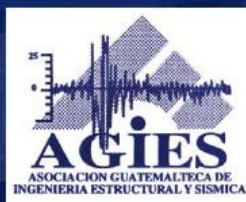


# **NORMAS DE SEGURIDAD ESTRUCTURAL DE EDIFICACIONES Y OBRAS DE INFRAESTRUCTURA PARA LA REPÚBLICA DE GUATEMALA**

**AGIES NSE 6-10  
REQUISITOS PARA OBRA EXISTENTE:  
DISMINUCIÓN DE RIESGOS, EVALUACIÓN  
Y REHABILITACIÓN (NR-6: 2001)**



# TABLA DE CONTENIDO

## PRÓLOGO

### **1** CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN

- 1.1 Generalidades
- 1.2 Instancias para la evaluación estructural

### **2** CAPÍTULO 2 EVALUACIÓN ESTRUCTURAL POSTERIOR A UN EVENTO SÍSMICO DE MAGNITUD SIGNIFICATIVA

- 2.1 Objetivo
- 2.2 Procedimiento de evaluación
- 2.3 Alcances y limitaciones
- 2.4 Etiquetado
- 2.5 Procedimiento para evaluación de edificaciones
- 2.6 Procedimiento para etiquetado y barricadas
- 2.7 Cambio en la clasificación de edificaciones
- 2.8 Reetiquetado después de un sismo de magnitud significativa
- 2.9 Edificaciones de categoría ocupacional III y IV (importantes y esenciales)
- 2.10 Parámetros de vulnerabilidad

### **3** CAPÍTULO 3 EVALUACIÓN RÁPIDA POSTERIOR A UN EVENTO SÍSMICO DE MAGNITUD SIGNIFICATIVA

- 3.1 Objetivo
- 3.2 Requisitos de los evaluadores
- 3.3 Procedimiento de Evaluación Rápida
- 3.4 Criterios de Evaluación Rápida
- 3.5 Formato de Evaluación Rápida
- 3.6 Edificaciones de Entrada Limitada y evaluación posterior

### **4** CAPÍTULO 4 EVALUACIÓN DETALLADA POSTERIOR A UN EVENTO SÍSMICO DE MAGNITUD SIGNIFICATIVA

- 4.1 Generalidades
- 4.2 Objetivos
- 4.3 Requisitos de los evaluadores
- 4.4 Alcances
- 4.5 Procedimiento de la Evaluación Detallada
- 4.6 Criterios generales de Evaluación Detallada

- 4.7 Sistema estructural no visible
- 4.8 Criterio de etiquetado
- 4.9 Formato de Evaluación Detallada

## **5** **CAPÍTULO 5** **GUÍA PARA EVALUACIÓN DE DAÑO GEOTÉCNICO Y POR** **MATERIALES CONSTRUCTIVOS, POSTERIOR A UN EVENTO SÍSMICO** **DE MAGNITUD SIGNIFICATIVA**

(En la edición anterior NR 6, este capítulo estaba en la norma. Actualmente forma parte de las publicaciones especiales de AGIES)

## **6** **CAPÍTULO 6** **EVALUACIÓN DEL RIESGO SÍSMICO**

- 6.1 Objetivo
- 6.2 Tipos de evaluación del riesgo sísmico
- 6.3 Procedimiento de evaluación

## **7** **CAPÍTULO 7** **EVALUACIÓN RÁPIDA DEL RIESGO SISMICO**

- 7.1 Introducción
- 7.2 Calificación básica
- 7.3 Información general
- 7.4 Modificadores de la calificación de vulnerabilidad
- 7.5 Calificación final

## **ANEXO A** **ETIQUETAS DE EVALUACIÓN**

## **ANEXO B** **FORMATO DE EVALUACIÓN RÁPIDA POSTERIOR A UN EVENTO** **SISMICO DE MAGNITUD SIGNIFICATIVA**

## **ANEXO C** **FORMATO DE EVALUACIÓN DETALLADA POSTERIOR A UN EVENTO** **SISMICO DE MAGNITUD SIGNIFICATIVA**

## **ANEXO D** **FORMATOS DE EVALUACIÓN RÁPIDA**

## **ANEXO E** **REFERENCIAS**

## **CAPÍTULO 8** **PROCEDIMIENTO DE EVALUACIÓN ANALÍTICA**

- 8.1 Alcance y directrices generales
- 8.2 Consideraciones estructurales generales

- 8**
- 8.3 Requisitos generales para el cálculo de las capacidades de los miembros
  - 8.4 Método de evaluación basado en la capacidad de carga lateral
  - 8.5 Método de evaluación basado en la capacidad de desplazamiento lateral
  - 8.6 Consideraciones por torsión

**CAPITULO 9  
EVALUACIÓN ANALITICA PARA ESTRUCTURAS DE CONCRETO REFORZADO**

- 9**
- 9.1 Características de los materiales y resistencia de los elementos
  - 9.2 Sistema estructural conformado por marcos rígidos
  - 9.3 Sistema estructural conformados por marcos rígidos con tabiques de mampostería integrados
  - 9.4 Edificios conformados por muros de corte

**CAPITULO 10  
EVALUACIÓN ANALITICA PARA ESTRUCTURAS DE ACERO**

- 10**
- 10.1 Lineamientos generales
  - 10.2 Resistencia del acero
  - 10.3 Alcance
  - 10.4 Parámetros de sismorresistencia
  - 10.5 Requisitos generales para la aplicación del método preliminar simple
  - 10.6 Requisitos específicos del sistema sismorresistente para la aplicación del método preliminar simple
  - 10.7 Método de evaluación preliminar simple
  - 10.8 Método de evaluación analítica

**CAPITULO 11  
EVALUACIÓN SIMPLIFICADA PARA ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERÍA REFORZADA**

- 11**
- 11.1 Consideración general
  - 11.2 Método de evaluación simplificada

**CAPITULO 12  
REHABILITACION**

- 12**
- 12.1 Generalidades
  - 12.2 Alcance
  - 12.3 Proceso de rehabilitación

**CAPITULO 13  
OBJETIVOS DE REHABILITACIÓN**

- 13**
- 13.1 Niveles de comportamiento de la edificación
  - 13.2 Niveles de diseño sísmico
  - 13.3 Objetivos de rehabilitación

- 14** **CAPITULO 14**  
**ESTRATEGIAS DE REHABILITACION**
- 14.1 Estrategias de rehabilitación
  - 14.2 Sistemas de rehabilitación
  - 14.3 Restricciones de diseño
  - 14.4 Determinación de deficiencias y potenciales causas de riesgos sísmicos
- 15** **CAPITULO 15**  
**METODOS DE REHABILITACION**
- 15.1 Información de la edificación actual
  - 15.2 Métodos de rehabilitación
  - 15.3 Método de rehabilitación simplificada
  - 15.4 Limitaciones para el uso del método de rehabilitación simplificado
  - 15.5 Aspectos a considerar para determinar deficiencias típicas en edificaciones
  - 15.6 Método de rehabilitación sistemática
  - 15.7 Procedimientos de análisis
- 16** **CAPITULO 16**  
**DISEÑO DE LA REHABILITACION**
- 16.1 Rehabilitación simplificada
  - 16.2 Rehabilitación sistemática
- 17** **CAPITULO 17**  
**CRITERIOS DE ACEPTABILIDAD**
- 17.1 Criterios generales de aceptabilidad
  - 17.2 Procedimientos lineales
  - 17.3 Procedimientos no lineales
- 18** **CAPITULO 18 - ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES**
- 18.1 Generalidades
  - 18.2 Elementos no estructurales
  - 18.3 Salidas
  - 18.4 Interacción estructural – no estructural

# PRÓLOGO

La actualización de la norma NSE 6 se realizó para los primeros 7 capítulos de la anterior, NR 6, es decir, en las referentes a los lineamientos generales de evaluación estructura y los procedimientos y tipos de evaluación rápida y detallada.

Los capítulos correspondientes a la evaluación analítica y a la rehabilitación serán revisados y actualizados posteriormente.

Tanto los esquemas de deficiencias estructurales, que incrementan la vulnerabilidad, como el capítulo 5 “Guía para Evaluación de Daño Geotécnico y por Materiales Constructivos, Posterior a un evento Sísmico de Magnitud Significativa” se trasladaron a la guía de utilización correspondiente a esta norma en la serie de Publicaciones Especiales de AGIES.

La designación “Post-Sismo” que se utilizaba anteriormente se sustituyó por “Posterior a un Evento Sísmico de Magnitud Significativa” porque se considera más adecuada.

El capítulo 2 se refiere a la descripción general de la Evaluación Posterior a un Evento Sísmico de Magnitud Significativa y en los capítulos 3 y 4 se dan los requerimientos para estas evaluaciones en los niveles rápido y detallado, respectivamente.

Las etiquetas y los formularios para la Evaluación Posterior a un Evento Sísmico de Magnitud Significativa se encuentran en los anexos A, B y C.

En el capítulo 6 se dan los lineamientos para la Evaluación del Riesgo Sísmico, con el capítulo 7 que contienen los requisitos para el nivel de Evaluación Rápida.

Se revisó la interpretación de la calificación de la Evaluación Rápida del Riesgo Sísmico, así como los puntajes tanto iniciales, como de los modificadores.

Los capítulos 8 en adelante, de la norma NR 6 prácticamente se mantienen y solamente se identifican indistintamente como NR o NSE. Se han actualizado las referencias cruzadas a las normas actualizadas.

Debido a que no se actualizaron estos últimos capítulos, la numeración de las hojas no sigue el mismo formato y se numeran de la 61 en adelante. Así mismo, el tipo de letra sigue siendo Times New Roman.

# 1 INTRODUCCIÓN

## 1.1 Generalidades

**1.1.1** Esta norma se refiere a los requisitos que deben cumplirse para la evaluación y rehabilitación de estructuras existentes.

**1.1.2** La evaluación tiene el propósito de determinar si una estructura existente es segura o no y las deficiencias que tiene.

**1.1.3** Posterior a la evaluación, si es necesario, se procede a diseñar la rehabilitación estructural con los requisitos contenidos en esta norma.

**1.1.4** Tanto la evaluación como la rehabilitación se deben efectuar por los siguientes motivos:

- (a) Daños existentes o daños potenciales en la estructura por eventos sísmicos,
- (b) Cambio de uso o de categoría ocupacional de acuerdo a la clasificación del capítulo 3 de NSE 1,
- (c) Adaptación a normas estructurales actuales, más exigentes que las utilizadas en el diseño.

## 1.2 Instancias para la evaluación estructural

**1.2.1** Para la evaluación estructural existen dos instancias:

- (a) Posterior un evento sísmico de magnitud significativa.
- (b) Previo a un evento sísmico de magnitud significativa (riesgo sísmico).

## 2 EVALUACIÓN ESTRUCTURAL POSTERIOR A UN EVENTO SÍSMICO DE MAGNITUD SIGNIFICATIVA

### 2.1 Objetivo

**2.1.1** El objetivo básico de la evaluación estructural posterior a un evento sísmico es establecer de una manera eficaz y rápida, cuáles edificaciones están en condiciones de ser utilizadas y cuáles, por haber sufrido daños, son inseguras y no habitables.

**2.1.2** De ser necesario se recomendará una inspección más especializada, profunda y detallada, realizada por especialistas, para poder obtener mejores conclusiones relativas a la seguridad en que se encuentran las edificaciones.

### 2.2 Procedimiento de evaluación

**2.2.1** El procedimiento de evaluación estructural posterior a un evento sísmico considerable implica un procedimiento que puede tener hasta tres niveles de evaluación.

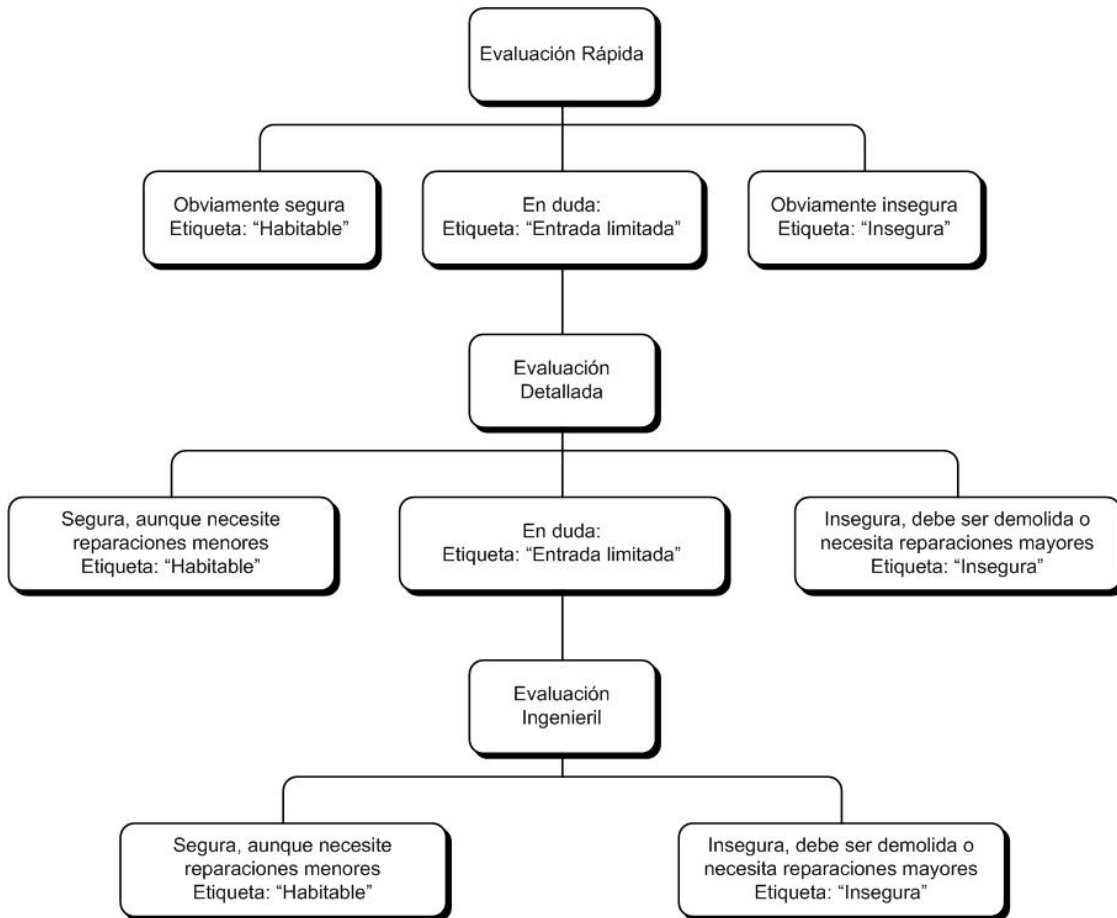
**2.2.2** El primer nivel, consiste en una Evaluación Rápida de inspección visual en cada edificación seleccionada; orientado para que en forma rápida se designe el nivel de seguridad aparente de las edificaciones, clasificándolas como seguras, potencialmente peligrosas (de entrada limitada) o inseguras.

**2.2.3** El segundo nivel, designado como Evaluación Detallada es una inspección más detallada que la del nivel anterior y en la que se clasifica a las estructuras como seguras, potencialmente peligrosas (de entrada limitada) o inseguras.

**2.2.4** Finalmente, el tercer nivel consiste en una Evaluación Ingenieril, que tiene que ser solicitada por el propietario de la edificación, deberá realizarse por un ingeniero estructural. Este estudio incluirá un reconocimiento detallado, la localización de los daños, cálculos estructurales y una evaluación cuantitativa de los daños de la estructura.



**Figura 2.1**  
**Procedimiento para la evaluación estructural**



**2.2.5** En áreas donde han fallado taludes, haya grandes asentamientos diferenciales u otros movimientos grandes de tierra, deberá hacerse un estudio por un ingeniero geotecnista, aunque la estructura no presente daños.

## 2.3 Alcances y limitaciones

**2.3.1** Dependiendo del nivel de evaluación, se determina su alcance. La tabla 2-1 establece las características de cada nivel de evaluación así como una estimación del tiempo requerido.

**Tabla 2-1**  
**Alcances y limitaciones de la evaluación posterior a un evento sísmico**

Nivel	Descripción	Tiempo estimado por edificación
Evaluación Rápida	Evaluación rápida, cualitativa de seguridad estructural. Se usa para etiquetar en forma rápida a las edificaciones como evidentemente insegura, segura, o edificaciones que requieren una Evaluación Detallada.	10 – 20 minutos
Evaluación Detallada	Evaluación visual cuidadosa, cualitativa de edificios dañados y situaciones cuestionables. Se usa para determinar de mejor manera la seguridad de la estructura e identificar edificaciones que requieren una Evaluación Ingenieril.	1 – 4 horas
Evaluación Ingenieril	Investigación ingenieril detallada de edificaciones dañadas, involucra el uso de planos de la construcción, datos de daño, y nuevos cálculos estructurales.	7 días o más

**2.3.2** Para la evaluación de aspectos geotécnicos se requerirá la inspección y el dictamen de un ingeniero geotecnista.

## 2.4 Etiquetado

**2.4.1** Después de que cada nivel de evaluación se ha realizado deberá clasificarse a la edificación con el grado de seguridad mediante la colocación de etiquetas, identificadas por el texto y el color de fondo. Esto se realiza con el objeto de indicar al propietario, a los ocupantes y al público en general, si la estructura es segura o no.

**2.4.2** Las etiquetas deberán contener la información que se indica en los formatos del anexo A.

**2.4.3** Se especifican tres tipos globales de etiquetas para clasificar la seguridad de las edificaciones: *Habitable*, de *Entrada Limitada* e *Insegura*, especificadas en 2.4.6.

**2.4.4** Las etiquetas de *Entrada Limitada* e *Insegura* no necesariamente implican solamente daños estructurales ya que deben incluir riesgos por elementos no estructurales, instalaciones, derrames tóxicos o químicos en áreas específicas de la edificación.

**2.4.5** Cuando la estructura sea insegura parcialmente, es decir, solamente en algún área ya sea fuera o dentro de la edificación se usará una etiqueta de *Peligro en Área Acordonada*, acordonando esa área y a una distancia prudencial del daño, con barricadas para prevenir la entrada.

**2.4.6 Clasificación de etiquetas**

Las etiquetas están clasificadas por color, según el grado de seguridad que presenten.

**Tabla 2-2  
Clasificación de etiquetas**

Etiqueta	Color	Descripción
Habitable	Verde	No se encuentra ningún riesgo evidente, aunque se requieran reparaciones menores. La capacidad original de sistema sismorresistente no disminuyó. No hay ninguna restricción en uso o ocupación.
Entrada limitada	Amarillo	Pueden existir condiciones peligrosas. No se permite la entrada más que al propietario y por emergencias y sólo bajo su propio riesgo. No se permite el ingreso al público. Hay posibilidad de mayores riesgos posteriores a un evento sísmico de magnitud significativa.
Insegura	Rojo	Existe mucho peligro, con daños de gran magnitud. Riesgo de colapso posterior a un evento sísmico considerable. No se permite el ingreso, excepto para personal calificado.
Peligro en área acordonada	Anaranjado (acordonado con barricadas)	El área señalada es insegura. No se debe ingresar al área insegura, excepto por personal calificado.

## 2.5 Procedimiento para evaluación de edificaciones

**2.5.1** En las primeras horas o días después de un terremoto, las edificaciones en el área de daño deberán ser evaluadas utilizando el procedimiento de Evaluación Rápida.

**2.5.2** Este procedimiento se debe seguir según lo estipulado en el capítulo 3 de esta norma.

**2.5.3** Las edificaciones que tienen una seguridad cuestionable y que están designadas temporalmente como de Entrada Limitada, estarán sujetas a una Evaluación Detallada, la que deberá realizarse, prioritariamente, dentro de pocos días después de la Evaluación Rápida.

**2.5.4** En la Evaluación Detallada se hará un examen visual detallado de las estructuras con el propósito de determinar el grado de seguridad de la edificación. Si la edificación no se puede catalogar como segura o insegura deberá procederse a una Evaluación Ingenieril.

**2.5.5** La Evaluación Ingenieril representa el nivel más completo de evaluación en esta norma, la que deberá efectuarse por ingenieros estructurales. Es responsabilidad del propietario o administrador implementar una Evaluación Ingenieril, antes que la estructura clasificada como de seguridad cuestionable sea puesta en servicio nuevamente.

## 2.6 Procedimiento para etiquetado y barricadas

**2.6.1** El etiquetado de una estructura inspeccionada se deberá realizar mediante la colocación de una etiqueta en un lugar claramente visible cerca de la entrada principal. En edificios grandes con múltiples entradas, se deberán colocar etiquetas adicionales en todas las entradas. Para designar a un área insegura, de falla inminente, se deberá ubicar barricadas o acordonar dicha área con cinta amarilla con letreros "No traspase la línea", además de colocar una etiqueta color anaranjado con el letrero "*Peligro en área acordonada*".

**2.6.2** Las etiquetas en las estructuras no se deberán remover sin autorización de la autoridad competente, definida en el capítulo 1 de NSE 1.

## **2.7 Cambio en la clasificación de edificaciones**

**2.7.1** Los edificios etiquetados como de Entrada Limitada se deberán reetiquetar si se efectúa una inspección de nivel superior.

**2.7.2** El reetiquetado puede darse si en una reinspección se determina que las condiciones iniciales han variado ya sea por nuevos daños encontrados o después de un nuevo sismo, o bien, después de reparaciones temporales.

## **2.8 Reetiquetado después de un sismo de magnitud significativa**

**2.8.1** Después de un sismo de magnitud significativa, las edificaciones que fueron previamente inspeccionadas y etiquetadas como Habitable o de Entrada Limitada requerirán una reinspección. Si una edificación es reinspeccionada se deberá colocar una nueva etiqueta para indicar la fecha y hora de la reinspección, aún si la clasificación de etiquetado no cambia.

## **2.9 Edificaciones de categoría ocupacional III y IV (importantes y esenciales)**

**2.9.1** Las edificaciones importantes y esenciales, según la clasificación descrita en el capítulo 3 de NSE 1 no estarán sujetas a una Evaluación Rápida y deberán iniciar con una Evaluación Detallada.

## **2.10 Parámetros de vulnerabilidad**

**2.10.1** Se denominan parámetros de vulnerabilidad estructural a los factores que se deberán considerar para realizar la evaluación de una edificación, ya que representan puntos críticos donde pueden aparecer daños en las estructuras.

**2.10.2** La evaluación deberá considerar al menos los siguientes parámetros de vulnerabilidad:

- (a) Irregularidad en planta
  - Esquinas entrantes en formas irregulares
  - Relación largo / ancho
  - Asimetría en el sistema sismorresistente
  - Arriostramiento inadecuado en al menos una dirección
  - Poca redundancia estructural
  - Distribución irregular de masas

- Diafragmas con aberturas excesivas
- (b) Irregularidad en elevación
  - Formas irregulares
  - Piso suave
  - Columnas con rigideces muy diferentes en un mismo nivel (laderas)
  - Columnas cortas
  - Interrupción en la trayectoria de fuerzas
  - Pisos superiores salientes
  - Concentraciones de masa en el piso superior
  - Viga fuerte / columna débil
- (c) Poca separación entre edificios adyacentes
- (d) Detallado inadecuado en sujeción de elementos no estructurales

# 3 EVALUACIÓN RÁPIDA POSTERIOR A UN EVENTO SÍSMICO DE MAGNITUD SIGNIFICATIVA

## 3.1 Objetivo

**3.1.1** El objetivo básico de la Evaluación Rápida es inspeccionar, evaluar y clasificar edificaciones en el área de daño de forma rápida, posterior a la ocurrencia de un evento sísmico de magnitud significativa.

## 3.2 Requisitos de los evaluadores

**3.2.1** Esta evaluación estará a cargo de un equipo de por lo menos dos personas, siendo una de ellas un ingeniero civil. El otro evaluador deberá poseer conocimiento en diseño sísmico de edificaciones similares a las que están siendo evaluadas, pudiendo ser estudiantes de ingeniería o arquitectura que hayan completado los cursos del área de estructuras, materiales y construcción, y tengan experiencia práctica en construcción.

**3.2.2** Los evaluadores de daño necesitan estar familiarizados básicamente con la construcción de edificios, así como, daños estructurales o cualquier situación inusual (como grietas en el suelo, riesgo de desplome y otras) que se puedan reconocer con facilidad.

**3.2.3** Los evaluadores deberán recibir una capacitación antes de integrar los equipos de evaluación.

## 3.3 Procedimiento de Evaluación Rápida

**3.3.1** Este procedimiento debe iniciar con el reconocimiento del área dañada o con un área en que se sospecha exista daño.

**3.3.2** Este nivel de evaluación se hace solamente examinando el exterior de la edificación, excepto que se sospeche que existe algún daño interior que deba ser inspeccionado, tomando en cuenta que si un edificio se encuentra claramente en una condición insegura, no se deberá ingresar.

**3.3.3** Se deberá, también, examinar el suelo en el área general de la estructura en busca de grietas, combas en el suelo, o movimiento de taludes.

**3.3.4** Se deberá llenar el formato de la Evaluación Rápida de la sección 3.5 de esta norma, anotando claramente la clasificación otorgada.

**3.3.5** Posteriormente, se deberá etiquetar la estructura según los resultados de la evaluación, usando una de las etiquetas “Habitable”, “Entrada limitada” o “Insegura”.

**3.3.6** En la etiqueta “Habitable”, se deberá indicar si sólo el "exterior" o el "exterior e interior" ha sido inspeccionado, marcando el cuadro apropiado.

**3.3.7** Se deberá etiquetar cada entrada de la edificación clasificada como de “Entrada limitada” o “Insegura”.

**3.3.8** Se deberá explicar a los ocupantes la importancia de respetar las etiquetas de “Entrada limitada” o “Insegura” y evacuar inmediatamente esas edificaciones, así como las áreas inseguras, acordonadas con barricadas y etiquetadas con “Peligro en área acordonada”.

### **3.4 Criterios de Evaluación Rápida**

**3.4.1** Los criterios de la Evaluación Rápida son condiciones de daño observables externamente, que, individual o colectivamente, son suficientes para garantizar la credibilidad de la clasificación especificada en esta norma. Por ser el procedimiento de Evaluación Rápida un procedimiento cualitativo, la evaluación de daños es aproximada necesariamente.

**3.4.2** Se deberá etiquetar como Insegura la edificación fallada, con colapso parcial, o movimiento en su cimiento.

**3.4.3** Una edificación o que algunos de sus pisos se encuentren significativamente fuera de plomo se deberá etiquetar como Insegura.

**3.4.4** Las edificaciones con daño obvio severo en los miembros de la estructura primaria, con grietas severas en paredes, u otros signos de daños severos se deberán etiquetar como Insegura.

**3.4.5** Las edificaciones con parapetos, chimeneas, u otros riesgos de derrumbes presentes se designará el área adyacente a esta como Peligro en Área Acordonada.



**3.4.6** Las grietas grandes en el suelo, los masivos movimientos de tierra, o los deslizamientos presentes se deberán etiquetar como Inseguras.

**3.4.7** Otros riesgos presentes (como derrames tóxicos, contaminación, tuberías de gas rotas, líneas eléctricas caídas y otros) se deberán etiquetar como Insegura o Peligro en Área Acordonada, según lo amerite la extensión del riesgo de daño.

**3.4.8** Las edificaciones que son aparentemente seguras se deberán etiquetar como Habitable.

**3.4.9** Las estructuras restantes, cuando el nivel de seguridad que corresponde es dudoso y la estructura de la edificación no es ni aparentemente segura ni obviamente insegura, serán evaluadas conforme al procedimiento de Evaluación Detallada y se deberán etiquetar como de Entrada Limitada.

**3.4.10** Las construcciones de adobe se deberán etiquetar como Inseguras, independientemente presenten daño o no después de un sismo.

### **3.5 Formato de Evaluación Rápida**

**3.5.1** La Evaluación Rápida deberá contener la información contenida en el formato del anexo B.

**3.5.2** Dado que el propósito de la Evaluación Rápida es la clasificación de la estructura, deberá hacerse una evaluación de su conjunto, en cuanto al nivel de seguridad, por lo cual el criterio de los evaluadores es fundamental para la interpretación de la gravedad de los daños.

**3.5.3** El equipo decidirá por consenso el etiquetado de la edificación, así como la designación de las áreas inseguras, en caso de ser necesario.

**3.5.4** La carátula del formulario deberá contener el resultado de la evaluación, para facilitar su clasificación.

### **3.6 Edificaciones de Entrada Limitada y evaluación posterior**

**3.6.1** En las edificaciones etiquetadas como de Entrada Limitada se deberán colocar etiquetas en cada entrada.

**3.6.2** A los ocupantes de dichas edificaciones se les deberá informar de la magnitud del daño. Solamente se permitirá la entrada a estos edificios al propietario o por propósitos de emergencia y solo bajo su propio riesgo, lo que será indicado en la etiqueta.

