



GOBIERNO DE LA
CIUDAD DE MÉXICO

SECRETARÍA
DE OBRAS Y SERVICIOS



INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM

GUÍA TÉCNICA PARA LA REHABILITACIÓN SÍSMICA DE EDIFICIOS ESCOLARES DE LA CIUDAD DE MÉXICO



Diciembre, 2019

Versión 1.1



GOBIERNO DE LA
CIUDAD DE MÉXICO

SECRETARÍA
DE OBRAS Y SERVICIOS



INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM

GUÍA TÉCNICA PARA LA REHABILITACIÓN SÍSMICA DE EDIFICIOS ESCOLARES DE LA CIUDAD DE MÉXICO

**Preparada por el Instituto de Ingeniería de la
Universidad Nacional Autónoma de México**

Para la Secretaría de Obras y Servicios de la Ciudad de México

Diciembre, 2019



GOBIERNO DE LA
CIUDAD DE MÉXICO

SECRETARÍA
DE OBRAS Y SERVICIOS



INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM

Participantes

Autores

Instituto de Ingeniería, UNAM

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

Jorge L. Abarca Juárez
Rubén Bautista Monroy
German A. Bogoya Bernate
Víctor D. Cruz Eligio
Yaneivy Martínez Padrón
Bernardo Moctezuma Gómez
Diana C. Ramírez Quintero
Gianella A. Valencia Ronquillo



Asesores y revisores

José C Arce Riobóo
Renato Berrón Ruiz
Francisco Chacón García
Alberto Cuevas Rivas
Óscar De la Torre Rangel
Marco Faradji Capón
Francisco García Álvarez
Francisco García Jarque
Oscar M González Cuevas
Miguel Ángel Guzmán Escudero
Raúl Jean Perrilliat
Jorge I. Leautaud Zamanillo
Roberto Meli Piralla
Carlos Tapia Castro
Eduardo Vidaud Quintana



PRESENTACIÓN

La Guía Técnica para la Rehabilitación Sísmica de Edificios Escolares de la Ciudad de México fue desarrollada para proveer, a los proyectistas, constructores, Directores Responsables de Obra, Corresponsables en Seguridad Estructural y propietarios de edificios escolares, reglas técnicamente sólidas y aceptadas para rehabilitar edificios escolares ante sismos.

La Guía incluye requisitos mínimos para la evaluación, análisis, diseño, construcción y aseguramiento de la calidad de la rehabilitación de edificios, sistemas, componentes y elementos estructurales de edificios escolares.

La Guía fue desarrollada específicamente para usarse con el Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal, sus Normas Técnicas Complementarias y demás Normas aplicables.

La Guía es complemento de los Lineamientos Técnicos para la Revisión de la Seguridad Estructural de Planteles Educativos en la Ciudad de México Después de un Sismo, publicados en la Gaceta Oficial de la Ciudad de México el 18 de septiembre de 2019. La observancia de la Guía es obligatoria.



CONTENIDO

PRESENTACIÓN	IV
CONTENIDO	1
NOTACIÓN	6
DEFINICIONES	9
CAPÍTULO PRIMERO	11
1 CONSIDERACIONES GENERALES	11
1.1 Alcance, contenido y limitaciones	11
1.2 Relación con el Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal y con sus Normas Técnicas Complementarias y otras Normas.....	12
1.3 Comportamiento de edificios escolares en los sismos de septiembre de 2017	13
1.3.1 Vigas	14
1.3.2 Columnas.....	14
1.3.3 Losas.....	16
1.3.4 Uniones viga-columna.....	17
1.3.5 Muros.....	18
1.3.6 Daños en prototipos CAPFCE/INIFED	19
1.4 Comportamiento de prototipos rehabilitados.....	21
1.5 Zonas prioritarias de atención.....	22
1.6 Uso de esta Guía.....	23
CAPÍTULO SEGUNDO	25
2 REQUISITOS GENERALES DE LA REHABILITACIÓN	25
2.1 Alcance	25
2.2 Responsabilidades	25
2.3 Proyecto ejecutivo	26
2.4 Criterios para evaluación y diseño de la rehabilitación	26
2.4.1 Criterios para la evaluación.....	26
2.4.2 Criterios de diseño.....	27
2.5 Métodos de rehabilitación	28
2.5.1 Proyectos de rehabilitación de edificios escolares.....	28
2.5.2 Proyectos de rehabilitación de prototipos CAPFCE/INIFED.....	28
2.6 Estrategias de rehabilitación.....	29
2.6.1 Modificación de componentes estructurales.....	29
2.6.2 Eliminación o mitigación de irregularidades o discontinuidades existentes.....	29
2.6.3 Rigidización global de la estructura.....	31
2.6.4 Reforzamiento global de la estructura.....	31
2.6.5 Eliminación o corrección de problemas causados por la interacción entre edificios.....	31
2.6.6 Reducción de la masa reactiva.....	31
2.6.7 Adición de elementos de control de la respuesta.....	32
CAPÍTULO TERCERO	33
3 CARGAS, FACTORES DE CARGA Y FACTORES DE RESISTENCIA	33
3.1 Alcance	33
3.2 Factores de carga y combinaciones de carga	33
3.3 Factores de resistencia para el diseño de la rehabilitación.....	34
3.4 Factores de resistencia para la evaluación	34



3.5	Combinaciones de carga adicionales para estructuras rehabilitadas con sistemas externos	34
CAPÍTULO CUARTO.....		35
4	EVALUACIÓN Y ANÁLISIS ESTRUCTURAL	35
4.1	Alcance	35
4.2	Investigación de las características de los edificios escolares	35
4.2.1	<i>Condiciones del edificio existente</i>	<i>35</i>
4.2.2	<i>Configuración del edificio</i>	<i>36</i>
4.2.3	<i>Extensión y ubicación del daño y deterioro.....</i>	<i>36</i>
4.2.4	<i>Propiedades de elementos y componentes.....</i>	<i>37</i>
4.2.5	<i>Ensayes para determinar las propiedades de los materiales</i>	<i>38</i>
4.2.6	<i>Caracterización del sitio e información geotécnica</i>	<i>42</i>
4.3	Métodos de análisis	43
4.3.1	<i>Requisitos generales</i>	<i>43</i>
4.3.2	<i>Estados límite de servicio</i>	<i>44</i>
4.3.3	<i>Análisis para diseño de la rehabilitación.....</i>	<i>44</i>
4.3.4	<i>Criterios de aceptación</i>	<i>45</i>
4.4	Pruebas de carga.....	45
CAPÍTULO QUINTO.....		46
5	DISEÑO.....	46
5.1	Alcance.....	46
5.2	Estados límite de falla y de servicio	46
5.3	Comportamiento de sistemas rehabilitados	46
5.4	Adherencia de materiales de rehabilitación a base de cemento	47
5.5	Materiales	49
5.6	Consideraciones de diseño y detallado	49
5.7	Rehabilitación usando compuestos de polímeros reforzados con fibras (CPRF)	52
5.8	Diafragmas	53
CAPÍTULO SEXTO		55
6	TÉCNICAS DE REHABILITACIÓN DE EDIFICIOS ESCOLARES.....	55
6.1	Alcance.....	55
6.1.1	<i>Proceso de rehabilitación.....</i>	<i>55</i>
6.2	Reparación de grietas	56
6.2.1	<i>Deficiencia por corregir</i>	<i>56</i>
6.2.2	<i>Descripción de la técnica</i>	<i>57</i>
6.2.3	<i>Requisitos de diseño</i>	<i>61</i>
6.2.4	<i>Requisitos de construcción.....</i>	<i>62</i>
6.2.5	<i>Requisitos de supervisión y aseguramiento de la calidad</i>	<i>63</i>
6.3	Conexión entre elementos existentes y materiales o elementos nuevos	63
6.3.1	<i>Deficiencia por corregir.....</i>	<i>63</i>
6.3.2	<i>Demandas de resistencia, rigidez y capacidad de deformación inelástica para diseño sísmico</i>	<i>64</i>
6.3.3	<i>Descripción de la técnica</i>	<i>64</i>
6.3.4	<i>Requisitos de análisis</i>	<i>65</i>
6.3.5	<i>Requisitos de diseño</i>	<i>65</i>
6.3.6	<i>Procedimientos de diseño.....</i>	<i>65</i>
6.3.7	<i>Requisitos de construcción.....</i>	<i>67</i>
6.3.8	<i>Requisitos de supervisión y aseguramiento de la calidad</i>	<i>68</i>
6.4	Encamisados de vigas, columnas o nudos con concreto reforzado.....	68
6.4.1	<i>Deficiencia por corregir.....</i>	<i>68</i>
6.4.2	<i>Demandas de resistencia, rigidez y capacidad de deformación inelástica para diseño sísmico</i>	<i>69</i>



6.4.3	<i>Descripción de la técnica</i>	69
6.4.4	<i>Consideraciones de análisis</i>	71
6.4.5	<i>Requisitos de diseño</i>	72
6.4.6	<i>Requisitos de construcción</i>	75
6.4.7	<i>Requisitos de supervisión y aseguramiento de la calidad</i>	76
6.5	Encamisados de vigas, columnas o nudos con acero	76
6.5.1	<i>Deficiencia por corregir</i>	76
6.5.2	<i>Demandas de resistencia, rigidez y capacidad de deformación inelástica para diseño sísmico</i>	77
6.5.3	<i>Descripción de la técnica</i>	77
6.5.4	<i>Requisitos de análisis</i>	80
6.5.5	<i>Requisitos de diseño</i>	80
6.5.6	<i>Requisitos de construcción</i>	86
6.5.7	<i>Requisitos de supervisión y aseguramiento de la calidad</i>	89
6.6	Encamisados de vigas, columnas, nudos y muros con compuestos de polímeros reforzados con fibras (CPRF)	89
6.6.1	<i>Deficiencia por corregir</i>	89
6.6.2	<i>Demandas de resistencia, rigidez y capacidad de deformación inelástica para diseño sísmico</i>	89
6.6.3	<i>Descripción de la técnica</i>	89
6.6.4	<i>Requisitos de análisis</i>	90
6.6.5	<i>Requisitos de diseño</i>	90
6.6.6	<i>Requisitos de construcción</i>	95
6.6.7	<i>Requisitos de supervisión y aseguramiento de la calidad</i>	96
6.7	Encamisado de muros de mampostería	96
6.7.1	<i>Deficiencia por corregir</i>	96
6.7.2	<i>Demandas de resistencia, rigidez y capacidad de deformación inelástica para diseño sísmico</i>	97
6.7.3	<i>Descripción de la técnica</i>	97
6.7.4	<i>Requisitos de análisis</i>	97
6.7.5	<i>Requisitos de diseño</i>	98
6.7.6	<i>Requisitos de construcción</i>	99
6.7.7	<i>Requisitos de supervisión y aseguramiento de la calidad</i>	106
6.7.8	<i>Uso en la infraestructura escolar</i>	107
6.8	Adición de muros de concreto	108
6.8.1	<i>Deficiencia por corregir</i>	108
6.8.2	<i>Demandas de resistencia, rigidez y capacidad de deformación inelástica para diseño sísmico</i>	108
6.8.3	<i>Descripción de la técnica</i>	108
6.8.4	<i>Requisitos de análisis</i>	112
6.8.5	<i>Requisitos de diseño</i>	112
6.8.6	<i>Requisitos de construcción</i>	122
6.8.7	<i>Requisitos de supervisión y aseguramiento de la calidad</i>	123
6.8.8	<i>Uso en la infraestructura escolar</i>	123
6.9	Adición de contraventeos de acero	124
6.9.1	<i>Deficiencia por corregir</i>	124
6.9.2	<i>Demandas de resistencia, rigidez y capacidad de deformación inelástica para diseño sísmico</i>	125
6.9.3	<i>Descripción de la técnica</i>	125
6.9.4	<i>Disposición de contraventeos</i>	125
6.9.5	<i>Requisitos de análisis</i>	132
6.9.6	<i>Requisitos de diseño</i>	132
6.9.7	<i>Requisitos de construcción</i>	140
6.9.8	<i>Requisitos de supervisión y aseguramiento de la calidad</i>	141
6.9.9	<i>Uso en la infraestructura escolar</i>	141
6.10	Adición de contraventeos metálicos a base de cables postensados	142



6.10.1	<i>Deficiencia por corregir</i>	142
6.10.2	<i>Demandas de resistencia, rigidez y capacidad de deformación inelástica para diseño sísmico</i> 142	
6.10.3	<i>Descripción de la técnica</i>	143
6.10.4	<i>Requisitos de análisis</i>	143
6.10.5	<i>Requisitos de diseño</i>	143
6.10.6	<i>Requisitos de construcción</i>	143
6.10.7	<i>Requisitos de supervisión y aseguramiento de la calidad</i>	144
6.10.8	<i>Uso en la infraestructura escolar</i>	144
6.11	Sustitución o adición de muros diafragma de mampostería	145
6.11.1	<i>Deficiencia por corregir</i>	145
6.11.2	<i>Demandas de resistencia, rigidez y capacidad de deformación inelástica para diseño sísmico</i> 145	
6.11.3	<i>Descripción de la técnica</i>	146
6.11.4	<i>Requisitos de análisis</i>	147
6.11.5	<i>Requisitos de diseño</i>	148
6.11.6	<i>Requisitos de construcción</i>	148
6.11.7	<i>Requisitos de supervisión y aseguramiento de la calidad</i>	149
6.11.8	<i>Uso en la infraestructura escolar</i>	149
6.12	Separación y recorte de pretiles en marcos de concreto o acero	150
6.12.1	<i>Deficiencia por corregir</i>	150
6.12.2	<i>Demandas de resistencia, rigidez y capacidad de deformación inelástica para diseño sísmico</i> 150	
6.12.3	<i>Descripción de la técnica</i>	151
6.12.4	<i>Consideraciones de análisis</i>	151
6.12.5	<i>Requisitos de diseño</i>	151
6.12.6	<i>Requisitos de construcción</i>	152
6.12.7	<i>Requisitos de supervisión y aseguramiento de la calidad</i>	152
6.12.8	<i>Uso en la infraestructura escolar</i>	152
6.13	Sistemas de protección pasiva	153
6.13.1	<i>Deficiencia por corregir</i>	153
6.13.2	<i>Demandas de resistencia, rigidez y capacidad de deformación inelástica para diseño sísmico</i> 154	
6.13.3	<i>Descripción de la técnica</i>	154
6.13.4	<i>Requisitos de análisis</i>	154
6.13.5	<i>Requisitos de diseño</i>	154
6.13.6	<i>Requisitos de construcción</i>	155
6.13.7	<i>Requisitos de supervisión y aseguramiento de la calidad</i>	155
6.14	Rehabilitación de la cimentación	155
6.14.1	<i>General</i>	155
6.14.2	<i>Deficiencias por corregir</i>	155
6.14.3	<i>Demandas de resistencia, rigidez y capacidad de deformación inelástica para diseño sísmico</i> 156	
6.14.4	<i>Investigación del subsuelo</i>	156
6.14.5	<i>Rehabilitación de elementos estructurales de la cimentación</i>	160
6.14.6	<i>Adición de pilotes</i>	160
6.14.7	<i>Recimentación y renivelación</i>	162
6.14.8	<i>Pilotes de control</i>	163
6.14.9	<i>Subexcavación</i>	168
6.14.10	<i>Micropilotes</i>	169
CAPÍTULO SÉPTIMO		173
7	DURABILIDAD	173



7.1	Alcance general	173
7.2	Recubrimiento	173
7.3	Grietas	174
7.4	Corrosión y deterioro del refuerzo de elementos metálicos embebidos	174
7.4.1	Introducción a la corrosión	174
7.4.2	Reparación de la corrosión	177
7.5	Protección del refuerzo contra la corrosión	181
7.5.1	General	181
7.5.2	Estrategias para inhibir el proceso de corrosión	181
7.6	Tratamiento de la superficie y revestimientos	182
CAPÍTULO OCTAVO		183
8	CONSTRUCCIÓN	183
8.1	General	183
8.2	Apuntalamiento y arriostamiento temporales.....	183
8.3	Condiciones temporales.....	185
8.4	Protección ambiental	185
CAPÍTULO NOVENO		186
9	ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD	186
9.1	Alcance	186
9.2	Supervisión	186
9.3	Prueba de materiales de rehabilitación	187
9.4	Visitas del proyectista.....	187
9.5	Plan de aseguramiento de la calidad de la construcción	187
9.6	Requisitos de aseguramiento de la calidad de la construcción	188
9.6.1	Del proyectista.....	188
9.6.2	Del Corresponsable.....	188
9.6.3	Del supervisor	188
9.6.4	De laboratorios acreditados.....	188
9.6.5	Del Director.....	188
9.6.6	Del constructor.....	189
10	REFERENCIAS GENERALES Y BIBLIOGRAFÍA	190



NOTACIÓN

A_c	área proyectada de la superficie de falla del cono de concreto de un anclaje único, mm^2 .
$A_{col,existente}$	área de la sección transversal de la columna existente, mm^2 .
$A_{encamisado}$	área de la sección transversal del concreto nuevo, mm^2 .
A_s	área transversal de la sección del contraventeo, mm .
A_{s0}	área efectiva de la sección transversal de la barra de acero roscada, o área nominal de la sección transversal de la barra de anclaje, mm^2 .
A_{sa}	área de la sección transversal del conector de expansión en la interfaz del concreto, o área de la sección transversal del conector adhesivo, mm^2 .
A_{se}	área mínima de la sección transversal del conector de expansión, mm^2 .
A_{sh}	suma del área de la sección transversal de estribos y grapas, mm^2 .
A_t	área total de la sección transversal de un miembro, mm^2 .
b	ancho efectivo, no reducidos, de la sección, mm .
b_a	ancho de la sección transversal del ángulo, mm .
b_b	ancho efectivo, no reducido de la viga, mm .
b_c	ancho efectivo, no reducido de la columna, mm .
b_2	dimensión transversal de la sección de la columna perpendicular a la dirección de análisis, mm .
CP	cargas permanentes.
CV	cargas variables.
c	cohesión del suelo, t/m^3 .
D	diámetro o diagonal de la sección para diseño de CPRF, mm .
d	peralte efectivo de la sección, mm .
d_a	diámetro del conector; diámetro nominal de la barra de anclaje para conectores adhesivos o diámetro del mando del conector de expansión, mm .
d_b	diámetro del acero de refuerzo transversal, de la barra de acero roscada, o de la barra de anclaje, mm .
d_{bl}	diámetro del acero de refuerzo longitudinal.
E	módulo de la elasticidad del acero estructural, $\text{MPa (kg/cm}^2\text{)}$.
E_c	módulo de la elasticidad del concreto de peso normal, $\text{MPa (kg/cm}^2\text{)}$.
E_f	módulo de elasticidad del CPRF, MPa .
E_m	módulo de elasticidad de la mampostería para esfuerzos de compresión normales a las juntas, $\text{MPa (kg/cm}^2\text{)}$.
E_s	módulo de la elasticidad del acero de refuerzo, $\text{MPa (kg/cm}^2\text{)}$.
F_m	fricción negativa, N (kg) .
F_R	factor de resistencia
F_y	esfuerzo especificado de fluencia del acero estructural, $\text{MPa (kg/cm}^2\text{)}$.
f'_c	resistencia especificada del concreto a compresión, $\text{MPa (kg/cm}^2\text{)}$.
$f'_{c'eq}$	resistencia a compresión del concreto equivalente para revisión de un nudo encamisado, $\text{MPa (kg/cm}^2\text{)}$.
f_{fe}	tensión efectiva del CPRF, $\text{MPa (kg/cm}^2\text{)}$.
f_s	esfuerzo máximo que puede ser desarrollado por una barra anclada o traslapada, MPa .
f'_m	resistencia especificada de la mampostería a compresión, referida al área bruta, $\text{MPa (kg/cm}^2\text{)}$.
f_u	esfuerzo último del acero de refuerzo longitudinal, $\text{MPa (kg/cm}^2\text{)}$.



f_y	esfuerzo especificado de fluencia del acero de refuerzo, de anclas y conectores, MPa (kg/cm ²).
f_{ya}	esfuerzo especificado de fluencia del conector, MPa.
$f_{yL/E}$	límite inferior o valor esperado del esfuerzo especificado de fluencia del acero de refuerzo, MPa (kg/cm ²).
G_m	módulo de cortante de la mampostería, MPa (kg/cm ²).
H	altura del muro en consideración, o también profundidad de la capa dura, mm.
h_a	altura de la sección transversal del ángulo, mm.
h_c	altura de la estructura, mm.
h_{sol}	ancho de la solera, mm.
K	factor de longitud efectiva.
K_{tr}	índice de refuerzo transversal.
L	longitud libre de un elemento, mm.
l_b	longitud de desarrollo, de anclaje o de traslape disponible, mm.
l_d	longitud de desarrollo, de anclaje o de traslape requerida por NTC-Concreto, mm.
l_e	longitud de empotramiento efectiva del conector, mm.
l_s	longitud de la solera, mm.
l_v	claro de cortante e igual a la distancia entre la sección de momento máximo y el punto de inflexión en el diagrama de momentos, mm.
M_p	momento plástico resistente nominal de un miembro en flexión, N mm (kg cm)
m_y	módulo de compresibilidad del suelo, cm ² /kg
N_a	esfuerzo nominal de tensión del conector, MPa (kg/cm ²).
n	número de pisos arriba del nivel de banqueta, o también número de capas de CPRF.
P	carga axial máxima a compresión o a tensión, o también peso total del prisma de arcilla N (kg).
p_c	cuantía de refuerzo de confinamiento considerada equivalente a los estribos; su límite superior es de 0.012.
p_m	cuantía de refuerzo paralelo a la dirección de la fuerza de diseño calculada con la ecuación 7.4.4 de las NTC-Concreto.
p_n	cuantía de refuerzo perpendicular a la fuerza cortante de diseño calculada con la ecuación 7.4.5 de las NTC-Concreto.
Q	factor de comportamiento sísmico.
Q_c	carga de fluencia de la celda, N (kg).
Q_f	capacidad friccionante del pilote, N (kg).
Q_p	capacidad última de punta, N (kg).
q_c	resistencia a la penetración de cono eléctrico, kg/cm ²
R_c	resistencia del contraventeo en compresión axial según el inciso 5.2.1 de las NTC-Acero, N (kg).
R_d	reacción dinámica de la capa dura, N (kg).
R_e	reacción estática de la capa dura, N (kg).
R_n	resistencia nominal del elemento usando las propiedades de los materiales determinadas en la sección 4.2.4 de esta Guía.
R_y	cociente del esfuerzo de fluencia esperado entre el mínimo especificado, ver tabla 12.1.1 de las NTC-Acero.
r	radio de giro de una sección; también recubrimiento, mm.
s_f	separación entre los ejes de las bandas de CPRF, mm.



s	separación del refuerzo transversal, o separación de soleras, o también separación del refuerzo helicoidal mm.
\tilde{T}_e	periodo efectivo del sistema suelo-estructura, s.
t	espesor de la placa de conexión, mm.
t_a	espesor del ángulo de acero, mm.
t_f	espesor de la capa de CPRF, mm.
t_p	espesor de la placa de acero, mm.
t_s	espesor de la solera de acero, mm.
U_h	Presión hidrostática, MPa (kg/cm ²).
U_p	Presión piezométrica del agua, MPa (kg/cm ²).
u_D	tiempo de recepción después de la inyección, s.
u_S	tiempo de recepción de referencia que se obtenga en concreto sano en el mismo elemento estructural que se está evaluando, s.
V_a	resistencia a fuerza cortante del conector, N (kg).
V_s	resistencia a fuerza cortante del acero de refuerzo, N (kg).
V_u	cortante rasante requerido, N (kg).
W_c	carga compensada, N (kg).
W_{ds}	carga dinámica al suelo, N (kg).
W_{ne}	carga Neta estática, N (kg).
W_{se}	carga estática transmitida al suelo, N (kg).
W_{te}	carga total estática, N (kg).
w_f	ancho de la banda de CPRF, mm.
ΔW_s	incremento de carga por sismo, N (kg).
ε_{fe}	deformación unitaria efectiva del CPRF.
ε_{fu}	deformación unitaria última del CPRF.
ϕ	ángulo de fricción interna del material, grados.
γ	peso volumétrico del suelo, t/m ³ .
γ_m	peso volumétrico de la capa dura, t/m ³ .
ρ_l	cuantía de acero de refuerzo longitudinal.
σ_v	Esfuerzo efectivo, MPa (kg/cm ²)
τ_a	resistencia a tensión de la unión del conector adhesivo que se resiste a la extracción, MPa (kg/cm ²).
v_a	resistencia de unión del ancla adherida contra la fuerza de extracción, MPa.
u'_m	resistencia a compresión diagonal para diseño de la mampostería, referida al área bruta, MPa (kg/cm ²).



DEFINICIONES

Se define como:

- i. Administración, al Gobierno de la Ciudad de México;
- ii. Aseguramiento de la calidad, al plan, procedimientos, métodos, guías y especificaciones elaboradas para asegurar que la intención de diseño se ejecuta adecuadamente en el proceso constructivo;
- iii. Autoridad, a la Autoridad Educativa Federal;
- iv. Capacidad estructural, a la resistencia, la rigidez, la ductilidad o capacidad de deformación en el intervalo inelástico de comportamiento, y a la habilidad para disipar energía de un elemento o componente;
- v. Componente, al arreglo o conjunto de elementos estructurales que resisten cargas (por ejemplo, un marco resistente a momento arriostrado por muros diafragma);
- vi. Concreto de baja contracción, al producto químico en polvo a base de cemento, agregados finos y gruesos y aditivos que al mezclarse con agua produce un mortero sin contracciones, de alta resistencia a la compresión.
- vii. Constructor, a la persona física o moral encargada de ejecutar la obra de conformidad con el proyecto ejecutivo autorizado de acuerdo con el Reglamento;
- viii. Corresponsable, al Corresponsable en Seguridad Estructural;
- ix. Director, al Director Responsable de Obra;
- x. Edificación, a la construcción sobre un predio;
- xi. Estudio de Mecánica de Suelos, al informe escrito que contiene las características geológicas y geotécnicas del sitio donde se encuentre el edificio por rehabilitar, campaña de exploración, ensayos, determinación de las características mecánicas del material que compone el subsuelo, investigaciones geofísicas en su caso, y toda la información necesaria a fin de que el ingeniero geotécnico proponga la forma de resistir las nuevas acciones y la solución de la cimentación de la estructura rehabilitada para las condiciones del terreno, incluyendo la recimentación, la excavación y las medidas de contención, estabilización del terreno y protección a colindancias;
- xii. Estrategias de rehabilitación, al conjunto de técnicas de rehabilitación seleccionadas para eliminar o mitigar las deficiencias o daño de la estructura;
- xiii. Evaluación de la seguridad estructural, al proceso de identificación de daños, jerarquización del nivel de vulnerabilidad de elementos estructurales y no estructurales, y de determinación del nivel de seguridad de la edificación completa;
- xiv. Inmueble, al terreno y construcciones que en él se encuentran;
- xv. Instituto, al Instituto para la Seguridad de las Construcciones del Distrito Federal;
- xvi. Nivel de desempeño, a la definición del comportamiento esperado del inmueble ante el o los sismos de diseño;
- xvii. Lineamientos, a los Lineamientos Técnicos para la Revisión de la Seguridad Estructural de Planteles Educativos en la Ciudad de México Después de un Sismo, publicados en la Gaceta Oficial de la Ciudad de México el 18 de septiembre de 2019;
- xviii. Normas, a las Normas Técnicas Complementarias y otras Normas del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal vigentes;
- xix. Objetivo de la Rehabilitación, a la selección del nivel de desempeño esperado para los sismos de diseño; en el caso de esta Guía, es el establecido en las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo;



- xx. Mortero fluido sin contracción, al producto químico en polvo a base de cemento, agregados minerales y aditivos que al mezclarse con agua produce un mortero sin contracciones, de alta resistencia a la compresión.
- xxi. Peligro sísmico, probabilidad de que se produzca un cierto movimiento del suelo;
- xxii. Propietario o Poseedor, a la persona física o moral que tiene la propiedad o posesión jurídica de un bien inmueble;
- xxiii. Proyectista, a la persona física con cédula profesional encargada de realizar el proyecto estructural o de rehabilitación de acuerdo con el Reglamento, sus Normas y esta Guía;
- xxiv. Proyecto ejecutivo de obra, al conjunto de planos, memorias descriptivas y de cálculo, catálogo de conceptos, normas y especificaciones que contiene la información y define el proceso de la rehabilitación de un inmueble;
- xxv. Recimentación, modificación de la cimentación para resistir las nuevas acciones;
- xxvi. Reforzamiento, al incremento de la capacidad para resistir cargas de una estructura, de un sistema, de un componente o de un elemento estructural;
- xxvii. Reglamento, al Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal;
- xxviii. Rehabilitación, al proceso de intervención estructural para restablecer las condiciones originales (reparación) o para mejorar el comportamiento de elementos y sistemas estructurales para que la edificación cumpla con los requisitos de seguridad contra colapso y de limitación de daños establecidos en el Reglamento; incluye a la recimentación, reforzamiento, reparación y rigidización;
- xxix. Reparación, al reemplazo o corrección de materiales, componentes o elementos de una estructura que se encuentran dañados o deteriorados con el fin de recuperar su capacidad original;
- xxx. Resistencia de diseño, al producto de la resistencia nominal, calculada a partir de las Normas y de esta Guía, y el factor de resistencia señalado en esta Guía;
- xxxi. Resistencia requerida, al producto de la acción interna debida a cargas permanentes, variables y accidentales, y de sus factores de carga correspondientes;
- xxxii. Revisión de la seguridad estructural, a la comprobación de los estados límite de falla y de servicio de la estructura;
- xxxiii. Rigidización, a la adición de elementos, componentes o sistemas para reducir los desplazamientos y las deformaciones;
- xxxiv. Seguridad estructural, al nivel de cumplimiento de los estados límite de falla y de servicio de una estructura establecidos en el Reglamento y sus Normas.



CAPÍTULO PRIMERO

CONSIDERACIONES GENERALES

1.1 Alcance, contenido y limitaciones

Esta Guía contiene los requisitos mínimos para la evaluación y rehabilitación sísmica de edificios escolares, públicos y privados, de la Ciudad de México. El propósito de este documento es presentar especificaciones y lineamientos para rehabilitar edificios escolares ante sismos. La Guía está dirigida a los proyectistas, constructores, Directores, Corresponsables y propietarios, responsables de evaluar, analizar, diseñar, construir, revisar y supervisar el proceso de rehabilitación de una escuela, así como de mantener y operar el inmueble en adecuadas condiciones. La Guía es complemento de los Lineamientos Técnicos para la Revisión de la Seguridad Estructural de Planteles Educativos en la Ciudad de México Después de un Sismo, publicados en la Gaceta Oficial de la Ciudad de México el 18 de septiembre de 2019.

En este Capítulo, se describe la relación de esta Guía con las Normas Técnicas Complementarias y otras Normas del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal. Se presentan los principales modos de falla y de daño de edificios escolares a raíz de los sismos del 7 y 19 septiembre de 2017; así como las técnicas de rehabilitación generalmente empleadas en las escuelas dañadas por eventos sísmicos anteriores, incluyendo los sismos de septiembre de 2017. Finalmente, se dan recomendaciones para un uso adecuado de esta Guía.

En el Capítulo Segundo, se presentan los requisitos por satisfacer durante una rehabilitación. Se enlistan los documentos, y sus características, que se deberán incluir en un proyecto ejecutivo. Se presentan los criterios de evaluación y de diseño estructural que se deben satisfacer durante el proceso de rehabilitación. Se presenta un criterio para decidir cuándo rehabilitar un edificio escolar. Finalmente, se mencionan los distintos métodos y estrategias para llevar a cabo la rehabilitación.

En el Capítulo Tercero, se enlistan las distintas cargas y sus combinaciones que se deberán satisfacer durante el proceso de rehabilitación, así como los factores de resistencia que se deben usar para el diseño y evaluación de elementos y componentes estructurales.

En el Capítulo Cuarto, se establecen las etapas del proceso de evaluación de una estructura por rehabilitar. Se presentan las bases para evaluar la condición del edificio existente, las cuales incluyen la configuración del edificio, la determinación de propiedades de los materiales, la determinación de la condición de los elementos estructurales, entre otras. Se definen los requisitos a considerar en los métodos de análisis, se establecen los criterios para medir el periodo de vibrar, así como la revisión de los estados límite de servicio.

En el Capítulo Quinto, se establecen los parámetros de diseño para elementos nuevos y existentes, así como la revisión para los estados límite de falla y de servicio. Se señala el comportamiento objetivo de los sistemas rehabilitados. Se incluyen los requisitos para el diseño del refuerzo en la interfaz para asegurar la adherencia de materiales de rehabilitación con los elementos existentes. Finalmente, se mencionan las consideraciones sobre los materiales de rehabilitación (concreto, acero de refuerzo, mampostería, anclas y conectores, etc.) que se deben satisfacer.



En el Capítulo Sexto, se describen las técnicas de rehabilitación generalmente empleadas en edificios escolares. Para cada técnica se presentan: las deficiencias por corregir, la aplicabilidad del método en distintas estructuras, los requisitos de análisis, de diseño, de construcción y de aseguramiento de la calidad, el proceso de ejecución y su uso en los edificios escolares en el pasado. Las técnicas descritas en este capítulo son: reparación de grietas, colocación de anclas y conectores, encamisado de elementos con concreto, acero y compuestos poliméricos reforzados con fibras, encamisado de muros de mampostería, adición de muros de concreto, adición de contraventeos metálicos y a base de cables postensados, sustitución o adición de muros diafragma de mampostería, separación o corte de pretilas en marcos de concreto y acero para eliminar el efecto de columnas cortas, sistemas de protección pasiva y rehabilitación de la cimentación.

En el Capítulo Séptimo, se mencionan los diferentes métodos para asegurar que los materiales empleados en la rehabilitación y los elementos rehabilitados tengan la durabilidad necesaria para resistir al medio ambiente. Los métodos incluidos son: recubrimiento, tratamiento de grietas, protección contra la corrosión y tratamiento de la superficie y revestimientos.

En el Capítulo Octavo, se describen las responsabilidades y obligaciones del constructor en el proceso de rehabilitación. Se especifican las consideraciones necesarias para la colocación de apuntalamiento y/o arriostramiento temporal durante el proceso de rehabilitación.

En el Capítulo Noveno, se presentan los aspectos por supervisar durante el proceso de rehabilitación, así como la frecuencia de revisión de ellos. Se describen las pruebas de materiales. Se dan las bases para elaborar e implantar un Plan de Aseguramiento de la Calidad de la Construcción. Se indican las responsabilidades que tienen el proyectista, el Corresponsable, el supervisor, los laboratorios de materiales, el Director en el aseguramiento de la calidad y el constructor.

1.2 Relación con el Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal y con sus Normas Técnicas Complementarias y otras Normas

El sustento jurídico y normativo de esta Guía se encuentra en las Reformas al Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal en sus Artículos 71 y 177 bis, que a la letra dicen:

ARTÍCULO 71.- Para las construcciones del Grupo A y subgrupo B1, se debe registrar ante la Alcaldía correspondiente la Constancia de Seguridad Estructural, renovada cada cinco años, en la que un Corresponsable en Seguridad Estructural haga constar que dicha construcción se encuentra en condiciones adecuadas de seguridad, de acuerdo con las disposiciones de este Reglamento y sus Normas.

En caso de ocurrir un sismo de magnitud importante se deberá iniciar el procedimiento de revisión de seguridad estructural en los planteles educativos de cualquier nivel en términos de lo establecido en el artículo 177 BIS de este Reglamento y conforme a los Lineamientos que para tal efecto sean publicados en la Gaceta Oficial de la Ciudad de México

ARTÍCULO 177 BIS.- Para el caso de planteles escolares donde se imparta educación a nivel inicial, preescolar, primaria, secundaria, media, media superior y superior, se deberá realizar un Levantamiento Físico de conformidad con los Lineamientos para la revisión estructural de planteles escolares en la Ciudad de



México después de un sismo, que para tal efecto sean publicados en la Gaceta Oficial de la Ciudad de México, siempre y cuando la “estación acelerométrica SCT” de la Red Acelerográfica de la Ciudad de México registre aceleraciones en los siguientes supuestos:

- a) En las escuelas de la Ciudad de México que reporten daños, cuando se registren aceleraciones de 30 a 60 gal;*
- b) En las escuelas referidas en el inciso anterior y aquellas que se encuentren localizadas dentro de la zona de actuación prioritaria a que se refiere el último párrafo del presente artículo, cuando se registren aceleraciones de 61 a 90 gal;*
- c) En todas las escuelas de la Ciudad de México, cuando se registren aceleraciones mayores a 90 gal y/o la Administración haya emitido la Declaratoria de Emergencia correspondiente.*

En cualquier caso, con base en el Levantamiento Físico del plantel educativo, se procederá conforme a los Lineamientos ya citados.

Esta Guía fue elaborada como complemento y apoyo a los artículos anteriores, así como a los Lineamientos señalados.

La aplicación de esta Guía es obligatoria y es complementaria a las especificaciones del Reglamento y de la edición 2017 de las Normas, en especial de las relacionadas con los criterios y acciones para el diseño estructural (NTC-Acciones), así como con el diseño y construcción de estructuras con materiales de distintos tipos y de sus cimentaciones. En esta Guía se usarán las abreviaturas NTC-Acero, NTC-Concreto y NTC-Mampostería para referirse a las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Acero, de Concreto y de Mampostería. Se usarán las abreviaturas NTC-Sismo y NTC-Cimentaciones para referirse a las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo y de Cimentaciones, respectivamente. Se emplea la abreviatura N-Rehabilitación en alusión a las Normas para la Rehabilitación Sísmica de Edificios de Concreto Dañados por el Sismo del 19 de septiembre de 2017.

En la rehabilitación sísmica de escuelas se deberá cumplir con el proceso de revisión por un Corresponsable en Seguridad Estructural Nivel 1 o Nivel 2, según sea el caso, de acuerdo con lo establecido en las Normas Técnicas Complementarias para la Revisión y Dictamen de la Seguridad Estructural de las Edificaciones (NTC-Revisión).

Cuando explícitamente se señale en esta Guía un requisito distinto a lo estipulado en las otras Normas, se deberá cumplir con lo establecido aquí.

1.3 Comportamiento de edificios escolares en los sismos de septiembre de 2017

A continuación, se describen los principales modos de falla y tipos de daño de edificios escolares (Alcocer et al., 2018). En los incisos 1.3.1 a 1.3.5 se describen los modos de falla y tipo de daño más comunes. En el inciso 1.3.3 se refieren los modos de falla que se observaron con mayor frecuencia en los prototipos de escuelas de los extintos Comité Administrador del Programa Federal de Construcción de Escuelas (CAPFCE) y del Instituto Nacional para la Infraestructura Física Educativa (INIFED).

1.3.1 Vigas

Los daños y fallas más observados en vigas de concreto han sido, normalmente, causados por cargas gravitacionales altas o por la combinación de cargas gravitacionales y fuerzas inducidas por el sismo. Se han presentado:

- Agrietamiento inclinado cerca de la conexión viga-columna, exacerbado por falta de estribos o separaciones grandes de ellos (figura 1.3.1);
- Aplastamiento del concreto cerca de la conexión debido a las grandes demandas de flexión inducidas por el sismo;
- Desconchamiento del concreto, como consecuencia del pandeo del refuerzo longitudinal de la viga.



Figura 1.3.1 Agrietamiento inclinado en la viga debido a una separación grande de los estribos y a concreto de baja resistencia (Instituto Valenciano de la Edificación, 2019)

1.3.2 Columnas

En el caso de columnas, los daños y fallas más frecuentes han sido:

- Agrietamiento inclinado hacia la mitad de la columna debido a fuerzas de cortante elevadas. Frecuentemente estas grietas formaron patrones en forma de letra X debido a las demandas cíclicas a las que estuvieron sujetas (Figura 1.3.2). En ocasiones, las grietas inclinadas se presentan en los extremos, por efecto de la interacción entre flexión y cortante;
- Daño por flexión o flexocompresión, caracterizado por un deterioro severo en el concreto por un número elevado de ciclos de deformaciones inelásticas a que fueron sometidas. Ello ha traído consigo una pérdida de capacidad vertical debido a una insuficiente cuantía e inadecuado detallado del refuerzo transversal, ganchos de remate a 90 grados, por ejemplo (Figura 1.3.3);
- Falla por columna corta. La contribución de los muros no estructurales a la rigidez lateral del edificio ha sido perjudicial en los casos donde el muro se extendió parcialmente en la altura

del entrepiso, ya que redujo la longitud libre de la columna, incrementó su rigidez lateral y, por lo tanto, atrajo más fuerza cortante para lo cual la columna no había sido diseñada. El daño se ha exacerbado por la gran separación de estribos, así como por un detallado inadecuado del remate de los estribos que exhiben dobleces de 90 grados (Figura 1.3.4);

- En columnas metálicas, se observó el pandeo del alma debido a fuerzas cortantes elevadas por el efecto de columna corta (Figura 1.3.5).



Figura 1.3.2 Agrietamiento inclinado en columnas de concreto (INIFED, 2019)



Figura 1.3.3 Falla por flexocompresión en columnas (INIFED, 2019)



Figura 1.3.4 Falla por columna corta en marcos de concreto (INIFED, 2019)



Figura 1.3.5 Pandeo local de placas y rotura de soldaduras en columnas de acero por efecto de columna corta (INIFED, 2019)

1.3.3 Losas

En losas, las fallas y daños más comunes han sido:

- Corrosión del refuerzo debido a una combinación de mantenimiento deficiente, concreto de baja resistencia, alta porosidad y poco recubrimiento (Figura 1.3.6);
- Flechas excesivas producto de espesores insuficientes y/o cargas elevadas.



Figura 1.3.6 Desprendimiento de concreto en losas debido a corrosión del acero de refuerzo (INIFED, 2019)

1.3.4 Uniones viga-columna

En el caso de uniones viga-columna, los daños registrados son:

- Agrietamiento inclinado y desconchamiento del concreto en uniones donde no existía refuerzo transversal o su cuantía era escasa. Un inadecuado confinamiento en las uniones, agravado por la práctica de utilizar paquetes formados de tres o más barras longitudinales en las esquinas de la columna, incrementó el desconchamiento del concreto del nudo (Figura 1.3.7).



Figura 1.3.7 Agrietamiento del concreto en uniones viga-columna (INIFED, 2019)

1.3.5 Muros

En los muros, de concreto o de mampostería, han experimentado:

- Agrietamiento inclinado normalmente en forma de letra X (Figura 1.3.8);
- Agrietamiento inclinado en contrafuertes de prototipos Regionales a base de muros de carga de mampostería (figura 1.3.9);
- Grietas de flexión en la base de contrafuertes.



Figura 1.3.8 Agrietamiento inclinado en muros (INIFED, 2019)



Figura 1.3.9 Agrietamiento inclinado en un contrafuerte (Alcocer et al., 2018)



1.3.6 Daños en prototipos CAPFCE/INIFED

En la tablas 1.3.1 a 1.3.3 se presenta un resumen del tipo de daño por prototipo tras los sismos de 2017 (Alcocer et al., 2018). En la tabla se incluyen fotos ilustrativas de los prototipos para facilitar la referencia.

Como se aprecia en la tabla, el desempeño de los prototipos de CAPFCE/INIFED es consistente, en sus modos de falla y tipos de daño, con la descripción general de fallas y daños para todo tipo de inmueble escolar presentados en los incisos 1.3.1 a 1.3.5.

Tabla 1.3.1 Tipos de daño en prototipos de mampostería tras los sismos de septiembre de 2017



Prototipos de mampostería	Fotografía de prototipos CAPFCE/INIFED (Alcocer et al., 2018)	Tipo de daño
Regionales: Con y sin contrafuerte	 	<ul style="list-style-type: none"> -Tensión diagonal en muros -Deficiente confinamiento de muros y desconchamiento de concreto -Falla por compresión en muros



Tabla 1.3.2 Tipos de daño en prototipos de concreto tras los sismos de septiembre de 2017



Prototipos de concreto	Fotografía de prototipos CAPFCE/INIFED (Alcocer et al., 2018)	Tipo de daño
<p>Urbanas de concreto: U1C, U2C y U3C.</p>		<ul style="list-style-type: none"> -Grietas inclinadas por efectos de columna corta -Grietas inclinadas en vigas -Falla por tensión diagonal en muros diafragma -Fallas fuera del plano de muros y pretilas

Tabla 1.3.3 Tipos de daño en prototipos de acero tras los sismos de septiembre de 2017

Prototipos de acero	Fotografía de prototipos CAPFCE/INIFED (Alcocer et al., 2018)	Tipo de daño
Acero: A70, A85		-Pandeo local de placas y falla de soldaduras por efecto de columna corta -Daño por tensión diagonal en los muros de mampostería divisorios

1.4 Comportamiento de prototipos rehabilitados

En sismos pasados, incluyendo a las escuelas dañadas en 2017, los edificios escolares se han rehabilitado principalmente mediante las técnicas siguientes (Alcocer et al., 2018):

- a) Reparación de elementos de concreto dañados, con desprendimiento de recubrimiento o desconchamiento, mediante concreto o mortero nuevo;
- b) Reparación de grietas mediante inyección de resinas;
- c) Encamisado de columnas y vigas con concreto, acero o compuestos de polímeros reforzados con fibras;
- d) Encamisado de muros con malla y mortero (también llamado “aplanado estructural”);
- e) Colocación de largueros y de canales en el techo;
- f) Adición de muros de concreto;
- g) Adición de contraventeos metálicos a base de perfiles laminados en caliente;
- h) Adición de contraventeos metálicos a base de cables postensados; y
- i) Adición de muros diafragma.

Si bien la información disponible de su comportamiento ante sismos es todavía limitada, en general, las escuelas rehabilitadas siguiendo reglas similares a las presentadas en esta Guía han exhibido un desempeño adecuado.

1.5 Zonas prioritarias de atención

De conformidad con los Lineamientos Técnicos para la Revisión de la Seguridad Estructural de Planteles Educativos en la Ciudad de México Después de un Sismo, publicados en la Gaceta Oficial de la Ciudad de México el 18 de septiembre de 2019, la zona de actuación prioritaria para la evaluación y rehabilitación de escuelas está delimitada por la siguiente poligonal (figura 1.5.1):

- Al Norte: Eje 3 Norte y Avenida 602 en la Alcaldía Gustavo A. Madero; y Calle Oriente 16 y Vía Tapo, en el límite de la Ciudad de México.
- Al Oriente: Eje 4 Oriente en las Alcaldías Venustiano Carranza e Iztacalco; y Eje 3 Oriente en las Alcaldías Iztapalapa y Coyoacán.
- Al Sur: Anillo Periférico en las Alcaldías Tlalpan y Coyoacán.
- Al Poniente: Av. Insurgentes Sur en la Alcaldía Coyoacán; Av. Revolución en la Alcaldía Benito Juárez; y Eje 4 Poniente en las Alcaldías Miguel Hidalgo y Azcapotzalco.



Figura 1.5.1 Zona de actuación prioritaria (Instituto de Seguridad de las Construcciones, 2019)



1.6 Uso de esta Guía

1.6.1 Esta Guía fue preparada como complemento a las Reformas al Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal en sus Artículos 71 y 177 bis y a los Lineamientos. Se aplica para:

1. Evaluar la necesidad de rehabilitar una escuela por sismo, y/o
2. Diseñar la rehabilitación por sismo.

1.6.2 La aplicación de esta Guía será obligatoria para la evaluación y rehabilitación de escuelas cuando la Administración, en uso de sus facultades, así lo determine.

1.6.3 Si el propietario de una escuela decide voluntariamente evaluar y rehabilitar los edificios, deberá cumplir con el Reglamentos, sus Normas y esta Guía.

1.6.4 Cuando ocurra un sismo, el proyectista deberá recopilar los datos generales de la estructura mediante un Formato de Levantamiento Físico, cuando la “estación acelerométrica SCT” registre las aceleraciones en los supuestos señalados en el artículo 177 Bis del Reglamento. Además, deberá aplicarse en las zonas afectadas por grietas en el subsuelo activadas por el sismo. El Formato de Levantamiento Físico podrá ser firmado por un Corresponsable o por un Director. También se aceptará la firma por un Perito en Seguridad Estructural o un Especialista en Diseño Estructural, del Colegio de Ingenieros Civiles de México.

1.6.5 El Instituto analizará la información del Formato de Levantamiento Físico mediante la aplicación de la metodología de evaluación de riesgo de primer nivel con el fin de determinar el Nivel de Atención Prioritaria (NAP), de los planteles educativos. En función del año de construcción, nivel de daño por el sismo y la zona geotécnica, se define el nivel de atención prioritaria de NAP 1 a NAP 6.

1.6.6 El Instituto expedirá la Constancia de Uso Condicionada del edificio educativo, la cual señalará: el NAP, la vigencia, las acciones obligatorias (evaluación y rehabilitación sísmica) a realizar por parte del propietario, año límite para finalizar el proyecto de rehabilitación y año límite de la terminación de la ejecución del proyecto estructural.

1.6.7 Para desarrollar un proyecto de rehabilitación eficiente se requiere contar con información de las condiciones del edificio, tales como configuración, características estructurales, y deficiencias sísmicas. Es posible que buena parte de esta información esté disponible tras haber evaluado el edificio. En caso necesario, se tendrá que ampliar la investigación y la evaluación del edificio para contar con información suficiente para poder analizar, diseñar y construir la rehabilitación.



- 1.6.8** El proceso de diseño de la rehabilitación de un edificio es un proceso iterativo en el cual se suponen modificaciones a la estructura existente para fines de un diseño preliminar y del análisis estructural. Los resultados del análisis son verificados como aceptables a nivel de un elemento o componente. Si los componentes nuevos o existentes no son aceptados como adecuados, se ajustarán las modificaciones estructurales y, si es necesario, se ejecutará un nuevo ciclo de análisis y verificación.



CAPÍTULO SEGUNDO

REQUISITOS GENERALES DE LA REHABILITACIÓN

2.1 Alcance

- 2.1.1 Esta Guía es aplicable a edificios escolares construidos con planos y especificaciones de prototipos del Comité Administrador del Programa Federal de Construcción de Escuelas (CAPFCE) o del Instituto Nacional para la Infraestructura Física Educativa (INIFED).
- 2.1.2 Los requisitos establecidos en esta Guía son aplicables a edificios escolares que no cumplen con ser prototipos de CAPFCE o INIFED.
- 2.1.3 Las reglas aquí descritas están dirigidas a elementos o miembros, componentes y sistemas estructurales resistentes a cargas gravitacionales y/o fuerzas inducidas por sismo.

2.2 Responsabilidades

- 2.2.1 Los propietarios están obligados a proveer un mantenimiento adecuado de las estructuras existentes para evitar situaciones inseguras y rehabilitar la estructura cuando existan condiciones inseguras que afecten su seguridad, redundancia e integridad.
- 2.2.2 El propietario y el proyectista acordarán los objetivos de la rehabilitación. Serán requisitos mínimos los establecidos en el Reglamento, en sus Normas y en esta Guía. El Director y el Corresponsable autorizarán los objetivos de la rehabilitación.
- 2.2.3 El proyectista deberá preparar un informe de la estructura que incluya:
 - a) Descripción de la estructura original y de sus modificaciones;
 - b) Historia de reparaciones y/o reforzamientos anteriores, si es el caso;
 - c) Descripción y documentación del daño y su clasificación, según las N-Rehabilitación (ver inciso 4.2.3);
 - d) Descripción y documentación de las condiciones potencialmente peligrosas;
 - e) Criterios de evaluación y resultados;
 - f) Condiciones y detalles de la rehabilitación propuesta;
 - g) Requisitos de materiales usados en la rehabilitación;
 - h) Identificación de elementos o partes de la estructura por ser apuntalados y/o arriostrados;
 - i) Plan, procedimientos, métodos, guías y especificaciones para el aseguramiento y control de la calidad de materiales y de la ejecución de la rehabilitación;
 - j) Características de la inspección de la rehabilitación durante su vida útil esperada, tales como periodicidad, tipo y nivel de revisión;
 - k) Instrucciones para el mantenimiento de la estructura existente y de los nuevos materiales, elementos, componentes y sistemas estructurales.



- 2.2.4** El informe requerido en el inciso 2.2.3 será entregado al propietario y al Instituto, con el visto bueno del Director, del Corresponsable y de la Autoridad Educativa Federal. En el caso del Corresponsable, este informe será parte de la documentación requerida en las NTC-Revisión que, entregada al Instituto, le permita a éste emitir la constancia de Registro de la Revisión.

2.3 Proyecto ejecutivo

- 2.3.1** Los planos y memorias descriptivas de cálculo, normas y especificaciones deberán tener suficiente detalle y claridad para comunicar el lugar, naturaleza y alcance del trabajo de rehabilitación.

- 2.3.2** Los planos deberán incluir, al menos:

- a) Hipótesis de diseño y requisitos de construcción, así como, propiedades de materiales existentes (sin daño) y nuevos;
- b) Detalles, ubicación y notas sobre el tamaño, configuración, refuerzo, recubrimientos, anclajes, materiales de reparación y reforzamiento, así como requisitos de preparación de la estructura existente, incluyendo a la cimentación;
- c) Magnitud y ubicación de fuerzas de presfuerzo, si aplica;
- d) Anclaje y longitud de desarrollo del refuerzo;
- e) Tipo y ubicación de anclas y conectores;
- f) Número, tamaño, refuerzo y detalles de pilotes, pilas o micropilotes adicionales, si es el caso;
- g) Conexiones a escala entre elementos y componentes existentes con los nuevos o rehabilitados, con sus correspondientes elementos de refuerzo, anclas y conectores;
- h) Criterios y detallado de apuntalamiento y arriostramiento, antes, durante y para completar la rehabilitación;
- i) Procedimiento constructivo por etapas claro y preciso.

2.4 Criterios para evaluación y diseño de la rehabilitación

2.4.1 Criterios para la evaluación

- 2.4.1.1** Se deberán considerar el daño y/o deterioro de los elementos y componentes estructurales y su impacto en el desempeño local y global de la estructura.
- 2.4.1.2** Se considerarán posibles cambios normativos que hubiesen ocurrido entre la fecha de diseño y la fecha de construcción del edificio original.
- 2.4.1.3** Si el edificio por rehabilitar fue construido por etapas, se identificará la versión del Reglamento que se usó en cada etapa con el fin de reconocer el criterio de diseño empleado en ellas.



