

# EDUCACIÓN

SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



**VOLÚMEN 4. Seguridad Estructural**

**TOMO 8. Diagnóstico y Rehabilitación  
de Estructuras Existentes**

---

**NORMATIVIDAD E INVESTIGACIÓN**  
**Revisión Julio 2023**

**INIFED**  
INFRAESTRUCTURA  
EDUCATIVA  
EN LIQUIDACIÓN

## INDICE

<b>DIAGNÓSTICO Y REHABILITACIÓN DE ESTRUCTURAS EXISTENTES</b>	<b>5</b>
<b>1 Introducción</b>	<b>5</b>
1.1 Propósito	5
1.2 Conceptos y definiciones	5
1.3 Alcance	6
1.4 Relación con otros documentos y procedimientos	6
<b>2 Criterios generales para el diagnóstico, evaluación, modelado y análisis</b>	<b>7</b>
2.1 Necesidad de evaluación	7
2.2 Proceso de evaluación	7
2.3 Investigación y documentación de la edificación y de las acciones que la dañaron	7
2.4 Procedimientos de diagnóstico y evaluación	8
2.5 Procedimientos de análisis	9
2.6 Determinación de las propiedades de los materiales	9
2.7 Clasificación del daño en los elementos de la edificación	10
2.7.1 Modo de comportamiento	10
2.7.2 Magnitud de daño	10
2.8 Evaluación del impacto de los elementos dañados en el comportamiento de la edificación	11
2.8.1 Impacto de daño	11
2.8.2 Edificación sin daño estructural	11
2.8.3 Capacidad remanente	11
2.8.4 Cálculo de la capacidad estructural	11
2.8.5 Consideraciones para evaluar la seguridad estructural	11
<b>3 Determinación de la necesidad de rehabilitar</b>	<b>12</b>
3.1 Daño ligero	12
3.2 Daño mayor	12
<b>4 Rehabilitación</b>	<b>12</b>
4.1 Estrategias de rehabilitación	12
4.1.1 Modificación de componentes estructurales	14
4.1.2 Eliminación o mitigación de irregularidades o discontinuidades existentes	14
4.1.3 Rigidización global de la estructura	14

4.1.4	Reforzamiento global de la estructura	14
4.1.5	Eliminación o corrección de problemas causados por la interacción entre edificios	15
4.1.6	Reducción de la masa reactiva	15
4.1.7	Adición de elementos de control de la respuesta	15
<b>4.2</b>	<b>Apuntalamiento, rehabilitación temporal y demolición</b>	<b>15</b>
4.2.1	Control del acceso	15
4.2.2	Rehabilitación temporal	16
4.2.3	Seguridad durante la rehabilitación	16
4.2.4	Conexión entre elementos existentes y materiales o elementos nuevos	16
<b>5</b>	<b>Criterios de rehabilitación en cimentaciones</b>	<b>16</b>
<b>6</b>	<b>Criterios de rehabilitación de estructuras de concreto</b>	<b>17</b>
<b>6.1</b>	<b>Alcance</b>	<b>17</b>
6.1.1	Reemplazo de concreto	17
<b>6.2</b>	<b>Reparación de grietas</b>	<b>17</b>
<b>6.3</b>	<b>Reparación de daños por corrosión</b>	<b>18</b>
<b>6.4</b>	<b>Aseguramiento de la calidad y pruebas para determinar las propiedades y características del concreto</b>	<b>18</b>
6.4.1	Pruebas de esclerómetro	19
6.4.2	Prueba con ultrasonido	19
6.4.3	Prueba de resistencia por medio de corazones de concreto	19
6.4.4	Análisis petrográfico	20
6.4.5	Pruebas de carga	20
<b>6.5</b>	<b>Reforzamiento</b>	<b>20</b>
6.5.1	Generalidades	20
6.5.2	Encamisado de elementos de concreto	21
6.5.3	Reforzamiento o adición de muros de concreto	21
<b>7</b>	<b>Criterios de evaluación y rehabilitación de estructuras de acero</b>	<b>22</b>
<b>7.1</b>	<b>Evaluación de estructuras existentes bajo cargas estáticas.</b>	<b>22</b>
7.1.1	Alcance	22
7.1.2	Propiedades del material	23
7.1.3	Evaluación con análisis estructural	24
7.1.4	Evaluación con pruebas de carga	25
7.1.5	Reporte de la evaluación	26
<b>7.2</b>	<b>Evaluación de estructuras existentes dañadas por sismo</b>	<b>26</b>
7.2.1	Alcance	26
7.2.2	Clasificación del daño	26
7.2.3	Evaluación del impacto de elementos dañados en el comportamiento de la edificación	27
7.2.4	Determinación de la necesidad de rehabilitar	28

<b>7.3</b>	<b>Rehabilitación de estructuras de acero</b>	<b>28</b>
7.3.1	Alcance	28
7.3.2	Consideraciones generales	29
7.3.3	Reemplazo de elementos o componentes	29
7.3.4	Reparación de daños por corrosión	30
7.3.5	Reforzamiento	30
<b>7.4</b>	<b>Rehabilitación de estructuras de acero en acción compuesta con secciones de concreto</b>	<b>31</b>
<b>8</b>	<b><i>Criterios de rehabilitación de estructuras de mampostería</i></b>	<b>31</b>
<b>8.1</b>	<b>Reparación de elementos</b>	<b>31</b>
8.1.1	Alcance	31
8.1.2	Reemplazo de piezas, mortero, barras y concreto dañados	32
8.1.3	Reparación de grietas	32
8.1.4	Reparación de daños debidos a corrosión	33
<b>8.2</b>	<b>Reforzamiento</b>	<b>33</b>
8.2.1	Generalidades	33
8.2.2	Encamisado de elementos de concreto y de mampostería	34
8.2.3	Adición o retiro de muros	34
8.2.4	Separación y recorte de pretilas en marcos de concreto o acero	35
<b>9</b>	<b><i>Construcción y aseguramiento de la calidad</i></b>	<b>35</b>

# DIAGNÓSTICO Y REHABILITACIÓN DE ESTRUCTURAS EXISTENTES

## 1 INTRODUCCIÓN

Este Capítulo tiene por objeto regular en sus aspectos esenciales el proceso de evaluación, diagnóstico y rehabilitación de inmuebles destinados al servicio del sistema educativo nacional incorporando la reglamentación para el desarrollo de una construcción segura, confiable, habitable y sustentable, estableciendo las obligaciones y responsabilidades de los distintos entes que intervienen en dicho proceso.

### 1.1 Propósito

La intención es presentar las disposiciones que deben cumplirse para recuperar o verificar los niveles de seguridad estructural en las construcciones escolares existentes, ya sea que exhiban daños o no. Para lo anterior se deberá desarrollar un proceso de evaluación y diagnóstico, así como de rehabilitación y, en los casos donde aplique, se efectuarán las actividades de conservación de la infraestructura física educativa.

### 1.2 Conceptos y definiciones

**Construcción existente.** Edificios, instalaciones e infraestructura física necesarios para que un inmueble escolar pueda cumplir sus funciones.

**Capacidad estructural.** Habilidad de una estructura, en términos de resistencia, rigidez, capacidad de deformación y amortiguamiento para funcionar ante las acciones impuestas.

**CPRF.** Compuestos poliméricos reforzados con fibras.

**Diagnóstico.** Conjunto de actividades y procedimientos necesarios para establecer la condición de la salud estructural, comportamiento, integridad y conveniencia de rehabilitar, reparar o reforzar una estructura o partes de ella, basados en investigaciones, inspecciones y aplicación del conocimiento sobre ingeniería estructural. También conocido como evaluación.

**Evaluación.** Proceso de identificación de daños, jerarquización del nivel de vulnerabilidad de elementos estructurales y no estructurales, y de determinación del nivel de seguridad estructural, comportamiento, integridad y conveniencia de rehabilitar, reparar o reforzar una estructura o partes de ella. También llamado diagnóstico.

**Guía Técnica.** Guía Técnica para la Rehabilitación Sísmica de la Infraestructura Física Educativa de México (INIFED, 2020a).

**Metodología de Evaluación.** Evaluación postsísmica de la infraestructura física educativa de México. Volumen 1: Metodología, Volumen 2: Introducción al comportamiento sísmico de estructuras para fines de evaluación, y Manual de campo (INIFED, 2020b, 2020c y 2020d).

**Recimentación.** Intervención en la cimentación para incrementar su capacidad de carga y de rigidez en conjunto con el suelo al que se transmiten las cargas y fuerzas.

Reforzamiento. Incremento de la capacidad para resistir cargas de una estructura o de una parte de una estructura.

**Rehabilitación.** Proceso de intervención estructural para restablecer las condiciones originales (reparación) o para mejorar el comportamiento de elementos y sistemas estructurales para que la edificación cumpla con los requisitos de seguridad contra colapso y de limitación de daños establecidos en el Reglamento; incluye a la recimentación, reforzamiento, reparación y rigidización.

**Reparación.** Reemplazo o corrección de materiales, componentes o elementos de una estructura que se encuentran dañados o deteriorados con el fin de recuperar su capacidad original. También conocida como restauración.

**Rigidización.** Incremento de la rigidez de un elemento o de una estructura con objeto de disminuir los desplazamientos y deformaciones ante las acciones de diseño.