**3.6.3** Una estructura designada como de Entrada Limitada se deberá evaluar subsecuentemente mediante el método de Evaluación Detallada, y este requerimiento será indicado por el evaluador de daños en el formato de Evaluación Rápida.

# 4 EVALUACIÓN DETALLADA POSTERIOR A UN EVENTO SÍSMICO DE MAGNITUD SIGNIFICATIVA

## 4.1 Generalidades

**4.1.1** Este nivel de evaluación se utiliza para evaluar la seguridad en los edificios etiquetados como de Entrada Limitada, después de una Evaluación Rápida, excepto que para las edificaciones de categorías ocupacionales III y IV (importantes y esenciales), según la clasificación descrita en el capítulo 3 de NSE 1, esta es la evaluación inicial.

**4.1.2** El equipo de inspección deberá examinar cuidadosamente el edificio entero, adentro y afuera, particularmente en su sistema estructural.

**4.1.3** Este nivel de evaluación es, por lo general, de tipo no destructivo.

## 4.2 Objetivos

**4.2.1** El propósito general de la Evaluación Detallada es evaluar la seguridad estructural y no estructural de una edificación y determinar si es suficientemente seguro para ser puesto en servicio nuevamente.

## 4.3 Requisitos de los evaluadores

**4.3.1** Esta evaluación estará a cargo de un equipo de por lo menos dos personas, siendo una de ellas un ingeniero civil como mínimo. El otro evaluador deberá poseer conocimiento en diseño sísmico de edificaciones similares a las que están siendo evaluadas. La evaluación es de tipo general, por lo que no es esencial la experiencia de un ingeniero estructural especializado. Los evaluadores podrán ser estudiantes de ingeniería o arquitectura que hayan completado los cursos del área de estructuras, materiales y construcción, y tengan experiencia práctica en construcción.

**4.3.2** Es requisito que los evaluadores hayan recibido un entrenamiento previo en la metodología a emplear.

## 4.4 Alcances

**4.4.1** La evaluación detallada deberá determinar en forma razonable, si la edificación es altamente probable de sea segura para seguir funcionando y que pueda resistir al menos una repetición del evento que causa el daño inicial.

**4.4.2** En la evaluación detallada debe determinarse si el daño es producido por el sistema estructural en sí mismo o por agentes externos como falla en taludes o estructuras adyacentes.

**4.4.3** Además, deberá determinarse si existen daños en los elementos no estructurales que puedan convertir la edificación en inhabitable.

## 4.5 Procedimiento de la Evaluación Detallada

**4.5.1** La Evaluación Detallada es un examen visual completo de la edificación dañada, por dentro y por fuera de ésta.

**4.5.2** Las edificaciones con gran ocupación y aquellas que contienen en su interior sustancias peligrosas se deberán evaluar conservadoramente. El riesgo vida-seguridad asociado con un colapso de estas estructuras puede ser 100 a 500 veces o mayor que para una residencia familiar.

### 4.5.3 Primera etapa: Inspección del exterior de la edificación

- a) Iniciar con un caminamiento alrededor de la edificación;
- b) Determinar el sistema estructural. La edad de la estructura es un indicador importante de la resistencia sísmica, muchas edificaciones antiguas son más susceptibles a daños sísmicos que las construcciones nuevas;
- c) Examinar la estructura para las discontinuidades verticales. El daño tiende a menudo a concentrarse en estos lugares;
- d) Examinar la estructura para la configuración irregular en planta. El daño tiende a menudo a concentrarse en las irregularidades en planta.
  
- e) Buscar grietas en paredes exteriores, marcos de vidrio, etc., que son síntomas de derivas excesivas;
- f) Examinar los elementos no estructurales, como ventanales, parapetos, letreros, y ornamentación para localizar daños antes de entrar en la edificación;
- g) Buscar fracturas en la cimentación o las paredes más bajas expuestas del edificio.

#### 4.5.4 Segunda etapa: Examen del lugar por riesgos geotécnicos

- a) Examinar el suelo por presencia de grietas, protuberancias en la tierra y movimientos verticales;
- b) En áreas de laderas, examinar el área para verificar la existencia de deslizamientos, y caída de escombros en el lugar;
- c) Si se sospecha de riesgos geotécnicos en el lugar, la Evaluación Detallada se deberá realizar por un equipo que incluya un ingeniero geotecnista o geólogo;
- d) Debido a que los riesgos geotécnicos pueden extenderse en un área que incluya a varias edificaciones, se podrán etiquetar a edificios ilesos en una área inestable con la etiqueta de Insegura.

#### 4.5.5 Tercera etapa: Inspección del Sistema Estructural por dentro de la edificación

- a) Antes de entrar en la edificación, buscar riesgos de desplomes y considerar el peligro de colapso. No entrar en edificaciones evidentemente inseguras;
- b) En algunos casos, el sistema estructural está oculto por paredes, techos, y otros elementos arquitectónicos. El evaluador deberá quitar tableros de cielo falso para identificar mejor el sistema estructural. Por lo general, no se harán ensayos destructivos en paredes. Si el propietario lo desea, se puede indicar dónde deben quitarse revestimientos y otros elementos arquitectónicos para facilitar el examen del sistema estructural. Cualquier ensayo destructivo deberá contar con la anuencia del propietario;
- c) Revisar los cubos de gradas, sótanos, cuartos mecánicos, y otras áreas expuestas para identificar el sistema estructural;
- d) Examinar el sistema que resiste la carga vertical. Buscar indicios dónde una columna puede mostrar señales de falla, dónde el suelo o estructura de techo ha empezado a apartarse de sus apoyos verticales, o dónde una viga ha fallado o ha empezado a fallar;
- e) Examinar el sistema que resiste la carga lateral. Cualquier piso con deriva residual significa que ha habido algún daño estructural;
- f) Inspeccionar los elementos expuestos del sistema de cimentación, el sótano o pisos más bajos, para localizar elementos fracturados y asentamientos. También inspeccionar el piso del sótano y paredes exteriores por grietas y protuberancias;
- g) Examinar cada piso, incluyendo el sótano y el techo;
- h) Los daños severos en paredes y vidrios rotos son evidencia de grandes derivas de piso.

#### 4.5.6 Cuarta etapa: Inspección por riesgos no-estructurales

Dentro del edificio, buscar los siguientes daños:

- a) Conexiones;
- b) Divisiones de mampostería, particularmente en edificaciones antiguas en las que normalmente están sin refuerzo;
- c) Divisiones desmontables;
- d) Cielos falsos y lámparas;
- e) Tanques de agua elevados;
- f) Otros elementos susceptibles de daño;

#### 4.5.7 Quinta etapa: Inspección por otros riesgos

- a) No se deben utilizar ascensores sin la debida inspección;
- b) Buscar derrames o fugas en áreas de químicos guardados u otros materiales peligrosos;
- c) Si se daña el equipo de detección y protección contra incendios, puede ser necesario restringir el uso de la edificación;
- d) Inspeccionar la seguridad estructural de gradas y asegurar que las salidas no estén bloqueadas y se encuentren libres de obstrucciones.

#### 4.5.8 Sexta etapa: Completar la lista de revisión y etiquetar la edificación

- a) Completar el formato de Evaluación Detallada de 4.9. Indicar si es necesario tomar alguna acción;
- b) Etiquetar la estructura según los resultados de la evaluación. Usar una de las tres etiquetas (Habitable, Entrada Limitada, e Insegura). Etiquetar cada entrada a una edificación clasificada como Entrada Limitada, o Insegura;
- c) Explicar el significado de la etiqueta de Entrada Limitada, e Insegura, a los ocupantes de las edificaciones, y adviértales que salgan inmediatamente. También deberán evacuarse las áreas designadas como Peligro en Área Acoronada.

### 4.6 Criterios generales de Evaluación Detallada

#### 4.6.1 Daño global

**4.6.1.1** El daño global es el mejor indicador de la gravedad del daño en un sistema estructural: grietas severas en paredes, pisos completos desplomados, edificios inclinados, cimientos quebrados, y daños similares son excelentes indicadores del daño estructural, para lo cual debe empezarse por examinar el edificio entero, adentro y afuera, debido a los peligros potenciales siguientes:

- a) Colapso total o parcial;
- b) Edificio o pisos individuales notoriamente inclinados;
- c) Cimentación fracturada.

## **4.6.2 Sistema de cargas verticales**

### **4.6.2.1 Inspección del sistema de cargas verticales**

**4.6.2.1.1** Ninguna estructura deberá mantenerse en servicio si existe alguna duda sobre su capacidad para soportar con seguridad las cargas verticales. La falla del sistema de cargas verticales global o local se considera fundamental, generalmente, para etiquetar la estructura entera como Insegura. Se deberá poner atención especial a las siguientes fallas:

- a) Columnas notablemente desplomadas;
- b) Columnas torcidas o falladas;
- c) Estructuras de techos o piso separadas de paredes y otros soportes verticales;
- d) Paredes de carga, pilastras, o ménsulas con grietas o con apoyos inadecuados;
- (e) Otras fallas o fallas incipientes en elementos importantes del sistema de carga vertical o en conexiones.

## **4.6.3 Sistema de cargas laterales**

**4.6.3.1** Se deberá identificar e inspeccionar el sistema estructural resistente a cargas laterales. Para que a una estructura dañada se le permita seguir en uso, ésta deberá contar con un sistema estructural resistente a cargas laterales funcional. Si existe evidencia que el sistema de cargas laterales no es viable, la estructura se deberá considerar como Insegura hasta que se demuestre lo contrario.

**4.6.3.2** Algunos indicadores para verificar esta condición son los siguientes:

- a) Marcos rígidos rotos, inclinados o seriamente dañados;
- b) Muros de corte severamente agrietados;
- c) Tirantes verticales rotos o torcidos;
- d) Diafragmas o arriostres horizontales rotos o seriamente dañados;
- e) Otras fallas o fallas incipientes en elementos importantes del sistema de carga lateral o en conexiones.

## **4.6.4 Efecto P-delta**

**4.6.4.1** Para marcos estructurales altos, alguna desviación residual en algún piso es generalmente bastante peligrosa, ya que el peso de una porción de la

estructura sobre un piso desviado resulta en momentos adicionales en columnas, y en uniones de viga-columna. Cualquier marco estructural, particularmente en las estructuras muy altas, que muestre una importante desviación en uno o más de sus pisos se deberá considerar como Insegura hasta que se demuestre lo contrario.

#### **4.6.5 Degradación del sistema estructural**

**4.6.5.1** Es importante examinar el sistema estructural para determinar si el sistema entero o la mayoría de sus componentes no se han degradado, al punto que su resistencia y rigidez se hayan reducido a niveles inseguros. Esto es particularmente importante en sistemas estructurales de concreto y mampostería. Si existe evidencia de degradación, la estructura se considerará como Insegura.

#### **4.6.6 Riesgo de desplome**

**4.6.6.1** Los parapetos, revestimientos, ornamentaciones, rótulos, divisiones interiores, cielos falsos, e instalaciones de alumbrado son algunos elementos que presentan riesgo de desplome. Mientras algunos de estos elementos pueden estar dañados y desplomados debido al sismo inicial, el riesgo que representan estos elementos dañados, posterior a un evento, aumentan como resultado de la aplicación de fuerzas estáticas o réplicas del sismo. Por precaución, las áreas localizadas dentro de una distancia cercana al desplome potencial de objetos se deberán acordonar con barricadas para prevenir el acceso, será considerada como Peligro en Área Acordonada y se deberá colocar la etiqueta anaranjada.

#### **4.6.7 Falla de taludes o cimientos dañados**

**4.6.7.1** Es necesario examinar el terreno en el área inmediata al edificio para determinar si existe evidencia de desplazamiento masivo de suelo, licuación, movimiento de taludes, ruptura de la superficie de falla, distorsiones asociadas al suelo, u otros movimientos de suelo relacionados con terremotos. Estos desplazamientos verticales u horizontales pueden producir daños graves a las edificaciones y fracturar los cimientos causando daños estructurales severos a la superestructura de la edificación.

**4.6.7.2** Si se observan daños en los cimientos o se sospecha de la existencia de ellos, si hay grietas de 25 mm o más de ancho en los cimientos, asentamientos diferenciales mayores que 25 mm, o si hay grietas de más de 50 mm de ancho en la vecindad del edificio, un ingeniero geotecnista o un ingeniero geólogo deberá examinar el sitio y colaborar con la evaluación. Frecuentemente, los riesgos geotecnista cubren áreas más grandes que una sola edificación. Para estos aspectos se podrá apoyar en lo descrito en NSE 2.1.



**4.6.7.3** Si se presentan los daños que a continuación se especifican, las estructuras desplantadas sobre dichas áreas de peligro serán clasificadas como con daños geotécnicos y etiquetados como Inseguros:

- a) Base de la edificación desplazada de su lugar o asentamientos diferenciales, con cimientos, paredes, pisos o techos fracturados;
- b) Edificación en zona de falla o con grandes movimientos de tierra (deslizamientos, derrumbes);
- c) Edificaciones en peligro de ser impactadas por deslizamiento o escombros de derrumbes de deslizamiento superiores.

#### **4.6.8 Otros riesgos**

**4.6.8.1** Si existen condiciones inseguras, tales como fugas o derrames de gases y/o líquidos tóxicos, inflamables o cualquier otro material peligroso, o caída de líneas eléctricas, la entrada al área insegura debe ser restringida. Se deberá designar como Área Insegura, acordonarse con barricadas y colocarse una etiqueta anaranjada.

#### **4.6.9 Factores adicionales a considerar**

**4.6.9.1** El procedimiento de Evaluación Detallada debe hacer el máximo uso de la información visual de daño disponible, por lo que se deberá realizar un examen detenido de la edificación, interior y exteriormente por un equipo de inspección, usando para ello los criterios descritos anteriormente.

**4.6.9.2** El resultado de la evaluación será la etiqueta de la estructura (Habitable, Entrada Limitada, Inseguro). Debido a que el criterio ingenieril es esencial en cada caso, el evaluador deberá prestar atención especial a los siguientes factores:

- a) Intensidad del sismo experimentado;
- b) Condiciones preexistentes. Es importante conocer que daños existían antes del sismo;
- c) Ductilidad básica (a priori) del sistema estructural.

**4.6.9.3** Es necesario enfatizar que el inciso (c) es de vital importancia porque las estructuras sin o con poca ductilidad cuando se dañan, a menudo presentan poca capacidad para resistir sismos adicionales.

## 4.7 Sistema estructural no visible

**4.7.1** Si se sospecha de la presencia de daños serios en la edificación, y el sistema estructural no es lo suficientemente visible para permitir una evaluación confiable, la edificación debe designarse como Entrada Limitada o Insegura y se deberá informar a los ocupantes al respecto. También se informará al propietario que deberá proceder con de las siguientes acciones:

- a) Demolición o remoción de paredes, revestimientos, etc., para permitir la realización de la evaluación;
- b) Ordenar una Evaluación Ingenieril.

## 4.8 Criterio de etiquetado

**4.8.1** La descripción general de la condición del edificio que corresponde a cada categoría, se proporciona en la sección 2.4.

### 4.8.2 Habitable

**4.8.2.1** Para etiquetar un estructura como Habitable, no presenta restricción en su uso o en su ocupación, se deben satisfacer las siguientes condiciones:

- a) La capacidad de soporte de carga vertical original no ha disminuido significativamente, y no existe evidencia de inestabilidad potencial;
- b) La capacidad de soporte de carga lateral original no ha disminuido significativamente;
- c) Ningún riesgo de derrumbe u otro está presente, a menos que éstos sean etiquetados apropiadamente o puestos con barricada;
- d) Ninguna evidencia de daño significativo de la cimentación o desplazamiento del suelo está presente;
- e) Las salidas principales son operables y accesibles;
- f) No existe ninguna otra condición insegura aparente.

### 4.8.3 Entrada Limitada

**4.8.3.1** La Entrada Limitada se designa a una estructura cuando:

- a) El evaluador tiene serias dudas sobre su seguridad que sólo pueden ser resueltas por una Evaluación Ingenieril;
- b) Exista incertidumbre sobre la posibilidad de otros daños debido a riesgos geológicos;
- c) Hay incertidumbre sobre la presencia de otros riesgos como materiales peligrosos como químicos, tóxicos o inflamables, etc.

#### **4.8.4 Insegura**

**4.8.4.1** Las estructuras se catalogan como Inseguras si:

- a) Presentan riesgos de seguridad obvios;
- b) El grado de daño es tal, que se cree que están en peligro de derrumbarse por condiciones estáticas o un nuevo sismo;
- c) Existe otra condición insegura, como materiales peligrosos como químicos, tóxicos o inflamables, etc.

#### **4.8.5 Daño Geotécnico**

**4.8.5.1** Las edificaciones que se encuentran localizadas o cerca de áreas que presentan riesgo por daño geotécnico, especificados en 4.6.8 y 5.2 se deberán clasificar como con daño geotécnico, y etiquetarse como Inseguras.

#### **4.8.6 Precaución Construcción de Adobe**

**4.8.6.1** A las estructuras que cuenten con construcciones totales o parciales de adobe se les deberá colocar el rótulo de Inseguras, aunque no presenten daños visibles aparentes.

#### **4.9 Formato de Evaluación Detallada**

**4.9.1** La Evaluación Detallada deberá contener la información contenida en el formato del anexo C.

**4.9.2** Dado que el propósito de la Evaluación Detallada es la clasificación de la estructura, deberá hacerse una evaluación de su conjunto, en cuanto al nivel de seguridad, por lo cual el criterio de los evaluadores es fundamental para la interpretación de la gravedad de los daños.

**4.9.3** El equipo decidirá por consenso el etiquetado de la edificación, así como la designación de las áreas inseguras, en caso de ser necesario.

**4.9.4** En la descripción del sistema estructural deberá indicarse el material de cada elemento estructural.

**4.9.5** La carátula del formulario deberá contener el resultado de la evaluación, para facilitar su clasificación.

# 5 GUÍA PARA EVALUACIÓN DE DAÑO GEOTÉCNICO Y POR MATERIALES CONSTRUCTIVOS, POSTERIOR A UN EVENTO SÍSMICO DE MAGNITUD SIGNIFICATIVA

(En la edición anterior NR 6, este capítulo estaba en la norma. Actualmente forma parte de las publicaciones especiales de AGIES)

# 6 EVALUACIÓN DEL RIESGO SÍSMICO

## 6.1 Objetivo

**6.1.1** La evaluación del riesgo sísmico tiene como objetivo identificar las fallas potenciales en las edificaciones que pueden presentarse ante eventos sísmicos de magnitud significativa, tomando en consideración la zonificación sísmica para la República de Guatemala de acuerdo con NSE 2). Se aplica a edificaciones construidas con concreto reforzado, acero estructural y mampostería reforzada.

## 6.2 Tipos de evaluación del riesgo sísmico

**6.2.1** La evaluación del riesgo sísmico puede darse en dos niveles:

- a) Evaluación rápida; y
- b) Evaluación analítica.

## 6.3 Procedimiento de evaluación

**6.3.1** El procedimiento de evaluación del riesgo sísmico inicia con el nivel de evaluación rápida, que consiste en asignar una calificación a cada parámetro de vulnerabilidad básico, por simple inspección en el edificio. A la calificación básica se adiciona o se resta la calificación reportada por los parámetros modificadores de vulnerabilidad, obteniéndose con ello una calificación final de la estructura.

**6.3.2** Con la evaluación rápida se obtiene uno de los siguientes resultados:

- a) El resultado de la evaluación rápida es satisfactorio, si la calificación final es mayor o igual que 2;
- b) El resultado de la evaluación rápida no es satisfactorio y se recomienda evaluar la estructura por medio de la evaluación analítica, si la calificación final se encuentra comprendida entre 2 y 0.7;
- c) El valor de la calificación estructural es menor o igual que 0.7 y la edificación tendrá que ser rehabilitada siguiendo lo establecido en el capítulo 12, independientemente de realizar o no una evaluación analítica.

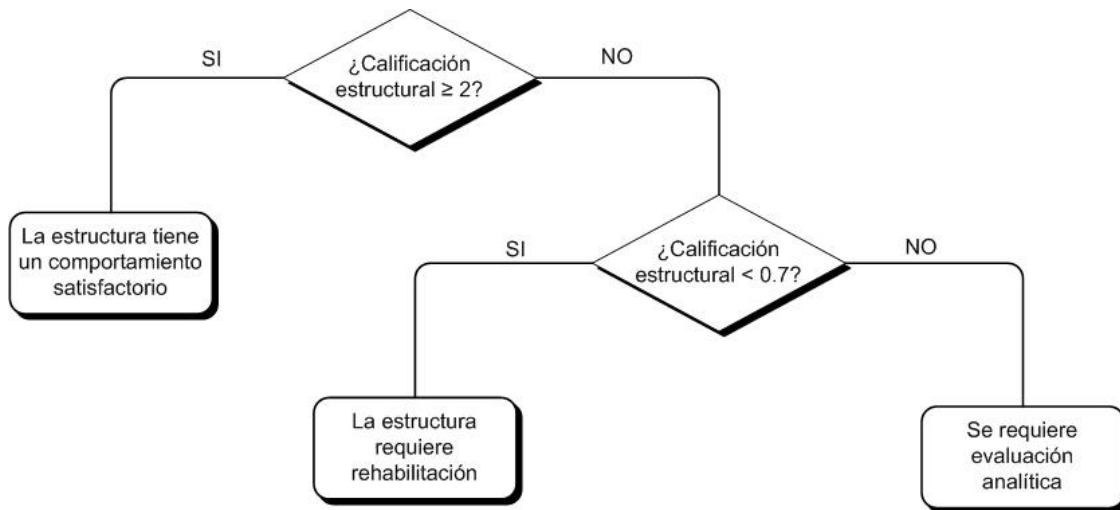
**6.3.3** Si es necesario llevar a cabo una evaluación analítica, ésta se podrá hacer por el método de capacidad de carga lateral, que básicamente se trata de determinar si la capacidad máxima de carga lateral y la ductilidad global disponible en la estructura es mayor, igual o menor que la fuerza lateral y la ductilidad que el sismo le demande. Si la capacidad disponible en la estructura resultara menor que la demanda, la edificación deberá ser rehabilitada.

**6.3.4** Opcionalmente, podrá realizarse una evaluación analítica mediante el método de capacidad de desplazamiento lateral; similar al de capacidad de carga lateral, con la diferencia que en lugar de calcular la carga lateral máxima, se debe calcular el desplazamiento lateral máximo que la estructura sea capaz de resistir; para luego compararlo con el desplazamiento lateral máximo que el sismo le impone, por medio de espectros de desplazamiento, de acuerdo con la macrozonificación sísmica indicada en el capítulo 4 de NSE 2. Igualmente, si la capacidad resulta menor que la demanda, la estructura deberá ser rehabilitada.

**6.3.5** El procedimiento de evaluación del riesgo sísmico se indica gráficamente en el diagrama de flujo de la figura 6.1.

**Figura 6.1**

Diagrama de flujo para el procedimiento de evaluación del riesgo sísmico



# 7 EVALUACIÓN RÁPIDA DEL RIESGO SISMICO

## 7.1 Introducción

**7.1.1** El procedimiento de evaluación rápida es un procedimiento de inspección visual, basado en el reconocimiento y clasificación de varias características estructurales que aumentan la vulnerabilidad de la edificación ante un sismo. Puesto que se basa en parámetros conservadores, con este procedimiento aproximado no se espera que se identifiquen todas las posibles fallas potenciales en estructuras.

**7.1.2** El resultado de la evaluación rápida se expresa en términos de una calificación asignada al edificio con el fin de indicar daños potenciales en él. Este procedimiento no requiere análisis detallado ni cálculos laboriosos. Más bien se lleva a cabo para establecer en forma preliminar las características estructurales que lo hacen vulnerable.

**7.1.3** Antes de proceder a la inspección de campo y el llenado del formato de evaluación es importante obtener la mayor información a partir de documentos relacionados con la edificación a evaluar, de manera que se minimice la cantidad de datos desconocidos o solamente estimados, aumentando la confiabilidad de la evaluación.

**7.1.4** El formato de evaluación se encuentra en el anexo D.

## 7.2 Calificación básica

**7.2.1** La calificación básica representa los niveles de daño potenciales debido a sismo para estructuras, tomando en consideración las macrozonas sísmicas de la República de Guatemala, de acuerdo con NSE 2, al material predominante utilizado y al sistema estructural.

**7.2.2** La calificación básica se modifica de acuerdo con los parámetros de vulnerabilidad debido a factores de configuración.

**7.2.3** Es importante seleccionar el formato adecuado para la zona sísmica correspondiente a la edificación, pues de ello depende la calificación básica asignada, así como los modificadores.

**7.2.4** El material y el sistema estructural debe identificarse para obtener la calificación básica inicial. Los sistemas estructurales considerados son:

- a) A1: Marcos rígidos de acero, sin arriostramientos
- b) A2: Marcos de acero de varios niveles, arriostrados
- c) A3: Marcos de acero, arriostrados en dirección longitudinal, de poca altura, pisos livianos, normalmente con forro metálico
- d) A4: Marcos de acero con muros de corte
- e) A5: Marcos de acero y tabiques de mampostería integrados a la estructura
- f) C1: Marcos rígidos de concreto reforzado
- g) C2: Marcos de concreto reforzado con muros de corte
- h) C3: Marcos de concreto reforzado y tabiques de mampostería integrados a la estructura
- i) TU: Construcciones basados en muros prefabricados “tilt-up”
- j) MR: Mampostería reforzada
- k) MNR: Mampostería no reforzada

**7.2.5** Para combinaciones de varios sistemas constructivos, deberá utilizarse la calificación básica más baja.

### **7.3 Información general**

**7.3.1** La información general debe indicarse claramente su grado de confiabilidad, de manera que si el dato es estimado debe agregársele un asterisco al final y si el dato es desconocido, deberá indicarse esta situación por medio de un signo de interrogación.

**7.3.2** Deben indicarse el nombre de la edificación, la dirección para propósitos de ubicación, la identificación del evaluador y la fecha de evaluación.

#### **7.3.3 Número de pisos**

**7.3.3.1** La altura de un edificio puede estimarse si se conoce el número de pisos. Debe indicarse el número de pisos que razonablemente representan al edificio y usar el mayor número de pisos si el edificio tiene diferentes niveles de techos.

#### **7.3.4 Año de construcción**

**7.3.4.1** Es el año efectivo en el que fue construido. Esta información da una idea de la aplicación o no de un diseño sísmico.



### **7.3.5 Área total en planta**

**7.3.5.1** Es el área total aproximada del edificio en planta que generalmente se usa para estimar el número de personas que ocupan la edificación. El número de personas permite establecer las prioridades para la mitigación de riesgos.

### **7.3.6 Esquemas de la edificación**

**7.3.6.1** Se deben dibujar esquemas de la planta y elevaciones de la edificación. Los esquemas ayudan al evaluador a determinar las posibles irregularidades.

### **7.3.7 Tipo de suelo**

**7.3.7.1** El tipo de suelo es determinante en la respuesta de la estructura ante cargas sísmicas. Si el tipo de suelo no se ha determinado en el proceso previo de revisión de la documentación, el evaluador deberá identificarlo. Si no existen fundamentos para determinar el tipo de suelo deberá suponerse un suelo tipo E.

### **7.3.8 Tipo de ocupación**

**7.3.8.1** El tipo de ocupación puede servir para determinar la carga de ocupación de la edificación. En conjunto con el área total en planta y el número de pisos se puede estimar el número de personas que ocupa la edificación y establecer las prioridades para la mitigación de riesgos.

### **7.3.9 Amenaza de elementos no estructurales que pueden caer**

**7.3.9.1** Se debe indicar si hay peligro de elementos no estructurales que puedan caer. Este aspecto puede modificar cualitativamente la evaluación global de la edificación.

## **7.4 Modificadores de la calificación de vulnerabilidad**

**7.4.1** Los modificadores de vulnerabilidad afectan la calificación básica dependiendo de los factores de configuración de la edificación.

### **7.4.2 Altura**

**7.4.2.1** Se debe determinar por medio del número de pisos si es de mediana o de gran altura.

### **7.4.3 Construcción deficiente**

**7.4.3.1** Son malas condiciones de materiales con los que se construyen los diferentes elementos estructurales, que implican elementos más débiles que lo normalmente supuesto en la fase de diseño.

### **7.4.4 Irregularidad en planta**

**7.4.4.1** Debe identificarse la presencia de esquinas entrantes.

### **7.4.5 Torsión**

**7.4.5.1** Debe estimarse la presencia de efectos de torsión sísmica debido a distribuciones irregulares de masa o de elementos resistentes a carga lateral.

### **7.4.6 Irregularidad vertical**

**7.4.6.1** La irregularidad vertical se refiere a la forma del edificio en elevación. Debe considerarse también como irregularidad vertical si el edificio está construido con cimentaciones en terreno inclinado.

