



Educación
Secretaría de Educación Pública



Volumen 8. Rehabilitación. Tomo 2. Evaluación y Análisis Estructural.

Diciembre de 2024





Contenido

1	Evaluación y análisis estructural.....	3
1.1	Alcance.....	3
1.2	Investigación de las características de los edificios existentes	3
1.2.1	Condiciones del edificio existente.....	3
1.2.2	Configuración del edificio.....	4
1.2.3	Extensión y ubicación del daño y deterioro	4
1.2.4	Propiedades de elementos y componentes.....	5
1.2.5	Ensayes para determinar las propiedades de los materiales.....	7
1.2.6	Caracterización del sitio e información geotécnica.....	11
1.3	Métodos de análisis.....	13
1.3.1	Requisitos generales.....	13
1.3.2	Estados límite de servicio	14
1.3.3	Análisis para diseño de la rehabilitación.....	14
1.3.4	Criterios de aceptación	15
1.3.5	Demandas de resistencia, rigidez y capacidad de deformación inelástica para diseño sísmico	16
1.4	Pruebas de carga.....	16



1 Evaluación y análisis estructural

1.1 Alcance

La evaluación de la estructura, incluyendo su cimentación, comprende tres etapas:

1. Investigación de las características y condición de la estructura.
2. Evaluación que permita determinar las causas del daño, deterioro y/o deficiencias, así como los criterios para la selección de las soluciones de rehabilitación.
3. Desarrollo de las estrategias de rehabilitación apropiadas.

La evaluación estructural deberá incluir, al menos, los aspectos a al f siguientes:

1. Efecto de la degradación de los materiales.
2. Pérdida de área de las barras de refuerzo por corrosión o por otras causas.
3. Refuerzo ausente o mal colocado.
4. Efecto de eventos dañinos, como sismos o incendios.
5. Asentamientos diferenciales y/o inclinaciones.
6. Zonas afectadas por grietas en el subsuelo.

1.2 Investigación de las características de los edificios existentes

1.2.1 Condiciones del edificio existente

Se investigarán las características y la condición del edificio, y se evaluará la seguridad estructural cuando existan razones para dudar de la capacidad de la estructura y cuando no se tenga suficiente información para determinar si la estructura existente es capaz de resistir las demandas de diseño.

Se deberán determinar la configuración, así como el tipo, detallado, resistencia de materiales y la condición de los elementos estructurales, incluida la cimentación y las conexiones entre ellos, de conformidad con las secciones 2.2 y 2.3 de las N-Rehabilitación de la Ciudad de México. Los cálculos para la elaboración del proyecto ejecutivo deben basarse en documentos que avalen las características del edificio en estudio [véase inciso 11.2.3 de esta].

Se deberán realizar visitas al inmueble para obtener o corroborar información detallada sobre sus características, el sitio y las condiciones geotécnicas, así como sobre cualquier interacción con edificaciones adyacentes. Se deberán identificar y documentar las ampliaciones o modificaciones que haya experimentado el edificio original.

Se deberán documentar los conceptos a al g siguientes:

1. Condición física, extensión y ubicación del daño y deterioro.
2. Idoneidad del mecanismo de transmisión de carga entre elementos estructurales para proporcionar seguridad e integridad.



3. Características de los elementos estructurales: orientación, desviaciones, desplazamientos y dimensiones.
4. Propiedades de los materiales y componentes a partir de planos, memorias, especificaciones u otros, o bien, mediante ensayos.
5. Otras consideraciones: edificios adyacentes, elementos no estructurales, por ejemplo.
6. Información para evaluar los sistemas estructurales resistentes a fuerzas laterales y cargas gravitacionales, como son las longitudes de claros, características de apoyos, tipo de uso, entre otros.

Esta información deberá incluirse en la memoria de cálculo por ser entregada, en forma electrónica, al propietario y al Instituto, con el visto bueno del director y del corresponsable.

1.2.2 Configuración del edificio

Se deberán identificar los elementos y componentes de sistemas estructurales resistentes a cargas gravitacionales y a fuerzas laterales. Se identificarán aquellos elementos que, no obstante que no fueron diseñados para contribuir a la rigidez y resistencia laterales (como son los muros divisorios en contacto con el marco), en la realidad sí contribuyen y, por tanto, deben ser considerados explícitamente como parte del sistema de resistencia a cargas laterales.