Seguridad estructural. Nivel de cumplimiento de los estados límite de falla y de servicio de una estructura, establecidos en esta Tomo.

### 1.3 Alcance

De manera complementaria y obligatoria, estas disposiciones deben emplearse en el proceso de evaluación, diagnóstico y rehabilitación estructural de construcciones escolares tanto en la fases de recuperación y reconstrucción tras la ocurrencia de un fenómeno perturbador, como en programas de prevención y mitigación del riesgo ante fenómenos naturales de la infraestructura física educativa del país.

### 1.4 Relación con otros documentos y procedimientos

Para la correcta aplicación del presente capítulo se consideran, además de los documentos y normas mencionados en el mismo, aquellas referencias incluidas en los capítulos 3 y 18 y, la Guía Técnica para la Rehabilitación Sísmica de la Infraestructura Física Educativa de México. En la Guía Técnica se incluyen los requisitos mínimos para la evaluación, análisis, diseño, construcción y aseguramiento de la calidad de la

rehabilitación sísmica de sistemas, componentes y elementos estructurales de edificios existentes.

La aplicación de la Guía Técnica es obligatoria y es complementaria a las especificaciones de la Norma Mexicana para la Seguridad de la Infraestructura Física Educativa (específicamente de la norma NMX-R-079-SCFI-2015 o su supletoria), del reglamento de construcciones local y de sus normas técnicas complementarias (NTC), si existen.

Para el diagnóstico y evaluación de la estructura se debe aplicar la Metodología de Evaluación.

## **2 CRITERIOS GENERALES PARA EL DIAGNÓSTICO, EVALUACIÓN, MODELADO Y ANÁLISIS**

### **2.1 Necesidad de evaluación**

Se deberá revisar la seguridad estructural de una edificación cuando se tengan indicios de que ha sufrido algún daño, presente problemas de servicio o de durabilidad, vaya a sufrir alguna modificación, o bien, cuando se requiera verificar el cumplimiento del nivel de seguridad establecido en este documento.

### **2.2 Proceso de evaluación**

El proceso de evaluación deberá incluir:

- a) Investigación y documentación de la estructura, incluyendo daños causados por sismos u otras acciones.
- b) Si es aplicable, clasificación del daño en cada elemento de la edificación (estructural y no estructural) según su severidad y modo de comportamiento.
- c) Si aplica, estudio de los efectos del daño en los elementos estructurales en el desempeño futuro de la edificación.

Para los incisos b) y c) se deberá consultar la Metodología de Evaluación.

### **2.3 Investigación y documentación de la edificación y de las acciones que la dañaron**

Se deberá recolectar información básica de la edificación y de las acciones que la dañaron; en particular se procurará, al menos:

- a) Recopilar memorias, especificaciones, planos arquitectónicos y estructurales, así como informes y dictámenes disponibles.

- b) Inspeccionar la edificación, así como reconocer su edad y calidad de la construcción.
- c) Estudiar el reglamento y normas de construcción en vigor la fecha de diseño y construcción de la estructura.
- d) Determinar las propiedades de los materiales y del suelo.
- e) Definir el alcance y magnitud de los daños.
- f) Tener entrevistas con los propietarios, ocupantes, así como con los constructores y diseñadores originales.
- g) Obtener información sobre las acciones que originaron el daño, tal como su magnitud, duración, espectros de respuesta u otros aspectos relevantes.

Al menos, se debe realizar una inspección en sitio con el fin de identificar el sistema estructural, su configuración y condición. Si es necesario, se deben retirar los recubrimientos y demás elementos que obstruyan la revisión visual de la estructura.

Para mayores detalles se recomienda revisar el Capítulo 4 - Evaluación y análisis estructural y, en especial, la sección 4.2 - Investigación de las características de los edificios existentes, de la Guía Técnica.

## **2.4 Procedimientos de diagnóstico y evaluación**

En el proceso de diagnóstico y evaluación se deberá aplicar cualquiera de los siguientes procedimientos, según el nivel de evaluación requerido:

- a) Nivel 1. Se refiere al diagnóstico y evaluación preliminares para establecer las condiciones actuales sobre la seguridad estructural de la INFE. En este nivel de evaluación se podrá utilizar una cédula que contenga la información necesaria para efectuar el diagnóstico y evaluación preliminares; dicha información podrá ser obtenida de manera visual en el sitio y/o a partir de la información del proyecto estructural y arquitectónico de la construcción existente. Al usar el Nivel 1 se determinará un índice preliminar de riesgo para ello podrá utilizarse la tabla contenida en el Anexo 1 de esta norma (Matriz para determinar el IPR).
- b) Nivel 2. Se refiere al diagnóstico y evaluación de las condiciones actuales sobre el nivel de vulnerabilidad estructural de las construcciones existentes ante la posible ocurrencia de algún fenómeno perturbador. En este Nivel de evaluación, además de la información obtenida para el Nivel 1, se deberá utilizar alguno de los métodos de análisis propuestos en el inciso 16.2.5 para verificar el desempeño de la construcción de interés ante el escenario supuesto que caracterice al fenómeno perturbador.
- c) Nivel 3. Se refiere al diagnóstico y evaluación de las construcciones existentes que hayan experimentado daños moderados o severos, o bien sobre las que se tenga evidencia de un alto nivel de vulnerabilidad elevada que pongan en riesgo su integridad estructural. En este nivel, además de lo dispuesto en el Nivel 2, se podrán efectuar pruebas experimentales en los materiales o en la construcción

de interés con el fin de reducir las incertidumbres en sus propiedades. En este nivel también deberán emplearse algunos de los métodos de la sección 16.2.5.

Para una evaluación de la seguridad estructural ante sismo se aplicarán los criterios descritos en la Metodología de Evaluación.

## **2.5 Procedimientos de análisis**

Los métodos de análisis propuestos para llevar a cabo los niveles de diagnóstico y evaluación 2 y 3 son los siguientes:

- a) Método A. Basado en la respuesta lineal del sistema estructural calculada mediante modelos analíticos que representen las condiciones reales de la construcción de interés, tanto en geometría, materiales, condiciones de apoyo entre sus elementos, tipo de cimentación y de terreno de desplante, interacción con elementos no estructurales y tipo de sistema de piso. Para aplicar este método será válido calcular las respuestas estructurales de interés, deformaciones, desplazamientos y elementos mecánicos, según los métodos y procedimientos de análisis mencionados en cada uno de los Romoss de la presente Volumen.
- b) Método B. Basado en la respuesta no lineal pseudo-estática del sistema estructural calculada mediante modelos analíticos, que contemplen la no linealidad geométrica y de los materiales, y que representen las condiciones reales de la construcción de interés, tanto en geometría, materiales, condiciones de apoyo entre sus elementos, tipo de cimentación y de terreno de desplante, interacción con elementos no estructurales y tipo de sistema de piso. Para aplicar este método será válido calcular las respuestas estructurales de interés, deformaciones, desplazamientos y elementos mecánicos, según los métodos disponibles para tal fin en la literatura. En este caso la revisión de la validez de los resultados del análisis quedará a juicio del Director Responsable de Obra y del Corresponsable en Seguridad Estructural, con el aval de un especialista certificado por la autoridad local.

Los factores de carga y factores de resistencia serán los requeridos en el capítulo 3 – Cargas, factores de carga y factores de resistencia de la Guía Técnica. Adicionalmente a lo señalado en esta normatividad, se deberá cumplir con lo establecido en el capítulo 4 - Evaluación y análisis estructural (sección 4.3 - Métodos de análisis) de la Guía Técnica.

## **2.6 Determinación de las propiedades de los materiales**

La determinación de las propiedades de los materiales podrá efectuarse mediante procedimientos no destructivos o destructivos, siempre que por estos últimos no se deteriore la capacidad de los elementos estructurales. En caso de que se tengan daños en la cimentación o modificaciones en la estructura que incidan en ella, será necesario verificar las características del sub-suelo mediante un estudio geotécnico.

Los métodos de ensayos destructivos y no destructivos empleados para obtener las propiedades en sitio de los materiales deberán satisfacer los incisos 4.2.4 - Propiedades de elementos y componentes y 4.2.5 - Ensayes para determinar las propiedades de los materiales de la Guía Técnica.

En ningún caso se aceptará usar resultados de esclerómetros (también conocidos como martillos de rebote) para determinar la resistencia a la compresión y/o módulo de elasticidad del concreto.

El número y distribución de núcleos de concreto deberá satisfacer lo establecido en el capítulo 4 de la Guía Técnica.

## **2.7 Clasificación del daño en los elementos de la edificación**

### **2.7.1 Modo de comportamiento**

Atendiendo al modo de comportamiento de los elementos estructurales y no estructurales, se deberá clasificar el tipo y magnitud del daño. El modo de comportamiento se define por el tipo de daño predominante en el elemento y dependerá de la resistencia relativa del elemento a las distintas acciones que actúen en él.

