



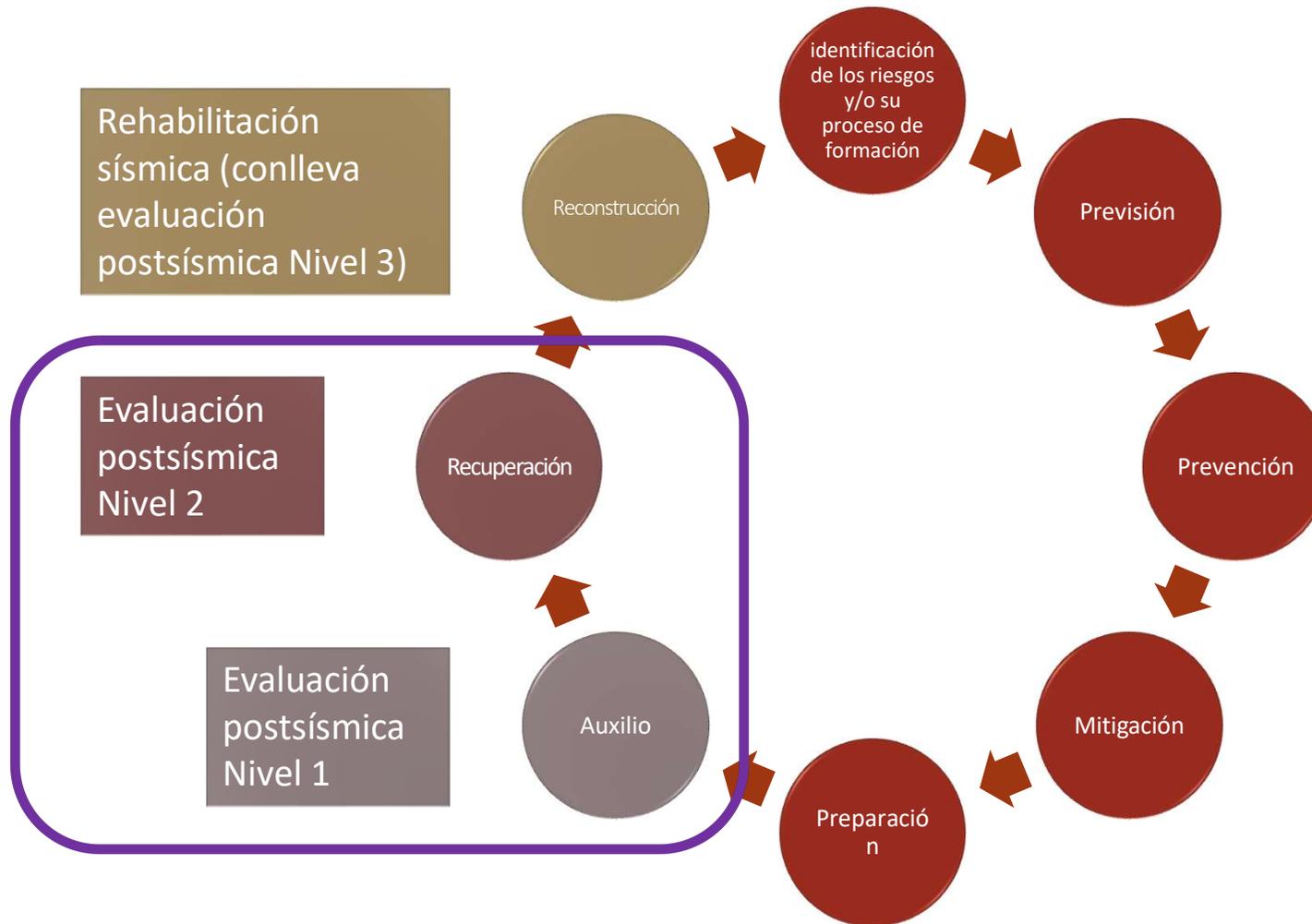
# Metodología de evaluación postsísmica de la infraestructura física educativa

---

SERGIO M. ALCO CER, RUBÉN BAUTISTA  
INSTITUTO DE INGENIERÍA, UNAM

Febrero, 2021

# Ciclo de la Gestión Integral de Riesgos – caso de un sismo



## Propuesta MEPS. Criterio general

*Tiempo después  
del sismo*

### Nivel 1

- ✓ **Método de Evaluación Rápida**
- ✓ ¿Se puede entrar y usar?
- ✓ R: Sí (**Verde**), no (**Rojo**), dudas (**Amarillo**)

Día 0, días

### Nivel 2

- ✓ **Método de Evaluación Intermedia**
- ✓ ¿Se confirma Aviso de Nivel 1? (V, R, A)
- ✓ ¿Requiere rehabilitación estructural? ¿Se debe demoler?

Días, semanas

### Nivel 3

- ✓ **Método de Evaluación Profunda**
- ✓ Diseño de la rehabilitación estructural (consideraciones estructurales, geotécnicas, de construcción y de supervisión)

Semanas, meses

## Documentos

Evaluación postsísmica... – Volumen 1: Metodología

Evaluación postsísmica... – Volumen 2: Introducción al comportamiento sísmico de estructuras

Evaluación postsísmica... Manual de campo

Rehabilitación sísmica de la infraestructura física educativa de México. Guía técnica.

Niveles 1 y 2

Nivel 3

# EVALUACIÓN POSTSÍSMICA DE LA INFRAESTRUCTURA FÍSICA EDUCATIVA DE MÉXICO VOLUMEN 1: METODOLOGÍA

## Evaluación postsísmica de la infraestructura física educativa de México VOLUMEN 1: **METODOLOGÍA**



# Descripción

- § El propósito es describir la **metodología de evaluación postsísmica** de la infraestructura física educativa de México, que permita definir el estado de su seguridad estructural.
- § Los procedimientos pretenden lograr **uniformidad en la clasificación del daño de los edificios**.
- § Contribuye a contar con un **plan de inspecciones**, así como a dar elementos para que el sistema cuente con la capacidad de respuesta y se pueda **comunicar el resultado de la inspección a la comunidad educativa de la mejor manera**.

# Contenidos

Prefacio

Capítulo 1. Introducción

Capítulo 2. Notación

Capítulo 3. Descripción de los daños por sismo más usuales...

Capítulo 4. Procedimientos generales para la evaluación post sísmica de edificios escolares

Capítulo 5. Método de Evaluación Rápida (MER)

Capítulo 6. Método de Evaluación Intermedia (MEI)

Capítulo 7. Inspección de estructuras de mampostería

Capítulo 8. Inspección de estructuras de concreto

Capítulo 9. Inspección de estructuras de acero

Capítulo 10. Inspección de fallas y peligros geotécnicos

Capítulo 11. Inspección de peligros no estructurales

Capítulo 12. Inspección cuando existen materiales peligrosos

Capítulo 13. Comportamiento humano tras los sismos

Capítulo 14. Seguridad en campo

Capítulo 15. Guía informativa para la comunidad escolar

Glosario, Referencias, Apéndices (avisos, formatos, procedimientos de medición y criterios de evaluación)