1.2.3 Extensión y ubicación del daño y deterioro

Se hará un levantamiento del daño y/o deterioro de cada elemento estructural de cada entrepiso. Si es necesario, se retirarán acabados (como yeso) y elementos no estructurales (como plafones).

Para cada elemento estructural se registrarán, al menos, los conceptos del 1 al 5 siguientes:

1. El espesor máximo y tipo de grieta (Figura 1).
2. Ubicación y extensión de aplastamientos, desconchamientos y desprendimientos.
3. Ubicación, posición y extensión de barras de refuerzo pandeado.
4. Ubicación y extensión de fracturas de soldaduras.
5. Ubicación y extensión del pandeo local o global de elementos.



Figura 1. Medición de grietas. Fuente: Archivo personal de David Murià, 2018

Se clasificará el nivel o magnitud de daño de cada elemento de entrepiso de conformidad con las N-Rehabilitación.

1.2.4 Propiedades de elementos y componentes

La eficiencia y eficacia de una rehabilitación depende de una adecuada caracterización de la capacidad resistente y de deformación de los elementos y componentes existentes.

La resistencia se calculará con base en las Normas de los materiales aplicables y los siguientes tomos de este volumen. La resistencia se calculará para identificar la habilidad para transmitir carga a otros elementos y componentes, así como para determinar la capacidad de resistir fuerzas y deformaciones.

La capacidad de deformación se calculará para determinar la aceptación del elemento y del edificio en su conjunto de acuerdo con las distorsiones límite de las NMX-R-079-SCFI-2015 o, en su defecto, de las de NTC-Sismo aplicables.

Para elementos existentes cuyos modos de falla sean dúctiles (flexión, flexocompresión con bajas cargas axiales), se podrán calcular las resistencias a partir de valores esperados, es decir, valores medios de resistencia de los materiales. Si el modo de comportamiento es frágil (por cortante, aplastamiento, flexocompresión con cargas axiales elevadas, adherencia), la resistencia se deberá calcular con valores de límite inferior. Se aceptarán como valores de límite inferior los obtenidos de pruebas de materiales en el edificio existente (corazones de concreto, por ejemplo), o bien, los especificados en planos de construcción del edificio existente. Para la revisión de desplazamientos laterales, se adoptarán valores de límite inferior para el módulo de elasticidad del concreto.

Si se requiere la evaluación de la estructura, se deberá determinar la resistencia a compresión y el módulo de elasticidad del concreto, y el esfuerzo de fluencia del acero de refuerzo. Estas propiedades se obtienen, como se especifica más adelante, a partir de a, b o c:



- a) Planos y memorias disponibles.
- b) Datos históricos que incluyen valores especificados en el Reglamento vigente al momento del diseño y construcción de la estructura existente.
- c) Ensayos físicos.

Se aceptará determinar la clase de concreto a partir de medir el peso volumétrico en corazones.

Si se requiere, se deberán evaluar otros factores y características, tales como:

1. Presencia de corrosión del acero de refuerzo dentro del concreto, incluyendo carbonatación, inclusión de cloruros y desconchamiento causado por la corrosión.
2. Presencia de otro tipo de deterioro, como reacción álcali-agregado, ataques de sulfatos u otros ataques químicos.
3. Deterioro de la resistencia y la rigidez por pérdida de adherencia y deslizamiento del refuerzo en secciones agrietadas y en uniones causados por sismos.

Si los planos, memorias, especificaciones u otros documentos disponibles no proveen suficiente información para determinar o caracterizar las propiedades de los materiales, se podrán usar los valores de la Tabla 1. Resistencia a compresión, f_c^1 , en MPa [kg/cm²] en función de la versión de reglamento empleado a la fecha de diseño, sin necesidad de realizar pruebas en sitio. Dichos valores históricos son aplicables a menos de que se estime que el deterioro de los materiales pueda o haya afectado el desempeño estructural.

Se podrán determinar las propiedades de los materiales mediante los ensayos establecidos en el Tomo 1 de este Volumen.