### **7.4.7 Piso suave o blando**

**7.4.7.1** Este parámetro se aplica a edificios que presentan discontinuidades o grandes cambios en la resistencia o la rigidez en un piso con relación a la del piso inmediatamente superior o inferior a él.

### **7.4.8 Columnas cortas**

**7.4.8.1** Es importante identificar la presencia de columnas cortas, poniendo especial cuidado en que este efecto no existe si los muros están debidamente aislados de la estructura.

### **7.4.9 Colisión entre edificios adyacentes**

**7.4.9.1** El parámetro de golpeteo se refiere a la interacción por impacto entre edificios adyacentes por el movimiento sísmico. La posibilidad de colisión entre edificios adyacentes puede que ocurra cuando la separación de los edificios es menor que 0.02 veces la altura del nivel.

## **7.4.10 Desprendimiento del recubrimiento**

**7.4.10.1** Es el desprendimiento de grandes porciones de recubrimiento (por ejemplo de concreto prefabricado, bloques de concreto o tabiques de ladrillo), que presentan un riesgo potencial de daño local e influyen en daño estructural de acuerdo con la cantidad del desprendimiento.

## **7.4.11 Diseño sísmico**

**7.4.11.1** Este modificador se aplica cuando se tiene certeza de que el diseño estructural de la edificación se hizo tomando en cuenta los aspectos de comportamiento sísmico adecuado, incluyendo los detalles necesarios.

## **7.4.12 Rehabilitación**

**7.4.12.1** Para que una estructura se considere que fue rehabilitada o reforzada, ésta debió efectuarse después de 1976. En todo caso para poderse aplicar este modificador se debe tener la certeza de que se cumplieron con las normas sísmorresistentes.

## **7.4.13 Tipo de suelo**

**7.4.13.1** Este modificador depende del tipo de suelo identificado o asignado de acuerdo con la descripción en 4.5 de NSE 2.

**7.4.13.2** Para los suelos tipos AB, no se aplica modificador.

**7.4.13.3** Para los suelos tipos C, D, E o F, se aplicarán los modificadores que aparecen en la hoja 2 de 2 del anexo D, de la zona sísmica respectiva,

## **7.4.14 Fallas cercanas**

**7.4.14.1** El parámetro de falla cercana reconoce el incremento de un daño adicional por efectos de “desplazamiento del fallamiento cercano”. Para los edificios que estén localizados dentro de un radio de 20 metros a una falla que se considere activa. Para el procedimiento para determinar la cercanía de fallas ver 4.6 de NSE 2.

## **7.4.15 Daño existente**

**7.4.15.1** El parámetro de daño existente se refiere al daño presente en la estructura ocasionado por un sismo anterior, y para el que no hubo una rehabilitación a la misma. Queda a criterio del evaluador el valor que le asigne a este modificador de vulnerabilidad (dependiendo del grado de su severidad); sin embargo, para estructuras severamente dañadas y/o con daño geotécnico se les

asignará una calificación final de 0.25. El motivo de esta calificación deberá indicarse claramente en la carátula del formato de evaluación.

#### **7.4.16 Sistemas estructurales no definidos en dos direcciones ortogonales**

**7.4.16.1** Los sistemas estructurales que no estén definidos en dos direcciones ortogonales se les asigna una calificación final de 0.25. El motivo de esta calificación deberá indicarse claramente en la carátula del formato de evaluación.

### **7.5 Calificación final**

**7.5.1** La calificación final para la estructura se obtiene sumándole algebraicamente a la calificación básica los valores reportados por los parámetros modificadores de vulnerabilidad.

# ANEXO A ETIQUETAS DE EVALUACIÓN

# HABITABLE

Esta estructura ha sido evaluada y no se encontraron fallas estructurales aparentes  
Reportar cualquier condición insegura a la autoridad competente para reinspección

Fecha: \_\_\_\_\_

Hora: \_\_\_\_\_

Equipo evaluador: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Evaluación: Exterior  Interior

Tipo de evaluación: \_\_\_\_\_

Observaciones: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

No remover, alterar o ni cubrir esta etiqueta hasta contar con la autorización  
de la autoridad competente

*Etiqueta verde*

# ENTRADA LIMITADA PROHIBIDO INGRESAR

Esta estructura ha sido evaluada y está dañada. Requiere nueva inspección  
Solamente se permite el ingreso del propietario y en casos de emergencia

Fecha: \_\_\_\_\_ Hora: \_\_\_\_\_

Equipo evaluador: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Evaluación: Exterior  Interior

Tipo de evaluación: \_\_\_\_\_

Observaciones: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

No remover, alterar o ni cubrir esta etiqueta hasta contar con la autorización  
de la autoridad competente

*Etiqueta amarilla*

# INSEGURO

# PROHIBIDO INGRESAR

**ESTA ETIQUETA NO CONSTITUYE ORDEN DE DEMOLICIÓN**

Esta estructura ha sido evaluada y está seriamente dañada

Fecha: \_\_\_\_\_

Hora: \_\_\_\_\_

Equipo evaluador: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Evaluación: Exterior  Interior

Tipo de evaluación: \_\_\_\_\_

Observaciones: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

No remover, alterar o ni cubrir esta etiqueta hasta contar con la autorización de la autoridad competente

*Etiqueta roja*



# PELIGRO EN ÁREA ACORDONADA

Esta estructura ha sido evaluada y tiene daños parciales  
NO traspasar cinta de advertencia

Fecha: \_\_\_\_\_ Hora: \_\_\_\_\_

Equipo evaluador: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Evaluación: Exterior  Interior

Tipo de evaluación: \_\_\_\_\_

Observaciones: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

No remover, alterar o ni cubrir esta etiqueta hasta contar con la autorización  
de la autoridad competente

*Etiqueta anaranjada*

## **ANEXO B**

# **FORMATO DE EVALUACIÓN RÁPIDA POSTERIOR A UN EVENTO SISMICO DE MAGNITUD SIGNIFICATIVA**

**DICTAMEN DE LA EVALUACIÓN RÁPIDA POSTERIOR  
A UN EVENTO SISMICO DE MAGNITUD SIGNIFICATIVA**

1. Fecha de la evaluación:
2. Nombre de la edificación:
3. Nombre del propietario:
4. Dirección de la edificación:
5. Tipo de ocupación:
6. Carga de ocupación:
7. Áreas evaluadas:

8. Etiqueta:
9. Orden de prioridad:
10. Daños encontrados:

11. Conclusiones:

12. Recomendaciones:

Evaluador coordinador (nombre y firma):

# FORMATO DE EVALUACIÓN RÁPIDA DAÑOS POR SISMOS EN ESTRUCTURAS

## 1. DATOS GENERALES DE LA EDIFICACIÓN

Nombre de la edificación (si tiene):

Dirección:

Municipio:

Departamento:

No. De pisos: sobre el terreno \_\_\_ bajo el terreno

Uso principal de la edificación:

ID grupo de evaluación:

Evaluador coordinador:

Fecha:

Hora:

## 2. EVALUACIÓN DE LAS CONDICIONES EXTERNAS

CONDICIÓN

COMENTARIOS

- |   |  |                             |                                  |       |
|---|--|-----------------------------|----------------------------------|-------|
| 1 | Colapso: No hay <input type="checkbox"/>     |                             | Parcial <input type="checkbox"/> |       |
|   | Total <input type="checkbox"/>               |                             |                                  | _____ |
| 2 | Inclinación de la edificación                | Sí <input type="checkbox"/> | No <input type="checkbox"/>      | _____ |
| 3 | Daños severos en muros                       | Sí <input type="checkbox"/> | No <input type="checkbox"/>      | _____ |
| 4 | Desplazamientos de la cimentación            | Sí <input type="checkbox"/> | No <input type="checkbox"/>      | _____ |
| 5 | Peligro de desplome de elementos             | Sí <input type="checkbox"/> | No <input type="checkbox"/>      | _____ |
| 6 | Otros (incluye componentes no estructurales) |                             |                                  | _____ |

## 3. DAÑOS GEOTÉCNICOS

CONDICIÓN

COMENTARIOS

- |   |                     |                             |                             |       |
|---|---------------------|-----------------------------|-----------------------------|-------|
| 1 | Asentamientos       | Sí <input type="checkbox"/> | No <input type="checkbox"/> | _____ |
| 2 | Corrimientos        | Sí <input type="checkbox"/> | No <input type="checkbox"/> | _____ |
| 3 | Grietas en el suelo | Sí <input type="checkbox"/> | No <input type="checkbox"/> | _____ |
| 4 | Deslizamientos      | Sí <input type="checkbox"/> | No <input type="checkbox"/> | _____ |
| 5 | Derrumbes           | Sí <input type="checkbox"/> | No <input type="checkbox"/> | _____ |
| 6 | Licuefacción        | Sí <input type="checkbox"/> | No <input type="checkbox"/> | _____ |
| 7 | Otros _____         |                             |                             | _____ |

## 4. CLASIFICACIÓN

ETIQUETA

**HABITABLE.** No hay peligro aparente. Habitable en su totalidad. Sin limitaciones de uso.

VERDE

**ENTRADA LIMITADA.** Prohibido ingresar. Requiere nueva inspección. Daños parciales. Ingreso solamente al propietarios y por emergencias..

AMARILLA

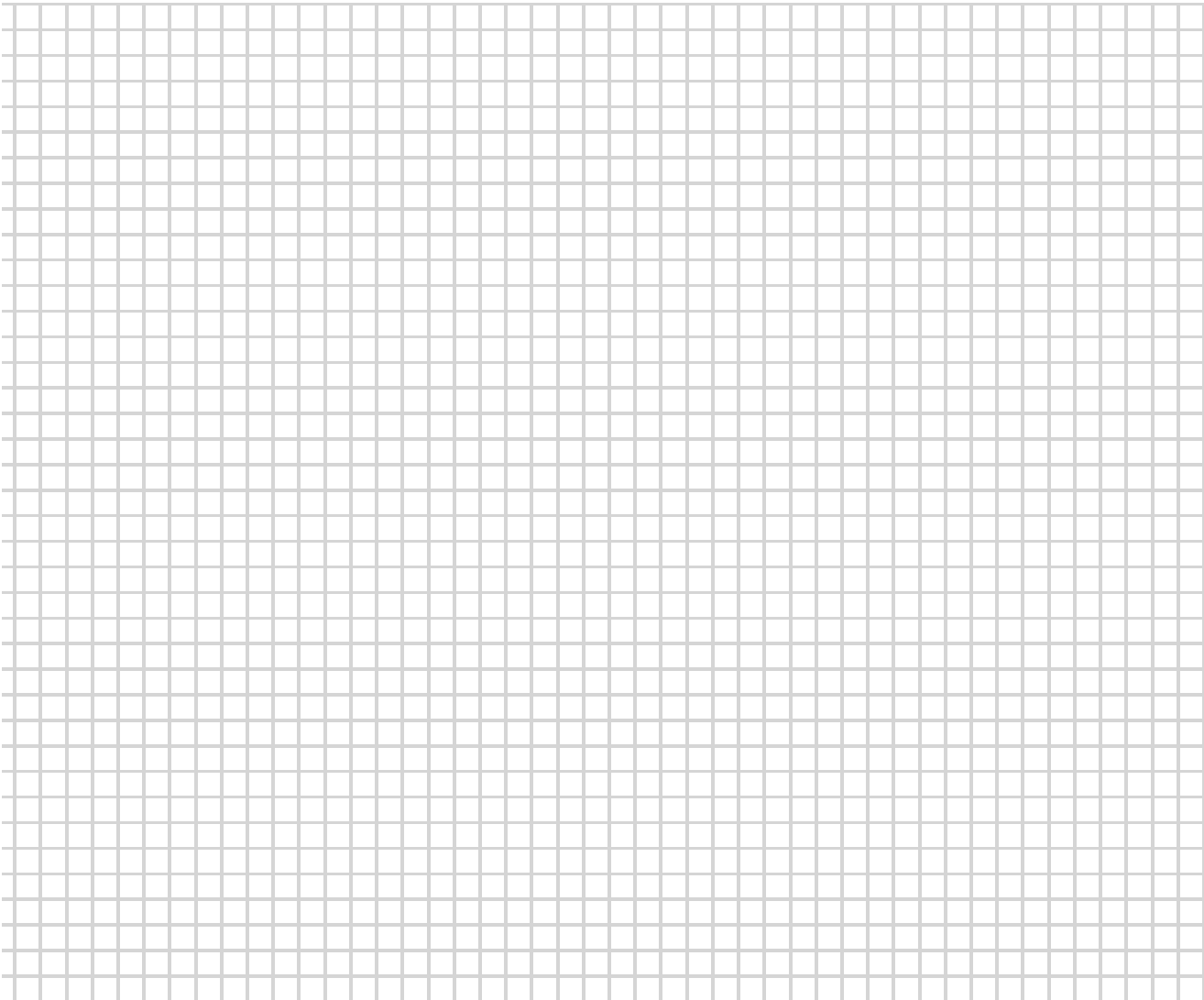
**INSEGURO.** Prohibido ingresar. Daño severo y peligro inminente. Ingreso no permitido.

ROJA

**PELIGRO EN ÁREA ACORDONADA.** Daños parciales. Acordonamiento de áreas con prohibición de ingreso. Requiere nueva inspección.

ANARANJADA

**5. ESQUEMA** Indicar dimensiones y localización de juntas.



**6. COMENTARIOS Y RECOMENDACIONES**

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

# **ANEXO C FORMATO DE EVALUACIÓN DETALLADA POSTERIOR A UN EVENTO SISMICO DE MAGNITUD SIGNIFICATIVA**

**DICTAMEN DE LA EVALUACIÓN DETALLADA POSTERIOR  
A UN EVENTO SISMICO DE MAGNITUD SIGNIFICATIVA**

1. Fecha de la evaluación:
2. Nombre de la edificación:
3. Nombre del propietario:
4. Dirección de la edificación:
5. Tipo de ocupación:
6. Carga de ocupación:
7. Áreas evaluadas:
  
8. Etiqueta anterior:
9. Etiqueta nueva:
10. Orden de prioridad:
11. Daños encontrados:

12. Conclusiones:

13. Recomendaciones:

Evaluador coordinador (nombre y firma):

## FORMATO DE EVALUACIÓN DETALLADA DAÑOS POR SISMOS EN ESTRUCTURAS

### 1. DATOS GENERALES DE LA EDIFICACIÓN

Nombre de la edificación (si tiene):

Dirección:

Municipio:

Departamento:

No. De pisos: sobre el terreno \_\_\_ bajo el terreno

Uso principal de la edificación:

ID grupo de evaluación:

Evaluador coordinador:

Fecha:

Hora:

### 2. EVALUACIÓN DE LAS CONDICIONES EXTERNAS

CONDICIÓN

COMENTARIOS

- |   |  |                             |                                  |       |
|---|--|-----------------------------|----------------------------------|-------|
| 1 | Colapso: No hay <input type="checkbox"/>     |                             | Parcial <input type="checkbox"/> |       |
|   | Total <input type="checkbox"/>               |                             |                                  | _____ |
| 2 | Inclinación de la edificación                | Sí <input type="checkbox"/> | No <input type="checkbox"/>      | _____ |
| 3 | Daños severos en muros                       | Sí <input type="checkbox"/> | No <input type="checkbox"/>      | _____ |
| 4 | Desplazamientos de la cimentación            | Sí <input type="checkbox"/> | No <input type="checkbox"/>      | _____ |
| 5 | Peligro de desplome de elementos             | Sí <input type="checkbox"/> | No <input type="checkbox"/>      | _____ |
| 6 | Otros (incluye componentes no estructurales) |                             |                                  |       |

### 3. DAÑOS GEOTÉCNICOS

CONDICIÓN

COMENTARIOS

- |   |                     |                             |                             |       |
|---|---------------------|-----------------------------|-----------------------------|-------|
| 1 | Asentamientos       | Sí <input type="checkbox"/> | No <input type="checkbox"/> | _____ |
| 2 | Corrimientos        | Sí <input type="checkbox"/> | No <input type="checkbox"/> | _____ |
| 3 | Grietas en el suelo | Sí <input type="checkbox"/> | No <input type="checkbox"/> | _____ |
| 4 | Deslizamientos      | Sí <input type="checkbox"/> | No <input type="checkbox"/> | _____ |
| 5 | Derrumbes           | Sí <input type="checkbox"/> | No <input type="checkbox"/> | _____ |
| 6 | Licuefacción        | Sí <input type="checkbox"/> | No <input type="checkbox"/> | _____ |
| 7 | Otros _____         |                             |                             |       |



#### 4. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA ESTRUCTURAL

Material de Construcción	Elementos Estructurales										
	Columnas	Muros de carga	Muros de corte	Tabiques interiores	Muros exteriores	Arriostramientos	Vigas	Entrepisos	Techos o cubiertas	Gradas	Otros
Adobe											
Mampostería no reforzada											
Mampostería reforzada											
Concreto reforzado											
Concreto prefabricado											
Acero											
Madera											
Otros											

#### 5. DAÑOS ESTRUCTURALES

##### ELEMENTOS

##### COMENTARIOS

- |    |                                       |                             |                             |       |
|----|---------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-------|
| 1  | Columnas                              | Sí <input type="checkbox"/> | No <input type="checkbox"/> | _____ |
| 2  | Conexiones columnas - vigas           | Sí <input type="checkbox"/> | No <input type="checkbox"/> | _____ |
| 3  | Muros de carga                        | Sí <input type="checkbox"/> | No <input type="checkbox"/> | _____ |
| 4  | Muros de corte                        | Sí <input type="checkbox"/> | No <input type="checkbox"/> | _____ |
| 5  | Tabiques interiores                   | Sí <input type="checkbox"/> | No <input type="checkbox"/> | _____ |
| 6  | Muros exteriores                      | Sí <input type="checkbox"/> | No <input type="checkbox"/> | _____ |
| 7  | Arriostramientos                      | Sí <input type="checkbox"/> | No <input type="checkbox"/> | _____ |
| 8  | Vigas                                 | Sí <input type="checkbox"/> | No <input type="checkbox"/> | _____ |
| 9  | Entrepisos                            | Sí <input type="checkbox"/> | No <input type="checkbox"/> | _____ |
| 10 | Techos o cubiertas                    | Sí <input type="checkbox"/> | No <input type="checkbox"/> | _____ |
| 11 | Conexiones viga - techo, muro - techo | Sí <input type="checkbox"/> | No <input type="checkbox"/> | _____ |
| 12 | Gradas                                | Sí <input type="checkbox"/> | No <input type="checkbox"/> | _____ |
| 13 | Otros _____                           |                             |                             | _____ |

#### 4. CLASIFICACIÓN

**HABITABLE.** No hay peligro aparente. Habitable en su totalidad. Sin limitaciones de uso.

VERDE

**ENTRADA LIMITADA.** Prohibido ingresar. Requiere nueva inspección. Daños parciales. Ingreso solamente al propietarios y por emergencias..

AMARILLA

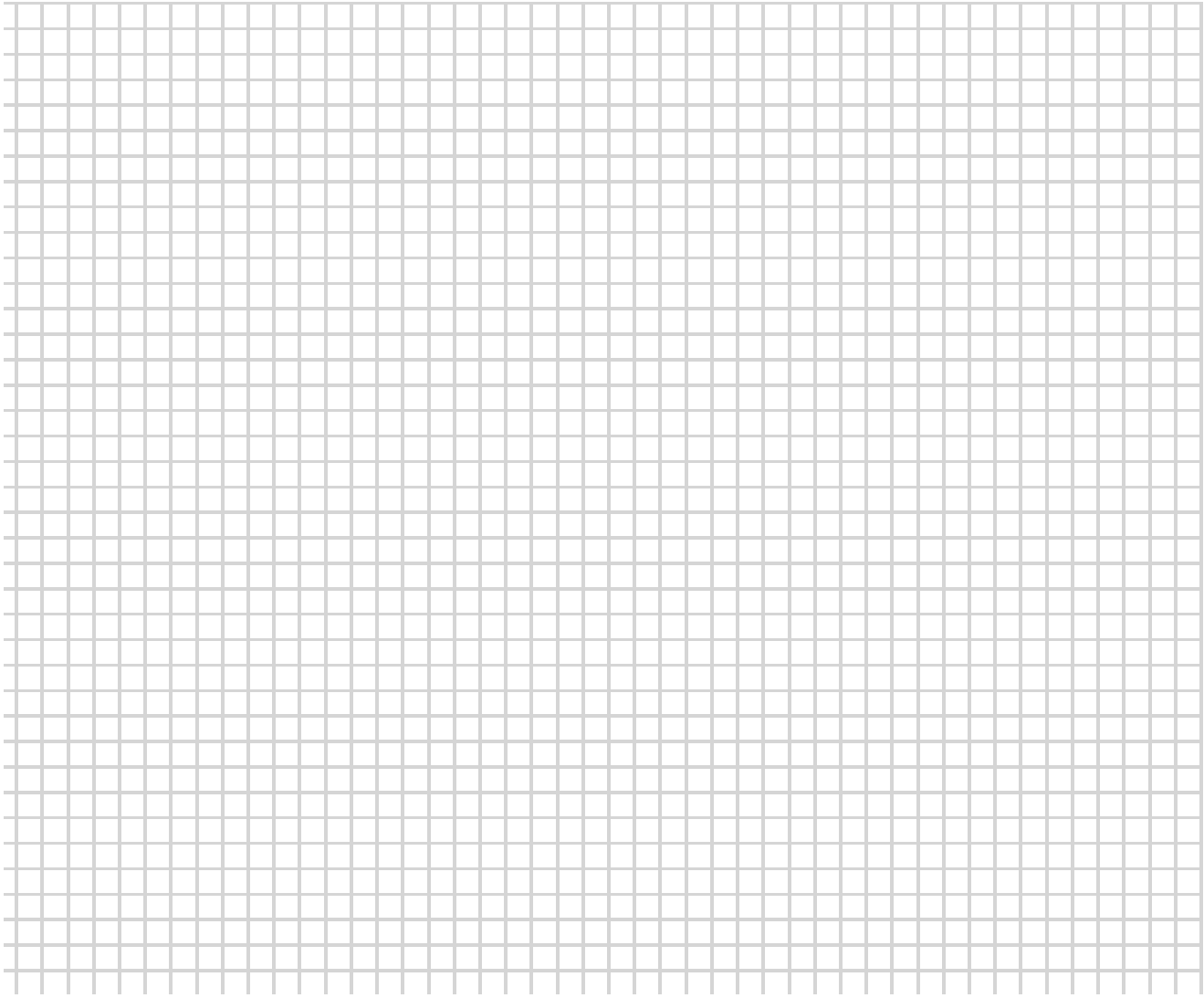
**INSEGURO.** Prohibido ingresar. Daño severo y peligro inminente. Ingreso no permitido.

ROJA

**PELIGRO EN ÁREA ACORDONADA.** Daños parciales. Acordonamiento de áreas con prohibición de ingreso. Requiere nueva inspección.

ANARANJADA

**5. ESQUEMA** Indicar dimensiones y localización de juntas.



**6. COMENTARIOS Y RECOMENDACIONES**

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

## **ANEXO D**

# **FORMATOS DE EVALUACIÓN RÁPIDA DE RIESGO SÍSMICO**

## DICTAMEN DE LA EVALUACIÓN DE RIESGO SÍSMICO

1. Fecha de la evaluación:
2. Nombre de la edificación:
3. Nombre del propietario:
4. Dirección de la edificación:
5. Tipo de ocupación:
6. Carga de ocupación:
7. Áreas evaluadas:
  
8. Calificación final de la estructura:
9. Dictamen:
  
10. Conclusiones:
  
11. Recomendaciones:

Evaluador coordinador (nombre y firma):

<b>NSE 6 EVALUACIÓN DEL RIESGO SÍSMICO, ZONAS SÍSMICAS 1 Y 2</b>	Nombre de la edificación:  Dirección:  Número. de niveles: Año de construcción: Área total (m <sup>2</sup> ): Evaluador coordinador: Fecha:
	FOTOGRAFÍA

TIPO DE OCUPACIÓN	No. PERSONAS	CALIFICACION BÁSICA Y MODIFICADORES												
		SISTEMA	A1	A2	A3	A4	A5	C1	C2	C3	TU	MR	MNR	
Residencial	0-10	<b>Calificación básica</b>	<b>4.6</b>	<b>4.8</b>	<b>4.6</b>	<b>4.8</b>	<b>4.0</b>	<b>4.4</b>	<b>4.8</b>	<b>3.6</b>	<b>4.4</b>	<b>4.8</b>	<b>3.0</b>	
Comercial	11-100	Altura media (4-7 pisos)	+0.6	+0.4	NA	+0.4	0.0	+0.6	+0.4	0.0	NA	+0.4	-0.4	
Oficinas	101-1000	Altura grande (> 7 pisos)	+1.0	+1.0	NA	+1.0	+0.2	+1.0	+0.8	+0.2	NA	NA	NA	
Industrial	1001 +	Construcción deficiente	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	
Reuniones públicas		Irregularidad horizontal	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	
Educativos		Torsión	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	
Gubernamental		Irregularidad vertical	-1.5	-1.5	NA	-1.5	-1.5	-1.0	-1.5	-1.5	NA	-1.5	-1.0	
Servicios de. Emergencia		Piso suave o blando	-1.5	-1.5	NA	-1.5	-1.5	-1.0	-1.5	-1.5	NA	-1.5	-1.0	
Edificios históricos		Columna corta	-1.0	-1.0	NA	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	NA	-1.0	-1.0	
<b>Peligro de elementos no estructurales</b> SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>		Colisión entre edificios	-0.5	-0.5	NA	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	NA	-0.5	-0.5	
		Desp. de recubrimiento	NA	NA	NA	NA	NA	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8	NA	
		Diseño sísmico	+1.0	+1.5	NA	+1.5	+1.0	+1.5	+1.5	+1.0	NA	+1.0	NA	
<b>CONFIABILIDAD DE LOS DATOS</b> * - Datos estimados ? - No hay información NA - No aplicable		Rehabilitación	+1.5	+1.5	+1.5	+1.5	NA	+1.5	+1.5	NA	+1.5	+1.5	NA	
		Suelo tipo C	-0.6	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.6	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.6
		Suelo tipo D o E	-1.4	-1.2	-1.2	-1.2	-1.2	-1.4	-1.2	-1.2	-1.2	-1.2	-1.2	-1.4
		Suelo tipo F	-2.2	-2.0	-2.0	-2.0	-2.0	-2.2	-2.0	-2.0	-2.0	-2.0	-2.2	
		Fallas cercanas	-2.0	-2.0	-2.0	-2.0	-2.0	-2.0	-2.0	-2.0	-2.0	-2.0	-2.0	
		<b>Calificación final</b>												

Se puede considerar como rehabilitación efectiva si se efectuó después de 1976	
COMENTARIOS:	Requiere evaluación analítica SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>

<b>NSE 6 EVALUACIÓN DEL RIESGO SÍSMICO, ZONA SÍSMICA 3</b>	Nombre de la edificación:  Dirección:  Número. de niveles: Año de construcción: Área total (m <sup>2</sup> ): Evaluador coordinador: Fecha:
	FOTOGRAFÍA

TIPO DE OCUPACIÓN	No. PERSONAS	CALIFICACION BÁSICA Y MODIFICADORES											
		SISTEMA	A1	A2	A3	A4	A5	C1	C2	C3	TU	MR	MNR
Residencial	0-10	<b>Calificación básica</b>	<b>3.6</b>	<b>3.8</b>	<b>3.6</b>	<b>3.8</b>	<b>3.0</b>	<b>3.0</b>	<b>3.6</b>	<b>2.4</b>	<b>3.2</b>	<b>3.6</b>	<b>2.2</b>
Comercial	11-100	Altura media (4-7 pisos)	+0.4	+0.4	NA	+0.4	0.0	+0.4	+0.4	0.0	NA	+0.4	-0.4
Oficinas	101-1000	Altura grande (> 7 pisos)	+0.8	+0.8	NA	+0.8	+0.2	+0.8	+0.8	+0.2	NA	NA	NA
Industrial	1001 +	Construcción deficiente	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5
Reuniones públicas		Irregularidad horizontal	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3
Educativos		Torsión	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2
Gubernamental		Irregularidad vertical	-2.0	-2.0	NA	-2.0	-2.0	-2.0	-2.0	-2.0	NA	-2.0	-2.0
Servicios de.		Piso suave o blando	-2.0	-2.0	NA	-2.0	-2.0	-2.0	-2.0	-2.0	NA	-2.0	-1.5
Edificios históricos		Columna corta	-2.0	-2.0	NA	-2.0	-2.0	-2.0	-2.0	-2.0	NA	-2.0	-1.5
		Colisión entre edificios	-0.5	-0.5	NA	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	NA	-0.5	-0.5
<b>Peligro de elementos no estructurales</b>		Desp. de recubrimiento	NA	NA	NA	NA	NA	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8	NA

