



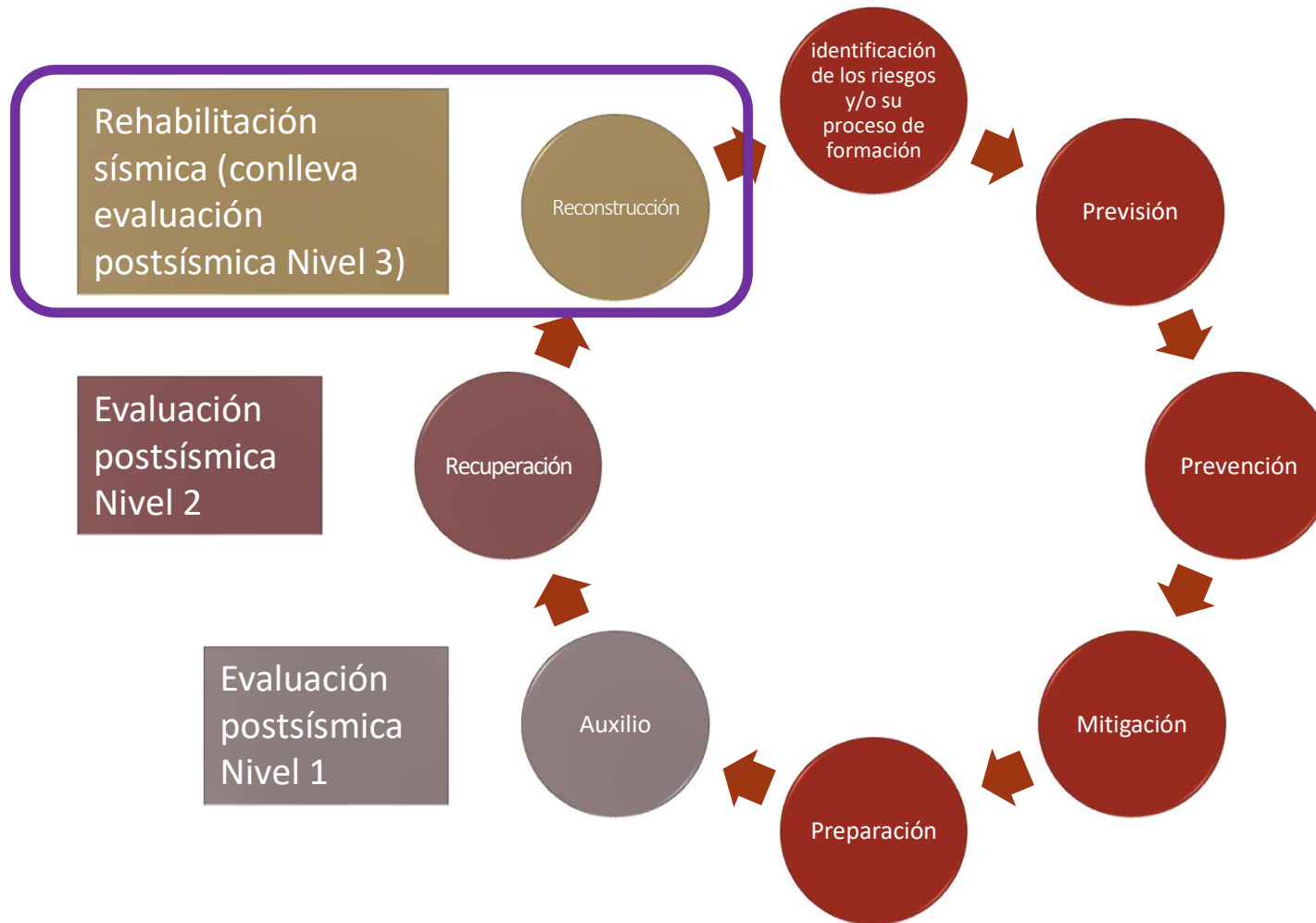
# Rehabilitación sísmica de la infraestructura física educativa de México. Guía técnica