### **2.7.2 Magnitud de daño**

La magnitud o severidad del daño en elementos estructurales se podrá clasificar en cuatro niveles:

- a) Nulo o insignificante, que no afecta de manera relevante la capacidad estructural (resistencia y deformación). La reparación será de tipo superficial.
- b) Ligero, cuando afecta ligeramente la capacidad estructural. Se requieren medidas de reparación sencillas para la mayor parte de elementos y de modos de comportamiento.
- c) Moderado, cuando afectan medianamente la capacidad estructural. La rehabilitación de los elementos dañados depende del tipo de elemento y modo de comportamiento.
- d) Severo, cuando el daño afecta significativamente la capacidad estructural. La rehabilitación implica una intervención amplia, con remplazo o refuerzo de algunos elementos, o incluso la demolición total o parcial.

Si el daño observado es clasificado como moderado o severo se deberá notificar a la autoridad. Si el daño es producto de un sismo, se procederá a evacuar el edificio y no permitir su uso.

Para la definición del tipo y severidad del daño por sismo, se debe consultar el Volumen 2 de la Metodología de Evaluación aplicable a estructuras de mampostería simple y de mampostería confinada sin refuerzo horizontal, de muros, marcos y losas planas de concreto, y de estructuras a base de muros diafragma en marcos de concreto y acero.

## **2.8 Evaluación del impacto de los elementos dañados en el comportamiento de la edificación**

### **2.8.1 Impacto de daño**

Se deberá evaluar el efecto de grietas u otros signos de daño en el desempeño futuro de una edificación, en función de los posibles modos de comportamiento de los elementos dañados, sean estructurales o no estructurales.

### **2.8.2 Edificación sin daño estructural**

Si la edificación no presenta daño estructural alguno se deberán estudiar los diferentes modos posibles de comportamiento de los elementos, y su efecto en el desempeño futuro de la edificación. El modo de comportamiento más probable será el asociado a la resistencia ante las acciones en estudio más baja. Se deberá estudiar la jerarquía u orden de los posibles modos de falla.

### **2.8.3 Capacidad remanente**

Para evaluar la seguridad estructural de una edificación dañada será necesario determinar la capacidad remanente en cada elemento para cada modo de comportamiento posible o predominante. Dicha capacidad estará definida por el nivel de acciones con el cual el elemento, de la estructura o cimentación, alcanza un primer estado límite de falla o de servicio, dependiendo del tipo de revisión que se lleve a cabo.

### **2.8.4 Cálculo de la capacidad estructural**

Para obtener la capacidad estructural se cumplirán los requisitos y ecuaciones aplicables de es documento o de otras normas técnicas complementarias. Cuando en la inspección en sitio no se observe daño estructural alguno, se puede suponer que la capacidad original del elemento estructural está intacta. En edificaciones con daños estructurales, se deberá considerar la participación de los elementos dañados, afectado su capacidad individual según el tipo y nivel de daño, como se establece en el Volumen 2 de la Metodología de Evaluación. En edificaciones inclinadas debe incluirse el efecto del desplomo en el análisis.

### **2.8.5 Consideraciones para evaluar la seguridad estructural**

Para evaluar la seguridad estructural de una edificación se deberán considerar, entre otros, su deformabilidad, los defectos e irregularidades en la estructuración y

cimentación, el riesgo inherente a su ubicación, la interacción con las estructuras vecinas, la calidad del mantenimiento y el uso al que se destine.

### **3 DETERMINACIÓN DE LA NECESIDAD DE REHABILITAR**

Se aceptará rehabilitar una estructura de un edificio existente cuando se cumplan las condiciones a y b siguientes:

- a) Los cocientes demanda/capacidad para acciones y/o desplazamientos laterales son iguales o mayores que 1.0 para los elementos, componentes y sistemas estructurales resistentes a cargas gravitacionales y/o resistentes a fuerzas laterales inducidas por sismo.
- b) La estructura mantiene sensiblemente su geometría original; es decir, no requiere de ser renivelada, deformada o desplazada para recuperarla.

#### **3.1 Daño ligero**

Si como resultado del proceso de evaluación de la seguridad estructural se concluye que cumple con la normativa vigente y sólo presenta daños estructurales insignificantes o ligeros, deberá hacerse un proyecto de rehabilitación que considere la restauración o reparación de dichos elementos.

#### **3.2 Daño mayor**

Si se concluye que no cumple con el nivel de seguridad, se presentan daños estructurales moderados o severos, o se detectan situaciones que pongan en peligro la estabilidad de la estructura, deberá elaborarse un proyecto de rehabilitación que considere, además de la reparación de los elementos dañados, la modificación (reforzamiento, rigidización, recimentación) de la capacidad de toda la estructura. La evaluación podrá igualmente recomendar la demolición total o parcial de la estructura. En este caso la edificación deberá ser desalojada.

El propietario, con ayuda del proyectista, realizará los estudios costo-beneficio y demás análisis económico-financieros para decidir la conveniencia y viabilidad de rehabilitar el edificio, o bien, de demolerlo y reconstruirlo.

### **4 REHABILITACIÓN**

#### **4.1 Estrategias de rehabilitación**

La rehabilitación de un edificio escolar deberá atender a una o la combinación de las estrategias de rehabilitación señaladas en las Secciones 0 a 4.1.7 siguientes.



#### **4.1.1 Modificación de componentes estructurales**

Se debe considerar la modificación local de componentes sin alterar la configuración básica del sistema estructural resistente, en especial, ante cargas laterales. Esto implica mejorar las conexiones, la resistencia y/o capacidad de deformación de los componentes. El encamisado de elementos de marcos (con concreto, acero o compuestos poliméricos reforzados con fibras) es una técnica que permite incrementar la resistencia y/o la capacidad de deformación, sin alterar la respuesta global de la estructura. Otra medida es reducir la sección transversal de ciertos componentes para aumentar su flexibilidad y dotarlos de mayor capacidad de deformación lateral.

#### **4.1.2 Eliminación o mitigación de irregularidades o discontinuidades existentes**

Se debe considerar la eliminación o mitigación de las irregularidades de rigidez, resistencia y masa que causan un desempeño inadecuado. La eliminación de las irregularidades puede ser una solución; sin embargo, se deberá revisar que no genere concentraciones de desplazamiento en algunos puntos de la estructura.

La eliminación de entrepisos débiles o suaves incluye la adición de muros o contraventeos. En el caso de irregularidades que causan torsión, se debe considerar la adición de marcos, muros o contraventeos que equilibren la distribución de rigidez y masa en un piso.

Otra estrategia de rehabilitación por considerar es la demolición de porciones de la estructura que causan la irregularidad, como entrantes y apéndices. También se debe considerar la elaboración de juntas constructivas para dividir el edificio irregular en varios cuerpos regulares separados entre sí. Las juntas constructivas deben tener la dimensión necesaria que cumpla con los requisitos normativos y evite el golpeteo entre estructuras.

#### **4.1.3 Rigidización global de la estructura**

Se debe rigidizar la estructura cuando los desplazamientos calculados son superiores a los límites máximos establecidos en este documento; también cuando los elementos y componentes no tengan la capacidad de deformación inelástica demandada por los sismos. Este es el caso de marcos con columnas con refuerzo insuficiente a cortante y sin detallado dúctil. Para contrarrestar esta deficiencia, la construcción de nuevos muros o contraventeos es una medida efectiva para incrementar la rigidez lateral. Es frecuente que esta técnica lleve asociado el encamisado de columnas para dotarlas de una mayor capacidad de deformación lateral inelástica. Es importante tomar en cuenta las nuevas acciones a la cimentación.

#### **4.1.4 Reforzamiento global de la estructura**

Se considerará el reforzamiento global de la estructura cuando la resistencia del inmueble existente sea baja y conduzca a comportamiento inelástico ante movimientos

pequeños. La adición de muros o contraventeos es una solución adecuada para ello. Dependiendo de la estructura existente, es posible que la alta rigidez lateral de muros y contraventeos obligue a diseñarlos para resistir gran parte de la demanda sísmica. Otra opción es reforzar los marcos resistentes a momento.

#### **4.1.5 Eliminación o corrección de problemas causados por la interacción entre edificios**

Se considerará la rigidización de la estructura para evitar el golpeteo con las estructuras adyacentes ante acciones de sismos. Si la separación entre los edificios contiguos es muy pequeña, se evaluará la posibilidad de unirlos, de modo que respondan como una unidad estructural. Otra posibilidad es diseñar y construir elementos que sean capaces de resistir y transmitir el impacto del edificio vecino, sin afectar los elementos resistentes a cargas verticales. Una posibilidad es usar elementos de neopreno diseñados para resistir el posible impacto; ello requiere un reforzamiento local de ambas estructuras.

#### **4.1.6 Reducción de la masa reactiva**

Se deberá considerar la reducción de la masa reactiva de una estructura a fin de reducir la demanda de fuerza y deformación producida por el sismo. La masa se puede reducir mediante el retiro de tanques de agua, la demolición de apéndices, el remplazo de fachadas y muros divisorios pesados, así como el retiro de equipo y bodegas, especialmente en la parte superior del edificio.

#### **4.1.7 Adición de elementos de control de la respuesta**

El aislamiento de base es una técnica idónea para edificios rígidos y masivos en suelo firme o roca, pero no así en suelos blandos. Es recomendable considerar dicha técnica para este tipo de estructuras. De igual forma, se debe tener en mente la inclusión de elementos disipadores de energía mediante fricción, comportamiento histerético o viscoelástico. Estos elementos son idóneos para edificios relativamente flexibles y que posean capacidad de deformación inelástica. Tales sistemas están frecuentemente acoplados a contraventeos. Si bien en varios casos los desplazamientos se reducen, las fuerzas transmitidas a la estructura aumentan. Para más detalles, revítese el Apéndice B de las NTC-Sismo de la Ciudad de México.