2.4.1.4 Se evaluará cada cuerpo o edificio de un plantel escolar por separado. Se considerará la interacción que exista entre cuerpos vecinos.

2.4.2 Criterios de diseño

2.4.2.1 Con objeto de identificar los elementos, componentes y/o sistemas deficientes, se calcularán los cocientes demanda/capacidad. Los valores de la demanda y de la capacidad se calcularán con las Normas vigentes desde 2017. Si el cociente es mayor que 1.0, será necesario considerar la rehabilitación de dicho elemento, componente o sistema estructural.

2.4.2.2 En el caso de acciones (fuerzas y momentos), la capacidad estará dada por la resistencia de diseño y la demanda estará dada por las acciones más desfavorables obtenidas del análisis y de acuerdo con las NTC-Acciones.

2.4.2.3 En el caso de desplazamientos laterales, la capacidad de desplazamiento será igual a la distorsión permisible, según el sistema estructural, y la demanda será la distorsión más desfavorable obtenida del análisis estructural.

2.4.2.4 En el diseño de la rehabilitación, se tomarán en consideración los aspectos siguientes:

- a) Condiciones de la estructura potencialmente peligrosas, incluyendo la interacción con cuerpos vecinos;
- b) Daño estructural;
- c) Deterioro de concreto y del refuerzo;
- d) Construcción defectuosa;
- e) Situaciones que afectan las condiciones de servicio; y
- f) Durabilidad de los materiales de construcción.

2.4.2.5 Se usarán las Normas para evaluar la capacidad del inmueble, en particular los requisitos de las N-Rehabilitación.

2.4.2.6 El Reglamento y sus Normas aplicarán para el diseño de nuevos elementos o componentes, así como de conexiones entre nuevos elementos y la estructura existente. En esta Guía se señalan requisitos del Reglamento y de sus Normas que son aplicables a estructuras rehabilitadas, así como aquellos que no lo son. Cuando se señale en esta Guía un requisito distinto a lo estipulado en las otras Normas, se deberá cumplir con lo establecido aquí.

2.4.2.7 Peligro sísmico

Para el diseño de la rehabilitación de un edificio escolar se cumplirá con lo requerido en el Reglamento y en sus Normas, en especial en NTC-Sismo, para estructuras del Grupo A.



2.4.2.8 Decisión sobre cuándo rehabilitar

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

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

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

2.5 Métodos de rehabilitación

2.5.1 Proyectos de rehabilitación de edificios escolares

Para rehabilitar edificios escolares, se deberá proceder como sigue:

- a) La estructura se deberá analizar para determinar si cumple con los Objetivos de la Rehabilitación y, si no es adecuada, para identificar las deficiencias sísmicas;
- b) Se estudiarán y desarrollarán una o más estrategias de rehabilitación para resolver las deficiencias identificadas;
- c) Se analizará la estructura con las modificaciones preliminares de rehabilitación a fin de determinar si la estructura satisface los Objetivos de la Rehabilitación;
- d) El proceso se repetirá hasta que la solución obtenida cumpla con los Objetivos de la Rehabilitación.

Para esta Guía, se entiende como “Objetivo de la Rehabilitación” al establecido en la sección 1.1 de las NTC-Sismo, considerando que un edificio escolar se clasifica dentro de las estructuras del Grupo A.

2.5.2 Proyectos de rehabilitación de prototipos CAPFCE/INIFED

En el Manual que acompaña a esta Guía (en proceso a la fecha de la Versión 1.0 de la Guía), se incluye una serie de proyectos de rehabilitación modelo para prototipos CAPFCE/INIFED. Estos proyectos satisfacen el Reglamento, las Normas en su edición 2017 y esta Guía. Se presentan como ejemplo de aplicación y se pueden usar como referencias para el diseño de la rehabilitación de edificios que no cumplan con ser prototipo CAPCFE/INIFED.



2.6 Estrategias de rehabilitación

La rehabilitación de un edificio escolar se puede lograr mediante una o varias de las estrategias de rehabilitación aquí identificadas. En el desarrollo de los diseños de la rehabilitación se debe considerar el nivel de redundancia, de modo que una falla localizada en uno o unos elementos no resulten en colapso local, parcial o en inestabilidad del inmueble. En los incisos 2.6.1 a 2.6.6 se describen las distintas estrategias de rehabilitación. Todas ellas requieren la revisión, y la posible rehabilitación de la cimentación.

Una estrategia eficiente de rehabilitación debe:

- a) Corregir las deficiencias conocidas (especialmente ante sismos) de todo el sistema y de los componentes o elementos vulnerables;
- b) Ser compatible estructuralmente con el sistema existente;
- c) Ser compatible funcionalmente y, si se puede, estéticamente;
- d) Lograr los Objetivos de la Rehabilitación acordados entre el propietario y el proyectista, los cuales fueron aprobados por el Director y el Corresponsable;
- e) Minimizar las afectaciones a los ocupantes;
- f) Ser costo-efectiva y utilizar materiales y equipos disponibles.

2.6.1 Modificación de componentes estructurales

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

2.6.2 Eliminación o mitigación de irregularidades o discontinuidades existentes

Se debe considerar la eliminación o mitigación de las irregularidades de rigidez, resistencia y masa que causan un desempeño sísmico inadecuado (figura 2.6.1). Los efectos de las irregularidades y discontinuidades se manifiestan en la distribución de desplazamientos, así como en los cocientes de demanda a capacidad. La eliminación de las irregularidades puede ser una solución; sin embargo, se deberá revisar que no genere concentraciones de desplazamiento en algunos puntos de la estructura.

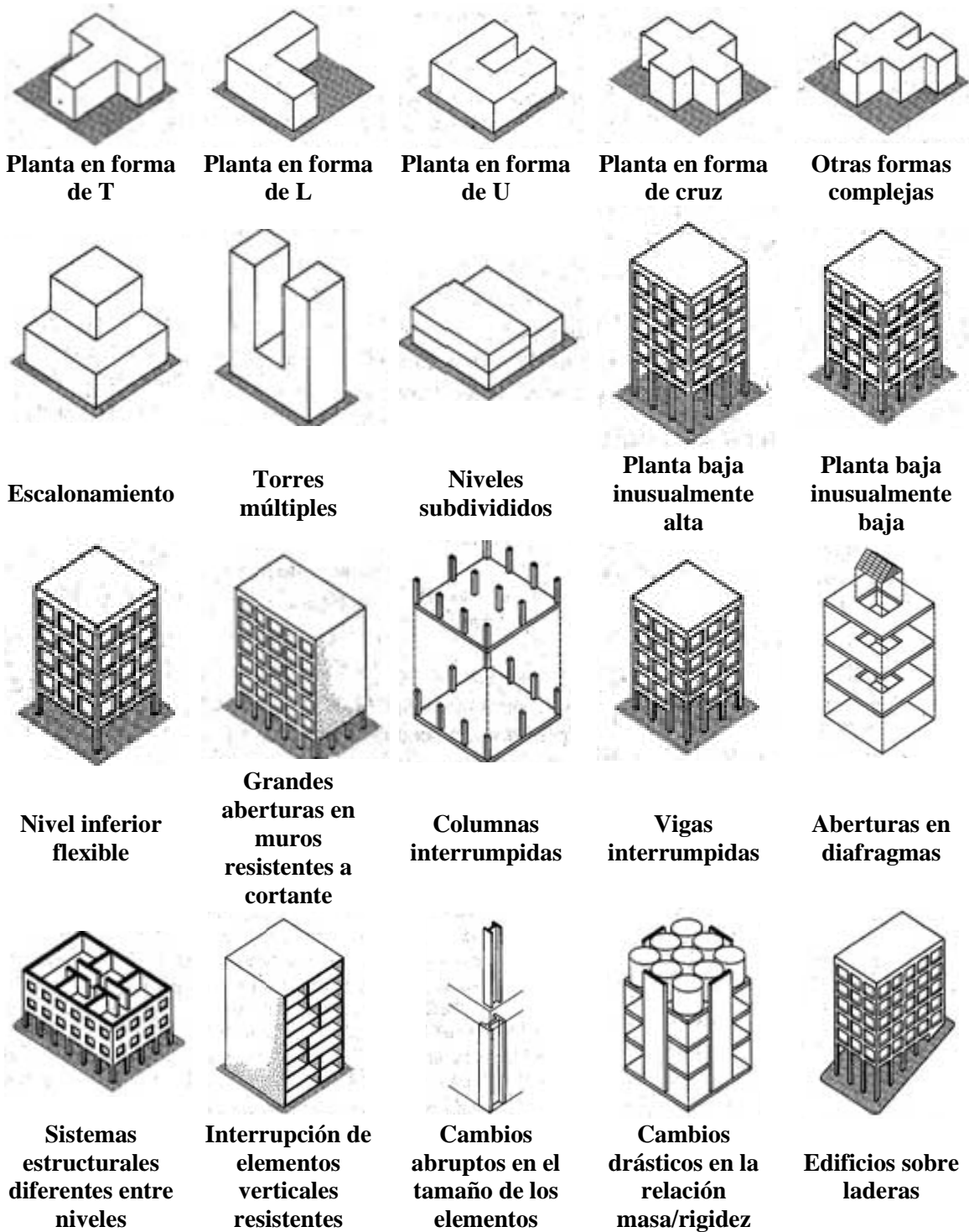


Figura 2.6.1 Estructuras irregulares (Arnold y Reitherman, 1991)



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

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

2.6.3 Rigidización global de la estructura

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

2.6.4 Reforzamiento global de la estructura

Se considerará el reforzamiento global de la estructura cuando la resistencia del inmueble existente sea baja y conduzca a comportamiento inelástico ante movimientos pequeños. La adición de muros y/o contraventeos es una solución adecuada para ello. Dependiendo de la estructura existente, es posible que la alta rigidez lateral de muros y contraventeos obligue a diseñarlos para resistir gran parte de la demanda sísmica. Otra opción es reforzar los marcos resistentes a momento; en esos casos, se debe revisar que el reforzamiento sea efectivo antes que fallen elementos frágiles. En esta estrategia, se deberá hacer énfasis en la revisión de la seguridad de la cimentación.

2.6.5 Eliminación o corrección de problemas causados por la interacción entre edificios

Se considerará la rigidización de la estructura para evitar el golpeteo con las estructuras adyacentes. Si la separación entre los edificios adyacentes es muy pequeña, se evaluará la posibilidad de unirlos, de modo que respondan como una unidad estructural. Otra posibilidad es diseñar y construir elementos que sean capaces de resistir y transmitir el impacto del edificio vecino, sin afectar los elementos resistentes a cargas verticales.

2.6.6 Reducción de la masa reactiva

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



2.6.7 Adición de elementos de control de la respuesta

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



CAPÍTULO TERCERO

CARGAS, FACTORES DE CARGA Y FACTORES DE RESISTENCIA

3.1 Alcance

- 3.1.1 La rehabilitación se diseñará para que cumpla con los requisitos de los estados límite de falla y de servicio, así como de durabilidad.
- 3.1.2 No se permite el uso de combinaciones de factores de carga y de resistencia del Reglamento vigente con los de versiones anteriores.
- 3.1.3 La resistencia de diseño de los elementos y componentes estructurales, así como de sus conexiones, será al menos igual a la resistencia requerida. Se entiende por resistencia de diseño a la resistencia nominal afectada por el factor de resistencia según el tipo de acción interna. La resistencia requerida es el valor más desfavorable de la acción demandada, obtenido mediante un análisis estructural, multiplicándolo por la correspondiente combinación de factores de carga.

3.2 Factores de carga y combinaciones de carga

- 3.2.1 Se cumplirán los requisitos de las secciones 2.3 y 3.4 de las NTC-Acciones, salvo lo indicado en el inciso 3.4.a, para el que los factores de carga se tomarán iguales a 1.1 y 1.3 para cargas permanentes y variables, respectivamente, previo levantamiento geométrico de la estructura existente.
- 3.2.2 Las cargas permanentes, definidas en el inciso 2.1.a de las NTC-Acciones, serán estimadas por el proyectista mediante un levantamiento de las dimensiones, tipos de material, deformaciones y desplazamientos impuestos (como asentamientos diferenciales), movimientos relativos de los apoyos y presfuerzo cargas en la estructura existente.
- 3.2.3 Se considerarán, adicionalmente:
 - a) Efectos del daño, deterioro o retiro de la carga en la redistribución de fuerzas;
 - b) Secuencia en la aplicación de las cargas, incluyendo cargas de construcción y las debidas al apuntalamiento y/o arriostramiento; y
 - c) Cargas y acciones internas durante el proceso de rehabilitación.



3.3 Factores de resistencia para el diseño de la rehabilitación

3.3.1 En la rehabilitación de edificios escolares, se usarán los factores de resistencia F_R de la tabla 3.3.1.

Tabla 3.3.1 Factores de resistencia para distintas acciones internas

Acción interna	F_R
Flexión	0.9
Cortante y torsión	0.6
Flexocompresión; si el núcleo está confinado o si la falla es de tensión	0.7
Flexocompresión; si el núcleo no está confinado o si la falla es de compresión	0.6

3.3.2 No se afectará el cálculo de la longitud de desarrollo (sección 6.1 de las NTC-Concreto) por el factor de resistencia.

3.3.3 Para concreto simple, el factor de resistencia será de 0.6. Para mampostería simple a compresión y cortante, el factor de resistencia será de 0.3 y 0.4, respectivamente.

3.4 Factores de resistencia para la evaluación

3.4.1 En estructuras sin daño o con daño ligeros por sismo (según las N-Rehabilitación), si se determinan las dimensiones y cuantía y ubicación del acero de refuerzo del elemento estructural según el Capítulo Cuarto de esta Guía, y se obtienen las propiedades de los materiales a partir de los ensayos requeridos en el inciso 4.2.4 de esta Guía, se aceptará que, con el visto bueno del Corresponsable, se puedan usar factores de resistencias iguales a los requeridos en el diseño de estructuras nuevas correspondientes con el material de construcción.

3.5 Combinaciones de carga adicionales para estructuras rehabilitadas con sistemas externos

3.5.1 Si se rehabilita la estructura mediante sistemas externos de reforzamiento y que pueden estar sujetos a vandalismo, incendio o impacto, se revisará que, a pesar del vandalismo, soporte las acciones de diseño o se incorporen elementos anti-vandalismo. En el primer caso, la resistencia de diseño de la estructura, sin rehabilitación, debe exceder la resistencia requerida en la ecuación 3.5.1.

$$F_R R_n \geq 1.2CP + 0.75CV \quad (3.5.1)$$

donde:

R_n Es la resistencia nominal del elemento, usando las propiedades de los materiales determinadas en la sección 4.2.4 de esta Guía;

CP Son las cargas permanentes;

CV Son las cargas variables.



CAPÍTULO CUARTO

EVALUACIÓN Y ANÁLISIS ESTRUCTURAL

4.1 Alcance

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

- a) Investigación de las características y condición de la estructura;
- b) Evaluación que permita determinar las causas del daño, deterioro y/o deficiencias, así como los criterios para la selección de las soluciones de rehabilitación;
- c) Desarrollo de las estrategias de rehabilitación apropiadas.

4.1.2 La evaluación estructural deberá incluir, al menos:

- a) Efecto de la degradación de los materiales;
- b) Pérdida de área de las barras de refuerzo por corrosión o por otras causas;
- c) Refuerzo ausente o mal colocado;
- d) Efecto de eventos dañinos, como sismos o incendios;
- e) Asentamientos diferenciales y/o inclinaciones; y
- f) Zonas afectadas por grietas en el subsuelo.

4.2 Investigación de las características de los edificios escolares

4.2.1 Condiciones del edificio existente

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

4.2.1.2 Se deberán determinar la configuración, así como el tipo, detallado, resistencia de materiales, y la condición de los elementos estructurales, incluida la cimentación y las conexiones entre ellos, de conformidad con las secciones 2.2 y 2.3 de las N-Rehabilitación. Los cálculos para la elaboración del proyecto ejecutivo deben basarse en documentos que avalen las características del edificio en estudio (ver inciso 2.2.3 de esta Guía).

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



4.2.1.4 Se deberá documentar:

- a) Condición física, extensión y ubicación del daño y deterioro;
- b) Idoneidad del mecanismo de transmisión de carga entre elementos estructurales para proporcionar seguridad e integridad;
- c) Características de los elementos estructurales: orientación, desviaciones, desplazamientos y dimensiones;
- d) Información de lo construido a fin de determinar el factor de resistencia del Capítulo Tercero de esta Guía;
- e) Propiedades de los materiales y componentes a partir de planos, memorias, especificaciones u otros, o bien mediante ensayos;
- f) Otras consideraciones: edificios adyacentes, elementos no estructurales, por ejemplo;
- g) Información para evaluar los sistemas resistentes a cargas laterales y gravitacionales, como son las longitudes de claros, características de apoyos, tipo de uso, entre otros.

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

4.2.2 Configuración del edificio

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

4.2.3 Extensión y ubicación del daño y deterioro

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

4.2.3.2 Para cada elemento estructural se registrará, al menos:

- a) El espesor máximo y tipo de grieta;
- b) Ubicación y extensión de aplastamientos, desconchamientos y desprendimientos;
- c) Ubicación, posición y extensión de barras de refuerzo pandeado;
- d) Ubicación y extensión de fracturas de soldaduras;
- e) Ubicación y extensión del pandeo local o global de elementos.

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



4.2.3.4 El registro anterior irá acompañado de fotografías y se entregará en el informe requerido en el inciso 2.2.3 de esta Guía.

4.2.4 Propiedades de elementos y componentes

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

4.2.4.2 La resistencia y la capacidad de deformación se calcularán con base en las Normas de los materiales aplicables y en los Capítulos Quinto y Sexto de esta Guía. La resistencia se calculará para identificar la habilidad para transferir carga a otros elementos y componentes, así como para determinar la capacidad de resistir fuerzas y deformaciones. La capacidad de deformación se calculará para determinar la aceptación del elemento y del edificio en su conjunto de acuerdo con las distorsiones límite de las NTC-Sismo.

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

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

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

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

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

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



- 4.2.4.7** Si los planos, memorias, especificaciones u otros documentos disponibles no proveen suficiente información para determinar o caracterizar las propiedades de los materiales, se podrán usar los valores de las tablas 4.2.1 a 4.2.3 en función de la versión de reglamento empleado a la fecha de diseño, sin necesidad de realizar pruebas en sitio. Dichos valores históricos son aplicables a menos que se estime que el deterioro de los materiales pueda o haya afectado el desempeño estructural.

Tabla 4.2.1 Resistencia a compresión del concreto, f_c' , en MPa (kg/cm²)

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

Tabla 4.2.2 Módulo de elasticidad del concreto, E_c , en MPa (kg/cm²)

Época	E_c
1900-1976	$2\,500\sqrt{f_c'} \left(8\,000\sqrt{f_c'} \right)$
1977-1987	$3\,125\sqrt{f_c'} \left(10\,000\sqrt{f_c'} \right)$
1987-fecha	$4\,400\sqrt{f_c'} \left(14\,000\sqrt{f_c'} \right)$ clase 1; agregado grueso calizo
	$2\,500\sqrt{f_c'} \left(8\,000\sqrt{f_c'} \right)$ clase 2

Tabla 4.2.3 Esfuerzo de fluencia del acero de refuerzo, f_y , en MPa (kg/cm²)

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

- 4.2.4.8** Se podrán determinar las propiedades de los materiales mediante los ensayos establecidos en el inciso 4.2.5.

4.2.5 Ensayes para determinar las propiedades de los materiales

4.2.5.1 General

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



4.2.5.2 Concreto

- 4.2.5.2.1** La resistencia a compresión y el módulo de elasticidad del concreto se establecerán mediante la extracción y ensayos de corazones de concreto, o mediante, la combinación de corazones y ensayos no destructivos como el esclerómetro y/o ultrasonido).
- 4.2.5.2.2** Los corazones se obtendrán de elementos de concreto sano (no dañado). El número de corazones depende de la información de la construcción original, de la exactitud deseada, así como de la calidad y condición de materiales existentes.
- 4.2.5.2.3** Los corazones se deberán seleccionar, extraer y ensayar de acuerdo con NMX-C-169-ONNCCE. El lugar de extracción será al tercio medio de la altura del elemento, en donde se afecte lo menos posible su resistencia. Se deberá localizar el acero de refuerzo antes de seleccionar la ubicación de los corazones. Se deberá rellenar la oquedad con concreto o mortero sin contracción y de resistencia comparable a la obtenida mediante el núcleo para evitar el desprendimiento del material de reparación con respecto al concreto original.
- 4.2.5.2.4** Se podrán utilizar métodos no destructivos para evaluar la resistencia del concreto en sitio si se establece una correlación válida entre los resultados de la compresión de corazones y las mediciones no destructivas. No se permitirá la determinación de la resistencia a compresión ni del módulo de elasticidad mediante métodos no destructivos solamente.
- 4.2.5.2.5** Deberán desecharse los corazones dudosos o de mala calidad. No serán aceptables los resultados del ensaye de corazones dañados durante su extracción, ni de corazones con tramos de barras de acero ahogadas.
- 4.2.5.2.6** Si se conoce la resistencia especificada de diseño del concreto a partir de planos y/o memorias originales, ésta deberá verificarse en la edificación mediante, al menos, dos corazones extraídos de los elementos estructurales que resisten las fuerzas inducidas por el sismo. La resistencia así obtenida se calibrará con algún método no destructivo, como el esclerómetro o ultrasonido. Con este método calibrado, se verificará la resistencia en al menos tres elementos estructurales distintos que sean parte del sistema resistente a fuerzas laterales, en cada entrepiso.
- 4.2.5.2.7** Si no se conoce la resistencia especificada de diseño del concreto, se deberá determinar, junto con el módulo de elasticidad, mediante la obtención y ensaye de lo que resulte en el mayor número de ensayos entre a) o b):
- a) Tres corazones en cada uno de los entrepisos más dañados y en cada uno de los elementos representativos del sistema resistente a fuerzas laterales;
 - b) Un corazón por cada 200 m² de superficie construida de cada entrepiso, en cada uno de los entrepisos más dañados y en cada uno de los elementos representativos del sistema resistente a fuerzas laterales.



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

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

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

4.2.5.2.11 La obtención y ensaye de corazones de concreto lo harán laboratorios acreditados y reconocidos por un organismo nacional de certificación para los métodos de prueba correspondientes.

4.2.5.3 Acero

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

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

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

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



- 4.2.5.3.5** Alternativamente a los ensayos en sitio, se podrá determinar el esfuerzo especificado de fluencia de barras de acero de refuerzo de la identificación detallada en el material, o bien de los valores históricos incluidos en la tabla 4.2.3.
- 4.2.5.3.6** En el caso de anclas y conectores (ahogados en concreto o instalados *a posteriori*), se deberán clasificar según su tipo, tamaño, geometría y función estructural. Si su tipo de falla está controlada por tensión o cortante y, de presentarse, le impediría a la estructura cumplir con el nivel de desempeño, se debe ensayar en sitio el 5% a tensión. Al menos se deben ensayar tres anclas o conectores por cada clasificación. Se acepta que la resistencia de diseño sea $2/3$ de la media de la carga máxima.
- 4.2.5.3.7** Alternativamente a los ensayos en sitio, se podrá determinar la resistencia de anclas y conectores a partir de la documentación contenida en el proyecto ejecutivo original, de la identificación detallada en el material, o de valores históricos, como los incluidos en la tabla 4.2.3.
- 4.2.5.3.8** En el caso de perfiles de acero, laminados en caliente o en frío, se muestrearán tramos del patín y/o del alma con el fin de fabricar dos probetas de elementos estructurales distintos. Los elementos serán seleccionados a juicio del Corresponsable. El ensaye se hará según NMX-B-172-CANACERO.
- 4.2.5.3.9** Si se requiere soldar la estructura existente a nuevos elementos, componentes o sistemas estructurales, se determinará el carbono equivalente con NMX-B-457-CANACERO.
- 4.2.5.3.10** La obtención y ensaye de probetas de barras de acero de refuerzo, cables de presfuerzo y perfiles de acero estructural lo harán laboratorios acreditados y reconocidos por un organismo nacional de certificación para los métodos de prueba correspondientes.

4.2.5.4 Mampostería

- 4.2.5.4.1** En el caso de muros de mampostería, las propiedades de la mampostería se podrán obtener a partir de:
- a) Planos y memorias disponibles; o
 - b) Del inciso 4.2.5.4.2.
- 4.2.5.4.2** Para fines de evaluación de la mampostería existente, se aceptará usar los valores siguientes:
- a) Resistencia a compresión, f_m' igual a 1.5 MPa (15 kg/cm²);
 - b) Resistencia a compresión diagonal, v_m' igual a 0.2 MPa (2 kg/cm²);
 - c) Resistencia al aplastamiento igual a 1.2 MPa (12 kg/cm²);
 - d) Módulo de elasticidad, E_m según el inciso 2.8.5.2 de las NTC-Mampostería;



e) Módulo de cortante, G_m según el inciso 2.8.6 de las NTC-Mampostería.

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

4.2.6 Caracterización del sitio e información geotécnica

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

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

4.2.6.1 Edificaciones adyacentes

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

4.2.6.2 Golpeteo de edificios

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

4.2.6.3 Edificios con elementos o componentes en común

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

4.2.6.4 Peligros de edificios adyacentes

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



4.2.6.5 Edificios modificados o ampliados

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

4.3 Métodos de análisis

4.3.1 Requisitos generales

4.3.1.1 Se analizarán los sistemas resistentes a cargas gravitacionales y a fuerzas laterales, bajo las combinaciones de carga establecidas en NTC-Acciones, que produzcan los efectos máximos en los elementos existentes evaluados. Se deberán emplear los factores de carga señalados en el Capítulo Tercero de esta Guía.

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

4.3.1.3 Se cumplirán los requisitos generales de análisis de las NTC-Acero, NTC-Concreto, NTC-Mampostería y NTC-Sismo.

4.3.1.4 Adicionalmente, en el análisis estructural se deberán considerar:

- a) Propiedades de los materiales, geometría, deformaciones y desplazamientos de la estructura, duración de las cargas, contracción y flujo plástico, y la interacción con la cimentación;
- b) Efectos de segundo orden;
- c) Efectos de deterioro y daño, pérdida de adherencia del acero de refuerzo y la redistribución de fuerzas en los elementos y en la estructura completa;
- d) El flujo de fuerzas hasta la cimentación, mediante modelos numéricos tridimensionales;
- e) El efecto de reparaciones y reforzamientos previos en el comportamiento local (a nivel del elemento) y de toda estructura.

4.3.1.5 El análisis sísmico de la estructura existente con las modificaciones planteadas para su rehabilitación se hará de conformidad con la sección 2.1 de las NTC-Sismo. En el análisis se hará especial énfasis en calcular la relación entre demanda y capacidad en:

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



4.3.2 Estados límite de servicio

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

4.3.3 Análisis para diseño de la rehabilitación

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

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

4.3.3.3 En el análisis de secciones, se usarán principios de mecánica. Se supondrá un comportamiento monolítico total, sin deslizamiento entre los materiales existentes y los usados en la rehabilitación. Para lograrlo se deberán satisfacer las secciones 5.3, 5.4, 5.6.6 y 6.3 de esta Guía, según corresponda.

4.3.3.4 Se incluirá en el análisis, la interacción entre los elementos estructurales y los componentes no estructurales que puedan afectar la respuesta durante un sismo.

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

4.3.3.6 Para fines de evaluación, cuando la estructura tenga daños nulos o ligeros (según la N-Rehabilitación), bastará con realizar un análisis estático o dinámico de acuerdo con las NTC-Sismo, usando un valor del factor de comportamiento sísmico $Q=2$. Este factor será afectado por el factor de irregularidad que corresponde a la estructura.

4.3.3.7 Cuando la estructura tenga daños moderados o severos (según la N-Rehabilitación), se podrá seguir lo indicado en el inciso 4.3.3.6.

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

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



- 4.3.3.10** Se cumplirán las consideraciones de análisis para la técnica o la combinación de técnicas de rehabilitación propuestas que se señalan en el Capítulo Sexto de esta Guía.
- 4.3.3.11** Si el periodo fundamental de vibración de la estructura existente se encuentra entre 0.80 y 1.15 veces el periodo fundamental del suelo obtenido mediante el SASID, será necesaria la medición experimental del periodo.
- 4.3.3.12** Se aceptará obtener una primera estimación del periodo efectivo del sistema suelo-estructura, \tilde{T}_e , con las ecuaciones 4.3.1 y 4.3.2 en función del número de pisos, n , para edificios a base de marcos y muros en la Zona II y III y en la Zona I, respectivamente:

$$\tilde{T}_e = (0.085 \text{ a } 0.095)n \quad (4.3.1)$$

$$\tilde{T}_e = (0.040 \text{ a } 0.063)n \quad (4.3.2)$$

En el caso de estructuras en Zona II, con suelos cuyas velocidades de ondas de cortante (V_s) son mayores que 100 m/s, los periodos se podrán considerar entre $\tilde{T}_e = (0.075 \text{ a } 0.090)n$.

4.3.3.13 Interacción suelo-estructura

Para estructuras desplantadas en suelo blando (zona geotécnica III), se considerará explícitamente la interacción suelo-estructura en el análisis. Se deberá cumplir lo establecido en el Manual de Diseño por Sismo de Obras Civiles de la Comisión Federal de Electricidad (MDOC, 2015).

4.3.4 Criterios de aceptación

Los criterios de aceptación para la estructura rehabilitada serán la resistencia y la capacidad de deformación. El criterio de aceptación de resistencia será satisfacer los requisitos de las NTC-Acero, NTC-Concreto, NTC-Mampostería, según corresponda. Sobre el criterio de aceptación de capacidad de deformación, se deberán cumplir las distorsiones permisibles señaladas en el Capítulo 4 de las NTC-Sismo, según el sistema estructural de la estructura rehabilitada.

4.4 Pruebas de carga

- 4.4.1** Se permitirá la ejecución de pruebas de carga en adición al análisis o para demostrar la resistencia de la estructura original o rehabilitada.
- 4.4.2** Las pruebas de carga cumplirán lo establecido en el Reglamento y en el capítulo 16 de las NTC-Concreto.



CAPÍTULO QUINTO

DISEÑO

5.1 Alcance

- 5.1.1 La resistencia de diseño de todas las secciones de los elementos rehabilitados, nuevos elementos y elementos existentes sin rehabilitar, será al menos igual que la resistencia requerida obtenida a partir de fuerzas y momentos internos del análisis de conformidad con lo señalado en los Capítulos Tercero y Cuarto de esta Guía.
- 5.1.2 La resistencia de diseño ante una fuerza y momento interno se obtendrá multiplicando la resistencia nominal por el factor de resistencia señalado en la sección 3.3 de esta Guía.

5.2 Estados límite de falla y de servicio

- 5.2.1 En la revisión de los estados límite, se deben considerar las cargas, fuerzas y momentos internos y las deformaciones de la estructura existente y de la estructura rehabilitada, durante el proceso de rehabilitación.
- 5.2.2 En el diseño se debe considerar que los esfuerzos y deformaciones existentes en la estructura no se pueden eliminar, como ocurre con las cargas axiales en columnas y muros existentes.

5.3 Comportamiento de sistemas rehabilitados

- 5.3.1 La rehabilitación de elementos, componentes y sistemas estructurales debe conducir a un sistema capaz de resistir las cargas de diseño mediante la compartición y transmisión de carga entre elementos existentes y la rehabilitación. Para un adecuado desempeño, la rehabilitación puede requerir conexiones. En las secciones 5.4, 5.6.6 y 6.3 de esta Guía se establecen los requisitos para el diseño de las conexiones.
- 5.3.2 La rehabilitación debe considerar la transmisión de fuerzas en la interfaz del elemento resistente y del material o sistema de reparación y/o reforzamiento. Se deberá diseñar el mecanismo de transmisión de carga entre concreto nuevo y existente de conformidad con el inciso 5.3.3.3 de las NTC-Concreto y entre acero y concreto existente según el Capítulo 9 de las NTC-Acero.



5.4 Adherencia de materiales de rehabilitación a base de cemento

- 5.4.1** Se deberán revisar los esfuerzos de cortante y de tensión en la interfaz entre los materiales de rehabilitación a base de cemento y el sustrato existente. En este análisis, a las fuerzas y momentos internos obtenidos del análisis se sumarán, si corresponde, los producidos por los cambios volumétricos restringidos.
- 5.4.2** El cortante rasante requerido, V_u , será menor o igual que el cortante rasante de diseño, siendo éste igual al esfuerzo nominal de cortante rasante, afectado por el factor de resistencia establecido en la sección 3.3 de esta Guía.
- 5.4.3** El esfuerzo nominal, la necesidad de refuerzo en la interfaz y el tipo de ensaye por adherencia se establecen en la tabla 5.4.1.

Tabla 5.4.1 Esfuerzo nominal de cortante rasante, necesidad de refuerzo en la interfaz y tipos de ensaye requeridos

V_u MPa (kg/cm ²)	Necesidad de refuerzo en la interfaz	Requisitos de ensaye de adherencia
$V_u \leq 0.20$ (2.0)	No	Ensaye de integridad
0.20 (2.0) < $V_u \leq 0.40$ (4.0)	No	Ensaye de adherencia, a menos que se cumpla 5.4.8
$V_u > 0.40$ (4.0)	Sí	No se requiere

- 5.4.4** No se requerirá refuerzo en la interfaz si el sustrato se prepara retirando el concreto deteriorado, dañado o contaminado. En el Capítulo Sexto de esta Guía se presentan consideraciones adicionales para lograr una rugosidad adecuada.
- 5.4.5** El ensaye de integridad señalado en la tabla 5.4.1 se puede ejecutar mediante métodos no destructivos de tipo cualitativo como son el radar de penetración o el método de impacto-eco, descritos en ACI 228.2R.
- 5.4.6** El ensaye de adherencia consistirá en el ensaye a tensión directa, establecido en la ASTM C1583/C1583M. El número mínimo de pruebas en un proyecto será de tres. Se recomienda consultar la Guía ICRI 210.3 para definir el mínimo de ensayos y los criterios de aceptación.
- 5.4.7** Si durante la prueba a tensión directa la falla ocurre en la línea de adherencia, ello puede indicar una preparación inadecuada de la superficie del concreto base o que la superficie base fue dañada por el método de preparación de la superficie.
- 5.4.8** Si V_u es resistido completamente por el refuerzo en la interfaz no será requerido el ensaye de adherencia por tensión directa o similar.

5.4.9 Si V_u está entre 0.40 y 2.5 MPa (4.0 y 25 kg/cm²) se deberá colocar refuerzo perpendicular a la interfaz cuya área A_v , en cm² sea la mayor de (a) y (b) (figura 5.4.1):

$$\text{a) } 0.2 \frac{\sqrt{f'_c} bd}{f_y} \left(0.7 \frac{\sqrt{f'_c} bd}{f_y} \right) \qquad \text{b) } 3.5 \frac{\sqrt{f'_c} bs}{f_y} \left(12 \frac{\sqrt{f'_c} bs}{f_y} \right)$$

donde:

b y d ancho y peralte efectivo, no reducidos, de la sección, respectivamente, cm.
 s separación del refuerzo transversal, cm.



Figura 5.4.1 Esquema de refuerzo perpendicular a la interfaz



5.5 Materiales

- 5.5.1** En el diseño de la rehabilitación, se deben considerar las propiedades de los materiales y sistemas de reparación y reforzamiento. Ellas incluyen, entre otras, el tipo de aplicación, adhesión, estabilidad volumétrica, movimientos térmicos, durabilidad, resistencia a la corrosión, métodos de instalación, requisitos de curado y condiciones ambientales.
- 5.5.2** Las propiedades requeridas de los materiales de rehabilitación serán especificadas en el proyecto ejecutivo (en planos, memoria y especificaciones).

5.6 Consideraciones de diseño y detallado

- 5.6.1** Las consideraciones de esta sección se complementan con aquellas aplicables de las NTC-Acero, NTC-Concreto, NTC-Mampostería y del Capítulo Sexto de esta Guía.

5.6.2 Concreto

- 5.6.2.1** Se usarán las propiedades del concreto determinadas de conformidad con lo establecido en el Capítulo Cuarto de esta Guía.
- 5.6.2.2** De acuerdo con el inciso 4.2.4.3 de esta Guía, se considerará que el valor esperado de las propiedades del concreto será igual a 1.20 veces el valor del límite inferior.
- 5.6.2.3** En la rehabilitación de escuelas, sólo se aceptará el uso de concreto clase 1. En ninguna circunstancia se podrá emplear concreto clase 2.
- 5.6.2.4** Se verificará en sitio el cumplimiento de la sección 5.6.2.3 mediante la medición del peso volumétrico del concreto en estado fresco. Se cumplirán los requisitos del inciso 15.3.3 de las NTC-Concreto.
- 5.6.2.5** Si se fabrica el concreto en obra, el proyectista especificará la dosificación del concreto, con objeto de lograr la resistencia a compresión especificada y el peso volumétrico correspondiente a un concreto clase 1.

5.6.3 Acero de refuerzo

- 5.6.3.1** Se usarán las propiedades del acero determinados según el Capítulo Cuarto de esta Guía.
- 5.6.3.2** De acuerdo con el inciso 4.2.4.3 de esta Guía, el valor esperado del esfuerzo de fluencia será 1.25 veces el valor del límite inferior.



- 5.6.3.3** Se aceptará dejar el acero dañado o corroído si se toma en cuenta el diámetro y área remanentes, así como la pérdida de corrugación en el cálculo de resistencias. En este caso, se deberán tomar las medidas necesarias para que se detenga el proceso de corrosión. Si la estructura sufrió daño por incendio, se deberá evaluar su efecto en el esfuerzo de fluencia del refuerzo.
- 5.6.3.4** El diseño del refuerzo y del detallado debe hacerse considerando la posición (horizontal y vertical), la orientación, geometría de refuerzo, anclaje del refuerzo, y ubicación de ganchos de remate y grapas.
- 5.6.3.5** Se revisará que el esfuerzo existente y el nuevo cumplan con la longitud de desarrollo y anclaje del Capítulo 6 de las NTC-Concreto.
- 5.6.3.6** Cuando las barras existentes corrugadas (rectas, con doblez o traslapadas) no cumplan con el inciso 5.6.3.5, la resistencia del anclaje o traslape del refuerzo existente se calculará como

$$f_s = \left(\frac{l_b}{l_d}\right)^{\frac{2}{3}} f_y \leq f_{yL/E} \quad (5.6.1)$$

donde:

f_s	esfuerzo máximo que puede ser desarrollado por una barra anclada o traslapada, MPa (kg/cm ²)
l_b	longitud de desarrollo, de anclaje o de traslape disponible, mm
l_d	longitud de desarrollo, de anclaje o de traslape requerida por NTC-Concreto, mm
f_y	esfuerzo especificado de fluencia considerando su valor de límite inferior, MPa (kg/cm ²)
$f_{yL/E}$	límite inferior o valor esperado del esfuerzo especificado de fluencia del refuerzo, MPa (kg/cm ²).

Si el esfuerzo máximo de adherencia es mayor que f_s calculado con la ecuación 5.6.1, se considerará que el comportamiento del elemento está controlado por una longitud de desarrollo o de traslape inadecuada.

5.6.4 Mampostería

- 5.6.4.1** Para fines de diseño de la rehabilitación, se usarán las propiedades de la mampostería determinadas según el Capítulo Cuarto de esta Guía. Se podrán usar valores superiores si los aprueba el Corresponsable.



5.6.4.2 De acuerdo con el inciso 4.2.4.3 de esta Guía, el valor esperado de las propiedades de la mampostería será 1.25 veces el valor del límite inferior.

5.6.5 Estructuras presforzadas y postensadas

5.6.5.1 Se considerarán los efectos del presfuerzo en el diseño de la rehabilitación.

5.6.5.2 Los documentos ACI 423.4R, ACI 222.2R, ICRI 210.2, PTI DC80.2-10, PTI DC 80.3 contienen guías para el análisis, métodos de evaluación y técnicas de reparación para estructuras con cables postensados no adheridos.

5.6.6 Anclas y conectores post-instalados

5.6.6.1 Las anclas y conectores post-instalados se diseñarán de acuerdo con el Capítulo 17 del ACI 318-19. Se considerarán todos los modos de falla aplicables y si el sustrato está agrietado o no. En caso de duda, se supondrá el sustrato agrietado.

5.6.6.2 Se aceptará usar valores de resistencia, para los distintos modos de falla, propuestos por fabricantes certificados de conectores y/o resinas, previa aprobación del Corresponsable.

5.6.6.3 Si se usan conectores de expansión, se seguirán las especificaciones del fabricante sobre barrenado, limpieza del agujero, magnitud del torque y procedimientos para lograr que trabaje el conector. El fabricante y el proveedor deben ser certificados por un organismo nacional de certificación.

5.6.6.4 Si se usan conectores adheridos o anclas, la limpieza del agujero y las condiciones de humedad son críticas. Se deberán seguir las especificaciones de fabricantes certificados para el barrenado, limpieza del agujero, instalación y cuidado hasta que la resina haya curado.

5.6.6.5 El ensaye e inspección de conectores y anclas post-instaladas se deberá especificar en el proyecto ejecutivo y en el Programa del Aseguramiento de la Calidad.

5.6.7 Geometría de la reparación

5.6.7.1 La configuración de la reparación de un elemento de concreto o mampostería dañado debe ser tal que se evite la concentración de esfuerzos que provoquen agrietamientos en concreto y mampostería. Se recomienda que la reparación:

- a) Tenga una profundidad uniforme en el elemento;
- b) Posea una geometría regular, con lados paralelos y una relación entre lado largo a corto de 3 o menos;
- c) Cuenten con una superficie preparada tal que la amplitud de la rugosidad, entre valle y cresta, sea de al menos 6.4 mm (1/4 pulg);



- d) Descubra completamente el acero de refuerzo en la zona dañada;
- e) No se aplique en bordes de espesor pequeño que fácilmente se dañan o rompan.

5.6.8 Rehabilitación usando postensado adicional

- 5.6.8.1** Se podrá utilizar postensado adicional, externo o interno, para rehabilitar una estructura.
- 5.6.8.2** Las fuerzas y momentos internos que produzca el postensado se deberán considerar en el diseño y detallado de la rehabilitación.
- 5.6.8.3** Los esfuerzos producidos por el postensado se añadirán a los existentes y se verificará que no se excedan los límites del Capítulo 11 de las NTC-Concreto.
- 5.6.8.4** Se diseñarán las zonas de anclaje de postensado de conformidad con el Capítulo 11 de las NTC-Concreto o con los Capítulos 5, 7 y 10 de las NTC-Acero, según corresponda, de modo que las fuerzas de postensado se puedan transferir a la estructura existente. Se aceptará el uso del Método de Puntales y Tensores para diseño y detallado (Apéndice B de las NTC-Concreto).
- 5.6.8.5** En el diseño del sistema de postensado se incluirán las pérdidas del postensado, así como los efectos del flujo plástico y contracción del concreto original debidos al postensado adicional, los efectos del flujo plástico y contracción del material de rehabilitación. Se incluirán las pérdidas por anclaje. Estas pérdidas dependen del tipo de anclaje a utilizar, de modo que, se deberán revisar con el constructor.
- 5.6.8.6** En el diseño se considerarán las deformaciones a corto y largo plazo, deflexiones, cambios de longitud y rotaciones causadas por el postensado.
- 5.6.8.7** Se describirá en el proyecto ejecutivo (planos, memorias y especificaciones) la secuencia de rehabilitación, incluyendo la colocación de tendones, anclajes y del tensado del sistema de postensado.
- 5.6.8.8** Se verificará que la estructura posea la suficiente resistencia a cargas gravitacionales en caso de que fallen los elementos estructurales rehabilitados por postensado y no protegidos a incendio y vandalismo. Se deberá satisfacer la sección 3.5 de esta Guía.

5.7 Rehabilitación usando compuestos de polímeros reforzados con fibras (CPRF)

- 5.7.1** Se podrá rehabilitar estructuras con compuestos de polímeros reforzados con fibras que cumplan con ACI 440.6 y ACI 440.8.



- 5.7.2** El diseño y detallado de los CPRF debe satisfacer los requisitos del ACI 440.2R.
- 5.7.3** Los sistemas a base de CPRF se deberán instalar sobre concreto en buen estado. El daño y deterioro del concreto y la corrosión del acero de refuerzo deberán repararse antes de colocar el sistema de CPRF.
- 5.7.4** Dependiendo de la función del sistema CPRF, se clasificarán como aplicaciones dependientes de la adherencia del compuesto al concreto o mamposterías existentes o como aplicaciones dependientes del contacto entre el concreto o mampostería existente y el sistema CPRF.
- 5.7.5** En aplicaciones dependientes de la adherencia, como el reforzamiento a flexión y cortante de elementos estructurales, el material existente deberá tener una superficie resistente a tensión y cortante para que el sistema CPRF pueda desarrollar su resistencia. La resistencia del sustrato de concreto, determinada con una prueba directa, deberá ser de al menos 1.4 MPa (14 kg/cm²) y una resistencia a compresión mínima de 20 MPa (200 kg/cm²).
- 5.7.6** En aplicaciones dependientes del contacto, no es necesario cumplir con la resistencia mínima a tensión del sustrato, ya que las fuerzas de diseño se logran por la deformación o expansión de la sección del elemento por rehabilitar.
- 5.7.7** En aplicaciones dependientes de la adherencia, se deberá preparar la superficie con una rugosidad mínima de 1/4 pulg (6.4 mm) o lo que señalen los fabricantes o instaladores de CPRF certificados por un organismo nacional de certificación. Este requisito no es necesario en aplicaciones dependientes del contacto entre el CPRF y el sustrato. Para estos casos, sólo será necesario limpiar la superficie con un cepillo de cerdas rígidas con el objeto de retirar material suelto.
- 5.7.8** Los sistemas CPRF no deberán aplicarse en condiciones húmedas a menos que la resina epóxica haya sido formulada por el fabricante para este tipo de condición. Se requerirá la aprobación del Corresponsable en este caso.
- 5.7.9** Se verificará que la estructura posea la suficiente resistencia a cargas gravitacionales en caso de que falle el sistema CPRF no protegido de incendios y vandalismo. Se deberá satisfacer la sección 3.5 de esta Guía.

5.8 Diafragmas

- 5.8.1** Se revisará que los sistemas de piso y techo tengan la rigidez y resistencia en su plano para transmitir las fuerzas laterales, como las inducidas por sismo, a elementos resistentes a fuerzas laterales, ya sean originales, rehabilitados o nuevos.
- 5.8.2** Si el diafragma es de concreto, se cumplirá con lo requerido en la sección 7.8 de las NTC-Concreto.



- 5.8.3** Se podrán rehabilitar los diafragmas mediante la reducción de las dimensiones de aberturas, la construcción de elementos de refuerzo en los extremos, el reforzamiento de los extremos con compuestos de polímeros reforzados con fibra, la adición de diagonales a compresión en el plano, entre otros. En el Capítulo 22 de FEMA 547 (2006) se discuten las consideraciones de diseño, construcción y costo de distintas técnicas de rehabilitación de diafragmas de distintos materiales.

CAPÍTULO SEXTO

TÉCNICAS DE REHABILITACIÓN DE EDIFICIOS ESCOLARES

6.1 Alcance

En este capítulo se presentan las técnicas de rehabilitación más comunes para ser aplicadas en edificios escolares. En cada una se indica la deficiencia estructural que se puede corregir con su uso y se describen en qué consiste, en lo general, y sus variaciones, cuando corresponda. Se incluyen requisitos de análisis, diseño, construcción y aseguramiento de la calidad. Cuando se requiere, se señalan los requisitos de las Normas que deben cumplirse, así como excepciones a los mismos.

6.1.1 Proceso de rehabilitación

En la figura 6.1.1 se presenta un diagrama de flujo que representa de manera gráfica el proceso que se debe realizar para aplicar cualquier técnica de rehabilitación descrita en esta Guía.

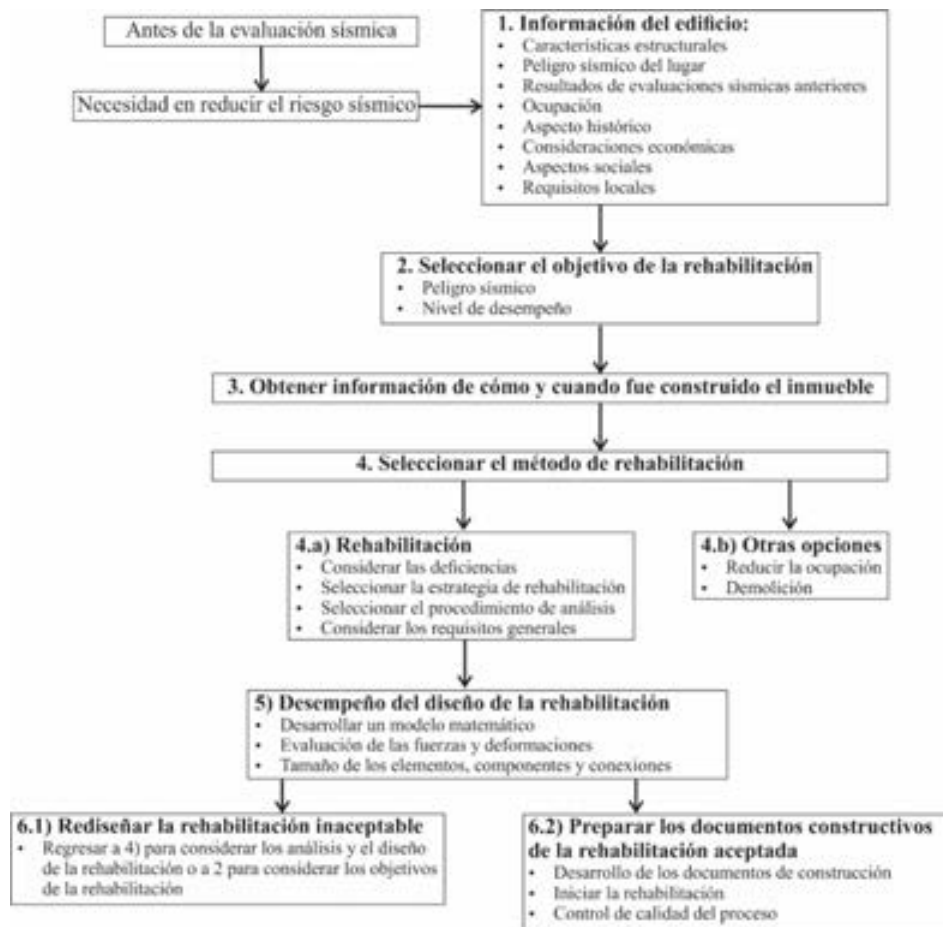


Figura 6.1.1 Diagrama de flujo del proceso de rehabilitación (FEMA 273)



En la tabla 6.1.1 se muestran las técnicas de rehabilitación descritas en este Capítulo y el objetivo de rehabilitación de cada una de ellas.

Tabla 6.1.1 Objetivos de rehabilitación en correspondencia con cada técnica de rehabilitación

Técnica	Rehabilitación complementaria	Incrementar resistencia global	Aumentar rigidez	Incrementar la capacidad de deformación inelástica	Controlar la respuesta	Mejorar la configuración estructural
Encamisados de vigas, columnas o nudos con concreto reforzado	a y/o b	x*	x	x		
Encamisados de vigas, columnas o nudos con acero	a y/o b	x		x		
Encamisados de vigas, columnas o nudos con CPRF	a y/o b	x		x		
Encamisado de muros de mampostería	a y/o b	x	x	x		
Adición de muros de concreto	a y/o b	x	x	x		x
Adición de contraventeos de acero	a y/o b	x	x	x		x
Adición de contraventeos metálicos a base de cables postensados	a y/o b	x	x	x		x
Sustitución o adición de muros diafragma de mampostería	a y/o b	x	x	x		x
Separación y recorte de pretilas en marcos de concreto o acero				x		x
Sistemas de protección pasiva	a y/o b		x	x	x	
Rehabilitación de la cimentación	a y/o b	x	x			x

Notas:

a: Inyección de grietas.

b: Colocación de anclas y conectores en estructuras de concreto y de conectores en elementos metálicos.

*: El encamisado de elementos con concreto reforzado incrementará la resistencia de forma global en la estructura siempre que los componentes que conforman el sistema estructural se hayan rehabilitado con esta técnica, sin embargo, cuando la técnica se emplea en ciertos componentes del sistema estructural, se incrementará la resistencia de forma local, particularmente en el elemento rehabilitado.

6.2 Reparación de grietas

6.2.1 Deficiencia por corregir

Esta técnica de rehabilitación se emplea para reparar elementos estructurales de concreto agrietados debido a las acciones sísmicas. Sólo en algunos casos se pueden usar para reparar muros de mampostería. Con la inyección sólo se puede obtener:



- a) La restitución de parte de la capacidad estructural con la que contaba el elemento en su estado original;
- b) La unión del concreto entre sí, con lo cual le regresa a su estado monolítico;
- c) La protección del acero de refuerzo del elemento de concreto.

Esta técnica usualmente se combina con otras necesarias para incrementar la capacidad de la estructura.

6.2.2 Descripción de la técnica

Este método de rehabilitación consiste en la utilización de una resina sintética a base de polímeros epoxi (o epoxy) que, con los componentes adecuados, se puede utilizar para la reparación de grietas causadas por sismos. Se aplica cuando el grado de deterioro del elemento es bajo y no se tiene desprendimientos de concreto significativos.

También se pueden reparar las grietas mediante la colocación por gravedad de lechadas a base de cemento con aditivos para acelerar el fraguado, incrementar la resistencia y estabilizar el volumen.

Para decidir el método de reparación de la grieta, se debe identificar su localización, espesor, extensión, orientación y origen.