Tabla 1. Resistencia a compresión, f_c^1 , en MPa (kg/cm²)

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

Tabla 2. Módulo de elasticidad del concreto, E_c , en MPa (kg/cm²)

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



Tabla 3. Esfuerzo de fluencia del acero de refuerzo, f_y , en MPa (kg/cm^2)

Época	f_y
1900 – 1964	280 (2 800)
1965 - fecha	420 (4 200)

1.2.5 Ensayes para determinar las propiedades de los materiales

1.2.5.1 General

Los métodos de ensayos destructivos y no destructivos empleados para obtener las propiedades en sitio de los materiales y las propiedades del elemento cumplirán con lo establecido en este inciso.

El proyectista especificará el tipo, número y ubicación de los ensayos destructivos y no destructivos. Señalará el o los edificios o cuerpos, así como los elementos estructurales que serán sujeto de ensayos destructivos y no destructivos.

El laboratorio deberá presentar el informe de resultados de los ensayos correspondientes con los requeridos por el proyectista.

El director revisará que lo solicitado por el proyectista cumpla con los requisitos mínimos de este inciso y que el laboratorio haya realizado los ensayos e informe los resultados en correspondencia con lo especificado por el proyectista.

1.2.5.2 Concreto

La resistencia a compresión y el módulo de elasticidad del concreto se establecerán mediante la extracción y ensayos de corazones de concreto, o mediante la combinación de corazones [Figura 2] y ensayos no destructivos como el esclerómetro y/o ultrasonido [Figura 3].



Figura 2. Extracción de corazones de una columna de concreto. Fuente: www.contecon.net/ y Cortesía Juan L. Cottier, 2020



a) Esclerómetro



a) Equipo de ultrasonido

Figura 3. Uso del: a) esclerómetro; b) equipo de ultrasonido. Fuente: www.tecnoconengenharia.com.br/ y cotca.com/

Los corazones se obtendrán de elementos de concreto sano [no dañado]. El número de corazones depende de la información de la construcción original, de la exactitud deseada, así como de la calidad y condición de materiales existentes.

Los corazones se deberán seleccionar, extraer y ensayar de acuerdo con NMX-C-169-ONNCCE. El lugar de extracción será al tercio medio de la altura del elemento, en donde se afecte lo menos posible su resistencia. Se deberá localizar el acero de refuerzo antes de seleccionar la ubicación de



los corazones. Se deberá rellenar la oquedad con concreto o mortero sin contracción y de resistencia comparable a la obtenida mediante el núcleo para evitar el desprendimiento del material de reparación con respecto al concreto original.

Se podrán utilizar métodos no destructivos para evaluar la resistencia del concreto en sitio si se establece una correlación válida entre los resultados de la compresión de corazones y las mediciones no destructivas. No se permitirá la determinación de la resistencia a compresión ni del módulo de elasticidad mediante métodos no destructivos solamente.

Deberán desecharse los corazones dudosos o de mala calidad. No serán aceptables los resultados del ensaye de corazones dañados durante su extracción, ni de corazones con tramos de barras de acero ahogadas.

Si se conoce la resistencia especificada de diseño del concreto a partir de planos y/o memorias originales, ésta deberá verificarse en la edificación mediante, al menos, dos corazones extraídos de los elementos estructurales que resisten las fuerzas inducidas por el sismo. La resistencia así obtenida se calibrará con algún método no destructivo, como el esclerómetro o ultrasonido. Con este método calibrado se verificará la resistencia en al menos tres elementos estructurales distintos que sean parte del sistema estructural resistente a fuerzas laterales en cada entrepiso.

Si no se conoce la resistencia especificada de diseño del concreto, se deberá determinar, junto con el módulo de elasticidad, mediante la obtención y ensaye de lo que resulte en el mayor número de ensayos entre a o b:

- a) Tres corazones en cada uno de los entrepisos más dañados y en cada elemento representativo del sistema estructural resistente a fuerzas laterales.
- b) Un corazón por cada 200 m² de superficie construida de cada entrepiso, en cada uno de los entrepisos más dañados y en cada elemento representativo del sistema estructural resistente a fuerzas laterales.
- c)

Será válido el resultado del ensaye de un núcleo de concreto si cumple con la NMX-C- 169-ONNCCE.

Los corazones que se hayan extraído de un elemento cuyas condiciones de servicio sean las de un ambiente superficialmente seco, deben permanecer durante 7 días, a menos de que se acuerde otro lapso, en un ambiente cuya temperatura sea de 288 K – 299 K [15°C – 25°C] y con una humedad relativa no mayor de 60% antes de probarse a la compresión.