### **4.2 Apuntalamiento, rehabilitación temporal y demolición**

#### **4.2.1 Control del acceso**

Si se detectan daños en la estructura que puedan poner en peligro su estabilidad, deberá controlarse el acceso a la misma y proceder a su rehabilitación temporal en tanto se termina la evaluación. En aquellos casos en que los daños hagan inminente el derrumbe total o parcial, con riesgo para la construcción o vías de comunicación

vecinas, será necesario proceder a la demolición urgente de la estructura o de la zona que representa riesgo.

El Volumen 1 de la Metodología de Evaluación contiene el procedimiento para la colocación de avisos y acordonamiento dependiendo de las condiciones existentes del edificio a evaluar.

#### **4.2.2 Rehabilitación temporal**

Cuando el nivel de daños observados en una edificación así lo requiera, será necesario rehabilitar temporalmente, o apuntalar, de modo que se proporcione la rigidez y resistencia provisionales necesarias para la seguridad de los trabajadores que laboren en el inmueble, así como de los vecinos y peatones en las zonas adyacentes. La rehabilitación temporal será igualmente necesaria cuando se efectúen modificaciones a una estructura que impliquen la disminución transitoria de la rigidez o capacidad resistente de algún elemento estructural.

Mayores detalles del apuntalamiento y arriostramiento temporal se encuentran en la Guía Técnica (sección 8.2 - Apuntalamiento y arriostramiento temporales).

#### **4.2.3 Seguridad durante la rehabilitación**

Las obras de rehabilitación temporal, o apuntalamiento, deberán ser suficientes para garantizar la estabilidad de la estructura. Antes de iniciar las obras de rehabilitación deberá demostrarse que el edificio cuenta con la capacidad de soportar simultáneamente las acciones verticales estimadas (cargas muerta y viva) y 30 por ciento de las accidentales obtenidas de las Normas para Diseño por Sismo con las acciones permanentes previstas durante la ejecución de las obras. Para alcanzar dicha capacidad será necesaria, en los casos que se requiera, recurrir a la rigidización temporal de algunas partes de la estructura.

#### **4.2.4 Conexión entre elementos existentes y materiales o elementos nuevos**

Las conexiones entre elementos existentes y los materiales o elementos nuevos se deben diseñar y ejecutar de manera de alcanzar un comportamiento monolítico y de asegurar la transmisión de fuerzas entre ellos. Se admitirá usar anclas, fijadores o pernos adhesivos o colocados con cargas de pólvora de intensidad controlada. Se deberá cumplir con lo establecido en la sección 6.5 - Conexión entre elementos existentes y materiales o elementos nuevos de la Guía Técnica.

### **5 CRITERIOS DE REHABILITACIÓN EN CIMENTACIONES**

Si se requiere rehabilitar (reparar, reforzar y/o rigidizar) la cimentación, se deberá cumplir con lo establecido en la sección 6.16 - Rehabilitación de la cimentación de la Guía Técnica.

## **6 CRITERIOS DE REHABILITACIÓN DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO**

### **6.1 Alcance**

Cuando se requiera recuperar la capacidad original de un elemento será necesaria su reparación o restauración. Aquellos elementos dañados que adicionalmente serán reforzados deberán ser reparados antes.

Se deberán considerar todos los factores que intervengan para lograr una reparación adecuada como magnitud del daño, tipo y calidad de materiales, calidad de la ejecución y ensayos de control de calidad.

Se debe considerar en el análisis y en la evaluación de la edificación, que el nivel de restitución de la capacidad estructural que sea factible alcanzar y satisfaga el modo de comportamiento requerido desde la parte estructural y servicio marcados en estas normas.

Se recomienda cumplir con los requisitos de las secciones 6.2 (Reparación local de elementos estructurales) y 6.4 (Remplazo de elementos estructurales dañados) de la Guía Técnica.

#### **6.1.1 Remplazo de concreto**

En elementos con daño severo puede ser necesario sustituir el concreto dañado por concreto nuevo, previo apuntalamiento de los elementos a reparar.

Se deberá promover la buena adherencia entre los concretos existentes y los nuevos, utilizando aditivos especiales para unir concreto fresco a concreto endurecido, o conectores, así como aditivos o cementantes para evitar los pequeños cambios volumétricos debidos a la contracción por secado. Se usarán concretos del mismo tipo y con una resistencia de 50 kg/cm<sup>2</sup> superior a la del concreto original.

#### **6.2 Reparación de grietas**

Se permitirá recurrir a la inyección de resinas epoxi. La viscosidad y tipo de la resina epoxi se determinará en función del ancho de la fisura por obturar. Se deberá impedir que se realicen perforaciones sobre las fisuras para evitar que se tapen impidiendo la penetración de la resina.

Se permitirá inyectar una fisura con resina epoxi hasta con un ancho de 10 milímetros. Cuando el ancho sea superior se deberán utilizar fluidos a base cementos hidráulicos de contracción compensada.

En todos los casos se debe tener el concreto libre de acabados en por lo menos 300 milímetros adyacentes a la fisura.

Se deberá cumplir con los requisitos de la sección 6.3 - Reparación de grietas mediante fluidos de la Guía Técnica.

### **6.3 Reparación de daños por corrosión**

Se deberá retirar el concreto, exponer totalmente las barras de refuerzo corroídas y sanas que estén dentro de la zona afectada.

Para asegurar la adherencia entre los materiales nuevos, las barras de refuerzo y el concreto endurecido, se deberán limpiar las barras y las superficies del material existente. Si las barras corroídas han perdido más de un 25 por ciento de su sección transversal, se debe reemplazarlas o bien colocar barras suplementarias que representen el doble de área perdida, ancladas adecuadamente.

El nuevo concreto que se coloque deberá tener una menor permeabilidad que la del concreto existente. Se deberá considerar la conveniencia de proteger de la corrosión al refuerzo expuesto a través de medidas activas o pasivas.

En la sección 7.4 - Corrosión y deterioro del refuerzo de elementos metálicos embebidos de la Guía Técnica se encuentran los requisitos para la evaluación y reparación del daño por corrosión. En las secciones 7.5 y 7.6 (Protección del refuerzo contra la corrosión y Tratamiento de la superficie y revestimientos, respectivamente) se incluyen requisitos para proteger a la estructura de la corrosión.

### **6.4 Aseguramiento de la calidad y pruebas para determinar las propiedades y características del concreto**

La inspección y evaluación tiene la finalidad de determinar la calidad de una estructura o un elemento de concreto reforzado o presforzado, ya sea en su etapa de construcción, o en servicio, o por tener duda de su estabilidad.

La inspección se considera compleja y requiere frecuentemente de la práctica de ensayos para conocer la calidad del concreto.

La necesidad de los ensayos puede ser necesaria debido a:

- a) Se estima que la resistencia del concreto es menor que la resistencia especificada en el diseño, lo que obliga a realizar un examen y comprobación estructural.
- b) Cambio de uso de la estructura que ocasione acciones superiores sobre los elementos estructurales y que obligue al conocimiento de la capacidad resistente actual a fin de determinar si es preciso o no un refuerzo.
- c) Comportamiento inadecuado de una estructura en servicio presentando deficiencias, fisuras o deformaciones superiores a las del proyecto, obligando al conocimiento de las causas que producen dichas alteraciones.
- d) Determinación de la capacidad residual de una estructura que ha sufrido una acción peligrosa accidental, tal como: incendio, sobrecarga, impacto etc.

Los ensayos podrán ser semi-destructivos y no destructivos.

Los requisitos de ensayos de materiales (concreto, acero y mampostería) se encuentran en la sección 4.2 – Investigación de las características de los edificios existentes de la Guía Técnica.

#### **6.4.1 Pruebas de esclerómetro**

El ensayo con esclerómetro (o martillo de rebote) es un método no destructivo, con el cual se puede estimar la uniformidad del concreto (o mampostería) en un elemento estructural. No se permite usar para estimar la resistencia o módulo de elasticidad del concreto.

La realización de esta prueba se deberá llevar a cabo siguiendo lo especificado en la norma vigente “Determinación del número de rebote utilizando el dispositivo conocido como esclerómetro, NMX-C-192-ONNCCE”.

#### **6.4.2 Prueba con ultrasonido**

Las pruebas con ultrasonido se fundamentan en la propagación de una onda elástica a través del concreto. La finalidad de esta prueba es determinar el módulo de elasticidad dinámico del concreto, su compactación, existencia de fisuras, y su profundidad, a través del tiempo que tarda un grupo de ondas en atravesar un espesor determinado de concreto que forma parte de una estructura. Se debe usar para evaluar la calidad de la inyección de grietas con resina epoxi.

La realización de la prueba con ultrasonido debe atender a lo especificado en la norma vigente “Determinación de la velocidad de pulso a través del concreto método de ultrasonido, NMX-C-275-ONNCCE”.