SI <input type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>	Diseño sísmico	+1.0	+1.5	NA	+1.5	+1.0	+1.5	+1.5	+1.0	NA	+1.0	NA
		Rehabilitación	+1.5	+1.5	+1.5	+1.5	NA	+1.5	+1.5	NA	+1.5	+1.5	NA
		Suelo tipo C	-0.8	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.8	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.8
<b>CONFIABILIDAD DE LOS DATOS</b>		Suelo tipo D o E	-1.6	-1.4	-1.4	-1.4	-1.4	-1.6	-1.4	-1.4	-1.4	-1.4	-1.6
* - Datos estimados		Suelo tipo F	-2.4	-2.2	-2.2	-2.2	-2.2	-2.4	-2.2	-2.2	-2.2	-2.2	-2.4
? - No hay información		Fallas cercanas	-2.0	-2.0	-2.0	-2.0	-2.0	-2.0	-2.0	-2.0	-2.0	-2.0	-2.0
NA - No aplicable		<b>Calificación final</b>											
Se puede considerar como rehabilitación efectiva si se efectuó después de 1976													
COMENTARIOS:										Requiere evaluación analítica			
										SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>			

<b>NSE 6 EVALUACIÓN DEL RIESGO SÍSMICO, ZONA SÍSMICA 4</b>	Nombre de la edificación:
	Dirección:
	Número. de niveles:
	Año de construcción:
	Área total (m <sup>2</sup> ):
	Evaluador coordinador:
	Fecha:
FOTOGRAFÍA	

TIPO DE OCUPACIÓN	No. PERSONAS	CALIFICACION BÁSICA Y MODIFICADORES											
		SISTEMA	A1	A2	A3	A4	A5	C1	C2	C3	TU	MR	MNR
Residencial	0-10	<b>Calificación básica</b>	<b>2.8</b>	<b>3.0</b>	<b>3.2</b>	<b>2.8</b>	<b>2.0</b>	<b>2.5</b>	<b>2.8</b>	<b>1.6</b>	<b>2.6</b>	<b>2.8</b>	<b>1.5</b>
Comercial	11-100	Altura media (4-7 pisos)	+0.2	+0.4	NA	+0.4	0.0	+0.2	+0.4	0.0	NA	+0.4	-0.4
Oficinas	101-1000	Altura grande (> 7 pisos)	+0.6	+0.8	NA	+0.8	+0.2	+0.6	+0.8	+0.2	NA	NA	NA
Industrial	1001 +	Construcción deficiente	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5
Reuniones públicas		Irregularidad horizontal	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3
Educativos		Torsión	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2
Gubernamental													

**NORMAS DE SEGURIDAD ESTRUCTURAL DE EDIFICACIONES Y OBRAS DE INFRAESTRUCTURA PARA LA REPÚBLICA DE GUATEMALA**

Servicios de Emergencia Edificios históricos		Irregularidad vertical	-2.0	-2.0	NA	-2.0	-2.0	-2.0	-2.0	-2.0	NA	-2.0	-2.0	
		Piso suave o blando	-2.0	-2.0	NA	-2.0	-2.0	-2.0	-2.0	-2.0	-2.0	NA	-2.0	-1.5
		Columna corta	-2.0	-2.0	NA	-2.0	-2.0	-2.0	-2.0	-2.0	-2.0	NA	-2.0	-1.5
		Colisión entre edificios	-0.5	-0.5	NA	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	NA	-0.5	-0.5
<b>Peligro de elementos no estructurales</b> SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>		Desp. de recubrimiento	NA	NA	NA	NA	NA	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8	NA	
		Diseño sísmico	+1.0	+1.5	NA	+1.5	+1.0	+1.5	+1.5	+1.0	NA	+1.0	NA	
		Rehabilitación	+1.5	+1.5	+1.5	+1.5	NA	+1.5	+1.5	NA	+1.5	+1.5	NA	
<b>CONFIABILIDAD DE LOS DATOS</b>		Suelo tipo C	-1.2	-1.2	-1.2	-1.2	-1.2	-1.2	-1.2	-1.2	-1.2	-1.2	-1.2	
* - Datos estimados ? - No hay información NA - No aplicable		Suelo tipo D o E	-2.0	-2.0	-2.0	-2.0	-2.0	-2.0	-2.0	-2.0	-2.0	-2.0	-2.0	
		Suelo tipo F	-2.8	-2.6	-2.6	-2.6	-2.6	-2.8	-2.6	-2.6	-2.6	-2.6	-2.6	
Se puede considerar como rehabilitación efectiva si se efectuó después de 1976		Fallas cercanas	-2.0	-2.0	-2.0	-2.0	-2.0	-2.0	-2.0	-2.0	-2.0	-2.0	-2.0	
		<b>Calificación final</b>												
COMENTARIOS:											Requiere evaluación analítica SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>			



## ANEXO E REFERENCIAS

E.1 AGIES. Normas Recomendadas. NR-6 “Disminución de Riesgos y Rehabilitación”. Edición Preliminar, Guatemala, junio 2002.

E.2 FEMA. “Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards”. FEMA 154, Edition 2, Estados Unidos de América, marzo 2002

E.3 New Zealand National Society for Earthquake Engineering. “The Assessment and Improvement of the Structural Performance of Earthquake Risk Buildings”. Nueva Zelanda, junio 1996.

## **NORMA NR-6: 2002 – DISMINUCIÓN DE RIESGOS Y REHABILITACION CAPÍTULOS 8 A 18**

Los capítulos 8 a 18 se conservan prácticamente sin modificaciones, excepto los que son necesarios para la compatibilidad con la actualización 2010.

En los capítulos 12 al 18, cuando se dice "nivel(es) de comportamiento" puede decirse también "nivel(es) de desempeño".

# 8 PROCEDIMIENTO DE EVALUACIÓN ANALÍTICA

## 8.1 Alcance y directrices generales

Este capítulo contiene la guía general para realizar la evaluación analítica de sistemas estructurales y elementos individuales.

Las secciones 8.2 y 8.3 contienen los requisitos generales que se deberán considerar en este tipo de evaluación. En la sección 8.4 se especifica el procedimiento basado en la capacidad de carga lateral, mientras que en la sección 8.5 se establece el método basado en la capacidad de desplazamiento lateral. Ambos procedimientos son los métodos básicos para realizar la evaluación analítica.

## 8.2 Consideraciones estructurales generales

### 8.2.1 *Identificación del sistema sismorresistente primario*

Independientemente de los materiales, forma de construcción y el método de análisis seleccionado, el paso inicial crítico en la evaluación analítica es la identificación de los elementos primarios que resisten las fuerzas laterales. Esta identificación puede resultar particularmente difícil cuando la estructura involucra una combinación de elementos de marco rígido y muros o elementos contraventados.

Se deberán de considerar otras posibles complicaciones como es el efecto de tener tabiques de mampostería unidos integralmente a la estructura.

También se deberá identificar la ruta de transferencia de carga lateral hasta la cimentación, considerando los efectos que produzcan cualquier modificación o alteración hecha en la misma. Adicionalmente, se deberán tomar en cuenta discontinuidades potenciales y conexiones débiles en el sistema estructural global, como son los diafragmas, y a nivel de elementos individuales un anclaje inadecuado; asimismo, se deberán considerar los competentes que esencialmente soportan íntegramente la carga vertical del edificio. Los miembros que se consideran elementos secundarios requerirán consideración cuidadosa en referencia a su habilidad de deformación, conjuntamente con los elementos primarios, con la finalidad de conservar su capacidad para soportar las cargas gravitacionales. Apropiaada consideración deberá darse a la cimentación y a los

efectos del terreno.

### **8.3 Requisitos generales para el cálculo de las capacidades de los miembros**

#### **8.3.1 Resistencia probable**

Los cálculos para la determinar la resistencia y la capacidad de deformación existente en un elemento deberán estar basados en valores probables de resistencia para materiales constructivos del edificio. Se deberán utilizar la resistencia probable, con el objeto de identificar la jerarquía de acciones, y por lo tanto el mecanismo de falla más apropiado. La resistencia probable o resistencia nominal mesurada es la mejor estimación de la resistencia real, debido a que se representa por las características bajas (el percentil 5) en los valores de la resistencia, los que a su vez se obtienen de ensayos en una serie de muestras.

La resistencia probable se deberá basar en resultados de muestras reales, o en los valores de las resistencias de los materiales que se describen en las secciones siguientes, conjuntamente con los factores de reducción específicos para cada material.

#### **8.3.2 Confiabilidad de la información existente**

En esta norma se establece el factor  $\kappa$ , que resume la incertidumbre que pueda presentar la información disponible, relativa a la configuración y a la condición de los componentes de la estructura. Usualmente se utiliza para expresar la confiabilidad de la resistencia de los materiales que conforman el edificio, y pueden variar de miembro a miembro.

El valor de  $\kappa$  se puede establecer con respecto al conocimiento que el ingeniero puede obtener, al acceso a documentos o planos de la construcción original, o investigación y ensayos físicos de muestras representativas de materiales. Se asignan tres categorías en el valor de  $\kappa$ , correspondiente a clase buena, regular o pobre de información. En la tabla 8.1 se especifican los valores de  $\kappa$ , concernientes a esta clasificación.

| **Tabla 8.1 – Valores del factor de confiabilidad,  $\kappa$  de la información existente**

Clase “Buena”	1.00	(máxima). Se asignará este valor cuando los planos originales están disponibles, incluyendo si las modificaciones post- construcción son apropiadas; se realizan ensayos para averiguar el grado estructural del acero y la resistencia del concreto.
	0.95	Los valores de la resistencia se obtienen de la información proporcionada en los planos originales.
	0.80	Los valores de la resistencia se obtienen de la información proporcionada en los planos originales, pero existe evidencia de poco deterioro con respecto a su condición original.
	0.75	Los planos originales se encuentran incompletos; sin embargo, se utiliza el valor de la resistencia que esta especificada en ellos.
Clase “Regular”	0.60	Los planos originales se encuentran en mal estado y solamente se tiene acceso limitado para inspeccionar y verificar la condición de los miembros; adicionalmente, el resultado del ensayo de los materiales posee un alto grado de variabilidad.
Clase “Pobre”	< 0.50	Poco conocimiento de los detalles de los componentes.

En relación a la evaluación de la ductilidad se sugiere utilizar un factor  $\kappa = 0.75$  y  $0.5$  para la clase de información regular y pobre respectivamente, cuando se indique en un miembro una ductilidad disponible mayor que 3. Sin embargo, se podrá aplicar un valor de  $\kappa = 1.0$  para la evaluación de la ductilidad en otros elementos.

Para poder realizar análisis no lineal, se requerirá un nivel de información catalogado como “clase buena” para todos los elementos que conforman a la estructura.

#### 8.4 Método de evaluación basado en la capacidad de carga lateral

Este procedimiento de evaluación se basa en la determinación de la resistencia probable y de la ductilidad del mecanismo crítico de deformación post-elástica de la estructura debido a la aplicación de fuerzas laterales.

El procedimiento general se especifica en los siguientes incisos:

- (a) Estimación las resistencias probables a flexión y al corte en las secciones críticas de los miembros y uniones, suponiendo que no existe degradación en la resistencia debido a fuerzas ciclas durante las incursiones de la estructura en el rango post-elástico.
- (b) Determinación del mecanismo de deformación post-elástico de la estructura que se supone ocurrirá durante el sismo y la capacidad probable de la estructura ante fuerza lateral,  $V$ .
- (c) Cálculo del coeficiente sísmico  $C_h$ , correspondiente a la capacidad ideal del elemento ante fuerza lateral,  $V$ , encontrado en el inciso anterior, y de acuerdo con la ecuación 8-1.

$$C_h = \frac{V}{W} \quad (8-1)$$

- (d) Cálculo del periodo fundamental de vibración de la estructura,  $T$ , y del factor de reducción,  $R$ , requerido, de acuerdo con el coeficiente  $C_h$  y el periodo  $T$ .
- (e) Evaluar si las regiones de articulaciones plásticas tienen la ductilidad disponible que conlleve alcanzar el factor de ductilidad estructural,  $\mu$ . El elemento requerirá refuerzo adicional si la capacidad de rotación de la articulación plástica es inadecuada.
- (f) Estimación del grado de degradación en la resistencia al corte y la adherencia de los miembros en las uniones durante las deformaciones cíclicas que impondrán un factor de ductilidad de curvatura en las regiones de articulaciones plásticas. Se verificará si el grado de degradación en la resistencia al corte y la adherencia pueda causar falla en los miembros o en las uniones. Si lo anterior no sucede la evaluación analítica se completará con lo establecido en el siguiente inciso; de lo contrario la estructura requerirá rehabilitación.
- (g) Cálculo de las derivas de entrepisos a fin de decidir si son aceptables en términos de las derivas indicadas en la norma NSE 3.

### 8.5 Método de evaluación basado en la capacidad de desplazamiento lateral

El objetivo de este procedimiento de evaluación es predecir la capacidad de desplazamiento último de los elementos resistentes a fuerza lateral. La evaluación de estructuras mediante este método requerirá el uso de espectros de desplazamiento, los que pueden representar con más confiabilidad las características de los sismos. A continuación se resume el procedimiento a seguir.

- (a) Cálculo de la resistencia probable a flexión en las secciones críticas de los elementos.
- (b) Determinación del mecanismo de deformación post-elástica, y por consiguiente la capacidad resistente de la estructura a fuerza lateral.
- (c) Cálculo de la capacidad de rotación plástica del elemento a partir del análisis momento curvatura.
- (d) Cálculo de la resistencia al corte del elemento, con la finalidad de determinar si la falla por corte ocurrirá antes de que se alcance la capacidad de rotación plástica a flexión. La capacidad de rotación plástica disponible se reducirá si fuere necesario al valor correspondiente al de la falla por corte. Las derivas de entrepiso post-elásticas se estimarán a partir de las capacidades de rotación plástica.
- (e) Estimación de la capacidad de desplazamiento global de la estructura,  $\Delta_{sc}$ , y la capacidad de ductilidad,  $\mu_{sc}$ , a partir del mecanismo determinado en el inciso (b) y de la deriva de entrepiso crítica.
- (f) Cálculo de la rigidez efectiva correspondiente al desplazamiento máximo, y su correspondiente periodo de vibración. Se determinará la viscosidad de amortiguamiento equivalente de la estructura.
- (g) Estimación de la demanda de desplazamiento de la estructura,  $\Delta_{sd}$ , a partir de los espectros de desplazamiento especificados en las figuras 8.1, 8.2 y 8.3.

Figura 8.1 – Función de amplificación dinámica para desplazamiento para perfil del suelo tipo AB, con 5% de amortiguamiento crítico

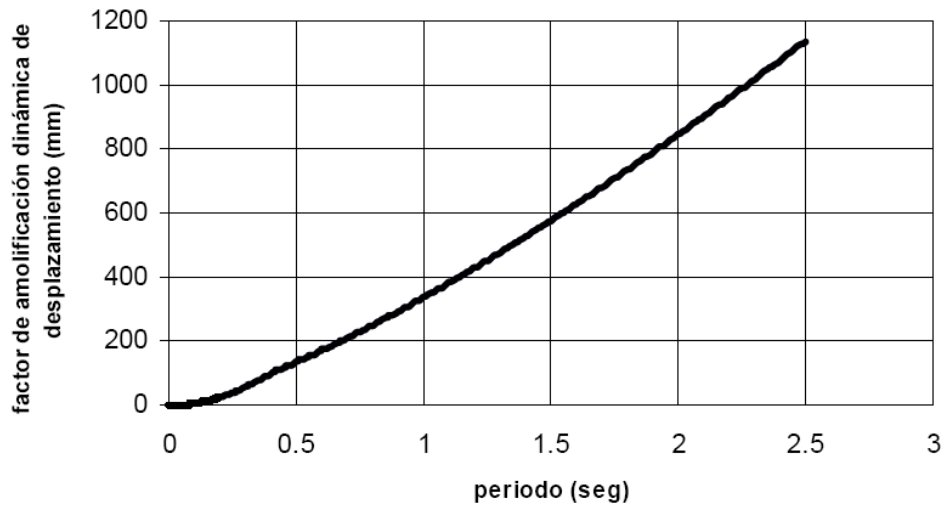


Figura 8.2– Función de amplificación dinámica para desplazamiento para perfil del suelo tipo C, con 5% de amortiguamiento crítico

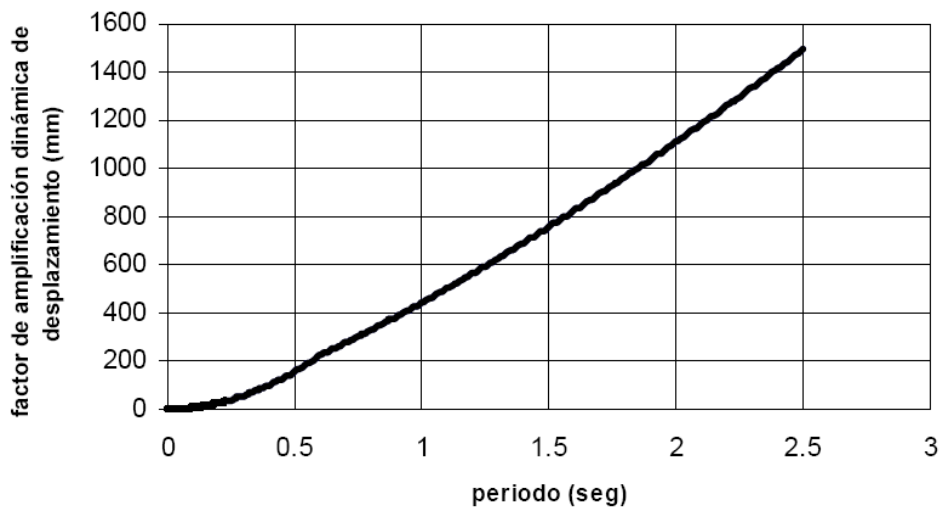
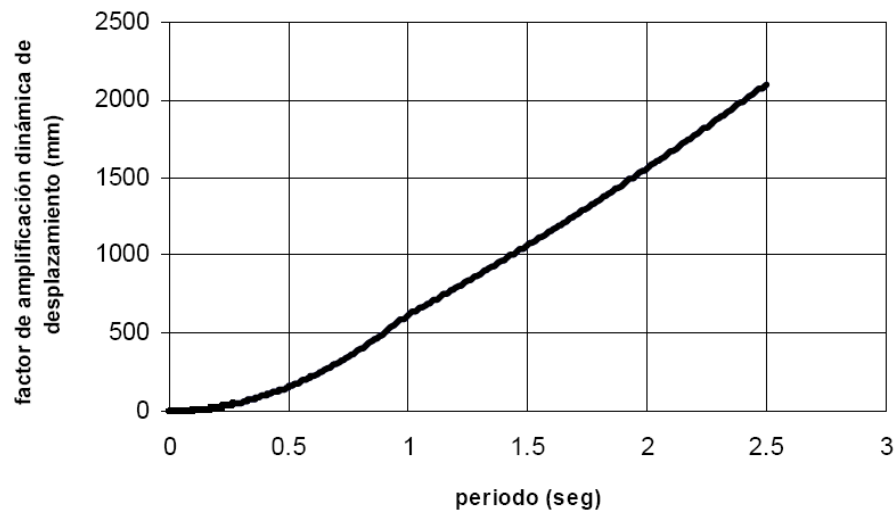


Figura 8.3– Función de amplificación dinámica para desplazamiento para perfil del suelo tipo D o E, con 5% de amortiguamiento crítico





(h) Comparación de la capacidad de desplazamiento  $\Delta_{sc}$ , con la demanda de desplazamiento  $\Delta_{sd}$ , de tal forma que si el cociente  $\Delta_{sc}/\Delta_{sd} < 1$ , se necesitará rehabilitación en la estructura.

## 8.6 Consideraciones por torsión

En la evaluación de la demanda de la ductilidad requerida  $\mu_{sd}$  para los elementos críticos, tales como marcos rígidos de estructuras asimétricas se deberá tomar en consideración el efecto producido por las deformaciones por torsión. Dicho efecto produce altas demandas de ductilidad en los elementos situados en la periferia, por lo que es necesario cuantificar este efecto. Debido a que aún no se cuenta con un procedimiento de uso aceptado, se remite al lector a la literatura técnica especializada donde se encuentran las diferentes formulaciones para poder llevar a cabo este tipo de análisis.

# 9 EVALUACIÓN ANALÍTICA PARA ESTRUCTURAS DE CONCRETO REFORZADO

## 9.1 Características de los materiales y resistencia de los elementos

En el proceso de evaluación analítica de estructuras existentes de concreto reforzado se deberán usar los valores realistas de la resistencia de los materiales constitutivos, con la finalidad de obtener la mejor estimación del valor probable de la resistencia de los miembros. Por consiguiente, es inapropiado usar el valor nominal de la resistencia especificada en el diseño original.

Debido a la ausencia de más información, se deberá usar una resistencia a la fluencia de aproximadamente  $4200 \text{ kg/cm}^2$  para el acero de refuerzo en estructuras de concreto para el periodo comprendido entre 1930 a 1976.

En relación con la resistencia a compresión del concreto, se puede calcular que esta será conservadoramente 1.5 veces la resistencia a compresión original. Además, se deberá inspeccionar la calidad del concreto, puesto que si su dosificación fue mala, se deberá suponer una baja resistencia a compresión. En el cálculo de la resistencia de los miembros, se deberá aplicar un factor  $\phi = 1.0$  para la resistencia a flexión y  $\phi = 0.85$  para la resistencia al corte.

## | 9.2 Sistema estructural conformado por marcos rígidos

Con base en los estudios efectuados a edificaciones diseñadas y construidas por medio de marcos rígidos de concreto reforzado ante sismos recientes, se tipifican en esta norma las principales causas de daño:

- (a) Regiones potenciales de articulaciones plásticas en vigas y columnas con ductilidad inadecuada y baja resistencia al corte, debido a refuerzo transversal insuficiente.
- (b) Anclajes inadecuados del refuerzo, debido principalmente a malos detalles de anclaje.

- (c) Resistencia inadecuada al corte en uniones viga-columna, debido principalmente a insuficiente refuerzo transversal.
- (d) Resistencia inadecuada en cimientos y en las conexiones con la superestructura.
- (e) Comportamiento incierto de la estructura, como resultado de la presencia de elementos no estructurales; tal es el caso de tabiques de mampostería unidos íntegramente a la estructura, los que pueden alterar significativamente el comportamiento de los marcos.

### 9.2.1 *Procedimiento de evaluación basado en la capacidad de carga lateral*

En los siguientes incisos se especifica el procedimiento a seguir para la evaluación de edificios diseñados y construidos por medio de marcos rígidos de concreto reforzado mediante el método basado en la capacidad de carga lateral.

#### 9.2.1.1 Resistencia probable a flexión y al corte

La resistencia probable a flexión de los distintos elementos que componen los marcos rígidos se deberá calcular con base en la resistencia probable de los materiales y la teoría clásica de resistencia a flexión. Se supondrá un factor de reducción de capacidad  $\phi = 1.0$  para calcular la resistencia a flexión, ya que se emplearán las propiedades probables con las que fueron diseñados los elementos.

Con el objeto de calcular la resistencia probable al corte de elementos y de uniones viga-columna se deberá utilizar la resistencia probable de los materiales y la teoría de la resistencia al corte, sin incluir las deformaciones cíclicas en el intervalo post-elástico. El efecto de la degradación en la resistencia al corte, debido a las deformaciones cíclicas en el intervalo post-elástico se especifica en el inciso 9.2.1.6. Se deberá emplear un factor de reducción  $\phi = 0.85$  para el cálculo de la resistencia al corte, aunque se haya diseñado los miembros y sus uniones con las propiedades probables, ya que la teoría es menos exacta.

##### 9.2.1.1.1 *Resistencia al corte en vigas*

La resistencia probable al corte para vigas sin regiones con articulaciones plásticas y con estribos rectangulares se especifica mediante la ecuación 9-1.

$$V_p = k \sqrt{f'_c} b_w d + \frac{A_v f_y d}{s} \quad (9-1)$$

donde,

- $b_w$  = ancho de la viga
- $d$  = peralte efectivo de la viga
- $f'_c$  = resistencia probable del concreto a compresión
- $A_v$  = área del refuerzo transversal
- $s$  = espaciamiento del refuerzo transversal
- $f_{yt}$  = resistencia a la fluencia del acero de refuerzo transversal
- $k$  = 0.2

#### 9.2.1.1.2 Resistencia al corte en columnas

La resistencia probable al corte para columnas sin regiones con articulaciones plásticas se especifica con la ecuación 9-2.

$$V_p = 0.85 (V_c + V_s + V_n) \quad (9-2)$$

donde,  $V_c$  es el cortante resistido por el concreto, y se calcula por medio de la ecuación 9-3,  $V_s$  es el cortante resistido por el acero de refuerzo y  $V_n$  es el cortante resistido como resultado de la aplicación de la fuerza axial de compresión.

$$V_c = k\sqrt{f'_c} 0.8 A_g \quad (9-3)$$

donde,

- $A_g$  = área transversal de la columna
- $k$  = 0.29

$$V_s = \frac{A_v f_{yt} d^2}{s} \cot 30^\circ \quad (9-4)$$

para el caso de estribos rectangulares.

$$V_s = \frac{\pi A_{sp} f_{yt} d^2}{2s} \cot 30^\circ \quad (9-5)$$

para el caso de zunchos.

donde,

- $A_v$  = área del refuerzo transversal
- $A_{sp}$  = área transversal del zuncho
- $f_{yt}$  = resistencia a la fluencia del acero de refuerzo transversal

- d = profundidad del núcleo de concreto en la columna medida en la dirección de la fuerza cortante en el caso de estribos rectangulares, y diámetro del núcleo de concreto en el caso de zunchos

$$V_n = N^* \tan \alpha \quad (9-6)$$

donde,  $N^*$  es la fuerza axial de compresión en la columna, y  $\alpha$  es el ángulo entre el eje longitudinal de la columna y la línea recta que une el centroide de la sección transversal de la columna en su parte superior con el centroide de la fuerza a compresión del concreto en la sección transversal en la base de la columna, para el caso de que la columna se encuentre en curvatura simple; y  $\alpha$  es el ángulo entre el eje longitudinal de la columna y la línea recta que une los centroides de las fuerzas a compresión del concreto en las secciones transversales superior e inferior de la columna, para el caso de que la columna se encuentre en curvatura doble.

### 9.2.1.1.3 Resistencia al corte en uniones viga-columna

La fuerza cortante horizontal probable en uniones viga-columnas se puede calcular por medio de la ecuación 9.7.

$$V_{plh} = k\sqrt{f'_c} \sqrt{1 + \frac{N^*}{A_g k \sqrt{f'_c}}} b_j h \leq 1.5\sqrt{f'_c} b_j h \quad (9-7)$$

donde,

- $b_j$  = ancho efectivo de la unión (normalmente es el ancho de la columna)
- $h$  = profundidad de la columna
- $k$  = 1.0, para uniones exteriores
- $k$  = 0.4, para uniones exteriores en las que el anclaje del refuerzo longitudinal
- $k$  = 0.25, para uniones exteriores en las que el anclaje del refuerzo longitudinal de las vigas consiste en ganchos localizados fuera del núcleo de la unión (sobre y debajo de la unión)

### 9.2.1.2 Mecanismo de deformación post-elástica del marco rígido y capacidad resistente probable de carga lateral

Con el objeto de determinar el mecanismo crítico de deformación post-elástica se deberán localizar las regiones probables de articulaciones plásticas de deformación post-elásticas.

A fin de conocer si la articulación plástica se formará en una viga o en una columna (en la unión viga-columna) o si ocurrirá una falla por corte en el miembro o en la unión, será necesario comparar la fuerza cortante resultante (en el mecanismo) contra la resistencia probable descrita en el inciso 9.2.1.1, y así predecir si la falla por corte ocurre antes de alcanzar la resistencia a flexión. La capacidad para resistir fuerza lateral se puede calcular por medio del mecanismo crítico de deformación post-elástica.

Para el cálculo del mecanismo de deformación post-elástica, en estas normas, se recomienda utilizar el método de análisis no lineal “pushover”, en el que las fuerzas laterales de origen sísmico que actúan en el marco rígido se incrementan gradualmente hasta formar el mecanismo. Debido a que el número de articulaciones plásticas se incrementan con el incremento de la carga lateral hasta formarse el mecanismo de falla, este método proporciona la mejor estimación de la capacidad probable ante carga lateral.

#### **9.2.1.3 Cálculo del coeficiente sísmico probable**

El coeficiente sísmico probable disponible en la estructura se puede determinar usando la ecuación 8.1 de esta norma, utilizando para su aplicación el cortante basal resistente  $V$ , y el peso de la estructura,  $W$ .