Los corazones que se han extraído de un elemento que estará sujeto durante su servicio a una completa saturación, deben curarse de acuerdo con lo siguiente: sumérjanse los especímenes de prueba en agua saturada de cal, cuya temperatura debe ser de 296 K +/- 2 K [23°C +/- 2°C], por lo menos 40 horas inmediatamente antes de probarse a la compresión.

La obtención y ensaye de corazones de concreto se hará por parte de laboratorios acreditados y reconocidos por un organismo nacional de certificación para los métodos de prueba correspondientes.

1.2.5.3 Acero



Si se conoce el esfuerzo especificado de fluencia del acero en barras o del acero estructural para diseño señalado en los planos o memorias de cálculo de la estructura original, se podrá usar este valor para fines de evaluación.

Se podrá determinar el esfuerzo especificado de fluencia de barras de acero de refuerzo de la identificación detallada en el material, o bien, de los valores históricos incluidos en la Tabla 3.

Si no se conoce el esfuerzo especificado de fluencia para diseño, se podrán obtener y ensayar dos probetas elaboradas a partir de segmentos de acero provenientes de zonas sujetas a bajos niveles de esfuerzo de dos elementos distintos de cada tipo de elemento resistente a sismo. Los elementos serán seleccionados por el corresponsable.

La determinación del esfuerzo de fluencia y la resistencia última del acero se hará mediante probetas fabricadas a partir de segmentos de barras de refuerzo. Los segmentos de barras de refuerzo se retirarán de zonas con bajos niveles de esfuerzo del elemento por evaluar. A fin de mantener la continuidad en el flujo de fuerzas, se reemplazará el segmento con barras que se traslapen con el refuerzo existente, a menos de que el proyectista demuestre, a satisfacción del corresponsable, que no es necesario el reemplazo. Se permite elaborar probetas hasta obtener una barra de sección circular tal que su área transversal no sea menor que 70 % del área de la barra de refuerzo por evaluar. El ensaye se hará de conformidad con NMX-B-172-CANACERO.

Para la obtención de las propiedades del acero de refuerzo, se tomará en cuenta el posible uso de los distintos grados de acero en barras de diferentes diámetros.

En el caso de anclas y conectores (ahogados en concreto o instalados a posteriori), se deberán clasificar según su tipo, tamaño, geometría y función estructural. Si su tipo de falla está controlada por tensión o cortante y, de presentarse, le impediría a la estructura cumplir con el nivel de desempeño, se debe ensayar en sitio 5 % a tensión. Al menos, se deben ensayar tres anclas o conectores por cada clasificación. Se acepta que la resistencia de diseño sea 2/3 de la media de la carga máxima.

Alternativamente a los ensayes en sitio, se podrá determinar la resistencia de anclas y conectores a partir de la documentación contenida en el proyecto ejecutivo original, de la identificación detallada en el material, o de valores históricos, como los incluidos en la Tabla 3.

En el caso de perfiles de acero, laminados en caliente o en frío, se muestrearán tramos del patín y/o del alma con el fin de fabricar dos probetas de elementos estructurales distintos. Los elementos serán seleccionados a juicio del corresponsable. El ensaye se hará según NMX-B-172-CANACERO.

Si se requiere soldar la estructura existente a nuevos elementos, componentes o sistemas estructurales, se determinará el carbono o su equivalente con NMX-B-457-CANACERO.

La obtención y ensaye de probetas de barras de acero de refuerzo, cables de presfuerzo y perfiles de acero estructural lo harán laboratorios acreditados y reconocidos por un organismo nacional de certificación para los métodos de prueba correspondientes.

1.2.5.4 Mampostería

En el caso de muros de mampostería, las propiedades de la mampostería se podrán obtener a partir de a o b:



- a) Planos y memorias disponibles.
- b) Como se indica Tomo 1 de este Volumen.

Para fines de evaluación de la mampostería existente, se aceptará usar los valores siguientes:

1. Resistencia a compresión, f'_m , igual a 1.5 MPa [15 kg/cm²].
2. Resistencia a compresión diagonal, v'_m igual a 0.2 MPa [2 kg/cm²].
3. Resistencia al aplastamiento igual a 1.2 MPa [12 kg/cm²].
4. Módulo de elasticidad, E_m según el inciso 2.8.5.2 de las NTC-Mampostería de la Ciudad de México [o su equivalente en las NTC de la población donde se encuentre la escuela].
5. Módulo de cortante, G_m según el inciso 2.8.6 de las NTC-Mampostería de la Ciudad de México [o su equivalente en las NTC de la población donde se encuentre la escuela].