#### **6.4.3 Prueba de resistencia por medio de corazones de concreto**

Los corazones o núcleos son piezas de forma cilíndrica que se extraen del concreto mediante el corte de una broca hueca de diámetro específico.

Mediante la extracción y ensaye a compresión simple del corazón se puede determinar la resistencia del concreto, módulo de elasticidad y el diagrama esfuerzo deformación. Para la aplicación de esta prueba se deben aplicar las especificaciones de las normas: “Obtención y prueba de corazones y vigas extraídos de concreto endurecido NMX-C-169-1997-ONNCCE”, “Determinación del módulo de elasticidad estático y relación de Poisson NMX-C-128-ONNCCE”, y “Determinación de la resistencia a compresión de cilindros de concreto NMX-C-083-ONNCCE”.

Se deberán obtener como mínimo tres corazones por tipo de elemento a evaluar.

En el inciso 4.2.5 de la Guía Técnica se establecen los requisitos a cumplir sobre la obtención, ensaye y frecuencia (o número) de núcleos de concreto.

#### **6.4.4 Análisis petrográfico**

Este análisis se realiza mediante la inspección microscópica de la microestructura de la pasta de cemento, la composición de los agregados y la unión agregado – pasta. El análisis se lleva a cabo en una lámina delgada de concreto de 20 micras de espesor. Este análisis se basa en la aplicación de la norma “Practice of Petrographic Examination of Hardened Concrete”, ASTM-C-856 vigente.

#### **6.4.5 Pruebas de carga**

Esta prueba se realiza aplicando a los elementos de concreto la carga de diseño y analizando su comportamiento, midiendo su deformación máxima y capacidad de recuperación. El modo de llevar cabo esta prueba se describe en el RCDF.

Por lo complejo de la inspección de una estructura no se deberá basar la decisión que se tome de los resultados de la aplicación de una sola prueba, se deberá hacer un análisis comparativo de resultados obtenidos con otros métodos.

### **6.5 Reforzamiento**

#### **6.5.1 Generalidades**

Cuando se requiera modificar las capacidades resistentes o de deformación de un elemento estructural, será necesario recurrir a su reforzamiento. El reforzamiento de un elemento suele producir cambios en su rigidez que deberán tomarse en cuenta en el análisis estructural. Se debe revisar que la modificación de los elementos sujetos a refuerzo no produzca que los elementos no intervenidos alcancen prematuramente,

estados límite de servicio o de falla, que puedan conducir a comportamientos desfavorables y no estables.

El análisis estructural podrá efectuarse suponiendo el comportamiento monolítico del elemento original y su refuerzo, si el diseño y ejecución de las conexiones entre los materiales así lo aseguran.

## **6.5.2 Encamisado de elementos de concreto**

Los elementos de concreto se pueden reforzar colocando barras longitudinales y transversales, así como con mallas de alambres soldado recubiertas con mortero o concreto. Los elementos de concreto también se pueden encamisar mediante placas metálicas completas o con perfiles formando celosías. Igualmente, se pueden encamisar mediante la adición de compuestos poliméricos reforzados con fibras adheridos con resinas especialmente diseñadas. Las fibras más usuales pueden ser de carbono o de vidrio.

Si sólo se encamisa la columna en el entrepiso se incrementa su resistencia ante carga axial y fuerza cortante, quedando con un comportamiento más dúctil, pero no se altera su resistencia a flexión original. Para mejorar esta resistencia es necesario extender el encamisado a través de la losa, pasando las barras a través del sistema de piso.

Cuando el reforzamiento de un elemento estructural se realice mediante encamisado de compuestos poliméricos reforzados con fibras, deberá prepararse la superficie del elemento para que esté limpio y libre de los revestimientos que afecten la adherencia del concreto y las resinas. Las aristas de los elementos deben redondearse para evitar la rotura de las fibras. Se debe garantizar la compatibilidad entre las resinas y fibras. Se deberán recubrir con un material protector aquellos elementos que estén expuestos directamente a la radiación solar y rayos ultravioleta.

Los requisitos específicos para el análisis, diseño, construcción y supervisión de encamisados de elementos de concreto con concreto, acero o CPRF se encuentran en las secciones 6.6, 6.7 y 6.8, respectivamente, de la Guía Técnica.

## **6.5.3 Reforzamiento o adición de muros de concreto**

### **6.5.3.1 Incremento de sección**

Con el aumento de espesor de un muro de concreto se incrementa su resistencia a fuerza cortante. Si se requiere además incrementar su capacidad para resistir la flexión, se debe aumentar particularmente la sección de sus extremos, concentrando en ellos la mayor parte del refuerzo adicional. El concreto nuevo deberá anclarse al viejo mediante conectores ahogados en éste con un mortero epóxico, o que atraviesen el muro si el refuerzo se requiere en ambas caras.

Para transmitir las fuerzas cortantes entre los muros y las losas, así como para lograr la continuidad necesaria para el trabajo a flexión, se puede recurrir a perforaciones en las losas que permitan el paso del refuerzo y faciliten el colado. El refuerzo deberá llegar a la cimentación.

### **6.5.3.2 Adición de muros**

Si se opta por añadir muros de concreto, ya sea para corregir irregularidades en planta y/o en elevación, así como para incrementar la resistencia y rigidez laterales, se deberá considerar su efecto en el análisis estructural. Se deberá tomar en cuenta la interacción de nuevo muro con la estructura existente, en particular en cuanto a que usualmente no resiste cargas axiales adicionales a su propio peso, ya que fue colocado en una estructura deformada por cargas gravitacionales.

Los requisitos específicos para el análisis, diseño, construcción y supervisión de encamisado de muros de concreto y de adición de muros de concreto se encuentran en las secciones 6.6 y 6.10, respectivamente, de la Guía Técnica.

## **7 CRITERIOS DE EVALUACIÓN Y REHABILITACIÓN DE ESTRUCTURAS DE ACERO**

### **7.1 Evaluación de estructuras existentes bajo cargas estáticas.**

Esta sección aplica a la evaluación de la resistencia, rigidez y capacidad de deformación de estructuras existentes de acero en construcciones de la infraestructura educativa sujetas a cargas estáticas verticales (gravitacionales). Dicha evaluación se debe determinar mediante un análisis estructural, o pruebas de carga, o por una combinación del análisis estructural y las pruebas de carga cuando se especifica por el ingeniero responsable o en las especificaciones. En esta evaluación, los grados de acero no limitan a los que se mencionan en la sección A3.1 de la Especificación IMCA. Esta sección no muestra las pruebas de carga para los efectos de cargas sísmicas u otras cargas dinámicas (vibraciones).

#### **7.1.1 Alcance**

Estas disposiciones se deben aplicar cuando la evaluación de una estructura existente de acero se requiere para: (a) verificar el buen comportamiento estructural para un nuevo conjunto específico de cargas o combinaciones de diseño, o bien, (b) determinar la resistencia disponible de una nueva configuración del sistema estructural para satisfacer la demanda requerida.

La evaluación se debe realizar mediante un análisis estructural como se indica en la Sección 7.1.3, o a través de un programa de pruebas de carga como se indica en la

Sección 7.1.4, o bien, mediante una combinación del análisis estructural y de pruebas de carga. Cuando se usen pruebas de carga, el ingeniero responsable debe analizar primeramente la aplicabilidad a las partes que conforman la estructura, elaborar un plan de pruebas, y desarrollar un procedimiento para prevenir la deformación excesiva permanente o de colapso catastrófico durante los ensayos.

## **7.1.2 Propiedades del material**

### **7.1.2.1 Determinación de las pruebas requeridas**

El ingeniero responsable debe determinar las pruebas específicas que se requieren a través de las Secciones 7.1.2.2 a 7.1.2.6, y especificar la ubicación donde se requieran. Cuando esté disponible el historial del proyecto mediante registros estará permitido reducir o eliminar las pruebas.

### **7.1.2.2 Propiedades a tensión**

Las propiedades a tensión de elementos se deben considerar en la evaluación del análisis estructural (Sección 7.1.3) o de las pruebas de carga (Sección 7.1.4). En estas propiedades se deben determinar el esfuerzo de fluencia, el esfuerzo último de ruptura y el porcentaje de elongación. Cuando estén disponibles, con este propósito se permitirá considerar los resultados de los informes de las pruebas de certificación del material o los informes de certificación de las pruebas hechas por el productor o por un laboratorio de pruebas conforme a la Norma Mexicana NMX-B-252 y NMX-B-266 (o las normas equivalentes ASTM A6/A6M y A568/A568M). De otro modo, las pruebas a tensión deben llevarse a cabo con la norma NMX-B-172-CANACERO (ASTM A370), a partir de muestras cortadas de los componentes de la estructura.

### **7.1.2.3 Composición química**

Cuando la soldadura se anticipe para la reparación o para la modificación de las estructuras existentes, la composición química del acero se determinará mediante la especificación del procedimiento de soldaduras (WPS). Cuando estén disponibles se permitirá considerar los informes de las pruebas de certificación del material o los informes de certificación de las pruebas hechas por el productor o por un laboratorio de pruebas de acuerdo con los procedimientos NMX o ASTM. De otro modo, el análisis se debe realizar conforme a la norma ASTM A751, a partir de muestras usadas para determinar las propiedades a tensión o de las tomadas del mismo lugar.