6.2.2.1 Previo a la inyección

Antes de efectuar la inyección, se deben realizar las siguientes acciones:

- a) Retirar todos los acabados en una distancia no menor que 300 mm de la localización de la grieta como se muestra en la Figura 6.2.1.
- b) Limpiar la grieta de polvo, ya sea por medios mecánicos (compresoras, bombas de aire o aspiradoras de tipo industrial) o manuales (brochas de cerdas finas, cepillos). Se debe evitar el uso de compresores de aire operados por motores de combustión interna ya que se pueden introducir partículas de aceite durante el proceso, a menos que se dirija el aire contra una hoja de papel y se cerciore que no haya expulsión de partículas de aceite. Se prefiere el uso de aspiradoras industriales para retirar el polvo y partículas de concreto o mampostería dentro de la grieta.
- c) En caso de existencia de humedad y si el material de reparación es resina epóxica, secar la grieta por medio de aire caliente y asegurarse que la fuente de la humedad sea detenida.
- d) Si el material de reparación es una lechada a base de cemento, se puede limpiar la grieta con agua limpia.



Figura 6.2.1 Identificación y descubrimiento de la grieta de acabados adyacentes

- e) Ejecutar una pequeña perforación con un taladro en los lugares donde se colocarán las boquillas (figura 6.2.2). Una vez concluidas las perforaciones, se deben retirar y limpiar todas las impurezas.

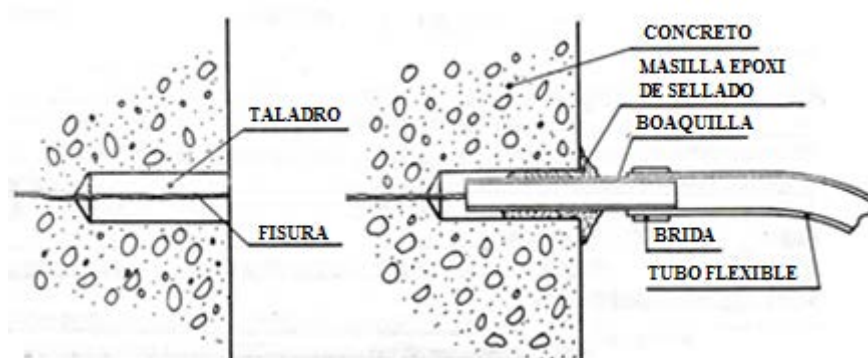


Figura 6.2.2 Diagrama de perforación de la grieta (Fernández, 1966)

- f) Colocar las boquillas -usualmente de 10 mm de diámetro, a una profundidad de 60 mm y espaciadas entre sí 70 cm- (figura 6.2.3), simultáneamente con la aplicación del material sellador de la grieta que sirve para fijar las boquillas. Dejar secar el sellador para que alcance su resistencia; se recomienda un plazo de 24 horas.

ZONA DE FIJACIÓN DEL
INYECTOR CON EL SOPORTE
(GOMA HINCHABLE)ACOPLE DEL INYECTOR
CON LA MANGUERA DE LA
BOMBA DE INYECCIÓN

Figura 6.2.3 Boquillas utilizadas en la inyección de resinas epóxicas

6.2.2.2 Proceso de inyección

Una vez que ha endurecido el sellador de la grieta, se prepara la resina. La resina debe tener una velocidad y temperatura de endurecimiento adecuadas y una viscosidad baja. La inyección se realiza introduciendo a presión la formulación epóxica de baja viscosidad mediante pistolas, gatos o bombas mecánicas. En la Figura 6.2.4, se muestra el uso de una bomba mecánica usada para inyectar la resina.



Figura 6.2.4 Inyección de resina con bomba mecánica, (REPES Chile, 2016)

INYECCIÓN CON RANURAS



Figura 6.2.5 Esquema de una correcta inyección (Fernández, 1966)

Cuando se trata de la inyección de grietas verticales o inclinadas, se inyecta la resina por la boquilla más baja y se continúa hasta que ésta se comienza a salir por la boquilla inmediata superior, como se muestra en la Figura 6.2.5. En grietas finas, se sella la boquilla, mientras se conecta la bomba a la boquilla superior. Se continúa este mismo proceso a lo largo de toda la grieta. Una vez terminada la inyección se deja que la resina alcance su resistencia, la cual dependerá de la formulación del fabricante. Regularmente la resistencia se alcanza a las 24 horas.

6.2.2.3 Acciones posteriores a la inyección

Una vez que la resina haya endurecido y alcanzado su resistencia, se retira la capa de sellado de la grieta. El sellador se puede retirar por medios mecánicos (desbastando con una herramienta eléctrica) o con calor. No se recomienda usar calor para retirar la capa de sellado, ya que puede afectar irreversiblemente a la resina ya inyectada. La apariencia final de un elemento inyectado es como la mostrada en la figura 6.2.6.

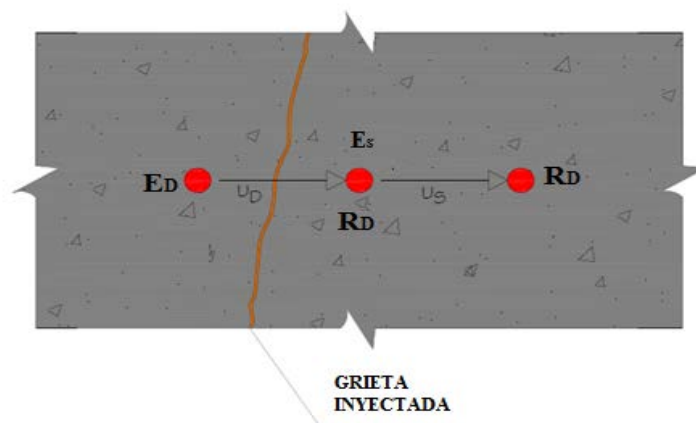


Figura 6.2.6 Columna de concreto después de la inyección

Para asegurar que la inyección de la resina haya resultado exitosa, se debe realizar una prueba no destructiva de ultrasonido sobre el concreto. En este caso se coloca una fuente emisora de vibraciones que haga pasar un conjunto de ondas por el concreto y que lleguen a una fuente de captura. Si el llenado de resina fue exitoso, el tiempo de recepción de las ondas emitidas antes de la rehabilitación será mayor que el tiempo de recepción medido después de la rehabilitación (Alcocer, 2019).

Con la aprobación del Director y el visto bueno del Corresponsable, se aplicará la prueba de ultrasonido en al menos el 10% de los elementos estructurales inyectados con resina, lechada o mortero en cada entrepiso. Se medirán los tiempos de recepción antes y después de la inyección. Se aceptará el elemento inyectado si la diferencia entre los tiempos es, cuando mucho, de 20%. Alternativamente, se medirá el tiempo de recepción después de la inyección (u_D), y se comparará con el tiempo de recepción de referencia que se obtenga en concreto sano en el mismo elemento estructural que se está evaluando (u_S). Para este caso, la diferencia entre u_S y u_D no deberá ser mayor que 20%.

En el caso de la zona de daño inyectada, los transductores se colocarán equidistantemente a ambos lados de la grieta, de manera tal que la onda circule perpendicularmente al daño; según sea el caso, la distancia del daño a la ubicación del transductor (emisor o receptor) deberá oscilar entre 100 y 150 mm. En la zona sana, se usará la misma separación entre el emisor y el receptor empleada en la zona con daño (figura 6.2.7).



ED: EMISOR ULTRASONICO SOBRE CONCRETO DAÑADO
 RD: RECEPTOR ULTRASONICO SOBRE CONCRETO DAÑADO
 ED: EMISOR ULTRASONICO SOBRE CONCRETO SAÑO
 RD: RECEPTOR ULTRASONICO SOBRE CONCRETO SAÑO

Figura 6.2.7 Colocación de transductores emisor y receptor para prueba de ultrasonido (Vidaud, 2019)

6.2.3 Requisitos de diseño

El uso de materiales de reparación de grietas contribuye a la recuperación parcial de la resistencia, la rigidez y capacidad de deformación inelástica. Para fines de diseño, se podrán usar los valores de la tabla 6.2.1 dependiendo el tamaño de grieta.

Tabla 6.2.1 Niveles de recuperación de la capacidad estructural de un elemento reparado con resina epóxica, mortero epóxico o mortero de cemento (Soto E., 2008)

Material	Ancho de grieta	Nivel de recuperación %		
		Resistencia	Rigidez	Ductilidad
a. Resina epóxica	0.02- 0.5 mm	70-90	30-80	75-90
b. Mortero epóxico	0.3-0.5 mm	70-90	30-80	75-90
c. Mortero cemento	> 0.5 mm	80	50	80

En el diseño de la rehabilitación de edificios se deberá suponer los valores más bajos de la Tabla 6.2.1 a menos que el Corresponsable autorice el valor del límite superior.



6.2.4 Requisitos de construcción

- a) De acuerdo con el ACI 224, los espesores de grietas aceptables bajo cargas de servicio se pueden resumir dependiendo su exposición, como se muestra en la Tabla 6.2.2.

Tabla 6.2.2 Espesor de grieta aceptable según el ACI 224

Condición de Exposición	Ancho de grieta	
	pulg	mm
Aire seco o membrana protectora	0.016	0.40
Humedad, aire húmedo, suelo	0.012	0.30
Productos químicos descongelantes	0.007	0.20
Agua de mar y rocío de agua de mar, humedecimiento y secado	0.006	0.15
Estructuras para retención de agua	0.004	0.10

- b) De acuerdo con la N-Rehabilitación y NTC-Concreto, las grietas pueden ser inyectadas con resinas epóxicas a partir de 0.2 mm hasta 5 mm. Para grietas de mayor espesor que 5 mm se recomienda utilizar lechadas o morteros a base de cemento hidráulico o cementantes epóxicos, los cuales tendrán una formulación específica. Se preferirán los morteros hidráulicos de alta resistencia sin contracción.
- c) La limpieza de la grieta debe realizarse con extremo cuidado debido a que el polvo en la grieta evitará la adherencia de la resina a la superficie de la grieta.
- d) La formulación de la resina debe tener una baja viscosidad (aproximadamente de 500 cP) que permita trabajar a presiones reducidas logrando así una velocidad de inyección adecuada, una temperatura de endurecimiento aceptable y una resistencia similar o superior a la del concreto original.
- e) El sellado de grietas de 0.02 mm hasta 5 mm se realizará con la misma resina, mientras que si la grieta es mayor se recomienda la utilización de un mortero epóxico. El tiempo de endurecimiento del sellador es de 24 horas.
- f) Las boquillas a utilizar podrán ser metálicas. Regularmente son de 10 mm de diámetro. Se podrán utilizar boquillas plásticas si el corresponsable lo aprueba. Las boquillas se colocarán dependiendo el espesor de la grieta, a una separación máxima de 500 mm entre ellas. La separación se reducirá mientras la grieta sea más profunda.
- g) Si es necesario realizar un pequeño orificio que sirva como soporte de la boquilla, se debe limpiar de todo residuo de concreto o mampostería.
- h) La inyección se realizará principalmente con bombas a presiones de entre 0.5 MPa hasta 2 MPa (5 kg/cm² hasta 20 kg/cm²), dependiendo de la viscosidad. Lo más común es usar una presión de 0.5 MPa (5 kg/cm²). Se ha encontrado que la inyección se puede lograr incluso con presiones de 0.2 MPa (2 kg/cm²).
- i) No se aceptará la inyección de resinas por medio del método de vacío.
- j) En caso de que la superficie permanezca húmeda y no se pueda secar, es necesario contemplarlo al momento de solicitar al fabricante la formulación de la resina epoxy.



6.2.5 Requisitos de supervisión y aseguramiento de la calidad

En la inyección de grietas con resina epóxica, mortero epóxico o lechadas a base de cemento, la supervisión es un factor determinante para que el procedimiento tenga éxito. Por ello, deberán de cuidar los siguientes aspectos:

- a) Que el proveedor proporcione la resina o mortero epóxicos con las características requeridas para el proyecto y el diseño, como es la viscosidad, la resistencia, el porcentaje de retracción, la temperatura de reacción, etc.;
- b) Que no se exceda el tiempo en el cual se puede inyectar la resina. Regularmente este tiempo está controlado por el reactivo utilizado en su formulación y debe ser especificado por el fabricante de la resina;
- c) Verificar el correcto sellado de las grietas; éste tiene que cubrir completamente la longitud total de la grieta, además de que debe ser uniforme en toda su extensión. Se revisará que las boquillas queden bien sujetas al elemento y que estén rodeadas en su base por su sellador;
- d) Limpiar la grieta para retirar el polvo, humedad o restos del material originados por el orificio taladrado para sostener las boquillas. Esta limpieza se puede realizar por medios manuales como son brochas y cepillos, por medios mecánicos como bombas de aire. Se debe evitar el uso de aire comprimido operados por motores de combustión interna ya que se pueden introducir partículas de aceite durante el proceso, a menos que se dirija el aire contra una hoja de papel y se cerciore que no haya expulsión de partículas de aceite. Se recomienda el uso de aspiradoras industriales;
- e) Si se observa que la grieta presenta humedad o agua, se debe secar y verificar que no se trate de una filtración que pueda afectar en un futuro la inyección. En caso de que la grieta no se pueda secar totalmente, se debe notificar al proveedor de la resina, ya que es posible agregar un aditivo que disminuya el efecto negativo del agua en la resina;
- f) Que se cumpla el tiempo mínimo de secado del sellado. Una vez comenzada la inyección, se debe poner atención de que no haya ninguna fuga por el sellado. Si es así, se suspenderá de inmediato la inyección y se repetirá el sellado;
- g) Que la inyección se realice en la dirección adecuada (de abajo hacia arriba); de esta manera se garantiza que no quede aire atrapado en la grieta al momento de la inyección;
- h) Que se cumpla el tiempo de endurecimiento de la resina una vez inyectada la grieta antes de retirar el sellado.
- i) Para verificar que el procedimiento de inyección se llevó de manera exitosa, se deben realizar pruebas de ultrasonido, como las requeridas en el inciso 6.2.2.3 de esta Guía y el 16.7.1 de las NTC-Concreto.

6.3 Conexión entre elementos existentes y materiales o elementos nuevos

6.3.1 Deficiencia por corregir

La decisión de colocar anclas (barras corrugadas ahogadas en resina epóxica) o conectores en elementos de concreto o de acero, dependerá del tipo de técnica de rehabilitación. Esta, a su vez, será seleccionada en función del modo de falla de la estructura existente que se haya identificado como resultado de la evaluación estructural ante sismos.

Las técnicas de rehabilitación que requieren la colocación de anclas o conectores en estructuras de concreto son:

- Encamisados de concreto (sección 6.4 de esta Guía);
- Encamisados de acero (sección 6.5 de esta Guía);
- Encamisados de compuestos de polímeros reforzados con fibra (sección 6.6 de esta Guía);
- Adición de muros de concreto (sección 6.8 de esta Guía);
- Adición de contraventeos metálicos (sección 6.9 de esta Guía);
- Sustitución o adición de muros diafragma de mampostería (sección 6.11 de esta Guía).

Mediante el diseño y colocación de las anclas de acuerdo con esta sección, se pretende lograr el comportamiento monolítico supuesto en el inciso 4.3.3.3, así como establecer un mecanismo de transferencia de fuerzas entre la estructura existente y el nuevo material o elemento.

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

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

6.3.3 Descripción de la técnica

En el caso de estructuras existentes de concreto, se pueden instalar:

- Anclas para unir elementos de concreto. Consiste en la perforación del concreto existente, la limpieza del agujero, el llenado con resina epóxica y la colocación de una barra corrugada de acero dentro del agujero (figura 6.3.1);
- Conectores roscados para unir elementos metálicos con componentes de concreto existentes. En lugar de colocar anclas, se instalan conectores roscados ahogados en resina, o bien conectores de tipo expansivo.

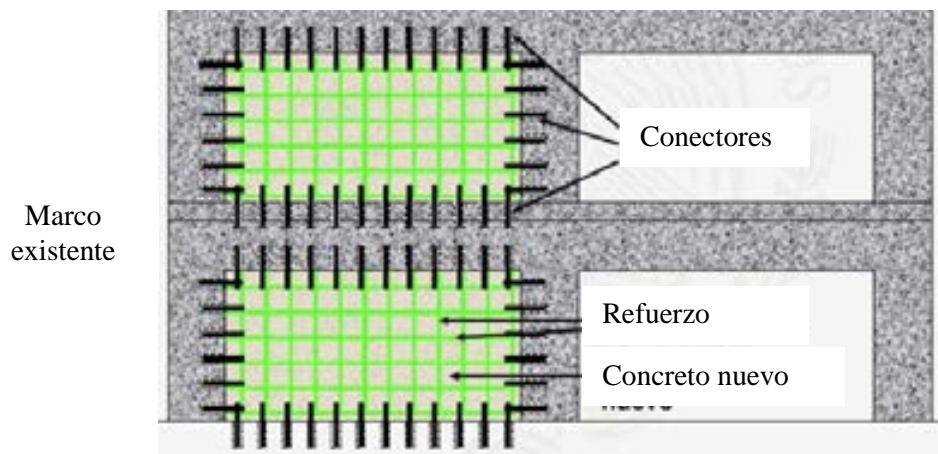


Figura 6.3.1 Anclas para unir elementos de concreto (Terán A., 2009)



En el caso de elementos nuevos de acero para conectarse a nuevos elementos de concreto, como en el caso de contraventeos con marco de acero, se pueden instalar pernos tipo Nelson o bien barras con una tuerca en el extremo.

6.3.4 Requisitos de análisis

Las fuerzas de diseño se obtendrán del análisis del edificio con la(s) técnica(s) de rehabilitación seleccionadas.

6.3.5 Requisitos de diseño

6.3.5.1 Requisitos geométricos

- a) Se podrán emplear barras corrugadas ahogadas en resina epóxica para desarrollar el esfuerzo especificado de fluencia. La profundidad del ancla dentro de la resina epóxica no será menor que $7d_b$, donde d_b es el diámetro nominal de la barra por anclar.
- b) Las anclas deberán cumplir con lo siguiente:
 - i. Diámetro – entre 9.5 (número 3) y 19 mm (número 6);
 - ii. Separación longitudinal, centro a centro – no será menor que $7.5d_b$, ni mayor que 300 mm;
 - iii. Si se colocan las anclas en dos filas o al tresbolillo, la separación transversal, medida centro a centro, será mayor o igual que $5.5d_b$ o $4d_b$, respectivamente;
 - iv. La distancia entre el centro del ancla y la cara del muro será mayor o igual que $2.5d_b$.
- c) La longitud de anclaje de la barra dentro del nuevo concreto será mayor o igual que $30d_b$; este valor se podrá reducir a $20d_b$ si se termina con un gancho a 90 grados o con una tuerca con diámetro externo igual a $2d_b$.

6.3.6 Procedimientos de diseño

- a) Previa autorización del Corresponsable, se diseñarán las anclas y conectores, por colocarse en elementos de concreto o de acero, mediante cualquiera de los procedimientos siguientes:
 - i. Anclas y conectores adhesivos en elementos de concreto, de acuerdo con las tablas, valores y ecuaciones de fabricantes de resina epóxica y conectores certificados por un organismo nacional de certificación;
 - ii. Conectores post-instalados en concreto, de acuerdo con el Capítulo 17 del ACI 318-19 o con el ACI 355.2;
 - iii. Con las expresiones del inciso c) siguiente.
- b) Si se emplean valores sugeridos por fabricantes, se verificará que corresponden a valores de diseño tal que incluyan el factor de resistencia correspondiente;
- c) Expresiones de diseño:
 - i. Resistencia a cortante: La resistencia a cortante, V_a , se define como la capacidad resistida por un único anclaje en la interfaz de concreto. La resistencia a cortante será el menor valor entre V_{a1} y V_{a2} , que están determinados por la resistencia del acero y la resistencia del concreto, respectivamente.



1) *Conectores expansivos*

a. Cuando $4 d_a \leq l_e < 7 d_a$

$$V_a = \min[V_{a1}, V_{a2}] \quad 6.3.1$$

$$V_{a1} = 0.7 f_{ya} A_{sa} \quad 6.3.2$$

$$V_{a2} = 0.3 \sqrt{E_c f'_c} A_{sa} \quad 6.3.3$$

Siendo $v = V_a / A_{sa}$ no mayor que 250 MPa (2 500 kg/cm²)

b. Cuando $l_e \geq 7 d_a$

$$V_a = \min[V_{a1}, V_{a2}] \quad 6.3.4$$

$$V_{a1} = 0.7 f_{ya} A_{sa} \quad 6.3.5$$

$$V_{a2} = 0.4 \sqrt{E_c f'_c} A_{sa} \quad 6.3.6$$

Siendo $v = V_a / A_{sa}$ no mayor a 294 MPa (2940 kg/cm²)

2) *Conectores adhesivos*

a. Cuando $l_e \geq 7 d_a$

$$V_a = \min[V_{a1}, V_{a2}] \quad 6.3.7$$

$$V_{a1} = 0.7 f_{ya} A_{sa} \quad 6.3.8$$

$$V_{a2} = 0.4 \sqrt{E_c f'_c} A_{sa} \quad 6.3.9$$

Siendo $v = V_a / A_{sa}$ no mayor que 300 MPa (3 000 kg/cm²)

donde:

d_a diámetro nominal de la barra de anclaje para conectores adhesivos o diámetro del mando del conector de expansión, mm.

l_e longitud de empotramiento efectiva del conector, se aceptará como mínimo 150 mm, mm.

f_{ya} esfuerzo de fluencia del conector, MPa.

A_{sa} área de la sección transversal del conector de expansión en la interfaz del concreto, o área de la sección transversal del conector adhesivo, mm².

f'_c esfuerzo especificado de compresión del concreto, MPa.

E_c módulo de elasticidad del concreto, MPa.

ii. Resistencia a tensión: La resistencia a tensión N_a se define como la capacidad resistida por un único anclaje en la interfaz del concreto. La resistencia a tensión será el menor valor entre N_{a1} , que está determinado por la resistencia del acero, N_{a2} , que está determinado por la falla del cono del concreto, y N_{a3} , que está determinado por la resistencia de la unión en el conector adhesivo.

1) *Conectores expansivos*

$$N_a = \min[N_{a1}, N_{a2}] \quad 6.3.10$$



$$N_{a1} = \min[f_{ya}A_{se}, f_yA_{s0}] \quad 6.3.11$$

$$N_{a2} = 0.23\sqrt{f'_c}A_c \quad 6.3.12$$

2) Conectores adhesivos

$$N_a = \min[N_{a1}, N_{a2}, N_{a3}] \quad 6.3.13$$

$$N_{a1} = f_yA_{s0} \quad 6.3.14$$

$$N_{a2} = 0.23\sqrt{f'_c}A_c \quad 6.3.15$$

$$N_{a3} = v_a\pi d_a l_e \quad 6.3.16$$

$$v_a = 10\sqrt{(f'_c/21)} \quad 6.3.17$$

donde:

A_{se} área mínima de la sección transversal del conector de expansión, mm².

f_y esfuerzo especificado de fluencia del acero, MPa.

A_{s0} área efectiva de la sección transversal de la barra de acero roscada (sin rosca).
o área nominal de la sección transversal de la barra de anclaje, mm².

A_c área proyectada de la superficie de falla del cono de concreto de un anclaje
único, que se calcula por medio de la expresión $A_c = 9h_{ef}^2$ tomada del
capítulo 17 del ACI 318-19, mm².

v_a resistencia de unión del ancla adherida contra la fuerza de extracción, MPa.

6.3.7 Requisitos de construcción

- Se seguirán las recomendaciones de instalación de los fabricantes de resina epóxica y conectores. Se usarán productos certificados por un organismo nacional de certificación;
- Antes de realizar la perforación, se identificará la colocación del acero de refuerzo del elemento de concreto existente y se preparará la superficie del concreto que estará en contacto con el nuevo concreto, mediante la escarificación con rugosidad de 6.4 mm (1/4 pulg) (figura 6.3.2);
- Se hará el agujero usando un taladro de impacto para promover la rugosidad en la cara lateral del agujero. Una vez hecho el agujero, con la profundidad y diámetro de diseño, se limpiará por medio de un cepillo para biberones o mediante aspiradora industrial. No se permite limpiar el agujero con aire a presión, si el aire proviene de un compresor de combustión interna, a menos que se dirija el aire contra una hoja de papel y se cerciore que no haya expulsión de partículas de aceite;
- Se rellena el agujero con resina epóxica hasta dos terceras partes de la profundidad del agujero. Posteriormente se inserta la barra corrugada o el conector, girando sobre su eje conforme avanza lentamente su colocación;
- Se retira el exceso de resina;
- Se acepta colocar anclas con barrenos inclinados a 45 grados con respecto a la superficie de concreto, con la misma profundidad que los barrenos perpendiculares a la superficie. En este caso, se dejarán pasar 24 h para doblar en frío la barra para que quede ortogonal a la cara de concreto.



g)

h) Figura 6.3.2 Preparación de la superficie del concreto que estará en contacto con el nuevo concreto mediante escarificación

6.3.8 Requisitos de supervisión y aseguramiento de la calidad

Se debe supervisar que:

- a) La profundidad y diámetro del agujero cumplan con lo señalado en los planos;
- b) Se limpie el agujero de polvo o cualquier sustancia que impida la adhesión de la resina con el concreto y que no se use aire comprimido proveniente de equipos de combustión interna;
- c) Si se opta por usar anclas con barrenos inclinados a 45 grados con respecto a la superficie de concreto, se dejen pasar 24 h para que endurezca la resina antes de doblar la barra en frío.

6.4 Encamisados de vigas, columnas o nudos con concreto reforzado

6.4.1 Deficiencia por corregir

El diseño de la rehabilitación dependerá del modo de falla de los marcos existentes, el cual será identificado como resultado de la evaluación estructural ante sismo.

Los edificios que pueden ser rehabilitados para mejorar su desempeño sísmico mediante encamisados de vigas, columnas o nudos con concreto reforzado son:



- a) Edificios con columnas cuyo modo de falla está controlado por fuerza cortante y cuya falla puede afectar el desempeño sísmico de todo el edificio;
- b) Edificios a base de marcos resistentes a momento que posean una resistencia y/o rigidez lateral insuficiente ante las demandas sísmicas de diseño;
- c) Edificios con vigas y/o columnas cuyos traslapes del refuerzo existente son escasos;
- d) Edificios con pisos suaves/débiles, usualmente en la planta baja.

El encamisado de vigas, columnas o nudos se emplea para incrementar la resistencia a flexión, flexocompresión, cortante, y la capacidad de deformación, sin cambiar el sistema estructural global.

Específicamente, con el encamisado de las columnas se puede:

- a) Incrementar la capacidad de deformación y la resistencia a fuerza cortante; o
- b) Incrementar la resistencia a flexocompresión, cortante y la capacidad de deformación inelástica;
- c) Aumentar la rigidez de elementos y del sistema estructural.

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

Las demandas de resistencia, rigidez y capacidad de deformación inelástica para diseño serán las establecidas en las NTC-Sismo.

6.4.3 Descripción de la técnica

El encamisado de vigas, columnas o nudos consiste en añadir una capa de concreto o mortero alrededor de los elementos existentes. El encamisado puede ser total si rodea al elemento en todas sus caras, o parcial. En el caso de columnas, es preferible que el encamisado sea total. Esta capa de concreto o mortero debe estar reforzada por medio de barras corrugadas longitudinales y transversales, o por malla de alambre soldado. Es menos frecuente el uso de ferrocemento en encamisados.

6.4.3.1 Encamisado de vigas

- a) Encamisado de vigas para incrementar la capacidad de deformación y la resistencia a fuerza cortante. El refuerzo longitudinal no debe ser continuo a través de los nudos. El encamisado estará separado del nudo por una junta con un espesor mínimo de 300 mm. El refuerzo transversal adicional está compuesto por estribos hechos de dos piezas;
- b) Encamisado de vigas para incrementar la resistencia a flexión, cortante y la capacidad de deformación inelástica. El refuerzo longitudinal de las vigas encamisadas debe ser continuo a través de los nudos y debe anclarse en las columnas externas, hasta la cara posterior de la columna (cara más alejada de la zona crítica para calcular la longitud de desarrollo o de anclaje). Se podrá doblar, en dirección horizontal, el refuerzo longitudinal de la viga para rodear la columna y anclar el refuerzo; en este caso, se deberá diseñar refuerzo transversal en

la viga encamisada que resista la componente de la fuerza generada por las barras dobladas considerando $1.25 f_y$, que corresponde al valor esperado del esfuerzo de fluencia.

En la figura 6.4.1 se presentan posibles configuraciones de encamisado en vigas de concreto.

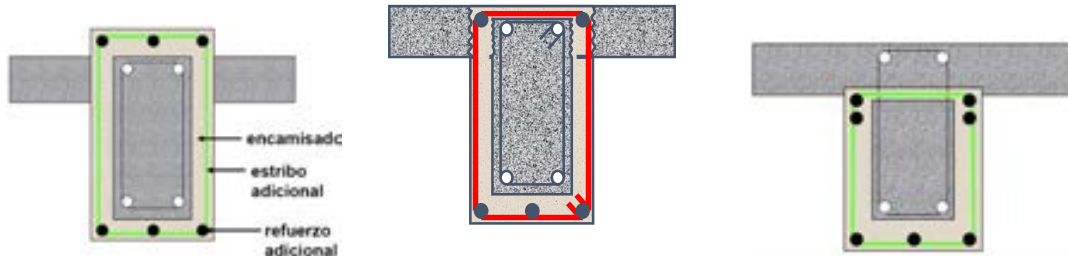


Figura 6.4.1 Posibles configuraciones de encamisado de vigas con concreto (Terán A., 2009)

6.4.3.2 Encamisado de columnas

- Encamisado de columnas para incrementar la capacidad de deformación y la resistencia a fuerza cortante. El refuerzo longitudinal no debe ser continuo en la altura del edificio. El encamisado deberá estar separado del piso y del techo de cada entrepiso por medio de una junta con espesor mínimo de 30 mm.
- Encamisado de columnas para incrementar la resistencia a flexocompresión, cortante y la capacidad de deformación inelástica. El refuerzo longitudinal de las columnas encamisadas debe ser continuo, desde la cimentación hasta el piso que requiera la rehabilitación (usualmente, todo el edificio).

Si un muro está en contacto con la columna existente, se deberá demoler parcialmente el muro para permitir el encamisado de la columna.

En la figura 6.4.2 se presentan posibles configuraciones de encamisado en columnas de concreto

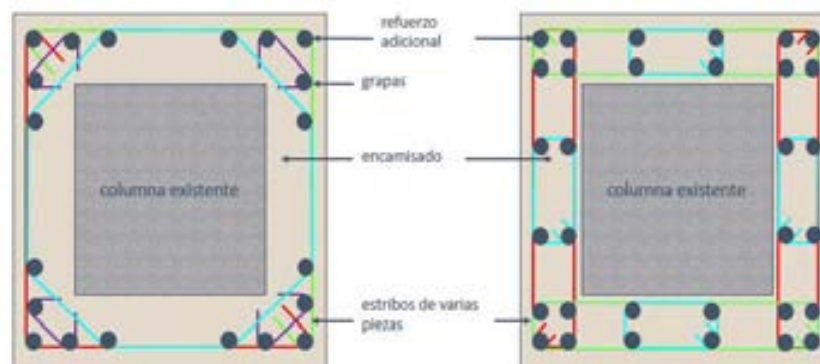


Figura 6.4.2 Posibles configuraciones de encamisado de columnas con concreto (Terán A., 2009)

6.4.3.3 Encamisado de nudos

- a) En el caso del inciso 6.4.3.2.b, la unión viga-columna deberá ser encamisada también. El concreto del nudo debe ser confinado con estribos nuevos hechos por piezas o, preferentemente, por medio de una armadura metálica hecha a base de ángulos verticales en las esquinas del nudo y soleras horizontales arriba de la losa y por debajo de las vigas (figura 6.4.3).

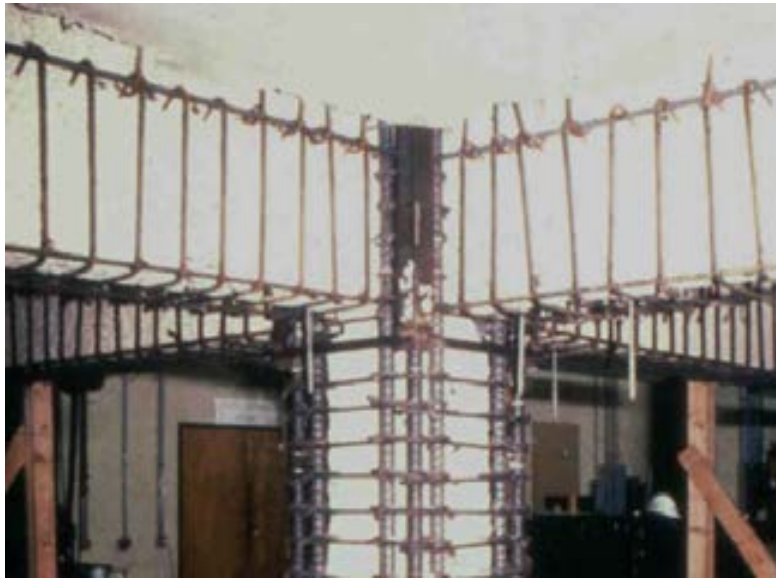


Figura 6.4.3 Encamisado de nudo, de columna y de viga (Alcocer y Jirsa, 1991)

6.4.4 Consideraciones de análisis

- a) Factor de comportamiento sísmico. Se deberá cumplir con el inciso 4.3.3.8 de esta Guía.
- b) Comportamiento monolítico. Para fines de análisis, se deberá suponer un comportamiento monolítico de la estructura existente con las capas de concreto o mortero del encamisado. Ello implica que existe una adherencia perfecta entre el concreto/mortero nuevo y el existente. Se deberá cumplir con el inciso 4.3.3.3 de esta Guía.
- c) Carga axial. Se supondrá que la carga axial es resistida por la columna existente y que la camisa nueva de concreto o mortero no resiste carga axial, a menos que se estime que las cargas gravitacionales aumenten significativamente durante la operación del edificio rehabilitado.
- d) Factor de rigidez efectiva para análisis lineal. Se usará un factor de rigidez efectiva para la sección encamisada según el inciso 3.2.1 de las NTC-Concreto. Si el elemento original tiene daño moderado o severo según la N-Rehabilitación, se debe ignorar la aportación de la rigidez del elemento original. Si el elemento fue inyectado con resina epóxica de acuerdo con la sección 6.2, se podrá suponer el menor valor de la rigidez recuperada señalado en la tabla 6.2.1.



6.4.5 Requisitos de diseño

6.4.5.1 Materiales

- La resistencia mínima especificada del concreto de la camisa será de 25 MPa (250 kg/cm²) o 5 MPa (50 kg/cm²) mayor que la resistencia del concreto de la estructura existente, la que sea mayor.
- Se usará concreto clase 1. No se permitirá el uso de concreto clase 2.

6.4.5.2 Vigas

6.4.5.2.1 Requisitos geométricos

- El claro libre no debe ser menor que cuatro veces el peralte efectivo de la viga encamisada;
- El ancho de la viga encamisada b_b debe ser menor o igual que el ancho de la columna b_c ;
- El espesor mínimo de la capa de concreto de la camisa será de 80 mm;
- El recubrimiento mínimo será de 20 mm, según la sección 4.9 de las NTC-Concreto;
- Se revisará que la distancia libre entre barras longitudinales y la superficie de concreto existente no sea menor que una vez el diámetro nominal de la barra, 1.5 veces el tamaño máximo de agregado, ni que 25 mm;
- La separación entre barras no será menor que el diámetro nominal de la barra, ni que 1.5 veces el tamaño máximo de agregado del concreto.

6.4.5.2.2 Refuerzo longitudinal

- Las barras longitudinales tendrán un diámetro mínimo de 12.7 mm (número 4);
- La cuantía de refuerzo longitudinal de la viga, considerando la suma de las cuantías del refuerzo existente y del nuevo no excederá de 0.025;
- Se cumplirá con los incisos 9.2.2.b a 9.2.2.e de las NTC-Concreto.

6.4.5.2.3 Refuerzo transversal para confinamiento

Se cumplirá con los incisos 8.2.3 de las NTC-Concreto, con excepción de los incisos 8.2.3.c y 8.2.3.d. Se aceptará que los estribos estén hechos por dos piezas que estén rematadas en sus extremos con dobleces de, al menos, 135 grados (figura 6.4.4), seguidos de un tramo recto no menor que seis diámetros de largo ni de 80 mm. El diámetro mínimo del estribo será de 9.5 mm (número 3).

6.4.5.2.4 Refuerzo transversal para cortante

El refuerzo transversal para fuerza cortante se diseñará según los requisitos del inciso 8.2.4 de las NTC-Concreto.

Se exceptúa el cumplimiento de colocar estribos de una pieza. Se aceptará que los estribos estén hechos por dos piezas que estén rematadas en sus extremos con dobleces de, al menos, 135 grados (Figura 6.4.4), seguidos de un tramo recto no menor que seis diámetros de largo ni de 80 mm. El diámetro mínimo del estribo será de 9.5 mm (número 3).

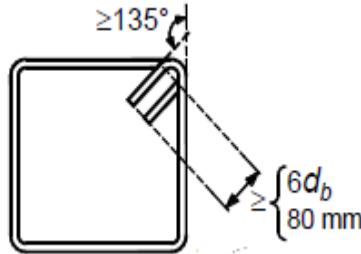


Figura 6.4.4 Esquema de dobleces de 135 grados (NTC-Concreto, 2017)

Se aceptará colocar grapas adheridas con resina epóxica dentro del núcleo de la columna original como refuerzo para resistir fuerza cortante. Se diseñarán de acuerdo con la sección 5.4 de esta Guía.

6.4.5.2.5 Cortante rasante

En caso de encamisados parciales, se revisará la necesidad de colocar conectores o anclas para resistir el cortante rasante. Se deberán satisfacer los requisitos de la sección 5.4 de esta Guía.

No se permitirá soldar el refuerzo transversal o longitudinal existente al nuevo refuerzo.

6.4.5.3 Columnas

6.4.5.3.1 Requisitos geométricos

- La relación de aspecto de la sección transversal no exceda de 3;
- El espesor mínimo de la capa de concreto de la camisa será de 100 mm;
- El recubrimiento mínimo será de 15 mm, según la sección 4.9 de las NTC-Concreto;
- Se revisará que la distancia libre entre barras longitudinales y la superficie de concreto existente no sea menor que una vez el diámetro nominal de la barra, 1.5 veces el tamaño máximo de agregado, ni que 25 mm;
- Se procurará que la distancia libre entre barras longitudinales no sea menor que 1.5 veces el diámetro nominal de la barra, 1.5 veces el tamaño máximo de agregado, ni que 40 mm;
- Se aceptará el uso de paquetes formados por tres barras como máximo en la camisa de columnas;
- Se deberán cumplir los requisitos del inciso 9.3.1 de las NTC-Concreto.



6.4.5.3.2 Refuerzo longitudinal

- a) Las barras longitudinales tendrán un diámetro mínimo de 15.8 mm (número 5);
- b) La cuantía de refuerzo longitudinal de la columna, considerando la suma de las cuantías del refuerzo existente y del nuevo, no excederá de 0.06;
- c) Se cumplirá con los incisos 9.2.2.b a 9.2.2.e de las NTC-Concreto.

6.4.5.3.3 Refuerzo transversal para confinamiento

Se cumplirá con el inciso 8.2.3 de las NTC-Concreto, con excepción de:

- a) Se aceptará que los estribos estén hechos por dos piezas que estén rematadas en sus extremos con dobleces de, al menos, 135 grados (figura 6.4.4), seguidos de un tramo recto no menor que seis diámetros de largo ni de 80 mm. El diámetro mínimo del estribo será de 9.5 mm (número 3);
- b) Colocar estribos de cuatro ramas (inciso 8.2.3.d de las NTC-Concreto).

6.4.5.3.4 Refuerzo transversal para cortante

El refuerzo transversal para fuerza cortante se diseñará según los requisitos del inciso 8.2.4 de las NTC-Concreto.

Se exceptúa el cumplimiento de colocar estribos de una pieza. Se aceptará que los estribos estén hechos por dos piezas que estén rematadas en sus extremos con dobleces de, al menos, 135 grados (figura 6.4.4), seguidos de un tramo recto no menor que seis diámetros de largo ni de 80 mm. El diámetro mínimo del estribo será de 9.5 mm (número 3).

Se aceptará colocar grapas adheridas con resina epóxica dentro del núcleo de la columna original como refuerzo para resistir fuerza cortante. Se diseñarán de acuerdo con la sección 5.4 de esta Guía.

6.4.5.3.5 Cortante rasante

En caso de encamisados parciales, se revisará la necesidad de colocar conectores o anclas para resistir el cortante rasante. Se satisfarán los requisitos de la sección 5.4 de esta Guía.

No se permitirá soldar el refuerzo transversal o longitudinal existente al nuevo refuerzo.

6.4.5.4 Nudos

6.4.5.4.1 Se deberán encamisar los nudos, si se cumple cualquiera de (a) o (b):

- a) Se encamisán las vigas y columnas del marco existente;



- b) Se encamisán las columnas, de manera continua, en la altura del edificio.

6.4.5.4.2 Se deberá cumplir con la sección 9.7 de las NTC-Concreto, con las excepciones siguientes:

- a) En el inciso 9.7.2, el refuerzo transversal horizontal se podrá colocar mediante:
- i. Estribos hechos por dos piezas y que estén rematados con dobleces de, al menos, 135 grados, si se demuele la zona próxima de las vigas que llegan al nudo. En este caso, se deberán tomar las medidas apropiadas de apuntalamiento y/o arriostramiento;
 - ii. Ángulos y soleras que confinen el nudo.
- b) En el inciso 9.7.4, para revisar la resistencia a cortante del nudo, se usará la ecuación 6.4.1 para calcular una resistencia a compresión de concreto equivalente:

$$f'_c{}_{eq} = \frac{f'_c{}_{col,existente} + f'_c{}_{encamisado}}{A_{col,existente} + A_{encamisado}} \quad (6.4.1)$$

donde:

$f'_c{}_{eq}$	resistencia a compresión del concreto equivalente para revisión de un nudo encamisado, MPa (kg/cm ²);
$A_{col,existente}$	área de la sección transversal de la columna existente, mm ² (cm ²);
$A_{encamisado}$	área de la sección transversal del concreto nuevo, mm ² (cm ²);

En la revisión de la resistencia a fuerza cortante del nudo, se usarán los anchos de los elementos encamisados.

- c) En el inciso 9.7.5.2 de las NTC-Concreto, se aceptará cambiar el límite de 20 a 18.

6.4.6 Requisitos de construcción

- a) Se escarificará toda la superficie de concreto del elemento por encamisar hasta obtener una rugosidad de al menos 6.4 mm (1/4 pulg) entre valle y cresta. La cara escarificada deberá estar libre de cualquier sustancia que impida la adhesión del concreto nuevo;
- b) Dos horas antes del colado, se deberá saturar la superficie del concreto existente con agua limpia;
- c) No será necesario usar adhesivo entre concretos nuevo y existente ni cualquier otro aditivo para el efecto;
- d) El revenimiento y el tamaño máximo del agregado se seleccionarán de acuerdo con la separación mínima y el recubrimiento del refuerzo.

6.4.7 Requisitos de supervisión y aseguramiento de la calidad

- Revisar que toda la superficie de concreto se escarifique hasta alcanzar una rugosidad como la especificada en los planos de construcción;
- Para asegurar las características del concreto de diseño, se recomienda no fabricar el concreto en obra. Se debe muestrear el concreto en estado fresco y determinar su peso volumétrico para asegurar que el concreto es clase 1. El Director, con el visto bueno del Corresponsable aprobará el uso del concreto para el encamisado.

6.5 Encamisados de vigas, columnas o nudos con acero

6.5.1 Deficiencia por corregir

El diseño de la rehabilitación dependerá del modo de falla de los marcos existentes que se identifique como resultado de la evaluación estructural ante sismos.

Los edificios que pueden ser rehabilitados para mejorar su desempeño sísmico mediante el encamisado metálico de columnas o vigas son:

- Edificios con columnas cuyo modo de falla está controlado por fuerza cortante (figura 6.5.1);
- Edificios cuyas columnas tienen escasa capacidad de deformación lateral o requieren incrementar su resistencia a carga axial mediante el confinamiento de las camisas metálicas;
- Edificios con vigas y/o columnas cuyos traslapes del refuerzo existente son escasos.



Figura 6.5.1 Edificio con planta baja flexible



En ningún caso, los encamisados de acero se emplearán para incrementar la resistencia lateral de marcos existentes. Los encamisados de vigas, columnas o nudos son de aplicación local, a nivel de elemento estructural.

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

Las demandas de resistencia, rigidez y capacidad de deformación inelástica para diseño serán las establecidas en las NTC-Sismo.

6.5.3 Descripción de la técnica

El encamisado de vigas, columnas o nudos consiste en el recubrimiento del elemento estructural con elementos de acero, los cuales pueden ser placas delgadas o armaduras hechas de soleras y ángulos soldados entre sí. La camisa de acero puede extenderse en toda la altura del elemento (encamisado completo) o sólo en una zona de este, normalmente donde se esperan deformaciones inelásticas, llamado encamisado local.

Para un correcto funcionamiento, se debe garantizar la sujeción y/o contacto entre los elementos metálicos y el concreto. Esto puede obtenerse a través de morteros entre los dos materiales y/o por medio de conectores.

6.5.3.1 Encamisado de vigas

Consiste en la colocación de una placa de acero que cubra el lecho inferior de la viga, en contacto con el concreto por medio de mortero y conectores. Los lados pueden ser encamisados también con placas o con soleras que se conectan a la losa con el uso de ángulos y conectores (figura 6.5.2).



Figura 6.5.2 Encamisados de vigas con placas de acero (Horse Construction Company China, 2019)

Es posible también encamisar vigas con armaduras hechas con ángulos y soleras soldados entre sí. En la unión de la viga y la losa, los ángulos de la armadura sirven para conectarla con la losa de concreto. Los ángulos se fijan a la losa por medio de conectores (figura 6.5.3).



Figura 6.5.3 Encamisados de vigas con ángulos y soleras (Horse Construction Company China, 2019)

6.5.3.2 Encamisado de columnas

Se distinguen dos tipos principales de encamisados de columnas con acero:

- a) Placas que cubren todo el perímetro del elemento.

En este tipo, a su vez, se tienen dos casos. El más usual, es el encamisado de la columna en toda su altura (o encamisado completo); el otro, es el encamisado local, normalmente para confinar una zona con traslape insuficiente de refuerzo o bien para reforzar e incrementar el confinamiento en una zona donde se esperan deformaciones inelásticas.

En el caso del encamisado completo, la técnica se aplica para incrementar la capacidad de deformación lateral, resistencia a cortante y/o carga axial. Se deberá diseñar el encamisado para minimizar la cantidad de soldadura en campo. Para que exista contacto entre las placas y el concreto de la columna, se coloca mortero fluido sin contracción y/o conectores que conecten la camisa a la columna. Los conectores se deben distribuir de forma uniforme en toda la altura de la columna en todas sus caras. La profundidad de empotramiento de los conectores será de al menos $\frac{1}{3}$ de la menor dimensión transversal de la columna. Las placas deben ser soldadas entre sí. En caso de encamisados de columnas rectangulares, se recomienda soldar las placas a ángulos metálicos que se coloquen en las esquinas de la camisa, por dentro de ella.

Si el encamisado se coloca para aumentar la capacidad de deformación y/o la resistencia a cortante, se separará al menos 30 mm del piso y del techo.

No será aceptable un encamisado metálico sin mortero entre la camisa y el concreto existente.



En el caso de encamisados locales, se conectará la camisa a la columna por medio de conectores en las caras sujetas a flexión. Adicionalmente, se colocará mortero fluido sin contracción.

b) Armadura de ángulos y soleras.

Consiste en la colocación de ángulos en las esquinas de la columna unidos mediante soleras metálicas soldadas a los ángulos. Entre los ángulos y soleras y el concreto existente, se rellenará el espacio con mortero fluido sin contracción. Las soleras y el ángulo contribuyen a incrementar el confinamiento del elemento existente y consecuentemente, a mejorar su capacidad de desplazamiento lateral y su resistencia a cortante.

En los extremos de la columna, se recomienda colocar placas de acero para conectar la camisa a la columna y a la losa y viga. Estas placas son fijadas por medio de conectores (figura 6.5.4).

Figura 6.5.4 Placas de acero en los extremos de la columna para conectar el encamisado a la losa y viga (Secretaría de Educación Pública, 2019)

6.5.3.3 Encamisado de nudos

El encamisado de nudos se hará para incrementar su confinamiento y, consecuentemente, su resistencia a corte y capacidad de deformación. El encamisado de los nudos sólo será continuo con la columna inferior. El encamisado de los nudos se compone de placas soldadas que cubren las distintas caras de la intersección entre la columna y la viga o losa (figura 6.5.5). Todas las placas se deben unir al concreto por medio de conectores con una profundidad de $1/3$ de la longitud menor de la sección transversal del elemento (viga o columna) o de $1/2$ del peralte de la losa, la que resulte mayor.

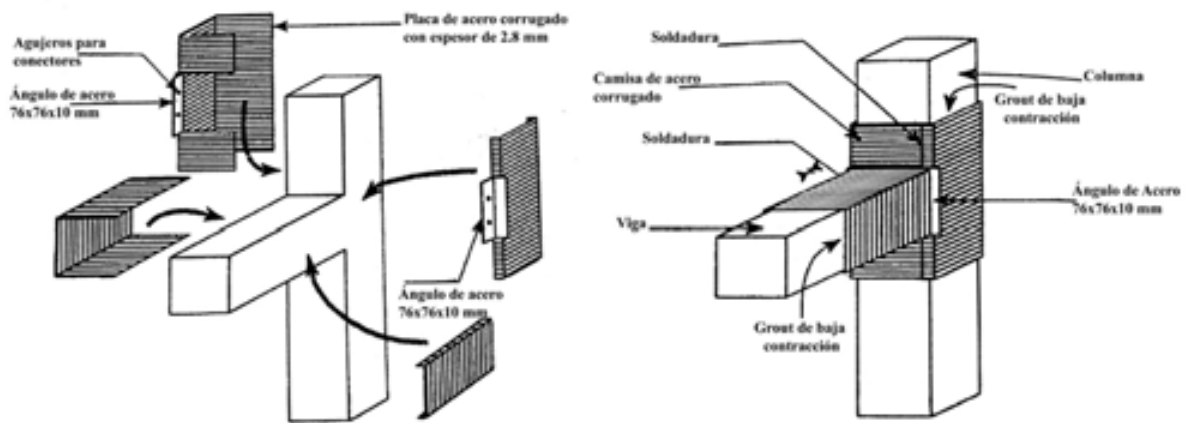


Figura 6.5.5 Propuesta de ensamblado de placas en encamisado de nudo (Ghobarah et al., 1997).

6.5.4 Requisitos de análisis

- Factor de comportamiento sísmico. Se deberá cumplir con el inciso 4.3.3.8 de esta Guía.
- Comportamiento. Para fines de análisis, se deberá suponer un comportamiento de sección compuesta de la estructura existente con el encamisado de acero. Ello implica que existe un contacto completo entre el acero y el concreto existente. Se deberán cumplir los requisitos del inciso 4.3.3.3 de esta Guía.
- Carga axial. Se supondrá que la carga axial es resistida por la columna existente y que la camisa nueva de acero no resiste carga axial, a menos que se estime que las cargas gravitacionales aumenten significativamente durante la operación del edificio rehabilitado.
- Factor de rigidez efectiva para análisis lineal. Se usará un factor de rigidez efectiva para la sección encamisada según el inciso 3.2.1 de las NTC-Concreto. Si el elemento original tiene daño moderado o severo, según las N-Rehabilitación, se debe ignorar la aportación de la rigidez del elemento original. Si el elemento fue inyectado con resina epóxica de acuerdo con la sección 6.2, se podrá suponer el menor valor de la rigidez recuperada señalado en la tabla 6.2.1.

6.5.5 Requisitos de diseño

6.5.5.1 Materiales

- Para asegurar el contacto de los encamisados metálicos, ya sea en forma de placas (sección rectangular o circular) o con ángulos y soleras, se usará mortero fluido sin contracción que tenga una resistencia a compresión mínima de 30 MPa (300 kg/cm²) o igual a la del concreto original, la que sea mayor.
- Los espesores mínimos y máximos de las placas de acero serán de 6.4 y 12.7 mm (1/4 y 1/2 pulg), respectivamente.
- Los espesores mínimo y máximo de los ángulos de acero serán de 6.4 y 19.1 mm (1/4 y 3/4 pulg), respectivamente.

6.5.5.2 Vigas

6.5.5.2.1 Requisitos geométricos

- a) El área de la sección transversal de acero del encamisado (placas o ángulos) se calculará según el inciso 5.1.4 de las NTC-Concreto, y no debe ser menor que 0.01 del área de la sección de concreto;
- b) Si se usan encamisados a base de armaduras de ángulos y soleras:
 - i. Las dimensiones de las alas de los ángulos deberán estar en un intervalo entre $1/5$ y $1/4$ parte de la dimensión transversal de la viga (b, h) y con un espesor t_a máximo de 19 mm (3/4 pulg) (figura 6.5.6);
 - ii. Las soleras sólo se colocarán en forma paralela al eje transversal de la sección;
 - iii. Las soleras tendrán un peralte, h_{sol} , tal que la relación h_{sol}/h_a y h_{sol}/b_a se encuentren entre $3/4$ y 1, donde h_a y b_a son la altura y el ancho de la sección transversal del ángulo, respectivamente (figura 6.5.6).
 - iv. La separación centro a centro entre soleras, s , se definirá en función del peralte de la solera, tal que la relación h_{sol}/s se encuentre entre $1/5$ y $1/3$. Además, s , no deberá ser mayor que 0.5 veces el peralte efectivo ($s \leq d/2$) (figura 6.5.7);
 - v. El espesor, t_s , máximo de las soleras será de 12.7 mm (1/2 pulg). El espesor de la solera será 3.18 mm (1/8 pulg) menor que el espesor del ángulo t_a ;
 - vi. La longitud l_s de la solera será igual al espacio libre entre los ángulos más la longitud del ala del ángulo. Por lo tanto, el cordón de soldadura en los extremos será igual al peralte de la solera más la longitud del ala (figura 6.5.7).

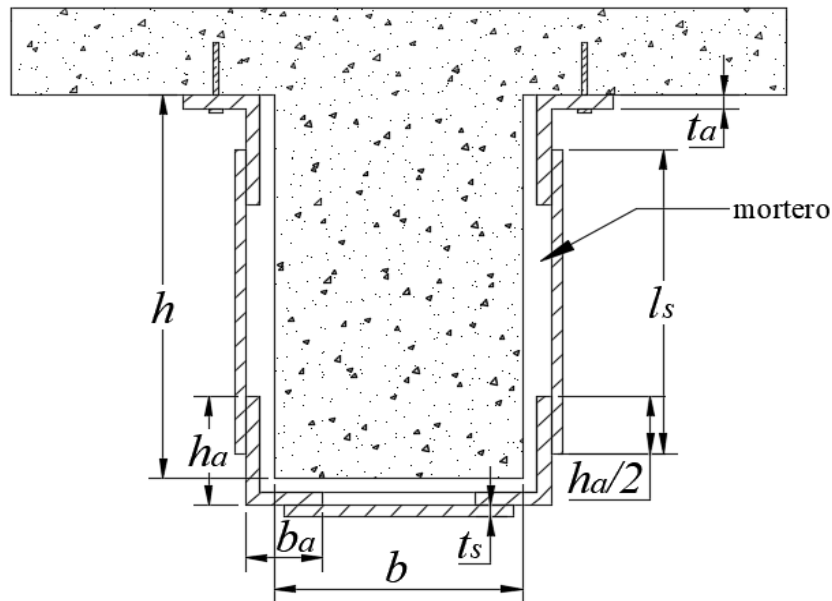


Figura 6.5.6 Sección transversal de viga encamisada con ángulos y soleras

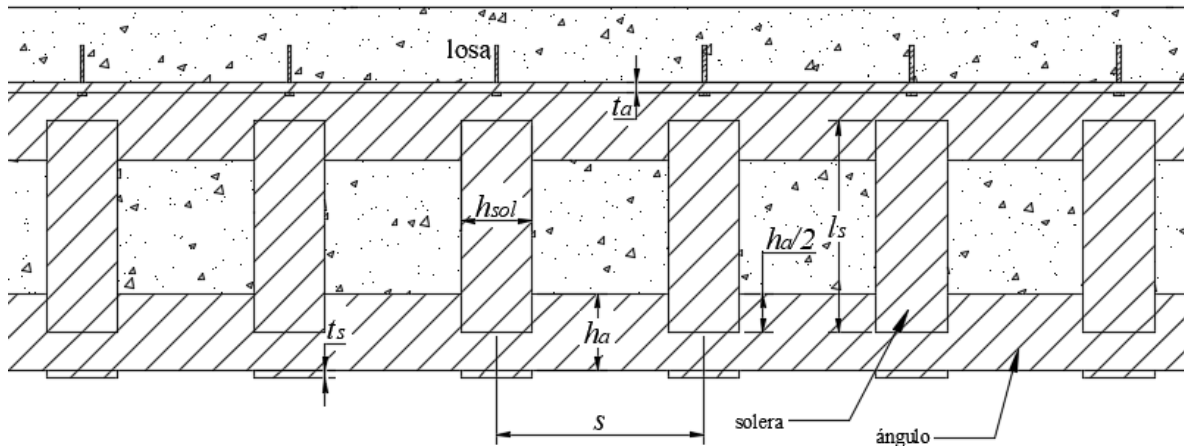


Figura 6.5.7 Sección longitudinal de viga encamisada con ángulos y soleras

6.5.5.2.2 Resistencia a fuerza cortante

- La resistencia a fuerza cortante de la viga encamisada será igual a la suma de las contribuciones a fuerza cortante del elemento existente y la del encamisado metálico. La contribución de la viga existente será nula si el daño es moderado o severo, según las N-Rehabilitación. Si el elemento fue inyectado con resina epóxica de acuerdo con la sección 6.2, se podrá suponer el menor valor de la resistencia recuperada señalada en la tabla 6.2.1.
- Se empleará la sección 5.3 de las NTC-Concreto para calcular la resistencia a la fuerza cortante.
- La separación centro a centro entre soleras no deberá exceder $0.5 d$, donde d es el peralte efectivo de la viga por encamisar.

6.5.5.2.3 Encamisado local para incrementar el confinamiento

- Si se coloca un encamisado local para incrementar el confinamiento en una zona con traslape de refuerzo escaso y/o donde se esperan deformaciones inelásticas, el encamisado se fabricará con placas de acero.
- Las placas de acero cubrirán:
 - $1.5 l_b$, cuando el traslape es insuficiente, o
 - $0.25 l_v$, para incrementar la capacidad de deformación inelástica de la zona encamisada.

donde l_b es la longitud disponible de traslape y l_v es el claro de cortante e igual a la distancia entre la sección de momento máximo y el punto de inflexión en el diagrama de momentos.

- Se deberá revisar la resistencia de la columna existente que quede fuera del encamisado, suponiendo valores de límite inferior de las resistencias de los materiales.

6.5.5.3 Columnas

6.5.5.3.1 Requisitos geométricos

- a) La relación de aspecto de la sección transversal no exceda de 3;
- b) El área de la sección transversal del acero del encamisado (placas o armaduras de ángulos y soleras) se calculará de acuerdo con el inciso 5.1.4 de las NTC-Concreto. El área transversal del encamisado no debe ser menor que 0.01 del área de la sección de concreto;
- c) Si se usan encamisados a base de armaduras de ángulos y soleras:
 - i. Se colocarán ángulos con dimensiones de sus alas en un intervalo entre $1/5$ y $1/4$ de la dimensión transversal y con un espesor, t_a , máximo de 19.1 mm (3/4 pulg) (figura 6.5.8);
 - ii. Las soleras sólo se colocarán en forma paralela al eje transversal de la sección;
 - iii. Las soleras tendrán un peralte, h_{sol} , tal que la relación h_{sol}/h_a y h_{sol}/b_a se encuentren entre $3/4$ y 1, donde h_a y b_a son la altura y el ancho de la sección transversal del ángulo, respectivamente (figura 6.5.8).
 - iv. La separación entre soleras, s , se definirá en función del peralte de la solera, tal que la relación h_{sol}/s se encuentre entre $1/5$ y $1/3$. Además, s no deberá ser mayor que 0.5 veces la dimensión transversal h ($s \leq h/2$) (figura 6.5.9);
 - v. El espesor, t_s , máximo de las soleras será de 12.7 mm (1/2 pulg). El espesor de la solera será 3.18 mm (1/8 pulg) menor que el espesor del ángulo t_a ;
 - vi. La longitud, l_s , de la solera será igual al espacio libre entre los ángulos más la longitud del ala del ángulo. Por lo tanto, el cordón de soldadura en los extremos será igual al peralte de la solera más la longitud del ala (figura 6.5.9).
- d) En los extremos superior e inferior de la columna, las placas tendrán un peralte de entre 200 mm y 300 mm. Estas placas se anclarán al concreto por medio de dos conectores de al menos 15.9 mm (5/8 pulg) de diámetro (figura 6.5.10). Estos conectores se anclarán dentro del núcleo de la columna, dentro del tercio medio de cada lado de la columna.

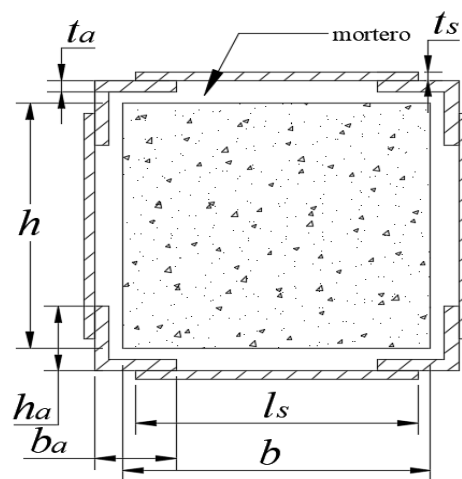


Figura 6.5.8 Sección transversal de columna encamisada con ángulos y soleras

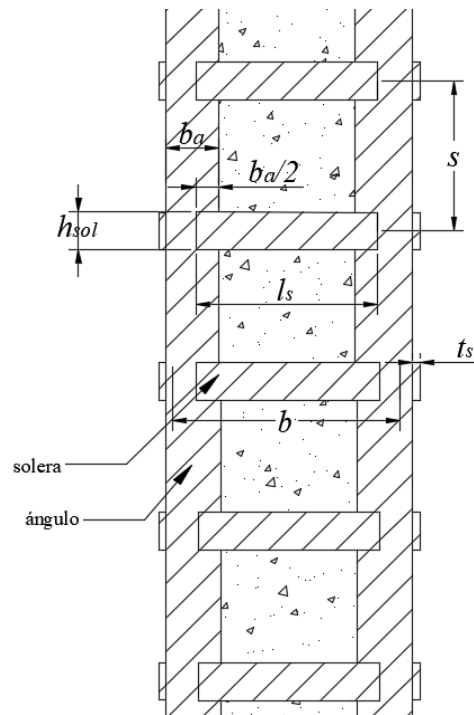


Figura 6.5.9 Columna encamisada con ángulos y solera



Figura 6.5.10 Encamisado de columna con placa con conectores en el extremo



6.5.5.3.2 Resistencia a flexión

- a) No se considerará incremento a la flexión del marco en columnas encamisadas con acero;
- b) Si la camisa de acero se coloca para mejorar la resistencia de un traslape de barras insuficiente, se podrá considerar el traslape con resistencia equivalente al calculado en la sección 6.6 de las NTC-Concreto, siempre que:
 - i. La camisa rodee la columna en sus cuatro lados;
 - ii. La camisa se extienda más allá de la zona del traslape, al menos, una distancia igual a la máxima dimensión transversal de la columna;
 - iii. La camisa esté sujeta al concreto existente con conectores. Al menos se colocarán dos hileras verticales de dos conectores por lado. Los conectores se diseñarán para resistir una cortante rasante igual a la fuerza a tensión que debe resistir el traslape.

6.5.5.3.3 Resistencia a fuerza cortante

- a) Se aceptará que la resistencia a fuerza cortante de un encamisado de acero sea igual a la suma de las contribuciones del elemento original más la del encamisado de acero. Se despreciará la contribución de la columna existente cuando se cumpla cualquiera de (i) o (ii):
 - i. Tenga daño moderado o severo, según las N-Rehabilitación;
 - ii. Si la estructura fue diseñada con un reglamento anterior a la versión de 1987.
- b) Se revisará que no se exceda el límite de fuerza cortante que pueda resistir el elemento de concreto existente.
- c) La separación centro a centro entre soleras no deberá exceder $0.5h$, donde h es la dimensión transversal de la columna en la dirección de análisis.

6.5.5.3.4 Confinamiento

Si se encamisa la columna por medio de placas continuas para incrementar su confinamiento y, con ello, su capacidad de deformación lateral y de carga axial, se usarán las ecuaciones 6.5.1 y 6.5.2 para calcular la cuantía de refuerzo por confinamiento:

- a) En caso de encamisado con placas continuas

$$p_c = \frac{2t_p}{b_2} \quad (6.5.1)$$

- b) En caso de encamisado con ángulos y soleras

$$p_c = \frac{2th_{sol}}{b_2s} \quad (6.5.2)$$



donde:

- p_c cuantía de refuerzo de confinamiento considerada equivalente a los estribos; su límite superior es de 0.012;
- t_p espesor de la placa del encamisado de acero, mm;
- b_2 dimensión transversal de la sección de la columna perpendicular a la dirección de análisis, mm;
- h_{sol} ancho de la solera, mm;
- s separación de soleras, mm.

6.5.5.3.5 Encamisado local para incrementar el confinamiento

- a) Si se coloca un encamisado local para incrementar el confinamiento en una zona con traslape de refuerzo escaso y/o donde se esperan deformaciones inelásticas, el encamisado se fabricará con placas de acero.
- b) Las placas de acero cubrirán:
 - a. $1.5 l_b$, cuando el traslape es insuficiente;
 - b. $0.25 l_v$, para incrementar la capacidad de deformación inelástica de la zona encamisada y si la carga axial en la columna es menor o igual a $0.3 f_c' A_g$, o
 - c. $0.375 l_v$, para incrementar la capacidad de deformación inelástica de la zona encamisada y si la carga axial en la columna es mayor que $0.3 f_c' A_g$

donde l_b es la longitud disponible de traslape y l_v es el claro de cortante e igual a la distancia entre la sección de momento máximo y el punto de inflexión en el diagrama de momentos.

- c) Se deberá revisar la resistencia de la columna existente que quede fuera del encamisado, suponiendo valores de límite inferior de las resistencias de los materiales.

6.5.6 Requisitos de construcción

6.5.6.1 Encamisado con placas

- a) Se escarificará la superficie de concreto del elemento por encamisar hasta obtener una rugosidad de al menos 6.4 mm (1/4 pulg) entre valle y cresta. La cara escarificada deberá estar libre de cualquier sustancia que impida el correcto funcionamiento de la sustancia adhesiva;
- b) Si se usan conectores adhesivos con resina epóxica en vigas y columnas, su profundidad será la que se calcule de acuerdo con la sección 6.3 de esta Guía. La profundidad mínima será la mayor de 90 mm o un tercio de la menor dimensión transversal del elemento. En losas la profundidad será de medio peralte;
- c) Si se usan conectores, su distribución será al tresbolillo con una separación máxima de 200 mm en forma paralela al eje longitudinal y se localizarán dentro del tercio medio de la dimensión transversal (b o h) del elemento (figura 6.5.11);
- d) En todo encamisado, el espacio entre el concreto y la placa será de al menos 25 mm (1/pulg) y deberá ser relleno con mortero fluido sin contracción con resistencia a compresión al menos igual a la del elemento por encamisar o de 30 MPa (300 kg/cm²), la que resulte mayor.



Figura 6.5.11 Distribución de conectores en encamisado de placas de acero

6.5.6.2 Ángulos y soleras

- a) Se escarificará la superficie de concreto del elemento por encamisar correspondiente con el área de contacto de los ángulos y soleras hasta obtener una rugosidad de al menos 6.4 mm (1/4 pulg) entre valle y cresta. La cara escarificada deberá estar libre de cualquier sustancia que impida la correcta adhesión del mortero al concreto original;
- b) Durante la colocación de los ángulos, se utilizará un anillo de acero o equivalente, con objeto de mantener en posición a los ángulos durante el soldado de las soleras. Los ángulos deberán estar separados, al menos, 12.7 mm (1/2 pulg) del concreto;
- c) El espacio entre el concreto y la solera deberá rellenarse con mortero fluido sin contracción con una resistencia a compresión mínima de 30 MPa (300 kg/cm²) (figuras 6.5.12 y 6.5.13).



Figura 6.5.12 Espacio vacío entre las soleras y el concreto



Figura 6.5.13 Mortero correctamente aplicado entre las soleras y el concreto



6.5.7 Requisitos de supervisión y aseguramiento de la calidad

- a) Se debe revisar que toda la superficie de concreto se escarifique hasta alcanzar una rugosidad como la especificada en los planos de construcción;
- b) El diámetro y la profundidad del agujero para alojar anclas o conectores sean las especificadas en el proyecto ejecutivo, con las tolerancias establecidas por los fabricantes.
- c) Se limpie el agujero de polvo y residuos de la perforación para la correcta adhesión de la resina con el concreto existente.
- d) Cuando corresponda, rellenar el espacio anular entre el agujero de las placas y el conector con resina epóxica.
- e) Se cumpla con lo establecido en el Capítulo 13 de las NTC-Acero. Especialmente se debe garantizar que las soldaduras de penetración completa cumplan con los espesores y longitud de cordón requerido.
- f) En caso de colocar concreto o mortero fluido sin contracción, la cimbra permita la salida de aire y facilite la colocación del material.

6.6 Encamisados de vigas, columnas, nudos y muros con compuestos de polímeros reforzados con fibras (CPRF)

6.6.1 Deficiencia por corregir

El diseño de la rehabilitación dependerá del modo de falla de la estructura que se identifique como resultado de su evaluación ante sismos.

El encamisado de vigas, columnas, nudos y muros con CPRF se emplea para:

- a) Restaurar la capacidad original de un elemento estructural deteriorado;
- b) Incrementar la capacidad de carga de elementos;
- c) Incrementar la ductilidad y la capacidad a fuerza cortante de columnas y muros;
- d) Incrementar la ductilidad y la capacidad a flexión y fuerza cortante de vigas.

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

Las demandas de resistencia, rigidez y capacidad de deformación inelástica para diseño serán las establecidas en las NTC-Sismo.

6.6.3 Descripción de la técnica

Este tipo de encamisado consiste en el recubrimiento del elemento estructural con capas de fibras que se adhieren por medio de resina epóxica. Dichas fibras trabajan de forma unidireccional, razón por la cual, su orientación depende de la característica estructural (resistencia, confinamiento) que se busca mejorar.



El encamisado del elemento estructural puede ser total o parcial, dependiendo si se cubren todas las caras del elemento estructural. Su alcance depende de la característica estructural que se quiera mejorar y el área en donde lo requiere. Es común encontrar este encamisado cubriendo de forma total a las columnas. En el caso de vigas, es usual que sólo se encamise el alma o el lecho inferior.

Su aplicación es sencilla y se lleva a cabo rápidamente. Debido a la ligereza del material y al bajo volumen empleado, los encamisados no cambian significativamente el peso de la estructura ni reducen la superficie útil de la planta.

Esta técnica resulta ser muy efectiva para incrementar la ductilidad (capacidad de deformación inelástica) y la resistencia a fuerza cortante que se pueden generar durante un sismo. En contraste, con la aplicación de este método no se logra un incremento en la capacidad global a flexión debido a la imposibilidad de dar continuidad al encamisado a través de las losas. Tampoco se incrementa la rigidez de los elementos en los que se aplica en una magnitud significativa.

Dentro del mercado existen distintos materiales que pueden ser usados con el fin de rehabilitar la estructura por medio de esta técnica, las cuales pueden ser fibras de carbono, vidrio o aramida. Las fibras de carbono son las más comunes.

Las fibras pueden ser precuradas (o preimpregnadas) o no. Antes de colocar las fibras, es usual que el concreto del sustrato se repare localmente para lograr una superficie tersa y uniforme para promover una adecuada adhesión con la resina empleada para pegar las fibras.

6.6.4 Requisitos de análisis

- a) Factor de comportamiento sísmico. Se deberá cumplir con el inciso 4.3.3.8 de esta Guía;
- b) Comportamiento monolítico. Para fines de análisis, se deberá suponer un comportamiento de sección compuesta de la estructura existente con el encamisado de CPRF. Ello implica que existe un contacto completo entre el CPRF y el concreto existente;
- c) Carga axial. Se supondrá que la carga axial en columnas es resistida solamente por el elemento original, ya que el CPRF no trabaja a compresión. Se podrá incrementar la capacidad axial de los elementos existentes si se diseña en CPRF para aumentar su confinamiento;
- a) Factor de rigidez efectiva para análisis lineal. Se usará un factor de rigidez efectiva para la sección encamisada según el inciso 3.2.1 de las NTC-Concreto. Se debe ignorar la aportación de la rigidez del encamisado de CPRF. Si el elemento fue inyectado con resina epóxica de acuerdo con la sección 6.2, se podrá suponer el menor valor de la resistencia recuperada señalada en la tabla 6.2.1.

6.6.5 Requisitos de diseño

6.6.5.1 Requisitos geométricos

- a) En el caso de elementos con sección transversal rectangular, se redondearán las esquinas con un radio al menos igual a 12.7 mm (1/2 pulg), pero no menor que el valor recomendado por el fabricante de las fibras.



- b) Si se requiere incrementar el confinamiento en elementos con sección transversal rectangular por medio de CPRF, se recomienda que la sección transversal tenga una relación lado largo a lado corto menor que 1.5, y que ninguna de sus dimensiones sea mayor que 900 de mm. En caso de presentar dimensiones mayores que 900 mm, se recomienda que la sección rectangular del elemento se convierta en una sección circular.

6.6.5.2 Resistencia a flexocompresión en columna

El diseño a flexocompresión de una columna deberá cumplir con ACI 440.2R-17.

6.6.5.3 Resistencia a flexión en vigas

El diseño a flexión vigas deberá satisfacer los requisitos de ACI 440.2R-17.

6.6.5.4 Refuerzo transversal para confinamiento

La cuantía de fibras para proveer confinamiento se calculará de conformidad con el Capítulo 13 de ACI 440.2R-17

- a) Para calcular el espesor del encamisado, se usarán las ecuaciones 6.6.1 y 6.6.2 (correspondientes a las ecuaciones 13.3.3a de ACI 440.2R):

$$nt_f = 1\,000 \frac{D}{E_f} \quad \text{Sección circular} \quad (6.6.1)$$

$$nt_f = 1\,500 \frac{D}{E_f} \quad \text{Sección rectangular} \quad (6.6.2)$$

donde:

- D diámetro de la sección o la dimensión mayor, mm.
 E_f módulo de elasticidad del CPRF, MPa.
 n número de capas de CPRF.
 t_f espesor de la capa de CPRF, mm.

- b) Para secciones circulares, la cuantía de CPRF se calculará con la ecuación 6.6.3 (a partir de las ecuaciones 13.3.4a, b y c de ACI 440.2R)

$$\rho_f = \frac{4nt_f w_f}{D s_f} \quad (6.6.3)$$

Para secciones rectangulares:

$$\rho_f = 2nt_f \left(\frac{b+h}{bh} \right) \frac{w_f}{s_f} \quad (6.6.4)$$



donde:

- D diámetro de la sección circular o la diagonal de la sección rectangular, mm.
- b y h dimensiones de la sección rectangular, mm.
- w_f ancho de la banda de CPRF, mm.
- s_f separación entre los ejes de las bandas de CPRF, mm.

En cualquier caso, se debe cumplir que:

$$\rho_f \geq \frac{0.0052\rho_l D}{d_{bl}} \frac{f_y}{f_{fe}} \quad (6.6.5)$$

donde:

- D diámetro o diagonal de la sección, mm.
- ρ_l cuantía de acero de refuerzo longitudinal.
- d_{bl} diámetro del acero de refuerzo longitudinal, mm.
- f_y esfuerzo de fluencia del acero de refuerzo, MPa.
- f_{fe} tensión efectiva del CPRF, MPa.

$$f_{fe} = \varepsilon_{fe} E_f \quad (6.6.6)$$

donde:

- E_f módulo de elasticidad del CPRF, MPa.
- ε_{fe} deformación unitaria efectiva.

$$\varepsilon_{fe} = 0.004 \leq k_\varepsilon \varepsilon_{fu} \quad (6.6.7)$$

donde:

- k_ε 0.58
- ε_{fu} deformación unitaria última del CPRF.

- c) En los casos donde el encamisado no es continuo, la separación libre entre las bandas de CPRF no deberá ser mayor que 150 mm ni que la calculada con la ecuación 6.6.8 (figura 6.6.1):

$$s_f \leq \left[3 - 6 \left(\frac{f_u}{f_y} - 1 \right) \right] d_{bl} \leq 6d_{bl} \quad (6.6.8)$$

donde:

- f_u esfuerzo último del acero de refuerzo longitudinal, N/mm².

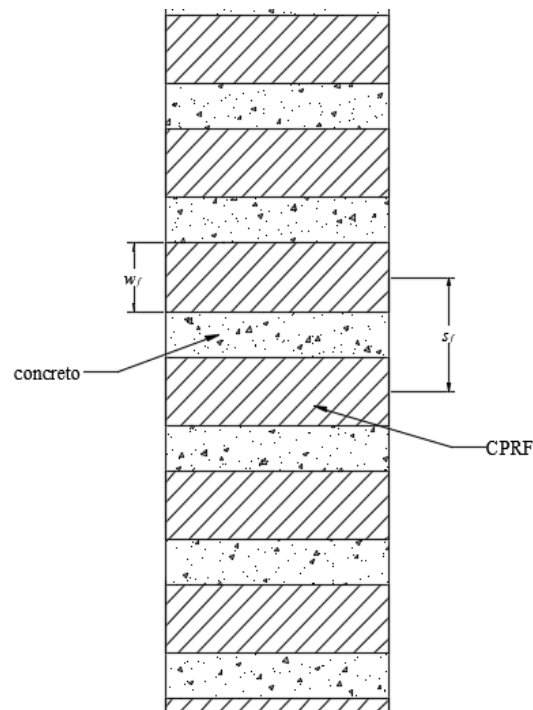


Figura 6.6.1 Colocación de CPRF

6.6.5.5 Requisitos para fuerza cortante

El diseño del encamisado para resistir la fuerza cortante se hará de acuerdo con el Capítulo 11 de ACI 440.2R-17.

La resistencia a fuerza cortante de un elemento encamisado con CPRF será igual a la suma de las contribuciones del concreto y del refuerzo transversal del elemento existente, y la de la camisa de CPRF. Si la estructura fue diseñada con un reglamento anterior a la versión de 1987, se despreciará la contribución del elemento existente a la resistencia a la fuerza cortante.

La contribución del CPRF será igual a $\Psi_f V_f$. El factor Ψ_f se considerará igual a 0.95 en el caso de un encamisado completo; en el caso de encamisados parciales (en los cuales se cubren tres o dos caras - opuestas- del elemento), el factor Ψ_f se considerará igual a 0.85 (figura 6.6.2).

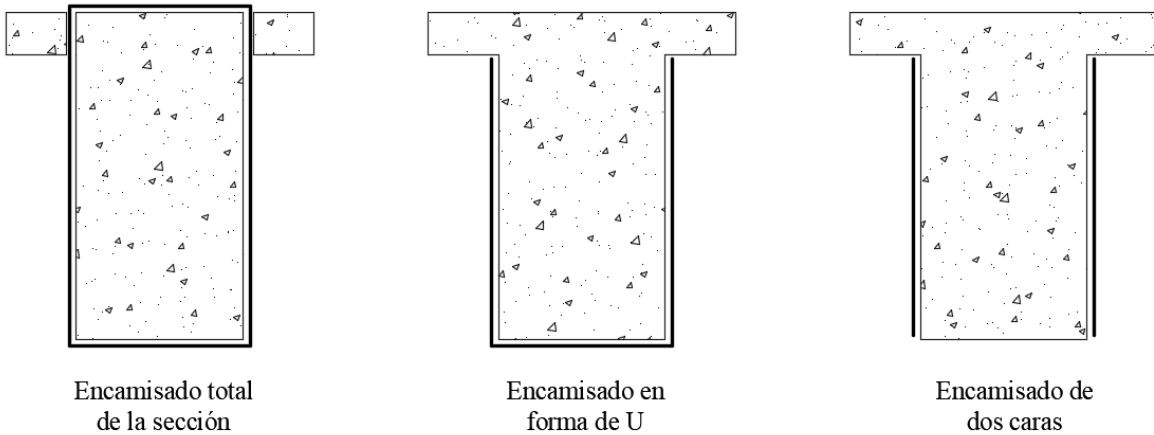


Figura 6.6.2 Encamisado total y encamisados parciales (ACI 440.2R)

La contribución a la resistencia a fuerza cortante del CPRF se calcula a partir de la ecuación 6.6.9:

$$V_f = \frac{A_{fv} f_{fe} (\sin \alpha + \cos \alpha) d_{fv}}{s_f} \tag{6.6.9}$$

Para secciones rectangulares, A_{fv} se calcula como:

$$A_{fv} = 2nt_f w_f \tag{6.6.10}$$

Para secciones circulares, se calcula de la siguiente forma:

$$A_{fv} = \frac{\pi}{2} n t_f w_f \tag{6.6.11}$$

Las dimensiones mencionadas en las expresiones anteriores se definen en la figura 6.6.3.

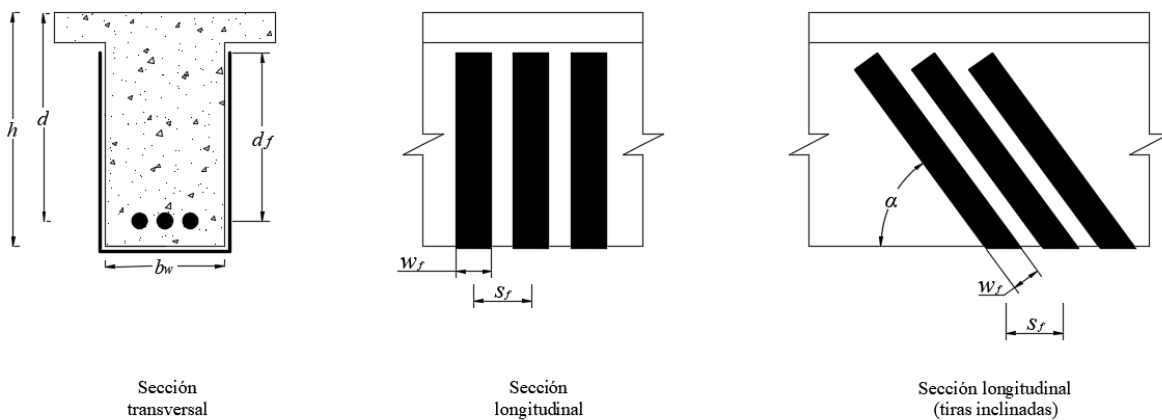


Figura 6.6.3 Dimensiones de encamisados (ACI 440.2R)



6.6.5.5.1 Límite del refuerzo cortante

El límite de la suma de las contribuciones a la resistencia a fuerza cortante aportada por el acero de refuerzo existente y el CPRF es el especificado en las ecuaciones 6.6.12 y 6.6.13 para elementos con sección rectangular o circular, respectivamente:

$$V_s + V_f \leq 0.66 \sqrt{f'_c} bh$$

$$\left(V_s + V_f \leq 2.20 \sqrt{f'_c} bh \right) \quad \text{Sección rectangular} \quad (6.6.12)$$

$$V_s + V_f \leq 0.66 \sqrt{f'_c} 0.8D^2$$

$$\left(V_s + V_f \leq 2.20 \sqrt{f'_c} 0.8D^2 \right) \quad \text{Sección circular} \quad (6.6.13)$$

donde:

V_s Resistencia a fuerza cortante del acero de refuerzo, N (kg).

6.6.5.6 Conectores de CPRF

Se aceptará el uso de conectores hechos de CPRF para anclar encamisados parciales. Para su diseño se seguirá el procedimiento señalado en Del Rey et al. (2017).

6.6.6 Requisitos de construcción

- Se deben cumplir con los requisitos establecidos en el Capítulo 6 del 440.2R-17;
- Antes de encamisar un elemento con CPRF, se debe reparar localmente, especialmente si exhibe deterioro por corrosión;
- Se deberán usar productos certificados por un organismo nacional de certificación;
- Cuando la aplicación dependa de la adherencia de las fibras al concreto existente (como en el caso de encamisados para incrementar la resistencia a la flexión), se debe preparar la superficie de concreto para garantizar la adherencia del CPRF. Se deberán seguir las instrucciones de los fabricantes de CPRF;
- Cuando la aplicación dependa del contacto entre las fibras y el concreto existente (como en el caso de encamisados para incrementar el confinamiento de una zona), la superficie debe estar seca y limpia, libre de cualquier sustancia o defecto que pueda afectar el contacto entre el concreto existente y el CPRF. Se debe limpiar con un cepillo con cerdas rígidas;
- No se aplicarán encamisados de CPRF en elementos que presenten corrosión en el acero de refuerzo, a menos que se reparen, previamente, como se establece en el inciso 7.4.2 de esta Guía;
- La colocación de las fibras y resina, así como el curado de la resina se harán siguiendo las indicaciones del fabricante;
- Se recomienda proteger el encamisado con cubiertas de plástico hasta que la resina termine su proceso de curado.



6.6.7 Requisitos de supervisión y aseguramiento de la calidad

Para llevar a cabo una correcta supervisión que garantice la calidad del proceso, se recomienda consultar el Capítulo 7 de ACI 440.2R-17. Al menos, se observarán los aspectos siguientes:

- a) Fecha y tiempo de instalación;
- b) Temperatura ambiente, humedad relativa, y observaciones generales del estado del clima;
- c) Temperatura de la superficie del concreto;
- d) Humedad de la superficie del concreto;
- e) Método de pretratamiento de la superficie;
- f) Descripción cualitativa de la limpieza de la superficie;
- g) Tipo de fuente auxiliar de calor, en casos aplicables;
- h) Tamaño de grietas no inyectadas con epóxicos;
- i) Número de fibras o número de lotes de láminas precuradas y ubicación aproximada en la estructura;
- j) Número de lotes, relaciones de mezcla, tiempo de mezclado y descripción cualitativa de la apariencia de todas las mezclas de resina, incluyendo los *primers*, saturantes, resinas de regulación, adhesivos y mezclas de revestimiento;
- k) Observaciones del progreso del curado de las resinas;
- l) Conformidad con los procesos de instalación;
- m) Resultado de pruebas de extracción: adherencia, modo de falla y localización;
- n) Propiedades de los CPRF obtenidas mediante pruebas de paneles de muestra de campo o de paneles testigos, si son requeridos;
- o) Ubicación y tamaño de cualquier delaminación y/o burbujas de aire;
- p) Progreso general del trabajo;

El supervisor debe proporcionar al constructor, al proyectista, al Corresponsable y al Director los resultados de las pruebas en paneles. Éstos deben ser conservados por lo menos 10 años o el periodo especificado por el Corresponsable. El contratista de la instalación debe conservar muestras de las mezclas de resinas y el registro de la ubicación de cada lote.

6.7 Encamisado de muros de mampostería

6.7.1 Deficiencia por corregir

El diseño de la rehabilitación dependerá del modo de falla de la estructura existente, como resultado de la evaluación estructural ante sismo.

Los edificios que pueden ser rehabilitados para mejorar su desempeño sísmico mediante encamisado de muros de mampostería son:

- a) Edificios de marcos resistentes a momento, de concreto o de acero, con muros diafragma, con o sin daño, cuya falla puede afectar el desempeño sísmico de todo el edificio;
- b) Edificios a base de muros de carga de mampostería, con o sin daño.

La técnica de encamisar muros de mampostería tiene como objetivo mejorar el comportamiento de los muros ante cargas sísmicas a través de:



- Incrementar la resistencia a fuerza cortante;
- Aumentar la capacidad de deformación inelástica;
- Aumentar la rigidez;
- Incrementar la capacidad a flexo-compresión del muro cuando se añaden castillos en los extremos para anclar la malla.

Esta técnica puede ser utilizada en muros con cualquier grado de daño, como reparación, o en muros sin daño previo, como reforzamiento.

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

Las demandas de resistencia, rigidez y capacidad de deformación inelástica para diseño serán las establecidas en las NTC-Sismo.

6.7.3 Descripción de la técnica

Consiste en el aumento de la sección transversal de un muro estructural de mampostería mediante la colocación de mallas de alambre soldadas, capas de CPRF¹ o barras corrugadas de acero cubiertas con varios centímetros de mortero de cemento o de concreto, colocados a mano o mediante lanzado. También se puede realizar encamisar los muros con ferrocemento o con concreto reforzado con fibras de acero. El encamisado puede ser total, si rodea a todo el muro, o parcial. Es usual que el encamisado se aplique solamente en una cara del muro, como en aquellos de colindancia en los cuales no se tenga acceso por el exterior.

6.7.4 Requisitos de análisis

- a) Factor de comportamiento sísmico. Se cumplirá con el inciso 4.3.3.8 de esta Guía. Se analizará la estructura suponiendo un factor de comportamiento sísmico consistente con el tipo de pieza del muro, ya sea sólida o hueca, según la definición de las NTC-Mampostería. Para el primer caso, se usará $Q=2$; para el segundo, $Q=1.5$;
- b) Comportamiento monolítico. Para fines de análisis, se supondrá comportamiento monolítico entre la mampostería existente y el encamisado. Esto implica que el encamisado, y más específicamente, la malla se conecte al muro de conformidad con las NTC- Mampostería;
- c) Carga axial. Si el muro es de carga, se supondrá que el muro existente resiste la carga axial. Si se requiere, se deberá reforzar el muro por medio de inserción de castillos o adosando un muro al existente para resistir un incremento de la carga axial. Si el muro es diafragma o de relleno, se deberá considerar que no contribuye a resistir cargas verticales;
- d) Factor de rigidez efectiva para análisis lineal: Se usará un factor de rigidez efectiva para el muro encamisado igual a 0.5, el cual afectará el módulo de rigidez a cortante del muro. En el

¹ Por lo general, cuando se emplean encamisados con mallas o bandas, no se utiliza material de recubrimiento (mortero o concreto), salvo el indicado para proteger a las mallas o bandas de CPRF de los rayos ultravioletas.



cálculo de la rigidez lateral del muro, se aceptará incluir la aportación del mortero o concreto del encamisado;

- e) Continuidad: El encamisado de los muros de mampostería se debe extender a los muros transversales. Igualmente, el encamisado debe rodear las aberturas en el muro.

6.7.5 Requisitos de diseño

6.7.5.1 Materiales

- a) Si se emplean mallas de alambre soldado, éstas deberán cumplir con la NMX-B-290;
- b) Si el encamisado es a base de mortero de cemento, éste deberá ser de tipo I, con una resistencia mínima especificada a la compresión de 12.5 MPa (125 kg/cm²). Se aceptará el uso de fibras de vidrio para el repellado de mortero de acuerdo con la dosificación del fabricante;
- c) Si se emplea concreto para el encamisado, se usará concreto clase 1 con una resistencia mínima especificada a la compresión de 25 MPa (250 kg/cm²);
- d) Si se emplean clavos para conectar la malla de alambre soldado a la mampostería, éstos deberán tener una longitud mínima de 50 mm;
- e) Si se emplean conectores instalados a través de carga explosiva de potencia controlada, el tipo de carga (o de potencia) se determinará a partir de las recomendaciones del fabricante y mediante ensayos en sitio para verificar que la potencia sea la adecuada.

6.7.5.2 Requisitos geométricos

- a) El espesor mínimo del mortero del encamisado será de 15 mm;
- b) El espesor mínimo del concreto del encamisado será de 35 mm.

6.7.5.3 Resistencia al cortante de encamisados de malla de alambre recubierta con mortero

6.7.5.3.1 Tipo de refuerzo y cuantías de acero

Para el diseño del refuerzo en la malla de alambre soldada, así como del mortero a emplear en el encamisado, se debe contemplar lo siguiente:

- a) Las mallas que se utilizarán para el encamisado deberán tener en ambas direcciones, la misma área de refuerzo por unidad de longitud;
- b) El esfuerzo de fluencia para diseño no deberá ser mayor que 500 MPa (5 000 kg/cm²);
- c) Las mallas se anclarán y detallarán como se señala en los incisos 3.3.6.5 y 3.3.7.3 de las NTC-Mampostería. No se permite el uso de separadores o silletas entre la malla y el muro de mampostería;
- d) Las mallas deberán ser continuas a lo largo del muro. No se permitirá traslapar las mallas en ninguna sección vertical del muro;
- e) En caso de que se necesite traslapar los alambres verticales de la malla, el traslape entre los alambres transversales extremos no será menor que dos veces la separación entre alambres transversales más 50 mm, de acuerdo con el inciso 3.3.7.3 de las NTC-Mampostería;



- f) Las cuantías mínimas y máximas del refuerzo deberán cumplir las establecidas en el inciso 5.4.4.2 de las NTC-Mampostería.

6.7.5.3.2 Diseño de la malla de alambre soldado

El diseño de la malla para resistir fuerza cortante se hará de conformidad con el inciso 5.4.4.3 de las NTC-Mampostería.

Se aceptará usar el procedimiento optativo del inciso 5.4.5 para diseñar la malla.

Se considerará que la malla se colocará en contacto directo con la mampostería.

6.7.5.4 Resistencia al cortante de encamisados de concreto con barras corrugadas de acero

6.7.5.4.1 Tipo de refuerzo y cuantías de acero

- a) Se aceptará usar una capa de refuerzo horizontal y vertical de barras corrugadas de acero;
- b) El esfuerzo de fluencia para diseño será de 420 MPa (4 200 kg/cm²);
- c) El acero de refuerzo se conectará al muro de mampostería mediante anclas hechas a base de barras lisas o corrugadas instaladas con resina epóxica. También se podrán usar conectores instalados a través de carga explosiva de potencia controlada. Se aceptará usar barras de acero colocadas en barrenos que se rellenan con mortero epóxico. En el diseño de las anclas o conectores se usarán los requisitos de la sección 5.4 de esta Guía;
- d) Las cuantías mínimas y máximas serán las indicadas en los incisos 7.4.2.4.c y 7.4.2.4.d de las NTC-Concreto.

6.7.5.4.2 Diseño del acero de refuerzo corrugado del encamisado

- a) El acero de refuerzo del encamisado con concreto se diseñará según el inciso 7.4.2.4 de las NTC-Concreto;
- b) Puesto que la técnica de rehabilitación se usa para incrementar la resistencia a fuerza cortante y la capacidad de deformación lateral del muro, no será necesario anclar el refuerzo vertical del muro. Si se requiere aumentar la capacidad a flexocompresión del muro, se deberá seguir lo indicado en la sección 6.8 de esta Guía.

6.7.6 Requisitos de construcción

6.7.6.1 Preparación del muro y reparación de grietas

- a) Se debe tratar la superficie del muro antes de colocar el refuerzo y aplicar el mortero o el concreto para lograr un comportamiento monolítico de la mampostería con el encamisado. Se deben retirar los acabados y revestimientos del muro. Se deberá escarificar la superficie

- de mampostería mediante un martelinado suave, con el fin de lograr una rugosidad de 6.4 mm (1/4 pulg). Previamente a la colocación del refuerzo del encamisado, la superficie de la mampostería deberá estar limpia;
- b) Si los muros presentan daños, se deberán retirar los fragmentos y piezas sueltas de la superficie de la mampostería y se limpiará el polvo y las partículas en el interior de las grietas mediante un chorro de agua limpia;
 - c) Si el muro presenta agrietamiento moderado o severo, se deben reparar las grietas. Para la reparación de grietas se pueden emplear dos técnicas:
 - i. Inyección. En este caso, las grietas se rellenarán con resinas epóxicas, morteros epóxicos o morteros fluidos de cemento sin contracción (con consistencia de lechada). Esta técnica se aplicará para los casos de muros de piezas sólidas con bajo número de grietas, las cuales deben estar bien definidas. De acuerdo con las NTC-Mampostería no se permiten inyecciones por el método de vacío. Los fluidos que sean inyectados deberán de fluir correctamente a través de las grietas y vacíos, pero sin aumentar la segregación, sangrado y contracción plástica (figura 6.7.1).



Figura 6.7.1 Reparación de grietas mediante relleno con mortero (Flores et al.,2004).

- ii. Rajueleo. Esta clase de reparación de grietas, usualmente mayores que 5 mm, consistirá en la colocación de pedazos de piezas en las grietas. Las rajuelas deben acuñarse y pegarse con mortero tipo I; es necesario limpiar y humedecer las superficies que estarán en contacto con el mortero antes de colocarlo. Se sugiere utilizar fibra de vidrio o algún aditivo estabilizador de volumen en el mortero de pega, para controlar los cambios volumétricos y la contracción por fraguado que pueda sufrir (figura 6.7.2).



Figura 6.7.2 Reparación de grietas por rajuelo (Alcocer, 2019)

6.7.6.2 Colocación de refuerzo del encamisado

- a) Se podrá encamisar el muro por una o dos caras;
- b) Las mallas de alambres soldado deben ser fijadas a los castillos -extremos e intermedios- y a las dalas (en caso de que estos elementos existan o se inserten) mediante anclajes;
- c) Con la intención de distribuir el agrietamiento en forma uniforme y obtener un comportamiento estable y con amplia disipación de energía, se usará una densidad mínima de 9 anclajes/m². Las mallas de calibre pequeño (8 y 10) pueden fijarse con clavos de 50 mm de longitud, colocados manualmente con martillo;
- d) La separación máxima de conectores, en sentidos horizontal y vertical, será de 450 mm. Si se considera que las piezas son de mala calidad, la separación se puede reducir a 250 mm cuando se esté utilizando malla de calibre pequeño (8 o 10); cuando se utilice un mayor calibre (calibre 4 o diámetros de 6.4 mm) se recomienda utilizar clavos de 51 mm de longitud con arandela, instalados mediante cargas explosivas de potencia controlada (figura 6.7.3).

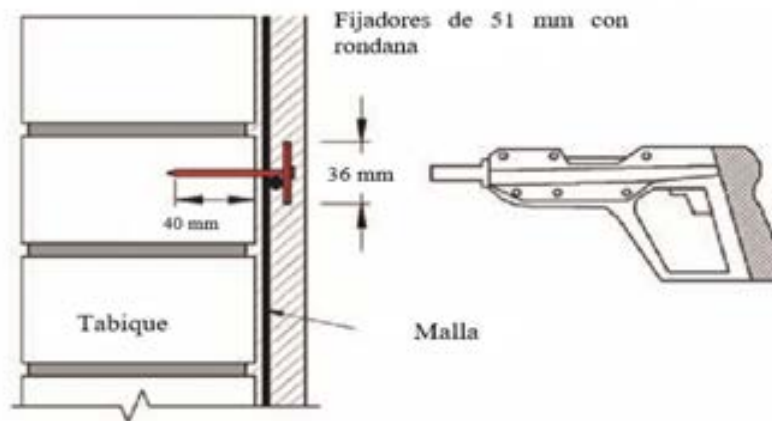


Figura 6.7.3 Anclaje de malla mediante conectores (Flores et al.,2004)

- e) La malla debe rodear ambos bordes verticales del muro (o castillos, en caso de que estos elementos existan), así como los bordes de las ventanas o aberturas que éste tenga;
- f) Si la malla sólo se coloca en una cara del muro, la malla deberá rodear los extremos del muro, así como extenderse al menos dos veces la separación entre alambres transversales y anclarse a la mampostería (figuras 6.7.4a y 6.7.4b);

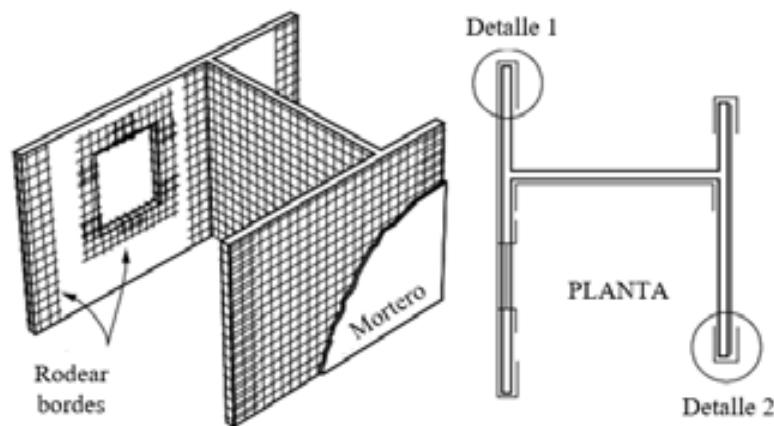


Figura 6.7.4a Disposiciones normativas para la colocación de malla de alambre en la superficie de los muros de mampostería (NTC-Mampostería, 2017)

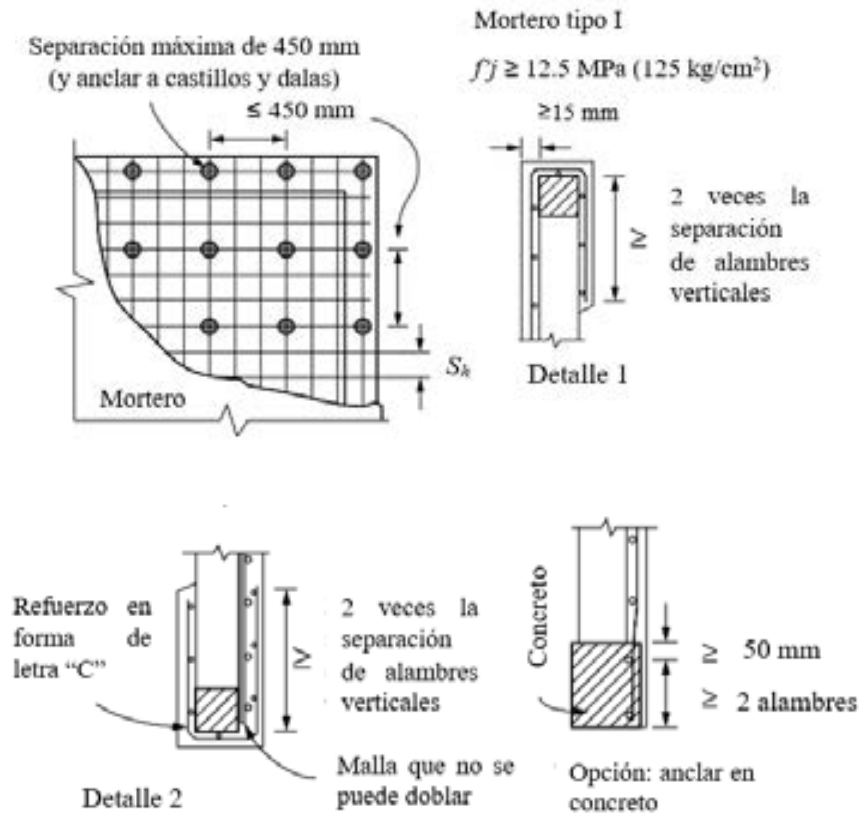


Figura 6.7.4b Disposiciones normativas para la colocación de malla de alambre en la superficie de los muros de mampostería (NTC-Mampostería, 2017)

- g) En caso de que la malla no pueda ser doblada y anclada alrededor de los bordes laterales del muro, de las aberturas o las ventanas, se deberá colocar un refuerzo en forma de letra "U" hecho con malla de calibre no inferior a 10 (3.43 mm de diámetro) que sea traslapado con la malla principal en una zona donde los esfuerzos en los alambres de la malla sean bajos. En el diseño de los traslapes, se satisfarán los requisitos del inciso 3.3.7.3 de las NTC-Mampostería. En este inciso se considera que la unión de los extremos de las hojas de malla no será menor que dos veces la separación entre alambres más 50 mm (figura 6.7.5);

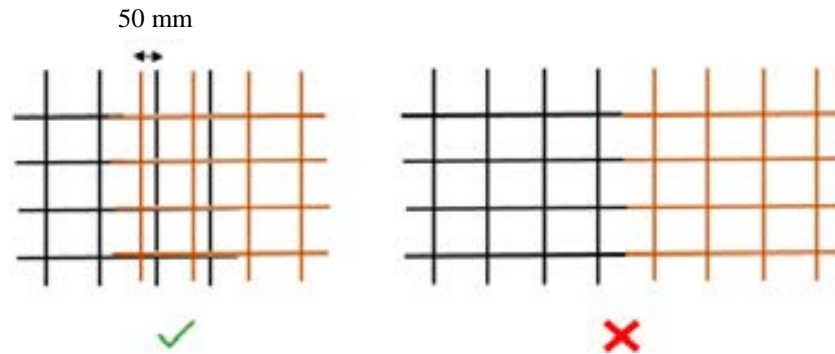


Figura 6.7.5 Esquema de traslapes de malla electrosoldada (Flores et al., 2004)

- h) Si se encamisa el muro por ambas caras, es recomendable la instalación de conectores, en forma de grapas o estribos de alambro que atraviesen el espesor del muro para poder fijar las mallas en ambos lados. Para esto, es necesario perforar el muro, colocar el elemento de acero y rellenar el espacio libre del agujero con mortero epóxico o hidráulico de alta resistencia (figura 6.7.6);

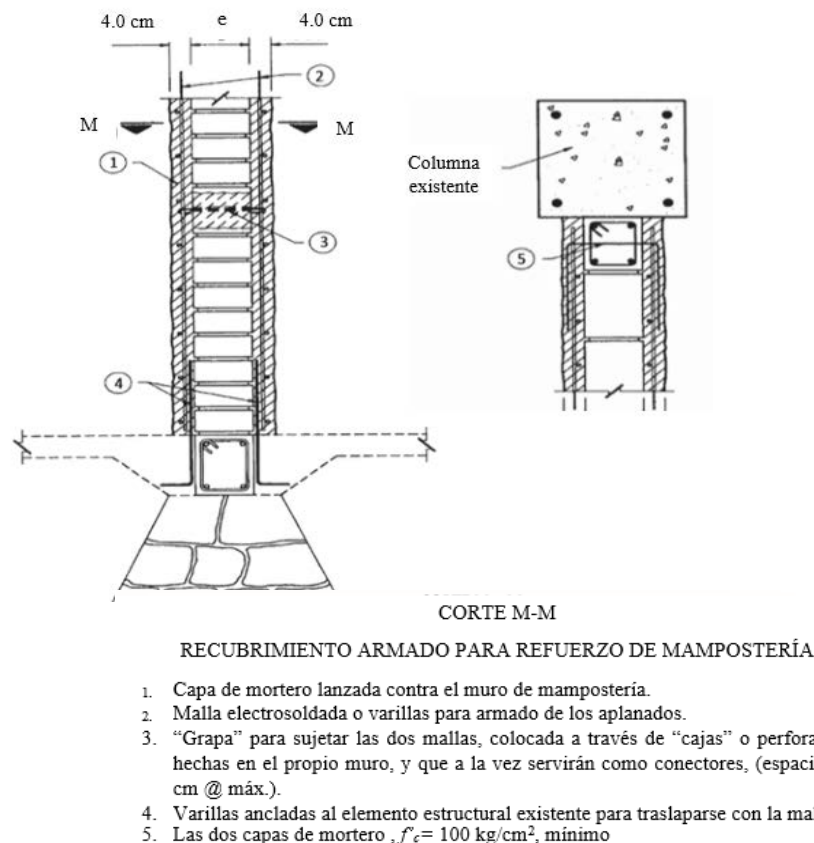


Figura 6.7.6 Detalle del anclaje mallas de alambre o de acero de refuerzo en dos caras del muro (De la Torre, 1995)

- i) El refuerzo del encamisado del muro se deberá continuar en los muros ortogonales (figura 6.7.7), al menos una distancia igual a cuatro veces la separación entre alambres verticales. Si no se puede doblar la malla, se deberá colocar un refuerzo en forma de letra “L” hecho con malla de calibre no inferior a 10 (3.43 mm de diámetro) que sea traslapado con la malla principal;

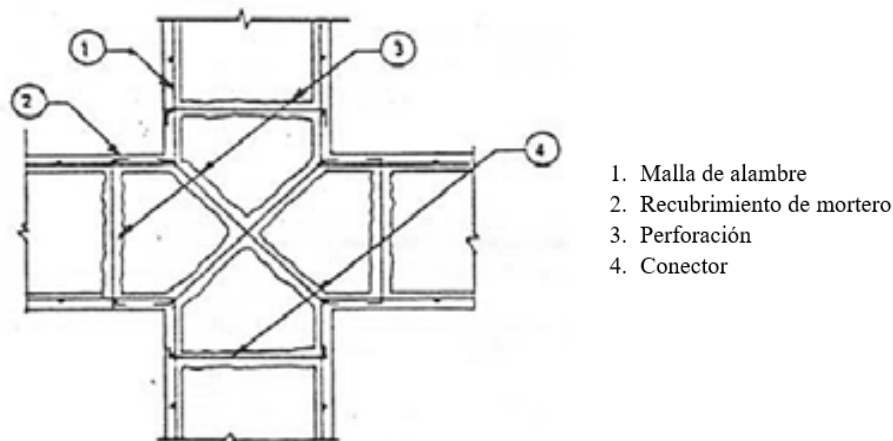


Figura 6.7.7 Detalle de la colocación de malla en muros ortogonales (Ruiz, 1995)

- j) Cuando en el proyecto de rehabilitación se contemple la necesidad de extender el refuerzo hasta la cimentación, se deben abrir cepas de tamaño suficiente para aumentar la base del cimiento. Estos habrán de limpiarse y retirar el material necesario para formar llaves de corte con el mortero de recubrimiento. Finalmente, se debe impermeabilizar el encamisado.

6.7.6.3 Colocación de mortero/concreto

Antes de colocar el mortero sobre la malla (figura 6.7.8) es necesario saturar la superficie del muro con agua, para después proceder a la colocación manual o con dispositivos neumáticos (lanzado). En el caso de que se desee utilizar la técnica de concreto lanzado, es conveniente tomar en cuenta que existe la posibilidad de que se generen huecos debido al rebote de la mezcla en la superficie de la estructura. También se pueden presentar problemas de agrietamiento por contracción si se emplean mezclas con altos contenidos de cemento o con exceso de agua, o bien si el curado del concreto lanzado es inadecuado. Para contrarrestar esta situación, se recomienda emplear aditivos, como humo de sílice, los cuales permiten incrementar el espesor de la capa a aplicar, aumentan la densidad de la mezcla, incrementan la resistencia a los agentes químicos, a factores térmicos, a la adherencia, a flexión y compresión, y disminuyen el rebote del material lanzado. También se pueden emplear fibras de polipropileno que reducen el agrietamiento por contracción plástica. Se aceptará colocar una capa adicional de malla de gallinero y así también poder controlar el agrietamiento prematuro.

El espesor del recubrimiento debe ser al menos de 15 mm en cada lado del muro. Se deberán revisar en la tabla 2.5.1 de las NTC-Mampostería las relaciones volumétricas recomendadas para morteros tipo I de los componentes.

Si el encamisado es de concreto normal, el espesor mínimo será de 35 mm.



Figura 6.7.8 Colocación de mortero sobre la malla. (Flores et al., 2004) (Alcocer, 2019)

6.7.7 Requisitos de supervisión y aseguramiento de la calidad

Se revisará que se cumpla con lo siguiente:

- a) Se deberá constatar que los materiales a utilizar en el encamisado cumplan con las especificaciones establecidas en los planos de construcción y en las memorias de cálculo del proyecto ejecutivo de rehabilitación;
- b) El mortero no deberá fabricarse en contacto con el suelo y además debe tenerse control en su dosificación;
- c) Se debe verificar que los conectores estén firmemente instalados en la mampostería y concreto, con la cuantía y separación especificada en los planos;
- d) El refuerzo del encamisado se continúe en muros transversales, ya sea doblándolo o bien traslapando un refuerzo hecho con malla con calibre mínimo del número 10 (3.43 mm de diámetro);
- e) Saturar con agua limpia la superficie del muro y de sus elementos confinantes, si existen;
- f) El mortero debe ser colocado en un tiempo menor o igual a dos horas posteriores a su fabricación; de lo contrario, éste debe ser desechado;
- g) Se recomienda mantener húmedo el mortero o concreto una vez colocado, durante al menos tres días.

6.7.8 Uso en la infraestructura escolar

El encamisado de muros ha sido uno de los tres métodos principales de rehabilitación de estructuras que el CAPFCE/INIFED ha empleado ante daños moderados a severos en la infraestructura educativa (figura 6.7.9); este método se emplea principalmente para rehabilitar muros de carga en prototipos Regionales de varias aulas. También se ha usado para rehabilitar muros diafragma en prototipos de concreto y de estructura metálica. A raíz de los sismos de 2017 se ha empleado para encamisar los muros de tabique en el prototipo Regional de Concreto. En estos casos se han empleado mallas 6x6-10/10 fijadas a los muros con conectores instalados con cargas explosivas de potencia controlada. En las fotografías de la izquierda de la figura 6.7.9 se ilustra una adecuada colocación de la malla debido a que ésta rodea en el primer caso, los bordes verticales del muro y en el segundo caso, el castillo. En contraste, en las fotografías de la derecha de la figura 6.7.9 se observa una instalación no adecuada de la malla debido a la discontinuidad que ésta presenta en la intersección de los muros ortogonales y al llegar al castillo.



Criterio adecuado

Criterio no adecuado

Figura 6.7.9 Rehabilitación con encamisado de muro de mampostería (Alcocer et al., 2018)



6.8 Adición de muros de concreto

6.8.1 Deficiencia por corregir

El diseño de la rehabilitación dependerá del modo de falla de la estructura existente que se haya identificado como resultado de la evaluación estructural ante sismo.

Los edificios que se pueden rehabilitar mediante la adición de muros de concreto son:

- a) Edificios que tengan una insuficiente rigidez y/o resistencia lateral;
- b) Los que tienen pisos suaves o flexibles;
- c) Edificios con muro de concreto que deben ser reforzados;
- d) Edificios con asimetrías en la distribución de elementos resistentes y que pueden exhibir vibraciones de torsión.

Con la adición de muros de concreto se puede:

- a) Incrementar la resistencia y la rigidez laterales;
- b) Reducir excentricidades, en especial en la planta del edificio;
- c) Mitigar cambios bruscos de distribución de rigidez y resistencia en la altura.

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

Las demandas de resistencia, rigidez y capacidad de deformación inelástica para diseño serán las establecidas en las NTC-Sismo. Es posible que la adición de muros requiera la rehabilitación de otros elementos estructurales, como es el caso de las columnas existentes a las cuales se conectará el nuevo muro, así como elementos de la cimentación. Los muros se deben instalar de modo que no alteren significativamente el funcionamiento del edificio y que no induzcan excentricidades en planta o cambios bruscos de rigidez y resistencia en la altura de la estructura.

6.8.3 Descripción de la técnica

Consiste en la colocación de muros de concreto para incrementar la rigidez y resistencia lateral de la estructura existente. Con ellos se logra obtener una capacidad de deformación adecuada. Es muy probable que la adición de muros obligue a incrementar la capacidad de la cimentación. En todo caso, es crítica la unión del muro nuevo con la cimentación existente de modo que el muro pueda desarrollar su capacidad de diseño.

Los nuevos muros de concreto se pueden clasificar en muros patín, muros completos, muros diafragma o incrementos de espesor (encamisados) de los muros existentes.

6.8.3.1 Muros patín

Los muros patín son segmentos cortos de muros unidos a las caras laterales de la columna diseñados para incrementar su resistencia lateral. Se utilizan para aumentar la resistencia a cortante de la columna, cambiando el modo de falla controlado por las columnas, a uno controlado por las vigas. A su vez, se debe promover que las vigas exhiban un comportamiento dúctil controlado por flexión. Se deberá examinar la resistencia a cortante de la viga, y en su caso incrementarla, puesto que el claro libre de las vigas se reduce por la longitud del muro lateral. Los muros patín pueden ser colados en obra o prefabricados. Esta técnica es más apropiada cuando las vigas son excéntricas a las columnas ya que facilitan el paso del refuerzo longitudinal a través del sistema de piso o viga, según sea el caso. Se deben colocar los muros de manera simétrica en planta y continua en la altura para evitar una distribución no uniforme de la resistencia y rigidez de los marcos. Es recomendable que el eje del muro patín se encuentre alineado con el eje de la columna y se coloquen dos muros simétricos en cada lado de la columna.

6.8.3.2 Muros completos

La modalidad más común de nuevos muros es la construcción de muros que tienen una longitud igual a la de la crujía del marco. Esta modalidad es muy efectiva para controlar los desplazamientos laterales y para reducir el daño en el marco. Los muros pueden ser construidos en el sitio con concreto normal o concreto lanzado. Para reducir tiempo y costo, se pueden construir con paneles prefabricados de distintas dimensiones. Los muros pueden ser:

- a) Concéntricos, cuando su eje longitudinal es colineal con el eje del marco y su refuerzo es continuo en la altura a través del sistema de piso;
- b) Excéntricos, cuando se instalan por fuera de la estructura original y su refuerzo es continuo en la altura del edificio (figura 6.8.1);



Figura 6.8.1 Adición de muro de concreto excéntrico



- c) Diafragma, son similares a los concéntricos pero su refuerzo vertical no es continuo en la altura del edificio.

Los muros de cortante con una relación de esbeltez baja ($H/L < 1.5$) tienen un comportamiento dominado por corte caracterizado por una rápida degradación de la resistencia y rigidez, así como una reducida capacidad de deformación plástica. Los muros esbeltos ($H/L \geq 3$) actúan esencialmente como vigas en voladizo y su comportamiento está gobernado por la flexión. Entre H/L igual a 1.5 a 3, el comportamiento es mixto, con agrietamiento por flexo-compresión (grietas horizontales e inclinadas) y curva carga-desplazamiento menos dúctil que la de muros esbeltos.

Puesto que los nuevos muros se conectan a una estructura ya deformada y que soporta su propio peso, la carga axial sobre el muro es generalmente reducida, en comparación con muros de concreto en estructuras nuevas.

En el diseño de los nuevos muros para una estructura rehabilitada se debe considerar la jerarquía de modos de falla, de modo de promover la ocurrencia de modos de falla dúctiles. Cuando ello no sea posible, como en el caso de muros robustos, se deberá revisar que la falla por corte de los muros no desencadene la inestabilidad local o total del edificio.

El refuerzo longitudinal debe ser continuo en toda la altura del muro, pasando por la losa y las vigas, de preferencia sin traslapes. Se deben diseñar elementos de refuerzo en los extremos de los muros. Estos elementos de refuerzo deberán contar con refuerzo transversal con la cuantía y separaciones necesarias para confinar el concreto sujeto a compresión y así evitar el aplastamiento del concreto, así como evitar o retrasar el pandeo del acero a compresión. Es frecuente que la adición de muros incluya el encamisado de las columnas extremas, en cuyo caso trabajarán como elementos de refuerzo del muro.

Si no se encamisán las columnas, el refuerzo horizontal del muro se debe unir a las columnas existentes por medio de traslapes con anclas ahogadas en el marco. Con objeto de confinar la zona del traslape entre el acero de refuerzo del nuevo muro y las anclas de unión, se recomienda colocar refuerzo transversal en los extremos del muro (como parte de los elementos de refuerzo) o refuerzo helicoidal (adyacente a las caras de las columnas) (figura 6.8.2). El paso del refuerzo helicoidal será de 50 mm. La longitud de traslape será calculada con la sección 6.6 de las NTC-Concreto, suponiendo un índice de refuerzo transversal, igual a cero, a menos que se coloque refuerzo helicoidal, en cuyo caso se deberá calcular el índice de refuerzo transversal.



Figura 6.8.2 Refuerzo helicoidal vertical en muros

6.8.3.3 Muros diafragma

En caso de colocar muros dentro de las crujías, se revisará la resistencia a cortante de las columnas para que sea suficiente para resistir al menos la mitad de la resistencia a cortante del muro diafragma. Se revisará el muro diafragma para tres modos de falla: tensión diagonal, compresión diagonal y deslizamiento.

Para que esta técnica de rehabilitación sea efectiva, es esencial diseñar y construir un mecanismo de transmisión de esfuerzos de cortante entre el nuevo muro y la estructura existente mediante anclas o conectores instalados a posteriori, llaves de corte, o anclando el nuevo refuerzo en elementos existentes. Una posibilidad es colocar el refuerzo dentro de barrenos con resina epóxica. Esta solución es posible si el diámetro del refuerzo del muro es bajo, de modo que la barra se pueda doblar ligeramente para colocarla dentro del barreno con resina epóxica. Otra solución más práctica consiste en traslapar el refuerzo del muro con anclas ahogadas en las columnas y vigas/losa perimetrales. La longitud de traslape será calculada con la sección 6.6 de las NTC–Concreto, suponiendo un índice de refuerzo transversal, K_{tr} , igual a cero, a menos que se coloque refuerzo helicoidal con paso de 50 mm, como el mostrado en la figura 6.8.2, en cuyo caso se deberá calcular el índice de refuerzo transversal.

El comportamiento de muros colocados en las crujías está determinado por la calidad en la colocación y compactación del concreto del nuevo muro. Por ello, se deberá diseñar la cimbra y la mezcla de modo de evitar aire atrapado, oquedades, segregación, entre otros.



6.8.3.4 Incremento de espesor de muros existentes

En caso de añadir un muro sobre un muro existente, se deben conectar ambos con conectores o anclas diseñados para resistir el cortante rasante (ver sección 6.3 de esta Guía).

6.8.3.5 Cimentación

Se deberá revisar la capacidad estructural de la cimentación y la resistencia del suelo debido al incremento de peso del edificio por la adición de los muros, así como por el cambio en las demandas por sismo (carga axial y momento). Igualmente se deberá diseñar el anclaje del nuevo muro a la cimentación.

6.8.4 Requisitos de análisis

- a) Factor de comportamiento sísmico. Se debe cumplir con el inciso 4.3.3.8 de esta Guía.
- b) Carga axial. Para fines de diseño se considerará que la carga axial en el muro añadido es nula; se podrá considerar su peso propio. Se supone que la carga vertical del edificio es resistida por la estructura existente, normalmente a base de columnas. Ante nuevas demandas sísmicas, las fuerzas axiales en las columnas, convertidas ahora en elementos de refuerzo del muro, aumentarán o disminuirán en función de la flexión que resista el nuevo muro conectado a ellas. Estos cambios en las fuerzas axiales se deberán tomar en cuenta en el diseño.
- c) Comportamiento monolítico. Se supondrá que existe un adecuado mecanismo de transmisión de esfuerzos entre el muro y la estructura existente de modo que el comportamiento sea monolítico. Se deberán cumplir los requisitos del inciso 4.3.3.3 de esta Guía;
- d) Restricción a flexión. Se deberá revisar la posible restricción a la deformación global a flexión de los nuevos muros por parte de sistemas de piso o vigas de gran peralte, como las descritas en el inciso 10.3.1 de las NTC-Concreto.
- e) Factor de rigidez relativa para análisis lineal. Se usará un factor de rigidez efectiva de conformidad con el inciso 3.2.1 de las NTC-Concreto.

6.8.5 Requisitos de diseño

6.8.5.1 Alcances y requisitos generales

Se aplicará lo requerido en la sección 8.4 de las NTC-Concreto. Adicionalmente:

- a) El espesor mínimo de los muros no será menor que 170 mm; ni que 0.06 veces la altura no restringida lateralmente. En muros diafragma, el ancho del muro no será mayor que el ancho de la viga del marco existente.
- b) Separación entre barras de refuerzo. La separación libre entre barras paralelas no será menor que el diámetro nominal de la barra, ni que 1.5 veces el tamaño máximo del agregado.
- c) Tamaño máximo de agregado. El tamaño nominal máximo de los agregados no debe ser mayor que un quinto de la menor distancia horizontal entre caras de los moldes, ni dos tercios de la separación horizontal libre mínima entre barras.



- d) Paquete de barras. No se permitirán paquetes de barras en el alma del muro. Se permitirá formar paquetes de dos barras en los elementos de refuerzo de un muro.
- e) Recubrimiento. El recubrimiento libre de toda barra de refuerzo no será menor que su diámetro, ni menor que 20 mm.
- f) La resistencia del concreto no será menor de 25 MPa (250 kg/cm²), ni menor que la resistencia de la estructura existente.

6.8.5.2 Momentos flexionantes de diseño

Se aplicará lo establecido en el inciso 7.4.2.2 de las NTC-Concreto.

6.8.5.3 Flexión y flexocompresión

Se aplicará lo establecido en el inciso 7.4.2.3 de las NTC-Concreto con la excepción del inciso 7.4.2.3.c.

Si se usa el método optativo del inciso 7.4.2.3.a de las NTC-Concreto, se concentrará el acero a tensión en una longitud igual a $0.25 L$, donde L es la longitud del muro.

Se deberá incluir un elemento de refuerzo en cada extremo del muro o del segmento de muro (se entiende por segmento de un muro a la porción de éste entre aberturas o entre una abertura y un borde vertical, como el caso de un muro patín) con las siguientes características:

- a) El elemento de refuerzo se extenderá en una distancia de $1/5$ de L a partir de la fibra extrema en compresión. El elemento de refuerzo podrá incluir parte o toda la columna existente o la columna existente y parte del alma del nuevo muro. Si se encamisán las columnas, el elemento de refuerzo podrá incluir parte o toda la columna encamisada o la columna encamisada y parte del alma del nuevo muro;
- b) Cuando el muro se conecte a una columna existente, se deberá revisar que la columna resista la fuerza de compresión y tensión producto de la flexión conjunta marco existente-nuevo muro debida al sismo, en adición a la carga axial que obra sobre la columna al momento de conectar el nuevo muro;
- c) El acero de refuerzo vertical de un elemento de refuerzo no será menor que $2.8 / f_y$, en MPa, ($28 / f_y$, en kg/cm²). Para su cálculo se considerará el refuerzo longitudinal de la columna original si éste puede desarrollar su esfuerzo de fluencia;
- d) El refuerzo vertical del elemento de refuerzo debe restringirse contra el pandeo con estribos o grapas con separación no mayor que la menor de (i), (ii) o (iii):
 - i. 8 veces el diámetro de la barra longitudinal o de la barra más delgada del paquete;
 - ii. 24 diámetros de la barra del estribo;
 - iii. la tercera parte de la menor dimensión del elemento de refuerzo.
- e) La suma de las áreas de estribos y grapas, A_{sh} , en cada dirección de la sección del elemento de refuerzo no será menor que la obtenida a partir de las ecuaciones 9.3.2 y 9.3.3 de las NTC-Concreto;



- f) El refuerzo transversal en el elemento de refuerzo debe estar formado por estribos hechos por dos piezas, sencillos o sobrepuestos, de diámetro no menor que 9.5 mm (número 3) y rematados como se indica en el inciso 7.3.4.3 de las NTC-Concreto. Puede complementarse con grapas del mismo diámetro que los estribos, separadas igual que éstos a lo largo del miembro. Cada extremo de una grapa debe abrazar a una barra longitudinal de la periferia con un doblaje de, al menos, 135 grados seguido de un tramo recto de al menos seis diámetros de la grapa, pero no menor que 80 mm.

6.8.5.4 Fuerza cortante

Se aplicará lo establecido en el inciso 7.4.2.4 de las NTC-Concreto con excepción del inciso 7.4.2.4.c.

Las cuantías de p_m y p_n no serán menores de 0.0025.

donde:

- p_m cuantía de refuerzo paralelo a la dirección de la fuerza de diseño calculada con la ecuación 7.4.4 de las NTC-Concreto.
- p_n cuantía de refuerzo perpendicular a la fuerza cortante de diseño calculada con la ecuación 7.4.5 de las NTC-Concreto.

El refuerzo se colocará uniformemente distribuido con separación no mayor de 350 mm. Se pondrán dos capas, cada una próxima a la cara correspondiente del muro.

El refuerzo horizontal de muros se debe:

- Anclar en las columnas extremas de manera que pueda alcanzar el esfuerzo especificado de fluencia; o
- Traslaparse con anclas o conectores instalados a posteriori en las columnas existentes. El traslape se diseñará de conformidad con la sección 6.6 de las NTC-Concreto, suponiendo un índice de refuerzo transversal, K_{tr} , igual a cero. Se aceptará confinar la zona del traslape por medio de refuerzo helicoidal con paso máximo de 50 mm, en cuyo caso se deberá calcular. A lo largo de la unión entre el nuevo muro y la columna, se escarificará toda la columna hasta lograr una rugosidad de 6.4 mm (1/4 pulg).

El refuerzo vertical de muros se debe:

- Anclar en la cimentación de la estructura de manera que pueda alcanzar el esfuerzo especificado de fluencia;
- Colocar continuo en la altura del edificio o bien unirse, mediante traslapes, con anclas o conectores instalados a posteriori en las vigas existentes. El traslape se diseñará de conformidad con la sección 6.6 de las NTC-Concreto, suponiendo un índice de refuerzo transversal, K_{tr} , igual a cero. Se aceptará confinar la zona del traslape por medio de refuerzo helicoidal con paso máximo de 50 mm, en cuyo caso se deberá calcular. A lo largo de la



unión entre el nuevo muro y la viga, se escarificará toda la superficie de la viga hasta lograr una rugosidad de 6.4 mm (1/4 pulg).

En ningún caso se aceptará soldar el refuerzo del nuevo muro al refuerzo existente, ni a las anclas o conectores post-instalados.

Se deberá revisar que la resistencia a cortante del muro sea menor que la resistencia a cortante rasante del muro con el marco existente.

Se deberá revisar la resistencia por cortante fricción en el desplante del muro, de modo que sea superior a la requerida.

Se aceptará considerar la contribución de la resistencia a cortante de las columnas existentes a la resistencia a cortante del muro, si éstas no tienen daño moderado o severo y si la estructura fue diseñada con la versión de 1987 o con una versión posterior a ésta.

Las anclas y conectores post-instalados se diseñarán acuerdo con la sección 6.3 de esta Guía.

No se permite traslapar las barras de acero horizontal del muro a lo largo del alma. Sólo se podrá traslapar las barras de acero vertical del muro, ya sea en el alma o en el elemento de refuerzo, a partir del tercer piso.

Se aceptará el uso de concreto con fibras metálicas para sustituir el acero horizontal y vertical del alma del muro, únicamente si las cuantías p_m y p_n son las mínimas permitidas, es decir, 0.0025. En este caso, el contenido de fibras de acero será de 40 kg/m³ y la relación se aspecto de la fibra (longitud/diámetro) mayor que 50. Las fibras deberán ser certificadas por organismos nacionales de certificación.

6.8.5.5 Muros con aberturas

Si el muro posee aberturas, se deberá considerar su influencia en la capacidad a flexión y cortante. Se deberá verificar que alrededor de las aberturas se pueda desarrollar un flujo de fuerzas tal que no exceda la resistencia de los materiales y que esté en equilibrio con el sistema de acciones o fuerzas internas de diseño (momentos flexionantes, cargas axiales, fuerzas cortantes). Se podrá utilizar el método de puntales y tensores del Apéndice B de las NTC-Concreto.

6.8.5.5.1 Fuerza cortante

En muros con aberturas, para evaluar la fuerza cortante que toma el concreto en los segmentos verticales entre aberturas o entre una abertura y un borde, se tomará la mayor relación altura a longitud, entre la del muro completo y la del segmento considerado.

Se proporcionará refuerzo en la periferia de toda abertura para resistir las tensiones que puedan presentarse. Como mínimo, deben colocarse dos barras de 12.7 mm de diámetro (número 4), o su equivalente, a lo largo de cada lado de la abertura. El refuerzo se prolongará una distancia no menor que su longitud de desarrollo, L_d , desde las esquinas de la abertura.

Las aberturas deben tomarse en cuenta al calcular las rigideces y resistencias.

6.8.5.6 Unión con el sistema de piso

En el caso de muros diafragma, se anclará el refuerzo vertical del muro en los sistemas de piso inferior y superior como se explica en el inciso 6.8.3.3 de esta Guía.

Cuando el acero de refuerzo vertical de los muros sea continuo en la altura, se podrá ejecutar una ranura en la losa o bien demoler parte de la viga con un ancho igual al espesor del muro (figura 6.8.3). Se deberán tomar las precauciones para no dañar el acero de refuerzo original. Si es necesario, se deberá apuntalar y/o arriostrar la estructura. En la figura 6.8.3 se observa refuerzo transversal en el elemento de refuerzo del muro que no cumple con el requisito del inciso 6.8.5.3.e de esta Guía, con respecto al remate del acero transversal.



Figura 6.8.3 Demolición de concreto de sistema de piso sin dañar acero de refuerzo original

Alternativamente, se podrán utilizar los detalles de las figuras 6.8.4 y 6.8.5 aplicables a estructuras con losas macizas, y de las figuras 6.8.6 y 6.8.7 para estructuras con losas nervadas o reticulares. En estos detalles, la continuidad del acero de refuerzo vertical se logra mediante el traslape del refuerzo del muro con anclas o barras de acero de refuerzo que pasan a través de ranuras y agujeros en el sistema de piso. La función de las ranuras es proporcionar una ventana para la colocación y la compactación del concreto del muro inferior. En el caso de que las nervaduras sean perpendiculares al muro o en el caso de una losa reticular, debido a la dificultad de pasar el refuerzo horizontal del muro a través de las nervaduras, puede ser necesaria la colocación de uno o dos estribos o grapas horizontales entre dos nervaduras, como se muestra en la figura 6.8.7.

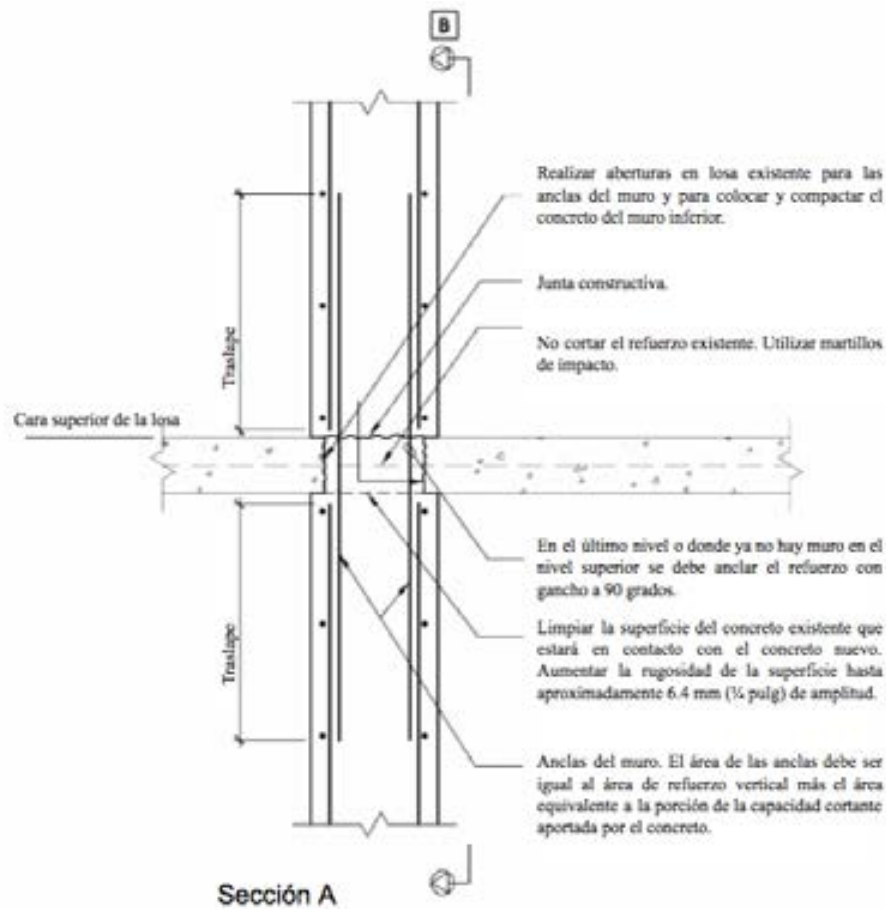


Figura 6.8.4 Conexión de un muro en edificios con losas macizas (FEMA 547)

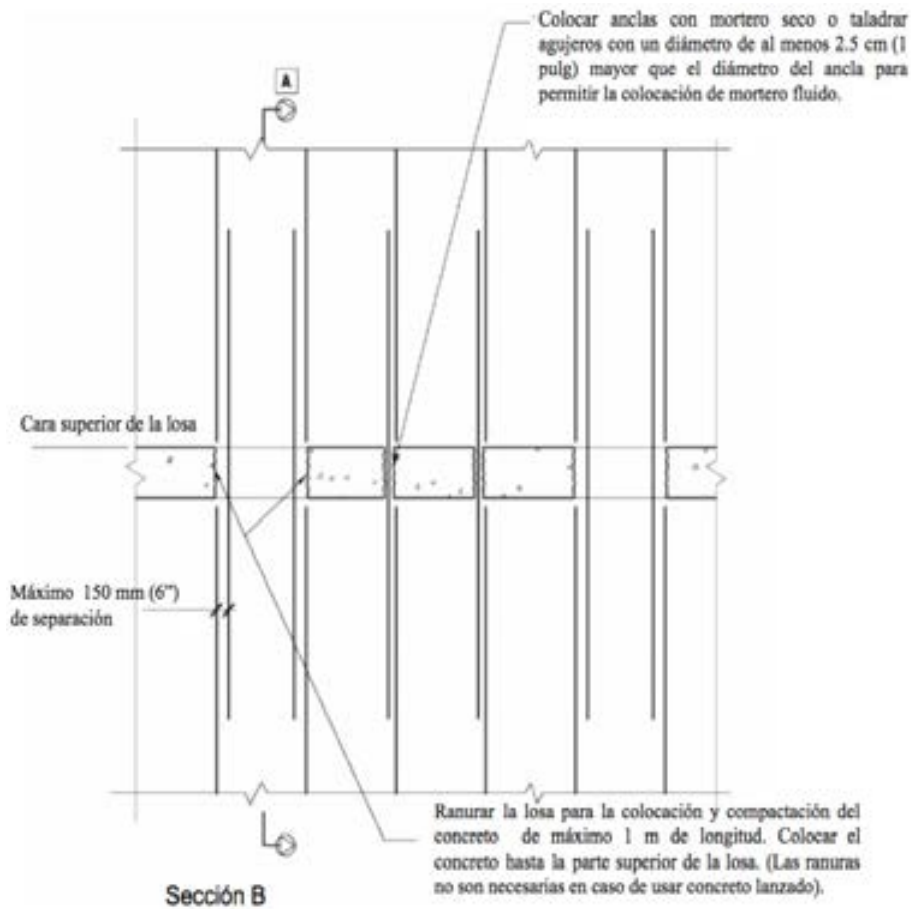


Figura 6.8.5 Conexión de un muro en edificios con losas macizas (FEMA 547)

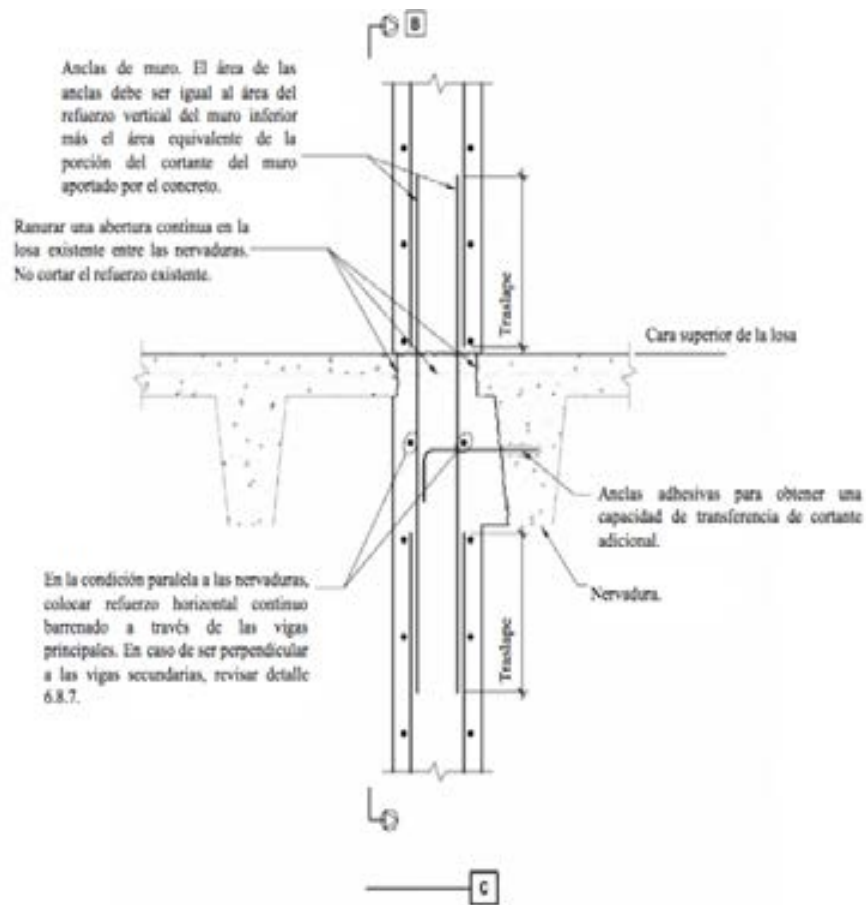


Figura 6.8.6 Conexión de un muro en edificios con losas nervadas en la dirección paralela al muro (FEMA 547)

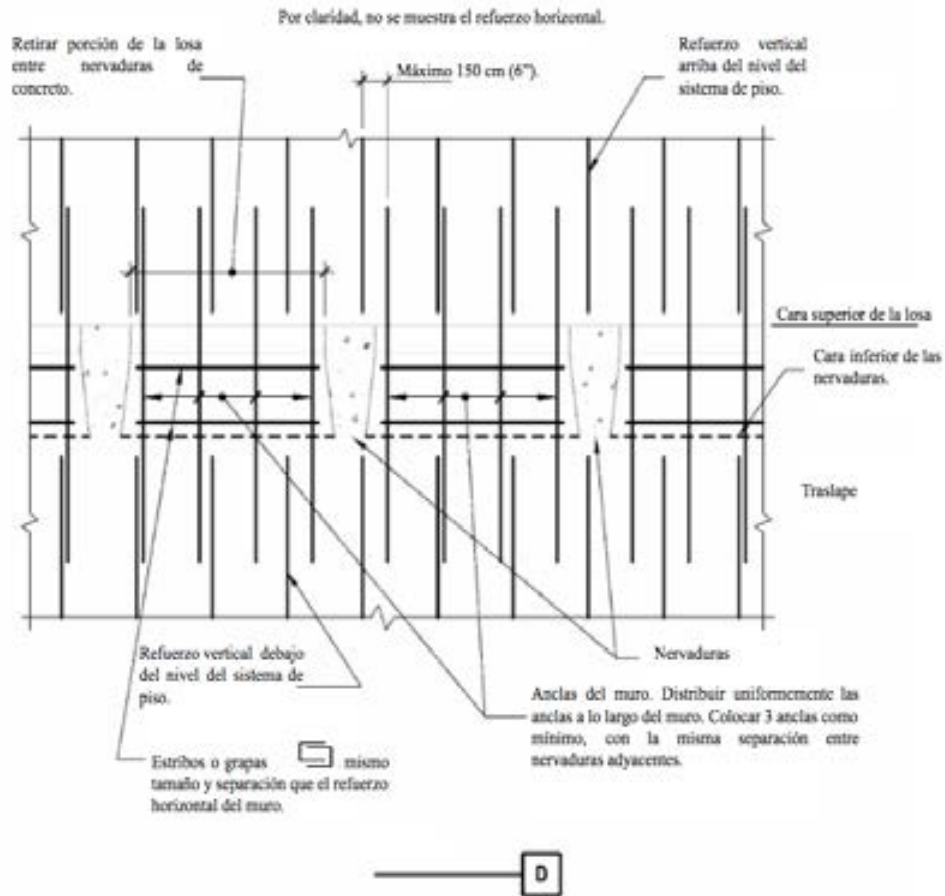


Figura 6.8.7 Conexión de un muro en edificios con losas reticulares o con losas nervadas en la dirección perpendicular al muro (FEMA 547)

Para muros excéntricos al marco se podrá utilizar el detallado de la figura 6.8.8 para conectar el muro con el sistema de piso. La solución mostrada implica la construcción de vigas de borde conectadas a las vigas existentes. En la figura de la izquierda se observa, además, un incremento del peralte del sistema de piso. Esta solución es aplicable cuando el diafragma de piso requiere ser reforzado para transmitir las fuerzas inducidas por el sismo a los nuevos muros.

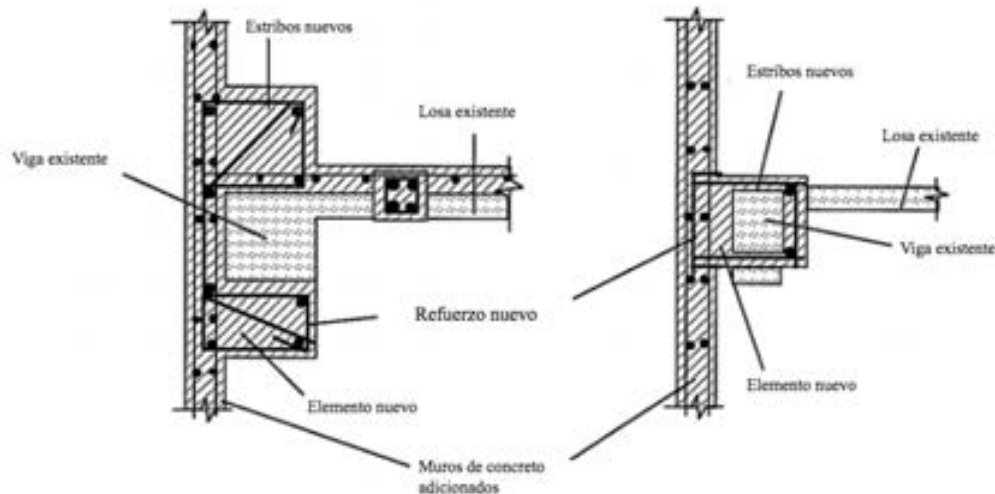


Figura 6.8.8 Detallado de muros excéntricos (Aguilar, J., et al., 1996)

Los muros excéntricos se pueden conectar a la estructura original por medio de encamisados de columnas y/o vigas, así como por medio de anclas con doblés a 90 grados, colocadas en la estructura original (figura 6.8.9).



Figura 6.8.9 Muros excéntricos conectados a la estructura original por medio de encamisados de columnas



6.8.5.7 Juntas de colado

Todas las juntas de colado cumplirán con los incisos 5.3.3.3 y 15.3.10 de las NTC-Concreto.

6.8.6 Requisitos de construcción

El método constructivo consiste en los siguientes pasos:

- a) Trazo.
- b) Demolición de firmes en planta baja y enladrillado, si es el caso.
- c) Excavación.
- d) Colocación de concreto de plantilla de una resistencia a compresión de 10 MPa (100 kg/cm²) y un espesor de 50 mm, colocación de armado de viga de cimentación, anclaje de refuerzo vertical del muro y colocación del concreto de la cimentación. Es posible que el muro esté reforzado con barras inclinadas, en cuyo caso se deberán anclar en la viga de cimentación.
- e) Armado del refuerzo horizontal y vertical del muro.
- f) En muros diafragma, se deben colocar anclas elaboradas con barras de acero de refuerzo adheridas a los elementos del marco mediante resina epóxica. En muros continuos se podrá utilizar cualquier detallado mencionado en la sección 6.8.5.6. La demolición del concreto se debe realizar con una herramienta (martillo) de impacto. Se deberá evaluar la necesidad de apuntalar y arriostrar la escuela.
- g) Anclaje del muro a la losa del edificio.
- h) Habilitación y lubricación de cimbra.
- i) Colocación de concreto de muro. En muros diafragma se sugiere:
 - i. Emplear concreto autocompactante;
 - ii. Usar cimbras especiales con resbaladilla, y de ventanas en la losa (figura 6.8.10);
 - iii. En caso de usar concreto normal:
 - a. Colocar el concreto del muro en varias capas;
 - b. La última capa debe ser de mortero o concreto fluido sin contracción con resistencia al menos igual a la del concreto del muro.
- j) Curado del nuevo muro;
- k) Rellenos, resane, acabados y pintura.

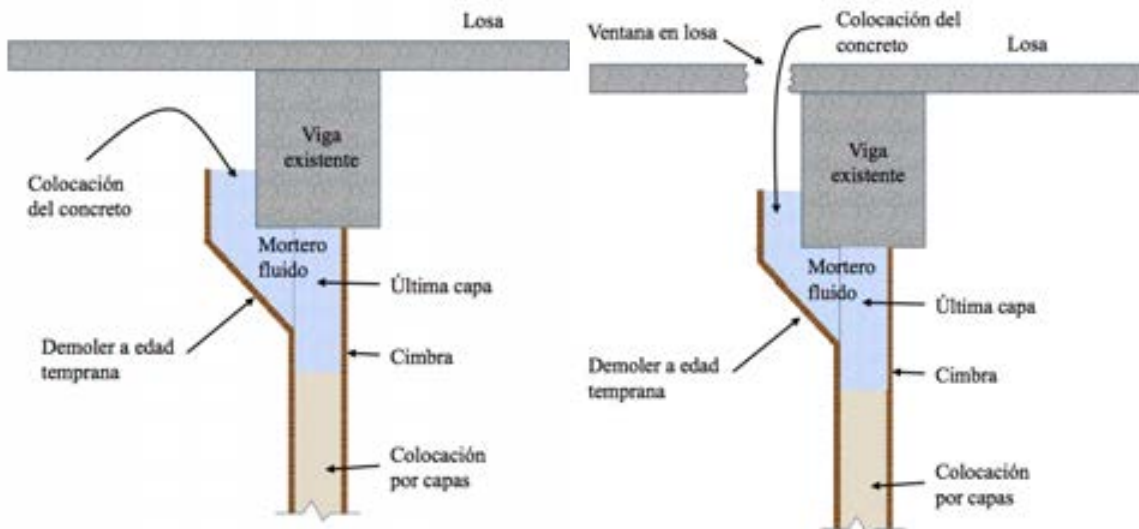


Figura 6.8.10 Colocación de concreto de muros diafragma, (Terán A., 2009)

6.8.7 Requisitos de supervisión y aseguramiento de la calidad

Se deberá revisar que:

- Cuando así se requiera, se construyan los elementos de refuerzo del muro de conformidad con el proyecto ejecutivo;
- El acero transversal de los elementos de refuerzo del muro se coloque con la separación requerida y se remate con dobleces de, al menos, 135 grados;
- Si se usan anclas, se coloquen de acuerdo con las recomendaciones del fabricante y de la sección 6.3 de esta Guía;
- La longitud de traslape entre el refuerzo del muro y las anclas, sea el establecido en los planos; en su caso, que el refuerzo helicoidal de confinamiento de los traslapes tenga el paso máximo requerido;
- Se emplee el concreto con la trabajabilidad necesaria para evitar segregación, oquedades u otros defectos durante la colocación y compactación del concreto;
- No haya oquedades o separación entre el concreto del muro dentro de la crujía y la viga o sistema de piso superior.

6.8.8 Uso en la infraestructura escolar

Esta técnica de rehabilitación se ha usado en prototipos a base de marcos rígidos de concreto (U1-C, U2-C, U3-C) y metálicos (U1, U2, U3 y A-70) (figura 6.8.11). Los muros han tenido espesores de 150, 200 o 250 mm, dependiendo de la zona sísmica, del tipo de suelo y del número de niveles. En edificios de uno y dos pisos el espesor usado ha sido de 150 mm y de 200 a 250 mm en edificios de tres y cuatro pisos. Los muros han sido reforzados con dos capas ortogonales de barras del número 3 a cada 300 mm, en adición a cinco bandas de barras del número 3 inclinadas en forma de letra X. Normalmente cuentan con elementos de refuerzo del muro de 200 mm de lado.

En estructuras metálicas (tipo A-70), la conexión entre las columnas existentes y el nuevo muro se ha hecho por medio de ángulos de acero soldados a la columna y que quedan ahogados en los elementos de borde dentro del muro. Si las edificaciones son de varios pisos, el refuerzo vertical del muro se ha traslapado con barras del número 4 que rodean a las vigas.

Si la estructura es a base de losas de concreto nervadas, se ha ranurado la losa para pasar el refuerzo vertical, en especial el de los elementos de refuerzo del muro. Igualmente se han practicado dentellones (llaves de corte) a lo largo de la losa como mecanismo de transferencia de cortante entre el concreto existente y el nuevo.



Figura 6.8.11 Escuela rehabilitada con muros de concreto reforzado (Alcocer et al., 2018)

6.9 Adición de contraventeos de acero

6.9.1 Deficiencia por corregir

El diseño de la rehabilitación dependerá del modo de falla de la estructura existente que se haya identificado durante la evaluación estructural ante sismo.

Los edificios que pueden ser rehabilitados para mejorar su desempeño sísmico mediante la adición de contraventeos de acero son:

- a) Edificios con columnas cuyo comportamiento está controlado por fuerza cortante y cuya falla puede afectar el desempeño sísmico de todo el edificio;
- b) Edificios a base de marcos resistentes a momento con insuficiente resistencia y/o rigidez lateral;
- c) Edificios con pisos débiles, usualmente en la planta baja.

La adición de contraventeos metálicos permite:

- Incrementar la resistencia global de la estructura ante cargas laterales como las inducidas por sismo;
- Aumentar la rigidez lateral global de la estructura y, consecuentemente, disminuir las demandas de desplazamiento lateral;
- Colocar dispositivos de protección sísmica (disipadores de energía). Ver sección 6.13 de esta Guía.

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

Las demandas de resistencia, rigidez y capacidad de deformación inelástica para diseño serán las establecidas en las NTC-Sismo.

6.9.3 Descripción de la técnica

Consiste en la colocación de elementos metálicos laminados en caliente para incrementar la rigidez y la resistencia laterales de la estructura existente. Se pueden adicionar en el plano de acción de la estructura existente o externos a él. Los contraventeos tienen ventaja de que no incrementan el peso de la estructura de manera significativa.

No se recomienda combinar esta técnica de rehabilitación con otras que aumenten la rigidez considerablemente, como la adición de muros de concreto o marcos con muros diafragma de mampostería, por ejemplo. Si el marco es de concreto y sus elementos tienen daño severo, se deberá rehabilitarlos previamente a fin de mejorar su capacidad resistente y de deformación.

6.9.4 Disposición de contraventeos

Los contraventeos se pueden clasificar según su geometría, su disposición en el edificio y su empleo para colocar sistemas de control de la respuesta.

6.9.4.1 Contraventeos según su geometría

En la figuras 6.9.3 y 6.9.4 se muestran los diferentes tipos de contraventeos metálicos permitidos en la rehabilitación de estructuras escolares. Estos contraventeos pueden colocarse en el plano del marco original, o externos a él (figuras 6.9.1 y 6.9.2).

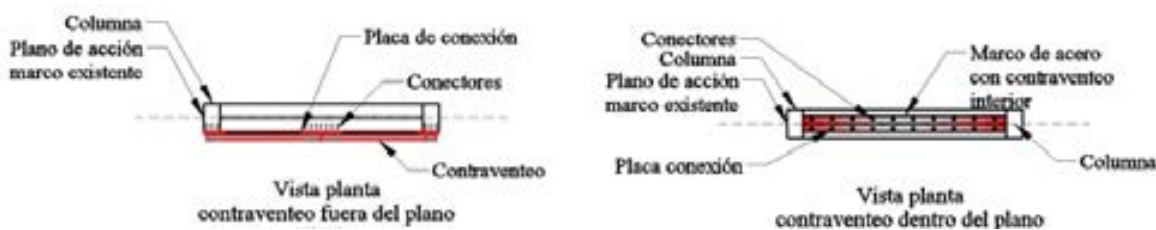


Figura 6.9.1 Vista en planta de contraventeos colocados dentro del plano del marco original y externos a él

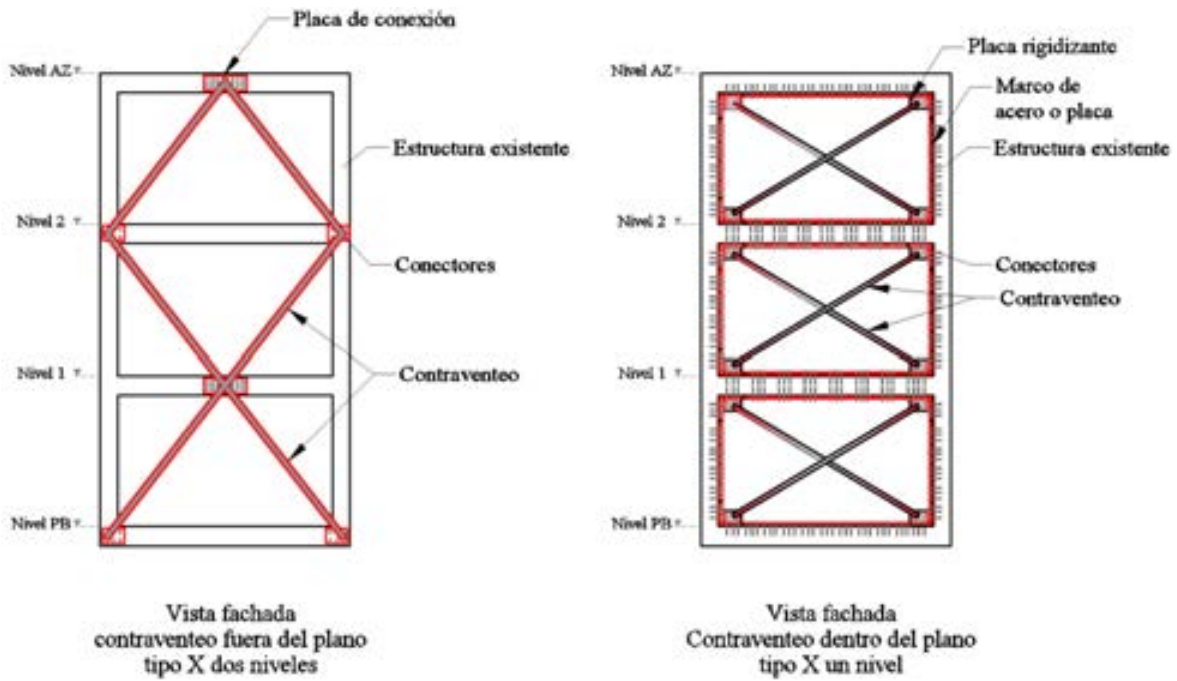


Figura 6.9.2 Vista frontal de contraventeos colocados dentro del plano del marco original y externos a él

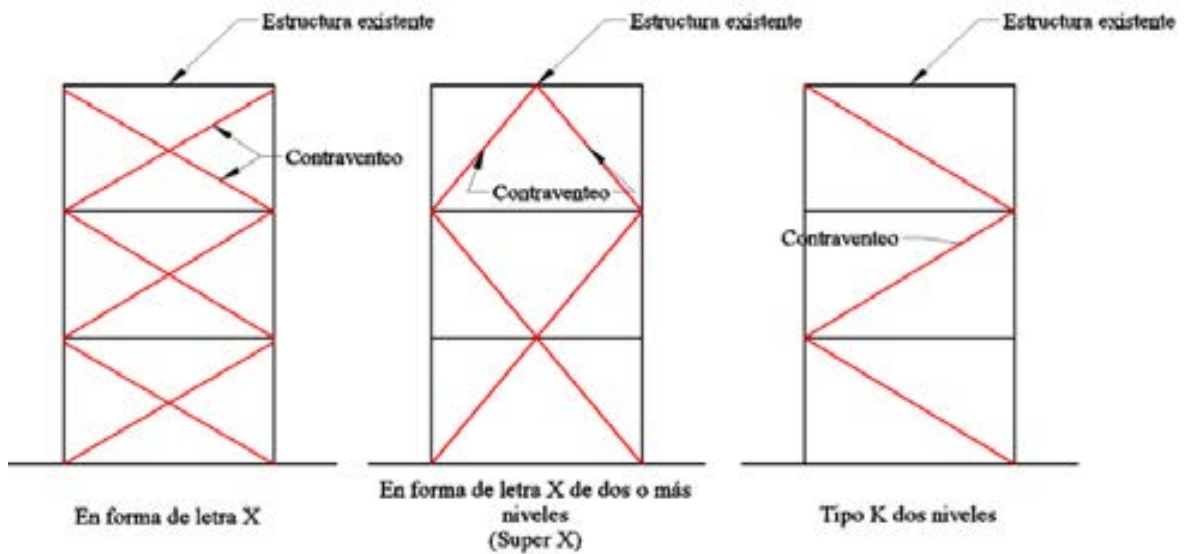


Figura 6.9.3 Contraventeos en forma de letra X y tipo K permitidos para la rehabilitación de estructuras

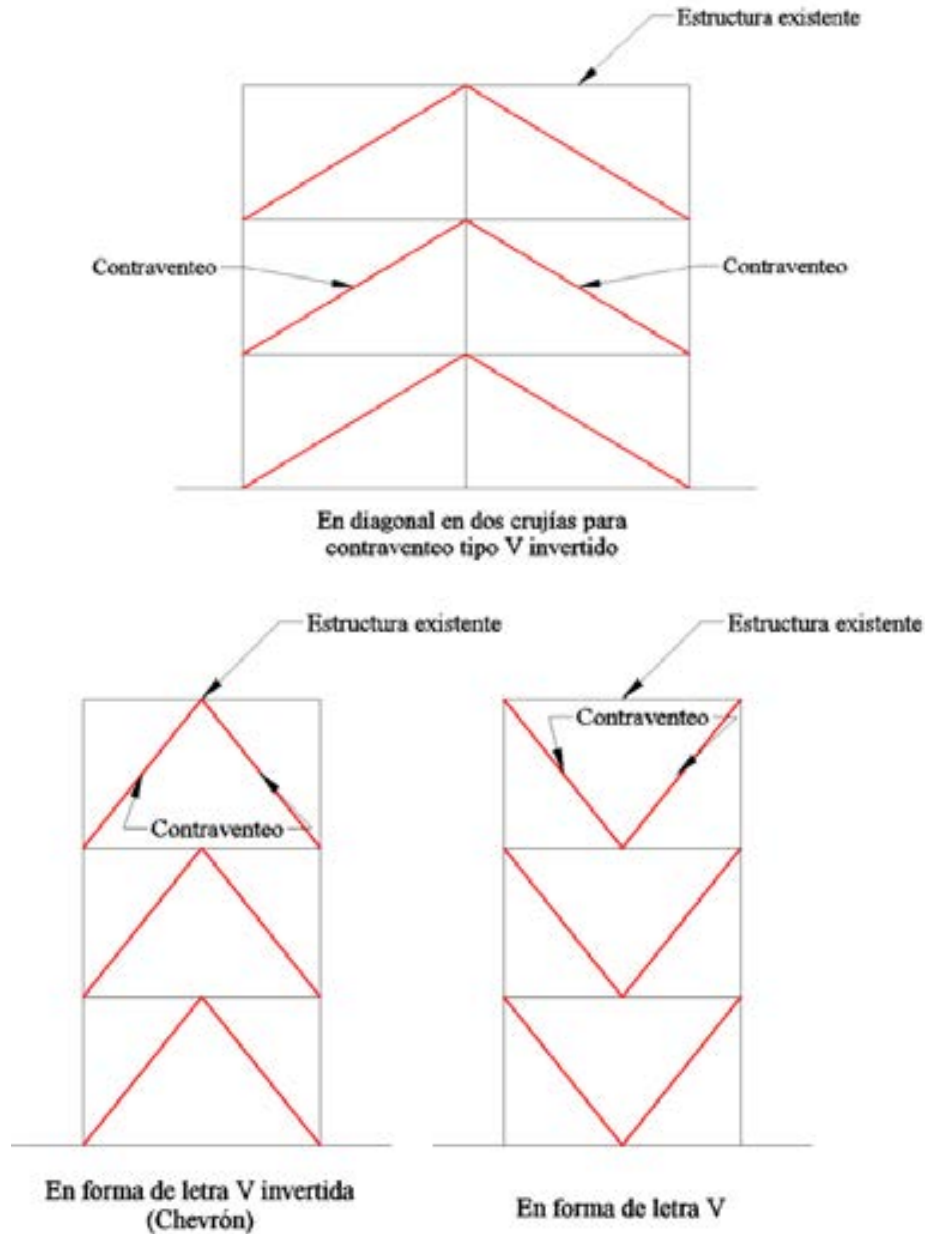


Figura 6.9.4 Contraventeos en forma de letra V, permitidos para la rehabilitación de estructuras

En la figura 6.9.5, se ilustra la colocación de contraventeos en forma de letra X en el plano del marco de un prototipo CAPFCE/INIFED U3C.



Figura 6.9.5 Ejemplo de rehabilitación mediante contraventeos concéntricos en el plano para un prototipo CAPFCE/INIFED U3C

De las geometrías anteriores, si la estructura tiene grandes claros, es conveniente emplear el tipo V o V invertida, debido que se reduce la longitud no arriostrada de contraventeos y se requiere una sección de acero más pequeña. Esta solución debe ser continua en la altura del edificio.

En la figura 6.9.6 se muestran los contraventeos tipo K de un nivel que no son permitidos por la concentración de fuerzas, y consecuentemente, de daño que experimentarían las columnas.

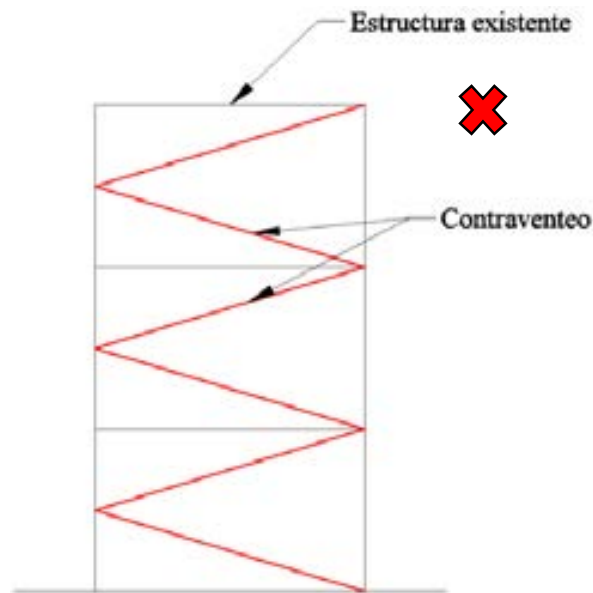


Figura 6.9.6 Contraventeo tipo K no permitido en la rehabilitación de edificios escolares

6.9.4.2 Contraventeos según su disposición en el edificio

Los contraventeos se pueden colocar dentro del plano de la estructura existente. Las conexiones del contraventeo con la estructura existente se harán por la cara interior del marco. Si la fuerza resultante del contraventeo a compresión es mayor que la resistencia del nudo o que la resistencia a fuerza cortante de la viga o columna, será necesario reforzar los elementos.

En la figura 6.9.7 se muestra la conexión de un contraventeo con un marco de concreto mediante conectores.

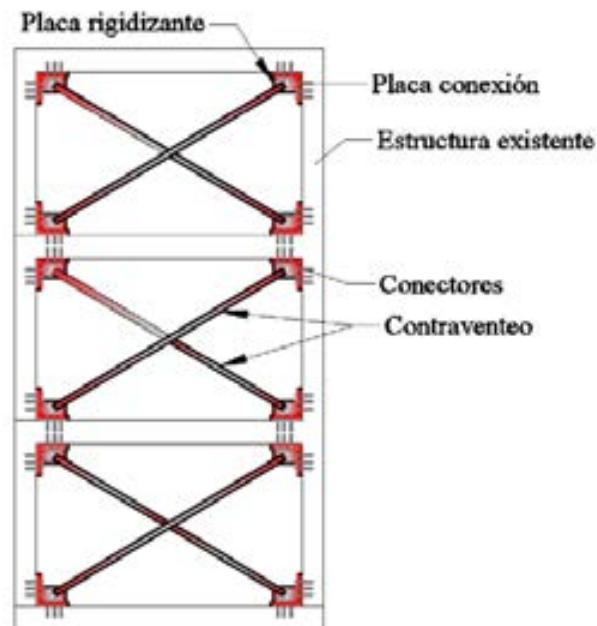


Figura 6.9.7 Rehabilitación con contraventeo en X en el plano de la estructura original, conectados mediante conectores

Otra opción de colocación de los contraventeos dentro de las crujeas es conectarlos mediante un marco de acero con conectores metálicos perimetrales (figura 6.9.8). Esta técnica tiene la ventaja de que el marco metálico con contraventeo puede ser fabricado en taller, con condiciones idóneas para una buena calidad de la soldadura. Además, usualmente esta técnica no requiere el reforzamiento de la estructura original.

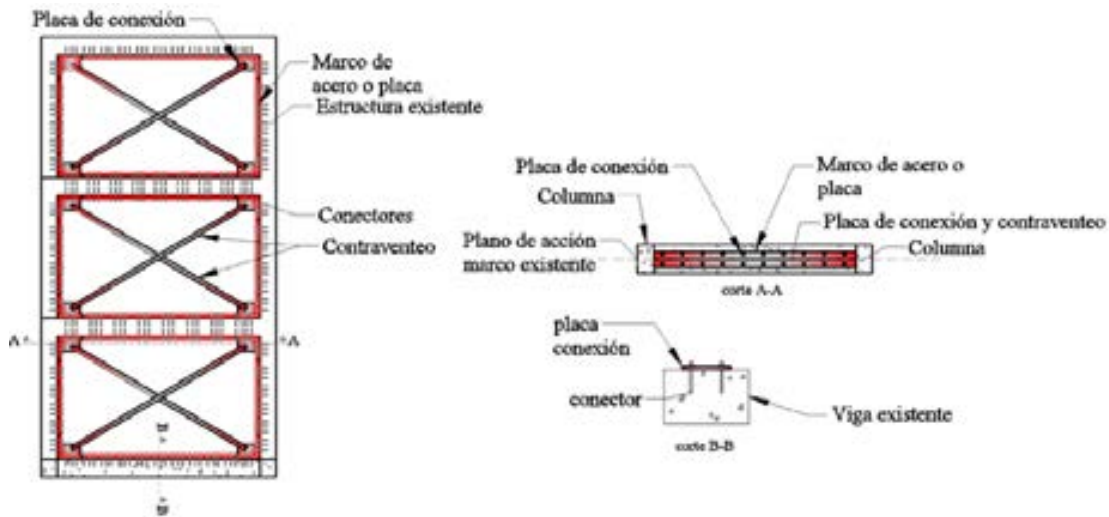


Figura 6.9.8 Contraventeos con conexión perimetral al marco

Como una opción dentro del plano, se recomienda usar la solución mostrada en la figura 6.9.9. En este caso, el contraventeo cuenta con un marco metálico perimetral, el cual, se conecta con la estructura existente de concreto mediante un marco de concreto que se construye con concreto de baja contracción. Esta solución tiene la ventaja de poderse fabricar en taller, eliminando la soldadura de campo.

El mecanismo de transmisión de cortante entre el marco de concreto de conexión y la estructura existente consta de conectores soldados al marco metálico y de anclas ahogadas en el marco existente.

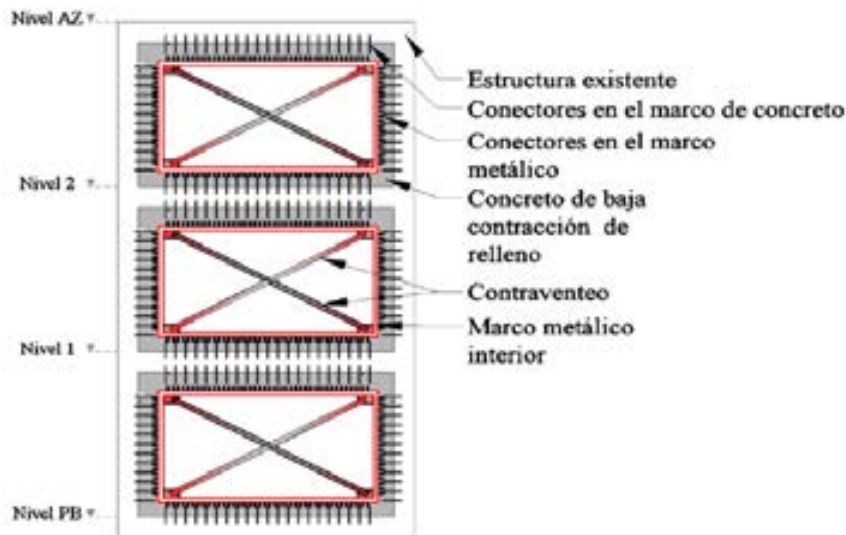


Figura 6.9.9 Contraventeo dentro de la cruzía de un marco de concreto

Cuando por facilidad constructiva convenga, se pueden colocar los contraventeos fuera del plano de la estructura existente. En la figura 6.9.10 se muestra, de manera esquemática, la instalación de un

contraventeo fuera del plano. La conexión debe diseñarse para que el contraventeo adicional y la estructura existente trabajen juntos. La conexión debe tener la capacidad de transmitir las fuerzas inducidas por sismo.

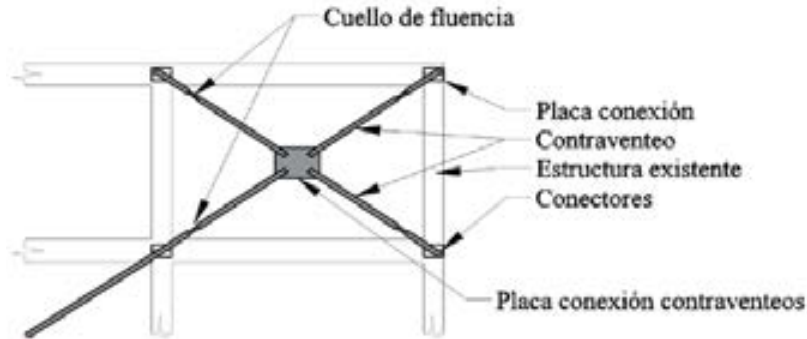


Figura 6.9.10 Contraventeo externo al plano del muro de concreto

6.9.4.3 Contraventeos para instalar dispositivos disipadores de energía sísmica

Usualmente se emplean sistemas de contraventeo para instalar dispositivos disipadores de energía sísmica. El análisis, diseño, construcción y supervisión de esta técnica se detalla en la sección 6.13 de esta Guía. En la figura 6.9.11 se muestra un ejemplo del empleo de este sistema mediante un amortiguador viscoso en una estructura de concreto.



Figura 6.9.11 Adición de contraventeo con amortiguador viscoso en un marco de concreto (Ministerio de Educación, Cultura, Deporte, Ciencia y Tecnología de Japón, 2006)



6.9.5 Requisitos de análisis

- a) Factor de comportamiento sísmico a emplear. Se deberá cumplir con el inciso 4.3.8.8 de esta Guía.
- b) Distorsiones máximas permitidas. Las distorsiones laterales permitidas serán las establecidas para el sistema dual formado por marcos de concreto y contraventeos metálicos de baja ductilidad de la tabla 4.2.1 de las NTC-Sismo.
- c) Método de análisis sísmico. Se analizará la estructura de acuerdo con las NTC-Sismo y NTC-Acero. Se tendrán en cuenta las secciones agrietadas de la estructura de concreto existente en inciso 3.2.1.1 de las NTC-Concreto.
- d) Contribución de la estructura existente a resistir cargas laterales. Si la estructura fue diseñada con un reglamento anterior a la versión de 1987, se aceptará desprestigiar su contribución a la resistencia y rigidez lateral. Si se diseñó con la versión 1987 o posteriores a ésta, se podrá incluir su contribución a la resistencia y rigidez lateral. En todo caso, se deberá revisar que la estructura tenga la capacidad resistente y de deformación que demanden los contraventeos. Si los elementos estructurales existentes tienen daños moderados o severos, será necesaria su rehabilitación.
- e) Localización de los contraventeos nuevos en la estructura. Los nuevos contraventeos deben minimizar los efectos torsionales globales mediante su colocación simétrica en ambos sentidos de análisis de la estructura a rehabilitar.

6.9.6 Requisitos de diseño

6.9.6.1 Materiales

- a) Contraventeos. Se deben emplear los aceros estructurales señalados en la tabla 1.4.1 de las NTC-Acero.
- b) Anclajes y/o conectores. Se deben emplear los que cumplan las especificaciones de tornillos de alta resistencia y tuercas según los incisos 1.4.3.2 y 1.4.3.3 de las NTC-Acero.
 - i. Resistencia de tornillos de alta resistencia del grupo A, como por ejemplo los especificados por ASTM A325 y ASTM A490;
 - ii. Resistencia de tuercas y roldanas que cumplan con ASTM A563;
 - iii. El diseño de anclajes y conectores se hará de acuerdo con el inciso 5.6.6 de esta Guía.
- c) Mortero fluido sin contracción. Debe cumplir la norma ASTM C1107, con una resistencia a compresión mínima de 35 MPa (350 kg/cm²) y máxima de 55 MPa (550 kg/cm²) y un módulo de elasticidad 20 a 35 GPa (200 000 a 350 000 kg/cm²).
- d) Concreto de baja contracción. Cuando se emplee concreto de baja contracción para el marco de conexión en contraventeos dentro de la crujía, se usará concreto Clase 1 con aditivos para reducir su contracción.
- e) Soldaduras. Deberán satisfacer las especificaciones de las NTC-Acero o bien del AWS.



6.9.6.2 Contraventeos en el plano con conexión directa a estructura existente mediante placas

6.9.6.2.1 Contraventeo

- Sección transversal. Se deberán emplear contraventeos que tengan secciones con altos radios de giro, similares en ambas direcciones. Las secciones comúnmente utilizadas son tubular cuadrada o circular, y bien secciones H;
- Relación de esbeltez. El elemento de contraventeo debe tener una relación de esbeltez que cumpla con la condición de la ecuación 6.9.1

$$\frac{KL}{r} \leq 4 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (6.9.1)$$

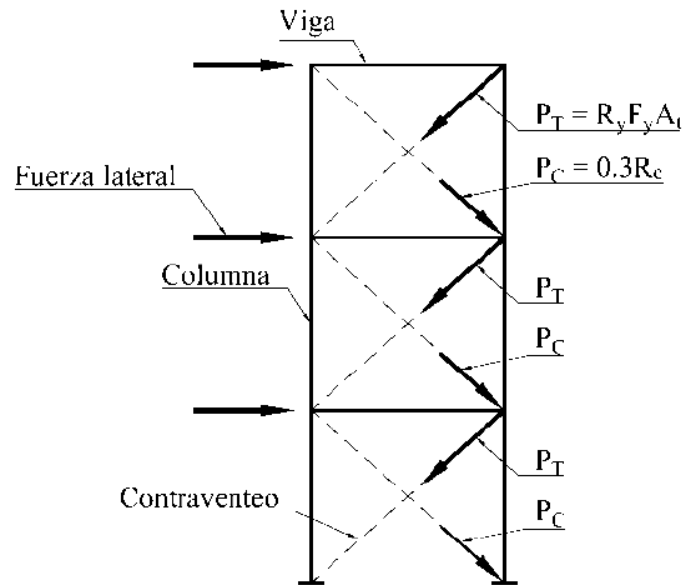
donde:

K	factor de longitud efectiva
L	longitud del contraventeo, mm
r	radio de giro mínimo de la sección, mm
E	módulo de elasticidad del acero estructural, MPa (kg/cm ²)

Esta relación de esbeltez resulta de 96 para aceros A572 Gr50 con un esfuerzo especificado de fluencia de 352 MPa $f_y = (3\ 520\ \text{kg/cm}^2)$.

Este límite pretende evitar que los contraventeos se pandeen elásticamente ante demandas cíclicas, y la consecuente diferencia entre las fuerzas a tensión y a compresión. En general, los contraventeos esbeltos acumulan deformaciones inelásticas en pocos ciclos de carga lo que genera ineficiencia del sistema.

- Fuerza axial máxima que aplican los contraventeos a columnas y vigas. Se deberán revisar las columnas y vigas existentes para las máximas fuerzas a tensión y a compresión que puedan desarrollar los contraventeos. A tensión, será la resistencia a tensión; a compresión será igual a la resistencia residual (figura 6.9.12).



donde:

- P carga axial máxima a compresión o a tensión, N (kg).
 R_y cociente del esfuerzo de fluencia esperado entre el mínimo especificado, ver tabla 12.1.1 de las NTC-Acero.
 F_y valor mínimo garantizado del esfuerzo correspondiente al límite inferior de fluencia del acero en tensión, MPa (kg/cm²)
 A_s área transversal de la sección del contraventeo, mm.
 R_c resistencia del contraventeo en compresión axial según el inciso 5.2.1 de las NTC-Acero, N (kg).

Figura 6.9.12 Fuerza máxima que producen los contraventeos a tensión y a compresión

- d) En caso de rehabilitar el inmueble con contraventeos en V y en V invertida, se deben satisfacer los requisitos siguientes:
- Si la estructura existente es de concreto, se deberán colocar vigas metálicas en las crujías, las cuales deberán estar conectadas con las vigas de concreto. Se deberá revisar que las vigas de concreto existentes y las vigas metálicas añadidas, en conjunto tengan la capacidad de resistir las acciones generadas por los contraventeos.
 - La viga metálica deberá resistir la componente vertical de la carga de las diagonales como se ilustra en la figura 6.9.13.

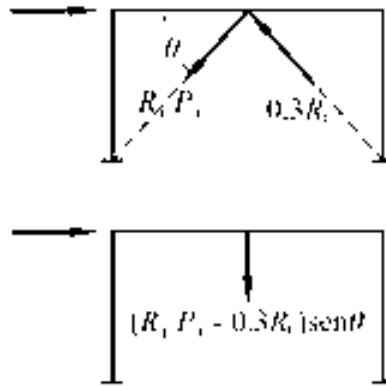


Figura 6.9.13 Fuerza máxima estimada que producen los contraventeos en “V” invertida

- c. Las columnas deberán resistir las acciones generadas por los contraventeos y vigas. Si las columnas existentes no tienen capacidad para resistir las nuevas acciones, se podrá considerar la adición de una columna metálica como se ilustra en la figura 6.9.14.

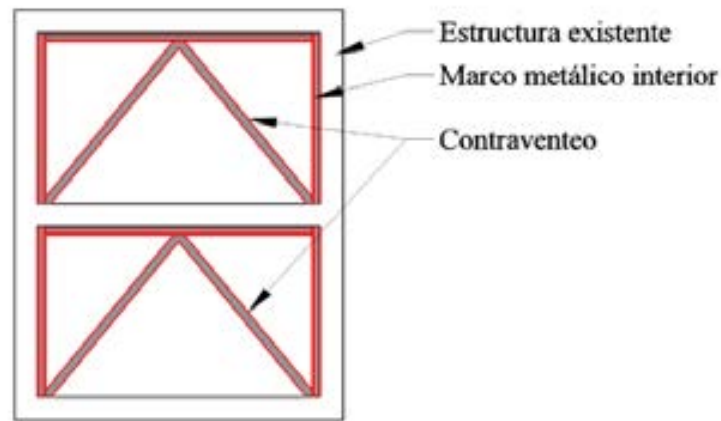


Figura 6.9.14 Contraventeos tipo V invertida con marco metálico conectado a un marco de concreto

- d. Resistencia de los contraventeos. La resistencia esperada a tensión, R_t , es $R_y F_y A_t$. La resistencia esperada en compresión, R_c , es igual a la menor de las cantidades $R_y F_y A_t$ y $1.14 F_n A_t$, donde f_n se calcula como se indica en el Capítulo 5 de las NTC-Acero, sustituyendo en las ecuaciones pertinentes F_y por $R_y F_y$. La resistencia posterior al pandeo, o resistencia residual, es, como máximo, igual a 0.3 veces la resistencia esperada del contraventeo comprimido.

6.9.6.2.2 Conexiones metálicas

- a) Placas de unión. Se deben minimizar las excentricidades si llegan a existir, se deben considerar en el análisis.

- b) Resistencia requerida. Las conexiones de los contraventeos tendrán una resistencia no menor que la más pequeña de (1) y (2):
- 1) La resistencia esperada en tensión del elemento de contraventeo igual a $R_y F_y A_t$.
 - 2) La fuerza máxima obtenida en el análisis, que puede ser transmitida al contraventeo.
- c) Resistencia a tensión. La resistencia de diseño a tensión de las conexiones de los elementos de contraventeo, basada en los estados límite de fractura en la sección neta (inciso 4.2b de las NTC-Acero) y de ruptura en bloque por cortante y tensión (inciso 10.4.3 de las NTC-Acero), será igual o mayor que la resistencia requerida determinada en el inciso 12.3.3.5.2a de las NTC-Acero.
- d) Resistencia a compresión. La resistencia de diseño a compresión de las conexiones de los elementos de contraventeo, basada en el estado límite de pandeo, será igual o mayor que la resistencia requerida a compresión definida en el inciso 12.3.3.5.2 de las NTC-Acero, tomando en cuenta en el cálculo de F_n , el esfuerzo de fluencia esperado, $R_y F_y$.
- e) Resistencia a flexión. La resistencia de diseño a flexión de la conexión en la dirección en que pandeará el contraventeo será igual o mayor que la resistencia requerida del contraventeo flexionado alrededor del eje de pandeo, multiplicada por 1.1, ($1.1 R_y M_p$).
- f) En el diseño de las placas de conexión deben considerarse sus posibles formas de pandeo.
- g) Su geometría debe cumplir el requisito indicado en la figura 6.9.15 tomada de las NTC-Acero. Esta geometría tiene como objetivo generar la plastificación de la placa en la dirección perpendicular y así disminuir la contribución de los contraventeos en dicha dirección.



Figura 6.9.15 Geometría requerida de la placa de conexión (NTC-Acero, 2017)

- h) No debe utilizarse una combinación de tornillos y soldaduras para resistir las fuerzas en la conexión. En caso de utilizar una conexión atornillada se deberá cumplir lo establecido en las NTC-Acero.
- i) Zonas protegidas y soldaduras de demanda crítica. Son zonas protegidas las siguientes:
- 1) El cuarto central de los contraventeos;
 - 2) Una zona de los contraventeos adyacente a cada conexión, de longitud igual a un peralte del contraventeo en esa zona;
 - 3) Los elementos que unen los contraventeos con vigas y columnas.

En el caso de contraventeos como técnica de rehabilitación se considerarán a las soldaduras en conexiones como críticas y deberán satisfacer los requisitos del inciso 12.1.6.2 de las NTC-Acero.

- j) Placas de conexión con estructura existente. Su dimensionamiento y tipo de acero deberán cumplir con las NTC-Acero.
- k) La unión de los contraventeos, vigas y columnas metálicas, así como, placas de conexión con la estructura existente se deberá hacer garantizando la continuidad. Para la unión de los elementos de acero a la estructura de concreto se pueden aplicar algunas de las siguientes técnicas:
 - 1) Placas y anclas que atraviesen el elemento de concreto (previa perforación) o bien colocados por la parte exterior del elemento de concreto;
 - 2) Anclajes de expansión o adhesivos diseñados e instalados de acuerdo con el inciso 5.6.6 de esta Guía.

En las NTC-Acero se definen todos los estados límite de resistencia que se deben verificar, así como especificaciones en cuanto a separaciones mínimas entre anclajes, así como al borde.

En las figuras 6.9.16 y 6.9.17 se ilustran ejemplos de conexión mediante conectores adheridos y conectores externos, respectivamente.

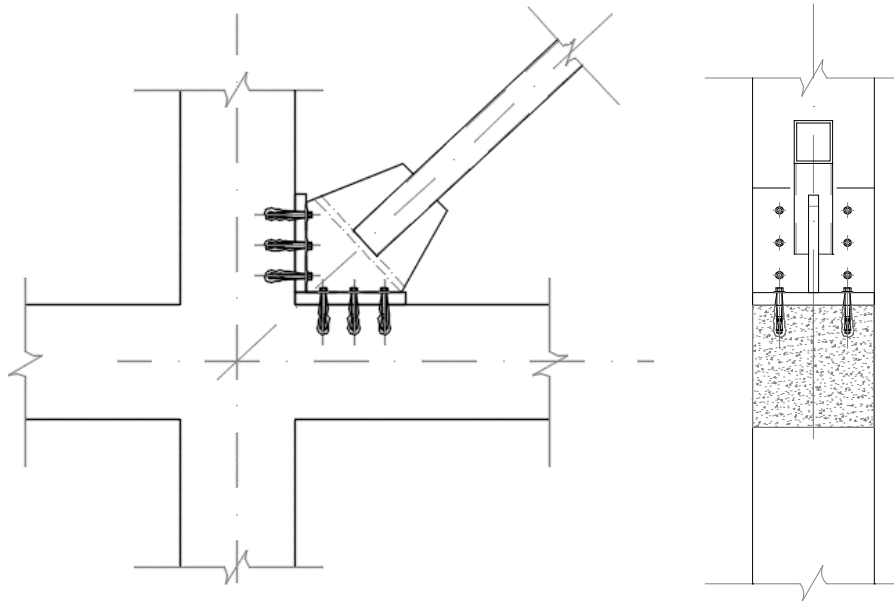


Figura 6.9.16 Conexión de contraventeo al interior de la crujía usando conectores adheridos

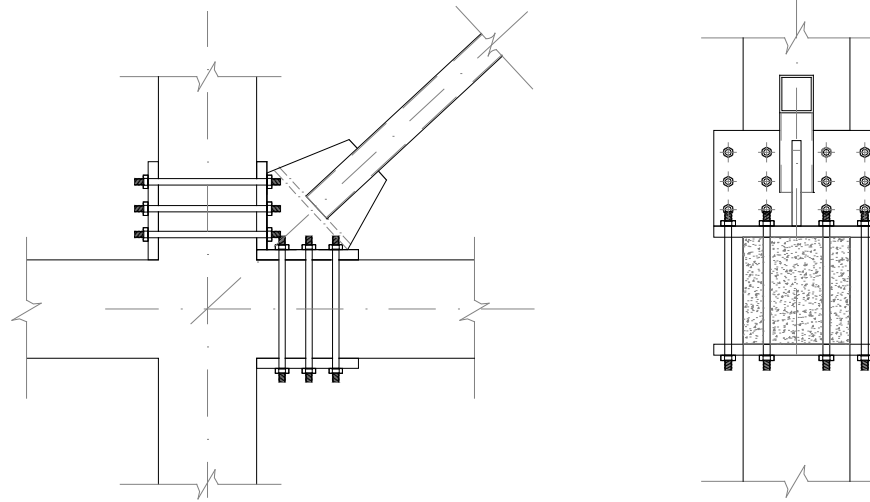


Figura 6.9.17 Conexión de contraventeo al interior de la crujía usando conectores exteriores

- 1) Si se instalan marcos metálicos contraventeados dentro de crujías de marcos resistentes a momento, el concreto del marco de conexión deberá ser de clase 1 de baja contracción con una resistencia mínima a la compresión de 25 MPa (250 kg/cm²) (figuras 6.9.18 y 6.9.19). El espesor del marco de conexión no debe ser mayor a 1.5 veces el peralte del perfil del marco perimetral de acero. El marco metálico se dimensionará de acuerdo con el inciso 6.9.6.3.3.2a de las NTC-Acero. Se pueden emplear perfiles de alma llena o tubulares. Se deben diseñar a fuerza cortante conectores tipo Nelson según el inciso 9.2.7.2.1, alternativamente, el inciso 9.3.7 de las NTC-Acero.

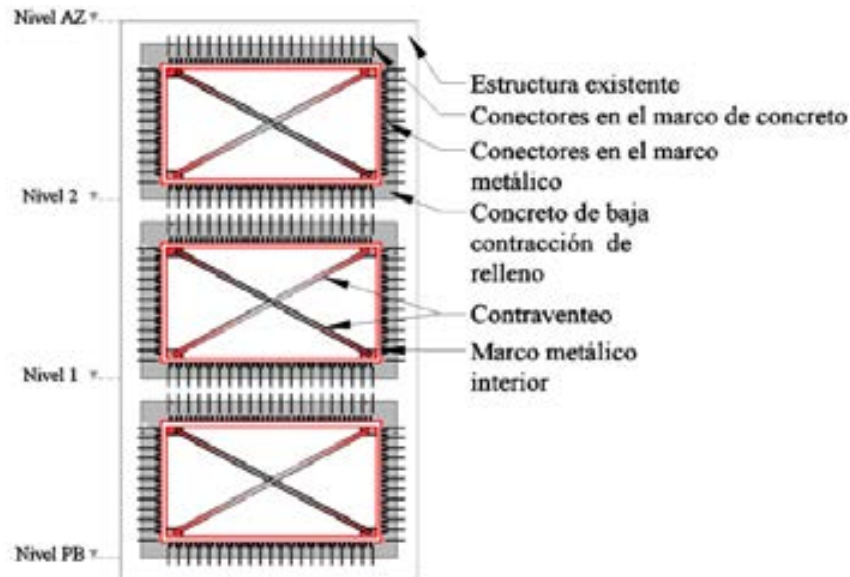


Figura 6.9.18 Vista frontal del marco de conexión con la estructura existente mediante concreto de baja contracción

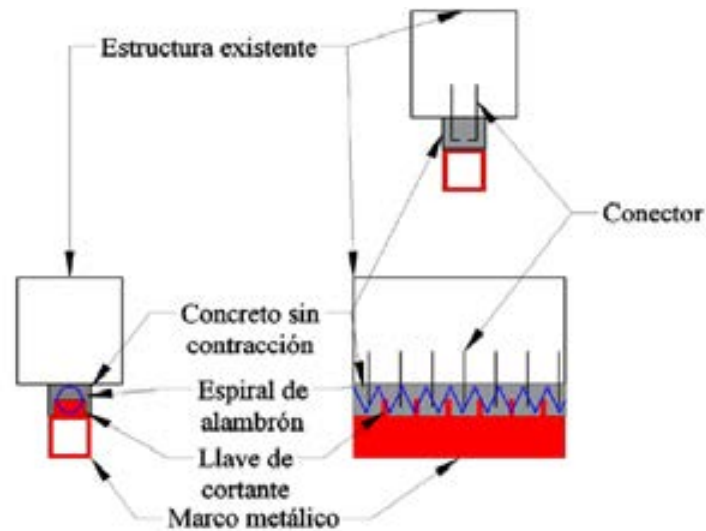


Figura 6.9.19 Corte longitudinal del marco de conexión con la estructura existente mediante concreto de baja contracción

6.9.6.3 Contraventeos externos o fuera del plano del marco existente

6.9.6.3.1 Geometría. Se podrán colocar contraventeos externos o fuera del plano, en forma de letra X, en diagonal o en forma de letra V o V invertida.

6.9.6.3.2 Contraventeos. Se dimensionarán según inciso 6.9.6.2.1 de esta Guía. Se recomienda que los contraventeos externos tengan una relación de esbeltez de KL/r menor o igual a 80

6.9.6.3.3 Conexión metálica

- a) Placas de conexión. Las placas de conexión se dimensionarán de acuerdo con el inciso 6.9.6.2.2 de esta Guía;
- b) Conectores de cortante. Se instalarán para resistir la componente horizontal de los contraventeos externos, como se muestra en la figura 6.9.20;

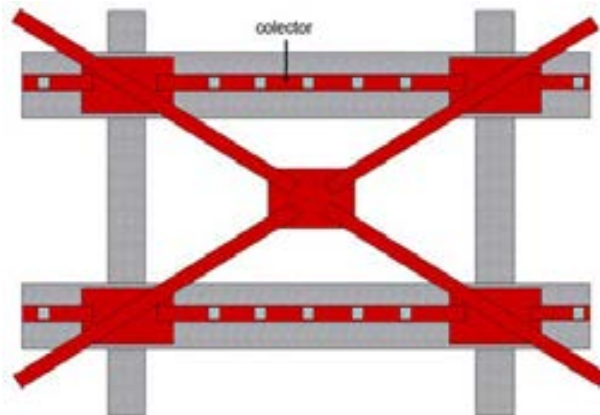


Figura 6.9.20 Colector horizontal para transmitir el cortante a la estructura original cuando se usan contraventeos externos

- c) Soldaduras. Para las conexiones mostradas anteriormente, se deben emplear soldaduras de demanda crítica (inciso 12.1.6.2 de las NTC-Acero);
- d) Anclaje. Los anclajes post-instalados deben cumplir con el inciso 5.6.6 de esta Guía.

6.9.7 Requisitos de construcción

El método constructivo consiste en los siguientes pasos:

- a) Demolición de firmes en planta baja y enladrillado, si es el caso.
- b) Si es necesario, excavación, colocación de concreto de la plantilla con una resistencia a compresión, f_c' de 10 MPa (100 kg/cm²), colocación de nuevo armado de viga de cimentación, colocación de concreto de la viga de cimentación.
- c) Colocación de pernos adheridos o de expansión para fijar placas de conexión entre la estructura original y el contraventeo
- d) En taller, corte, habilitado y soldadura de elementos metálicos de contraventeos.
- e) Colocación y soldadura de placas de conexión y contraventeos.
- f) Si se emplea la opción de contraventeo dentro de la crujía:
 - i. Habilitado y soldadura de marco metálico con dimensiones exteriores al menos 150 mm menores que las dimensiones libres de la crujía donde se instalará el marco de conexión de concreto. Colocación de pernos tipo Nelson en el perímetro del marco metálico.
 - ii. Escarificar con una profundidad de 6.4 mm (1/4 pulg) la superficie de los elementos de concreto existentes que estarán en contacto con el concreto del marco de conexión.
 - iii. Colocar anclas de acero elaboradas con barras corrugadas en el perímetro interno de la crujía.
 - iv. Posicionamiento del marco metálico y colocación del concreto de baja contracción en el marco de conexión. La cimbra se detallará para evitar que quede aire atrapado durante la colocación y compactación del concreto.
- g) Rellenos, resane, acabados y pintura.

6.9.8 Requisitos de supervisión y aseguramiento de la calidad

Se deberá revisar que:

- a) El diámetro y la profundidad del agujero para alojar anclas o conectores sean las especificadas en el proyecto ejecutivo, con las tolerancias establecidas por los fabricantes.
- b) Se limpie el agujero de polvo y residuos de la perforación para la correcta adhesión de la resina con el concreto existente.
- c) Cuando corresponda, rellenar el espacio anular entre el agujero de las placas y el conector con resina epóxica.
- d) Se cumpla con lo establecido en el Capítulo 13 de las NTC-Acero. Especialmente se debe garantizar que las soldaduras de penetración completa cumplan con los espesores y longitud de cordón requerido.
- e) En caso de colocar concreto o mortero fluido sin contracción, la cimbra permita la salida de aire y facilite la colocación del material.

6.9.9 Uso en la infraestructura escolar

La adición de contraventeo se ha usado en prototipos de acero y, en algunas ocasiones, en los prototipos de concreto. En el caso de los prototipos de concreto, ha sido crítica su conexión con los elementos de concreto a fin de asegurar un comportamiento monolítico.

Los marcos metálicos con contraventeos de 75 mm de sección transversal han sido soldados directamente a la estructura metálica con cordones de soldadura intermitente a lo largo de los elementos de acero como vigas y columnas (figura 6.9.21).



Figura 6.9.21 Escuela rehabilitada con contraventeos de acero tipo X (Ministerio de Educación, Cultura, Deporte, Ciencia y Tecnología de Japón, 2006)

En Japón, se han empleado los contraventeos en forma de letra V como se muestran en la figura 6.9.22.



Figura 6.9.22 Escuela rehabilitada con contraventeos de acero en forma de letra V (Ministerio de Educación, Cultura, Deporte, Ciencia y Tecnología de Japón, 2006)

6.10 Adición de contraventeos metálicos a base de cables postensados

6.10.1 Deficiencia por corregir

El diseño de la rehabilitación mediante la adición de contraventeos metálicos a base de cables postensados dependerá del modo de falla de la estructura existente que se haya identificado durante la evaluación estructural ante sismo.

Los edificios que pueden ser rehabilitados para mejorar su desempeño sísmico mediante la adición de contraventeos a base de cables postensados son:

- a) Edificios con columnas cuyo modo de falla está controlado por fuerza cortante y cuya falla puede afectar el desempeño sísmico de todo el edificio;
- b) Edificios a base de marcos resistentes a momento con insuficiente resistencia y/o rigidez lateral.

La adición de contraventeos a base de cables postensados permite:

- a) Incrementar la resistencia global de la estructura ante cargas laterales como las inducidas por sismo;
- b) Aumentar la rigidez lateral global de la estructura y, consecuentemente, disminuir las demandas de desplazamiento lateral.

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

Las demandas de resistencia, rigidez y capacidad de deformación inelástica para diseño serán las establecidas en las NTC-Sismo.



6.10.3 Descripción de la técnica

El contraventeo con cables postensados consiste en suministrar suficiente tensión a los cables para incrementar la rigidez y la resistencia lateral del edificio. Idóneamente, se aplica una magnitud de postensado que no requiera la rehabilitación de los elementos estructurales existentes, con excepción de una modificación local de la cimentación para anclar los cables y para resistir las acciones generadas por los cables. Esta técnica ofrece la ventaja de aprovechar la capacidad estructural existente, sin adicionar masa (o peso) significativamente. Usualmente esta técnica se aplica en edificios de hasta cuatro niveles.

6.10.4 Requisitos de análisis

- a) Factor de comportamiento sísmico. Se deberá cumplir con el inciso 4.3.3.8 de esta Guía.
- b) Las dimensiones de los cables de postensado se determinan de tal manera que la rigidez del sistema de refuerzo sea compatible con la de la estructura original para que ambos trabajen conjuntamente.
- c) Las conexiones se suponen que tienen un comportamiento monolítico y se diseñan de acuerdo con la geometría de los nudos de la estructura. Consiste en anclajes de cables de presfuerzo unidos a la estructura, mediante dispositivos especiales que pueden ser metálicos o de concreto construidos en el sitio. Las conexiones se construyen en la azotea y en la cimentación del edificio. Si el edificio tiene más de tres niveles, se coloca otro anclaje en el piso intermedio.

6.10.5 Requisitos de diseño

- a) Se deberán diseñar los apoyos de los cables postensados para que puedan transmitir las fuerzas a la estructura existente;
- b) Los apoyos (o atraques) se detallarán con refuerzo transversal (perpendicular al eje del cable) para confinar el concreto de acuerdo con el inciso 11.7.5 de las NTC-Concreto;
- c) Se aceptará el uso del método de puntales y tensores para el diseño de estas zonas (Apéndice B de las NTC-Concreto);
- d) Se revisará la resistencia a flexocompresión de las columnas para soportar las componentes verticales del presfuerzo con las cargas totales del análisis.

6.10.6 Requisitos de construcción

El método constructivo consiste en los siguientes pasos:

- a) Demolición de firmes en planta baja y enladrillado en azotea
- b) Excavación.
- c) Martelinado de las superficies de contacto.
- d) Localización del acero existente.
- e) Perforaciones para pasos de anclas.
- f) Perforaciones para paso de cables.



- g) Rehabilitación de columnas, si es necesario, mediante encamisado de concreto, de acero o de CPRF.
- h) Apuntalamiento.
- i) Perforaciones en la losa para la colocación de concreto de atraques superiores e intermedios.
- j) Corte, habilitado y colocación de anclas, conectores y acero de refuerzo en atraques superiores e inferiores.
- k) Corte y colocación de placas y ductos y engargolado.
- l) Cimbrado y colocación de concreto de atraques superiores e inferiores.
- m) Corte, habilitado y colocación de anclas, conectores y acero de refuerzo en atraques intermedios, si es el caso.
- n) Fijación de placas a los espaciadores en atraques intermedios, si es el caso.
- o) Cimbrado y colocación de concreto de atraques intermedios, si es el caso.
- p) Tensado de tendones.
- q) Inyectado de concreto al tubo de PVC.
- r) Resane de perforaciones para paso de los tendones.
- s) Rellenos, resane, acabados y pintura.

6.10.7 Requisitos de supervisión y aseguramiento de la calidad

Se deberá revisar que:

- a) Se debe revisar que toda la superficie de concreto se escarifique hasta alcanzar una rugosidad como la especificada en los planos de construcción
- b) El diámetro y la profundidad del agujero para alojar anclas o conectores sean las especificadas en el proyecto ejecutivo, con las tolerancias establecidas por los fabricantes.
- c) Se limpie el agujero de polvo y residuos de la perforación para la correcta adhesión de la resina con el concreto existente.
- d) Cuando corresponda, rellenar el espacio anular entre el agujero de las placas y el conector con resina epóxica.
- e) Se cumpla con lo establecido en el Capítulo 13 de las NTC-Acero. Especialmente se debe garantizar que las soldaduras de penetración completa cumplan con los espesores y longitud de cordón requerido.
- f) En caso de colocar concreto o mortero fluido sin contracción, la cimbra permita la salida de aire y facilite la colocación del material.

6.10.8 Uso en la infraestructura escolar

Esta técnica se ha usado para rehabilitar escuelas urbanas de concreto de hasta cuatro niveles. Después del sismo de 1985 se rehabilitaron 102 edificios (figura 6.10.1).



Figura 6.10.1 Rehabilitación a base de cables postensados (CAPFCE, 1986)

6.11 Sustitución o adición de muros diafragma de mampostería

6.11.1 Deficiencia por corregir

La decisión de sustituir muros diafragma de mampostería dañados o con resistencia insuficiente, así como de añadir muros diafragma de mampostería, dependerá del modo de falla de la estructura existente que se haya identificado como resultado de la evaluación sísmica.

Los edificios que se pueden rehabilitar mediante la sustitución y/o adición de muros diafragma de mampostería son:

- a) Edificios a base de marcos resistentes a momento, de concreto o acero, con rigidez y/o resistencia lateral insuficientes;
- b) Edificios a base de marcos resistentes a momento, de concreto o de acero, cuya falla está controlada por fuerza cortante en las columnas;
- c) Edificios a base de marcos resistentes a momento con excentricidades en la distribución de rigideces en planta.

Con la sustitución y/o adición de muros diafragma de mampostería se logra:

- a) Incrementar la rigidez lateral del marco de concreto o de acero;
- b) Aumentar la resistencia lateral global de la estructura;
- c) Evitar la falla por cortante de columnas existentes con dimensiones y cuantías de refuerzo insuficientes;
- d) Reducir daños estructurales y no estructurales al limitarse las distorsiones laterales.

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

Las demandas de resistencia, rigidez y capacidad de deformación inelástica para diseño serán las establecidas en las NTC-Sismo. En escuelas, como las que se construyeron siguiendo los prototipos de CAPFCE o INIFED, es frecuente el uso de esta técnica en la dirección perpendicular al corredor del edificio. Los muros diafragma se aprovechan para separar los salones de clase. Será necesario

revisar la capacidad de la cimentación y del suelo, en especial si los muros diafragma son nuevos en la estructura.

6.11.3 Descripción de la técnica

Consiste en la sustitución de muros de mampostería de relleno dañados o débiles y/o en la adición de muros diafragma, construidos en contacto en toda la altura de las columnas laterales y en toda la longitud de la viga superior. A diferencia de los muros de carga que resisten cargas verticales y laterales, los muros diafragma únicamente resisten cargas laterales. Puesto que las vigas y columnas de los marcos usualmente se deforman por flexión y los muros diafragma se deforman por cortante, la interacción marco-muro diafragma ocurre en las esquinas del muro en contacto con el marco (figura 6.11.1). Esta interacción produce una concentración de fuerzas cortantes en los extremos de las vigas y columnas, para las cuales se deben revisar y, en su caso, reforzar.

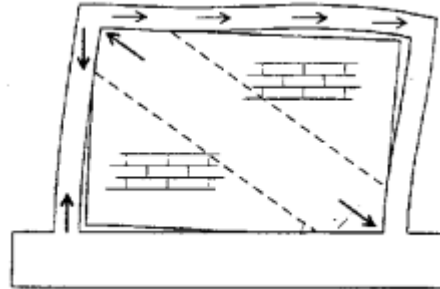


Figura 6.11.1 Deformación de marco y muro diafragma (Crisafulli, 1997)

Los muros diafragma de mampostería deben ser de mampostería confinada (con o sin refuerzo horizontal, o con o sin malla de alambre soldado). En los casos en que se usen mallas de alambre soldado, se debe cumplir con lo establecido en la sección 6.7 de esta Guía. En ningún caso se aceptará colocar muros diafragma de mampostería simple (sin castillos ni dalas) o reforzada interiormente.

Los castillos y dalas externos deberán estar anclados al marco existente por medio de anclas o conectores ahogados en resina (en caso de marcos de concreto) o soldados (si el marco es de acero). En ocasiones, es necesario construir nuevas zapatas corridas o bien agrandar las existentes, así como encamisar contratrabes existentes, para resistir las nuevas cargas verticales, por el peso de los muros, y el cortante que se transmite a la cimentación.

En caso de que el marco sea metálico, se deberá prestar atención a la unión con los elementos de confinamiento del muro diafragma. Se deberá verificar que el mecanismo de transferencia de cortante entre el marco metálico y los elementos de confinamiento sea suficiente para mantener en contacto las esquinas del muro diafragma con las columnas y vigas del marco. En la figura 6.11.2 se muestra el detalle de la conexión del muro diafragma confinado al marco metálico mediante ángulos de acero estructural, sin embargo, es dudoso que el concreto quede bien colocado debajo el ángulo, por lo que en su lugar se propone el uso de barras con tuerca o pernos tipo Nelson.

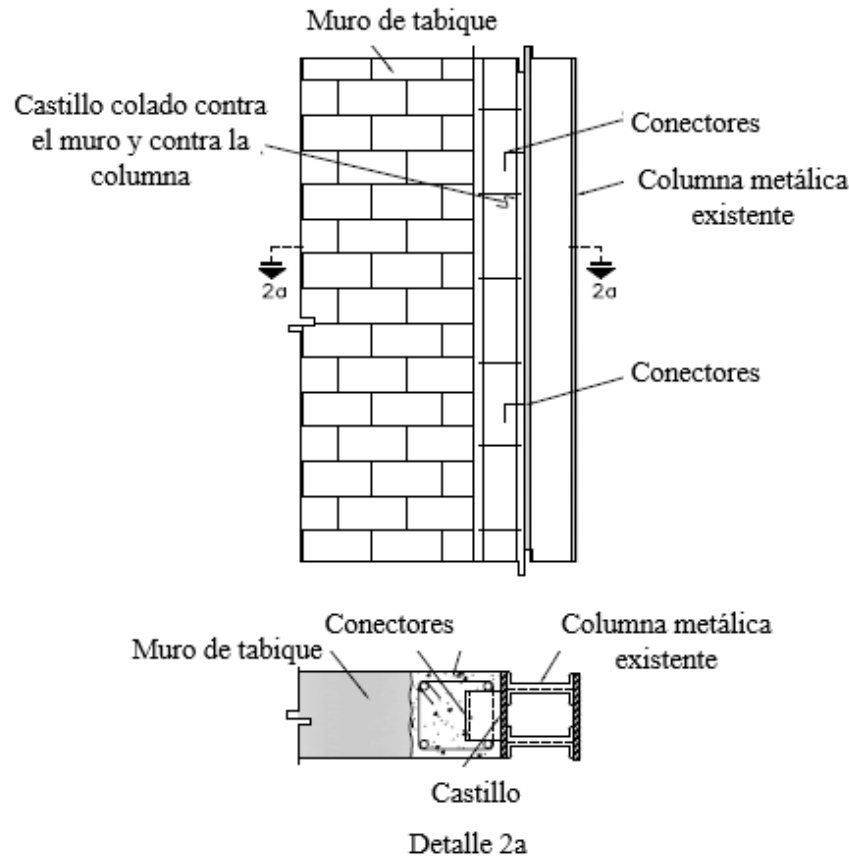


Figura 6.11.2 Detalle de conexión de muro diafragma al marco metálico mediante ángulos (INIFED, 2017)

6.11.4 Requisitos de análisis

- Factor de comportamiento sísmico. Se cumplirá con el inciso 4.3.3.8 de esta Guía. Se analizará la estructura con un factor de comportamiento sísmico $Q=2$ si se emplean piezas macizas. Si se usan piezas huecas se usará $Q=1.5$. Si se usan piezas huecas con al menos la cuantía mínima de refuerzo horizontal según las NTC-Mampostería, se aceptará usar $Q=2$.
- Carga axial. Se considerará que la carga axial en el muro diafragma es nula; se podrá considerar su peso propio. Se supone que la carga vertical del edificio es resistida por las columnas de la estructura existente;
- Comportamiento monolítico. Se supondrá que existe un adecuado mecanismo de transmisión de esfuerzos entre el muro diafragma y la estructura existente, de modo que el comportamiento sea monolítico;
- Factor de rigidez relativa para análisis lineal. Se usará un factor de rigidez efectiva para la estructura original si es de concreto, según el inciso 3.2.1 de las NTC - Concreto. Para el muro diafragma, se usará un factor de rigidez efectiva de 0.5 para ser aplicado al módulo de rigidez a cortante del muro.



6.11.5 Requisitos de diseño

6.11.5.1 Alcances y requisitos generales

- a) Se cumplirán los requisitos de las NTC-Mampostería, con las siguientes precisiones o excepciones:
 - i. Se satisfarán los requisitos del Capítulo 4 de las NTC-Mampostería;
 - ii. Sólo se aceptarán muros diafragma con elementos de confinamiento, detallados y construidos según el Capítulo 5 de las NTC-Mampostería;
 - iii. Para el cumplimiento del inciso 4.1.a, se considerarán a los edificios escolares como estructuras Tipo II, según la definición de la sección 1.5 de las NTC-Mampostería;
 - iv. Separación de castillos. La separación de los castillos deberá satisfacer el inciso 5.1.1.a;
 - v. Detallado y anclaje. Se deberán cumplir los requisitos de la sección 3.4 de las NTC-Mampostería sobre el detallado y anclaje del refuerzo longitudinal y transversal de castillos y dalas;
 - vi. Dimensiones y cuantías mínimas de refuerzo de elementos confinantes. Las dimensiones y cuantías mínimas de refuerzos longitudinal y transversal de castillos y dalas satisfarán los incisos 5.1.1 y 5.1.2 de NTC-Mampostería;
 - vii. Resistencia del concreto. La resistencia del concreto de los castillos y dalas no será menor que 25 MPa (250 kg/cm^2), ni menor que la resistencia de la estructura existente;
 - viii. Tamaño máximo de agregado. El tamaño nominal máximo de los agregados no debe ser mayor que un quinto de la menor distancia horizontal entre caras de los moldes, ni dos tercios de la separación horizontal libre mínima entre barras.
 - ix. Mortero. Se usará mortero tipo I para pegar las piezas de mampostería.
- b) Se diseñará un mecanismo de transferencia de cortante entre el muro diafragma y el marco existente.
 - i. Si el marco es de concreto, se aceptará que el cortante de diseño del muro diafragma (inciso 4.1.b de las NTC-Mampostería), sea resistido por barras corrugadas de acero ahogadas en resina epóxica (anclas). Las anclas serán diseñadas de acuerdo con la sección 6.3 de esta Guía. Las anclas deberán rematarse con ganchos a 90 grados dentro del castillo o dala;
 - ii. Si el marco es de acero, se aceptará que el cortante de diseño del muro diafragma (inciso 4.1.b de las NTC-Mampostería), sea resistido por medio de conectores tipo Nelson o barras con tuercas soldados a la columna y vigas. Estos conectores se diseñarán de acuerdo con la sección 10.7 de las NTC-Acero. Si se opta por usar barras soldadas al marco con tuercas, el diámetro de éstas será dos veces el de aquellas.

6.11.6 Requisitos de construcción

El método constructivo consiste en los siguientes pasos:

- a) Demolición del muro diafragma dañado o inadecuado;



- b) Reforzamiento, si se requiere, de la cimentación existente; en algunos casos, se requiere construir nuevos elementos estructurales. Se debe dejar la preparación para anclar el refuerzo longitudinal de los castillos;
- c) Si no se requiere reforzar la cimentación, excavación para anclar el refuerzo longitudinal de los castillos extremos e intermedios (si se requieren);
- d) Construcción del muro diafragma de mampostería;
- e) Colocación de anclas (en caso de marcos de concreto) o de conectores tipo Nelson o barras con tuercas (en caso de marcos metálicos);
- f) Habilitación del armado longitudinal y transversal de castillos y dala. Preparación de la cimentación, generalmente en forma de caja, para anclar el refuerzo longitudinal de los castillos en la cimentación. Colocación y compactación del concreto de la cimentación;
- g) Habilitación y lubricación de cimbra;
- h) Colocación y compactación del concreto de castillos, usando concreto clase 1, con aditivo estabilizador de volumen y, de ser necesario, con aditivos fluidificantes;
- i) Colocación y compactación del concreto de la dala, usando concreto clase 1, con aditivo estabilizador de volumen y, de ser necesario, con aditivos fluidificantes. Se acepta el uso de cimbras especiales con resbaladilla, para facilitar la colocación del concreto (ver figura 6.8.10). Se acepta el empleo de mortero fluido sin contracción, con resistencia al menos igual a la del marco de concreto o de 30 MPa (300 kg/cm²) para los últimos 25 mm en contacto con la viga;
- j) Rellenos, resane, acabados y pintura, si es el caso.

6.11.7 Requisitos de supervisión y aseguramiento de la calidad

Se debe supervisar que:

- a) Si se requiere, se refuerce la cimentación según lo señalado en los planos;
- b) El refuerzo longitudinal de los castillos esté adecuadamente anclado en la cimentación y como lo indican los planos;
- c) Las anclas o conectores entre el muro diafragma y las columnas y viga se coloquen de conformidad con el proceso constructivo;
- d) El concreto tenga el revenimiento suficiente para colocar el concreto evitando oquedades por aire atrapado en la cimbra;
- e) De usarse, el mortero fluido sin contracción tenga una resistencia al menos igual a 30 MPa (300 kg/cm²) o 5 MPa (50 kg/cm²) superior a la del marco existente, la que resulte mayor. Se aceptará el uso de un aditivo expansor con una dosificación correspondiente a la mitad de la especificada por el fabricante.

6.11.8 Uso en la infraestructura escolar

Esta técnica de rehabilitación se ha usado en prototipos a base de marcos rígidos de concreto (U1-C, U2-C, U3-C) y metálicos (U1, U2, U3 y A-70) (figura 6.11.3).



Figura 6.11.3 Escuela rehabilitada mediante la sustitución de muros diafragma de mampostería confinada

6.12 Separación y recorte de pretilas en marcos de concreto o acero

6.12.1 Deficiencia por corregir

La necesidad de separar y/o recortar los pretilas construidos en contacto con o a una baja separación de las columnas de marcos de concreto o acero dependerá del modo de falla de la estructura existente que se haya identificado como resultado de la evaluación estructural ante sismo.

Los edificios que se pueden rehabilitar mediante la separación y recorte de pretilas o muros bajo ventana son:

- a) Edificios a base de marcos resistentes a momento de concreto o de acero, con pretilas.

Con el recorte y separación de los pretilas se logra:

- a) Permitir el desplazamiento lateral de las columnas, de concreto o acero, del marco;
- b) Evitar el modo de falla como columna corta de columnas de concreto, caracterizado por agrietamiento por cortante, pérdida de la capacidad lateral e, incluso, de la capacidad para resistir cargas verticales;
- c) Evitar el modo de falla como columna corta de columnas de acero, caracterizado por pandeo del alma y ruptura de soldaduras que conduce a la pérdida de la capacidad lateral e, incluso, de la capacidad para resistir cargas verticales.

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

Las demandas de resistencia, rigidez y capacidad de deformación inelástica para diseño serán las establecidas en las NTC-Sismo. En caso de que la estructura existente no cuente con la resistencia



y/o rigidez lateral requeridas tras la evaluación, la estructura tendrá que rehabilitarse con alguna de las técnicas ya descritas. Se podrán usar las siguientes, solas o combinadas:

- a) Encamisado de columnas con concreto (ver sección 6.4 de esta Guía);
- b) Encamisado de columnas con acero (ver sección 6.5 de esta Guía);
- c) Encamisado de columnas con CPRF (ver sección 6.6 de esta Guía);
- d) Adición de muros de concreto (ver sección 6.8 de esta Guía);
- e) Adición de contraventeos (ver sección 6.9 de esta Guía);
- f) Adición de contraventeos a base de cables postensados (ver sección 6.10 de esta Guía).

6.12.3 Descripción de la técnica

Consiste en la separación de muros cortos bajo la ventana (pretil) que están en contacto con las columnas de un marco, de concreto o de acero, o bien que están separados de ellas menos de la distancia requerida según los requisitos de las NTC-Sismo. Si el muro es de mampostería, éste será recortado vertical y horizontalmente para poder construir castillos y dalas en sus extremos laterales y en la parte superior. Se permite recortar la altura del muro si la construcción de la dala afecta el funcionamiento del edificio, en especial, su iluminación y su ventilación.

Si el muro es de concreto, igualmente se demolerán los extremos para alojar refuerzo vertical y transversal, en forma de un castillo.

El propósito del refuerzo vertical y transversal de los castillos es dotar al pretil de suficiente resistencia y rigidez fuera de plano y, así, evitar su volcamiento. El refuerzo longitudinal de los castillos se deberá anclar en la cimentación o losa.

6.12.4 Consideraciones de análisis

- a) No será necesario analizar los pretils para acciones fuera de plano si se cumplen los requisitos de diseño siguientes.

6.12.5 Requisitos de diseño

Será necesario separar y recortar un pretil en contacto con o separado de la columna menos de la distancia requerida calculada según los requisitos de las NTC-Sismo y/o si la altura del pretil es superior a la cuarta parte de la altura de la columna.

Adicionalmente, se deberá cumplir con a) a b):

- a) Separación libre. La separación libre del pretil recortado, incluyendo los nuevos castillos y refuerzo en sus extremos laterales, con respecto a la columna del marco, será mayor o igual que la distancia requerida calculada según los requisitos de las NTC-Sismo. La separación calculada se indicará en los planos de construcción;
- b) Acero de refuerzo de elementos confinantes del pretil. Para el diseño y detallado del refuerzo longitudinal y transversal de castillos y dalas en pretils de mampostería recortados, se



aplicará lo requerido en las NTC-Mampostería. En particular, se deberán cumplir los requisitos de:

- i. La sección 3.4 sobre el detallado del refuerzo;
 - ii. Los incisos 5.1.1 y 5.1.2, según aplique, sobre las dimensiones y cuantías mínimas de refuerzos longitudinal y transversal de castillos y dalas, suponiendo que el pretil es una estructura tipo I, según la definición de la sección 1.5 de las NTC-Mampostería.
- c) Para el refuerzo vertical y horizontal de pretil de concreto, se tratará el muro como si fuera de mampostería y se aplicará lo requerido en el inciso anterior.
- d) Resistencia del concreto. La resistencia del concreto de los castillos y dalas no será menor de 25 MPa (250 kg/cm^2), ni menor que la resistencia de la estructura existente.

6.12.6 Requisitos de construcción

El método constructivo consiste en los siguientes pasos:

- a) Retiro de la cancelería y vidrios;
- b) Demolición del o de los extremos del pretil. Dejar extremos con rugosidad mínima equivalente al dentado, en pretil de mampostería, o de 6.4 mm (1/4 pulg), en todo el extremo de pretil de concreto;
- c) Excavación y preparación de una caja en el cimiento existente para alojar el nuevo refuerzo longitudinal;
- d) Armado del refuerzo de castillos y dalas y anclaje en la cimentación;
- e) Habilitación y lubricación de cimbra;
- f) Colocación del concreto en los castillos o en el pretil de concreto recortado en una capa, a menos que el castillo o pretil tenga más de 150 mm de altura, y compactar de conformidad con las NTC-Concreto;
- g) Colocar el concreto de la dala, si se requiere, y compactar de conformidad con las NTC-Concreto;
- h) Colocar el material de relleno de la junta;
- i) Resanes, acabados y pintura, según corresponda.

6.12.7 Requisitos de supervisión y aseguramiento de la calidad

Se debe supervisar que:

- a) El refuerzo longitudinal del castillo se ancle en los cimientos o losas como lo indican los planos;
- b) La separación entre la columna y el nuevo castillo sea mayor o igual que lo especificado en los planos;
- c) Se coloque la junta flexible entre columna y pretil rehabilitado.

6.12.8 Uso en la infraestructura escolar

Esta técnica de rehabilitación se ha usado en prototipos a base de marcos rígidos de concreto (U1-C, U2-C, U3-C) y metálicos (U1, U2, U3 y A-70) (figura 6.12.1).



Figura 6.12.1 Escuela rehabilitada con encamisado de columnas de concreto, en la cual se han desligado los pretilas

6.13 Sistemas de protección pasiva

6.13.1 Deficiencia por corregir

La decisión de colocar disipadores de energía sísmica dependerá del modo de falla de la estructura existente que se haya identificado como resultado de la evaluación estructural ante sismos y del Objetivo de la Rehabilitación.

Los edificios que se pueden rehabilitar mediante la colocación de disipadores de energía sísmica son:

- a) Edificios a base de marcos resistentes a momento, de concreto o acero, con rigidez y/o resistencia lateral insuficientes;
- b) Edificios a base de marcos resistentes a momento, de concreto o de acero, cuya falla está controlada por fuerza cortante en las columnas;
- c) Edificios a base de marcos resistentes a momento con excentricidades en la distribución de rigideces en planta.

Con la adición de disipadores de energía sísmica se logra:

- a) Elevar el amortiguamiento de la estructura, lo que reduce su respuesta sísmica;



- b) Dotar a la estructura de suficiente rigidez y resistencia para satisfacer las demandas normativas;
- c) Evitar la falla por cortante de columnas existentes con dimensiones y cuantías de refuerzo insuficientes -frecuentemente acompañando al uso de disipadores de energía sísmica con el encamisado de las columnas existentes para mejorar su capacidad de desplazamiento lateral y/o su resistencia a fuerza cortante-;
- d) Reducir daños estructurales y no estructurales ya que se limitan las distorsiones laterales.

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

Las demandas de resistencia, rigidez y capacidad de deformación inelástica para diseño serán las establecidas en las NTC-Sismo. Será necesario revisar la capacidad de la cimentación y del suelo, tanto en términos de resistencia como de deformabilidad.

6.13.3 Descripción de la técnica

Consiste en la colocación de disipadores de energía sísmica, como sistema secundario, con objeto de reducir la respuesta sísmica del edificio. En la mayoría de los casos, los disipadores de energía sísmica están conectados a contraventeos metálicos. Dichos elementos deben permanecer dentro de su intervalo de comportamiento elástico ante fuerzas asociadas al estado límite de seguridad contra colapso.

De acuerdo con el Apéndice B de las NTC-Sismo, los disipadores de energía sísmica se clasifican como sigue:

- a) Elementos en los que la disipación de energía depende principalmente del desplazamiento relativo entre sus extremos. A este tipo de dispositivos se les llama aquí disipadores histeréticos. Incluyen tanto disipadores de fricción como los constituidos por materiales que desarrollan deformación plástica;
- b) Elementos en los que la disipación de energía depende principalmente de la velocidad (aunque pueden depender, en menor medida, del desplazamiento relativo entre sus extremos; por ejemplo, los disipadores viscoelásticos).

6.13.4 Requisitos de análisis

Los edificios rehabilitados mediante la adición de contraventeos metálicos y disipadores de energía sísmica se analizarán de conformidad con el Capítulo 3 y el Apéndice B de las NTC-Sismo.

6.13.5 Requisitos de diseño

- a) Se cumplirán los requisitos de las NTC-Sismo para el diseño del sistema secundario (inciso B.1.2);
- b) Se deberán satisfacer los requisitos para diseño de contraventeos metálicos de la sección 6.9 de esta Guía.



6.13.6 Requisitos de construcción

El método constructivo consiste en los siguientes pasos:

- a) Adición de contraventeos metálicos. Ver las consideraciones de construcción de la sección 6.9 de esta Guía;
- b) Instalación, alineamiento y conexión de disipadores de energía siguiendo las instrucciones del fabricante;
- c) Rellenos, resane, acabados y pintura, si es el caso.

6.13.7 Requisitos de supervisión y aseguramiento de la calidad

Se debe supervisar que:

- a) Se cumplan con las consideraciones de supervisión y aseguramiento de la calidad para nuevos contraventeos metálicos incluidos en sección 6.9 de esta Guía;
- b) Los disipadores de energía satisfagan las pruebas, en su caso, control de calidad y los criterios de aceptación del Apéndice B de las NTC-Sismo.

6.14 Rehabilitación de la cimentación

6.14.1 General

En esta sección se describen, de modo breve, las distintas opciones disponibles para rehabilitar los elementos estructurales de la cimentación, así como para recimentar y/o renivelar un edificio escolar.

Puesto que las estructuras de los edificios escolares son relativamente bajas, sus cimentaciones son, generalmente, superficiales. Éstas pueden estar resueltas con zapatas corridas, de concreto o de piedra brasa, con losas de concreto con contratraves de rigidez o con cajones de cimentación desplantados a profundidades someras. En algunos casos se encuentran cimentadas con pilotes, ya sea de punta, fricción o de fricción con control.

6.14.2 Deficiencias por corregir

La rehabilitación de la cimentación se determinará a partir del modo de falla de la estructura existente que se haya identificado durante la evaluación estructural.

Los edificios que deben ser rehabilitados en su cimentación son:

- a) Edificios cuya rehabilitación de la estructura demandará mayores acciones (fuerzas y momentos) internas que las que pueden resistir los elementos estructurales de la cimentación ante los estados límite de servicio y falla;
- b) Edificios que experimentaron daños moderados o severos en los elementos estructurales de la cimentación;

- c) Edificios cuya inclinación es superior al límite establecido en el Reglamento y sus Normas y que requiere ser recimentado y/o renivelado.

En la figura 6.14.1 se presenta un diagrama de flujo que ilustra cuándo recimentar una estructura y cuándo recimentar y renivelarla, simultáneamente. Se requerirá recimentarla si la estructura rehabilitada estará sometida a acciones interna superiores a las de diseño y/o cuando los elementos estructurales de la cimentación estén dañados. Adicionalmente será necesario renivelarla, si la inclinación del edificio excede los límites establecidos en el Reglamento y sus Normas.

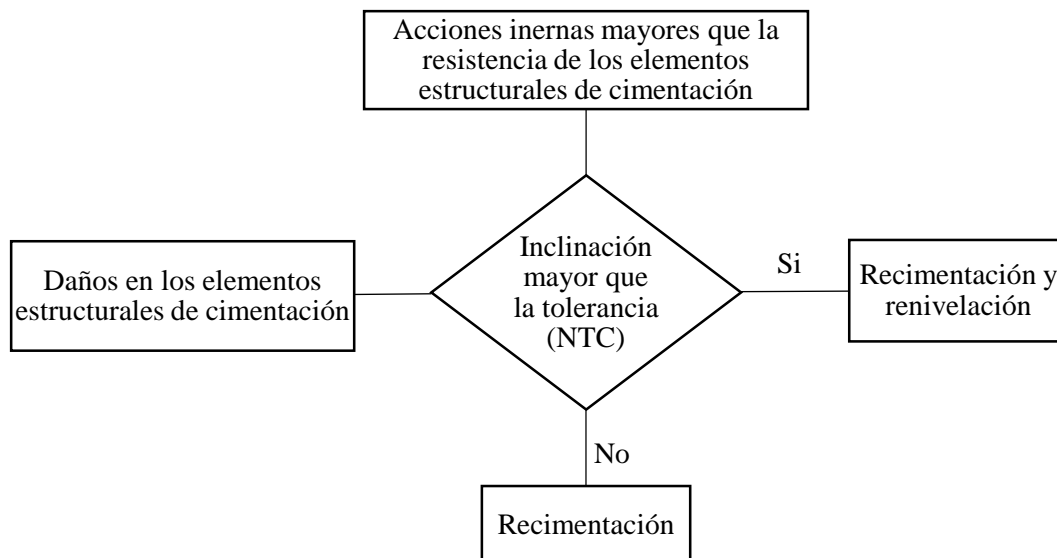


Figura 6.14.1 Diagrama de flujo sobre la recimentación y renivelación

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

Las demandas de resistencia, rigidez y capacidad de deformación inelástica para diseño serán las establecidas en las NTC-Sismo.

Se aceptará revisar los elementos estructurales de la cimentación para fuerzas y momentos internos calculados usando un factor de comportamiento sísmico $Q=2$.

6.14.4 Investigación del subsuelo

- a) Se deberá investigar el subsuelo según los requisitos del Capítulo 2 de los NTC-Cimentaciones:
- Investigación de colindancias. Para definir el tipo y las condiciones de cimentación de las estructuras colindantes, así como las características de las instalaciones



subterráneas cercanas para verificar que no haya interferencia entre estas estructuras y los trabajos de rehabilitación;

- ii. Reconocimiento del sitio. Para establecer preliminarmente en cuál de las tres zonas geotécnicas se localiza el proyecto de rehabilitación: zona I (lomas), II (transición) o III (lacustre) con apoyo de la figura 2.2.1 de las NTC-Cimentaciones. Con esta información se podrá programar la exploración geotécnica de campo y laboratorio para determinar las características estratigráficas y el comportamiento del subsuelo. La información recopilada deberá aclarar la secuencia estratigráfica, los parámetros mecánicos y las condiciones piezométricas.
 - iii. Número y profundidad de los sondeos. Se establecerá el número mínimo de sondeos que se deben realizar en cada caso el cual es función del perímetro de la superficie cubierta por la construcción; la profundidad de los sondeos que dependerá del ancho del área cargada, de las características del suelo y del nivel del estrato incompresible. Asimismo, se tomará en cuenta si el proyecto consta de varias estructuras desligadas para hacer un análisis de asentamientos del conjunto, lo que demandará profundizar la exploración.
- b) La exploración geotécnica se hará como se indica en la tabla 6.14.1. En la figura 6.14.2 se muestra la correlación entre la resistencia de cono, q_c , y el módulo de compresibilidad, m_v , para suelo del sector oriente de la zona Lacustre. En las tabla 6.14.2 se muestran la estratigrafía y las propiedades del sector oriente de la zona Lacustre; en la tabla 6.14.3 las del sector no colonial desarrollada a partir de 1900, y en la tabla 6.14.4 las de la antigua traza de la Ciudad (COVITUR,1987).



Tabla 16.4.1 Requisitos para la exploración geotécnica en la Ciudad de México

Zona	No. Sondeos	Profundidad	Tipo de sondeos	Observaciones	No. muestras	
I Lomas	Perímetro/80 Deberán ser suficientes para verificar las variaciones de la estratigrafía	1B o se profundiza si hay rellenos o estratos compresibles	Directos:	Se determinará la presencia de rellenos sueltos, minas, oquedades; así como la estratigrafía y propiedades de los materiales	1 de cada estrato	
			PCA	Se obtienen muestras inalteradas y se observa directamente el perfil estratigráfico		
			SPT	Se recuperan muestras alteradas de manera continua y se determina la consistencia y compacidad de los estratos (SPT)		
			Pruebas in situ	Ficómetro, presiómetro		
			Indirectos: Geofísica	Sirven de complemento a la exploración directa		
II Transición	Perímetro/80 Deberán ser suficientes para verificar las variaciones de la estratigrafía	3B o hasta la profundidad donde los incrementos de esfuerzos en el suelo sean significativos	Despalme	Detección de rellenos sueltos y grietas		
			Directos:	Se determinará la estratigrafía, propiedades índice y mecánicas; y se verificará la continuidad estratigráfica Se obtendrá un perfil continuo		
			SM (SPT+ SCE)	Consiste en combinar técnicas para suelos blandos y duros El sondeo mixto tradicional alterna SPT y muestreo selectivo		
			SPT	Se recuperan muestras alteradas de manera continua y se determina la consistencia y compacidad de los estratos		
III Lago	Perímetro/120 Deberán ser suficientes para verificar las variaciones de la estratigrafía	3B o hasta la profundidad donde los incrementos de esfuerzos en el suelo sean significativos	SCE	Se mide la resistencia a la penetración del cono eléctrico (suelos blandos o sueltos)	1 a cada 5-7m	
			SMS	Se obtienen muestras inalteradas, cuyas profundidades se definen con un sondeo continuo previo		
			PCA	Obtención de muestras inalteradas, observación directa del perfil estratigráfico		1 de cada estrato
			Pruebas in situ	Ficómetro, presiómetro, dilatómetro, veleta * Las condiciones piezométricas se determinan mediante: Estación piezométrica Mediciones puntuales con piezoconos		

NOTAS: B, es el ancho del área cargada; PCA, pozo a cielo abierto; SPT, sondeo de penetración estándar; SM, sondeo mixto; SCE, sondeo de cono eléctrico; SMS, sondeo de muestreo selectivo

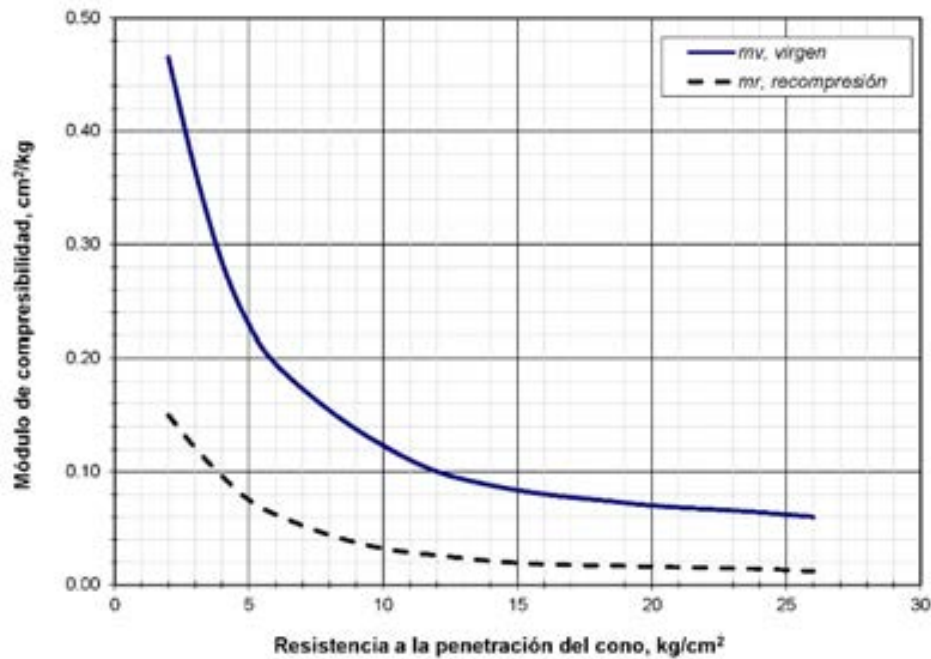


Figura 6.14.2 Correlación entre la resistencia a la penetración de cono, q_c , y el módulo de compresibilidad, m_v , para suelo del sector oriente de la zona lacustre

Tabla 6.14.2 Estratigrafía y propiedades, sector oriente de la zona lacustre (COVITUR,1987)

Estrato *	Espesor, en m	γ , en t/m ³	c , en t/m ²	ϕ , en grados
Costra superficial	1 a 2.5	1.4	1	20
Serie arcillosa superior	38 a 40	1.15	0.5 a 1	-
Capa dura **	1 a 2	-	0 a 10	25 a 36
Serie arcillosa inferior	15 a 30	1.25	3 a 4	-

*En orden de aparición a partir de la superficie
 **Los parámetros presentados corresponden con pruebas triaxiales CU
 γ , peso volumétrico; c , cohesión; ϕ , ángulo de fricción interna

Tabla 6.14.3 Estratigrafía y propiedades, zona lacustre sector no colonial, desarrollada a partir de 1900

Estrato *	Espesor, en m	γ , en t/m ³	c , en t/m ²	ϕ , en grados
Costra superficial	4 a 6	1.6	4	25
Serie arcillosa superior	20 a 30	1.2	1 a 2	-
Capa dura **	3 a 5	1.5-1.6	0 a 10	25 a 36
Serie arcillosa inferior	8 a 10	1.3-1.35	5 a 8	-

*En orden de aparición a partir de la superficie
 **Los parámetros presentados corresponden con pruebas triaxiales CU
 γ , peso volumétrico; c , cohesión; ϕ , ángulo de fricción interna



Tabla 6.14.4 Estratigrafía y propiedades, zona lacustre antigua traza de la ciudad

Estrato *	Espesor, en m	γ , en t/m ³	c , en t/m ²	ϕ , en grados
Costra superficial	6 a 10	1.7	4	25
Serie arcillosa superior	20 a 25	1.3	3	-
Capa dura **	3 a 5	1.5-1.6	0 a 10	25 a 36
Serie arcillosa inferior	6 a 8	1.3-1.4	6 a 12	-
*En orden de aparición a partir de la superficie				
**Los parámetros presentados corresponden con pruebas triaxiales CU				
γ , peso volumétrico; c , cohesión; ϕ , ángulo de fricción interna				

- c) El estudio de mecánica de suelos deberá incluir, al menos:
- i. Referencia a la tabla 2.3.1 de las NTC-Cimentaciones con respecto a la inspección detallada, pozos a cielo abierto, pruebas de laboratorio o de campo;
 - ii. Ubicación de pozos a cielo abierto y de sondeos en el plano de la cimentación existente;
 - iii. Estratigrafía, propiedades de los materiales y definición de la profundidad de desplante (si aplica);
 - iv. Justificación y análisis del tipo de sondeo realizado (ver inciso 2.3.d de las NTC-Cimentaciones);
 - v. Definición de la profundidad de desplante;
 - vi. Resultados de las pruebas de laboratorio;
 - vii. Modelo geomecánico de diseño que incluya las unidades estratigráficas, su profundidad, clasificación SUCS, propiedades índice y mecánicas;
 - viii. Condiciones piezométricas para el análisis;
 - ix. Descripción de la metodología de análisis;
 - x. Recomendación sobre el estudio de interacción suelo-estructura para revisar la seguridad estructural del edificio rehabilitado de conformidad con el Capítulo C.2.1 “Diseño estructural de cimentaciones” del Manual de Diseño de Obras Civiles (MDOC, 2015).

6.14.5 Rehabilitación de elementos estructurales de la cimentación

- a) Sólo se aceptará el encamisado con concreto de elementos estructurales de la cimentación.
- b) Para el análisis, diseño, construcción y supervisión se cumplirán los requisitos de la sección 6.4 de esta Guía.
- c) Si se amplía el tamaño de los elementos estructurales, se deberá diseñar el mecanismo de transmisión de carga entre elemento existente y la adición, de conformidad con las secciones 5.4 y 6.3 de esta Guía.

6.14.6 Adición de pilotes

- a) Será necesario añadir pilotes cuando se deba incrementar la capacidad de carga de la cimentación a fin de resistir las acciones de diseño, y/o para renivelar el edificio;

- b) Cuando las nuevas solicitaciones demanden un incremento del área de la cimentación, a fin de que se satisfagan los estados límite de falla y de servicio de las NTC-Cimentaciones, se revisarán las opciones siguientes (figura 6.14.3): 1) cambiar las zapatas aisladas a corridas; 2) cambiar las corridas en una dirección a corridas en ambas direcciones; 3) cambiar zapatas corridas a cajón;
- c) Para los casos en los que el incremento del área de cimentación resulte insuficiente o sea muy compleja su construcción, será necesario añadir pilotes o micropilotes (diámetros entre 300 y 500 mm), a fin de resistir las acciones de diseño. En el caso de que también sea indispensable recuperar la verticalidad del inmueble, los pilotes podrán ser utilizados para tal propósito;
- d) Se aceptará incluir nuevos pilotes, enteros o en segmentos que puedan unirse entre sí. En caso de pilotes segmentados, se diseñará un mecanismo para promover el comportamiento como una pieza. Se aceptará postensar los segmentos para lograr un comportamiento como una pieza (figura 6.14.4);
- e) Los pilotes se diseñarán para que puedan transmitir la carga de acuerdo con la resistencia y deformabilidad del suelo señalados en el estudio de mecánica de suelos;
- f) La ampliación de cimentación, los pilotes y la estructura de transmisión a la estructura existente se revisarán de acuerdo con las NTC-Concreto o NTC-Acero, según aplique. Se aceptará usar el apéndice B de las NTC-Concreto para diseñar los dados de cimentación.

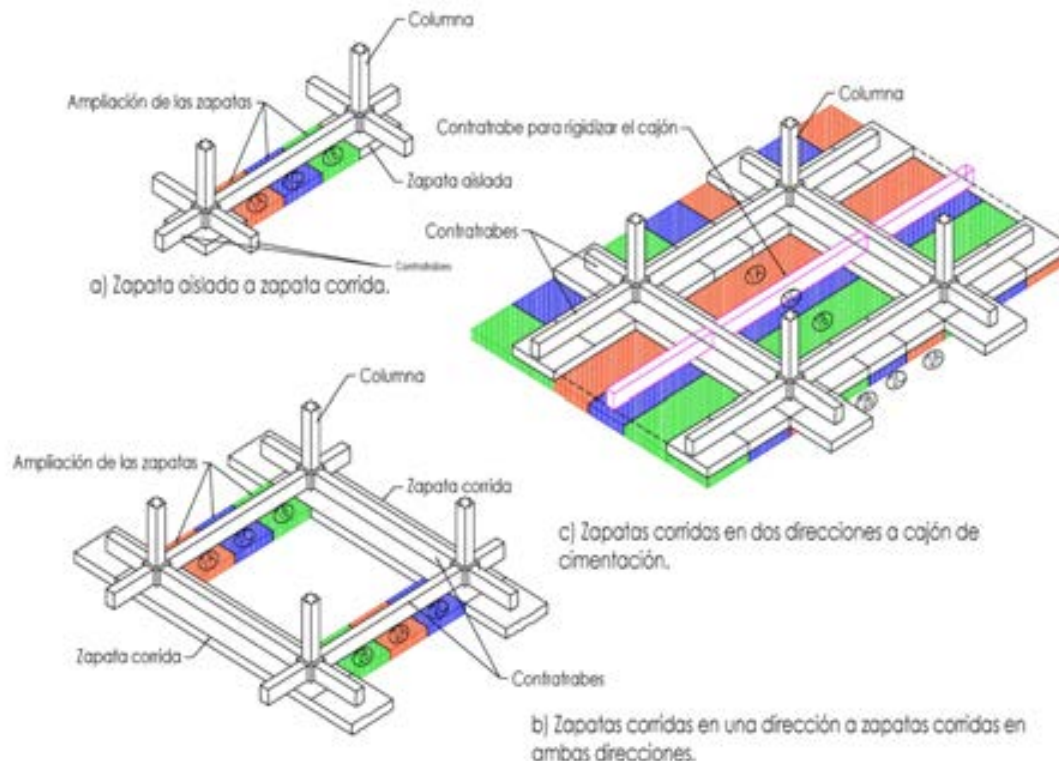


Figura 6.14.3 Ampliación del área de cimentación



Figura 6.14.4 Pilotes tipo mega

6.14.7 Recimentación y renivelación

6.14.7.1 General

Los problemas más frecuentes que se presentan en la práctica son los hundimientos diferenciales. Este es el caso de edificios desplantados en las zonas geotécnicas II y III, siendo más graves los problemas cuando se encuentran en las fronteras de suelos con rigideces muy diferentes.

El Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal (2017), precisa el límite máximo de la inclinación visible mediante la ecuación 6.14.1 en función de la altura de la estructura, h_c , en metros:

$$\text{Inclinación} = \frac{100}{100 + 3h_c} \quad (6.14.1)$$

El valor máximo de inclinación que los usuarios de un edificio en la Ciudad de México pueden tolerar, es aproximadamente 40 por ciento mayor que la inclinación visual. La experiencia ha mostrado que inclinaciones mayores que 2 por ciento, sobre todo en edificios altos, generan incomodidad e inseguridad a sus ocupantes. En la práctica se acepta como límite 1 por ciento. En el caso de un

edificio escolar, las mayores alturas son del orden de 10 m. Para estos casos, el límite máximo de la inclinación visible será de 0.74 por ciento.

La renivelación se orienta a corregir la inclinación de las estructuras. Las técnicas para renivelar han consistido casi siempre en hacer descender la parte que ha quedado alta; lo más frecuente ha sido reforzar la cimentación y excavar el suelo por debajo de ella para permitir el hundimiento correctivo (subexcavación). Por ello es indispensable revisar los estados límite de falla y de servicio de la cimentación, para determinar la necesidad de reforzar la cimentación.

Los edificios se pueden recimentar y/o renivelar ampliando las secciones de los elementos de la cimentación, así como empleando pilotes de control, micropilotes y mediante un proceso de subexcavación. La selección del método lo hará el proyectista especialista en geotecnia con apoyo del ingeniero estructural, después de interpretar la condición peculiar de su caso y la congruencia del tipo que elija.

6.14.8 Pilotes de control

Los pilotes de control fueron concebidos para estar apoyados en una capa dura de asentamiento nulo o muy pequeño. En la figura 6.14.5 se muestra un dispositivo de control de deformación tipo *Picosa* mediante celdas de madera de caobilla.

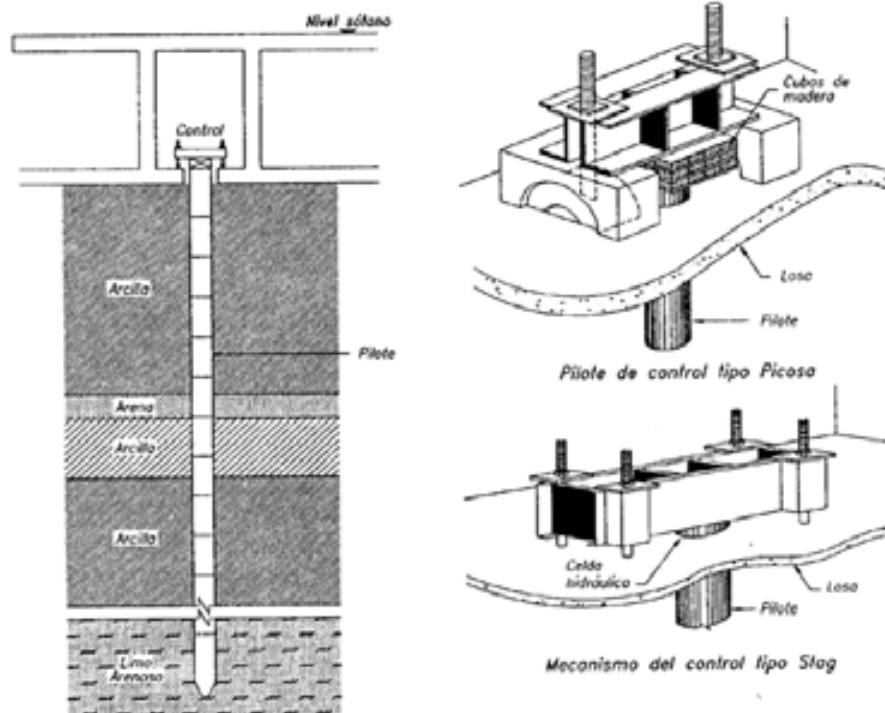


Figura 6.14.5 Pilote de control (modificado de Santoyo y Segovia, 1995)



6.14.8.1 Diseño de pilotes de control para condiciones estáticas

Para diseñar pilotes de control para condiciones estáticas, se deberá revisar que se cumplan los criterios siguientes. En las figuras 6.14.6 y 6.1.4.7 se muestran los diagramas de cuerpo libre para la condición estática. En la figura 6.14.8 se muestran ejemplos de pilotes de control.

- Carga neta

$$W_{ne} = W_{te} - W_c$$

- Equilibrio

$$W_{se} = W_{ne} - Q_c$$

- Para que no haya emersión

$$W_{se} + F_m \geq Q_r$$

- No penetración

$$Q_f + Q_c \leq Q_p F_R$$

- Carga de fluencia para la celda deformable

$$Q_c \leq Q_p F_R - Q_f$$

- Reacción estática de la capa dura

$$R_e = W_c + P - F_m$$

- Separación mínima de pilotes

$$D_a = \sqrt{\frac{F_m}{\gamma_m H - U_p}}$$

6.14.8.2 Diseño de pilotes de control para condiciones dinámicas

Para diseñar pilotes de control para condiciones dinámicas, se deberá revisar que se cumplan los criterios siguientes. En las figuras 6.14.5 y 6.1.4.6 se muestran los diagramas de cuerpo libre para la condición dinámica.

- Carga dinámica al suelo

$$W_{ds} = W_{se} + \Delta W_s$$



- Mínimo asentamiento

$$W_{ds} \leq Q_f F_R$$

- Reacción de la capa dura

$$R_d = W_c + P + \Delta W_s$$

donde:

W_{te}	carga total estática, N (kg).
W_c	carga compensada, N (kg).
W_{ne}	carga Neta estática, N (kg).
W_{se}	carga estática transmitida al suelo, N (kg).
Q_c	carga de fluencia de la celda, N (kg).
F_m	fricción negativa, N (kg).
Q_f	capacidad friccionante del pilote, N (kg).
Q_p	capacidad última de punta, N (kg).
ΔW_s	incremento de carga por sismo, N (kg).
W_{ds}	carga dinámica al suelo, N (kg).
R_e	reacción estática de la capa dura, N (kg).
R_d	reacción dinámica de la capa dura, N (kg).
P	peso total del prisma de arcilla, N (kg).
F_R	factor de resistencia (NTC-Cimentaciones).
γ_m	peso volumétrico de la capa dura, t/m ³ .
U_h	presión hidrostática, MPa (kg/cm ²).
U_p	presión piezométrica del agua, MPa (kg/cm ²).
σ_v	esfuerzo efectivo, MPa (kg/cm ²).
H	profundidad de la capa dura, mm.
NTN	nivel de terreno natural.
SAS	serie arcillosa superior.
CD	capa dura.
SAI	serie arcillosa inferior.
DP	depósitos profundos.

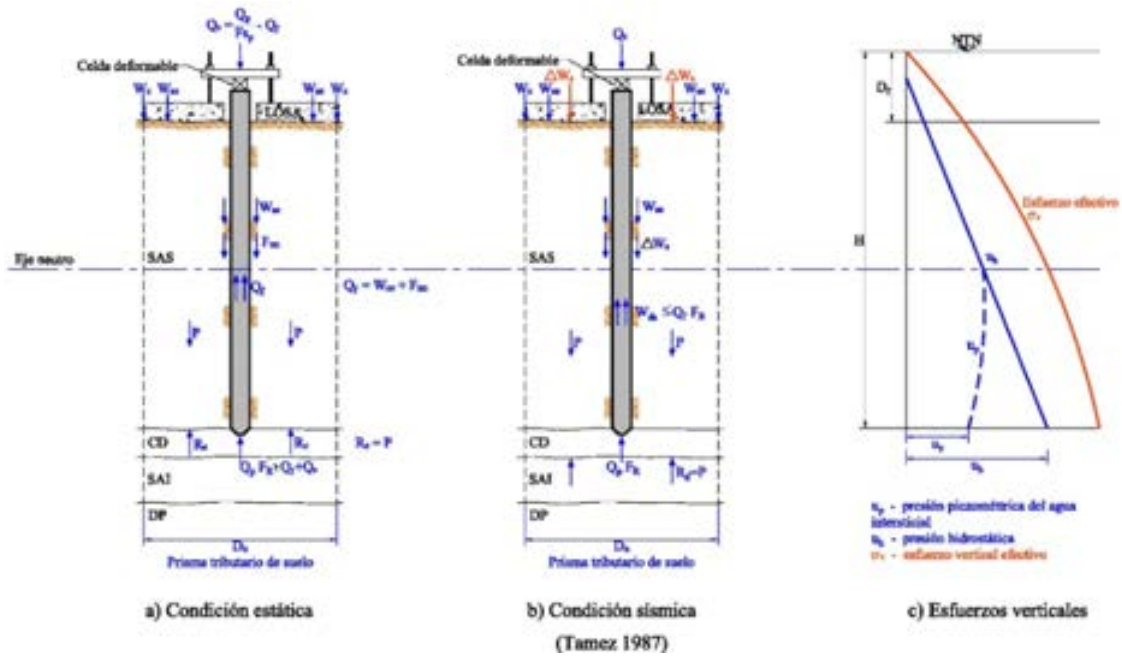


Figura 6.14.6 Diseño de pilotes de control para a) condición estática, b) condición dinámica y c) esfuerzos verticales

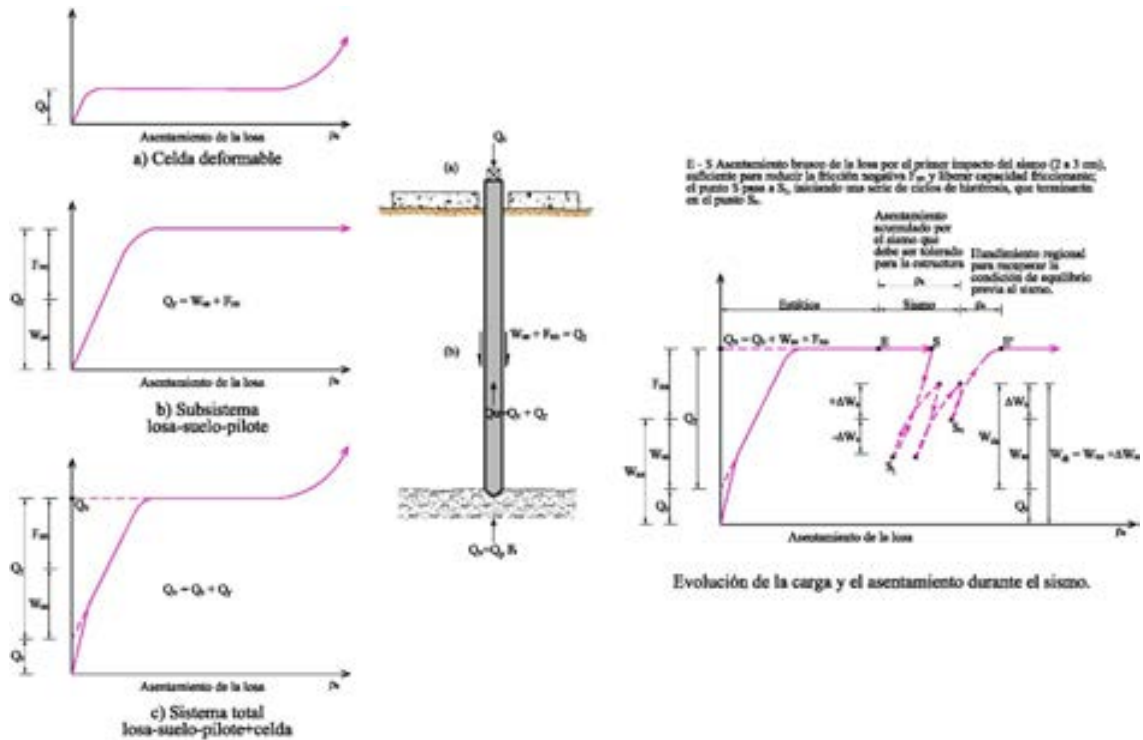


Figura 6.14.7 Diagramas de asentamiento-carga a) de la celda deformada, b) subsistemas losa-suelo-pilote y c) del sistema total, bajo cargas estáticas



Figura 6.14.8 Pilotes de control (Cuevas, 2019)

6.14.9 Subexcavación

El método de subexcavación se propuso en Italia como una opción para enderezar la Torre de Pisa. Consiste en practicar perforaciones horizontales o inclinadas de pequeño diámetro en la parte menos hundida, para que su colapso genere la deformabilidad que reduce la inclinación (figura 6.14.9). Las perforaciones, en general, se hacen por debajo del nivel de desplante de la cimentación, en un estrato de suelo blando. La subexcavación se puede hacer desde cepas, túneles o lumbreras practicadas bajo la cimentación (figura 6.14.10). La extracción del suelo debe hacerse de manera controlada, de modo de tomar la decisión a tiempo de cuando detener el proceso.

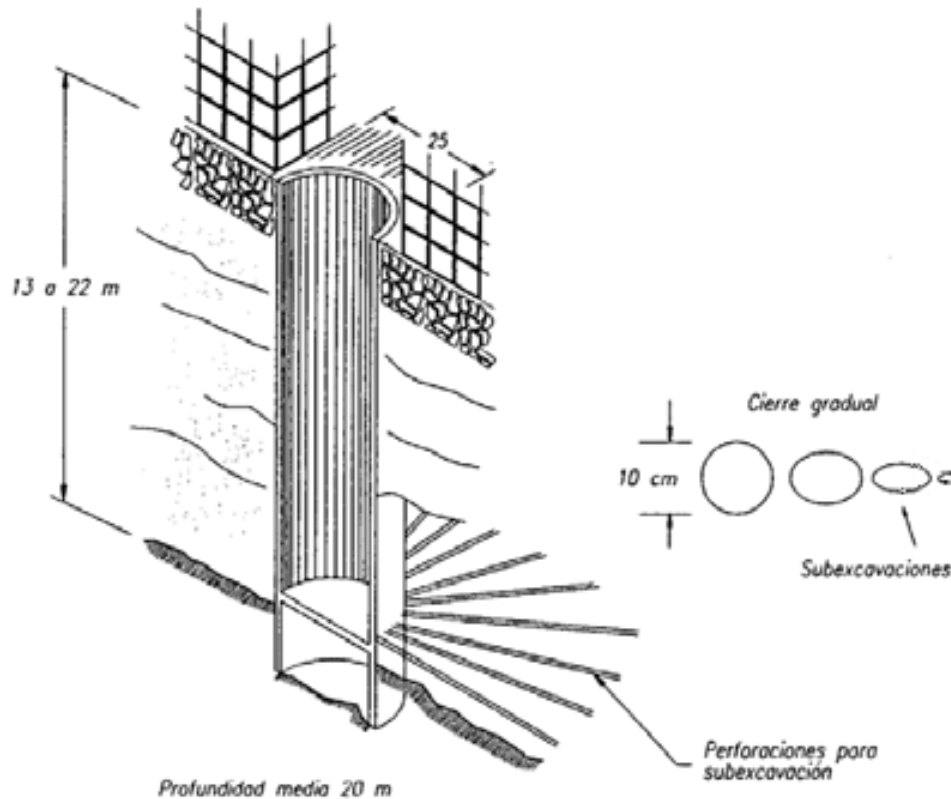


Figura 6.14.9 Procedimiento de subexcavación de la Catedral (Santoyo y Segovia, 1995)



Figura 6.14.10 Lumbreras y trincheras de subexcavación (Cuevas, 2019)

6.14.10 Micropilotes

Un micropilote es un elemento de cimentación profunda, como lo son los pilotes y las pilas, salvo que siempre es de pequeño diámetro y casi siempre fabricado en el lugar. Su empleo inicial fue para la recimentación de estructuras con problemas de comportamiento, generalmente, por insuficiencia de su cimentación.

Los micropilotes se fabrican en una perforación practicada en el suelo; así, una vez terminada la perforación previa, se introducen por separado el acero de refuerzo y el mortero del fuste, casi siempre primero el mortero y después el acero. Se emplea mortero dado el reducido diámetro transversal del micropilote. Los micropilotes, análogamente a los pilotes, pueden operar como elementos de punta, de fricción y de punta-fricción.

En los micropilotes se usan fundas geotextiles que sólo tienen el propósito de contener al mortero; su aplicación es exitosa cuando el espesor de suelo blando es reducido y la resistencia de punta proporciona la capacidad de carga del micropilote. Se permite el uso de micropilotes con una funda textil bifuncional que tiene las siguientes características

- En micropilotes de fricción, la funda bifuncional primero contiene al mortero, al igual que la convencional, para después, gracias a su permeabilidad controlada, permitir el paso de cierto volumen del mortero para garantizar la adherencia con el suelo circundante;
- en micropilotes trabajando de punta únicamente, sujetos a la indeseable fricción lateral negativa, la funda bifuncional sirve para contener al mortero y, posteriormente, impide el desarrollo de esa componente de fricción, al anular completamente la adherencia micropilote-suelo (figura 6.14.11);
- la función complementaria de la funda bifuncional es la de reforzar el perímetro exterior del mortero, en su contacto con el suelo.



Figura 6.14.11 Pilotes colados en el lugar provistos de funda geotextil

También se aceptará usar pilares de mortero (figura 6.14.12). Estos son cilindros esbeltos de mortero simple, carentes de refuerzo interno de acero, constituidos únicamente por la funda y el mortero, que pueden tener o no protuberancias laterales y también pueden tener ampliación en su base. Mediante uno o dos tubos de manguitos, se pueden introducir lechadas que inducen fracturas verticales radiales con un plano predominante y que una vez endurecidas refuerzan a la masa de suelo. El suelo es transformado en una estructura intercalada de láminas duras verticales, que incrementan la resistencia y reducen la deformabilidad del sistema integrado por el suelo y la estructura intercalada.

En una recimentación, los micropilotes se construyen, de preferencia, alrededor del edificio, de modo que las cargas se transmitan a la estructura mediante una extensión de la cimentación existente que conecte a los micropilotes. En términos generales, se ampliaría la losa de cimentación o las zapatas de linderos, para transmitir la carga a los micropilotes. Si el espacio perimetral es limitado, los trabajos se harán desde un sótano, o desde el interior del edificio. En todo momento, se debe procurar mantener la excentricidad entre el centro de acción de cargas verticales y la reacción de la cimentación, con valores cercanos a cero (figura 6.14.13).

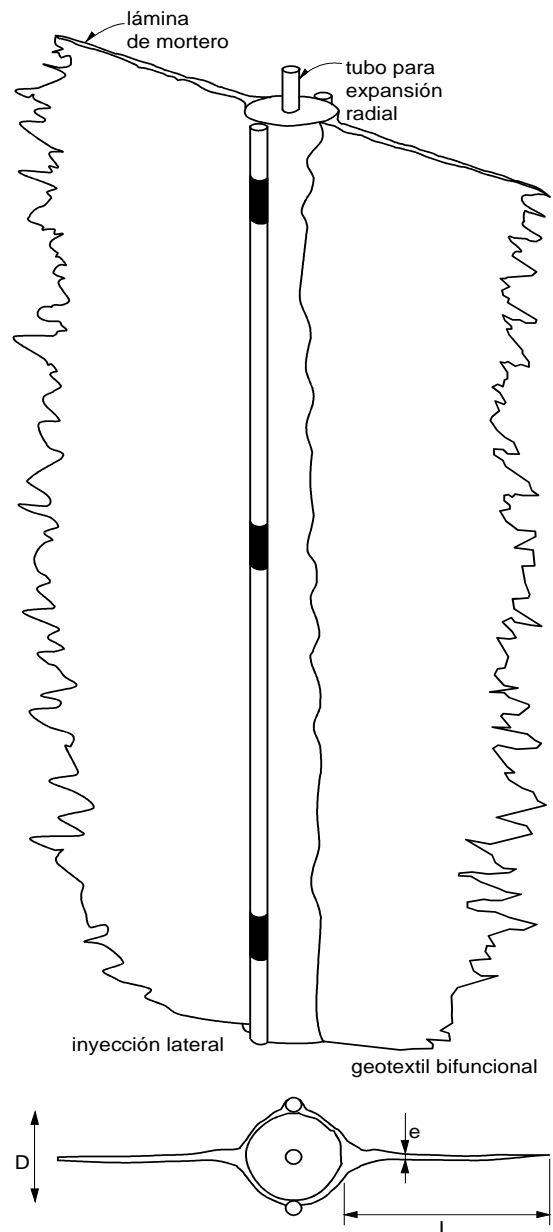
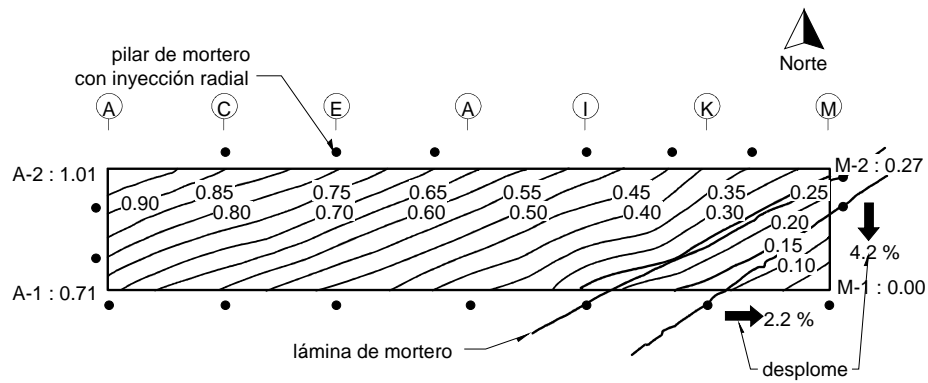
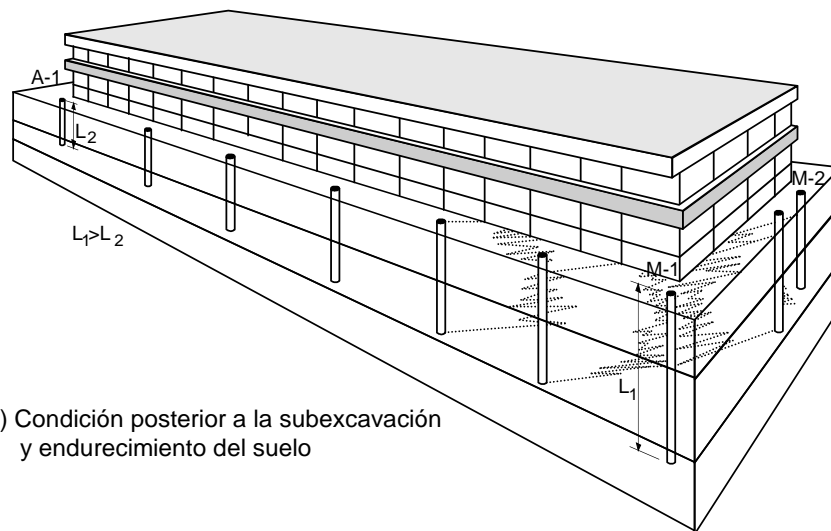


Figura 6.14.12 Pilar de mortero para reducir la deformabilidad de suelos arcillosos (Santoyo y Miranda 1997)



a) Condición antes de la subexcavación y tratamiento del suelo



b) Condición posterior a la subexcavación y endurecimiento del suelo

Figura 6.14.13 Aplicación de los pilares de mortero para recimentar y renivelar un edificio (Santoyo y Miranda, 1997)



CAPÍTULO SÉPTIMO

DURABILIDAD

7.1 Alcance general

7.1.1 En el diseño de la rehabilitación se debe considerar que los materiales empleados en la rehabilitación, los elementos rehabilitados y la estructura en su conjunto resistan el medio ambiente en donde se encuentran.

7.1.2 La durabilidad depende de la compatibilidad química, electroquímica y física entre los materiales de rehabilitación, la estructura existente y el medio ambiente que los rodea.

7.1.3 La durabilidad de la estructura por rehabilitar deberá revisarse para alcanzar una vida útil de 50 años. La vida útil de una estructura puede disminuir si no se atienden factores como:

- a) Desempeño estructural inaceptable;
- b) Frecuencia y actividades de mantenimiento esporádicos e inaceptables;
- c) Agrietamiento excesivo o de alto espesor debido a corrosión o fuerzas y momentos internos;
- d) Niveles de cloruros superiores a los límites establecidos en las Normas, especialmente en la interfaz del acero de refuerzo existente en la zona por reparar;
- e) Profundidad de la carbonatación que conduce a corrosión del refuerzo;
- f) Pérdida excesiva de la sección del acero de refuerzo debido a la corrosión;
- g) Deterioro excesivo del concreto a causa de mecanismos como corrosión, ataque químico (ataque de sulfatos y ácidos), factores físicos (como elevados gradientes de temperatura o cristalización de sales);
- h) Pérdida de hermeticidad o goteo excesivo.

7.1.4 Los materiales de reparación y rehabilitación, y sus métodos de aplicación se seleccionarán de modo que sean compatibles con la estructura original y con el medio ambiente al que estarán sujetos.

7.2 Recubrimiento

7.2.1 El recubrimiento de los elementos rehabilitados o nuevos deberán cumplir con los requisitos de las NTC-Concreto y NTC-Mampostería, en especial los de la sección 4.9 de las NTC-Concreto. El recubrimiento deberá ser suficiente para proteger el refuerzo de la corrosión, contra incendio, así como para mejorar el anclaje de las barras, sea mediante dobleces o longitud de desarrollo.

7.2.2 La vida útil de la estructura debe considerar las condiciones actuales y el deterioro potencial de las zonas reparadas y/o reforzadas, y de las áreas adyacentes;



- 7.2.3** Se deberán incluir en el proyecto ejecutivo y en el Programa de Mantenimiento del Edificio Escolar, las consideraciones, acciones, sistemas y métodos para lograr alcanzar la vida útil de las reparaciones y reforzamientos.

7.3 Grietas

- 7.3.1** Se deberá evaluar la(s) causa(s) de las grietas para diseñar su reparación y la rehabilitación de la estructura. Se considerará el movimiento a través de la grieta, su longitud, orientación, espesor y patrón.
- 7.3.2** No todas las grietas deben ser reparadas. Serán reparadas aquellas ocasionadas por sismo, de conformidad en las N-Rehabilitación. Serán reparadas cualesquiera otras que tengan suficiente tamaño para el ingreso de agentes corrosivos, como, cloruros y que puedan causar corrosión del acero de refuerzo (ver inciso 6.2.4 de esta Guía).
- 7.3.3** No se aceptará inyectar grietas que se originen por corrosión del acero de refuerzo o reacción álcali-agregado. En caso de daño por corrosión, se deberá proceder como se indica en la sección 7.4 de esta Guía.

7.4 Corrosión y deterioro del refuerzo de elementos metálicos embebidos

7.4.1 Introducción a la corrosión

Uno de los problemas más serios y complejos asociados a la durabilidad de las estructuras es la corrosión² del refuerzo o de los metales ahogados en concreto o mampostería.

El concreto es un material con alta alcalinidad, con valores pH entre 12 y 13. En este ambiente, el acero ahogado permanece protegido de la corrosión por una película pasiva que está adherida a la superficie de la barra. Cuando esta capa se altera, puede ocurrir corrosión. La corrosión se acelerará si el pH baja debido a carbonatación, o bien, si penetran al concreto o ahogan en él, agentes químicos agresivos o materiales metálicos distintos. Este último caso se conoce como corrosión galvánica.

El agrietamiento y desconchamiento del concreto debidos a la corrosión dependen, fundamentalmente, de la resistencia a tensión del concreto, la calidad y espesor del recubrimiento, la adherencia entre las barras y el concreto, el diámetro de la barra y de la cuantía de corrosión (expresada como variación del peso de la barra). En particular, es relevante la relación entre el recubrimiento r , y el diámetro de la barra d_b . Así, mientras menor sea esta relación, para un mismo

² La corrosión es un proceso electroquímico que requiere un ánodo, un cátodo y un electrolito. La matriz húmeda del concreto constituye un excelente electrolito, y el acero de refuerzo proporciona al ánodo y al cátodo. La corriente eléctrica fluye entre el cátodo y el ánodo, de modo que la reacción resulta en un incremento del volumen del metal al formarse óxidos ferroso y férrico, y al precipitarse con el color "óxido" característico. Se requiere agua y oxígeno para la relación.

diámetro de barra, menor será la cuantía de corrosión necesaria para agrietar el concreto. Por ejemplo, para r/d_b de 3 y barras del número 4, se requiere 1 por ciento de corrosión para producir agrietamiento, mientras que, para una relación de 7, se requiere 4 por ciento. La adherencia aumenta para cuantías de corrosión de 1 por ciento; a partir de este valor, disminuye rápidamente.

Los cloruros en el ambiente penetran en el concreto, con ayuda de la humedad en la superficie, y llegan al acero de refuerzo (Figura 7.4.1). Durante este proceso, el concreto se agrieta y se desprende debido a la expansión del acero corroído, lo que se traduce en una mayor penetración de cloruros y, por ende, en más corrosión. La penetración de cloruros en el concreto se ve favorecida cuando:

- Existe una alta concentración de cloruros en el ambiente;
- El concreto es permeable;
- La humedad es alta;
- El pH del concreto es alto; por ejemplo, si el pH es de 13.2, la concentración de cloruros será del orden de 8,000 ppm; mientras que, si el pH es de 11.6, será de 70 ppm.

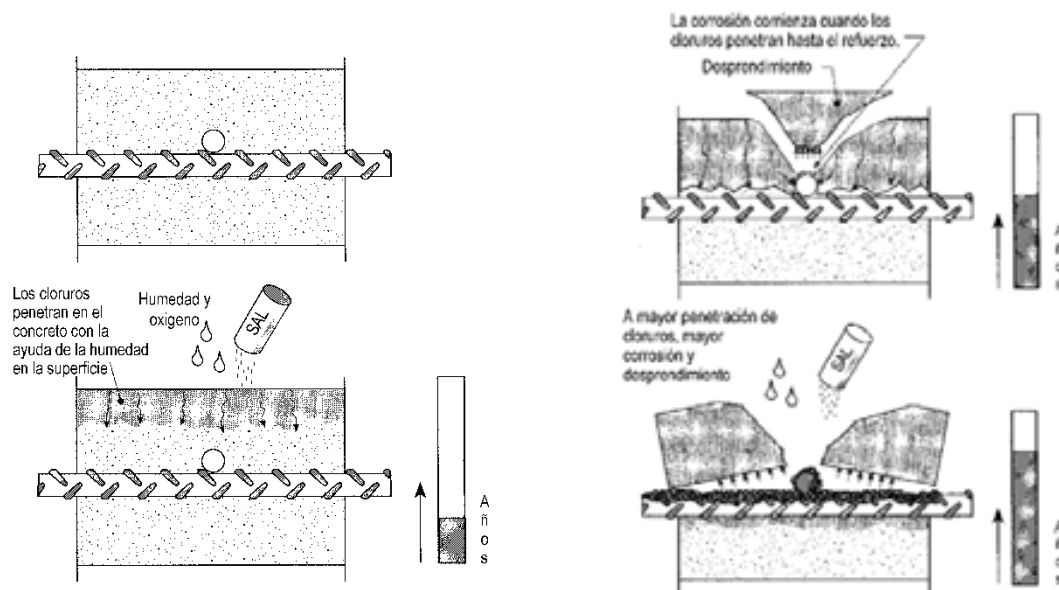


Figura 7.4.1 Penetración de cloruros en el concreto (modificada de Emmons et al., 1993)

La anchura máxima permitida de grietas o juntas para evitar corrosión varía según la condición de exposición. En condiciones secas, la anchura máxima es de 0.4 mm; en contacto con humedad, aire húmedo o suelos, de 0.3 mm; en contacto con agua y brisa de mar, 0.15 mm.

Los cloruros pueden entrar al concreto si se usan aditivos acelerantes, arena de mar o agua de mar. Si se considera que el concreto reforzado estará en un ambiente húmedo y expuesto a cloruros, se recomienda que el porcentaje de cloro por peso de cemento sea menor que 0.10; si no estará expuesto a cloruros, este valor puede subir a 0.15.

Como se dijo antes, la corrosión del acero puede ocurrir debido a la carbonatación del concreto. Ésta es una reacción entre gases ácidos en la atmósfera y productos de la hidratación del cemento. El dióxido de carbono de la atmósfera penetra al concreto y se difunde reaccionando con el hidróxido de calcio presente en el concreto. Como resultado, el pH baja a 10 y, consecuentemente, se pierde la protección contra la corrosión. En esta circunstancia, la corrosión empieza rápidamente. Se ha estimado que, en concretos de buena calidad, la tasa de avance de la carbonatación es de 1 mm/año; este proceso requiere ciclos de secado-mojado (Emmons et al., 1993).

Otro tipo de corrosión es la galvánica. Esta ocurre cuando dos materiales metálicos diferentes se dejan ahogados en el concreto. En presencia de cloruros y humedad, estos metales forman un par galvánico, que se caracteriza por un flujo de electrones desde el ánodo al cátodo y de iones en sentido inverso. Con el tiempo, el ánodo se oxida, provocando expansiones y agrietamiento del concreto que lo rodea.

En la lista que sigue se han ordenado los metales de modo creciente según su actividad corrosiva: 1. Zinc; 2. Aluminio; 3. Acero; 4. Hierro; 5. Níquel; 6. Estaño; 7. Plomo; 8. Latón; 9. Cobre; 10. Bronce; 11. Acero inoxidable; 12. Oro. Cuando dos metales están en contacto, vía un electrolito activo, el metal menos activo de esta serie (con el menor número), se corroe. Así, por ejemplo, si se ahoga un elemento de aluminio y una barra de acero en concreto, el aluminio será el ánodo (y se oxidará, en este caso formando óxido de aluminio), y el acero será el cátodo.

Frecuentemente, cuando se evalúa una estructura con corrosión importante en las barras de refuerzo, surge la duda sobre la resistencia remanente de la barra. Esta disminuye si se pierde sección; se ha encontrado que, si el porcentaje de corrosión es hasta de un 1.5 por ciento, la resistencia de la barra es igual a la nominal. Si el porcentaje de corrosión es de 4.5 por ciento, la resistencia es 15 por ciento menor que la nominal.

En ocasiones, la corrosión se manifiesta en la parte inferior del elemento estructural (vigas, losas), pero se debe a la penetración de cloruros y humedad por grietas o juntas constructivas en la cara superior (Figura 7.4.2).

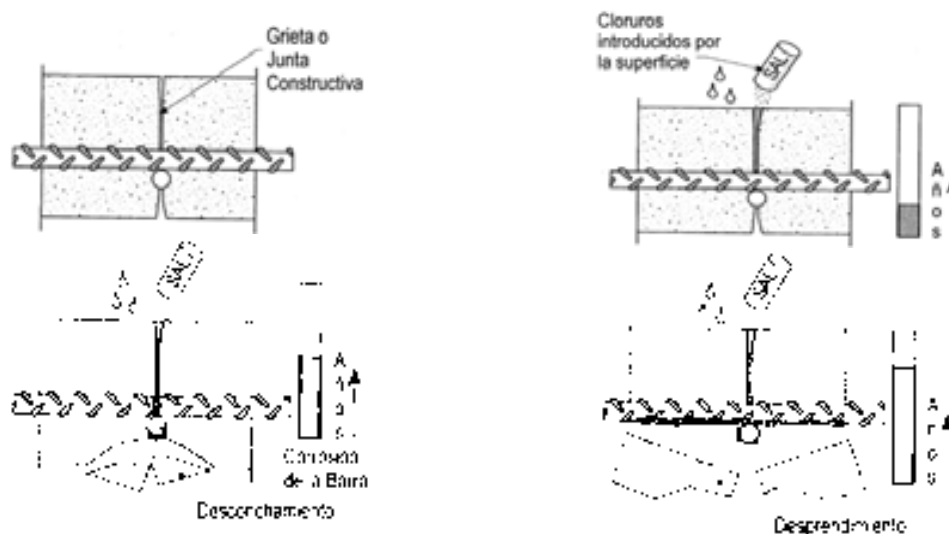


Figura 7.4.2 Efecto de grietas o juntas en la corrosión del acero (Emmons et al., 1993)



7.4.2 Reparación de la corrosión

7.4.2.1 Objetivos de desempeño

Antes de seleccionar el material a usar en la reparación por corrosión, es conveniente conocer los objetivos de desempeño que busca el dueño o usuario de la estructura. Así, por ejemplo, será importante conocer si la reparación debe quedar oculta o visible, cuál es la textura aceptable de la superficie; en qué condiciones de uso se realizaría la reparación; cuál es la vida útil de ésta; qué tipo de falla (agrietamiento, delaminación, separación, otras) y qué consecuencias de ella se aceptan en las personas, desempeño estructural y en el ambiente. Además, se deben identificar las condiciones ambientales y de servicio a que estará expuesta la estructura: gases, sustancias químicas, rayos ultravioletas, humedad, cambios térmicos, cargas.

Será necesario entender cómo pueden afectar las características de exposición a la superficie, el material de reparación, el refuerzo, la interfaz del concreto existente, y el concreto existente.

7.4.2.2 Materiales para la reparación

7.4.2.2.1 Con objeto de eliminar el agrietamiento por contracción, el material que se use deberá tener un alto contenido de agregados, los cuales deberán estar limpios y ser lo más grandes posible.

7.4.2.2.2 Se deberá eliminar cualquier diseño de mezcla que exija altos contenidos de agua.

7.4.2.2.3 Se deben procurar los más bajos consumos de cemento asociados a las resistencias esperadas;

7.4.2.2.4 Se deben curar adecuadamente. En la Tabla 7.4.1 se ilustra la interacción entre las relaciones agua/cemento y cemento/agregado en la contracción por fraguado.

Tabla 7.4.1 Interacción entre las relaciones agua/cemento y cemento/agregado en la contracción por fraguado de materiales de reparación

		Relación agua/cemento				Contracción
		0.4	0.5	0.6	0.7	
Relación cemento/agregado	3	0.08	0.12			Alta
	4	0.055	0.085	0.105		
	5	0.04	0.06	0.075	0.085	Moderada
	6	0.03	0.04	0.055	0.065	
	7	0.02	0.03	0.04	0.05	Baja



- 7.4.2.2.5** Se deberá considerar la corrosión y el deterioro del refuerzo en el diseño de la rehabilitación. En ella no se deberán usar materiales que sean corrosivos para el acero de refuerzo.
- 7.4.2.2.6** En la evaluación de la estructura y en el diseño de la rehabilitación se tomará en cuenta la posible ocurrencia de la corrosión galvánica entre materiales con distinto potencial electroquímico.
- 7.4.2.2.7** En caso de que ocurra o se pueda presentar corrosión galvánica, se deberá optar por aislar el refuerzo existente del refuerzo o conectores usados en la zona reparada, o por proteger el refuerzo existente y el refuerzo en la zona reparada de modo de minimizar la corrosión galvánica.
- 7.4.2.2.8** En estructuras presforzadas y postensadas con tendones adheridos y no adheridos, se diseñarán sistemas de protección a la corrosión. En el diseño se considerarán la condición del acero de presfuerzo y del estado de la corrosión de las anclas de los cables, así como, de los sistemas de anclaje.
- 7.4.2.2.9** Si se emplean sistemas electroquímicos para proteger el acero de refuerzo en el área reparada y la estructura, se considerará su interacción con el elemento reparado, la estructura y el medio ambiente.
- 7.4.2.2.10** No se permitirá usar encamisados de compuestos de polímeros reforzados con fibras como una técnica para reparar elementos con corrosión, a menos que el concreto dañado sea reparado y la corrosión sea mitigada. Para este caso, se recomienda revisar el documento ACI 440.2R.

7.4.2.3 Ejecución de la reparación

- 7.4.2.3.1** Para reparar una zona dañada por corrosión del acero de refuerzo se debe practicar una caja, con cortes a 90°, que expongan el acero corroído (figuras 7.4.3 y 7.4.4). Los primeros 20 mm de profundidad sobre el perímetro de la caja se cortarán usando disco. El concreto se puede retirar mediante cincel y maceta, un martillo neumático o eléctrico, o chorro de agua a presión (entre 140 y 280 MPa – 1 400 y 2 800 kg/cm²).

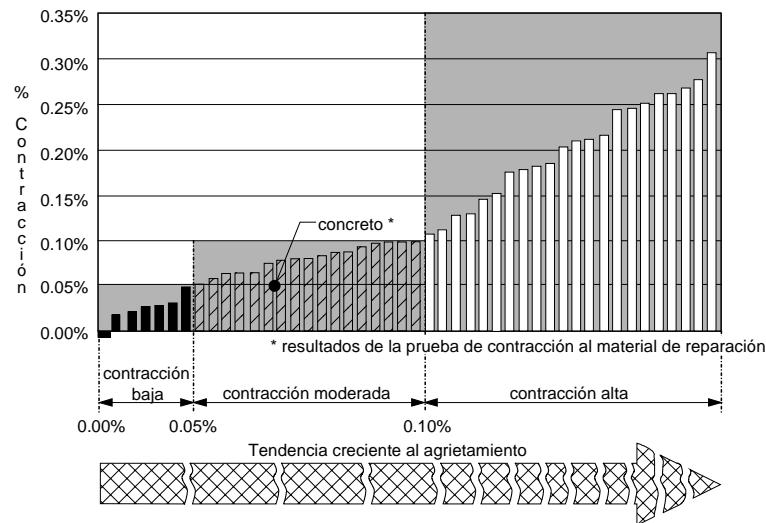


Figura 7.4.3 Contracción medida en varios materiales de reparación, comercializados como de baja contracción (modificada de Emmons, 1993)

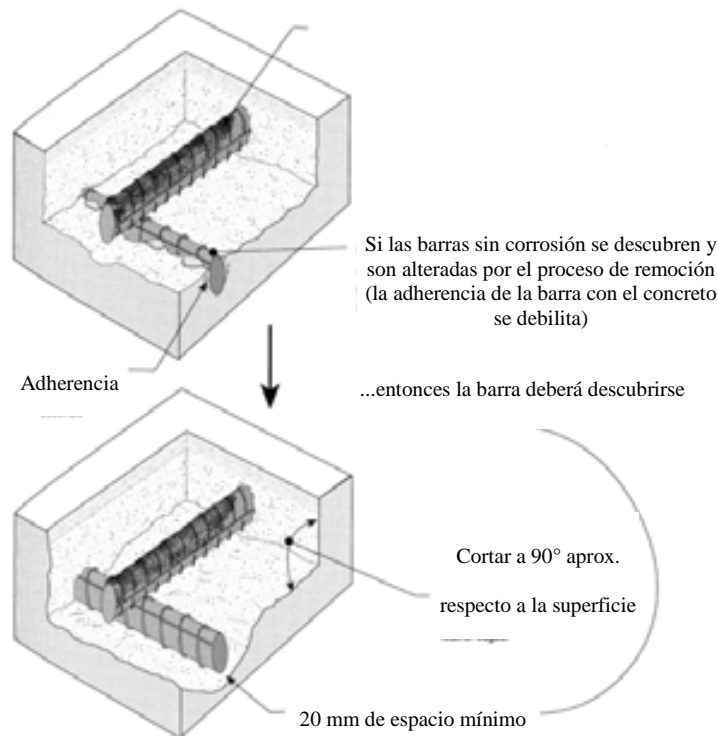


Figura 7.4.4 Preparación del concreto en una zona afectada por corrosión (modificada de Emmons, 1993)

- 7.4.2.3.2** Si al descubrir el acero, se observan barras corroídas en contacto con sanas, se deberán descubrir completamente dejando, cuando menos, 20 mm libres debajo de ellas. Lo anterior obedece a que durante los trabajos de demolición del concreto se pudo haber deteriorado la adherencia del refuerzo sano con el concreto circundante. La colocación de concreto nuevo para rellenar la caja, de modo que cubra al acero corroído y al sano, pretende restituir la adherencia.
- 7.4.2.3.3** Posteriormente, se limpian las superficies del acero y del concreto. Las barras de acero se pueden limpiar usando un escarificador de agujas, agua a alta presión (entre 21 y 70 MPa - 210 y 700 kg/cm²), chorro abrasivo de arena (*sandblasteado*), o carda de metal. En cualquier caso, se debe asegurar la limpieza del perímetro completo de la barra; es frecuente que la limpieza sea imperfecta por una incorrecta aplicación de las técnicas de limpieza (figura 7.4.5).
- 7.4.2.3.4** Se debe prestar atención a limpiar la superficie de concreto de la caja de modo de retirar polvo, pedazos sueltos y cualquier otro material que reduzca la adherencia entre el concreto y el material de reparación.
- 7.4.2.3.5** Si las barras han perdido más de un 25 por ciento de su sección transversal, será necesario reemplazarlas o bien colocar barras adicionales ancladas adecuadamente.

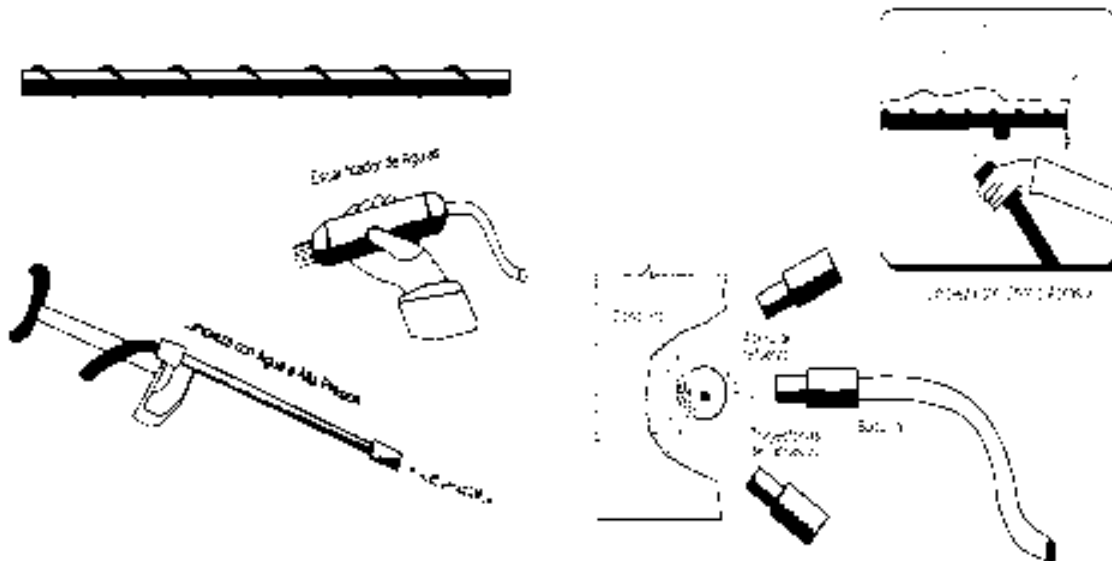


Figura 7.4.5 Limpieza de acero de refuerzo (modificada de Emmons et al., 1993)



7.5 Protección del refuerzo contra la corrosión

7.5.1 General

Cuando sea conveniente proteger al refuerzo de la corrosión, se evaluarán las siguientes cuatro categorías de soluciones:

- a) Encapsulado. Las barras se cubren herméticamente con resinas epóxicas, las cuales se aplican sobre las barras en forma líquida con brocha o mediante atomizador. Tiene el inconveniente que es difícil lograr un encapsulado perfecto en aplicaciones en la obra; además, si queda alguna zona sin resina, las corrientes eléctricas se pueden concentrar y acelerar la corrosión;
- b) Protección catódica con ánodo de sacrificio. Se usa un metal de sacrificio como alternativa de protección; generalmente, se aplica zinc a la barra, una vez que todas las superficies han sido reparadas. Las barras cubiertas con zinc son conectadas eléctricamente con el resto del armado. Su aplicación ha sido experimental hasta ahora;
- c) Protección catódica a través de una corriente inducida. Su principio se basa en invertir el flujo de corriente eléctrica que causa la corrosión. Se instalan ánodos sobre la superficie de concreto o cerca de ella y se conectan eléctricamente con el armado. Se debe revisar y ajustar periódicamente la corriente;
- d) Películas alcalinas. Las barras se impregnan con materiales alcalinos de modo de crear una barrera de protección contra la corrosión.

7.5.2 Estrategias para inhibir el proceso de corrosión

Adicionalmente a las opciones anteriores, existen varias estrategias para inhibir el proceso de corrosión, como son:

- a) Aplicar a la superficie del elemento una película selladora que reduzca la permeabilidad; con esta película se crea una barrera a los cloruros;
- b) Colocar un material hidrófobo que penetre en el concreto; esta es una doble protección, ya que la barrera a los cloruros no sólo existe en la superficie;
- c) Reemplazar el concreto afectado por uno con aditivos especiales que reduzcan la permeabilidad y con mejores propiedades mecánicas;
- d) Combinar los procedimientos anteriores.

Las películas selladoras y membranas que pueden aplicarse son basadas en silanos, siloxanos, epóxicos, uretanos, hules clorinados y metacrilatos.

Los aditivos de concreto que se venden comercialmente para proteger contra la corrosión lo hacen de modo pasivo y activo. En el primer caso, el aditivo forma una barrera que dificulta la migración de cloruros y humedad en el concreto, lo que se traduce en un retraso en el tiempo de corrosión. En el segundo modo, se reduce la tasa de corrosión mediante la formación de una barrera a nivel molecular en el acero de refuerzo. Esta película protectora incrementa la resistencia del acero a los ataques de cloruros y disminuye las reacciones corrosivas.



Para proteger al concreto de la carbonatación se puede impregnar con silicatos de sodio, aplicar membranas superficiales de acrilatos y estirenos de acrilato, o capas de morteros, de preferencia con polímeros.

7.6 Tratamiento de la superficie y revestimientos

7.6.1 Con objeto de mejorar la durabilidad de la estructura se considerará la transmisión de la humedad y la influencia de un posible tratamiento de la superficie a base de revestimientos, películas selladoras o membranas.

7.6.2 En el Programa de Mantenimiento de Edificios Escolares se especificará la periodicidad con que el revestimiento, sellador o membrana se debe inspeccionar, reemplazar y las acciones para su reparación.



CAPÍTULO OCTAVO

CONSTRUCCIÓN

8.1 General

8.1.1 En adición a las consideraciones de construcción para cada técnica en particular señaladas en el Capítulo Sexto de esta Guía, se observará lo requerido en este Capítulo.

8.1.2 El proyecto ejecutivo (memoria de cálculo, normas, especificaciones y planos de construcción) señalará:

- 1) Que el constructor es responsable de construir y ejecutar el proyecto de la rehabilitación de conformidad con el proyecto ejecutivo aprobado por el proyectista, el Corresponsable y el Director, así como con el Reglamento, Normas y esta Guía Técnica;
- 2) Que 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;
- 3) Los requisitos específicos de apuntalamiento y arriostramiento diseñados de conformidad con la sección 8.2 de esta Guía;
- 4) Los requisitos especiales de aplicación de fuerzas por medio de gatos hidráulicos, en su caso;
- 5) Los requisitos específicos de supervisión, ensaye, construcción y aseguramiento de la calidad señalados en el Capítulo Noveno de esta Guía y los requeridos en el Capítulo Sexto para cada técnica de rehabilitación en particular.

8.2 Apuntalamiento y arriostramiento temporales

8.2.1 El proyecto ejecutivo incluirá:

- a) Las partes de la obra que requieran de apuntalamiento y/o arriostramiento temporal, antes, durante y después de la rehabilitación;
- b) Las cargas de diseño y límites de desplazamiento para el apuntalamiento y/o arriostramiento temporal;
- c) Las responsabilidades del constructor para la instalación, aseguramiento de la calidad y mantenimiento del apuntalamiento y/o arriostramiento temporal.

8.2.2 En el diseño del apuntalamiento y/o arriostramiento temporal, se considerarán:

- a) Condiciones actuales y cambios durante la construcción, en especial de:
 - i. Mecanismos de transmisión de carga;
 - ii. Cargas de construcción;
 - iii. Longitudes no arriostradas;
 - iv. Redistribución de cargas y acciones internas que resulten del retiro de elementos estructurales adyacentes o del cambio en la aplicación de cargas sobre los elementos estructurales.



- b) Efectos de desplazamiento laterales y verticales medidos, inclinaciones, efectos secundarios y de cargas;
- c) Impacto del apuntalamiento y/o arriostramiento temporal en la estructura;
- d) Efectos de la compatibilidad de deformaciones del sistema de apuntalamiento y/o arriostramiento con el sistema y elementos soportados y de soporte;
- e) La estabilidad estructural de elementos, componentes, sistemas y de todo el edificio;
- f) Efectos del daño o deterioro de los elementos o sistemas existentes;
- g) Otras acciones que se puedan anticipar, como granizo, viento, sismo.

8.2.3 El diseño del apuntalamiento y/o arriostramiento lo deberá efectuar un proyectista especializado en el tema o bien el proyectista de la rehabilitación, en consulta con el constructor. El Corresponsable y el Director revisarán la idoneidad del diseño. Se aceptará usar las guías de diseño:

- a) *Steel Design Guide Series 10*, del Instituto Americano de Construcción en Acero (AISC, 1997).
- b) SP-4, del Instituto Americano del Concreto (ACI SP4, 2014).
- c) Guía de Operaciones de Apuntalamiento, del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los EE. UU. (Cuerpo, 2013).

8.2.4 El apuntalamiento y el arriostramiento deberán diseñarse para mantener la estabilidad global de la estructura antes y durante las fases de la rehabilitación. Se revisará la capacidad estructural de elementos existentes, en especial de aquellos que puedan fallar frágilmente.

8.2.5 Las cargas laterales para el diseño del apuntalamiento y/o arriostramiento temporal serán las prescritas en la sección 2.8 de las NTC-Sismo.

8.2.6 La rigidez vertical y lateral del apuntalamiento y del arriostramiento será suficiente para que los desplazamientos verticales y laterales no excedan los valores establecidos por el proyectista. El valor mínimo de la carga lateral será igual a 2% de la carga axial máxima del elemento por ser arriostrado.

8.2.7 Se deberá revisar que los elementos estructurales, sin daño o con daño, antes de ser rehabilitados, tengan la capacidad estructural para resistir y transmitir las cargas del edificio y las cargas temporales de construcción y apuntalamiento. Si es necesario, se deberán apuntalar y/o arriostrar los elementos estructurales durante la obra o hasta que sean rehabilitados.



8.3 Condiciones temporales

8.3.1 Para la evaluación estructural y diseño de las medidas temporales se usarán las cargas y factores de carga establecidos en las NTC-Acciones.

8.4 Protección ambiental

8.4.1 El proyecto ejecutivo establecerá la responsabilidad del constructor de implantar medidas de remediación, de información y de control de los residuos de la construcción.



CAPÍTULO NOVENO

ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD

9.1 Alcance

9.1.1 Se deberá cumplir con la sección 4.2 de las N-Rehabilitación.

9.1.2 Se observarán las consideraciones de supervisión establecidas en el Capítulo Sexto de esta Guía para cada técnica de rehabilitación, mismas que se deben incluir en el proyecto ejecutivo elaborado por el proyectista y el constructor, cuando corresponda, y aprobado por el Corresponsable y el Director.

9.1.3 Adicionalmente, se deben satisfacer los siguientes requisitos de los incisos 9.2 a 9.6 de esta Guía, los cuales se consideran como mínimos, para lograr un adecuado aseguramiento de la rehabilitación de un plantel escolar.

9.2 Supervisión

9.2.1 Se supervisarán los trabajos de rehabilitación según se establezca en el Reglamento y en el proyecto ejecutivo. El alcance de la supervisión de una estructura por rehabilitar es distinto de la de una estructura nueva. El proyecto ejecutivo detallará los requisitos específicos durante las etapas de rehabilitación. Esta supervisión será contratada por el propietario.

9.2.2 Al menos, el alcance de la supervisión incluirá:

- 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.

Los resultados de la supervisión serán informados al Corresponsable, al Director y al Propietario. Además, se indicarán en la bitácora del proyecto.



- 9.2.3** La rehabilitación se supervisará para verificar la calidad de los materiales y de la mano de obra, así como el cumplimiento del proyecto ejecutivo. La obra será revisada por el Director quien decidirá la necesidad de involucrar a revisores especializados, al proyectista y al Corresponsable.
- 9.2.4** La supervisión consistirá en: revisar los trabajos en obra, el proyecto ejecutivo y comparar los trabajos ejecutados en la obra con el proyecto ejecutivo, documentar si los trabajos cumplen o no con lo proyectado, y si las correcciones fueron hechas y verificadas por el constructor o si siguen siendo necesarias. Aquellos componentes, procesos y procedimientos que no cumplan con lo señalado en el proyecto ejecutivo o con las correcciones indicadas por la supervisión serán incluidos en el informe que se entregue al Director, al Corresponsable y al propietario.
- 9.2.5** Si durante la supervisión del proyectista, Corresponsable, o revisor especializado, se identifican condiciones no anticipadas, se deberá informar al Director para que determine las medidas a tomar.
- 9.2.6** El proyecto ejecutivo establecerá los requisitos de supervisión antes de colocar materiales que impidan o bloqueen una revisión visual.

9.3 Prueba de materiales de rehabilitación

- 9.3.1** En el proyecto ejecutivo se establecerán el tipo y frecuencia de pruebas de materiales. Se deberá cumplir con lo requerido en las NTC-Acero, NTC-Concreto, NTC-Mampostería y en esta Guía, según corresponda.

9.4 Visitas del proyectista

- 9.4.1** El proyectista de la rehabilitación deberá visitar la obra durante la ejecución de las reparaciones, recimentación, reforzamiento, rigidización, según aplique, para verificar que la estructura existente es como la supuesta en diseño y que el proyecto ejecutivo es adecuado para cumplir con los Objetivos de la Rehabilitación.
- 9.4.2** Si como resultado de las visitas del proyectista es necesario modificar el diseño original, se deberán documentar los cambios, informar al Corresponsable y al Director y, con el visto bueno de ellos, proceder a la modificación. El propietario, el constructor y los revisores especializados deberán ser informados de dicha modificación, por escrito, por parte del proyectista.

9.5 Plan de aseguramiento de la calidad de la construcción

El proyectista, en consulta con el constructor, deberá preparar un Plan de Aseguramiento de la Calidad de la Construcción (PACC) para ser aprobado por el Director y el Corresponsable. En él se debe incluir, al menos:



- a) Lista de elementos y componentes sujetos de requisitos especiales para el aseguramiento de la calidad;
- b) Procedimientos requeridos de control de calidad del constructor;
- c) Revisión de los informes del constructor y subcontratistas;
- d) Revisión de los informes de supervisión y prueba de materiales;
- e) Procedimientos para la modificación del proyecto ejecutivo que reflejen las condiciones de campo no previstas y descubiertas durante la construcción;
- f) Requisitos especiales de supervisión y control de calidad de materiales.

9.6 Requisitos de aseguramiento de la calidad de la construcción

9.6.1 Del proyectista

El proyectista deberá visitar la obra para constatar el cumplimiento de las condiciones supuestas en el proyecto ejecutivo. Al menos deberá visitar la obra durante la colocación del concreto o de elementos de acero de componentes críticos para la rehabilitación (muros, contraventeos, encamisados). El proyectista deberá informar por escrito al Director y al Corresponsable cualquier deficiencia nueva o que no se haya atendido.

9.6.2 Del Corresponsable

El Corresponsable deberá visitar la obra para constatar que la ejecución es consistente con el proyecto ejecutivo. Deberá inspeccionar la obra antes de la colocación del concreto o de elementos de acero de componentes críticos para la rehabilitación: El Corresponsable deberá informar por escrito al Director cualquier deficiencia nueva o que no se haya atendido.

9.6.3 Del supervisor

El supervisor será responsable del cumplimiento de todo lo indicado en el proyecto ejecutivo, así como de las indicaciones del Director y del Corresponsable durante la obra de rehabilitación.

9.6.4 De laboratorios acreditados

El Director será responsable de verificar que los requisitos especiales de control de calidad de los materiales, señalados en el PACC, se cumplan por un laboratorio acreditado y reconocido por un organismo nacional de certificación.

9.6.5 Del Director

El Director deberá recabar los informes de obra preliminares, con las deficiencias y su solución. Todas las deficiencias serán asentadas en bitácora para la pronta ejecución del constructor. Al término de la construcción, el Director entregará un informe final al Instituto y al Propietario indicando el nivel de cumplimiento del PACC.



9.6.6 Del constructor

El constructor será responsable del cumplimiento de todo lo indicado en el proyecto ejecutivo, así como de las indicaciones del Director y del Corresponsable durante la obra de rehabilitación.



REFERENCIAS GENERALES Y BIBLIOGRAFÍA

Capítulo Primero

Alcocer, S.M., Muriá D., Arce, J.C., Durán, R., Fernández, L., Ordaz, M., Arroyo, D., Jaime, M.A., Rodríguez, G., y Rodríguez, M., (2018), “Servicio de Asesoramiento para Apoyar la Recuperación de la Infraestructura Escolar en México Afectada por los Sismos de septiembre de 2017”, Instituto de Ingeniería, UNAM, 435 pp.

Instituto Nacional de la Infraestructura Física Educativa, (INIFED) (2019), “Daños en estructuras atípicas, en estados con alta vulnerabilidad sísmica”. 29 de junio de 2019.

Instituto para la Seguridad de las Construcciones en la Ciudad de México, (ISC CDMX) (2019), “Lineamientos Técnicos para la Revisión de la Seguridad Estructural de Planteles Educativos en la Ciudad de México Después de un Sismo”. 18 de septiembre de 2019.

Instituto Valenciano de la Edificación, (IVE 2019), “Intervención en estructuras de hormigón armado”. 22 de mayo de 2019.

Capítulo Segundo

Arnold, C., y Reitherman, R., (1991), “Manual de configuración y diseño sísmico de edificios”, México, DF, Editorial Limusa, SA de CV., 20 pp.

Capítulo Cuarto

Cámara Nacional de la Industria del Hierro y el Acero, (CANACERO), NMX-B-172-CANACERO (2018), “Método de prueba mecánicas para productor de acero y hierro”, México.

Cámara Nacional de la Industria del Hierro y el Acero, (CANACERO), NMX-B-457-CANACERO (2017), “Varilla corrugada de acero de baja aleación para refuerzo de concreto – especificaciones y método de prueba”, México.

Organismo Nacional de Normalización y Certificación de Construcción y Edificación, S.C., NMX-C-169-ONNCCE (2010), “Industria de la Construcción - Concreto - Extracción de Especímenes Cilíndricos O Prismáticos de Concreto Hidráulico Endurecido”, México.

Comisión Federal de Electricidad (CFE), MDOC (2015), “Manual de Diseño por Sismo de Obras Civiles”, Comisión Federal de Electricidad, Ciudad de México.

Capítulo Quinto

American Concrete Institute, ACI 228.2R (2013), “Report on Nondestructive Test Methods for Evaluation of Concrete in Structures”, Farmington Hills, MI, EUA.

American Concrete Institute, ACI 423.4R (2014), “Report on Corrosion and Repair of Unbonded Single-Strand Tendons”, Farmington Hills, MI, EUA.



American Concrete Institute, ACI 222.2R (2014), “Report on Corrosion of Prestressing Steels”, Farmington Hills, MI, EUA.

American Concrete Institute, ACI 318 (2019), “Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary”, Farmington Hills, MI, EUA.

American Concrete Institute, 440.2R (2017), “Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures”, Farmington Hills, MI, EUA.

American Concrete Institute ACI 440.6 (2017), “Specification for Carbon and Glass Fiber-Reinforced Polymer Bar Materials for Concrete Reinforcement (Reapproved 2017)”, Farmington Hills, MI, EUA.

American Concrete Institute ACI 440.8 (2013), “Specification for Carbon and Glass Fiber-Reinforced Polymer Materials Made by Wet Layup for External Strengthening”, Farmington Hills, MI, EUA.

American Society of Testing Materials, ASTM C1583/C1583M (2013), “Standard Test Method for Tensile Strength of Concrete Surfaces and the Bond Strength or Tensile Strength of Concrete Repair and Overlay Materials by Direct Tension (Pull-off Method)”.

International Concrete Repair Institute, ICRI 210.3R (2013), “Guide for Using In-Situ Tensile Pulloff Tests to Evaluate Bond of Concrete Surface Materials”.

Post Tensioning Institute, PTI DC80.2 (2010), “Guide for Creating Openings and Penetrations in Existing Slabs with Unbonded PT”

Post Tensioning Institute, PTI DC80.3 (2010), “Guide for Evaluation and Repair of Unbonded PT Concrete Structures”

Federal Emergency Management Agency (FEMA), FEMA 547 (2006), “Techniques for Seismic Rehabilitation of Existing Buildings”.

Capítulo Sexto

Capítulo 6.1

Federal Emergency Management Agency (FEMA) (1997) “Guidelines for Seismic Rehabilitation of Buildings” FEMA-273. Washington, D.C.

Capítulo 6.2

Alcocer, S.M., (2019) “Rehabilitación de estructuras de mampostería,” capítulo 10 del libro “Edificaciones de Mampostería,” Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural y Limusa, ISBN 978-607-05-0861-5, pp. 281-337.

American Concrete Institute ACI 224R (2001), “Control of Cracking in Concrete Structures”, Farmington Hills, MI, EUA.



León, F., (1991), “Reparación de elementos de concreto reforzado con alto grado de daño”, Tesis de Maestría, Universidad Nacional Autónoma de México, México. Recuperado de <https://repositorio.unam.mx/contenidos/93769>

Fernández, M., (1966), “Las resinas epoxi en la construcción”, Instituto Eduardo Torroja. Universidad de Madrid. España pp. 88-90.

Elwood, K., y Sarrafzadeh, M., (2019), “Performance of Earthquake-Damaged Beams and Effectiveness” of Repair via Epoxy Injection”. University of Auckland, Nueva Zelanda.

Ramírez, A., (1996), “Estadística de edificios rehabilitados después del sismo de 1985”, Tesis de Maestría, Universidad Nacional Autónoma de México, México. Recuperado de <http://132.248.9.195/ppt1997/0240563/Index.html> .

Soto, E., (2008), “Rehabilitación de estructuras de concreto”, Tesis de Maestría, Universidad Nacional Autónoma de México, México.

Terán, A., (2009), Comunicación personal.

Vidaud, E., (2019), Comunicación personal.

Capítulo 6.3

American Concrete Institute, ACI 318 (2019), “Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary”, Farmington Hills, MI, EUA.

American Concrete Institute, ACI 355.2 (2019), “Qualification of Post-Installed Mechanical Anchors in Concrete”, Farmington Hills, MI, EUA.

The Japan Building Disaster Prevention Association, (2001), Guidelines for Seismic Retrofit of Existing Reinforced Concrete Buildings, pp. 2-48-2-49.

Capítulo 6.4

Alcocer, S.M., y Jirsa, J.O., (1993), “Strength of Reinforced Concrete Frame Connections Rehabilitated by Jacketing,” ACI Structural Journal, American Concrete Institute, vol. 90, no. 3, EUA, ISSN 0889-3241, pp. 249-261.

Alcocer S.M., (1993), “R/C Frame Connections Rehabilitated by Jacketing,” Journal of Structural Engineering, American Society of Civil Engineers, vol. 119, no. 5, EUA, ISSN 0733-9445, pp. 1413-1431.

Alcocer, S.M., y Jirsa, J.O., (1991), “Reinforced Concrete Frame Connections Rehabilitated by Jacketing,” Informe PMFSEL 91-1, Universidad de Texas en Austin, pp 221.

Fardis M., et al. (2003), “Seismic assessment and retrofit of reinforced concrete buildings”, Fédération internationale du béton (fib), Lausanne, Suiza.

Terán, A., (2019), Comunicación personal.



Capítulo 6.5

Alcocer, S.M, y Durán, R., (2002), “Seismic Performance of a RC Building with Columns Rehabilitated with Steel Angles and Straps,” Memorias de la Fifth American Concrete Institute International Conference, Cancún, México, pp. 531-552.

Fardis M., et al. (2003), “Seismic assessment and retrofit of reinforced concrete buildings”. Fédération internationale du béton (fib), Lausanne, Suiza.

González, O., et al. (2007), “Resistencia a fuerza cortante de columnas de concreto reforzadas con camisa de acero”. Revista Ingeniería Sísmica, No. 77, 53-70, México, D.F.

Secretaria de Educación Pública (2019), “Informe de los avances en la recuperación de edificios afectados por el sismo de 2017 y del comité para la reconstrucción y reparación de daños provocados por el sismo del 19 de septiembre de 2017 en el IPN”. 30 de junio de 2019.

Capítulo 6.6

American Concrete Institute ACI 440.2R (2017), “Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures”, Farmington Hills, MI, EUA.

American Concrete Institute ACI 440.6 (2017) “Specification for Carbon and Glass Fiber-Reinforced Polymer Bar Materials for Concrete Reinforcement (Reapproved 2017)”, Farmington Hills, MI, EUA.

American Concrete Institute ACI 440.8 (2013) “Specification for Carbon and Glass Fiber-Reinforced Polymer Materials Made by Wet Layup for External Strengthening”, Farmington Hills, MI, EUA.

Cuadros, H., Orozco, H., (2007), “Intervención de estructuras con refuerzos FRP”. V Simposio Nacional de Ingeniería Estructural en la Vivienda. Recuperado de http://www.smie.org.mx/SMIE_Articulos/si/si_04/te_01/ar_10.pdf.

Del Rey et al (2017). A design approach for FRP anchors in FRP-strengthened RC structures. The 13th International Symposium on Fiber-Reinforced Polymer Reinforcement for Concrete Structure (FRPRCS-13), at Anaheim, California. EUA

Peña, C. y Ehsani, M., (2008), “Uso de las telas poliméricas reforzadas con fibras (FRP) para la rehabilitación y refuerzo de Infraestructura y edificaciones”. XVI Congreso Nacional de Ingeniería Estructural. Recuperado de http://www.smie.org.mx/SMIE_Articulos/co/co_15/te_08/ar_05.pdf.

Capítulo 6.7

Alcocer, S.M., Ruiz, J., Pineda, J., Zepeda, J.A. (1996), “Retrofitting of confined masonry walls with welded wire mesh”, Memorias de la 11 Conferencia Mundial de Ingeniería Sísmica, Art. No. 1471, Acapulco, México.

Iglesias, J., et al. (1987), “Manual de reparación de estructuras de concreto y mampostería”, Depto. de Materiales, Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco, México, D.F.



Alcocer, S.M., Ruiz, J., (1998), “Desempeño experimental de estructuras de mampostería confinada rehabilitadas mediante el uso de malla de alambre”. Revista de Ingeniería Sísmica, No. 59, 59-79, México, D.F.

Alcocer S.M. y Jirsa J.O., (1991), “Reinforced Concrete frame connections rehabilitated by jacketing”, Informe PMFSEL 91-1, Universidad de Texas, Austin, julio, 221 pp.

Aguilar, G., y Alcocer, S. M., (2001), “Efecto del refuerzo horizontal en el comportamiento de muros de mampostería confinada ante cargas laterales”, Sistema Nacional de Protección Civil, CENAPRED.

Cámara Nacional de la Industria del Hierro y el Acero, (CANACERO), NMX-B-290-CANACERO (2013), “Industria Siderúrgica-Malla Electrosoldada de Acero Liso O Corrugado para Refuerzo de Concreto-Especificaciones y Métodos de Prueba”, México.

Flores, L., et al. (2004) “Rehabilitación con malla y mortero de muros de mampostería con aberturas”. XIV Congreso Nacional de Ingeniería Estructural, Acapulco, Gro, México.

Capítulo 6.8

Aguilar, J., Breña, S., Del Valle, E., Iglesias, J., Picado, M., Jara, M., Jirsa, J. (1996), “Rehabilitation of existing reinforced concrete buildings in México City”, PMFSEL Reporte No. 96-3, Ferguson Structural Engineering Laboratory, The University of Texas at Austin, pp. 38-43.

Federal Emergency Management Agency (FEMA) (2006), “Techniques for the Seismic Rehabilitation of Existing Buildings”, Tech. Rep. FEMA-547, Washington, D.C., capítulo 12 pp. 17-24.

The Japan Building Disaster Prevention Association, (2001), “Guidelines for Seismic Retrofit of Existing Reinforced Concrete Buildings”, pp. 7-21.

Soto, E. N., (2008), “Rehabilitación de estructuras de concreto”, Tesis de Maestría, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, pp. 44-48

Capítulo 6.9

American Concrete Institute ACI 355.3R (2011), “Guide for design of anchorage to concrete - Examples using ACI 318 Appendix D”, Farmington Hills, MI, EUA.

American Concrete Institute. ACI 355.4 (2011), “Qualification of post-installed adhesive anchors in concrete and commentary”, Farmington Hills, MI, EUA.

American Society of Civil Engineers ASCE/SEI 41 (2017), “Seismic evaluation and retrofit of existing buildings”, pp. 249-257, EUA.

ASCE/FEMA 356. (2000), “Prestandard and commentary for the seismic rehabilitation of buildings”, pp. 5-27, EUA.

American Society of Testing Materials, ASTM C1107 (2017), “Standard Specification for Packaged Dry, Hydraulic-Cement Grout (Nonshrink)”, West Conshohocken, PA, EUA.



De Buen, O., (2017), “Estructuras de Acero para Edificaciones”, Fundación ICA. Ciudad de México, México.

International Federation for Structural Concrete (FIB) (2003), “Seismic assessment and retrofit of reinforced concrete buildings”, Strength by adding a steel bracing system. Lausanne, Suiza. Pp. 210-219.

Ministry of Education, Culture, Sports Science and Technology of Japan. (2006), “Seismic retrofitting quick reference, examples of seismic retrofitting”, Tokio, Japón.

Jean, R., (2019), Comunicación personal.

Capítulo 6.11

Crisafulli, F. J. (1997), “Seismic behaviour of reinforced concrete structures with masonry infills”, Tesis de Doctorado, Universidad de Canterbury, Inglaterra.

Alcocer, S.M., (2019), “Rehabilitación de estructuras de mampostería,” capítulo 10 del libro “Edificaciones de Mampostería,” Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural y Limusa, ISBN 978-607-05-0861-5, pp. 281-337.

Capítulo 6.14

Comisión de Vialidad y Transporte Urbano, COVITUR, (1987), “Diseño Geotécnico”. Vol. 1. Secretaria de Obras. Departamento del Distrito Federal. México.

Comisión Federal de Electricidad (CFE), MDOC (2015), “Manual de Diseño estructural de cimentaciones de Obras Civiles”, Comisión Federal de Electricidad, Ciudad de México.

Cuevas, A., (2019), Comunicación Personal.

Santoyo, E., y Segovia, J. A., (1995), “Recimentación y renivelación de estructuras y monumentos”.

Tamez, E., Santoyo, E., y Ovando E., (1995), “Procedimiento de subexcavación” Cap VI en: Catedral Metropolitana: corrección geométrica, informe técnico. México: Asociación de Amigos de la Catedral Metropolitana de México, pp. 201-286.

Tamez, E. (1988). Pilotes de control en centrales telefónicas (Reto sísmico publicado por Teléfonos de México).

Santoyo, E., y Ovando, E., (2002), “Paralelismo entre: la Torre de Pisa y la Catedral de México”, en Memorias del International Workshop ISSMGE-Technical Committee TC36: Foundation Engineering in Difficult Soft Soil Conditions. Mexico City.

Capítulo Séptimo

Emmons, P.H, Vaysburd, A.M, y McDonald, J.E (1993), “Rational Approach to Durable Concrete Repairs”, Concrete International, 15 (9), PP 40-45.



American Concrete Institute ACI 440.2R (2017), “Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures”, Farmington Hills, MI, EUA.

Capítulo Octavo

American Institute of Steel Construction (1997), “Steel Design Guide 10: Erection Bracing of Low-Rise Structural Steel Buildings”.

American Concrete Institute SP-004 (2014), “Formwork for Concrete,” Farmington Hills, MI, EUA.

Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los EE.UU. (2013), “Guía de Operaciones de Apuntalamiento – GOA,” 3ª edición, mayo, 132 pp.

Referencias generales

Aguilar, J., Breña, S., Del Valle, E., Iglesias, J., Picado, M., Jara, M., y Jirsa, J.O., (1996), “Rehabilitation of existing reinforced concrete buildings in México City”, PMFSEL Informe No. 96-3, Ferguson Structural Engineering Laboratory, The University of Texas at Austin, agosto.

American Concrete Institute, ACI 562-19, (2019), “Code Requirements for Assessment, Repair, and Rehabilitation of Existing Concrete Structures and Commentary,” Farmington Hills, MI, EUA.

Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Acero (NTC-Acero) (2017), Gobierno de la Ciudad de México, diciembre.

Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Cimentaciones (NTC-Cimentaciones) (2017), Gobierno de la Ciudad de México, diciembre.

Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto (NTC-Concreto) (2017), Gobierno de la Ciudad de México, diciembre.

Normas Técnicas Complementarias sobre Criterios y Acciones para el Diseño Estructural de las Edificaciones (NTC-Criterios) (2017), Gobierno de la Ciudad de México, diciembre.

Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería (NTC-Mampostería) (2017), Gobierno de la Ciudad de México, diciembre.

Normas Técnicas Complementarias para la Revisión y Dictamen de la Seguridad Estructural de las Edificaciones (NTC-Revisión) (2017), Gobierno de la Ciudad de México, diciembre.

Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo (NTC-Sismo) (2017), Gobierno de la Ciudad de México, diciembre.

Normas para la Rehabilitación Sísmica de Edificaciones de Concreto Dañadas por el sismo del 19 de septiembre de 2017 (N-Rehabilitación) (2017), Gobierno de la Ciudad de México, diciembre.



Ramírez, A., (1996), “Estadística de edificios rehabilitados después del sismo de 1985”. Tesis de Maestría, Universidad Nacional Autónoma de México, México. Recuperado de <http://132.248.9.195/ppt1997/0240563/Index.html>.

Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal RCDF (2017), Gobierno de la Ciudad de México.

Soto, E., (2008), “Rehabilitación de estructuras de concreto”. Tesis de Maestría, Universidad Nacional Autónoma de México, México.