Se podrán usar valores más altos que los señalados en el inciso anterior si se justifican ante el corresponsable. En ningún caso podrán ser más altos que los especificados en la normatividad vigente al momento de diseño de la estructura original.

1.2.6 Caracterización del sitio e información geotécnica

Para diseñar la rehabilitación, se deberá recabar información de las condiciones del suelo del sitio y de la configuración de la cimentación. Si la información disponible no es suficiente para caracterizar el sitio y la cimentación, se deberá planear y ejecutar un programa de exploración geotécnica.

Se deberán realizar visitas al sitio a fin de identificar, entre otros elementos, variaciones entre el diseño original y la construcción, así como modificaciones en la cimentación. Se deberán identificar indicadores de un pobre desempeño de la cimentación, como asentamiento, daño a banquetas, además de inclinaciones, hundimientos o emersiones del edificio.

1.2.6.1 Edificaciones adyacentes

Se deberá recolectar la mayor información posible de las estructuras adyacentes que tienen el potencial de influir en el comportamiento sísmico del edificio rehabilitado. Se identificará el sistema estructural y el tipo de cimentación a fin de evaluar, al menos cualitativamente, su impacto en la respuesta del edificio de interés.

1.2.6.2 Golpeteo de edificios

Se recolectará información cuando la menor separación entre edificios sea menor o igual que 0.6 % de la altura sobre banqueta del edificio por rehabilitar. Se hará énfasis en la identificación de posibles zonas de impacto en relación con posible daño extremo en elementos, frecuentemente en columnas (Figura 4).



Figura 4. Golpeteo de edificios. Fuente: Archivo personal de Sergio Alcocer, 1985.

1.2.6.3 Edificios con elementos o componentes en común

Se recolectará información de los edificios que compartan elementos o componentes con el edificio sujeto a proyecto. Éste es el caso de muros compartidos, puentes y escaleras que unen cuerpos, entre otros (Figura 5).

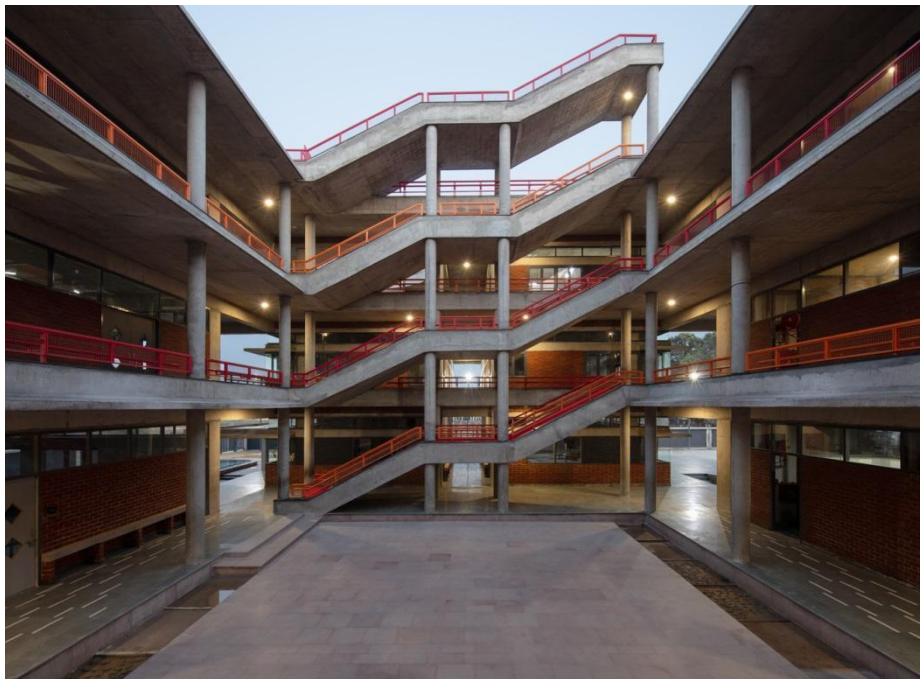


Figura 5. Elementos en común entre cuerpos de edificios. Fuente: www.arquine.com/



1.2.6.4 Peligros de edificios adyacentes

Se deberá recolectar información de las estructuras que representen un peligro para el edificio por rehabilitar, debido a caída de bardas, pretilos, anuncios, entre otros, o bien, porque pueden producir otras amenazas físicas, como fugas de sustancias químicas agresivas, incendios o explosiones.