### **7.1.2.4 Tenacidad del metal base**

Cuando los empalmes de tensión soldados en secciones pesadas y placas mayores que 50 mm (2 pulg.) sean críticos en el comportamiento de la estructura, se debe determinar la tenacidad mediante un ensaye de prueba Charpy en V, con la que se debe garantizar una energía no menor de 27 J (2.76 kg-m, 20 lb-pie) a una temperatura máxima de 21 °C (284 K), conforme a lo especificado en la sección A3.1d de la

Especificación IMCA. En caso de que la tenacidad no cumpla con esta disposición, el ingeniero responsable deberá decidir si son necesarias acciones correctivas.

#### **7.1.2.5 Metal de soldadura**

Cuando el desempeño de la estructura dependa de las conexiones soldadas se deben obtener muestras representativas del metal de soldadura, que se analicen mediante análisis químico y pruebas mecánicas para caracterizar el metal de soldadura y determinar la magnitud y consecuencias de las imperfecciones. Si los requisitos de las especificaciones o normas no se cumplen, el ingeniero responsable debe determinar si se requieren acciones correctivas.

#### **7.1.2.6 Tornillos y remaches**

Se deben inspeccionar muestras representativas de tornillos para determinar las marcas y clasificaciones. Cuando los tornillos no se puedan identificar, se deben tomar muestras representativas, las cuales se deben probar para determinar su resistencia a tensión de acuerdo con la norma ASTM F606/F606M y así determinar su clasificación. Alternativamente, para fines de evaluación simplificada se pueden suponer los tornillos del tipo NMX-H-118 (ASTM A307).

En el caso de estructuras de acero conectadas con remaches, se deben tomar muestras representativas, las cuales se deben probar para determinar su resistencia a tensión. Alternativamente, para fines de evaluación simplificada se pueden suponer los remaches del tipo ASTM A502 Grado 1, a menos que un grado superior se establezca a través de los ensayos.

### **7.1.3 Evaluación con análisis estructural**

#### **7.1.3.1 Datos de las dimensiones**

Todas las dimensiones utilizadas en la evaluación, tales como espaciamiento, la altura de las columnas, el espaciamiento de los elementos, lugar de arrojamiento, las dimensiones de la sección transversal, el espesor y los detalles de conexiones se determinarán con un estudio de campo. Alternativamente, cuando estén disponibles, para determinar las dimensiones se permitirá considerar las dimensiones de los planos de diseño del proyecto con la verificación en terreno de las magnitudes críticas.

#### **7.1.3.2 Evaluación de la resistencia**

Las fuerzas por efectos de las cargas en miembros y conexiones se deben determinar con un análisis estructural aplicable al tipo de estructura a evaluar. Los efectos de carga se deben determinar con cargas estáticas gravitacionales y/o la combinación aplicable con cargas gravitacionales.

La resistencia disponible de los miembros y las conexiones de acero se deben determinar de acuerdo con las disposiciones de los capítulos B al K de la especificación del IMCA, tal y como se menciona en este Volumen.

### **7.1.3.3 Evaluación ante cargas de servicio**

Cuando se requieran, las deformaciones ante cargas de servicio se deben calcular y reportar.

## **7.1.4 Evaluación con pruebas de carga**

### **7.1.4.1 Determinación de la capacidad de carga mediante pruebas**

En la determinación de la capacidad de carga de un piso existente o la estructura de techo se deberá aplicar gradualmente una carga de prueba de acuerdo con la planificación del ingeniero responsable. La estructura se inspeccionará visualmente para detectar signos de fatiga o falla inminente para cada nivel de carga. Si se encuentran condiciones fuera de lo común se realizarán las medidas correspondientes.

Las pruebas de resistencia de la estructura se considerarán como la carga de prueba máxima aplicada más la carga muerta en sitio. La intensidad de la carga viva del techo de una estructura se determinará mediante las pruebas de resistencia igual a  $1.3 C_M + 1.5 C_V$ , u otra equivalente, donde  $C_M$  y  $C_V$  son las cargas muerta y viva en la estructura, respectivamente. La intensidad nominal de la carga viva de la estructura no debe exceder al valor estipulado en la presente normatividad. Es posible considerar combinaciones de carga más críticas cuando así se requiera conforme a los criterios de la norma local aplicable.

Es necesario considerar una descarga periódicamente, una vez que se ha alcanzado la intensidad de carga de servicio para identificar el inicio del comportamiento estructural inelástico a fin de documentar la cantidad y magnitud de las deformaciones inelásticas. Las deformaciones de la estructura, así como las que se presentan en los elementos, deben monitorearse en los puntos críticos durante las pruebas y referenciarse a la posición inicial antes de la carga. Es necesario demostrar que la deformación de la estructura no se incrementa más de un 10% manteniendo la carga máxima de la prueba durante una hora. Se permitirá repetir la secuencia de carga para demostrar su cumplimiento.

Es necesario registrar las deformaciones de la estructura después de 24 horas de haber retirado la carga para determinar la deformación permanente. Debido a que la cantidad aceptable de deformación permanente depende de la estructura, no se especifica un límite para la deformación permanente bajo la carga máxima. Cuando no sea posible ensayar la estructura completa, se deberá seleccionar un segmento o zona representativa de la condición crítica, que no deberá ser menor a una crujía completa.

#### **7.1.4.2 Evaluación del estado límite de servicio**

Cuando se recomienden cargas de prueba para establecer el cumplimiento del estado límite de servicio, la estructura deberá cargarse incrementalmente hasta la intensidad de carga de servicio de diseño. Las deformaciones se deben monitorear durante una hora manteniendo la carga de servicio. Entonces, la carga se debe descargar y registrar la deformación.

#### **7.1.5 Reporte de la evaluación**

Después que se ha concluido la evaluación de una estructura existente de la infraestructura educativa, el ingeniero responsable debe preparar un reporte para documentar la evaluación. El informe debe indicar si la evaluación se desarrolló mediante un análisis estructural, un ensayo de carga o por la combinación de ambas. Además, cuando se desarrolle un ensayo, el informe debe incluir las cargas y las combinaciones de cargas consideradas, así como la relación observada entre (a) la carga y la deformación, y (b) el tiempo y la deformación. Toda la información relevante obtenida de los planos de diseño, informes de los ensayos al material y otras pruebas complementarias deben ser igualmente reportadas. Finalmente, el informe deberá indicar si la estructura, incluyendo todos los elementos y sus conexiones, son adecuados para soportar los efectos de las cargas durante su vida útil.

### **7.2 Evaluación de estructuras existentes dañadas por sismo**

#### **7.2.1 Alcance**

Las disposiciones de esta sección tienen como objetivo fijar criterios para evaluar el daño en estructuras producido por un sismo, además de evaluar edificios potencialmente inseguros frente a los efectos de un sismo futuro.

#### **7.2.2 Clasificación del daño**

El grado de daño ocasionado por sismo puede clasificarse en cuatro niveles: leve, moderado, severo y pérdida total.

- (a) Grado de daño leve. No hay deriva de entrepiso permanente. Deformaciones menores en algunos elementos de conexión. No hay fracturas en las conexiones. La reparación será superficial.
- (b) Grado de daño moderado. los daños estructurales representan una pérdida de la capacidad resistente entre un 10% y un 30%. Derivas de entrepiso permanentes de hasta el 0.5%. Cantidades moderadas de fluencia y distorsión de algunas zonas de panel de columnas. Pandeo menor de algunas vigas. La rehabilitación de los elementos dañados requerirá su reparación y reforzamiento.
- (c) Grado de daño severo. los daños estructurales representan una pérdida de la capacidad resistente entre un 30% y un 80%. Muchos miembros de acero exceden su capacidad de fluencia, lo que resulta en una deformación lateral permanente significativa de la estructura. Algunos miembros estructurales o conexiones pueden

tener rotaciones de miembros permanentes importantes en conexiones, patines pandeados y fallas en conexiones. Es posible que algunas conexiones pierdan capacidad para soportar cargas de gravedad, lo que resulta en un colapso local parcial. Desplomos de la estructura en más del 1%. La rehabilitación de los elementos dañados requerirá su reemplazo y reforzamiento.

- (d) Grado de daño de pérdida total. Una parte significativa de los elementos estructurales han excedido sus capacidades últimas y/o muchos elementos estructurales críticos o conexiones fallan, lo que da lugar a un peligroso desplazamiento lateral permanente, colapso parcial o colapso del edificio.

La decisión sobre el tipo de rehabilitación estructural de un edificio, además de considerar el grado de daño, debe tener en cuenta el nivel de intensidad sísmica del sitio en cuestión

## **7.2.3 Evaluación del impacto de elementos dañados en el comportamiento de la edificación**

### **7.2.3.1 Impacto del daño**

Se deberá evaluar el efecto de fracturas en conexiones u otros signos de daño en el desempeño futuro de una edificación, en función de los posibles modos de comportamiento de los elementos dañados, sean estructurales o no estructurales.

### **7.2.3.2 Edificación sin daño estructural**

Si la edificación no presenta daño estructural alguno, se deberán estudiar los diferentes modos posibles de comportamiento de los elementos, y su efecto en el desempeño futuro de la edificación.