#### **9.2.1.4 Cálculo del periodo de vibración de la estructura y el factor de ductilidad requerido**

Con el propósito de calcular el periodo de vibración de la estructura se deberá incluir los efectos del agrietamiento en las secciones de los elementos del marco rígido. El factor de ductilidad requerido,  $\mu$ , se estimará por medio de la intersección del valor del periodo de vibración,  $T$ , con el valor del coeficiente sísmico encontrado en el inciso anterior; utilizando para ello el espectro de diseño que se determina como se especifica en la norma NSE 2.

#### **9.2.1.5 Ductilidad disponible en las regiones de articulación plástica**

En esta norma se sugiere que se utilice el método de análisis no lineal “pushover” con la finalidad de obtener la capacidad de rotación de las regiones con articulaciones plásticas, y el factor de ductilidad global de desplazamiento de la estructura,  $\mu_{sd}$ . Este factor de

ductilidad  $\mu_{sd}$ , esta definido por  $\Delta_u/\Delta_y$ , donde  $\Delta_u$  es el desplazamiento lateral máximo requerido y  $\Delta_y$  es el desplazamiento de fluencia.

#### **9.2.1.6 Efecto de la demanda de ductilidad en la resistencia al corte en vigas, columnas y en uniones viga-columna**

El comportamiento de las articulaciones plásticas a flexión del mecanismo de deformación post-elástica puede verse modificado al no desarrollar su capacidad de rotación a flexión, debido a fallas prematuras por corte en ellas, como consecuencia de una degradación en su resistencia al corte y al aumento de la demanda de ductilidad.

El factor de ductilidad estructural de desplazamiento descrito en el inciso 9.2.1.5 se debe calcular con base en las resistencias a flexión y al corte indicadas en el inciso 9.2.1.1, las que suponen que no existe degradación en la resistencia por causa de la aplicación de cargas cíclicas. Sin embargo, la degradación en la resistencia al corte puede reducir drásticamente la capacidad para resistir carga lateral del marco rígido; por tal motivo si se encuentra que la resistencia al corte se encuentra por debajo de los valores de la fuerza cortante y de la resistencia a flexión en las articulaciones plásticas o en uniones viga-columna, el(los) marco(s) rígido(s) deberá(n) ser reforzado(s), independientemente del valor del factor de ductilidad calculado en el inciso anterior.

#### **9.2.1.7 Demanda de ductilidad y ductilidad disponible**

El factor de ductilidad requerido o también llamado demanda de ductilidad (inciso 9.2.1.4) se deberá comparar con el valor del factor de ductilidad disponible en la estructura, inciso 9.2.1.5, y así se podrá determinar si la estructura deberá ser reforzada o no. Si  $\mu_{sc}/\mu_{sd} > 1$ , la estructura no necesitará ser reforzada; en caso contrario la estructura deberá ser rehabilitada.

#### **9.2.1.8 Derivas de entrepiso**

Las derivas de entrepiso de los elementos críticos se deberán verificar que cumplan con los límites indicados en la norma NSE 3, a fin de asegurar que no se produzcan efectos P- $\Delta$  significativos que dañen elementos no estructurales.

### **9.2.2 Procedimiento de evaluación basado en la capacidad de desplazamiento lateral**

En los siguientes incisos se describe el procedimiento a seguir para la evaluación de edificios diseñados y construidos por medio de marcos rígidos de concreto reforzado, mediante el método basado en la capacidad de desplazamiento lateral.

### 9.2.2.1 Resistencia probable a flexión

La resistencia probable a flexión de los distintos miembros que componen el marco rígido se deberá calcular empleando para ello las propiedades probables de los materiales y la teoría clásica de resistencia a flexión. Adicionalmente, se deberá usar el factor de reducción de capacidad  $\phi = 1.0$  para el cálculo de la resistencia a flexión.

### 9.2.2.2 Mecanismo de deformación post-elástica y capacidad probable por carga lateral

Se recomienda calcular el mecanismo de deformación post-elástica y el correspondiente cortante basal de la estructura siguiendo lo establecido en el inciso 9.2.1.2.

### 9.2.2.3 Capacidad de rotación de articulaciones plásticas

El cálculo de la capacidad disponible de rotación en articulaciones plásticas se llevará a cabo con base en la ecuación 9.8.

$$\theta_p = (\phi_u - \phi_y)L_p \quad (9-8)$$

donde,

- $\phi_u$  = curvatura límite disponible
- $\phi_y$  = curvatura a primera fluencia
- $L_p$  = longitud equivalente de la articulación plástica

### 9.2.2.4 Resistencia al corte y capacidad de desplazamiento de entrepiso post-elástico

Se deberá calcular la resistencia al corte de los distintos miembros y uniones, con la finalidad de determinar si ocurrirá una falla por corte antes de alcanzar el valor límite en la capacidad de rotación plástica. Si este límite no se llegara alcanzar, el valor de la capacidad de rotación plástica disponible se reducirá al valor regido por la falla de corte. La resistencia probable al corte se encontrará por medio de la ecuación 9.1, y la resistencia al corte en columnas mediante las ecuaciones 9.2, 9.3, 9.4, 9.5 y 9.6. Adicionalmente, se deberá establecer la ductilidad del elemento disponible correspondiente al valor de la falla por corte potencial que pueda ocurrir, tomando en consideración la degradación en el cortante a través de un modelo analítico. Finalmente, se deberá comparar esta ductilidad disponible con el valor de la ductilidad indicada conforme al análisis de momento-curvatura del inciso 9.2.2.3.



Similarmente, se deberá determinar la resistencia al corte en las uniones viga-columna, por medio de la ecuación 9.7; considerando siempre, la degradación en la fuerza cortante mediante un modelo analítico. La estimación de la capacidad de desplazamiento de entrepiso post-elástico se hará de acuerdo con las ecuaciones 9.9, 9.10 y 9.11 para el caso del mecanismo de traslación de viga, y con la ecuación 9.12 si se trata del mecanismo de traslación de columna.

$$\mu_s = 1 + \frac{0.64(\phi_u - \phi_y)L_p H}{\Delta_y} \quad \text{si } n \leq 4 \quad (9-9)$$

$$\mu_s = 1 + \frac{0.44(\phi_u - \phi_y)L_p H}{\Delta_y} \quad \text{si } n \geq 20 \quad (9-10)$$

$$\mu_s = 1 + \frac{[0.64 - 0.0118(n-4)](\phi_u - \phi_y)L_p H}{\Delta_y} \quad \text{si } 4 < n < 20 \quad (9-11)$$

$$\mu_s = 1 + \frac{(\phi_u - \phi_y)L_p H}{n\Delta_y} \quad (9-12)$$

donde,

- $\phi_u$  = rotación última disponible
- $\phi_y$  = rotación a primera fluencia
- $\Delta_y$  = desplazamiento lateral a primera fluencia
- H = altura del edificio
- n = número de nveles

### 9.2.2.5 Capacidad de desplazamiento lateral de la estructura y capacidad de ductilidad

La capacidad de desplazamiento global de la estructura,  $\Delta_{sc}$ , y la capacidad de ductilidad,  $\mu_{sc}$ , se deberán encontrar a partir del mecanismo de deformación plástica indicado en el inciso 9.2.2.2 y de la capacidad de desplazamiento lateral de entrepiso post-elástico formulado en el inciso 9.2.2.4; tomando en cuenta los efectos de torsión en estructuras que presenten plantas asimétricas.

### 9.2.2.6 Periodo efectivo y características dinámicas de vibración

El período efectivo de vibración se determinará con base en la ecuación 9.13.

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{M}{k_{eff}}} \quad (9-13)$$

donde,

$M$  = masa de la estructura

$k_{ef}$  = rigidez efectiva correspondiente al desplazamiento lateral máximo

La demanda de desplazamiento lateral máximo correspondiente al desplazamiento de diseño se deberá encontrar a partir de los espectros de desplazamiento con diferentes niveles de amortiguamiento viscoso equivalente, ya que el nivel de amortiguamiento depende de la demanda de ductilidad estructural  $\mu_{sd}$  y del mecanismo de deformación post-elástica (la energía disipada en las articulaciones plásticas que se forman en las vigas es mayor que la disipada en las articulaciones plásticas que se desarrollan en las columnas). De acuerdo con lo anterior, la respuesta sísmica se caracteriza por una rigidez equivalente elástica y un amortiguamiento correspondiente al desplazamiento lateral máximo, en vez de utilizar los valores basados en la rigidez inicial y el 5% de amortiguamiento crítico, como suele emplearse en el procedimiento clásico de evaluación basado en la capacidad de carga lateral.

#### **9.2.2.7 Demanda de desplazamiento lateral**

El desplazamiento lateral requerido,  $\Delta_{sd}$ , se obtiene a partir del espectro de desplazamiento apropiado, utilizando para ello el periodo y amortiguamiento equivalente descritos en el inciso 9.2.2.6. Se deberá comparar con la capacidad de desplazamiento lateral último,  $\Delta_{sc}$ .

#### **9.2.2.8 Capacidad de desplazamiento lateral versus demanda de desplazamiento lateral**

La estructura tendrá un comportamiento aceptable si  $\Delta_{sc}/\Delta_{sd} > 1$ . En caso contrario, la estructura necesita ser reforzada.

### **9.3 Sistema estructural conformados por marcos rígidos con tabiques de mampostería integrados**

El método de evaluación analítica para este tipo de estructuras requiere (1) el análisis detallado de las tres categorías de daños aquí indicados, referentes a los posibles efectos producidos por integrar los tabiques de mampostería a los marcos rígidos; especialmente los relativos a columnas; y (2) la predicción de los modos potenciales de falla, tanto para los tabiques como para los marcos rígidos.

- (a) La presencia de los tabiques no afecta el comportamiento de la estructura. Este puede ser el caso si los tabiques son muy ligeros y flexibles, o se encuentran completamente aislados de los marcos rígidos, o bien son bastante frágiles y se espera que se produzca una falla en ellos con aceleraciones del terreno moderadas.
- (b) Los tabiques tienen una contribución significativa en el comportamiento de la estructura, pero se espera que permanezcan en el rango elástico. En este caso se puede llevar a cabo un análisis elástico. La capacidad de ductilidad será  $\mu_{sc} = 1$ , a menos que se espere una respuesta post-elástica y los tabiques se comporten como muros estructurales, donde las columnas del marco rígido trabajen a tensión y a compresión como elementos de borde y el tabique actuando como elemento conector a cortante.
- (c) Los tabiques tienen una contribución significativa en el comportamiento de la estructura, y se espera que tengan daño significativo bajo sismo: en este caso existe una alta probabilidad de formarse un piso débil.

Para que los tabiques se puedan catalogar correctamente bajo lo establecido en (a) se deberá examinar con suficiente detalle los siguientes parámetros:

- Conexiones entre el tabique y el marco rígido.
- Relación entre la rigidez del tabique y la rigidez del marco rígido solo.
- Relación entre la resistencia al corte del tabique y la resistencia al corte del marco rígido solo.

La aplicación de (b) o (c) requiere atención cuidadosa, debido a que se necesita predecir el mecanismo de falla a formarse en el tabique, por lo que el criterio del ingeniero es de especial importancia.

### **9.3.1 Modos posibles de falla en tabiques**

En esta norma se consideran tres tipos de falla posible en elementos no estructurales (tabiques integrados a marcos rígidos):

- (i) Cortante deslizante a lo largo de la sisa;
- (ii) Compresión a lo largo de la diagonal;
- (iii) Agrietamiento por tensión diagonal.

### 9.3.2 *Modos posibles de falla en marcos rígidos*

La unión de tabiques a marcos rígidos puede traer como consecuencia lo siguiente:

- (i) Si los tabiques tienen una altura menor que la de las columnas del marco rígido a las que se unen, darán lugar a la formación del mecanismo de falla en columnas conocido como “columna corta”
- (ii) Si los tabiques de mampostería están adecuadamente reforzados para mantenerse íntegramente en el intervalo post-elástico se desarrollará la formación de un “piso débil” en el entrepiso en consideración.

### 9.4 *Edificios conformados por muros de corte*

En este procedimiento de evaluación analítica para edificios conformados por muros de corte se ignorará la contribución de las columnas a la resistencia de carga lateral, debido a que su rigidez lateral es inferior a la de los muros de corte; sin embargo, deberán presentar detalles adecuados en las regiones potenciales de articulaciones plásticas, a fin de conservar su capacidad para soportar cargas gravitacionales mientras están sujetas a deformaciones laterales de entrepiso, las que están controladas primordialmente por los muros de corte.

#### 9.4.1 *Procedimiento de evaluación basado en la capacidad de carga lateral*

El procedimiento de evaluación analítica basado en la capacidad de carga lateral para edificios conformados por muros de corte requiere lo siguiente:

- (i) Evaluación de los parámetros relacionados con la carga gravitacional: masa de cada uno de los entrepisos, centro de masa del edificio, carga muerta y viva apropiadamente factoradas para cada uno de los muros estructurales.
- (ii) Estimación del periodo fundamental de vibración,  $T_1$ . Si los muros de corte del edificio presentan una diferencia significativa con respecto a sus rigideces en sus dos direcciones principales, se deberá determinar por separado los periodos  $T_x$  y  $T_y$  para las direcciones “x” e “y” respectivamente.
- (iii) Estimación de la carga de diseño lateral del edificio que corresponda a la capacidad de ductilidad de desplazamiento estimado.
- (iv) Determinación de la resistencia probable a flexión,  $M_{wp}$  de cada muro, con base en el refuerzo longitudinal efectivo y las cargas gravitacionales

encontradas en (i). La capacidad potencial de carga lateral que soporta la estructura en cada una de las dos direcciones en que actúa el sismo se deberá calcular con la ecuación 9.14.

$$V_{\text{total}} = 1.5 \sum \frac{M_{wp}}{h_w} \quad (9-14)$$

donde,  $h_w$  = altura de los muros de corte.

- (v) Estimación del coeficiente sísmico definido con la ecuación 8.1 de esta norma, empleando para ello la capacidad de cortante basal estimado en el inciso (iv) para cada una de las direcciones principales. Subsecuentemente, determinación de la demanda de ductilidad del sistema,  $\mu_{sd}$  con base en el valor del periodo  $T_1$ , calculado en el inciso (ii) y con el espectro de diseño que se determina como se especifica en la norma NSE 2.
- (vi) Determinación del centro de resistencia,  $CV$  del sistema y de las excentricidades  $e_{vy}$  y  $e_{vx}$ , con respecto al centro de masa del edificio, utilizando para ello las resistencias probables halladas en el inciso (iv), con el objeto de obtener la reducción en la capacidad de ductilidad de desplazamiento por efectos de torsión.
- (vii) Verificación de la capacidad de ductilidad de curvatura de cada uno de los muros de corte.
- (viii) Cálculo de la capacidad probable a cortante para la base de cada muro en la región de articulación plástica,  $V_{\text{muro,p}}$ , tomando en cuenta la contribución probable del concreto a la resistencia al corte y la contribución del refuerzo transversal existente en cada uno de los muros.  $V_{\text{muro,p}}$  deberá satisfacer lo indicado en la ecuación 9.15

$$V_{\text{muro,p}} \geq 1.15 V_{\text{total}} \quad (9-15)$$

Si esta condición no se cumple, la estructura necesita ser rehabilitada. Aún cuando la ecuación 9.15 se satisfaga, es posible que algunos muros individuales no tengan suficiente resistencia al corte que les permita desarrollar su sobre resistencia a flexión. El criterio del ingeniero es de especial importancia a fin de determinar que tan significativa es la influencia de estos muros en la ecuación 9.15.

- (ix) Comparación de la contribución de la fuerza lateral total de cada muro, con base en un análisis elástico según el inciso (c), con el obtenido conforme con el inciso (d), a fin de establecer el grado de redistribución post-elástica en los momentos resistentes en la base de cada muro; redistribución de momento que se puede necesitar mientras se desarrolla la resistencia total en toda la estructura. Si la redistribución de momento de algún muro involucra reducciones de momento mayores que 30% del valor encontrado con el

- análisis elástico en ese muro, se tendrá que reducir el valor de  $M_{wp}$ , y por consiguiente el valor de  $V_{total}$
- (x) Verificación de posibles deficiencias en la resistencia a flexión de muros que se encuentran ubicados en niveles por encima de las regiones con articulaciones plásticas esperadas en la base del edificio, con el objeto de predecir si se forman articulaciones plásticas en cualquier nivel distinto del nivel de la base.
- (xi) Verificar si la cimentación existente del edificio es capaz de resistir el momento flexionante y la fuerza cortante asociadas con 1.15 veces la resistencia probable de cada muro. Si se encontrara que un elemento particular de la cimentación no posee la resistencia adecuada, se tendrá que elaborar una investigación que incluya las siguientes características:
- Evaluación de la resistencia probable del componente afectado de la cimentación, tomando en consideración la demanda de fuerza cortante asociada a dicho componente y la calidad de los detalles del refuerzo existente.
  - Examen de la posibilidad de una falla frágil en el componente afectado de la cimentación.
  - Reducción en la contribución, de acuerdo con la aportación de resistencia del muro afectado, a la resistencia total de fuerza lateral; como resultado de que se requiera en forma inevitable su respuesta dúctil (en relación con la demanda de ductilidad del edificio determinada en el inciso (v)), y no pueda proporcionarla, debido a la falla en el elemento de su cimentación.
  - Ignorar la contribución en la resistencia a fuerza lateral que el muro afectado aporta, cuando se presente una falla frágil en el componente afectado de la cimentación correspondiente al muro en cuestión.
  - Reexaminar la capacidad del sistema estructural entero en términos de los parámetros considerados en el inciso (v), para el caso que exista reducción significativa o ausencia en la contribución de los muros en la resistencia a fuerza lateral.
- (xii) El impedimento al pandeo de los muros de corte conlleva las siguientes verificaciones:
- Limitaciones en las dimensiones de la sección transversal, basadas en el valor de la demanda de ductilidad obtenida conforme al subinciso (v).
  - Espaciamiento adecuado del refuerzo transversal en las regiones de articulaciones plásticas de los muros que impidan el pandeo de las varillas de refuerzo vertical.
  - Espaciamiento adecuado del refuerzo transversal que provean

confinamiento a las regiones de concreto sometidas a esfuerzos de compresión para asegurar la capacidad de curvatura requerido en el subinciso (vi).

- Anclaje adecuado del refuerzo vertical de los muros en la cimentación.

# 10 EVALUACIÓN ANALÍTICA PARA ESTRUCTURAS DE ACERO

## 10.1 Lineamientos generales

Los procedimientos de evaluación que se describen en este capítulo se limitan a marcos rígidos de acero.

## 10.2 Resistencia del acero

En esta norma no se utilizarán las propiedades mecánicas originales del acero y la de sus conectores, en lugar de ello, se emplearán los siguientes valores:

- Para secciones y platinas:  $f_y = 2,536 \text{ kg/cm}^2$  (36,000 psi) y  $f_u = 4,086 \text{ kg/cm}^2$  (58,000 psi)
- Para remaches y pernos:  $f_y = 4,597 \text{ kg/cm}^2$  (65,000 psi)
- Para uniones soldadas:  $f_y = 4,086 \text{ kg/cm}^2$  (58,000 psi)

## 10.3 Alcance

En este capítulo se establecen dos métodos de evaluación. El método de evaluación preliminar simple y el método de evaluación analítica.

El propósito del método de evaluación preliminar simple es verificar con cierta rapidez si el marco rígido exhibe suficiente resistencia y rigidez. Los casos en los que los edificios no se puedan evaluar mediante el método simple, o este método indique que se requiere una evaluación más detallada, se deberá recurrir al método de evaluación analítica indicado en el inciso 10.8.

## 10.4 Parámetros de sismorresistencia

Los parámetros que aseguran un comportamiento adecuado de los marcos rígidos de acero ante sismo son:

- (a) Integridad en las conexiones viga-columna que aseguren la capacidad de transmisión de fuerza cortante y carga axial cuando se reduzca su capacidad a momento.



- (b) Minimización de fallas por pandeo local en columnas producidas por las demandas post-elásticas en las regiones de articulaciones plásticas.
- (c) Simetría en la respuesta post-elástica de los marcos rígidos para evitar un desplazamiento progresivo de la estructura en una dirección.

### **10.5 Requisitos generales para la aplicación del método preliminar simple**

Para la aplicación del método de evaluación preliminar simple, los marcos rígidos que conforman el edificio deberán cumplir con lo siguiente:

- (a) La forma de la conexión es tal que su resistencia a flexión a primera fluencia y su rigidez elástica y post-elástica se puedan determinar mediante un análisis tradicional.
- (b) Los miembros de acero que conforman el marco rígido deberán ser secciones I (y sus variaciones), secciones hechas con placas o planchas, y conectadas por medio de remaches, pernos o soldadura, para los cuales su resistencia se pueda determinar por medio de un análisis tradicional.
- (c) El recubrimiento de los elementos del marco cumple únicamente el objetivo de protección contra incendios, por lo que no está suficientemente reforzado para contribuir significativamente a la resistencia y rigidez del marco rígido de acero.

### **10.6 Requisitos específicos del sistema sismorresistente para la aplicación del método preliminar simple**

Con el objeto de utilizar el procedimiento de evaluación preliminar simple, el sistema sismorresistente deberá cumplir con los requisitos específicos estipulados en los siguientes subincisos:

- (a) La influencia de las irregularidades estructurales en la respuesta sísmica del edificio, y por lo tanto del sistema sismorresistente bajo consideración, se podrán determinar con razonable grado de confiabilidad.
- (b) Todas las columnas que conforman el sistema sismorresistente deberán cumplir con:
  - (i) La relación entre áreas mínima y máxima de las secciones transversales de columnas individuales en cualquier entrepiso no excederá a 2;
  - (ii) La relación entre el momento de inercia mínimo y máximo de columnas individuales en cada dirección en cualquier entrepiso no excederá a 1.5.

## 10.7 Método de evaluación preliminar simple

En los incisos 10.7.1 a 10.7.3 se especifican los pasos necesarios que se deberán seguir para evaluar marcos rígidos de acero por medio del método de evaluación preliminar simple.

### 10.7.1 Geometría de los elementos

Se deberá determinar si las secciones de vigas y columnas cumplen con lo establecido en la norma NSE 7.5, o con las referencias que en ella se citan. Si no se cumple, no se podrá usar el método de evaluación preliminar simple. Si los elementos del marco rígido se encuentran recubiertos (encamisados) con concreto, se supondrá que no existe pandeo local y lateral.

### 10.7.2 Capacidad a momento de conexiones

Para el cálculo de la capacidad a momento de conexiones y de las secciones de vigas y columnas se deberá proceder conforme con lo establecido en la norma NSE 7.5, o con las referencias que en ella se citan. Adicionalmente, se determinará si la capacidad a momento de las distintas conexiones pueden desarrollar una sobrerresistencia de 1.2 veces la capacidad del sistema viga/columna. Si esto no se satisface en promedio para todas las conexiones de vigas y columnas en el nivel bajo consideración, no se podrá aplicar el método de evaluación preliminar simple.

### 10.7.3 Evaluación de la resistencia lateral de marcos rígidos

Con la finalidad de evaluar si la capacidad de resistencia lateral de los marcos rígidos es adecuada, se deberá proceder de acuerdo con:

- (a) El cálculo del valor del periodo de la estructura y de su rigidez lateral, utilizando las propiedades de secciones transversales efectivas;
- (b) La determinación del coeficiente sísmico con el método de la carga estática equivalente especificado en la norma NSE 3, usando  $\mu = 3$  y sin aplicar efectos P- $\Delta$ ;
- (c) El cálculo de momentos flexionantes en vigas debido a sismo únicamente en cada nivel de la estructura bajo consideración;
- (d) La determinación si las vigas, tomadas individualmente en cada nivel bajo consideración, pueden soportar los momentos flexionantes que les aplica la carga gravitacional, considerando a cada una de ellas en condición

simplemente apoyada;

- (e) El cálculo de momentos flexionantes en los extremos de cada viga y de cada nivel bajo consideración, de acuerdo con la ecuación 10.1;

$$S^* = \phi R_n \quad (10-1)$$

donde,  $S^*$  es el momento flexionante en los extremos de cada viga. Si (d) se satisface entonces,  $S^*$  será el momento flexionante dado por (c). En caso contrario se deberá agregar un momento flexionante negativo adicional debido a carga gravitacional en los extremos de cada viga.  $R_n$  es la resistencia nominal a flexión y  $\phi = 0.9$ ;

- (f) Si se satisface la ecuación 10.1 para cada nivel de la estructura bajo consideración, la estructura posee una resistencia adecuada a carga lateral;
- (g) Si no se satisface la ecuación 10.1 para cada nivel de la estructura bajo consideración, la estructura no posee una resistencia adecuada a carga lateral, por lo que deberá ser rehabilitada;
- (h) Si la ecuación 10.1 se satisface únicamente en los niveles inferiores del edificio bajo consideración, la estructura podría tener un nivel adecuado de resistencia a carga lateral; sin embargo, para tener un mejor criterio de evaluación se necesitará que se determine anticipadamente la demanda de ductilidad en los elementos más débiles del sistema, utilizando para ello el procedimiento indicado en el inciso 10.8;
- (i) Si la ecuación 10.1 se satisface únicamente en los niveles superiores del edificio en consideración, existe poca probabilidad de que la estructura como un todo tenga una adecuada resistencia lateral y una adecuada capacidad de ductilidad en los niveles comprendidos entre el primer entrepiso, hasta el nivel ubicado a la mitad de la altura total. Para tener un mejor criterio de evaluación se necesitará que se determine anticipadamente la demanda de ductilidad en los elementos más débiles del sistema, especialmente aquellos que se localicen en los niveles situados hasta la mitad de la altura total, empleando para ello el procedimiento indicado en el inciso 10.8.

### 10.8 Método de evaluación analítica

Se establece en este inciso el procedimiento de evaluación analítica a seguir, para los casos en que el método de evaluación preliminar simple no sea suficiente.

### 10.8.1 Evaluación de la resistencia a flexión

La evaluación de la resistencia a flexión de los marco rígidos que conforman el edificio conlleva los siguientes subincisos:

- (a) Evaluación de la resistencia nominal a flexión de vigas, columnas y conexiones viga-columna para cada nivel del edificio;
- (b) La resistencia a flexión en cada nivel la gobierna el elemento más débil, que en la mayoría de los casos son las conexiones;
- (c) La localización de estos elementos débiles serán las regiones de fluencia;
- (d) Con base en los valores de las resistencias relativas de los distintos elementos que conforman el marco rígido y la localización de los elementos más débiles, se podrá predecir qué tipo de mecanismo de deformación post-elástica se formará.

### 10.8.2 Evaluación de la capacidad de carga lateral

Con la finalidad de evaluar si la capacidad de carga lateral de los marcos rígidos es adecuada, se deberá proceder de acuerdo con:

- (a) El cálculo del valor del período de la estructura y de su rigidez lateral, utilizando las propiedades de secciones transversales efectivas;
- (b) La determinación del coeficiente sísmico con el método de la carga estática equivalente especificado en la norma NSE 3, y haciendo uso de lo indicado en la tabla 10-1 para asignar el valor de  $\mu$ ;
- (c) El cálculo de momentos flexionantes en vigas debido a sismo únicamente en cada nivel de la estructura bajo consideración;
- (d) La determinación si las vigas, tomadas individualmente en cada nivel bajo consideración, pueden soportar los momentos flexionantes que les aplica la carga gravitacional, considerando a cada una de ellas en condición simplemente apoyada.
- (e) El cálculo de momentos flexionantes en los extremos de cada viga y de cada nivel bajo consideración, de acuerdo con la ecuación 10.1;

$$S^* = \phi R_u \quad (10-1, \text{repetida})$$

donde,  $S^*$  es el momento flexionante en los extremos de cada viga. Si (d) se satisface entonces,  $S^*$  será el momento flexionante dado por (c) más el momento producido por el efecto  $P - \Delta$ . En caso contrario, se deberá agregar un momento flexionante negativo adicional debido a carga gravitacional en los

extremos de cada viga.  $R_u$  es la resistencia nominal a flexión y  $\phi = 0.9$ .

- (f) Si se satisface la ecuación 10.1 para cada nivel de la estructura bajo consideración, la estructura posee una resistencia adecuada a carga lateral;
- (g) Si no se satisface la ecuación 10.1 para cada nivel de la estructura bajo consideración, la estructura no posee una resistencia adecuada a carga lateral, por lo que deberá ser rehabilitada;
- (h) Si la ecuación 10.1 se satisface únicamente en los niveles inferiores del edificio bajo consideración, la estructura podría tener un nivel adecuado de resistencia a carga lateral; sin embargo, para tener un mejor criterio de evaluación se necesitará que se determine anticipadamente la demanda de ductilidad en los elementos más débiles del sistema, utilizando para ello el procedimiento indicado en el subinciso (j);
- (i) Si la ecuación 10.1 se satisface únicamente en los niveles superiores del edificio en consideración, existe poca probabilidad de que la estructura como un todo tenga una adecuada resistencia lateral y una adecuada capacidad de ductilidad en los niveles comprendidos entre el primer entrepiso, hasta el nivel ubicado a la mitad de la altura total. Para tener un mejor criterio de evaluación se necesitará que se determine anticipadamente la demanda de ductilidad en los elementos más débiles del sistema, especialmente aquellos que se localicen en los niveles situados hasta la mitad de la altura total, empleando para ello el procedimiento indicado en el subinciso (j);
- (j) Realizar un análisis "pushover" o un análisis no lineal paso a paso con la finalidad de determinar la distribución de la demanda de ductilidad en cada uno de los componentes del sistema;
- (k) Verificar si la capacidad a cortante vertical de cada conexión de la estructura es adecuada para la combinación de fuerzas cortantes producidas por la combinación, a su vez, de fuerzas sísmicas y carga gravitacional.

