype.net/punzonamiento/manual_comprobacion_punzonamiento.pdf (Consultado: Abril 2019).

Scielo.org. "Comentarios relativos al tipo de falla en los muros de concreto de edificios chilenos en el sismo del 27 de febrero de 2010". Disponible en:
http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-30112011000200004
(Consultado: Abril 2019).

Bazán E. y Melí R. (1998). "Diseño sísmico de edificios". Ed. Limusa. México 1998.

AF-CENAPRED. "Acervo de fotografías y figuras de la Subdirección de Riesgos Estructurales del Cenapred."

Acrosa. (1999). "Nacimiento, muerte y resurrección: el templo de la Compañía de Jesús de la ciudad de Puebla (México) después del sismo de 1999". Intervención (Méx. DF) vol.8 no.15 México ene./jun. 2017. Fotografía cortesía de la Empresa constructora Acrosa. Disponible en:
http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-249X2017000100070
(Consultado: Abril 2019).

Sika Colombia S.A.S. (2008). *"Reforzamiento de estructuras de concreto"*. Folleto de Sika Colombia S.A.S.

Sika Colombia S.A.S. (2017). *"Reforzamiento de estructuras de concreto"*. Folleto de Sika Colombia S.A.S.

Guerrero H., Terán-Gilmore A., Ji T., Escobar J. A. (2017). *"Evaluation of the economic benefits of using Buckling-Restrained Braces in hospital structures located in very soft soils. Engineering Structures"*. 136:406-19

ObrasWeb. (2015). *"1985: la Ciudad de México se ha reconstruido sobre sí misma"*. Disponible en: <https://obrasweb.mx/arquitectura/2015/09/17/1985-la-ciudad-de-mexico-se-ha-reconstruido-sobre-si-misma> (Consultado: Abril 2019).

Vázquez Vera Alejandro. (1997). *"La evolución de la construcción en México, como consecuencia del sismo de 1985"*. México. 1997. Disponible en: <https://es.slideshare.net/AcademiaDelIngenieriaMx/la-evolucion-de-la-construccion-en-mexico-como-consecuencia-del-sismo-de-1985> (Consultado: Abril 2019).

DE-DICYG. Departamento de Estructuras de la División de Ingenierías Civil y Geomática de la Facultad de Ingeniería de la UNAM (2017-2018) *"Archivo fotográfico y documental"*.

CICM-SMIE (2018). *"Ejecutable CICM-SMIE"*. Diseñado y programado por Jazmin Tapia Rivera. Disponible en: https://drive.google.com/open?id=1H9auf_4i_0CrBkZNW6O82nvn8OfLyAVP (Consultado: Mayo, 2019).

Sísmica Adiestramiento. *"Reforzamiento de miembros de concreto armado con fibra (FRP)"*. Diplomado en Ingeniería de Edificaciones y Puentes en Concreto Armado impartido por Curreri Joel Disponible en: <https://www.sismica-adiestramiento.com/cursos/diplomado-ingenieria-edificaciones-puentes-concreto-armado/> (Consultado: Mayo, 2019).

IngeCivil. (2018). *"Cómo funcionan los aisladores sísmicos"*. Publicado el 13 de agosto de 2018. Disponible en: <https://www.ingecivil.net/2018/08/13/funcionan-los-aisladores-sismicos/> (Consultado: Mayo, 2019).

Foreva. (2013). *"Reparación y refuerzo frente a sismo de edificaciones existentes"*. Disponible en: [http://www.freyssinet.com/freyssinet/wfreyssinet_sp.nsf/0/A3840039E99E8F69C1257C6D004BDA70/\\$file/R%20I%207_REPARACI%C3%93N%20Y%20REFUERZO%20PARAS%C3%8DSMICO_SP_V03.PDF](http://www.freyssinet.com/freyssinet/wfreyssinet_sp.nsf/0/A3840039E99E8F69C1257C6D004BDA70/$file/R%20I%207_REPARACI%C3%93N%20Y%20REFUERZO%20PARAS%C3%8DSMICO_SP_V03.PDF) (Consultado: Mayo, 2019).

Tecnalia. (2016). *"Análisis técnico constructivo de las edificaciones afectadas por el sismo del 16 de abril y recomendaciones de actuación"*. Misión Tecnalia en Manta-Portoviejo. Publicado en mayo de 2016. Disponible en: <https://slideplayer.es/slide/10991195/> (Consultado: Mayo, 2019).

Aragosaurus.com. "Inyección de resina epoxi en las fisuras". Disponible en: http://www.aragosaurus.com/secciones/docencia/tema/Master6-3_Restauracion_Yacimientos_Icnitas.pdf (Consultado: Mayo, 2019).

CYPE Ingenieros-Bolivia. "Generador de precios. Rehabilitación. Bolivia" Disponible en: http://www.bolivia.generadordeprecios.info/rehabilitacion/Estructuras/Mamposteria/Reparaciones/EFY020_Reparacion_de_grieta_en_estructura_.html (Consultado: Mayo, 2019).

Notimex. (2017). "Nueve escuelas tendrán que ser reconstruidas por completo en la CDMX por el sismo". Publicado el 17 de octubre de 2017. Disponible en: <https://www.animalpolitico.com/2017/10/nueve-escuelas-reconstruidas-completo-cdmx-sismo/> (Consultado: Mayo, 2019).

Secundaria 275. *Fotografías de la Escuela Secundaria No. 275 "José María Velasco"*. Disponible en: <https://es-la.facebook.com/pages/category/Campus-Building/Escuela-Secundaria-No-275-Jose-Maria-Velasco-156734261078052/> (Consultado: Mayo, 2019).

ARQHYS. "Techos plafonados para la oficina". Disponible en: <https://www.arqhys.com/techos-plafonados-para-la-oficina.html> (Consultado: Mayo, 2019).

DO. (1976). "Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal". Diario Oficial, publicado el 14 de diciembre de 1976.

DO. (1985). "Normas de Emergencia en materia de construcción para el Distrito Federal". Diario Oficial, publicado el 18 de octubre de 1985.

GODF. (1987). "Normas Técnicas Complementarias". Gaceta Oficial del Departamento del Distrito Federal publicada el 12 de noviembre de 1987.

GODDF. (1993). "Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal". Gaceta Oficial del Departamento del Distrito Federal publicada el 02 de agosto de 1993.

GODF. (2004). "Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo". Gaceta Oficial del Distrito Federal publicada el 06 de octubre de 2004.

Meli R. (2015) *A 30 años del sismo de 1985 "Avances en el conocimiento del peligro sísmico y en la normativa"*. Conferencia impartida por Meli R. en septiembre de 2015, en el Instituto de Ingeniería. Disponible en: <http://www.smie.org.mx/actividades/simposio-30-aniversario-sismos-septiembre-1985/archivos/cambios-ntc-diseno-sismico-rcdf.pdf> (Consultado: junio, 2019).

GCDMX. (2017) "Normas Técnicas Complementarias para el Diseño por Sismo". Gaceta Oficial de la Ciudad de México publicada el 15 de diciembre de 2017.

CFE (2015) "Manual de Diseño de Obras Civiles, Diseño por Sismo". Comisión Federal de Electricidad.

SMIE. "Criterios y acciones para el diseño estructural de las edificaciones (sobre los cambios en el reglamento de construcción del D.F. y sus Normas Técnicas Complementarias)". Disponible en: http://www.smie.org.mx/SMIE_Articulos/ta/ta_01/te_01/ar_04.pdf (Consultado: junio, 2019).

INIFED. (2014). "Normas y especificaciones para estudios, proyectos, construcciones e instalaciones, Volumen 1: Aspectos Generales, Tomo I: Generalidades y Terminología"

INIFED. (2014). "Normas y especificaciones para estudios, proyectos, construcciones e instalaciones, Volumen 4: Seguridad Estructural, Tomo I: Disposiciones y Criterios Generales".

INIFED. (2014). "Normas y especificaciones para estudios, proyectos, construcciones e instalaciones, Volumen 4: Seguridad Estructural, Tomo II: Diseño por Sismo".

INIFED. (2015). "Normas y especificaciones para estudios, proyectos, construcciones e instalaciones, Volumen 7: Conservación, Tomo II: Estructuras".

INIFED. (2015). "Normas y especificaciones para estudios, proyectos, construcciones e instalaciones, Volumen 7: Conservación, Tomo III: Instalaciones".

CAPFCE, Subdirección de Estructuras y Geotecnia, "Ensaye de Edificios Escolares Tipo Construidos Antes de los Sismos de 1985".

Meli R. (2003). "Diseño sísmico de Edificios". Lumisa. 2003.

CENAPRED. (2011). "Fascículo: Sismos". Secretaría de Gobernación, México D.F.

FEMA. (2011). "FEMA-310: Manual para la evaluación sísmica de edificios"

FEMA. (2013) "FEMA-154: Detección visual rápida de edificios con potencial de peligro sísmico"

INIFED-UNAM (2017). "Formato de Cédula para la calificación de la magnitud de daños post-sísmicos de la infraestructura física educativa derivados del sismo ocurrido el 19 de septiembre de 2017". En colaboración del INIFED, la Facultad de Ingeniería y la Facultad de Arquitectura de la UNAM, en septiembre de 2017.

SNPC-CENAPRED. (2011). "Manual del formato de captura de datos para evaluación estructural. Red nacional de evaluadores". Disponible en: <https://889noticias.mx/wp-content/uploads/2017/09/Formato-para-Evaluacion-rapida-Nivel-1-2011-05-20.pdf> (Consultado: junio, 2019).

Razo C. Daniela G. (2019). "Evaluación integral de la seguridad estructural de edificaciones existentes dañadas por sismos de gran magnitud", tesis para obtener el grado de Ing. Civil. FI. UNAM

INIFED. (2017). *"Catálogo general de detalles para rehabilitación de estructuras con daños ligeros"*. CDMX. 3 de noviembre 2017.

Iglesias J. Jesús, Robles F.V. Francisco, De la Cera A. José y González C. Oscar M. (1985). *"Reparación de estructuras de concreto y mampostería"*. División de Ciencias Básicas e Ingeniería. Departamento de materiales. México. 1985.

Helene Paulo & Pereira Fernanda (2007). *"Rehabilitación y mantenimiento de estructuras de concreto"*. Sika. Brasil, Sao Paulo. 2007.

Peter H. Emmons (2005). *"Manual ilustrado de reparación y mantenimiento del concreto"*. Instituto mexicano de cemento y concreto. México, D.F. 2005.

Paulo R. do Lago Helene (1997). *"Manual para reparación, refuerzo y protección de las estructuras de concreto"*. Instituto mexicano de cemento y concreto. México, D.F. 1997.

Instituto Chileno del Cemento y del Hormigón. (1985). *"Técnicas de reparación y Refuerzo de estructuras de hormigón armado y albañilerías"*. Aportes técnicos 14. I. Ch. C.H. 1985.