### **7.2.3.3 Capacidad remanente**

Para evaluar la seguridad estructural de una edificación será necesario determinar la capacidad remanente en cada elemento para cada modo de comportamiento posible o predominante. Dicha capacidad estará definida por el nivel de acciones con el cual el elemento, de la estructura o cimentación, alcanza un primer estado límite de falla o de servicio, dependiendo del tipo de revisión que se lleve a cabo.

### **7.2.3.4 Cálculo de la capacidad estructural**

Para obtener la capacidad estructural se podrán usar los métodos de análisis elástico convencional, así como los requisitos y ecuaciones aplicables de este documento o de otras Normas Técnicas Complementarias. Cuando en la inspección en sitio no se observe daño estructural alguno, se puede suponer que la capacidad original del elemento estructural está intacta. En edificaciones con daños estructurales, deberá considerarse la participación de los elementos dañados, afectando su capacidad individual según el tipo y nivel de daño. En edificaciones inclinadas deberá incluirse el efecto del desplome en el análisis.

### **7.2.3.5 Consideraciones para evaluar la seguridad estructural**

Para evaluar la seguridad estructural de una edificación se deberán considerar, entre otros, su deformabilidad, los defectos e irregularidades en la estructuración y cimentación, el riesgo inherente a su ubicación, la interacción con las estructuras vecinas, la calidad del mantenimiento y el uso al que se destine.

## **7.2.4 Determinación de la necesidad de rehabilitar**

### **7.2.4.1 Daño ligero**

Si como resultado del proceso de evaluación de la seguridad estructural se concluye que cumple con la normativa vigente y sólo presenta un grado de daño leve (según la sección 16.7.2.2), deberá hacerse un proyecto de rehabilitación que considere la restauración o reparación de dichos elementos.

### **7.2.4.2 Daño mayor**

Si se concluye que no cumple con el Reglamento, se presentan grados de daño moderado o severo (según la sección 16.7.2.2), o se detectan situaciones que pongan en peligro la estabilidad de la estructura, deberá elaborarse un proyecto de rehabilitación que considere, no solo la reparación de los elementos dañados, sino la modificación de la capacidad de toda la estructura. La evaluación podrá igualmente recomendar la demolición total o parcial de la estructura. En este caso la edificación deberá ser desalojada.

### **7.2.4.3 Requisitos necesarios para la rehabilitación estructural**

El proyecto de rehabilitación estructural debe contener los siguientes elementos:

- (a) Reporte de daños que incluya, la estimación del grado de daño, determinación de las causas y justificación de los daños, nivel de seguridad sísmica de la rehabilitación estructural.
- (b) Soluciones de reparación y refuerzos.
- (c) Planos generales. planos de detalle y memorias de cálculo
- (d) Propiedades del material según la Sección 16.7.1.2
- (e) Estudio de mecánica de suelos
- (f) Especificaciones técnicas constructivas de la rehabilitación estructural

## **7.3 Rehabilitación de estructuras de acero**

### **7.3.1 Alcance**

Esta Sección aplica cuando se requiera recuperar la capacidad original de un elemento, de una conexión, o de un sistema estructural de acero. Adicional a esta Sección, se debe cumplir con el tomo de acero y con los requisitos del vigente Código de Prácticas Generales del IMCA.

### **7.3.2 Consideraciones generales**

Se debe considerar todos los factores que intervengan para lograr una reparación adecuada, en los que se deben incluir la magnitud y el tipo del daño, la calidad de los materiales, la calidad de la ejecución, y los ensayos requeridos para garantizar un buen control de calidad.

Se debe considerar en el análisis y en la evaluación de la edificación, que el nivel de restitución de la capacidad estructural que sea factible alcanzar y satisfaga el modo de comportamiento requerido desde la parte estructural y servicio marcados en estas normas.

Para garantizar la correcta ejecución y un buen control de calidad, los trabajos de reparación y refuerzo debe ser realizados por personal certificado.

### **7.3.3 Reemplazo de elementos o componentes**

Los elementos de acero o componentes de una conexión (e.g., tornillos, tuercas, pernos, placas, ángulos, etc.) que presenten daño estructural severo puede ser necesario repararlos, reforzarlos, o sustituirlos con elementos nuevos, previa evaluación del plan de reparación y refuerzo. Son ejemplos de daño estructural severo los siguientes: fractura en soldaduras, en tornillos, en pernos, y en la sección neta de elementos estructurales; pandeo local de placas, y en almas o patines de elementos estructurales; pandeo por flexión, torsión o flexotorsión de columnas, y pandeo lateral-torsional de vigas.

Algunas posibles soluciones de reparación incluyen, aunque no se limita a las siguientes:

- Enderezamiento con flama. Este método no se puede usar cuando se tenga indicios de que al acero alcanzó una deformación unitaria mayor a 0,01, cuando el elemento tenga excesivos pliegues, o cuando el elemento vaya a estar sujeto a cargas cíclicas (a menos que se agreguen cubreplacas atornilladas).
- Enderezamiento mecánico en caliente. Se debe limitar la temperatura del precalentamiento a 640 °C. Debe ser aplicado por personal calificado y que cuente con el equipo necesario.
- Enderezamiento mecánico en frío. Este método no se puede usar cuando se tenga indicios de que al acero alcanzó una deformación unitaria mayor a 0,05, cuando el elemento tenga fracturas, excesivos pliegues, o cuando el elemento vaya a estar sujeto a cargas cíclicas.
- Empleo de soldadura en algunos tipos de reparación, incluyendo el incremento de la sección transversal al soldar elementos adicionales, reparación de defectos, fracturas no generadas por cargas cíclicas, o relleno de barrenos. No se debe soldar acero que

tenga un contenido de carbono equivalente mayor a 0,50, o bien, con valores de tenacidad menores a 27 J (2,76 kg-m, 20 lb-pie) a 21 °C obtenido en la prueba de impacto Charpy.

- Empleo de tornillos de alta resistencia, en conjunto con empalmes de placas de acero. Todos los tornillos deben tener un apriete ajustado, y después deben ser pretensados al límite indicado por la Especificación IMCA o las NTC-Metálicas.
- Reemplazo de remaches por tornillos de alta resistencia pretensados en las conexiones.
- Reemplazo parcial de segmentos de acero. Un reemplazo parcial puede consistir en un inserto o empalme, el cual puede unirse mediante soldadura o mediante tornillos, pero no con ambos. No se deben usar insertos o empalmes soldados en elementos sujetos a carga cíclica.
- Reemplazo completo de elementos de acero. Un reemplazo completo del elemento estructural se debe aplicar cuando el daño se presente en la mayor parte de la longitud del elemento, a menos que el plan de reparación sugiera una reparación alterna con la que se tenga el mismo desempeño.

#### **7.3.4 Reparación de daños por corrosión**

Todo el acero con evidencia de corrosión se debe limpiar, y enseguida aplicar alguna protección anticorrosiva activa o pasiva. Se debe reemplazar el elemento o componente de acero corroído en el que se ha perdido más de un 25 por ciento de la sección transversal.

#### **7.3.5 Reforzamiento**

Cuando se requiera modificar las capacidades resistentes o de deformación de un elemento o sistema estructural, será necesario recurrir a su reforzamiento.

En caso de requerirse un reforzamiento en un elemento o en el sistema estructural, se debe considerar los cambios de resistencia y rigidez, y tomarse en cuenta en el análisis estructural. Se debe revisar que la modificación de los elementos sujetos a refuerzo no produzca que los elementos no intervenidos alcancen estados límite de servicio o de falla prematuramente, o bien, que puedan conducir a comportamientos desfavorables o inestables.

El análisis estructural debe realizarse con las condiciones que reflejen el comportamiento de la estructura reforzada, incluyendo la influencia de los elementos que aportan rigidez, así como la influencia de los efectos de segundo orden, de las conexiones, y de otros componentes que contribuyan a las deformaciones de los elementos o del sistema estructural.

Algunas posibles soluciones de refuerzo incluyen, aunque no se limita a las siguientes:

- Adición de placas (e.g., cubreplacas, placas de relleno, placas atiesadoras, diafragmas,

placas de continuidad, placas de soporte) o de perfiles en los elementos originales para formar secciones armadas de mayor área e inercia. Estos componentes adicionales pueden conectarse a los elementos originales con soldaduras o con tornillos, y pueden remplazar segmentos con corrosión, aumentar la resistencia, disminuir las deformaciones, o evitar efectos de pandeo.

- Rigidización de conexiones viga-columna en marcos rígidos de acero, y su evaluación para garantizar que las conexiones viga-columna desarrollen una capacidad a rotación mayor a la supuesta en el diseño del sistema.
- Adición de elementos que aporten rigidez lateral al sistema, tales como contravientos concéntricos, contravientos excéntricos, contravientos restringidos al pandeo, muros de placa de acero, muros de concreto, muros compuestos, entre otros. Requisitos complementarios para el análisis, y diseño de contravientos de acero se pueden consultar en el capítulo F de las Provisiones Sísmicas del AISC 341, en la sección 12.3 de la NTC-Acero, y en las secciones 6.11 y 6.12 de la Guía Técnica.
- Adición de concreto en una configuración que permita a las vigas o las columnas de acero trabajen en acción compuesta con el concreto, y así aumentar su resistencia, rigidez, y capacidad de deformación. En este caso, se debe garantizar que exista algún mecanismo de resistencia de la carga en la interfaz concreto-acero.
- Adición de elementos que disipen energía, que aíslen la base, o que minimicen la respuesta estructural de la estructura.