1.2.6.5 Edificios modificados o ampliados

Se deberá recolectar información de las modificaciones de los elementos estructurales y no estructurales. Sobre las ampliaciones, deberá verificarse si fueron construidas cumpliendo las normas vigentes en el momento y recabar toda la información necesaria y posible para la evaluación estructural.

1.3 Métodos de análisis

1.3.1 Requisitos generales

Se analizarán los sistemas estructurales resistentes a cargas gravitacionales y a fuerzas laterales bajo las combinaciones de carga establecidas en NTC-Acciones, que produzcan los efectos máximos en los elementos existentes evaluados. Se deberán emplear los factores de carga señalados en el Tomo 1 de este Volumen.

El análisis estructural se hará usando métodos aceptados que satisfagan el equilibrio de fuerzas y principios de compatibilidad de deformaciones y desplazamientos. El análisis estructural se hará en modelos numéricos tridimensionales de la estructura.

Se cumplirán los requisitos generales de análisis de las NTC-Acero, NTC-Concreto, NTC-Mampostería y NTC-Sismo o NMX-R-079-SCFI-2015, según aplique.

Adicionalmente, en el análisis estructural se deberán considerar los aspectos del 1 al 5 siguientes:

1. Propiedades de los materiales, geometría, deformaciones y desplazamientos de la estructura, duración de las cargas, contracción y flujo plástico, y la interacción con la cimentación.
2. Efectos de segundo orden.
3. Efectos de deterioro y daño, pérdida de adherencia del acero de refuerzo y la redistribución de fuerzas en los elementos y en la estructura completa.
4. El flujo de fuerzas hasta la cimentación, mediante modelos numéricos tridimensionales.
5. El efecto de reparaciones y reforzamientos previos en el comportamiento local [a nivel del elemento] y de toda estructura.



El análisis sísmico de la estructura existente con las modificaciones planteadas para su rehabilitación se hará de conformidad con el capítulo 10 de la NMX-R-079-SCFI-2015 o, en su defecto, con la sección 2.1 de las NTC-Sismo de la Ciudad de México [o su equivalente en las NTC de la población donde se encuentre la escuela]. En el análisis se hará especial énfasis en calcular la relación entre demanda y capacidad en los elementos a) al c):

- a) Elementos esenciales para la estabilidad lateral de la estructura.
- b) Elementos clave para la integridad de la capacidad a carga gravitacional de la estructura.
- c) Elementos que son críticos para cumplir con los Objetivos de la Rehabilitación y que pueden resultar o que hayan resultado con daño durante la respuesta sísmica.

1.3.2 Estados límite de servicio

Si en la inspección del edificio se identifican problemas de servicio, el proyectista deberá evaluar las condiciones de servicio a partir de la geometría y propiedades de la estructura a fin de determinar su efecto en los desplazamientos, vibración y deformaciones.

1.3.3 Análisis para diseño de la rehabilitación

El análisis para fines de diseño de la rehabilitación debe considerar los efectos de la secuencia de aplicación de las cargas y retiro del material en las fases previstas de evaluación y rehabilitación. Se incluyen las cargas adicionales, fuerzas de presfuerzo, vibración, efectos de apuntalamiento y arriostamiento, así como deformación de apoyos.

Se deben considerar las variaciones de las propiedades de los materiales a lo largo de un elemento, en especial si se construyó por etapas. Una vez calibrados los métodos de evaluación no destructiva con los valores medidos de resistencia y módulo de elasticidad, se verificará la variación de las propiedades de los materiales en la longitud del elemento.

En el análisis de secciones, se usarán principios de mecánica. Se supondrá un comportamiento monolítico total, sin deslizamiento entre los materiales existentes y los usados en la rehabilitación.

En el análisis se incluirá la interacción entre los elementos estructurales y los componentes no estructurales que puedan afectar la respuesta durante un sismo.