**Tabla 10-1 - Valor del factor de ductilidad,  $\mu$**

Descripción del tipo de marco	Demanda de ductilidad de desplazamiento
Completamente dúctil	$\mu > 3$
Con poca ductilidad	$3 > \mu > 1.25$
Nominalmente elástico	$\mu = 1.25$
Completamente elástico	$\mu = 1.0$

# 11 EVALUACIÓN SIMPLIFICADA PARA ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERÍA REFORZADA

## 11.1 Consideración general

Debido a que las estructuras de mampostería reforzada presentan gran complejidad de configuración geométrica y bajo coeficiente de ductilidad (en estas normas se clasifican básicamente como estructuras con poca ductilidad), no son totalmente aplicables los métodos de evaluación analítica sugeridos en el capítulo 8. Por lo que en este capítulo se describe una guía general denominada método de evaluación simplificada.

## 11.2 Método de evaluación simplificada

Las edificaciones de mampostería reforzada deberán cumplir con todos los requerimientos especificados en la norma NSE 7.4 y con los establecidos en la sección 1.5.2 de la norma NSE 3, referente a estructuras tipo cajón; sin que ello garantice que los requisitos mínimos allí descritos sean suficientes para todos los casos posibles de configuración estructural. Por lo que el criterio del ingeniero evaluador es de especial importancia en la evaluación de este tipo de estructuras.

# 12 REHABILITACION

## 12.1 Generalidades

La rehabilitación de una edificación se efectúa luego de que en su evaluación se determina que la requiere. Para efectuar la rehabilitación es necesario contar con la aprobación del propietario de la edificación. Este procedimiento debe ser realizado por una persona con suficiente conocimiento y experiencia en diseño y análisis estructural.

La rehabilitación se basa en objetivos de rehabilitación determinado por el nivel de comportamiento de la edificación para cierto nivel de diseño sísmico.

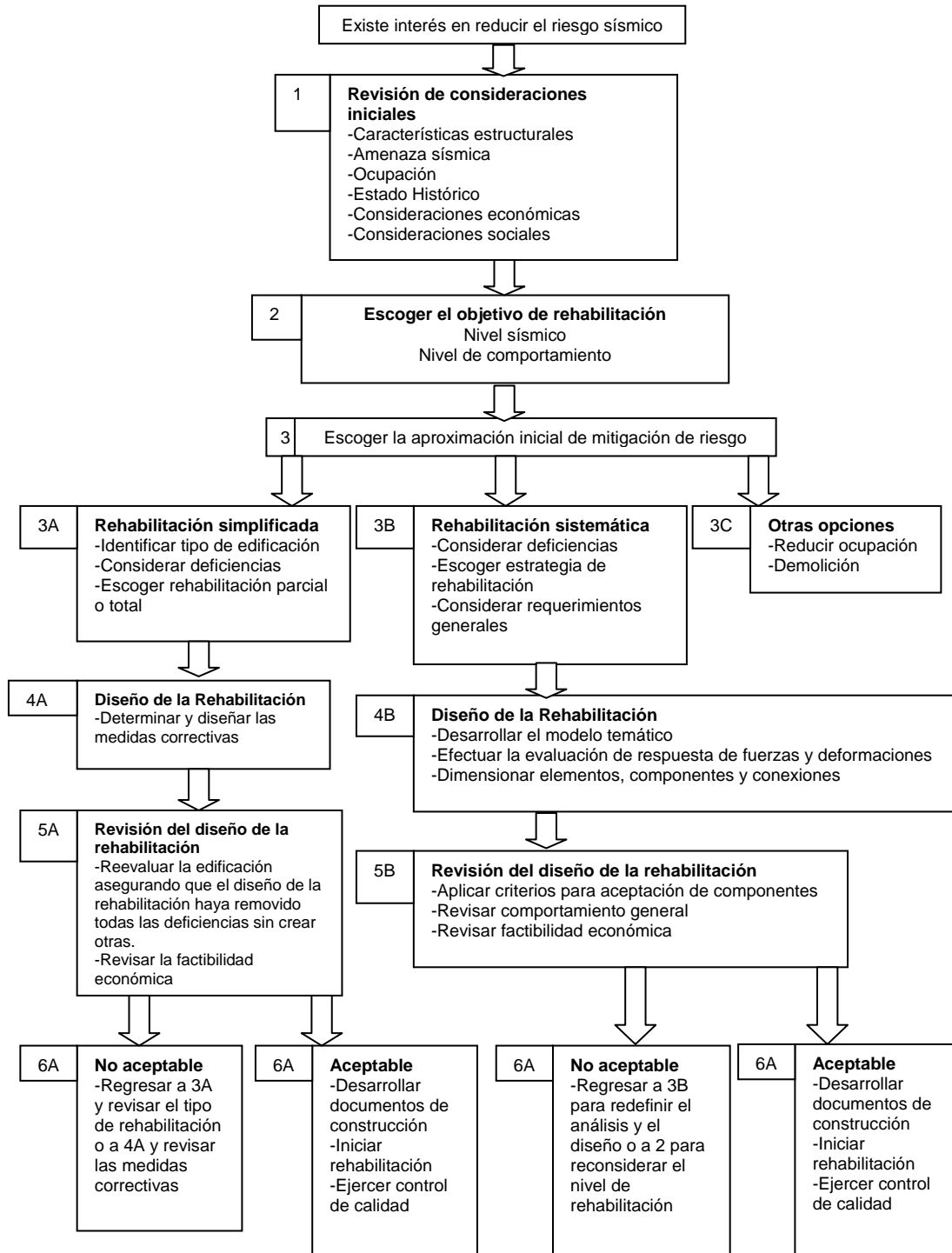
## 12.2 Alcance

Los capítulos 12 a 18 se refieren a la rehabilitación de edificaciones en términos generales, ya sea por cambio de uso, por daños después de eventos sísmicos o por actualización debido a nuevas normas de construcción y que, siguiendo ciertos criterios, se determine su deficiencia para resistir efectos sísmicos. Estas normas de rehabilitación deberán ser aplicadas por personas con suficiente juicio y experiencia en el diseño de edificaciones. Para el uso de estas normas es necesario contar con la aceptación del propietario de la edificación. Aunque los lineamientos establecidos aquí se refieren a estructuras existentes, podría ser aplicado a estructuras nuevas.



## 12.3 Proceso de rehabilitación

### Proceso de Rehabilitación



# 13 OBJETIVOS DE REHABILITACIÓN

## 13.1 Niveles de comportamiento de la edificación

Un nivel de comportamiento describe una condición límite de daño que se considera satisfactorio para una edificación sujeta a determinado diseño sísmico. Las condiciones límite se determinan por el daño físico en la edificación, la seguridad de vida de los ocupantes y la serviciabilidad de la edificación post-sismo.

Los criterios de diseño dependen de los niveles y rangos de comportamiento sísmico de las estructuras. Los niveles de comportamiento sísmico se agrupan en dos partes:

- Estructurales
- No estructurales

Se han definido tres niveles de comportamiento sísmico estructural, que son puntos discretos en una escala continua y dos rangos que corresponden a estados intermedios entre niveles.

- E1: Nivel de comportamiento para ocupación inmediata
- E2: Rango de comportamiento para control de daños (entre E1 y E3)
- E3: Nivel de comportamiento para protección de la vida
- E4: Rango de comportamiento para seguridad limitada (entre E3 y E5)
- E5: Nivel de comportamiento para prevención de colapso

Adicionalmente, está la designación E6, no se considera el comportamiento estructural, para cubrir la situación en que solamente se hacen mejoras no estructurales.

Para el comportamiento no estructural se definen cuatro niveles:

- NA: Nivel de comportamiento operacional
- NB: Nivel de comportamiento para ocupación inmediata
- NC: Nivel de comportamiento para protección de la vida
- ND: Nivel de comportamiento para reducción de riesgos

Adicionalmente, está la designación NE, no se considera el comportamiento no estructural, para cubrir la situación en que solamente se hacen mejoras estructurales.

Las tablas 13-1 a 13-4 aproximadamente el daño esperado en los elementos estructurales y no estructurales según el nivel de comportamiento.

Los elementos verticales se clasifican en primarios y secundarios.

Los elementos primarios son aquellos que proveen a la estructura la capacidad de resistir al colapso bajo movimientos sísmicos. Aunque estos elementos pudieran sufrir algún daño y degradación en resistencia y rigidez, el funcionamiento de ellos debe preservarse.

Los demás elementos son considerados secundarios. Estos deben permanecer capaces de soportar las cargas verticales.

Las derivas indicadas en la tabla 13-1 no son niveles de aceptación de la rehabilitación, sino más bien son valores típicos que se espera encontrar después de un evento sísmico.

Tabla 13-1. Niveles de comportamiento estructural y daños – Elementos verticales

Elementos	Tipo	Niveles de comportamiento estructural		
		Nivel de prevención del colapso (E5)	Nivel de protección de la vida (E3)	Nivel de ocupación inmediata (E1)
Marcos de concreto	Primario	Agrietamiento extenso y formación de articulaciones en elementos dúctiles. Agrietamiento limitado y/o falla en empalmes en algunas columnas no dúctiles. Daños severos en columnas cortas.	Daño extenso en vigas. Astillamiento del recubrimiento y agrietamiento por cortante (<3mm de ancho) para columnas dúctiles. Astillamiento menor en columnas no dúctiles. Grietas en juntas < 3 mm de ancho.	Agrietamiento fino. Fluencia limitada en algunas partes. No hay aplastamiento (deformaciones menores que 0.003).
	Secundario	Astillamiento extenso en columnas (acortamiento limitado) y vigas. Daños severos en juntas. Algún refuerzo pandeado.	Agrietamiento extenso y formación de articulaciones en elementos dúctiles. Agrietamiento limitado y/o falla en empalmes en algunas columnas no dúctiles. Daño severo en columnas cortas.	Poco astillamiento en pocos lugares de columnas dúctiles y vigas. Agrietamiento por cortante en juntas <1.5mm.
	Derivas	Transitorio o permanente: 4%	Transitorio: 2% Permanente: 1%	Transitorio: 1% Permanente: despreciable

Marcos de Acero	Primario	Distorsión extensa en paneles de columnas y vigas. Muchas fracturas en conexiones de momento, pero las conexiones de corte permanecen intactas	Formación de articulaciones. Pandeo local en algunos elementos de vigas. Distorsión severa en juntas. Fracturas dispersas en conexiones de momento, pero las conexiones de corte permanecen intactas. Pocos elementos experimentan fractura parcial.	Poca fluencia local en pocos lugares. No hay fracturas. Poco pandeo o distorsión en miembros .
	Secundario	Igual que el primario	Distorsión extensa en paneles de vigas y columnas. Muchas fracturas en conexiones de momento, pero las conexiones de corte permanecen intactas.	Igual que el primario.
	Derivas	Transitorio o permanente: 5%	Transitorio: 2.5% Permanente: 1%	Transitorio: 0.7% Permanente: despreciable
Marcos de acero contraventeados	Primario	Fluencia extensa y pandeo de contravientos. Muchos contravientos y sus conexiones pueden fallar.	Fluencia extensa y pandeo de contravientos fluyen o se pandean, pero no fallan en su totalidad. Muchas conexiones pueden fallar.	Poca fluencia o pandeo en contravientos.
	Secundario	Igual que el primario.	Igual que el primario.	Igual que el primario.
	Derivas	Transitorio o permanente: 2%	Transitorio: 1.5% Permanente: 0.5%	Transitorio: 0.5% Permanente: despreciable
Muros de concreto	Primario	Grietas grandes y vacíos por flexión y cortante. Deslizamientos en las juntas. Extenso aplastamiento y pandeo del refuerzo. Fallas alrededor de aberturas. Daños severos en los	Algunos elementos de borde en peligro, incluyendo pandeo limitado de refuerzo. Algunos deslizamientos en las juntas. Daños alrededor de aberturas. Algún aplastamiento y agrietamiento por flexión. Vigas de	Agrietamiento fino en muros, < 1.5 mm de ancho. Las vigas de acoplamiento experimentan agrietamiento < 3mm de ancho.

		elementos de borde. Vigas de acoplamiento desechos virtualmente desintegrados.	acoplamiento con agrietamiento extenso por flexión y cortante; algún aplastamiento, pero el concreto generalmente permanece en su lugar.	
	Secundario	Paneles desechos y virtualmente desintegrados	Agrietamiento grande por flexión y cortante. Deslizamiento en las juntas. Aplastamiento extenso. Fallas alrededor de aberturas. Elementos de borde severamente dañados. Vigas de acoplamiento desechos y virtualmente desintegrados.	Agrietamiento fino en muros. Alguna evidencia de deslizamiento en juntas de construcción. Vigas de acoplamiento experimentan grietas < 3mm de ancho. Poco astillamiento.
	Derivas	Transitorio o permanente: 2%	Transitorio: 1% Permanente: 0.5%	Transitorio: 0.5% Permanente: despreciable.
Muros infiltrados de mampostería sin refuerzo	Primario	Agrietamiento y aplastamiento extenso; porciones de la fachada desprendidas	Agrietamiento extendido y algún aplastamiento, pero los muros permanecen en su lugar. No hay unidades caídas. Aplastamiento extenso y astillamiento de recubrimientos en esquinas de aberturas.	Agrietamiento menor (< 3 mm de ancho) en la mampostería infiltrada y revestimientos. Poco astillamiento en recubrimientos en pocas esquinas de aberturas.
	Secundario	Aplastamiento extenso; algunos muros fuera de lugar.	Igual que el primario	Igual que el primario.
	Derivas	Transitorio o permanente: 0.6%	Transitorio: 0.5% Permanente: 0.3%	Transitorio: 0.1% Permanente: despreciable
Muros de mampostería sin refuerzo (no infiltrados)	Primario	Agrietamiento extenso; fachada y recubrimientos descansados. Partes evidentemente fuera del plano	Agrietamiento extenso. Partes ligeramente fuera del plano.	Agrietamiento menor (< 3 mm de ancho) en los revestimientos. Poco astillamiento en recubrimientos en pocas esquinas de aberturas. No se observaron partes fuera del plano.

	Secundario	Paneles que no cargan fuera de lugar	Igual que el primario	Igual que el primario
	Derivas	Transitorio o permanente: 1%	Transitorio o permanente: 0.6%	Transitorio o permanente: 0.3%
Muros de mampostería reforzada	Primario	Aplastamiento; agrietamiento extenso. Daño alrededor de aberturas y esquinas. Algunas unidades caídas	Agrietamiento extenso (< 6 mm) distribuido en el muro. Algunos aplastamientos dispersos	Agrietamiento menor (< 3mm de ancho). No se observaron partes fuera del plano.
	Secundario	Paneles desechos y virtualmente desintegrados.	Aplastamiento; agrietamiento extenso; daño alrededor de aberturas y esquinas; algunas unidades caídas	Igual que el primario
	Derivas	Transitorio o permanente: 1.5%	Transitorio o permanente: 0.6%	Transitorio o permanente: 0.2%
Conexiones de concreto prefabricado	Primario	Fallas en algunas conexiones, pero no hay elementos fuera de lugar.	Aplastamiento local y astillamiento en las conexiones, pero no hay fallas grandes en las conexiones	Poco esfuerzo en las conexiones; grietas < 1.5 mm de ancho en las conexiones.
	Segundo	Igual que el primario	Algunas fallas en las conexiones, pero no hay elementos fuera de lugar.	Poco aplastamiento y astillamiento en las conexiones.
Cimientos	General	Grandes asentamientos e inclinaciones	Asentamientos totales < 15 cm y asentamientos diferenciales < 13 mm en 10 m.	Asentamientos pequeños e inclinaciones despreciables.

Tabla 13-2. Niveles de comportamiento estructural y daños – Elementos horizontales

Elementos	Niveles de comportamiento		
	Nivel de prevención del colapso (E5)	Nivel de protección de la vida (E3)	Nivel de ocupación inmediata (E1)
Diafragmas de cubierta metálica	Gran distorsión con pandeo de lagunas unidades y rasgadura de muchas soldaduras y	Algunas fallas localizadas de conexiones soldadas de la cubierta al marco y entre paneles. Poco pandeo local	Conexiones entre las unidades de cubierta y el marco intactas. Pequeñas distorsiones.

	uniones.	en la cubierta.	
Diafragmas de madera	Gran distorsión permanente con extracción parcial de clavos y vasta separación de elementos.	Algunas separaciones en conexiones. Aflojamiento de forros. Evidente extracción de fijaciones. Separación de armazones y forros	No se observa aflojamiento o extracción de fijaciones. No hay separación de forros ni armazones.
Diafragmas de concreto	Aplastamiento extenso y desviaciones observables a través de muchas grietas	Agrietamiento extenso (< 6 mm de ancho). Aplastamiento y astillamiento local.	Agrietamiento fino distribuido. Algunas pequeñas grietas de mayor tamaño (< 3mm)
Diafragmas prefabricadas	Fallas en conexiones entre unidades. Hay unidades desplazadas por otras. Aplastamiento en juntas.	Agrietamiento extenso (< 6 mm de ancho). Aplastamiento y astillamiento local.	Algún agrietamiento menor a lo largo de juntas.

Tabla 13-3. Niveles de comportamiento no estructural y daños – Componentes arquitectónicos

Elementos	Tipo	Niveles de comportamiento estructural		
		Nivel de prevención del colapso (E5)	Nivel de protección de la vida (E3)	Nivel de ocupación inmediata (E1)
Marcos de concreto	Primario	Agrietamiento extenso y formación de articulaciones en elementos dúctiles. Agrietamiento limitado y/o falla en empalmes en algunas columnas no dúctiles. Daños severos en columnas cortas.	Daño extenso en vigas. Astillamiento del recubrimiento y agrietamiento por cortante (<3mm de ancho) para columnas dúctiles. Astillamiento menor en columnas no dúctiles. Grietas en juntas < 3 mm de ancho.	Agrietamiento fino. Fluencia limitada en algunas partes. No hay aplastamiento (deformaciones menores que 0.003).
	Secundario	Astillamiento extenso en columnas (acortamiento limitado) y vigas. Daños severos en	Agrietamiento extenso y formación de articulaciones en elementos dúctiles. Agrietamiento limitado y/o falla en empalmes	Poco astillamiento en pocos lugares de columnas dúctiles y vigas. Agrietamiento por cortante en juntas

		juntas. Algún refuerzo pandeado.	en algunas columnas no dúctiles. Daño severo en columnas cortas.	<1.5mm.
	Derivas	Transitorio o permanente: 4%	Transitorio: 2% Permanente: 1%	Transitorio: 1% Permanente: despreciable
Marcos de Acero	Primario	Distorsión extensa en paneles de columnas y vigas. Muchas fracturas en conexiones de momento, pero las conexiones de corte permanecen intactas	Formación de articulaciones. Pandeo local en algunos elementos de vigas. Distorsión severa en juntas. Fracturas dispersas en conexiones de momento, pero las conexiones de corte permanecen intactas. Pocos elementos experimentan fractura parcial.	Poca fluencia local en pocos lugares. No hay fracturas. Poco pandeo o distorsión en miembros .
	Secundario	Igual que el primario	Distorsión extensa en paneles de vigas y columnas. Muchas fracturas en conexiones de momento, pero las conexiones de corte permanecen intactas.	Igual que el primario.
	Derivas	Transitorio o permanente: 5%	Transitorio: 2.5% Permanente: 1%	Transitorio: 0.7% Permanente: despreciable
Marcos de acero contraventeados	Primario	Fluencia extensa y pandeo de contravientos. Muchos contravientos y sus conexiones pueden fallar.	Fluencia extensa y pandeo de contravientos fluyen o se pandean, pero no fallan en su totalidad. Muchas conexiones pueden fallar.	Poca fluencia o pandeo en contravientos.
	Secundario	Igual que el primario.	Igual que el primario.	Igual que el primario.
	Derivas	Transitorio o permanente: 2%	Transitorio: 1.5% Permanente: 0.5%	Transitorio: 0.5% Permanente: despreciable
Muros de concreto	Primario	Grietas grandes y vacíos por flexión y cortante. Deslizamientos en	Algunos elementos de borde en peligro, incluyendo pandeo limitado de refuerzo.	Agrietamiento fino en muros, < 1.5 mm de ancho. Las vigas de



		las juntas. Extenso aplastamiento y pandeo del refuerzo. Fallas alrededor de aberturas. Daños severos en los elementos de borde. Vigas de acoplamiento desechos virtualmente desintegrados.	Algunos deslizamientos en las juntas. Daños alrededor de aberturas. Algún aplastamiento y agrietamiento por flexión. Vigas de acoplamiento con agrietamiento extenso por flexión y cortante; algún aplastamiento, pero el concreto generalmente permanece en su lugar.	acoplamiento experimentan agrietamiento < 3mm de ancho.
	Secundario	Paneles desechos y virtualmente desintegrados	Agrietamiento grande por flexión y cortante. Deslizamiento en las juntas. Aplastamiento extenso. Fallas alrededor de aberturas. Elementos de borde severamente dañados. Vigas de acoplamiento desechos y virtualmente desintegrados.	Agrietamiento fino en muros. Alguna evidencia de deslizamiento en juntas de construcción. Vigas de acoplamiento experimentan grietas < 3mm de ancho. Poco astillamiento.
	Derivas	Transitorio o permanente: 2%	Transitorio: 1% Permanente: 0.5%	Transitorio: 0.5% Permanente: despreciable.
Muros infiltrados de mampostería sin refuerzo	Primario	Agrietamiento y aplastamiento extenso; porciones de la fachada desprendidas	Agrietamiento extendido y algún aplastamiento, pero los muros permanecen en su lugar. No hay unidades caídas. Aplastamiento extenso y astillamiento de recubrimientos en esquinas de aberturas.	Agrietamiento menor (< 3 mm de ancho) en la mampostería infiltrada y revestimientos. Poco astillamiento en recubrimientos en pocas esquinas de aberturas.
	Secundario	Aplastamiento extenso; algunos muros fuera de lugar.	Igual que el primario	Igual que el primario.
	Derivas	Transitorio o permanente: 0.6%	Transitorio: 0.5% Permanente: 0.3%	Transitorio: 0.1% Permanente: despreciable

Muros de mampostería sin refuerzo (no infiltrados)	Primario	Agrietamiento extenso; fachada y recubrimientos descansados. Partes evidentemente fuera del plano	Agrietamiento extenso. Partes ligeramente fuera del plano.	Agrietamiento menor (< 3 mm de ancho) en los revestimientos. Poco astillamiento en recubrimientos en pocas esquinas de aberturas. No se observaron partes fuera del plano.
	Secundario	Paneles que no cargan fuera de lugar	Igual que el primario	Igual que el primario
	Derivas	Transitorio o permanente: 1%	Transitorio o permanente: 0.6%	Transitorio o permanente: 0.3%
Muros de mampostería reforzada	Primario	Aplastamiento; agrietamiento extenso. Daño alrededor de aberturas y esquinas. Algunas unidades caídas	Agrietamiento extenso (< 6 mm) distribuido en el muro. Algunos aplastamientos dispersos	Agrietamiento menor (< 3mm de ancho). No se observaron partes fuera del plano.
	Secundario	Paneles desechos y virtualmente desintegrados.	Aplastamiento; agrietamiento extenso; daño alrededor de aberturas y esquinas; algunas unidades caídas	Igual que el primario
	Derivas	Transitorio o permanente: 1.5%	Transitorio o permanente: 0.6%	Transitorio o permanente: 0.2%
Conexiones de concreto prefabricado	Primario	Fallas en algunas conexiones, pero no hay elementos fuera de lugar.	Aplastamiento local y astillamiento en las conexiones, pero no hay fallas grandes en las conexiones	Poco esfuerzo en las conexiones; grietas < 1.5 mm de ancho en las conexiones.
	Segundo	Igual que el primario	Algunas fallas en las conexiones, pero no hay elementos fuera de lugar.	Poco aplastamiento y astillamiento en las conexiones.
Cimientos	General	Grandes asentamientos e inclinaciones	Asentamientos totales < 15 cm y asentamientos diferenciales < 13 mm en 10 m.	Asentamientos pequeños e inclinaciones despreciables.

Tabla 13-4. Niveles de comportamiento no estructural y daños – Sistemas y componentes mecánicos, eléctricos y de plomería

Sistema Componente	Niveles de comportamiento no estructural			
	Nivel de reducción de riesgos ND	Protección de la vida NC	Ocupación Inmediata NB	Operacional NA
<b>Ascensores</b>	Ascensores fuera de servicio; contrapesos fuera de rieles	Ascensores fuera de servicio; contrapesos en su lugar.	Ascensores operables; pueden usarse si hay energía disponible	Ascensores operan
<b>Extractores</b>	Muchas unidades no funcionan; bastantes deslizamientos y vuelcos; algunas unidades suspendidas caídas.	Las unidades están fuera de sus soportes, rompiendo los ductos y tuberías conectadas, pero no caen.	Las unidades están seguras y la mayoría operan si hay energía disponible.	Las unidades están seguras y la mayoría operan si hay energía disponible.
<b>Ductos</b>	Ductos rotos y flojos en equipos y soportes; algunos soportes fallados; algunos ductos caídos.	Daño menor en juntas de secciones y uniones a equipos; algunos soportes dañados, pero no hay ductos caídos.	Daño menor en juntas, pero los ductos aún se pueden usar.	Daño despreciable.
<b>Tuberías</b>	Ruptura de algunas líneas. Algunos soportes fallados. Algunas tuberías caídas.	Daño menor en juntas, con algún goteo. Algunos soportes dañados pero los sistemas se mantienen suspendidos.	Goteos menores en pocas juntas.	Daño despreciable.
<b>Sistemas de aspersión contra incendios</b>	Muchos aspersores dañados por cielos colapsados. Goteos en uniones. Algunos ramales fallados.	Algunos aspersores dañados por cielos ladeados. Goteos en algunas juntas.	Goteos menores en pocos aspersores o juntas de tuberías. El sistema aún opera.	Daño despreciable.
<b>Sistema de alarma contra incendios</b>	Sensores en cielos dañados. El sistema no funciona.	Puede ser que el sistema no funcione.	El sistema funciona.	El sistema funciona.
<b>Alumbrado de emergencia</b>	Algunas lámparas caídas. No hay energía disponible.	El sistema funciona.	El sistema funciona.	El sistema funciona.
<b>Equipo de distribución eléctrica</b>	Unidades deslizadas y o volcadas, con conductos conectados rotos. Fuentes de poder (UPS) fallados. Generadores de diesel no arrancan	Las Unidades están fuera de sus soportes y no operan. Arrancan generadores de emergencia; no hay servicio secundario.	Unidades aseguradas y generalmente operables. Generadores de emergencia arrancan, pero no proporcionan el servicio a todos los requerimientos.	Las unidades funcionan. Si es necesaria, se dispone de energía de emergencia.
<b>Plomería</b>	Algunos artefactos y accesorios rotos; conducto principal destruido.	Algunos artefactos y accesorios rotos, líneas rotas; conducto principal destruido.	La mayoría de artefactos, accesorios y líneas en servicio; sin embargo, puede ser que no se disponga de servicio secundario.	El sistema funciona. Suministro de agua en el lugar disponible.

Los niveles de comportamiento de una edificación es el resultado de la combinación de un nivel de comportamiento estructural y un nivel de comportamiento no estructural.

Se definen cuatro combinaciones usuales de niveles de comportamiento de la edificación, sin que esto sea limitante para que se usen otras combinaciones.

Tabla 13-5. Niveles de comportamiento de la edificación

Nivel de Comportamiento de la Edificación						
Nivel de comportamiento No Estructural	Nivel de Comportamiento Estructural					
	E1 Ocupación inmediata	E2 Control de daños (rango)	E3 Protección de la vida	E4 Seguridad limitada (rango)	E5 Prevención del colapso	E6 No considerado
NA Operación continua	1A Operación continua	2A	NR	NR	NR	NR
NB Ocupación inmediata	1B Ocupación inmediata	2B	3B	NR	NR	NR
NC Protección de la vida	2C	2C	3C	4C	5C	6C
ND Reducción de riesgos	NR	2D	3D	4D	5D	6D
NE No considerado	NR	NR	3E	4E	5E Estabilidad estructural	No aplicable

En la tabla 13-6 se describe una aproximación de los daños esperados según el nivel de comportamiento, aunque pueden haber algunas variaciones.