#### **7.4 Rehabilitación de estructuras de acero en acción compuesta con secciones de concreto**

Para la reparación y refuerzo de elementos compuestos en estructuras existentes deberán considerarse los criterios dados en la Sección 16.6 para los componentes de concreto y de acero de refuerzo, y de la Sección 16.7.3 para los componentes de acero estructural..

### **8 CRITERIOS DE REHABILITACIÓN DE ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERÍA**

#### **8.1 Reparación de elementos**

##### **8.1.1 Alcance**

Cuando se requiera recuperar la capacidad original de un elemento será necesaria su reparación o restauración. Aquellos elementos dañados que adicionalmente serán reforzados deberán ser reparados antes.

Conviene hacer notar que el éxito de una reparación, por ejemplo, de inyección de grietas depende, entre otros factores, de la magnitud del daño y de la calidad de la ejecución. Por tanto, se debe considerar en el análisis y en la evaluación, el nivel de restitución de la capacidad estructural que sea factible alcanzar para el modo de comportamiento, magnitud de daño y calidad de ejecución de la edificación.

Los requisitos específicos para el análisis, diseño, construcción y supervisión de la reparación local de elementos estructurales, encamisado de muros de mampostería y de la sustitución o adición de muros de mampostería se encuentran en las secciones 6.2, 6.9 y 6.13, respectivamente, de la Guía Técnica.

## **8.1.2 Reemplazo de piezas, mortero, barras y concreto dañados**

En elementos con daño severo puede ser necesario sustituir a los materiales dañados por materiales nuevos, previo apuntalamiento del elemento por reparar. Se deberá promover una buena adherencia entre los materiales existentes y los nuevos, así como pequeños cambios volumétricos debidos a la contracción por fraguado. Se usarán materiales del mismo tipo y con una resistencia al menos igual que la del material original.

## **8.1.3 Reparación de grietas**

### **8.1.3.1 Inyección de fluidos**

Se podrá recurrir a la inyección de resinas o fluidos a base de polímeros o cementos hidráulicos. No se admitirán inyecciones por el método de vacío.

Los fluidos a base de cementos hidráulicos (lechadas) deberán dosificarse de modo de asegurar que fluyan a través de grietas y vacíos, pero sin aumentar la segregación, sangrado y contracción plástica.

La viscosidad y tipo de la resina epoxi se determinarán en función del ancho de las grietas por obturar y de la absorción de las piezas. Se deberá evaluar el costo de la inyección con resinas en comparación con el costo de reposición del muro.

Cuando las grietas tengan un ancho significativo (del orden de 5 mm), se podrán rellenar mediante pedazos de piezas, denominadas rajuelas. Las rajuelas deben acuñarse debidamente y deben pegarse con mortero tipo I.

En todos los casos, se debe retirar el acabado del muro cuando menos en los 300 mm adyacentes a la grieta.

Los requisitos específicos para la ejecución y supervisión de la reparación de grietas se encuentran en la sección 6.2 de la Guía Técnica.

### **8.1.3.2 Inserción de piezas metálicas**

Se aceptará insertar placas, grapas, pernos u otros elementos metálicos que crucen las grietas. Los elementos metálicos deberán anclarse en la mampostería o en el concreto

de modo que puedan desarrollar la fuerza de diseño. Los refuerzos deben dejarse cubiertos de mortero impermeable para protegerlos del intemperismo. Si esta técnica se aplica para reparar daño debido a sismo, se deberán tomar precauciones para evitar el pandeo de las grapas durante los ciclos de desplazamiento.

Se podrá insertar barras metálicas en perforaciones previamente realizadas en la mampostería y que se adhieren a ella mediante lechada que ha sido inyectada en los huecos. La perforación deberá realizarse con equipo que no dañe la mampostería. Las barras podrán ser presforzadas.

### **8.1.3.3 Aplanado sobre malla**

Las grietas se podrán reparar por medio de bandas hechas de malla de alambre soldado, conectadas a la mampostería y recubiertas con un aplanado de mortero de algunos centímetros de espesor. Las bandas de malla se deberán anclar a la mampostería de modo que puedan alcanzar la fuerza de diseño.

Los requisitos específicos para la ejecución y supervisión de reparaciones locales de muros de mampostería se encuentran en la sección 6.2 de la Guía Técnica.

### **8.1.4 Reparación de daños debidos a corrosión**

Se deberá retirar el concreto o la mampostería agrietada y exponer totalmente las barras de refuerzo corroídas y sanas que estén dentro de la zona afectada. Para asegurar la adherencia entre los materiales nuevos, las barras de refuerzo y el concreto o mampostería viejos, se deberán limpiar las barras y las superficies del material existente. Si las barras corroídas han perdido más de un 25 por ciento de su sección transversal, se debe reemplazarlas o bien colocar barras suplementarias ancladas adecuadamente. El concreto o mampostería nueva que se coloque deberá tener una menor permeabilidad que la de los materiales existentes. Se deberá considerar la conveniencia de proteger de la corrosión al refuerzo expuesto a través de medidas activas o pasivas.

Los requisitos específicos para la evaluación, ejecución y supervisión de la reparación del daño por corrosión, así como sobre el tratamiento de superficies expuestas se encuentran en las secciones 7.4 a 7.6, respectivamente, de la Guía Técnica.

## **8.2 Reforzamiento**

### **8.2.1 Generalidades**

Cuando se requiera modificar las capacidades resistentes o de deformación de un elemento estructural, será necesario recurrir a su reforzamiento. El reforzamiento de un elemento suele producir cambios en su rigidez que deberán tomarse en cuenta en el análisis estructural. Se debe revisar que la modificación de los elementos sujetos a

reforzamiento no produzca que los elementos no intervenidos alcancen prematuramente, estados límite de servicio o de falla, que puedan conducir a comportamientos desfavorables y no estables. El análisis estructural podrá efectuarse suponiendo el comportamiento monolítico del elemento original y su reforzamiento, si el diseño y ejecución de las conexiones entre los materiales así lo aseguran.

### **8.2.2 Encamisado de elementos de concreto y de mampostería**

Los elementos de concreto y de mampostería se pueden rehabilitar colocando mallas metálicas o plásticas recubiertas con mortero o bien, encamisando a los elementos con ferrocemento. También se pueden encamisar usando CPRF, con fibras de vidrio o de carbono.

En el diseño, detallado y construcción de encamisados con mortero o ferrocemento se aplicará lo indicado.

Cuando el refuerzo de un elemento estructural se realice mediante encamisado con CPRF, deberá prepararse la superficie del elemento para que quede limpia y libre de los revestimientos que afecten la adherencia de los materiales plásticos y las resinas. Las aristas de los elementos deben redondearse para evitar la rotura de las fibras. Se debe garantizar la compatibilidad entre las resinas y fibras usadas. Se deberán recubrir con un material protector aquellos elementos que estén expuestos directamente a la radiación solar y que en su encamisado se hayan usado resinas degradables con los rayos ultravioleta.

Los requisitos específicos para el análisis, diseño, construcción y supervisión de encamisados de muros de mampostería se encuentran en la sección 6.9 de la Guía Técnica.

Se deberá anclar el refuerzo longitudinal de manera que alcance su esfuerzo de fluencia especificado.

Los requisitos específicos para el análisis, diseño, construcción y supervisión de la adición de elementos de confinamiento de muros de mampostería se encuentran en la sección 6.9 de la Guía Técnica.

### **8.2.3 Adición o retiro de muros**

Será necesario adicionar o retirar muros cuando se requiera corregir irregularidades o defectos en la estructuración, reforzar la edificación en su conjunto o efectuar una modificación del proyecto original. En el diseño deberá cuidarse que la rigidez de los nuevos elementos sea compatible con la de la estructura original si se desea un trabajo conjunto. Requiere especial atención, el diseño de las conexiones entre los nuevos elementos y la estructura original. Asimismo, deberá revisarse la transmisión de las

cargas a la cimentación, lo que frecuentemente puede llevar también a la necesidad de modificarla.

Los requisitos específicos para el análisis, diseño, construcción y supervisión de la sustitución o adición de muros de mampostería se encuentran en la sección 6.13 de la Guía Técnica.

#### **8.2.4 Separación y recorte de pretilas en marcos de concreto o acero**

Será necesario separar o recortar las pretilas de mampostería (o de concreto) en marcos de concreto o acero cuando la interacción de las pretilas y las columnas de los edificios ante fuerzas laterales inducidas por sismo puedan provocar daños por fuerza cortante en las últimas. Los requisitos específicos para el análisis, diseño, construcción y supervisión de la separación o recorte de pretilas de mampostería o de concreto se encuentran en la sección 6.14 de la Guía Técnica.

### **9 CONSTRUCCIÓN Y ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD**

En adición a los requisitos de construcción específicos para cada técnica de rehabilitación, los requisitos generales serán los indicados en el capítulo 8 de la Guía Técnica.

De manera complementaria a los requisitos de aseguramiento de la calidad y supervisión señalados para cada técnica de rehabilitación, se deberán satisfacer los requisitos generales del capítulo 9 de la Guía Técnica.