Se aceptará que los elementos estructurales, reparados o añadidos, no contribuyan a resistir el sismo, si esta consideración no afecta desfavorablemente al sistema estructural resistente a fuerzas laterales.

Para fines de evaluación, cuando la estructura tenga daños nulos o ligeros (según la N-Rehabilitación), bastará con realizar un análisis estático o dinámico de acuerdo con la NMX-R- 079-SCFI-2015 o, en su defecto, con las NTC-Sismo, usando un valor del factor de comportamiento sísmico $Q = 2$. La estructura será afectada por el factor de irregularidad que corresponda.

Cuando la estructura tenga daños moderados o severos (según la N-Rehabilitación), se podrá seguir lo indicado en este tomo



Para fines de rehabilitación, se usará un valor del factor de comportamiento sísmico $Q = 2$, a menos de que en esta Guía técnica se requiera un valor menor de Q .

No se aceptará el uso de $Q = 3$ o $Q = 4$ para el diseño de la rehabilitación de una estructura de un edificio existente.

Si el periodo fundamental de vibración de la estructura existente se encuentra entre 0.80 y 1.15 veces el periodo fundamental del suelo obtenido, será necesario realizar la medición experimental del periodo de la estructura.

Se aceptará obtener una primera estimación del periodo efectivo del sistema suelo-estructura, \tilde{T}_e , con las ecuaciones 1 y 2 en función del número de pisos, n , para edificios a base de marcos y muros en terrenos firme y blando (tipos II y III), y en terreno duro (tipo I), respectivamente:

Ecuación 1

$$\tilde{T}_e = (0.085 \text{ a } 0.095)n$$

Ecuación 2

$$\tilde{T}_e = (0.040 \text{ a } 0.063)n$$

En el caso de estructuras en terreno firme (tipo II), con suelos cuyas velocidades de ondas de cortante (V_s) son mayores que 100 m/s, los periodos se podrán considerar entre = $[0.075 \text{ a } 0.090] n$. Las expresiones previas son aplicables para edificios de marcos con muros que no estén interactuando con estructuras o elementos estructurales colindantes.

En la Ciudad de México será obligatorio el uso del SASID.

Interacción suelo-estructura. Para estructuras desplantadas en suelo blando (tipo III), se considerará explícitamente la interacción suelo-estructura en el análisis. Se deberá cumplir lo establecido en el Manual de Diseño por Sismo de Obras Civiles de la Comisión Federal de Electricidad (CFE, 2017b).

1.3.4 Criterios de aceptación

Los criterios de aceptación para la estructura rehabilitada serán la resistencia y la capacidad de deformación.

El criterio de aceptación de resistencia será el cumplimiento de los requisitos de las NTC- Acero, NTC-Concreto, NTC-Mampostería, según corresponda, y que sean aplicables de conformidad con esta Guía técnica.

Sobre el criterio de aceptación de capacidad de deformación, se deberán cumplir las distorsiones permisibles señaladas en el capítulo 9 de la NMX-R-079-SCFI-2021 o, en su defecto, en el capítulo 4 de las NTC-Sismo de la Ciudad de México [o su equivalente en las NTC de la población donde se encuentre la escuela], según el sistema estructural de la edificación rehabilitada.



1.3.5 Demandas de resistencia, rigidez y capacidad de deformación inelástica para diseño sísmico

Las demandas de resistencia, rigidez y capacidad de deformación inelástica [o capacidad de desplazamiento inelástico] para diseño serán determinadas del análisis de la estructura rehabilitada, suponiendo un comportamiento monolítico de las conexiones.

Las demandas de resistencia, rigidez y capacidad de deformación inelástica para diseño se calcularán a partir de la NMX-R-079-SCFI-2021 o, en su defecto, de la NTC-Sismo del reglamento de construcciones local, la que resulte en mayores valores.

Se aceptará suponer un comportamiento flexible de las conexiones si éstas son modeladas a partir de resultados experimentales.

1.4 Pruebas de carga

Se permitirá la ejecución de pruebas de carga en adición al análisis o para demostrar la resistencia de la estructura original o rehabilitada.

Las pruebas de carga cumplirán lo establecido en el Reglamento y en el capítulo 16 de las NTC-Concreto de la Ciudad de México [o su equivalente en las NTC de la población donde se encuentre la escuela].