Tabla 13-6. Niveles de control de daños y comportamiento de la edificación

	Niveles de comportamiento de la edificación			
	Nivel de prevención del colapso	Nivel de protección de la vida	Nivel de ocupación inmediata	Nivel de operación permanente
<b>Daño global</b>	Severo	Moderado	Leve	Muy Leve
General	Poca rigidez y resistencia residuales, pero aún funcionan las columnas y muros soportantes de carga. Grandes derivas permanentes. Algunas salidas están bloqueadas. Fallas en parapetos de relleno no sujetas. La edificación está cerca del colapso.	Alguna rigidez y resistencia residuales permanecen en todos los niveles. Funcionan los elementos soportantes de carga gravitacional. No hay falla de muros o parapetos fuera de su plano. Algunas derivas permanentes. Daños en particiones. La reparación de la edificación puede ser económicamente difícil.	No hay derivas permanentes. La estructura mantiene sustancialmente la resistencia y rigidez originales. Pequeños agrietamientos en fachadas, particiones, cielos y algunos elementos estructurales. Los ascensores pueden funcionar. La protección contra incendios se mantiene en operación.	No hay derivas permanentes. La estructura mantiene sustancialmente la resistencia y rigidez originales. Pequeños agrietamientos en fachadas, particiones, cielos y algunos elementos estructurales. Funcionan todos los sistemas importantes de operación normal.
Componentes no estructurales	Daño extenso	Se ha mitigado el riesgo de desprendimiento, pero muchos elementos arquitectónicos, mecánicos y electrónicos están dañados.	El equipo y su contenido están generalmente seguros, pero inoperable debido a fallas o falta de accesorios.	Daño despreciable. El equipo de potencia y otras están disponibles aunque sea por medios de emergencia.

## 13.2 Niveles de diseño sísmico

Se establecen tres niveles de diseño sísmico:

- El sismo de servicio (SS): Sismo con un período de retorno de 50 años.
- El sismo básico (SB): Sismo con un 10 por ciento de probabilidad de ser excedido en 50 años.
- El sismo extremo (SE): Sismo de máxima intensidad que pueda ocurrir en el sitio.

| Para los niveles de sismos, ver NSE 2.

## 13.3 Objetivos de rehabilitación

Un objetivo de rehabilitación especifica el comportamiento sísmico deseado de la edificación (nivel de comportamiento), o sea, el daño máximo permisible para un determinado nivel de diseño sísmico. Un objetivo de rehabilitación puede establecer diferentes niveles de comportamiento para diferentes niveles de diseño sísmico, por lo que | puede ser de un nivel, dual o multi- nivel.

Una vez que el propietario de la edificación ha seleccionado el objetivo de rehabilitación, el diseñador puede identificar la demanda sísmica que usará en el análisis y los criterios de aceptación para usarlos en la evaluación y diseño de los sistemas estructurales y no estructurales de la edificación.

### 13.3.1 *Objetivo de rehabilitación básico (ORB)*

El objetivo de rehabilitación básico (ORB) es el más comúnmente usado. Es un Objetivo de rehabilitación dual con la combinación g y l, que se muestra en la tabla 13-7.

### 13.3.2 *Objetivo de rehabilitación mejorado (ORM)*

Se refiere a un objetivo con mayores requerimientos que el ORB. Es un Objetivo de | rehabilitación multi- nivel que incluye g y l (del ORB) y además uno o más de a, e, i, b, f ó j.

### 13.3.3 *Objetivo de rehabilitación limitado (ORL)*

Se refiere a un objetivo con menores requerimientos que el ORB. Es un objetivo de comportamiento simple que incluye c, d, g ó l.

El ORL también se denomina Rehabilitación parcial o Rehabilitación reducida. El ORL solamente se permite cuando se cumplen las siguientes condiciones:

- Las medidas de rehabilitación no crearán irregularidades estructurales o bien no aumentarán la irregularidad estructural existente
- Las medidas de rehabilitación no causan reducción en la capacidad de la estructura para resistir fuerzas laterales o deformaciones
- Las medidas de rehabilitación no causan un incremento de las fuerzas sísmicas en ningunas de sus componentes que no tenga la capacidad de resistir estas fuerzas, a menos que el comportamiento de esta componente sea todavía aceptable considerando el comportamiento global de la estructura
- Todos los elementos nuevos o rehabilitados tienen detalles y están conectados a la estructura existente como se requiere en estas normas
- No se crea ninguna condición insegura
- Las regulaciones locales no prohíben la rehabilitación

Tabla 13-7. Objetivos de rehabilitación

<b>Objetivo de rehabilitación</b>				
<b>Diseño sísmico</b>	<b>Nivel de comportamiento de la edificación</b>			
	<b>Operacional</b>	<b>Ocupación inmediata</b>	<b>Protección de la vida</b>	<b>Prevención del colapso</b>
Sismo de servicio (SS)	a	b	c	d
Sismo básico (SB)	e	f	g	h
Sismo extremo (SE)	i	j	k	l

La selección del objetivo de rehabilitación está fuera del alcance de estas normas y está relacionado con el criterio del propietario y/o diseñador.

# 14 ESTRATEGIAS DE REHABILITACION

## 14.1 Estrategias de rehabilitación

Son medidas básicas adoptadas para mejorar el comportamiento sísmico probable de la edificación o reducir el riesgo existente a un nivel aceptable. Las estrategias pueden ser técnicas y administrativas. Dentro de las estrategias técnicas están aquellas como aumento de la resistencia de la edificación, corrección de deficiencias críticas, alteración de rigideces y reducción de la demanda. Dentro de las administrativas están aquellas como cambio de ocupación, mejora incremental y construcción por fases. La rehabilitación de edificaciones puede hacerse con una o más estrategias.

Aunque no es requisito, es recomendable que el sistema resistente a cargas laterales de la edificación tenga un nivel apropiado de redundancia, para que la falla local de algún elemento no implique el colapso o inestabilidad de la estructura.

Algunas de las estrategias que se emplean se describen a continuación:

### 14.1.1 *Modificación local de componentes*

Cuando una estructura tiene suficiente resistencia y rigidez, pero alguno de sus componentes no tienen resistencia y/o capacidad de deformación adecuadas para satisfacer el(los) Objetivo(s) de Rehabilitación se puede modificar localmente esos componentes, siempre que se mantenga el sistema de resistencia de carga lateral.

Esta estrategia permite obtener una rehabilitación económica cuando solamente pocos elementos son inadecuados.

### 14.1.2 *Eliminación o disminución de irregularidades y discontinuidades existentes*

Las irregularidades y discontinuidades de rigidez, masa y resistencia son las principales causas de comportamiento sísmico no deseable en edificaciones. Estas irregularidades pueden ser eliminadas o disminuidas con la demolición o adición de los elementos necesarios o bien introduciendo juntas para obtener varias estructuras regulares a partir de una irregular.



### **14.1.3 *Aumento de la rigidez global de la estructura***

Algunas estructuras flexibles tienen elementos que no tienen la adecuada ductilidad para resistir grandes deformaciones laterales. Una estrategia de rehabilitación puede ser el aumento de la rigidez global de la estructura para lograr una respuesta sísmica con deformaciones menores.

### **14.1.4 *Aumento de la resistencia global de la estructura***

Algunas estructuras tienen una resistencia insuficiente para resistir cargas laterales. Estas estructuras muestran un comportamiento inelástico con niveles sísmicos bajos. Para este caso pueden añadirse elementos nuevos que se encarguen de resistir la mayor parte de la carga lateral.

### **14.1.5 *Reducción de masa***

La reducción de masa implica a su vez la reducción de la carga y la demanda sísmica. La masa puede ser reducida demoliendo pisos superiores y/o removiendo particiones o equipo pesado.

### **14.1.6 *Aislamiento sísmico***

Esta estrategia permite aislar la superestructura del suelo produciendo una respuesta que se acerca a la de un cuerpo rígido. Esta técnica es más efectiva para edificaciones relativamente rígidas y de gran masa, reduciéndose su eficiencia para estructuras livianas y flexibles.

### **14.1.7 *Disipadores suplementarios de energía***

Los disipadores suplementarios de energía reducen los desplazamientos y son utilizados como parte del sistema de contraventeo de la estructura.

## **14.2 *Sistemas de rehabilitación***

Una vez determinadas las estrategias de rehabilitación, deben adoptarse métodos específicos para lograr las estrategias seleccionadas.

## **14.3 *Restricciones de diseño***

Deberán tomarse en cuenta, aparte de las características estructurales de la edificación, los factores que afectan la posibilidad de que se pueda aplicar una estrategia o sistema de

rehabilitación. Algunas restricciones de diseño son: los objetivos de rehabilitación, límites en costos de construcción, programa del proyecto, preservación histórica, apariencia de la edificación y disposición de espacios.

#### **14.4 *Determinación de deficiencias y potenciales causas de riesgos sísmicos***

Antes de hacer el proceso de rehabilitación, es recomendable realizar una evaluación general de las deficiencias de la edificación y potenciales causas de riesgos sísmicos.

Todas estas deficiencias de la edificación y potenciales causas de riesgos sísmicos se determinan con la evaluación de la edificación.

##### **14.4.1 *Factores del suelo***

Algunos de los factores que pueden considerarse son: Flexibilidad del suelo, profundidad del estrato compresible, potencial de licuefacción y deslizamiento de taludes

##### **14.4.2 *Configuraciones no deseables***

Deben detectarse configuraciones que representan potenciales causas de riesgo sísmico, entre estos los siguientes aspectos:

- Interrupción en la secuencia del flujo de fuerzas del origen al suelo
- Irregularidades verticales
- Irregularidades horizontales
- Combinaciones columna débil - viga fuerte
- Discontinuidad de elementos verticales
- Piso suave o débil
- Cambios bruscos en configuraciones en planta
- Evidencia de grandes excentricidades
- Cambios bruscos en configuraciones en altura
- Concentraciones de masa en pisos
- Cambio abrupto en la rigidez o masa entre pisos
- Interacción entre elementos no estructurales con la estructura principal
- Columnas cortas
- Poca separación entre edificios adyacentes que puedan provocar impacto entre ellos
- Falta de juntas sísmicas en configuraciones complejas en planta
- Elementos arquitectónicos que no respetan las juntas sísmicas
- Falsa simetría debido a disposición de elementos resistentes

### **14.4.3 Estructuras de concreto**

En estructuras de concreto, los reglamentos de diseño antes de los años 70, no exigían detalles para proveer ductilidad. De esta manera, es muy probable que edificaciones diseñadas anteriores a esos años tengan problemas con anclajes, discontinuidades en refuerzos, falta de confinamiento en columnas y nudos. Debido a que el diseño estaba regido por resistencia, esencialmente elástico, se puede esperar que las fallas ocurran abruptamente y que la degradación en rigidez y resistencia sea acelerada, es decir, que muestren un comportamiento frágil.

# 15 METODOS DE REHABILITACION

## 15.1 Información de la edificación actual

Se deben determinar las características de la estructura existente con relación con su comportamiento sísmico, tal como configuración, tipo, detalles, características y tipos de materiales, condiciones de los elementos estructurales y no estructurales, incluyendo cimientos y sus interconexiones. Es conveniente contar con los cálculos del proyecto que contengan estas características en planos o fotografías, con textos descriptivos. Las características actuales de la edificación se pueden obtener por:

- Observación de campo de condiciones y configuración
- Documento de construcción disponibles, análisis de ingeniería, reportes, exploraciones de suelos, historial de mantenimiento, datos y documentos de fabricantes
- Normas y códigos de referencia del período de construcción
- Pruebas destructivas y no destructivas de componentes de la edificación
- Entrevistas con propietarios, administradores, arquitectos e ingenieros del diseño original y oficinas municipales

### 15.1.1 Configuración de la edificación

Deben determinarse cuales elementos y componentes conforman los sistemas de resistencia de cargas verticales y laterales, así como los elementos no estructurales para identificar la configuración de la edificación.

Debe así mismo identificarse los flujos de fuerzas, para determinar el efecto de las modificaciones que se introduzcan en la rehabilitación.

### 15.1.2 Propiedades de los componentes

Se debe determinar la resistencia de los componentes existentes para dos propósitos: Permitir el cálculo de su capacidad de transmitir cargas a otros elementos o componentes y la determinación de su capacidad para resistir fuerzas y deformaciones.

La capacidad de deformación de los componentes debe calcularse para permitir la validación de las deformaciones globales de la edificación y su aceptabilidad para el objetivo de rehabilitación que se haya seleccionado. En general, las capacidades de los componentes son valores esperados (valores promedio) considerando los posibles efectos de endurecimiento por deformación y/o degradación.

Es necesario obtener el mayor “conocimiento” de la configuración, calidad de construcción, condiciones físicas y la interconexión de los componentes existentes a otros componentes para calcular su capacidad en resistencia y deformación. Este “conocimiento” puede obtenerse visualmente, con pruebas destructivas o no destructivas y/o mediciones en campo.

A pesar de tratar de obtener el mayor “conocimiento”, permanece cierta incertidumbre en relación con la validez de las capacidades en resistencia y deformación. Para tomar en cuenta esta incertidumbre se utiliza un factor de “conocimiento”  $\kappa$  en las evaluaciones de capacidad.

Los valores de  $\kappa$  dependen de la posibilidad de obtener el “conocimiento”. Se establecen dos valores para  $\kappa$ .

Cuando solamente se tiene un nivel mínimo de “conocimiento” se debe incluir un valor de 0.75 para  $\kappa$  en la capacidad del componente. Las siguientes características representan el caso de “conocimiento” mínimo:

- Están por lo general disponibles los registros de la construcción original y sus modificaciones, incluyendo planos estructurales y arquitectónicos. En ausencia de planos estructurales, se han preparado planos o esquemas de los sistemas resistentes de cargas verticales y laterales.
- Se ha realizado una inspección visual de los elementos y componentes primarios accesibles con verificación del tamaño, localización y conexiones de estos elementos.
- Se ha realizado un programa limitado de pruebas in-situ para determinar las propiedades de los materiales, condiciones de los componentes y dimensiones de los elementos primarios representativos con cuantificación de los efectos de deterioro. Si existe variación significativa en las condiciones o propiedades de los materiales, deben agruparse esos componentes con condiciones similares de manera que el coeficiente de variación dentro de un mismo grupo no exceda de 30%.
- “Conocimiento” de cualquier aspecto relacionado con el sitio, tales como choques con estructuras vecinas, efectos de muros tabiques, problemas de suelo y geológicos incluyendo riesgos de licuefacción, obtenidos a través de inspecciones e investigación.
- Se han examinado aspectos específicos de la cimentación y su influencia en el comportamiento de la edificación.

Cuando se ha obtenido un “conocimiento” y comprensión profundos de la configuración de componentes se usa un valor de 1.0 para  $\kappa$ . Se considera un “conocimiento” profundo cuando se cumplen con todas las condiciones siguientes:

- Se dispone de los registros originales de construcción, incluyendo planos y especificaciones, así como los datos de modificaciones post-construcción. En ausencia de planos estructurales, se han preparado planos o esquemas de los elementos estructurales primarios, con base en pruebas destructivas y/o no destructivas para determinar el tamaño, número, localización y tipo de ítem como pernos y varillas de refuerzo. Adicionalmente, se cuenta con documentación de elementos secundarios representativos.
- Pruebas exhaustivas in-situ para determinar las propiedades de los materiales, las condiciones y dimensiones de los componentes o registros de pruebas que se hayan realizado y que aseguren la calidad. Si existe variación significativa en las condiciones o propiedades de los materiales, deben agruparse esos componentes con condiciones similares de manera que el coeficiente de variación dentro de un mismo grupo no exceda de 20%.
- “Conocimiento” de cualquier aspecto relacionado con el sitio, tales como choques con estructuras vecinas, efectos de muros tabiques, problemas de suelo y geológicos incluyendo riesgos de licuefacción, obtenidos a través de inspecciones e investigación.
- Se han examinado aspectos específicos de la cimentación y su influencia en el comportamiento de la edificación.

Se recomienda que la investigación sea lo suficientemente profunda para obtener un solo valor de  $\kappa$  para todos los elementos y componentes de la edificación. Si esto no se logra deben usarse los valores individuales para cada componente o elemento.

Si se usa análisis no lineal, debe obtenerse un nivel de “conocimiento” profundo con un valor  $\kappa = 1.0$  para toda la estructura.

### **15.1.3 Características del sitio e información geotécnica**

Deben obtenerse información sobre las condiciones del sitio incluyendo la configuración de la cimentación para usarla en el análisis de la edificación. Se debe obtener información de documentos existentes, reconocimiento visual del sitio y un programa de investigación del subsuelo. Si no se dispone de datos geotécnicos de investigaciones previas debe realizarse una investigación del subsuelo en áreas sujetas a licuefacción,

deslizamientos y cuando se tenga un Objetivo de Rehabilitación Mejorada (ORM).

Debe notarse las modificaciones en la configuración de la cimentación y de las condiciones del sitio en relación con lo indicado en la documentación.

#### **15.1.4 Edificaciones adyacentes**

Deben obtenerse información de la configuración de las edificaciones adyacentes cuando éstas tengan una potencial influencia en el comportamiento de la estructura a rehabilitar. La información debe ser suficiente para permitir el análisis de la posible interacción entre edificaciones. En algunos casos no es posible obtener información adecuada sobre las estructuras adyacentes, por lo que deberá informarse al propietario sobre las potenciales consecuencias de las interacciones entre las edificaciones.

Cuando la separación entre edificaciones sea menor que el 4% de la altura de la edificación sobre el nivel del suelo, debe obtenerse información de la estructura adyacente para determinar la posibilidad de choque.

El choque entre edificaciones puede alterar la respuesta de la edificación al sismo e impartir fuerzas adicionales. Además puede presentarse gran daño en los elementos en las zonas de impacto.

Se debe tener información acerca de elementos compartidos entre edificaciones, como en el caso de muros tabiques. Estas condiciones pueden también alterar la respuesta de la estructura.

Las edificaciones adyacentes pueden representar riesgos adicionales a la edificación a rehabilitar por daños potenciales causados por elementos que puedan caer, derrames o fugas de materiales peligrosos, explosiones.

### **15.2 Métodos de rehabilitación**

Se pueden aplicar dos tipos de métodos para la rehabilitación:

- Método de rehabilitación simplificada
- Método de rehabilitación sistemática

### **15.3 Método de rehabilitación simplificada**

El método de rehabilitación simplificada permite diseñar medidas de rehabilitación de la edificación sin necesidad de analizar la respuesta sísmica de la edificación completa.

La rehabilitación simplificada puede aplicarse solamente a ciertos edificios pequeños. La principal intención de la rehabilitación simplificada es reducir eficientemente el riesgo sísmico usando objetivos de rehabilitación limitados (ORL). Se incluyen en las técnicas de rehabilitación simplificada las medidas para rehabilitación parcial, que enfatizan en deficiencias como parapetos y otros peligros exteriores de desprendimiento. A pesar de tener un alcance limitado, la rehabilitación simplificada se aplica a la mayoría de las edificaciones. El método de rehabilitación simplificada emplea procedimientos de análisis con fuerza estática equivalente, que se encuentra en la mayoría de códigos para edificaciones nuevas.

En este método se deben desarrollar detalles de refuerzo y modificaciones para mitigar las deficiencias usando básicamente el mismo estilo y materiales de construcción que la edificación original.

Se deben identificar y catalogar todas las deficiencias potenciales de la edificación usando los aspectos que se listan en la sección 15.5. Las deficiencias están más o menos ordenadas por prioridad usual, y no se listan todas las deficiencias a determinar.

Las medidas correctivas para mitigar las deficiencias encontradas deben ser determinadas por el ingeniero estructural.

El método de rehabilitación simplificada es en general más conservador que el método de rehabilitación sistemático, debido a las simplificaciones y a los requisitos de tamaño y regularidad de las edificaciones.

#### **15.4 Limitaciones para el uso del método de rehabilitación simplificado**

El método de rehabilitación simplificado se puede usar si se cumplen los siguientes requisitos:

- El número niveles de la edificación no debe exceder del máximo indicado en la tabla 15-1
- Se ha realizado una evaluación completa de la edificación, identificando todas las deficiencias de la sección 15.5
- Se cumple con los requisitos del Objetivo de Rehabilitación Limitado de la sección 13.3.3



Tabla 15-1. Máximo número de niveles para el uso del método de rehabilitación simplificado

Tipo de edificación	Número máximo de niveles según zona sísmica		
	Zona 2	Zona 3	Zona 4
Marcos de acero resistentes a momento			
Diafragma rígido	6	4	3
Diafragma flexible	4	4	3
Marcos de acero contraventeados			
Diafragma rígido	6	4	3
Diafragma flexible	3	3	3
Marcos de acero con muros estructurales	6	4	3
Marcos de acero con muros de mampostería infiltrados			
Diafragma rígido	3	3	
Diafragma flexible	3	3	
Marcos de concreto resistentes a momento	3		
Marcos de concreto con muros estructurales			
Diafragma rígido	6	4	3
Diafragma flexible	3	3	3
Marcos de concreto con muros de mampostería infiltrados	3		
Marcos de concreto prefabricados	3	2	
Muros de carga de mampostería reforzada			
Diafragma rígido	6	4	3
Diafragma flexible	3	3	3
Muros de carga de mampostería sin refuerzo	3	3	2

### 15.5 Aspectos a considerar para determinar deficiencias típicas en edificaciones

#### a) Marcos de acero resistentes a momento, con diafragmas rígidos o flexibles

- Secuencia del flujo de fuerzas del origen al suelo
- Redundancia
- Irregularidades verticales
- Irregularidades en planta
- Edificaciones adyacentes
- Marcos de acero
- Verificación de derivas
- Combinación columna fuerte – viga débil

- Conexiones
- Esquinas entrantes
- Aberturas en diafragmas
- Relación rigidez/resistencia en diafragmas
- Transferencia de cortante entre diafragmas y marcos
- Anclajes a cimientos
- Condiciones de cimientos
- Volteo
- Cargas laterales
- Amenaza sísmica en el sitio
- Condición del acero

**b) Marcos de acero contraventeados, con diafragmas rígidos o flexibles**

- Secuencia del flujo de fuerzas del origen al suelo
- Redundancia
- Irregularidades verticales
- Irregularidades en planta
- Edificaciones adyacentes
- Nivel de esfuerzos
- Rigideces de contravientos
- Conexiones del marco
- Esquinas entrantes
- Aberturas en diafragmas
- Relación rigidez/resistencia en diafragmas
- Transferencia de cortante entre diafragmas y marcos
- Anclajes a cimientos
- Condiciones de cimientos
- Volteo
- Cargas laterales
- Amenaza sísmica en el sitio
- Condición del acero

**c) Marcos de acero con muros estructurales**

- Secuencia del flujo de fuerzas del origen al suelo
- Redundancia
- Irregularidades verticales
- Irregularidades en planta
- Edificaciones adyacentes
- Muros estructurales
- Esfuerzo cortante
- Volteo
- Vigas de acoplamiento

- Detalles en elementos de borde
- Refuerzo de los muros
- Esquinas entrantes
- Aberturas en diafragmas
- Relación rigidez/resistencia en diafragmas
- Transferencia de cortante entre diafragmas y muros
- Anclajes a cimientos
- Condiciones de cimientos
- Volteo
- Cargas laterales
- Amenaza sísmica en el sitio
- Condición del acero
- Condición del concreto

**d) Marcos de acero con muros de mampostería infiltrados, con diafragmas rígidos o flexibles**

- Secuencia del flujo de fuerzas del origen al suelo
- Redundancia
- Irregularidades verticales
- Irregularidades en planta
- Edificaciones adyacentes
- Marcos que no son parte del sistema resistente a fuerzas laterales
- Muros estructurales de mampostería
- Refuerzo en muros de mampostería
- Esfuerzo cortante
- Refuerzo en aberturas
- Muros estructurales de mampostería no reforzada
- Proporciones de muros sólidos
- Muros infiltrados
- Esquinas entrantes
- Aberturas en diafragmas
- Relación rigidez/resistencia en diafragmas
- Relación claro/peralte
- Transferencia de cortante entre diafragmas y muros
- Anclaje para fuerzas normales
- Anclajes a cimientos
- Condiciones de cimientos
- Volteo
- Cargas laterales
- Amenaza sísmica en el sitio
- Condición del acero
- Calidad de la mampostería

**e) Marcos de concreto resistentes a momento**

- Secuencia del flujo de fuerzas del origen al suelo
- Redundancia
- Irregularidades verticales
- Irregularidades en planta
- Edificaciones adyacentes
- Compatibilidad de deflexiones
- Marcos de concreto
- Verificaciones rápidas, detalles de marcos y detalles no dúctiles
- Marcos prefabricados
- Marcos que no son parte del sistema resistente a fuerzas laterales
- Columnas cortas
- Esquinas entrantes
- Aberturas en diafragmas
- Relación rigidez/resistencia en diafragmas
- Transferencia de cortante entre diafragmas y marcos
- Conexiones de prefabricados
- Anclajes a cimientos
- Condiciones de cimientos
- Volteo
- Cargas laterales
- Amenaza sísmica en el sitio
- Condición del concreto

**f) Muros estructurales**

- Secuencia del flujo de fuerzas del origen al suelo
- Redundancia
- Irregularidades verticales
- Irregularidades en planta
- Compatibilidad de deflexiones
- Marcos que no son parte del sistema resistente a fuerzas laterales
- Columnas cortas
- Muros estructurales
- Esfuerzo cortante
- Volteo
- Vigas de acoplamiento
- Detalles en elementos de borde
- Refuerzo de los muros
- Esquinas entrantes
- Aberturas en diafragmas
- Relación rigidez/resistencia en diafragmas

- Transferencia de cortante entre diafragmas y muros
- Conexiones de prefabricados
- Anclajes a cimientos
- Condiciones de cimientos
- Volteo
- Cargas laterales
- Amenaza sísmica en el sitio
- Condición del concreto

**g) Marcos de concreto con muros de mampostería infiltrados, con diafragmas rígidos o flexibles**

- Secuencia del flujo de fuerzas del origen al suelo
- Redundancia
- Irregularidades verticales
- Irregularidades en planta
- Compatibilidad de deflexiones
- Marcos que no son parte del sistema resistente a fuerzas laterales
- Muros de mampostería
- Refuerzo en muros de mampostería
- Esfuerzo cortante
- Refuerzo en aberturas
- Muros estructurales de mampostería no reforzada
- Proporciones de muros sólidos
- Muros infiltrados
- Esquinas entrantes
- Aberturas en diafragmas
- Relación rigidez/resistencia en diafragmas
- Relación claro/peralte
- Transferencia de cortante entre diafragmas y muros
- Anclajes a cimientos
- Condiciones de cimientos
- Volteo
- Cargas laterales
- Amenaza sísmica en el sitio
- Condición del concreto
- Calidad de la mampostería

**h) Muros de concreto prefabricados con diafragmas rígidos**

- Secuencia del flujo de fuerzas del origen al suelo
- Redundancia
- Irregularidades verticales

- Irregularidades en planta
- Muros de concreto prefabricados
- Conexiones entre paneles
- Aberturas en muros
- Esquinas entrantes
- Aberturas en diafragmas
- Relación rigidez/resistencia en diafragmas
- Transferencia de cortante entre diafragmas y muros
- Anclajes para fuerza normales
- Conexiones vigas/muros
- Anclajes a cimientos
- Condiciones de cimientos
- Volteo
- Cargas laterales
- Amenaza sísmica en el sitio
- Condición del concreto

**i) Muros de concreto prefabricados con diafragmas flexibles**

- Secuencia del flujo de fuerzas del origen al suelo
- Redundancia
- Irregularidades verticales
- Irregularidades en planta
- Compatibilidad de deflexiones
- Muros de concreto prefabricados
- Conexiones entre paneles
- Aberturas en muros
- Esquinas entrantes
- Amarres
- Aberturas en diafragmas
- Relación rigidez/resistencia en diafragmas
- Relación claro/peralte
- Continuidad de cordones
- Transferencia de cortante entre diafragmas y muros
- Anclajes para fuerza normales
- Conexiones vigas/muros
- Rigidez de anclajes de muros
- Anclajes a cimientos
- Condiciones de cimientos
- Volteo
- Cargas laterales
- Amenaza sísmica en el sitio
- Condición del concreto

**j) Marcos de concreto prefabricado con muros estructurales**

- Secuencia del flujo de fuerzas del origen al suelo
- Redundancia
- Irregularidades verticales
- Irregularidades en planta
- Compatibilidad de deflexiones
- Marcos de concreto
- Muros estructurales
- Esfuerzo cortante
- Volteo
- Vigas de acoplamiento
- Detalles en elementos de borde
- Refuerzo de los muros
- Esquinas entrantes
- Amarres
- Aberturas en diafragmas
- Relación rigidez/resistencia en diafragmas
- Transferencia de cortante entre diafragmas y muros
- Anclajes para fuerza normales
- Conexiones vigas/muros
- Conexiones prefabricadas
- Anclajes a cimientos
- Condiciones de cimientos
- Volteo
- Cargas laterales
- Amenaza sísmica en el sitio
- Condición del concreto