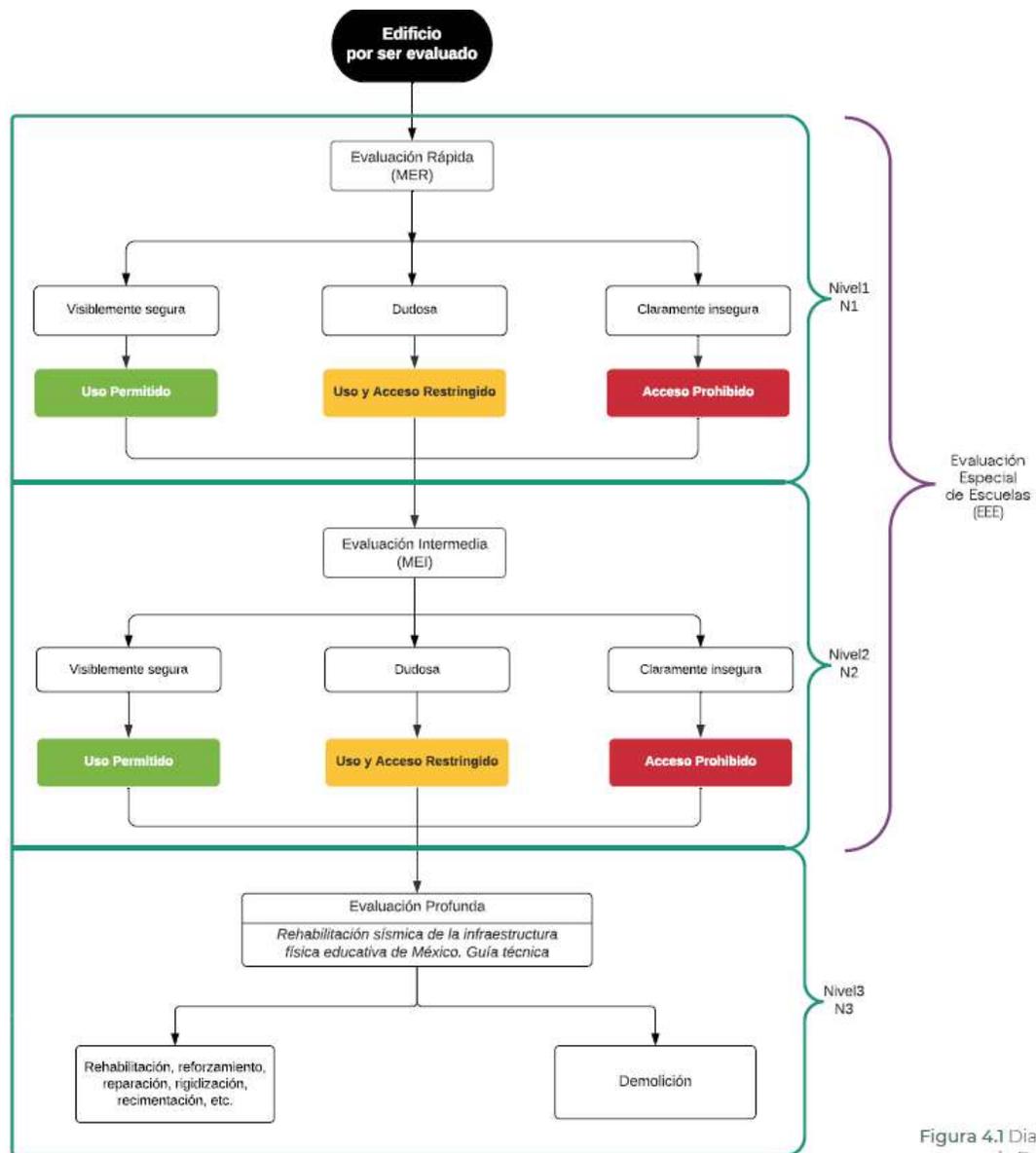


Figura 4.1 Diagrama de flujo del procedimiento de Evaluación Postsísmica de Escuelas.  
Fuente: elaboración propia.

# Resultado de la evaluación

## Aviso de seguridad estructural y uso del edificio

 **USO PERMITIDO**  
**ACCESO SIN RESTRICCIÓN** Logo/escudo 2

**Este edificio fue inspeccionado en situación de emergencia:**

- No se encontraron problemas ni daños estructurales a la vista.
- No se inspeccionaron:
  - Instalaciones (eléctrica, agua, drenaje, gas, etc.)
  - Elementos secundarios (techos falsos, ventanas, etc.)
- Se debe informar a la autoridad si se encuentra una condición que pueda ser peligrosa.
- Sólo se permite el uso aprobado del edificio.
- El edificio puede ser reinspeccionado.

Nombre del edificio y dirección: \_\_\_\_\_  
CCT \_\_\_\_\_ Calle \_\_\_\_\_  
Colonia \_\_\_\_\_ Municipio \_\_\_\_\_  
Entidad Federativa \_\_\_\_\_ CP \_\_\_\_\_  
Latitud \_\_\_\_\_ Longitud \_\_\_\_\_  
(con 5 decimales)

**Este edificio se sometió a una Evaluación Rápida:**

Externa únicamente  
 Externa e interna

Comentarios del inspector: \_\_\_\_\_

Inspector (Nombre, Clave, Institución): \_\_\_\_\_

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

Para mayor información: [www.inifed.gob.mx](http://www.inifed.gob.mx)

**Prohibido retirar, alterar o cubrir este Aviso sin la autorización de la Autoridad**

Aviso de Seguridad Estructural y Uso del Edificio – Evaluación Rápida

 **ACCESO Y USO RESTRINGIDOS** Logo/escudo 2

Acceso restringido a parte(s) del edificio (Amarillo 1).  
 Sólo se permiten entradas breves (Amarillo 2).  
 Entradas supervisadas por autoridades locales educativas.

**PRECAUCIÓN:** Este edificio fue inspeccionado en situación de emergencia.

- Este edificio tiene daños y su seguridad estructural es dudosa.
- Se permite entrar bajo su propio riesgo.
- Las réplicas del sismo, posteriores a esta inspección, pueden causar más daño y alterar el resultado de esta evaluación.

Nombre del edificio y dirección: \_\_\_\_\_  
CCT \_\_\_\_\_ Calle \_\_\_\_\_  
Colonia \_\_\_\_\_ Municipio \_\_\_\_\_  
Entidad Federativa \_\_\_\_\_ CP \_\_\_\_\_  
Latitud \_\_\_\_\_ Longitud \_\_\_\_\_  
(con 5 decimales)

**Este edificio se sometió a una Evaluación Rápida:**

Externa únicamente  
 Externa e interna

Comentarios del inspector: \_\_\_\_\_

Descripción del daño o peligro observado: \_\_\_\_\_

Zonas restringidas y acordonadas: \_\_\_\_\_

Restricciones en el uso:  
 Retiro de documentos importantes y objetos de valor  
 Retiro de objetos personales  
 Otro: \_\_\_\_\_

Diagrama señalando las zonas restringidas

Inspector (Nombre, Clave, Institución): \_\_\_\_\_

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

Para mayor información: [www.inifed.gob.mx](http://www.inifed.gob.mx)

**Prohibido retirar, alterar o cubrir este Aviso sin la autorización de la Autoridad**

Aviso de Seguridad Estructural y Uso del Edificio – Evaluación Rápida

 **ACCESO PROHIBIDO**  
**NO ENTRAR, NO USAR** Logo/escudo 2  
(Este Aviso no es una Orden de Demolición)

**PRECAUCIÓN:** Este edificio fue inspeccionado y como resultado es inseguro para ingresar, ser ocupado y usado:

- Este edificio está en riesgo por un peligro externo (Rojo 1).
- Este edificio tiene daños severos (Rojo 2).

Nombre del edificio y dirección: \_\_\_\_\_  
CCT \_\_\_\_\_ Calle \_\_\_\_\_  
Colonia \_\_\_\_\_ Municipio \_\_\_\_\_  
Entidad Federativa \_\_\_\_\_ CP \_\_\_\_\_  
Latitud \_\_\_\_\_ Longitud \_\_\_\_\_  
(con 5 decimales)

**Este edificio se sometió a una Evaluación Rápida:**

Externa únicamente  
 Externa e interna

Comentarios del inspector: \_\_\_\_\_

Inspector (Nombre, Clave, Institución): \_\_\_\_\_

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

Para mayor información: [www.inifed.gob.mx](http://www.inifed.gob.mx)

**Prohibido retirar, alterar o cubrir este Aviso sin la autorización de la Autoridad**

Aviso de Seguridad Estructural y Uso del Edificio – Evaluación Rápida

# Resultado de la evaluación

## Aviso de seguridad estructural y uso del edificio

 **INIFED**  
INFRAESTRUCTURA  
EDUCATIVA  
EN LIQUIDACIÓN

### EVALUACIÓN DE ESCUELAS RESUMEN DEL RESULTADO

Logo/escudo 2

Edificio o cuerpo	Aviso		
	Verde	Amarillo	Rojo
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Nombre de la escuela y dirección: \_\_\_\_\_  
CCT \_\_\_\_\_ Calle \_\_\_\_\_  
Colonia \_\_\_\_\_ Municipio \_\_\_\_\_  
Entidad Federativa \_\_\_\_\_ CP \_\_\_\_\_  
Latitud \_\_\_\_\_ Longitud \_\_\_\_\_  
(con 5 decimales)  
Comentarios del inspector: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
Inspector (Nombre, Clave, Institución): \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
Fecha \_\_\_\_\_ Hora \_\_\_\_\_

Para mayor información: [www.inifed.gob.mx](http://www.inifed.gob.mx)



5|901234|123457|

**Prohibido retirar, alterar o cubrir este Aviso sin la autorización de la Autoridad**

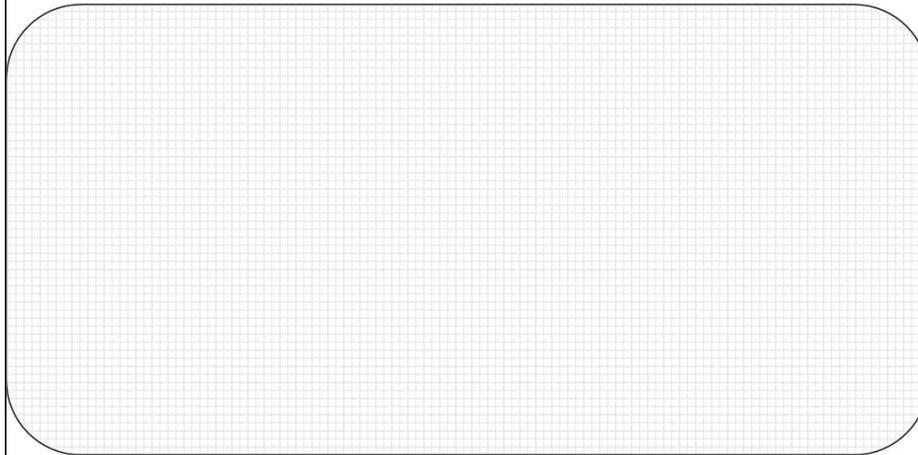
Aviso de Seguridad Estructural y Uso del Edificio – Evaluación Rápida

 **INIFED**  
INFRAESTRUCTURA  
EDUCATIVA  
EN LIQUIDACIÓN

### CROQUIS DE ÁREAS RESTRINGIDAS

Logo/escudo 2

Nombre de la escuela y dirección: \_\_\_\_\_  
Fecha \_\_\_\_\_ Hora \_\_\_\_\_



**Prohibido retirar, alterar o cubrir este Aviso sin la autorización de la Autoridad**

Aviso de Seguridad Estructural y Uso del Edificio – Evaluación Rápida



# Niveles de atención prioritaria (NAP) en evaluación intermedia

Tabla 6.4 Niveles de Atención Prioritaria para escuelas después de haberseles aplicado la Evaluación Intermedia

Nivel de daño por sismo y/o distorsión remanente	Relación Capacidad/Demanda	Nivel de Atención Prioritaria	Aviso MEI
Severo en elementos estructurales y/o distorsión remanente cuando excede lo siguiente: <ul style="list-style-type: none"> <li>Sistemas de mampostería simple: <b>DR&gt;0.001</b></li> <li>Sistemas de mampostería confinada: <b>DR&gt;0.003</b></li> <li>Sistemas de marcos de concreto o de acero: <b>DR&gt;0.015</b></li> <li>Sistemas de marcos de concreto o de acero con muros diafragma no desligados: <b>DR&gt;0.010</b></li> <li>Sistemas de columnas de concreto interconectadas a losas planas: <b>DR&gt;0.005</b></li> <li>Sistema de marcos de concreto o de acero con contraventeos o muros de concreto: <b>DR&gt;0.010</b></li> </ul>	Cualquier relación	NAP 1	Rojo
Moderado en elementos estructurales	Cualquier relación	NAP 2	Rojo

Nivel de daño por sismo y/o distorsión remanente	Relación Capacidad/Demanda	Nivel de Atención Prioritaria	Aviso MEI
Nulo o ligero en elementos estructurales y nulo/ligero/moderado en elementos no estructurales	$C/D \leq 0.20$	NAP 3	Rojo
Nulo o ligero en elementos estructurales y nulo/ligero/moderado en elementos no estructurales	$0.20 < C/D \leq 0.30$	NAP 4	Rojo
Nulo o ligero en elementos estructurales y nulo/ligero/moderado en elementos no estructurales	$0.30 < C/D \leq 0.40$	NAP 5	Amarillo
Nulo o ligero en elementos estructurales y nulo/ligero/moderado en elementos no estructurales	$0.40 < C/D \leq 0.55$	NAP 6	Amarillo
Nulo o ligero en elementos estructurales y nulo/ligero/moderado en no estructurales	$0.55 < C/D \leq 0.70$	NAP 7	Amarillo
Nulo o ligero en elementos estructurales y nulo/ligero/moderado en no estructurales	$0.70 < C/D \leq 1.00$	NAP 8	Amarillo
Nulo o ligero en elementos estructurales y nulo/ligero/moderado en no estructurales	$C/D > 1.00$	NAP 9	Verde

# Cálculo de la capacidad y demanda de distorsión

a) Resistencia a cortante debida a la formación de articulaciones plásticas por flexión en columnas,  $V_{cy}$

$$R_{cy} = \frac{V_{cr}}{V_{cy}} = 1$$

b) Resistencia a cortante controlada por la tensión diagonal en columnas,  $V_{cv}$

$$R_{cv} = \frac{V_{cr}}{V_{cv}}$$

c) Resistencia a cortante limitada por la falla de anclaje de refuerzo longitudinal,  $V_{ca}$

$$R_{ca} = \frac{V_{ca}}{V_{cy}}$$

d) Resistencia a cortante controlada por la falla por adherencia en traslapes,  $V_{ct}$

$$R_{ct} = \frac{V_{ct}}{V_{cy}}$$

e) Resistencia a cortante asociada a la falla por corte en nudos,  $V_j$

$$R_j = \frac{V_j}{V_{cy}}$$

f) Resistencia a cortante por la falla por corte/punzonamiento en losas planas,  $V_{pn}$

$$R_{pn} = \frac{V_{pn}}{V_{cy}}$$

La siguiente información corresponde a los resultados de la evaluación del entrepiso crítico

## Evaluación de la capacidad resistente \*

9

### Estructuras de concreto sin muros

	$V_{cy}$	$r_{cy}$
1. Flexión en columnas sin muro	<input type="text"/>	<input type="text"/>
2. Tensión diagonal en columnas	<input type="text"/>	<input type="text"/>
3. Anclaje de refuerzo longitudinal	<input type="text"/>	<input type="text"/>
4. Adherencia en traslapes	<input type="text"/>	<input type="text"/>

	$V_j$	$r_j$
5. Cortante en nudos	<input type="text"/>	<input type="text"/>
6. Punzonamiento en losas, si aplica	<input type="text"/>	<input type="text"/>
7. Flexión en vigas	<input type="text"/>	<input type="text"/>

### Estructuras de mampostería (muros diafragma o de carga)

	$V_{mv}$	$r_{mv}$
1. Flexión en muros	<input type="text"/>	<input type="text"/>
2. Tensión diagonal en muros	<input type="text"/>	<input type="text"/>
3. Aplastamiento	<input type="text"/>	<input type="text"/>
4. Deslizamiento	<input type="text"/>	<input type="text"/>

### Estructuras con muros de concreto

	$V_{mc}$	$r_{mc}$
1. Tensión diagonal en muros	<input type="text"/>	<input type="text"/>

### Estructuras de acero (marcos)

	$V_{cy}$	$r_{cy}$
1. Flexión en columnas (muros)	<input type="text"/>	<input type="text"/>
2. Cortante en columnas	<input type="text"/>	<input type="text"/>

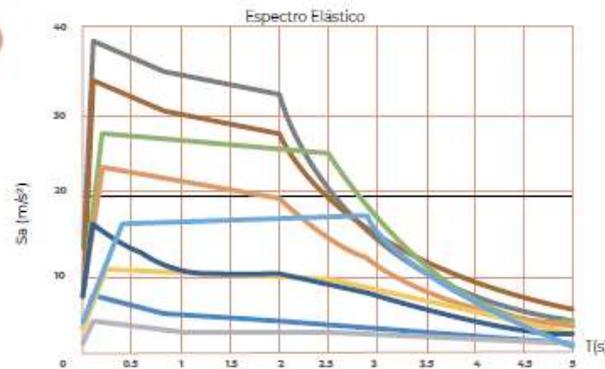
	$V_{vy}$	$r_{vy}$
3. Flexión en vigas	<input type="text"/>	<input type="text"/>

### Capacidad (resistencia)

	$V_{falla}$	$r_{falla}$
1. Resultado (mínimo)	<input type="text"/>	<input type="text"/>

## Obtención de la capacidad y demanda de distorsión \*

10



BI BII BIII C I CII CIII DI DII DIII

1. Capacidad de distorsión	<input type="text"/>
2. Rigidez lateral (t/m)	<input type="text"/>
3. Masa total (kg)	<input type="text"/>
4. Factor de participación modal	<input type="text"/>
5. Periodo estructural (s)	<input type="text"/>
6. Demanda de aceleración (cm/s²)	<input type="text"/>
7. Demanda de distorsión	<input type="text"/>

Nota: la nomenclatura refiere a la zona sísmica y el tipo de terreno (BI significa zona sísmica B, terreno tipo I, por ejemplo).

# Modos de comportamiento y factores $\lambda$

Tabla 6.5 Descripción del daño y factores  $\lambda$  para edificios de mampostería simple con fines de Evaluación Intermedia

Modo de comportamiento	Daño característico	Nivel de daño	Descripción del daño (uno o más elementos)	Factor reductor $\lambda$		
				$\lambda_y$	$\lambda_x$	$\lambda_z$
Tensión diagonal pura		Nulo	- Sin daño	1.0	1.0	1.0
		Ligero	- $GF < 1$ mm	1.0	1.0	1.0
		Moderado	- $GF < 5$ mm	0.8	0.9	1.0
		Severo	- $GF > 5$ mm y - Aplastamiento/desconchamiento mampostería y/o - $DR > 0.001$ veces la altura del edificio o del entrepiso más deformado	0.4	0.8	0.7
Agrietamiento vertical y flexión fuera de plano		Nulo	- Sin daño	1.0	1.0	1.0
		Ligero	- $C < 1$ mm horizontal en plano del muro o vertical en esquina	1.0	1.0	1.0
		Moderado	- $C < 3$ mm	0.9	0.9	0.9
		Severo	- $C > 3$ mm y - Aplastamiento/desconchamiento piezas y - Desfase fuera de plano $> 10$ mm	0.6	0.6	0.6

Nota:  $G$ : ancho de una grieta perpendicular al eje, usualmente por flexión, mm.  $GF$ : ancho de una grieta inclinada, usualmente por tensión diagonal, mm.  $DR$ : desplazamiento residual de la estructura o del entrepiso más deformado, mm.

Tabla 6.6 Descripción del daño y factores  $\lambda$  para edificios de mampostería confinada sin refuerzo horizontal con fines de Evaluación Intermedia

Modo de comportamiento	Daño característico	Nivel de daño	Descripción del daño (uno o más elementos)	Factor reductor $\lambda$		
				$\lambda_y$	$\lambda_x$	$\lambda_z$
Flexión-tensión diagonal		Nulo	- Sin daño	1.0	1.0	1.0
		Ligero	- $GF < 1.5$ mm en el centro del muro - $C$ de flexión $< 1.5$ mm	0.8	1.0	1.0
		Moderado	- $GF < 5$ mm - $C$ de flexión $< 3$ mm	0.5	0.9	0.9
		Severo	- $GF > 5$ mm y - Penetración de $GF$ en extremos de castillos y - Aplastamiento/desconchamiento mampostería y/o - $DR > 0.003$ veces la altura del edificio o del entrepiso más deformado	0.2	0.5	0.7
Tensión diagonal pura		Nulo	- Sin daño	1.0	1.0	1.0
		Ligero	- $GF < 1$ mm en el centro del muro	0.6	1.0	1.0
		Moderado	- $GF < 5$ mm siguiendo las diagonales del muro - $GF < 1$ mm que penetró en extremos de castillo	0.5	0.8	0.9
		Severo	- $GF > 5$ mm y - Penetración de $GF$ en extremos de castillos y - Aplastamiento/desconchamiento mampostería y/o - $DR > 0.003$ veces la altura del edificio o del entrepiso más deformado	0.2	0.3	0.7

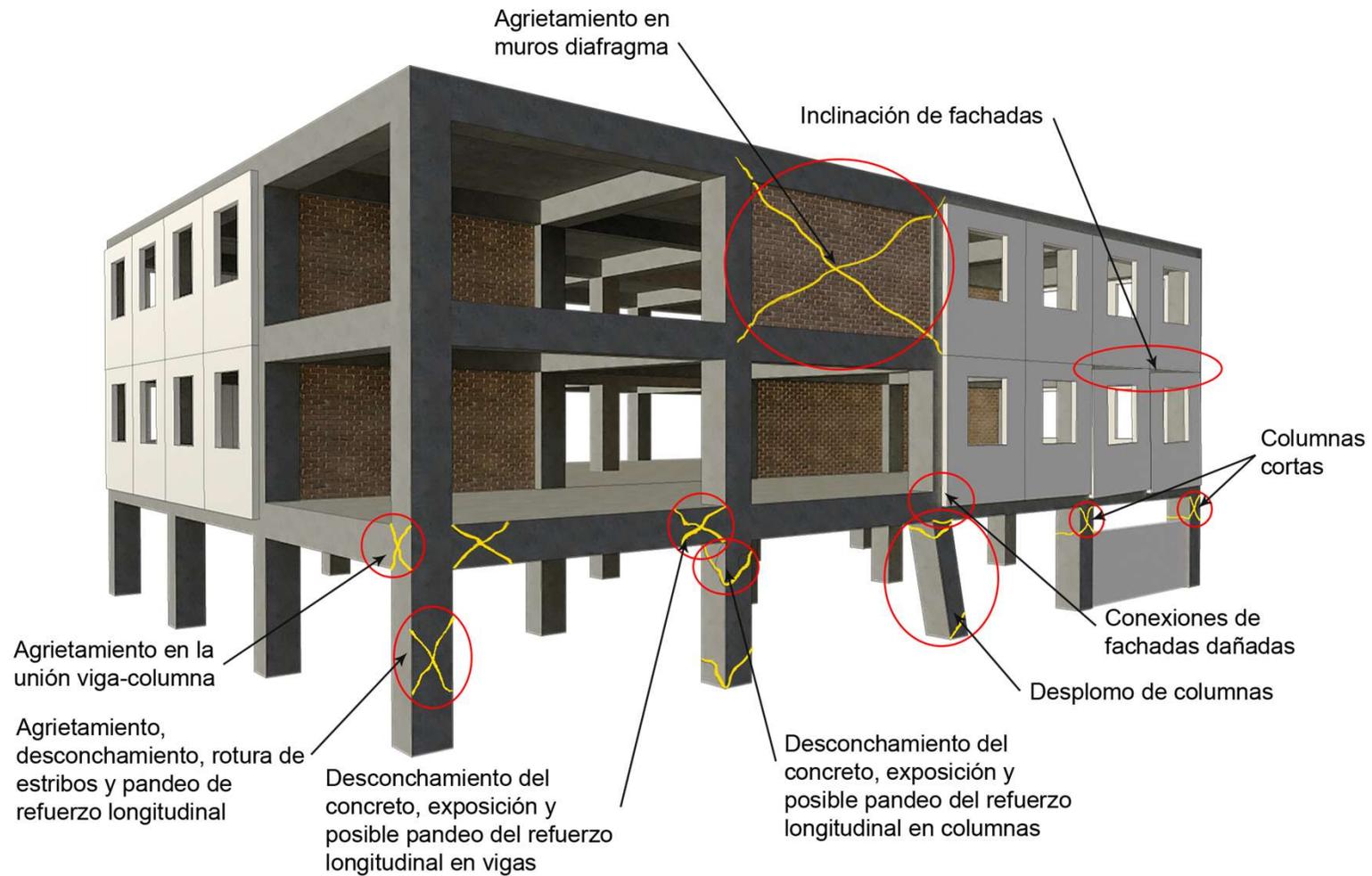
Nota:  $G$ : ancho de una grieta perpendicular al eje, usualmente por flexión, mm.  $GF$ : ancho de una grieta inclinada, usualmente por tensión diagonal, mm.  $DR$ : desplazamiento residual de la estructura o del entrepiso más deformado, mm.

## Principales aspectos a revisar y evaluar en la inspección de estructuras

Tabla 71 Principales aspectos a revisar y evaluar en la inspección de estructuras de mampostería simple

Aspecto por revisar y evaluar	Colocar Aviso "Acceso Prohibido" en caso de existir:
<b>1. Daño general.</b> Revisar la estructura buscando agrietamiento; en su caso, revisar posibles golpeteos con estructuras vecinas.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Colapso total o parcial.</li> <li>• Inclinación evidente del edificio o de un entrepiso.</li> </ul>
<b>2. Unión de sistemas de piso y techo con muros.</b> Buscar evidencia de movimiento relativo o separación entre muros y piso/techo. Revisar daño en muros que afecten el soporte del piso/techo.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Separación de estructura de piso o techo del muro.</li> <li>• Agrietamiento de muro.</li> <li>• Falla o falla incipiente de conexión entre piso/techo y muro.</li> </ul>
<b>3. Muros.</b> Revisar agrietamiento inclinado (por tensión diagonal o cortante), agrietamiento y aplastamiento de mampostería. Hacer énfasis en agrietamiento que sugiera falla fuera de plano.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Muros desplomados a simple vista.</li> <li>• Agrietamiento inclinado de ancho significativo.</li> <li>• Separación de capas de muros (en muros capuchinos).</li> <li>• Agrietamiento que afecte la capacidad de carga vertical.</li> <li>• Agrietamiento cerca de aberturas.</li> </ul>
<b>4. Columnas.</b> Revisar las columnas y sus apoyos.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Columnas desplomadas a simple vista.</li> <li>• Columnas pandeadas o falladas.</li> </ul>
<b>5. Diafragmas de piso y techo.</b> Revisar el estado de estructuras de piso y techo.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estructura del diafragma deformada, rota o dañada.</li> <li>• Movimiento relativo o falla por cortante en el apoyo en el muro.</li> </ul>
<b>6. Cimentaciones.</b> Buscar grietas de gran ancho (20 mm de flexión o 5 mm inclinadas), asentamientos diferenciales y otras fallas y peligros geotécnicos (capítulo 10).	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cimentaciones severamente agrietadas.</li> </ul>
	Colocar Aviso de "Área Insegura" y delimitar zona en caso de existir:
<b>7. Otros peligros</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pretil agrietado.</li> <li>• Cornisa agrietada.</li> <li>• Separación de acabados de fachada.</li> <li>• Agrietamiento y aplastamiento en zonas de apoyo de escaleras.</li> </ul>

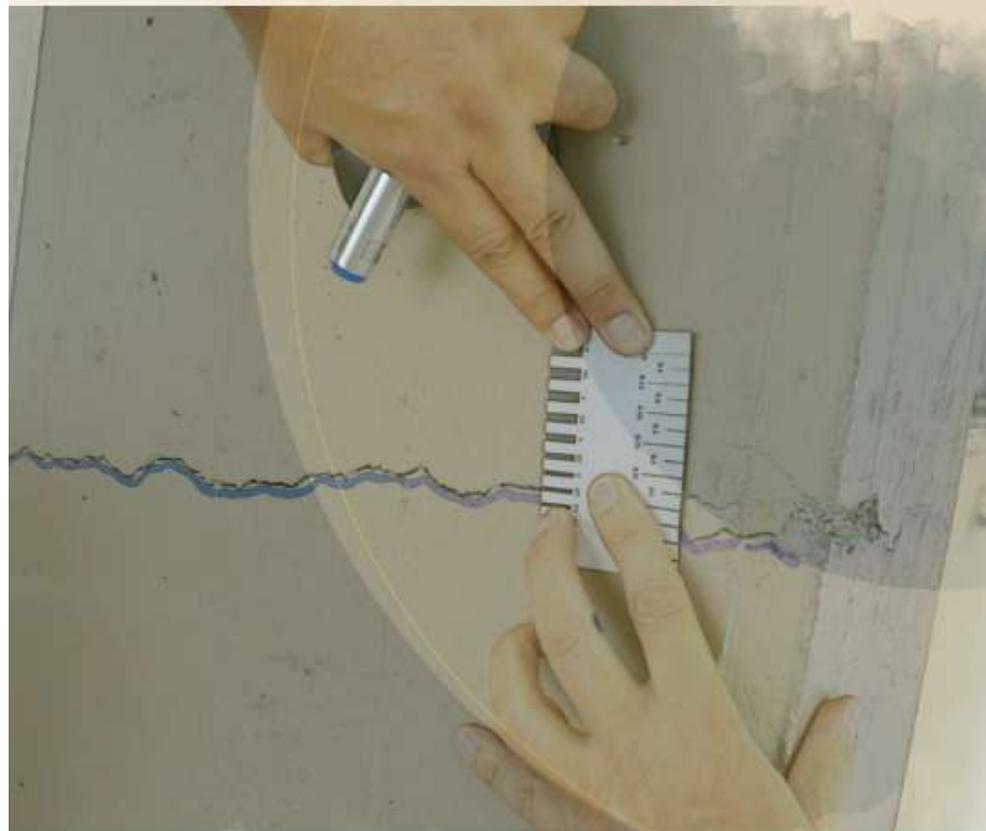
# Inspección de Estructuras de Concreto



Fuente: elaboración propia con base en MBIE (2014).

# EVALUACIÓN POSTSÍSMICA DE LA INFRAESTRUCTURA FÍSICA EDUCATIVA MANUAL DE CAMPO

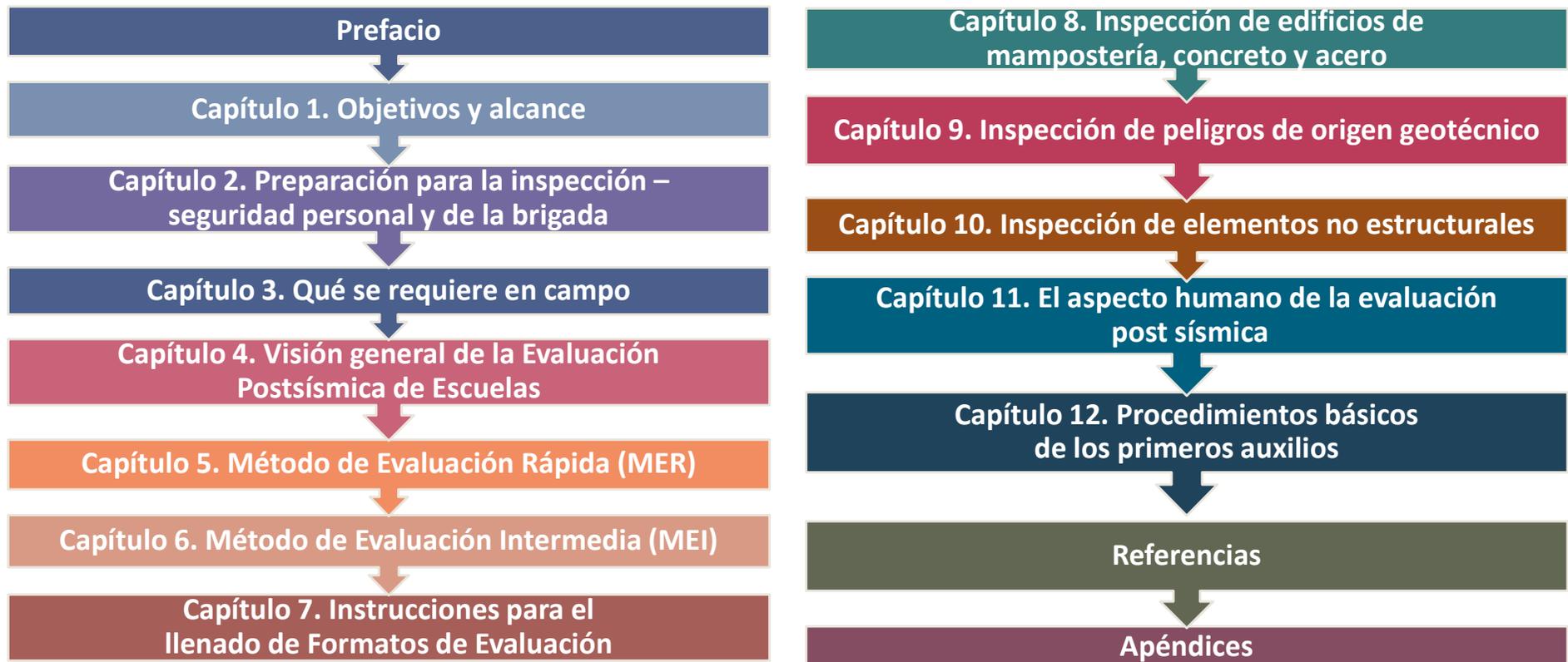
## Evaluación postsísmica de la infraestructura física educativa de México MANUAL DE CAMPO



# Descripción

- § Su objetivo es **apoyar a las autoridades encargadas de la infraestructura física educativa y de protección civil**, así como a otros grupos de interés, en la aplicación de una **evaluación postsísmica de escuelas**, durante una emergencia o un desastre.
- § Comprende la **evaluación de las escuelas durante la fase de Auxilio**, una vez que el Sistema Nacional de Protección Civil ha hecho la Declaratoria de Emergencia o Desastre correspondiente.
- § Se debe usar como una **referencia en el sitio de la evaluación**.

# Contenidos



# ÍNDICE

<b>Prefacio</b>	11
<b>Capítulo 1</b> Objetivos y alcance	13
1.1 Objetivos	14
1.2 Alcance de los procedimientos de este Manual de campo	16
<b>Capítulo 2</b> Preparación para la Inspección SICODINAMICA PERSONAL Y/O LA REDADA	17
2.1 General	18
2.2 Concepto sobre seguridad en el campo	19
2.3 Evacuación de edificios dañados	20
2.4 Edificios con marcado tipo USAR	20
<b>Capítulo 3</b> Qué se requiere en el campo	23
<b>Capítulo 4</b> Visión general de la Evaluación Postísmica de Escuelas	27
4.1 Tipos de evaluación	28
4.2 Derechos y responsabilidades	29
4.3 Método de Evaluación Rápida (MER)	30
4.4 Método de Evaluación Intermedia (MEI)	30
4.5 Sistema de Aviso	36
4.6 Acordamiento	44
4.7 Informe y manejo de la información	44
4.8 Informe al término de la jornada	45
4.9 Identificación de edificios	45
4.10 Termina a cuidar	46
<b>Capítulo 5</b> Método de Evaluación Rápida (MER)	47
<b>Capítulo 6</b> Método de Evaluación Intermedia (MEI)	55

<b>Capítulo 7</b> Instrucciones para el llenado de los Formatos de Evaluación	69
7.1 Evaluación Rápida	70
7.2 Evaluación Intermedia	72
<b>Capítulo 8</b> Inspección de edificios de mampostería, concreto y acero	75
8.1 Mampostería simple, incluido el adobe	76
8.2 Mampostería confinada	77
8.3 Muros de concreto reforzado	78
8.4 Escaleras de concreto precast por columnas	79
8.5 Edificios a base de muros de concreto reforzado	81
8.6 Muros de acero	82
8.7 Muros de acero contraventados	82
8.8 Muros de acero con elementos a base de perfiles de laminas dobladas en frío	83
<b>Capítulo 9</b> Inspección de fallas y peligros de origen geotécnico	85
<b>Capítulo 10</b> Inspección de elementos no estructurales	89
<b>Capítulo 11</b> El aspecto humano de la evaluación postísmica	95
11.1 Del espacio de trabajo	96
11.2 De la población afectada. Cómo tratar y desenvolverse con la comunidad	97
11.3 Qué hacer en caso de emergencia	98
11.4 Cómo tratar a los medios de comunicación	99
<b>Capítulo 12</b> Procedimientos básicos de los primeros auxilios	101
12.1 Herramientas	102
12.2 Signos	103
12.3 Dificultades respiratorias	104
<b>Referencias</b>	107
<b>Apéndices</b>	109
Apéndice A	110
Apéndice B	112



Los principales aspectos a inspeccionar y considerar para la Evaluación Rápida son:

Condición*	Nivel de Seguridad Estructural y Uso del Edificio
1. El edificio colapsó total o parcialmente, o se desprendió de su cimentación.	Acceso Prohibido
2. El edificio o alguno de sus entrepisos están visiblemente inclinados.	Acceso Prohibido
3. Cimentación agrietada severamente. Agrietamiento diferencial.	Acceso Prohibido
4. Daño severo evidente en elementos estructurales del sistema resistente a cargas gravitacionales (vigas, columnas, muros): - Columnas o muros de carga desplazados. - Columnas pandeadas, fracturadas o falladas. - Columnas o muros de carga dañados sin capacidad de resistir cargas gravitacionales. - Separación de estructura de piso o techo de muros u otros soportes. - Fallas en muros u otros soportes.	Acceso Prohibido
5. Daño severo en sistema resistente a fuerzas laterales: - Desplazamiento lateral residual significativo. - Agrietamiento incontrolado, penetración de grietas en castillos, empalmes o manposturas.	Acceso Prohibido



Figura 16. Algunos ejemplos de fallas y peligros de origen geotécnico. Fuente: revisión personal de Sergio Alcaraz (1999), consultado José Luis Bunge (2007) e Inverna Alcaraz (2005).



Figura 4. Diagrama de flujo del Método de Evaluación Intermedia de Escuelas. Fuente: elaboración propia.

### 4.4.2 Preparación para el MEI al inicio de la jornada

#### 4.4.3 Realización de la Evaluación Intermedia

El MEI requiere una evaluación desde el exterior e interior de la edificación, lo cual implica el retiro de muros divisorios o acabados para poder observar el sistema estructural. Además, como parte de la Evaluación Intermedia, se levantará información sobre:

- Edad del edificio, es decir, año o época de su construcción.
- Número de pisos, es decir, número de lasas sobre banquetas.
- Altura libre de entrepiso (valor característico).
- Superficie construida por nivel, incluyendo corredores y balcones.

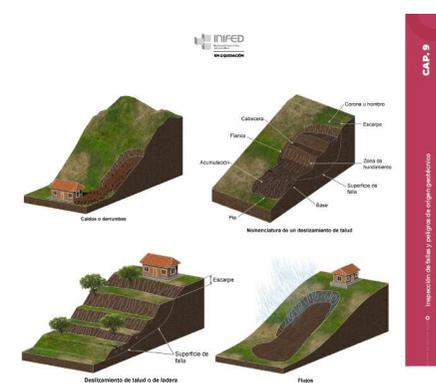


Figura 18. Descripción gráfica de manifestaciones superficiales de laderas inestables. Fuente: elaboración propia con base en CENAPRED (2008).

### 4.6 ACORDAMIENTO

Si el edificio se evalúa con los colores amarillo o rojo, se debe colocar cinta plástica para delimitar e impedir el acceso al inmueble o a áreas inseguras. Son aceptables las cintas con leyendas del tipo "No pasar" o "Prohibida la entrada".

Se recomienda colocar la cinta plástica de forma que (Figura 5):

- Afecte lo menos posible la circulación peatonal y vehicular.
- Este alejada del frente al menos 15 veces la altura de la estructura o componente peligroso.
- Este alejada del frente al menos 15 veces la altura en donde se encuentre el objeto que se puede caer o desprender.
- Este alejada para los lados al menos 0.25 veces la altura de la estructura o componente peligroso, o de la altura en donde se encuentre el objeto que se puede caer.

Figura 5. Acordamiento de un edificio. Fuente: elaboración propia.

### 4.7 INFORMES Y MANEJO DE LA INFORMACIÓN

- Los Formatos de Evaluación usualmente se llenan en papel. Es posible que se tenga un software de aplicación en medios electrónicos que faci-

## PROCEDIMIENTOS BÁSICOS DE LOS PRIMEROS AUXILIOS

# EVALUACIÓN POSTSÍSMICA DE LA INFRAESTRUCTURA FÍSICA EDUCATIVA DE MÉXICO.

## VOLUMEN 2: INTRODUCCIÓN AL COMPORTAMIENTO SÍSMICO DE ESTRUCTURAS PARA FINES DE EVALUACIÓN

### Evaluación postsísmica de la infraestructura física educativa de México

#### VOLUMEN 2: INTRODUCCIÓN AL COMPORTAMIENTO SÍSMICO DE ESTRUCTURAS PARA FINES DE EVALUACIÓN



# Descripción

- § **Documento complementario al Volumen 1.**
- § El objetivo es que los evaluadores cuenten con conocimientos uniformes, de modo que la inspección de un mismo edificio ejecutada por evaluadores distintos, conduzca a resultados

# Contenidos

**Prefacio**

**Capítulo 1. Introducción**

**Capítulo 2. Notación**

**Capítulo 3. Propiedades generales de las estructuras**

**Capítulo 4. Características adversas de diseño arquitectónico y estructural, y de construcción**

**Capítulo 5. Deterioro de los elementos estructurales y su efecto en la respuesta ante sismo**

**Capítulo 6. Comportamiento de estructuras de mampostería**

**Capítulo 7. Comportamiento de estructuras de concreto**

**Capítulo 8. Comportamiento de estructuras de acero**

**Capítulo 9. Marcos de concreto o acero con muros diafragma**

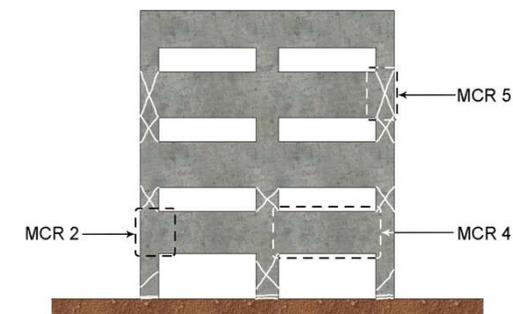
**Capítulo 10. Fallas y peligros de índole geotécnico más frecuentes**

**Glosario, referencias y apéndice**

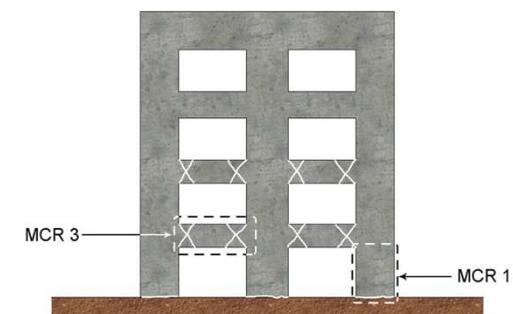
# Comportamiento de estructuras de concreto

Tabla 7.1 Tipos de componentes en marcos de concreto reforzado (MCR)

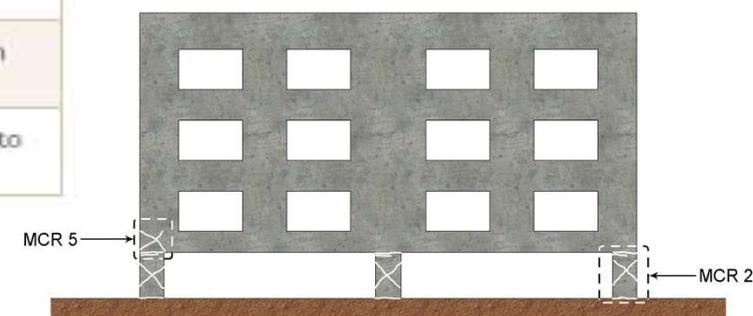
Tipo de componente		Descripción
MCR1	Columna fuerte	Este componente es más resistente a flexión y/o a fuerza cortante que las vigas que se unen a él, de modo que el comportamiento inelástico y el daño se concentran en las vigas y en la base de la columna, con una falla a flexión (articulación plástica), a cortante, por combinación flexión-cortante o por traslapes insuficientes.
MCR2	Columna débil	Este componente es más débil a flexión y/o a fuerza cortante que las vigas que se conectan a él. El daño se caracteriza por articulaciones plásticas en los extremos superior e inferior de la columna o por falla por cortante.
MCR3	Viga débil	Este componente es más débil a flexión y/o a fuerza cortante que la columna al que está unido. El daño está generalmente controlado por flexión (articulaciones plásticas en los extremos) o por cortante (tensión diagonal o por deslizamiento). El cortante por deslizamiento se manifiesta por una grieta vertical que atraviesa todo el peralte de la viga.
MCR4	Viga fuerte	Este componente usualmente no se daña, ya que es más resistente a flexión y/o a fuerza cortante que la columna a la que está conectada.
MCR5	Unión viga-columna	Este componente puede dañarse e, incluso, fallar por cortante (agrietamiento inclinado).



Columna débil - viga fuerte



Columna fuerte - viga débil



Planta baja flexible / débil

# Modos de comportamiento de las estructuras

## Cuadro 7.1 Descripción de los modos de comportamiento de marcos de concreto

- a. Flexión. Es el modo de falla más deseable por su estabilidad en resistencia y capacidad de deformación; sin embargo, no es común observarlo en estructuras existentes con varias décadas de antigüedad. Se caracteriza por agrietamiento perpendicular al eje del elemento, en uno o en los dos extremos. En un modo de falla de flexión bien desarrollado, el agrietamiento se extiende en la viga o columna formando una articulación plástica. Esta extensión varía en función de la relación peralte-longitud del elemento y de la cuantía de refuerzo longitudinal. En estructuras existentes y sin detallado dúctil, el modo de falla se caracteriza por unas cuantas grietas de flexión de gran ancho, incluso de varios centímetros.



Fuente: cortesía del CENAPRED (2019) y del INIFED (2019).

- b. Flexión-tensión diagonal. Inicia con la formación de una grieta a flexión en la cara a tensión de la viga o columna, lo cual provoca que la fuerza cortante, al redistribuirse hacia el extremo a compresión, cause grietas por tensión diagonal (normalmente con una inclinación de 45 grados). Conforme las grietas se abren y la articulación plástica se degrada, se reduce la resistencia a fuerza cortante del elemento por debajo de la asociada a la flexión, dando lugar a un comportamiento controlado por fuerza cortante.



Fuente: cortesía de Halil Sezen (2020) y archivo personal de Sergio Alcocer (1997).

- c. Flexión-compresión diagonal. Ocurre en elementos con elevadas cuantías de refuerzo transversal (estribos) sujetos a fuerza cortante. Puede presentarse en columnas o vigas cortas (o peraltadas) o cuando tienen suficiente cuantía de refuerzo transversal para evitar una falla por tensión diagonal. También la exhiben columnas sujetas a elevadas cargas axiales. El aplastamiento ocurre tras ciclos y degradación por flexión. El aplastamiento está relacionado con el desplazamiento lateral impuesto al elemento. Se caracteriza por agrietamiento inclinado y aplastamiento del concreto hacia la mitad del elemento.



Fuente: archivo personal de Sergio Alcocer (1997).

- d. Flexión y falla de compresión en extremo. Se presenta en columnas que desarrollan una falla por flexión en un inicio y que, debido a un confinamiento deficiente del núcleo de concreto, el comportamiento se deteriora por el aplastamiento del concreto e incluso por pandeo del refuerzo longitudinal. Este modo de falla puede verse agravado si en el extremo de la columna se tienen traslapes de refuerzo longitudinal. El daño en la zona de la articulación plástica podría deteriorar el mecanismo de adherencia en el traslape y reducirse o incluso perderse la capacidad de resistir momentos de la columna en esa zona. Este modo de falla ilustra la importancia de confinar el núcleo de concreto de una columna mediante estribos o zunchos a bajas separaciones y restringiendo las barras longitudinales distribuidas en el perímetro de la columna.



Fuente: archivo personal de Sergio Alcocer (1997).

# Fallas y peligros de índole geotécnico más frecuentes

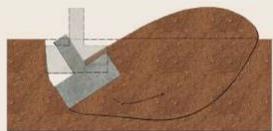


Figura 10.1 Falla rotacional generalizada bajo un cimiento. Fuente: elaboración propia con base en Ovando (2020).



Figura 10.2 Ejemplo de falla rotacional generalizada. Fuente: archivo personal de Sergio Alcocer (1999).

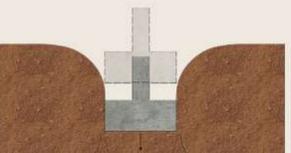


Figura 10.3 Falla por punzonamiento bajo un elemento de cimentación. Fuente: elaboración propia con base en Ovando (2020).



Figura 10.4 Ejemplo de falla por punzonamiento bajo la cimentación. Fuente: archivo personal de Sergio Alcocer (1985).

## 10.2 HUNDIMIENTOS DE CIMENTACIONES PROVOCADOS POR EL SISMO

Este fenómeno ocurre cuando, durante un sismo, se rebasa la capacidad de carga de los cimientos que soportan a cualquier edificio (Ovando, 2020). La capacidad de carga de la cimentación o la de algún elemento de ella (zapata, losa, pila o pilote) depende de la geometría del cimiento, de su nivel de desplante, de las condiciones hidráulicas del subsuelo y de la resistencia al esfuerzo cortante del suelo. La capacidad de carga de la cimentación no es sinónimo de la resistencia del subsuelo, si bien esta última determina en buena medida a la primera, pero no de manera única. Las fallas que dan lugar a hundimientos pueden tener varias modalidades:

- Falla rotacional generalizada.** Ocurre cuando se rebasa la capacidad de carga del suelo. En este caso, el modo de falla se da cuando el edificio gira con respecto a su centro de masa, movilizándose una masa de suelo hacia alguna dirección preferencial, como se ve en la figura 10.1. Esta falla suele presentarse en estructuras esbeltas propensas al volteo. En la figura 10.2 se muestra un ejemplo de falla rotacional generalizada.
- Falla por punzonamiento.** Se presenta cuando el edificio completo penetra dentro del terreno debido al rebase de la capacidad de carga del suelo (véase figura 10.3). Al ocurrir una falla por punzonamiento, hay desplazamiento de suelo alrededor de éste. Dicha falla no necesariamente implica la aparición de daños estructurales inducidos por el desplazamiento de la estructura. En la figura 10.4 se muestra un ejemplo de falla por punzonamiento bajo la cimentación.
- Falla local.** Ocurre cuando localmente se rebasa la capacidad de carga de un elemento de la cimentación debido a concentraciones de carga durante el evento sísmico. Esta falla induce hundimientos diferenciales locales

que suelen producir daño estructural, dependiendo de las características de la estructura (resistencia y rigidez de los elementos estructurales). En la figura 10.5 se ilustra un caso de falla local. En la figura 10.6 se ejemplifica una falla local producida por un sismo.

- Desplazamiento horizontal.** Ocurre en cimentaciones superficiales o poco profundas cuando la capacidad global de la cimentación no es capaz de resistir el cortante basal inducido por las acciones sísmicas (figura 10.7).

## 10.3 DESPLAZAMIENTO LATERAL DEL SUELO CAUSADO POR LICUACIÓN

Los esfuerzos cortantes que se generan al paso de las ondas sísmicas a través de cualquier estrato de suelo inducen deformaciones en éste que, a su vez, hacen que la presión del agua intersticial, el agua que se encuentra dentro de sus poros, aumente (Ovando, 2020). Los incrementos de presión de poro reducen los esfuerzos efectivos dentro del suelo, es decir, los esfuerzos que efectivamente toma la parte sólida de éste y, por ende, reducen su resistencia al esfuerzo cortante.

En el caso de los suelos granulares sueltos y además saturados (aquellos cuyos poros están completamente llenos de agua, como es el caso de suelos arenosos saturados de agua), los esfuerzos cortantes sísmicos suelen inducir incrementos de presión de poro tan grandes que anulen los esfuerzos efectivos dentro de ellos y, por consiguiente, su capacidad para resistir esfuerzos cortantes. Un material incapaz de resistir esfuerzos cortantes es, por definición, un líquido, de ahí que, al darse estos incrementos de presión de poro, el suelo arenoso sufra licuación y se comporte como un líquido viscoso durante la vigencia del sismo y por algún tiempo después de su finalización. Los suelos donde suele ocurrir la licuación son suelos granulares (arenosos) generalmente finos o con

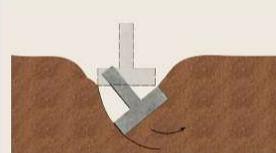


Figura 10.5 Falla local bajo un cimiento o elemento de cimentación. Fuente: elaboración propia con base en Ovando (2020).



Figura 10.6 Ejemplo de falla local. Fuente: archivo personal de Sergio Alcocer (1999).

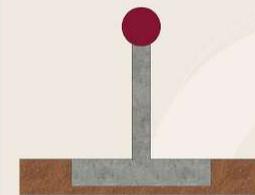


Figura 10.7 Desplazamientos inducidos cuando el cortante basal,  $V$ , excede a las fuerzas resistentes en la base de la cimentación,  $F_R$ . Fuente: elaboración propia con base en Ovando (2020).



Figura 10.10 Entrada del mar en zona costera que sufrió desplazamiento lateral por licuación. Fuente: archivo personal de Sergio Alcocer (1999).



Figura 10.11a Daño en patio de contenedores de un puerto producto de licuación. Fuente: cortesía de José Luis Rangell (2020).



Figura 10.11b Daño en patio de contenedores de un puerto producto de licuación. Fuente: cortesía de José Luis Rangell (2020).



Figura 10.11c Vivienda dañada en zona que experimentó licuación de arenas. Fuente: cortesía de José Luis Rangell (2020).



Figura 10.16 Ejemplos de deslizamientos de taludes artificiales. Fuente: cortesía de José Luis Rangell (2020).



Figura 10.17 Ejemplos de deslizamientos de taludes naturales. Fuente: cortesía de José Luis Rangell (2020).



Figura 10.18 Ejemplos de manifestaciones superficiales de un deslizamiento de ladera: a) escarpes (escalones) en el hombro o parte alta del talud, b) inclinación de un poste, c) humedad invasiva en el terreno. Fuente: cortesía de Irasema Alcántara (2020).



Figura 10.19 Vivienda ubicada en el hombro de un talud inestable. Fuente: cortesía de Irasema Alcántara (2020).

## Pasos a seguir

- Talleres de capacitación para aplicar de forma correcta la metodología de evaluación
- Estrategia de comunicación y vinculación del proyecto entre los grupos interesados en la educación
- Programa de formación y actualización de especialistas en evaluación, reforzamiento, mantenimiento y conservación
- Sistema de seguimiento de proyectos de rehabilitación
- Guías y manuales para:
  - Padres de familia, para explicar los alcances del proyecto e involucrarlos, pero NO en construcción
  - Mantenimiento y conservación de la infraestructura educativa con materiales, y sistemas normalizados y con mano de obra preparada y competente

## Colaboradores

- Sergio M. Alcocer Martínez de Castro, Coordinador
- David Murià Vila, Co-coordinador



- Jorge L. Abarca Juárez
- Andrés Ayala Ventura
- Rubén Bautista Monroy
- Renato Berrón Alvarado
- German A. Bogoya Bernate
- Víctor D. Cruz Eligio
- Alfonso de Lucas Espinosa
- Mercedes Gallardo Gutiérrez
- Jorge Hernández Olivares
- Sebastián Martínez Negrete
- Yaneivy Martínez Padrón
- Bernardo Moctezuma Gómez
- Samuel Quiñonez González
- Diana C. Ramírez Quintero
- Gianella A. Valencia Ronquillo



# Metodología de evaluación postsísmica de la infraestructura física educativa

---

SERGIO M. ALCOCER, RUBÉN BAUTISTA  
INSTITUTO DE INGENIERÍA, UNAM

Febrero, 2021