---

SERGIO M. ALCO CER  
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

**Niveles 1 y 2**

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

**Nivel 3**

# REHABILITACIÓN SÍSMICA DE LA INFRAESTRUCTURA FÍSICA EDUCATIVA DE MÉXICO GUÍA TÉCNICA



## ¿A quién va dirigida?

“Dirigida a los proyectistas, constructores, Directores, Corresponsables y propietarios, responsables de **evaluar, analizar, diseñar, construir, revisar** y **supervisar** el proceso de rehabilitación de un edificio escolar, así como de **mantener** y **operar** el inmueble en adecuadas condiciones”.

| Nivel y Fase  | Brigadas  | Objetivos   | Duración         | Responsable              |
|---|---|---|------------------|--------------------------|
| <b>Nivel 3:</b><br>Evaluación Profunda<br><b>Fase:</b><br>Reconstrucción<br><br>(semanas y meses después del sismo) | Ingenieros estructurales<br>Ingenieros geotecnistas /<br>geólogos | <ul style="list-style-type: none"><li>Investigación detallada</li><li>Implica la evaluación numérica</li><li>Diseño de la rehabilitación temporal y permanente</li><li>Planos de construcción</li></ul> | Una semana o más | Propietario del inmueble |

Es de observancia obligatoria para el Sistema Educativo Nacional

## ¿Cómo usar la Guía?

### Normatividad aplicable según las acciones de diseño

| <b>Acción de diseño</b>                       | <b>En entidades federativas distintas de la Ciudad de México</b> | <b>En la Ciudad de México</b> |
|---|--|-------------------------------|
| Sismo   | NMX-R-079-SCFI-2015  | NTC-Sismo 2017                |
| Otras (cargas permanentes, variables, viento) | NTC-Acciones local*  | NTC-Acciones 2017             |

### Normatividad aplicable según el material de construcción

| <b>Material de construcción</b> | <b>En entidades federativas distintas de la Ciudad de México</b> | <b>En la Ciudad de México</b> |
|---------------------------------|--|-------------------------------|
| Acero                           | NTC-Acero local*   | NTC-Acero 2017                |
| Concreto                        | NTC-Concreto local*  | NTC-Concreto 2017             |
| Mampostería                     | NTC-Mampostería local*   | NTC-Mampostería 2017          |

\*A menos que sean anteriores a 2017 o cuando sus requisitos sean menos estrictos que los establecidos en la normatividad de la Ciudad de México, en cuyo caso se usarán las NTC-Acero, NTC-Concreto y NTC-Mampostería 2017 de la Ciudad de México.

## Recomendaciones

### Concreto

Encamisar los elementos de los marcos resistentes a momento

Añadir muros de concreto

Sustituir, añadir o encamisar muros diafragma de mampostería existentes

Añadir contraventeos metálicos

Separar y recortar pretilas de mampostería adyacentes al marco

Añadir sistemas de protección pasiva





## Recomendaciones

### Acero

Encamisar los elementos de los marcos resistentes a momento

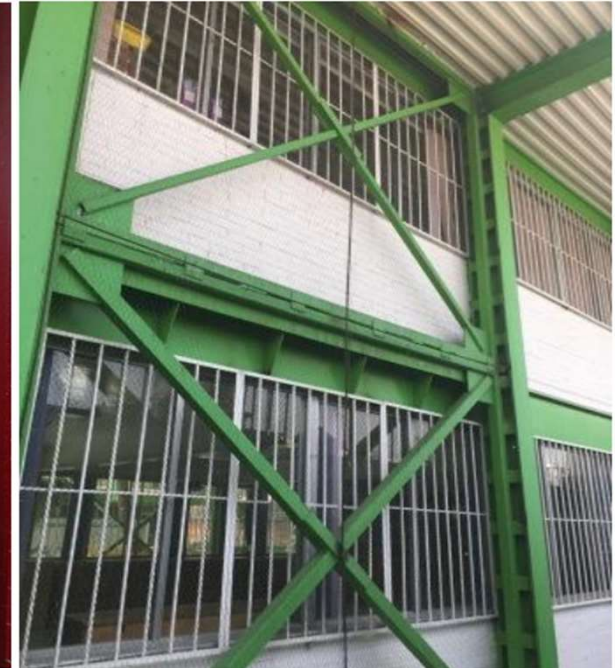
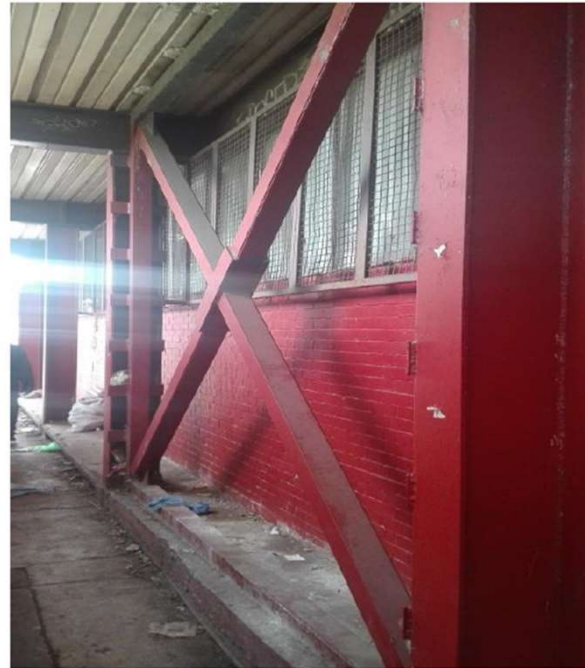
Añadir muros de concreto

Sustituir, añadir o encamisar muros diafragma de mampostería existentes

Añadir contraventeos metálicos

Separar y recortar pretiles de mampostería adyacentes al marco

Añadir sistemas de protección pasiva



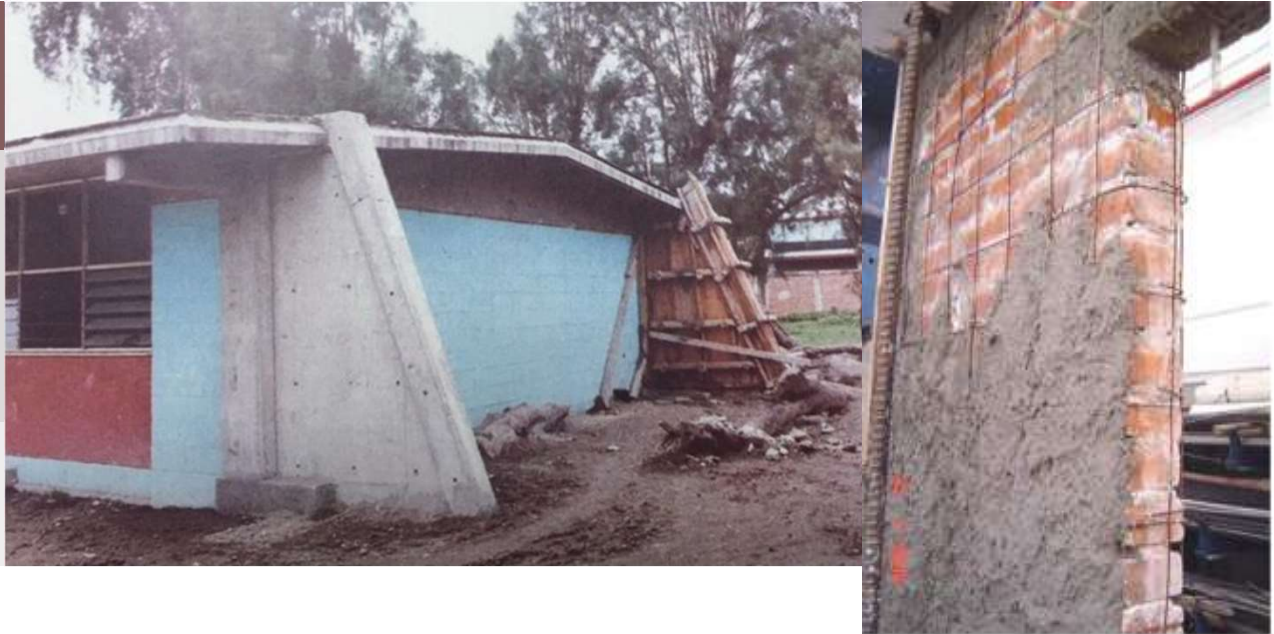
## Recomendaciones

### Mampostería

Añadir muros (de mampostería o de concreto)

Encamisar muros de mampostería existentes (con mallas de alambre soldado y concreto o mortero)

Añadir contrafuertes externos de concreto



# Informe y proyecto ejecutivo

## Informe

|  |
|--|
| Descripción de la estructura original y de sus modificaciones              |
| Historia de reparaciones y/o reforzamientos anteriores                     |
| Descripción y documentación del daño y su clasificación (N-Rehabilitación) |
| Descripción y documentación de las condiciones peligrosas                  |
| Criterios de evaluación y resultados                                       |
| Condiciones y detalles de la rehabilitación propuesta                      |
| Requisitos de materiales usados en la rehabilitación                       |
| Identificación de elementos o partes por ser apuntalados y/o arriostrados  |
| Aseguramiento y control de la calidad de materiales y de la rehabilitación |
| Periodicidad, tipo y nivel de revisión de la rehabilitación                |
| Instrucciones para el mantenimiento de la estructura                       |

## Proyecto ejecutivo

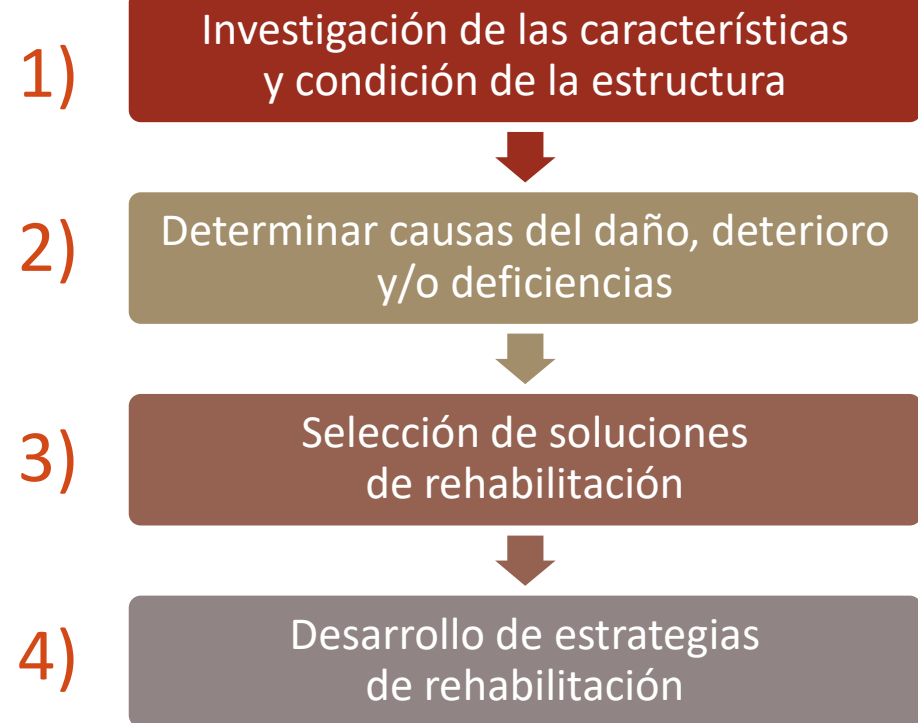
|   |
|---|
| Hipótesis de diseño, requisitos de construcción y propiedades de materiales   |
| Detalles sobre la reparación y reforzamiento y de preparación de la estructura existente, incluyendo a la cimentación |
| Magnitud y ubicación de fuerzas de presfuerzo   |
| Anclaje y longitud de desarrollo del refuerzo   |
| Tipo y ubicación de anclas y conectores   |
| Número, tamaño, refuerzo y detalles de pilotes, pilas o micropilotes  |
| Detalle de conexiones entre elementos y componentes existentes con los nuevos o rehabilitados                         |
| Criterios y detallado de apuntalamiento y arriostramiento   |
| Procedimiento constructivo por etapas claro y preciso   |

## Estrategias de rehabilitación



- Modificación de componentes estructurales.
- Eliminación o mitigación de irregularidades o discontinuidades existentes.
- Rigidización global de la estructura.
- Reforzamiento global de la estructura.
- Eliminación o corrección de problemas causados por la interacción entre edificios.
- Reducción de la masa reactiva.
- Adición de elementos de control de la respuesta.

## Etapas de evaluación



## Aspectos de evaluación

Degradación de materiales

Pérdida de  $A_s$  por corrosión

Refuerzo ausente o mal colocado

Eventos como sismos o incendios

Asentamientos diferenciales y/o Inclinaciones

Zonas afectadas por grietas en el subsuelo

## Daño y deterioro



# Propiedades de elementos y componentes

Determinar  
 $f'_c, E_c, f_y, F_y$

Planos y  
memorias

Datos  
históricos

Ensayos  
físicos

Clase del concreto  
a partir de peso  
volumétrico

## Factores:

- Presencia de corrosión
- Presencia de deterioro
- Pérdida de adherencia y deslizamiento

NO se pueden usar métodos no destructivos para determinar propiedades mecánicas





## Propiedades de elementos y componentes

### Concreto

| Época      | Cimentaciones $f_c'$ | Vigas $f_c'$ | Losas $f_c'$ | Columnas $f_c'$ | Muros $f_c'$ |
|------------|----------------------|--------------|--------------|-----------------|--------------|
| 1900-1987  | 20 (200)             | 20 (200)     | 20 (200)     | 20 (200)        | 20 (200)     |
| 1987-fecha | 25 (250)             | 25 (250)     | 25 (250)     | 25 (250)        | 25 (250)     |

Son aplicables a menos que el deterioro haya afectado su desempeño

# Contenido

|            |                                     |
|------------|-------------------------------------|
| Capítulo 1 | • Consideraciones generales         |
| Capítulo 2 | • Requisitos generales              |
| Capítulo 3 | • Cargas, FC, FR                    |
| Capítulo 4 | • Evaluación y análisis estructural |
| Capítulo 5 | • Diseño                            |
| Capítulo 6 | • Técnicas de rehabilitación        |
| Capítulo 7 | • Durabilidad                       |
| Capítulo 8 | • Construcción                      |
| Capítulo 9 | • Aseguramiento de la calidad       |



- 6.1 • Alcance
- 6.2 • Reparación local
- 6.3 • Reparación de grietas
- 6.4 • Reemplazo de elementos
- 6.5 • Conexión de elementos
- 6.6 • Encamisado con concreto
- 6.7 • Encamisado con acero
- 6.8 • Encamisado con CPRF
- 6.9 • Encamisado de muros de mampostería
- 6.10 • Adición de muros de concreto
- 6.11 • Adición de contraventeos de acero
- 6.12 • Adición de cables postensados
- 6.13 • Adición de muros diafragma
- 6.14 • Separación de pretilas
- 6.15 • Sistemas de protección pasiva
- 6.16 • Cimentación

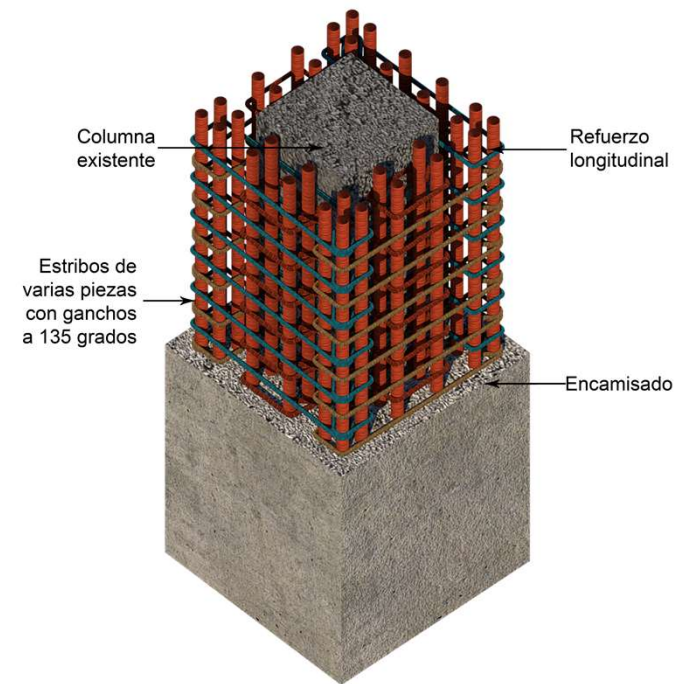
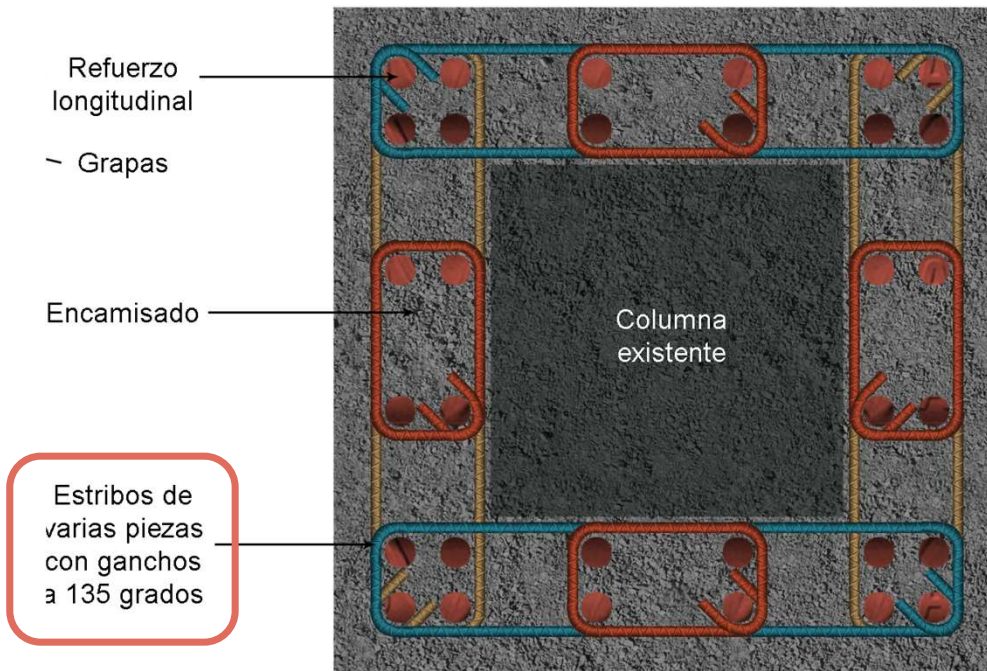


## Encamisado de vigas, columnas o nudos con concreto

- Incrementa capacidad de deformación y resistencia y rigidez
- Consiste en añadir una capa de concreto alrededor de elementos existentes



# Encamisado de columnas



Posibles configuraciones de encamisados de columnas

## Consideraciones constructivas



Escarificación **NO**  
adecuada



Escarificación  
**adecuada**



## Consideraciones constructivas



Estribos con  
ganchos a 90°



## Consideraciones constructivas

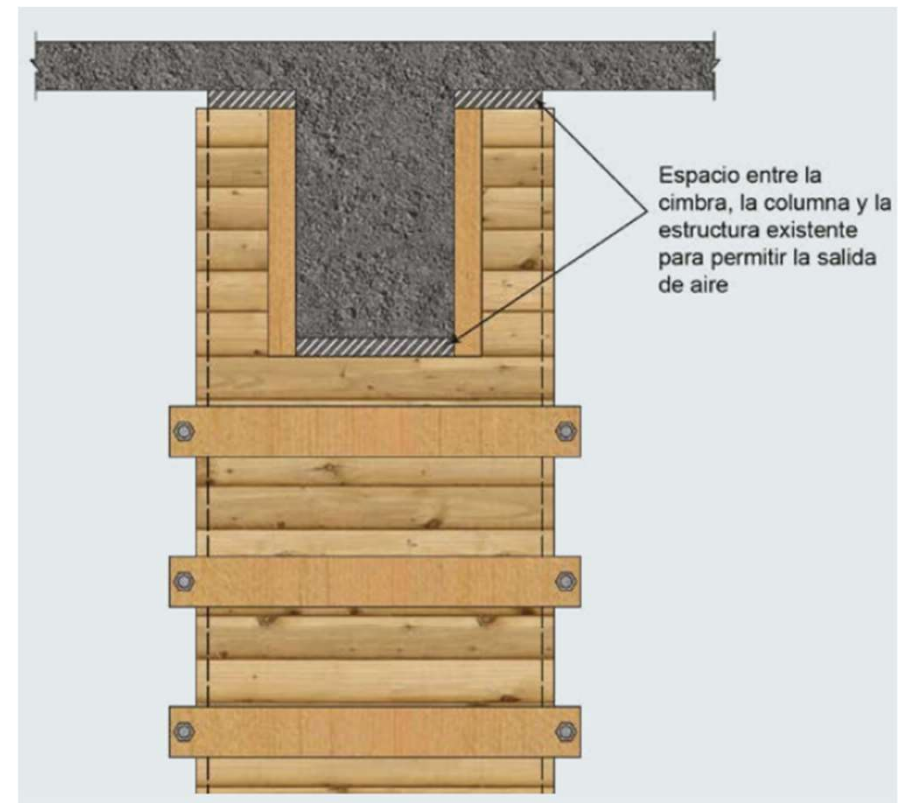


Estribos con  
ganchos a  $135^\circ$



## Consideraciones constructivas

**Ejemplo de cimbra de columna encamisada para facilitar la salida de aire del concreto**





## Obligaciones y responsabilidades del constructor

- a) El Constructor es responsable de construir y ejecutar el proyecto de la rehabilitación de conformidad con el proyecto ejecutivo.
- b) El Constructor tendrá la obligación de facilitar y proveer los recursos y acceso para la supervisión, las pruebas de materiales, las pruebas de carga, y el aseguramiento de la calidad.
- c) Cumplir con los requisitos específicos de apuntalamiento y arriostramiento.
- d) Cumplir con los requisitos específicos de supervisión, ensaye, construcción y aseguramiento de la calidad.



## Apuntalamiento y arriostramiento

---

1. Especificar qué partes de la obra requieren apuntalamiento y/o arriostramiento
2. Considerar cargas de diseño y límites de desplazamiento
  - a) Considerar condiciones actuales y durante la construcción
  - b) Impacto del apuntalamiento y/o arriostramiento en la estructura
  - c) Efectos de compatibilidad de deformaciones
  - d) Estabilidad estructural
  - e) Efectos de daño y deterioro
3. El diseño realizado por un proyectista especializado en el tema
4. Cargas laterales para el diseño
5. Rigidez vertical y lateral será suficiente para que los desplazamientos laterales y verticales no excedan los valores establecidos por el proyectista

## Alcance de la supervisión

---

- a) Tipo, calidad y ubicación de los materiales usados en la rehabilitación
- b) Proceso de cimbrado, descimbrado y apuntalamiento
- c) Demolición del concreto y preparación de la superficie del concreto y de las barras de refuerzo
- d) Colocación del refuerzo, anclas y conectores
- e) Mezclado, colocación, compactación y curado de materiales de rehabilitación
- f) Secuencia de construcción y conexión de nuevos elementos
- g) Instalación y ensaye de anclas y conectores post-instalados
- h) Tensado de cables
- i) Revisión e informe de cargas de construcción sobre pisos, vigas, columnas y muros
- j) Evaluación general de la obra

## 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



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

---

SERGIO M. ALCO CER  
INSTITUTO DE INGENIERÍA, UNAM

Febrero, 2021