**k) Marcos de concreto prefabricado sin muros estructurales**

- Secuencia del flujo de fuerzas del origen al suelo
- Redundancia
- Irregularidades verticales
- Irregularidades en planta
- Edificaciones adyacentes
- Compatibilidad de deflexiones
- Marcos de concreto
- Marcos que no son parte del sistema resistente a fuerzas laterales
- Columnas cortas
- Esquinas entrantes
- Aberturas en diafragmas
- Relación rigidez/resistencia en diafragmas
- Transferencia de cortante entre diafragmas y marcos

- Conexiones prefabricadas
- Anclajes a cimientos
- Condiciones de cimientos
- Volteo
- Cargas laterales
- Amenaza sísmica en el sitio
- Condición del concreto

**l) Muros de carga de mampostería reforzada con diafragmas rígidos**

- Secuencia del flujo de fuerzas del origen al suelo
- Redundancia
- Irregularidades verticales
- Irregularidades en planta
- Muros estructurales de mampostería
- Refuerzo en muros de mampostería
- Esfuerzo cortante
- Refuerzo en aberturas
- Esquinas entrantes
- Aberturas en diafragmas
- Relación rigidez/resistencia en diafragmas
- Transferencia de cortante entre diafragmas y muros
- Anclajes para fuerzas normales
- Anclajes a cimientos
- Condiciones de cimientos
- Amenaza sísmica en el sitio
- Condición de la mampostería

**m) Muros de carga de mampostería reforzada con diafragmas flexibles**

- Secuencia del flujo de fuerzas del origen al suelo
- Redundancia
- Irregularidades verticales
- Irregularidades en planta
- Muros estructurales de mampostería
- Refuerzo en muros de mampostería
- Esfuerzo cortante
- Refuerzo en aberturas
- Esquinas entrantes
- Amarres
- Aberturas en diafragmas
- Relación rigidez/resistencia en diafragmas
- Relación claro/peralte
- Transferencia de cortante entre diafragmas y muros



- Anclajes para fuerzas normales
- Rigidez de anclajes de muros
- Anclajes a cimientos
- Condiciones de cimientos
- Amenaza sísmica en el sitio
- Calidad de la mampostería

**n) Muros de carga de mampostería no reforzada con diafragmas rígidos**

- Secuencia del flujo de fuerzas del origen al suelo
- Redundancia
- Irregularidades verticales
- Irregularidades en planta
- Edificaciones adyacentes
- Muros estructurales de mampostería
- Muros estructurales de mampostería no reforzada
- Propiedades en muros sólidos
- Esquinas entrantes
- Aberturas en diafragmas
- Relación rigidez/resistencia en diafragmas
- Transferencia de cortante entre diafragmas y muros
- Anclajes para fuerzas normales
- Anclajes a cimientos
- Condiciones de cimientos
- Amenaza sísmica en el sitio
- Condición de la mampostería

**o) Muros de carga de mampostería reforzada con diafragmas flexibles**

- Secuencia del flujo de fuerzas del origen al suelo
- Redundancia
- Irregularidades verticales
- Irregularidades en planta
- Edificaciones adyacentes
- Muros estructurales de mampostería
- Muros estructurales de mampostería no reforzada
- Propiedades en muros sólidos
- Esquinas entrantes
- Amarres
- Aberturas en diafragmas
- Relación rigidez/resistencia en diafragmas
- Relación claro/peralte
- Transferencia de cortante entre diafragmas y muros
- Anclajes para fuerzas normales

- Rigidez de anclajes de muros
- Anclajes a cimientos
- Condiciones de cimientos
- Amenaza sísmica en el sitio
- Calidad de la mampostería

### **15.6 Método de rehabilitación sistemática**

La rehabilitación sistemática puede aplicarse a cualquier edificio e implica la revisión de cada elemento estructural o componente existente (un elemento como un marco está compuesto por componentes como vigas y columnas), el diseño de nuevos y la verificación de una interacción global para los desplazamientos y fuerzas internas que se esperan. El método de rehabilitación sistemática se basa en el comportamiento no lineal de la respuesta estructural.

Para la rehabilitación sistemática, pueden usarse cuatro procedimientos diferentes: estático lineal, dinámico lineal, estático no lineal y dinámico no lineal. La selección del método analítico depende de las características del edificio. Los procedimientos lineales, aunque mantienen el tradicional uso de la relación lineal esfuerzo- deformación, deben incorporar ajustes a las deformaciones globales del edificio y criterios de aceptación del material para permitir una mejor consideración de las características no lineales de la respuesta sísmica. Puede usarse un procedimiento estático no lineal, como el llamado análisis “pushover” usando técnicas no lineales simplificadas para estimar las deformaciones sísmicas estructurales. El procedimiento dinámico no lineal, conocido como análisis histórico no lineal puede usarse.

Cuando no se cumplen con los requisitos para aplicar la rehabilitación simplificada, se debe usar el método de rehabilitación sistemática.

El método consiste en un proceso iterativo iniciando con el análisis de la estructura para verificar si se cumple con el (los) Objetivos(s) de Rehabilitación. En el caso de incumplimiento, se identifican las deficiencias y se desarrollan una o más estrategias de rehabilitación con lo que se obtiene una rehabilitación preliminar.

Con esta rehabilitación preliminar se analiza nuevamente la estructura y se verifica que se cumpla con el (los) Objetivos(s) de Rehabilitación.

El proceso se repite hasta que se cumpla con el (los) Objetivos(s) de Rehabilitación.

### **15.7 Procedimientos de análisis**

Debe hacerse el análisis de la estructura para determinar la distribución de fuerzas y

deformaciones inducidas en la estructura por el sismo seleccionado según el objetivo de rehabilitación. Del análisis se deberá obtener la demanda sísmica para todos los elementos de la estructura ya sea que sea:

- Esencial para la estabilidad lateral de la estructura (elementos primarios)
- Esencial para el sistema de resistencia a las cargas verticales
- Crítico según el objetivo de rehabilitación y que pueda ser dañado como resultado de la respuesta de la edificación al sismo

El análisis deberá ser de alguno de los siguientes tipos:

- Análisis estático lineal
- Análisis dinámico lineal
- Análisis de respuesta espectral
- Análisis lineal histórico
- Análisis estático no lineal
- Análisis dinámico no lineal
- Otro tipo de análisis racional

#### **15.7.1 Procedimientos lineales**

Los procedimientos lineales pueden usarse para cualquier tipo de rehabilitación contenido en la sección 14.1, exceptuando los que incorporan sistemas suplementarios de disipación de energía y sistemas de aislamiento sísmico.

Los procedimientos lineales no deberán usarse en edificaciones con grandes irregularidades, a menos que la demanda de ductilidad sea bastante baja.

#### **15.7.2 Aplicabilidad de procedimientos lineales**

La metodología descrita en esta sección puede ser usada para determinar si los procedimientos lineales son suficientemente precisos para analizar la estructura.

Se utiliza un análisis lineal, examinando los resultados para identificar la magnitud y uniformidad de la distribución de las demandas inelásticas en los diferentes componentes de los elementos del sistema resistente a carga lateral. La magnitud y distribución de las demandas inelásticas se indican con las relaciones de demanda-capacidad (RDC). Estas RDC no indican si los elementos tienen un comportamiento son adecuado o no, sino solamente sirven para determinar la regularidad de la estructura. Algunas estructuras son evidentemente tan irregulares que no es necesario usar este procedimiento y proceder a un análisis no lineal.

Las RDC para los componentes tanto existentes como añadidos está definido por

$$RDC = \frac{Q_D}{Q_E} \quad (15-1)$$

donde,

- $Q_D$  = Fuerza calculada debido a las cargas gravitacionales y laterales
- $Q_E$  = Resistencia esperada del componente o elemento

Las RDC deben calcularse para cada acción de control tal como carga axial, momento, cortante, etc., para cada componente. Si todos las RDC de control en un componente son menores o iguales a 1, entonces el componente se espera que responda elásticamente, de lo contrario se espera una respuesta inelástica. La mayor RDC de un componente define la acción crítica para ese componente.

Si las RDC calculados para todas las acciones críticas de todos los componentes de los elementos primarios son menores que 2, entonces se puede aplicar un procedimiento lineal independientemente de la regularidad de la estructura.

Si alguna(s) de las RDC excede(n) de 2, un procedimiento lineal no debe usarse si se cumple con algunos de los requisitos siguientes:

- Existe una discontinuidad en cualquier elemento primario en el plano del sistema de resistencia a carga lateral. Las discontinuidades en un plano ocurren cuando un elemento del sistema resistente a carga lateral está presente en un piso, pero no continúa o está fuera del plano en el piso inmediatamente inferior.
- Existe irregularidad severa de piso suave en cualquier piso en cualquier dirección de la edificación. Una irregularidad severa de piso suave se estima que existe si la razón entre el promedio de RDC por corte de cualquier piso al de un piso adyacente en la misma dirección excede de 125%. El RDC promedio de un piso puede calcularse por

$$RDC = \frac{\sum_{i=1}^n RDC_i V_i}{\sum_{i=1}^n V_i} \quad (15-2)$$

donde,

- $RDC$  = Promedio de RCD en el piso
- $RDC_i$  = de la acción crítica para el elemento  $i$
- $V_i$  = Fuerza de corte por carga lateral en el elemento  $i$  durante la respuesta sísmica suponiendo que la estructura permanece elástica
- $n$  = Número total de elementos en el piso

Para edificaciones con diafragmas flexibles, cada línea de estructuración debe ser evaluada independientemente.

- Existe una irregularidad severa en la resistencia torsional en algún piso. Una irregularidad severa en la resistencia torsional se estima que existe en un piso cuando el diafragma superior no es flexible y la razón entre la RDC crítica de elementos primarios en un lado del centro de resistencia en una dirección y la del otro lado de este centro excede de 1.5.

Adicionalmente, si algunos de los aspectos siguientes se cumple, el procedimiento lineal no puede ser estático, sino dinámico.

- La altura de la edificación es mayor que 30 metros.
- La relación entre las dimensiones horizontales de la edificación en cualquier piso y un piso adyacente, en la misma dirección excede de 1.4 (excepto cobertizos en techo).
- Existe irregularidad severa en la resistencia torsional en cualquier piso. Una irregularidad severa en la resistencia torsional se estima que existe en un piso si el diafragma superior no es flexible y los resultados del análisis indican que la deriva a lo largo de cualquier lado de la estructura es mayor que 150% de la deriva promedio en el piso.
- Existe irregularidad severa en la masa o rigidez. Una irregularidad severa en la masa o rigidez se estima que existe cuando la deriva promedio en un piso (excepto cobertizos en techo) excede a la del piso inmediato superior o inferior en más de 150%.
- El edificio no tiene un sistema ortogonal resistente a cargas laterales.

### **15.7.3 Procedimientos no lineales**

Los procedimientos de análisis no lineales pueden usarse para cualquier estrategia de rehabilitación.

Cuando exista participación significativa de los modos altos en la respuesta, debe usarse un procedimiento dinámico.

Sin embargo, un procedimiento dinámico no lineal debe utilizarse solamente si se tiene “conocimiento” profundo de la estructura como se indica en la sección 15.1.2 y sea sujeto a la revisión de un ingeniero estructural con suficiente experiencia en el diseño sísmico y procedimientos no lineales.

#### **15.7.4 *Otro tipo de análisis racional***

Se puede usar cualquier método de análisis que sea racional basado en los principios fundamentales de la mecánica y dinámica, y estará sujeto a la revisión de un ingeniero estructural con suficiente experiencia en el diseño sísmico.

## 16 DISEÑO DE LA REHABILITACION

### 16.1 Rehabilitación simplificada

Una vez determinadas las estrategias de rehabilitación se deben diseñar las medidas correctivas para mitigar las deficiencias detectadas como se establece en la sección 15.5.

### 16.2 Rehabilitación sistemática

Se deben determinar detalles de los sistemas de rehabilitación preliminares de acuerdo con las estrategias escogidas y determinar la interacción de la rigidez, resistencia y comportamiento post-fluencia de todos los elementos existentes, modificados y nuevos usados para el sistema de resistencia a cargas laterales. Con este diseño preliminar se debe desarrollar un modelo matemático para el análisis usando el procedimiento y luego verificar si se cumplen con los requisitos de aceptación según el Objetivo de Rehabilitación y que sea económicamente aceptable.

# 17 CRITERIOS DE ACEPTABILIDAD

## 17.1 Criterios generales de aceptabilidad

Después del análisis, los diferentes elementos de la estructura deben ser evaluados en sus acciones para determinar si su comportamiento es aceptable, ya sea si el comportamiento es dúctil (controlado por deformación) o bien no dúctil (controlado por fuerza).

## 17.2 Procedimientos lineales

La curva tipo 1 de la figura 17-1 representa un comportamiento dúctil típico. Se caracteriza por un rango elástico que parte del punto 0 al punto 1, seguido por una zona plástica (puntos 1 al 3) que incluye un posible endurecimiento por deformación (puntos 1 a 2) y un rango de degradación de la resistencia (puntos 2 a 3) en el que se presenta una resistencia residual sustancialmente menor que la resistencia máxima, pero aún significativa. Para los elementos primarios, el criterio de aceptabilidad está en los rangos elástico y plástico entre los puntos 1 y 2, mientras que para los elementos secundarios, el criterio de aceptabilidad se encuentra en cualquier parte hasta el punto 3. Si las acciones de los componentes primarios tienen un rango de endurecimiento por deformación suficientemente grande ( $e > 2g$ ), se consideran controlados por deformación, de lo contrario se consideran controlados por fuerza. Los elementos secundarios que muestran este comportamiento se consideran controlados por deformación.

La curva tipo 2 de la figura 17-2 representa también un comportamiento dúctil, solamente que después del endurecimiento por deformación, la curva muestra una rápida pérdida de la resistencia. Si el rango plástico es suficientemente grande ( $e > 2g$ ), se considera que el comportamiento está controlado por deformación, de lo contrario se considera controlado por fuerza. Tanto para los elementos primarios como secundarios, los criterios de aceptabilidad están entre los rangos elástico y plástico, dependiendo del nivel de comportamiento seleccionado.

La curva tipo 3 de la figura 17-3 representa un comportamiento frágil o no dúctil. Se caracteriza porque después del rango elástico se presenta una rápida pérdida de la resistencia. Las acciones de los componentes con este comportamiento siempre se consideran controlados por fuerza. Los criterios de aceptabilidad están en el rango elástico para componentes primarios y secundarios.

En estas figuras,  $Q_y$  representa la resistencia de fluencia del componente. Cuando se evalúa el comportamiento de componentes controlados por deformación,  $Q_y$  se sustituye



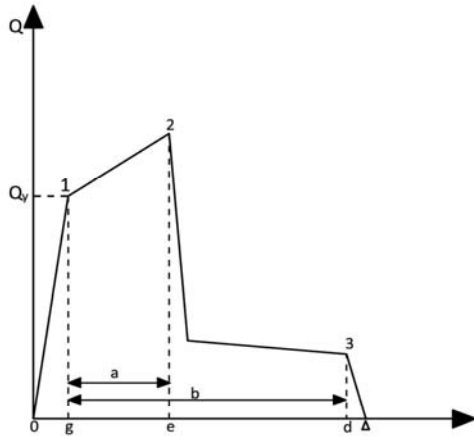
por  $Q_E$  para tomar en cuenta las variaciones inherentes a los materiales, así como las causadas por la mano de obra y las condiciones físicas reales. Si se evalúa un elemento controlado por fuerza, se utiliza un nivel inferior de resistencia  $Q_L$ .  $Q_L$  está definido estadísticamente por el promedio menos una desviación estándar de las resistencias  $Q_y$  de los componentes similares.

En las figuras 17-4 a 17-6 se muestran las curvas idealizadas fuerza contra deformación que se usan para especificar los criterios de aceptabilidad para los componentes y elementos controlados por deformación para diferentes tipos de materiales. La respuesta lineal parte del punto A hasta la fluencia efectiva en el punto B. La pendiente de la parte B a C es típicamente un pequeño porcentaje (0 a 10%) de la pendiente de la parte lineal y representa el endurecimiento por deformación. El punto C tiene una ordenada que representa la resistencia del componente y por abscisa un valor que equivale a la deformación en la cual empieza una degradación significativa de la resistencia. Después del punto D, el componente responde con una reducción significativa de la resistencia hasta el punto E. Para deformaciones mayores al punto E, la resistencia del componente es cero.

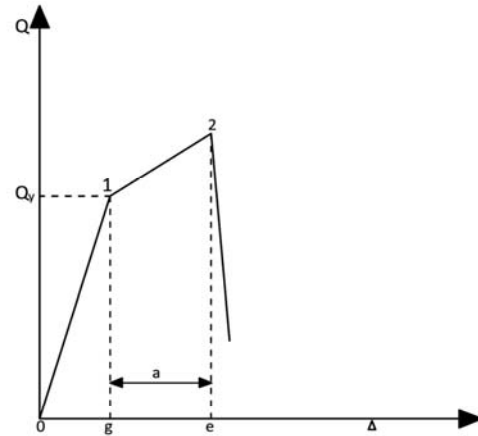
Para algunos componentes es conveniente establecer los criterios de aceptabilidad en términos de la deformación absoluta, mientras que en otros es mejor en términos de relaciones de deformación. La figura 17-4 muestra la fuerza normalizada  $Q/Q_E$  contra la deformación ( $\theta$  o  $\Delta$ ) y los parámetros a, b y c. La figura 17-5 muestra la fuerza normalizada  $\theta/Q_E$  contra la relación de deformación ( $\theta/\theta_y$ ,  $\Delta/\Delta_y$  o  $\Delta/h$ ) y los parámetros d, e y c.

Los parámetros a, b, c, d y e son diferentes dependiendo del material y tipo de estructura. Para los valores específicos puede consultarse la publicación “NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings (FEMA 273).

La figura 17-6 muestra en forma aproximada las deformaciones o relaciones de deformaciones que se estiman aceptables para los elementos primarios y secundarios según el nivel de comportamiento de Ocupación Inmediata (O.I.), Protección de la vida (P.V.) y Prevención del colapso (P.C.).

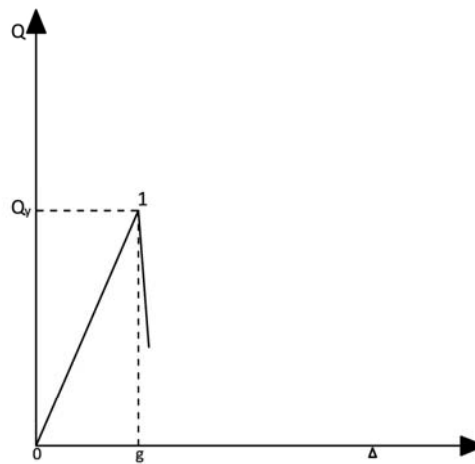


**Curva tipo 1**



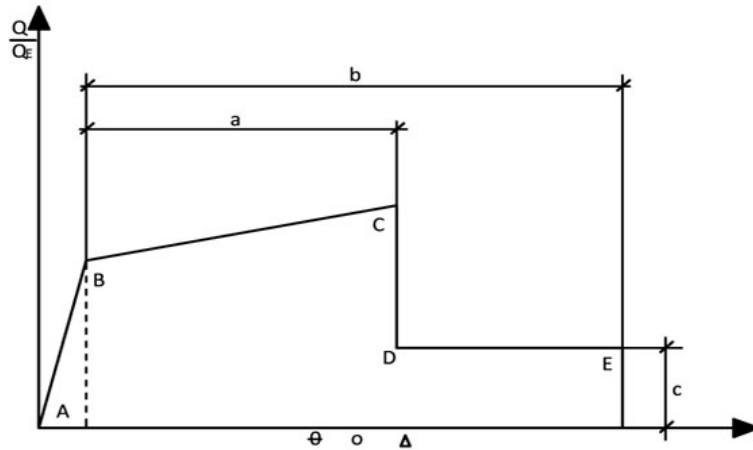
**Curva tipo 2**

**Figuras 17-1 y 17-2. Curvas típicas de comportamiento dúctil**



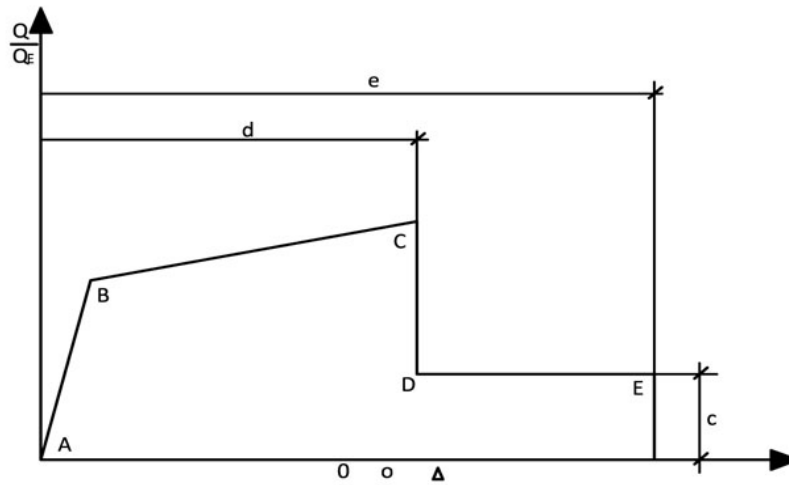
**Curva tipo 3**

**Figuras 17-3. Curva típica de comportamiento no dúctil**



**Deformación**

Figura 17-4. Curva fuerza normalizada contra deformación absoluta.



**Relación de deformación**

Figura 17-5. Curva fuerza normalizada contra relación de deformación.

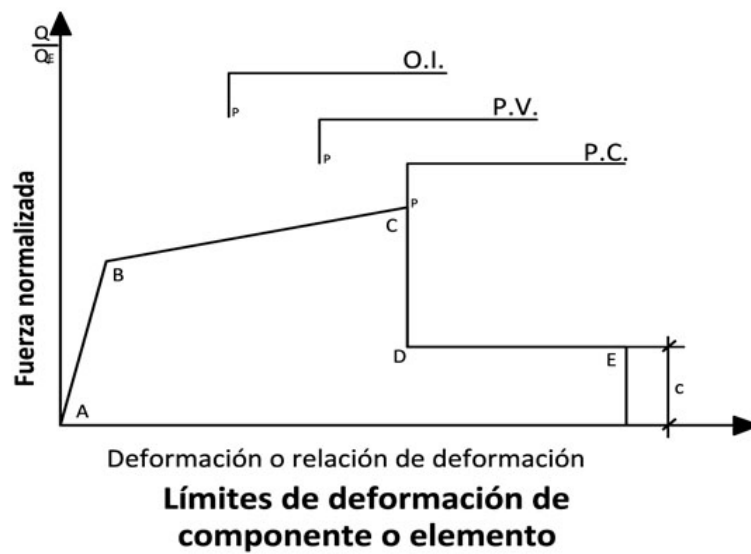


Figura 17-6. Curva fuerza normalizada contra deformación para niveles de comportamiento.

Tabla 17-1. Cálculo de capacidades de acciones en componentes – Procedimientos lineales

Parámetro	Control por deformación	Control por fuerza
Resistencia de material existente	Valor promedio esperado permitiendo endurecimiento por deformación	Valor de nivel inferior (aproximadamente nivel $-1\sigma$ )
Capacidad de acción existente	$\kappa \cdot Q_E$	$\kappa \cdot Q_E$
Resistencia de material nuevo	Resistencia esperada del material	Resistencia especificada del material
Capacidad de acción nueva	$Q_E$	$Q_E$

### 17.2.1 Acciones controlados por deformación

Las acciones controladas por deformación en componentes y elementos primarios y secundarios deben satisfacer la ecuación siguiente

$$m\kappa Q_E \geq Q_D \quad (17-1)$$

donde,

- m = modificador de la demanda del componente o elemento para tomar en cuenta la ductilidad esperada de la deformación asociada con esta acción
- $\kappa$  = factor de “conocimiento”
- $Q_E$  = resistencia esperada del componente o elemento en el nivel de deformación
- $Q_D$  = acción de diseño debido a cargas gravitacionales y laterales de sismo

El modificador m depende del material y tipo de estructura. Para valores específicos de m puede consultarse la publicación “NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings (FEMA 273).

### 17.2.2 *Acciones controladas por fuerza*

Las acciones controladas por fuerza en componentes y elementos primarios y secundarios deben satisfacer la ecuación siguiente

$$\kappa Q_L \geq Q_F \quad (17-2)$$

donde,

$Q_L$  = nivel inferior de resistencia del componente o elemento en el nivel de deformación

$Q_F$  = acción de diseño debido a cargas gravitacionales y laterales de sismo

### 17.3 **Procedimientos no lineales**

Si se usan procedimientos no lineales, las capacidades de los componentes consisten en demandas de deformación inelástica en el caso de componentes controlados por deformación y de demandas de resistencia permisible para componentes controlados por fuerza.

#### 17.3.1 *Acciones controlados por deformación*

Los componentes primarios y secundarios deben tener las capacidades de deformación esperadas no menores que la deformación máxima.

#### 17.3.2 *Acciones controladas por fuerza*

Los componentes primarios y secundarios deben tener las resistencias  $Q_L$  no menores que las acciones de diseño máximas.

Tabla 17-2 Cálculo de capacidades de acciones en componentes – Procedimientos no lineales

Parámetro	Control por deformación	Control por fuerza
Capacidad de deformación para componente existente	$\kappa \cdot \text{límite de deformación}$	No aplicable
Capacidad de deformación para componente nuevo	$\kappa \cdot Q_E$	No aplicable
Capacidad de resistencia para componente existente	No aplicable	$\kappa \cdot Q_L$
Capacidad de resistencia para componente nuevo	No aplicable	$Q_L$

# 18 ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES

## 18.1 Generalidades

En esta sección se tratará la rehabilitación de elementos no estructurales: arquitectónicos, mecánicos y eléctricos que están permanentemente instalados en edificaciones, o que son parte integral del sistema de la edificación, incluyendo sus soportes y anclajes.

## 18.2 Elementos no estructurales

La lista siguiente es una guía de los elementos no estructurales a evaluar y rehabilitar, agrupados por tipo, sin que ser limitativa.

### A. Arquitectónicos

1. Elementos de muros exteriores
  - Revestimientos adheridos
  - Revestimientos anclados
  - Bloques de vidrio
  - Paneles prefabricados
  - Sistemas de vidrieras
2. Particiones
3. Revestimientos interiores
  - Piedra, mármol, etc.
  - Azulejo
4. Cielos
  - Aplicados directamente a la estructura
  - Suspendidos
5. Parapetos y aditamentos
6. Cenefas y marquesinas
7. Chimeneas
8. Escaleras

### B. Mecánicos e hidráulicos

1. Equipo mecánico
  - Calderas y hornos
  - Maquinaria para procesos y manufacturas
  - Equipo de extracción
  - Sistemas de aire acondicionado y sus ductos
  - Ascensores



2. Depósitos y calentadores
  3. Tuberías
  4. Sistema contra incendio
  5. Tuberías para fluidos diversos
  6. Ductería
- C. Eléctricos y de comunicaciones
1. Equipo eléctrico y de comunicaciones
  2. Equipo de distribución eléctrica y de comunicaciones
  3. Lámpara
    - Montadas en superficie
    - Integradas al cielo
    - Colgantes
- D. Muebles y equipo interior
1. Estantes de almacenamiento
  2. Librerías
  3. Plataformas para computadoras
  4. Almacenamiento de materiales peligrosos
  5. Estantes para computadoras y de comunicación

### 18.3 Salidas

Además deben revisarse y rehabilitarse en caso necesario, los medios de salida, escape y rescate. Deben observarse entre otros aspectos:

- Los muros alrededor de escaleras, ascensores y corredores no deben ser de mampostería no reforzada.
- Los ductos de escaleras no deben tener ninguna tubería ni equipo, excepto los requeridos para la protección de la vida.
- Los revestimientos, cornisas y otros aditamentos sobre salidas deben estar debidamente anclados al sistema estructural.
- Los parapetos y cenefas están anclados de manera que no puedan obstruir las salidas.

### 18.4 Interacción estructural – no estructural

En los casos en que un componente no estructural modifica la resistencia o rigidez de los elementos estructurales de la edificación, o su masa afecta las cargas, sus características deben ser tomadas en cuenta en el análisis estructural de la edificación. Se debe tener cuidado especial en identificar muros de mampostería infiltrada que pueden reducir la longitud efectiva de las columnas adyacentes.



CON EL APOYO DE:

