

NORMA TÉCNICA COMPLEMENTARIA PARA DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERÍA

ÍNDICE

NOTACIÓN	3
TERMINOLOGÍA.....	7
ESTÁNDARES.....	13
1. CONSIDERACIONES GENERALES.....	14
1.1 Alcance.....	14
1.2 El contenido de la Norma	14
1.3 Normas y estándares.....	14
1.4 Unidades	15
1.5 Figuras	15
1.6 Clasificación de las estructuras de mampostería	15
2. MATERIALES PARA MAMPOSTERÍA	17
2.1 Piezas.....	17
2.2 Cementantes	19
2.3 Agregados pétreos.....	19
2.4 Agua para mezclado	20
2.5 Morteros	20
2.6 Aditivos	22
2.7 Acero de refuerzo.....	22
2.8 Mampostería	23
2.9 Piedra natural para mampostería	29
3. ESPECIFICACIONES GENERALES DE ANÁLISIS	30
3.1 Métodos de análisis	30
3.2 Modelación de estructuras de mampostería	34
4. ESPECIFICACIONES GENERALES DE DISEÑO.....	38
4.1 Criterios de diseño	38
4.2 Detallado del refuerzo.....	47
5. MUROS DIAFRAGMA	56
5.1 Alcance.....	56
5.2 Determinación de las fuerzas laterales de diseño de muros diafragma.....	56
5.3 Resistencia a corte por aplastamiento a lo largo de la diagonal de un muro diafragma	57
5.4 Resistencia a corte por deslizamiento en muros diafragma	57
5.5 Resistencia a corte por tensión diagonal en muros diafragma.....	58
5.6 Rigidez reducida de muros diafragma para el cálculo de distorsiones de entrepiso.....	58
5.7 Volteo de muros diafragma.....	58
5.8 Interacción marco–muro diafragma	58
6. MAMPOSTERÍA CONFINADA	60
6.1 Alcance.....	60
6.2 Requisitos de castillos y dalas	60
6.3 Fuerzas y momentos de diseño.....	65
6.4 Resistencia a compresión y flexocompresión en el plano del muro	65
6.5 Resistencia a cargas laterales	66

7. MAMPOSTERÍA REFORZADA INTERIORMENTE	73
7.1 Alcance.....	73
7.2 Fuerzas y momentos de diseño.....	77
7.3 Resistencia a compresión y flexocompresión en el plano del muro	77
7.4 Resistencia a cargas laterales	78
8. MUROS NO ESTRUCTURALES.....	81
8.1 Alcance.....	81
8.2 Diseño.....	81
9. MAMPOSTERÍA DE PIEDRAS NATURALES	84
9.1 Alcance.....	84
9.2 Materiales	84
9.3 Diseño.....	84
9.4 Cimientos.....	85
9.5 Muros de contención.....	86
10. CONSTRUCCIÓN.....	87
10.2 Construcción de mampostería de piedras artificiales.....	87
10.3 Construcción de mampostería de piedras naturales	97
10.4 Construcción de cimentaciones.....	99
11. INSPECCIÓN Y CONTROL DE OBRA	100
11.1 Inspección	100
11.2 Control de obra	100
12. ANÁLISIS, DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE ESTRUCTURAS TIPO II	104
12.1 Consideraciones generales.....	104
12.2 Materiales	104
12.3 Especificaciones generales de análisis y diseño	105
12.4 Mampostería confinada.....	108
12.5 Mampostería reforzada interiormente.....	109
12.6 Construcción	110
12.7 Inspección y control de obra	111
APÉNDICE A - CRITERIO DE ACEPTACIÓN DE SISTEMAS CONSTRUCTIVOS A BASE DE MAMPOSTERÍA DISEÑADOS POR SISMO	112
Notación	112
Terminología	113
A.1 Alcance	114
A.2 Criterio de diseño de los especímenes.....	114
A.3 Especímenes de pruebas	114
A.4 Laboratorio.....	114
A.5 Protocolo de ensayo.....	115
A.6 Informe de pruebas.....	115
A.7 Criterio de aceptación.....	116
REFERENCIAS EN LOS COMENTARIOS.....	119

NOTACIÓN

A_b	Área bruta de una pieza de mampostería, mm ² (cm ²)
A_n	Área neta de una pieza de mampostería, mm ² (cm ²)
A_s	área total de acero de refuerzo longitudinal colocada en cada uno de los castillos extremos del muro en mampostería confinada; área del acero de refuerzo vertical en muros de mampostería reforzada interiormente, mm ² (cm ²)
A_{sc}	área del acero de refuerzo transversal de los castillos o dalas colocada a una separación s , mm ² (cm ²)
A_{sh}	área del acero de refuerzo horizontal colocada a una separación s_h , mm ² (cm ²)
A_{st}	área de acero de los dispositivos o conectores, colocados a una separación s , necesaria para dar continuidad a muros transversales que lleguen a tope, mm ² (cm ²)
A_{sv}	área del acero de refuerzo vertical colocada a una separación s_v , mm ² (cm ²)
A_T	área bruta de la sección transversal del muro o segmento de muro, obtenida como $t \times L$, donde que L incluye a los castillos en el caso de mampostería confinada, mm ² (cm ²)
a	L/L_v , cociente de la longitud del muro que se desplanta en una viga entre la longitud de la viga
B	Dimensión de la planta
$B_{máx}$	Dimensión mayor de la planta, mm (m)
$B_{mín}$	Dimensión menor de la planta, mm (m)
b	longitud de apoyo de una losa soportada por el muro, mm (cm)
b_c	dimensión del castillo o dala perpendicular al plano del muro, mm (cm)
b_d	ancho de la diagonal equivalente en muros diafragma, mm (cm)
b_v	ancho de la viga de concreto que soporta a un muro de mampostería, mm (cm)
c	posición del eje un muro que se desplanta sobre una viga con respecto al centro de dicha viga, mm (cm)
c_j	coeficiente de variación de la resistencia a compresión del mortero o del concreto de relleno
c_m	coeficiente de variación de la resistencia a compresión de pilas de mampostería
c_{max}	posición de un muro que se desplanta sobre una viga, cuando uno de sus bordes coincide con el extremo de la viga, mm (cm) (posición extrema o máxima)
c_p	coeficiente de variación de la resistencia a compresión de piezas
c_v	coeficiente de variación de la resistencia a compresión diagonal de muretes de mampostería
c_z	coeficiente de variación de la resistencia de interés de las muestras
d	distancia entre el centroide del acero de tensión y la fibra a compresión máxima, mm (cm)
d'	distancia entre los centroides del acero colocado en ambos extremos de un muro, mm (cm)
d_b	diámetro de barra de refuerzo, mm (cm)
E_f	módulo de elasticidad del material del marco, MPa (kg/cm ²)
E_m	módulo de elasticidad de la mampostería para esfuerzos de compresión normales a las juntas, MPa (kg/cm ²)
E_s	módulo de elasticidad del acero, MPa (kg/cm ²)
e	excentricidad con que actúa la carga en elementos de mampostería de piedras naturales y que incluye los efectos de empujes laterales, si existen, mm (cm)
e_c	excentricidad con que se transmite la carga de la losa a muros extremos, mm (cm)
e_s	Excentricidad estática de entrepiso, mm (cm)
e'	excentricidad calculada para obtener el factor de reducción por excentricidad y esbeltez, mm (cm)
F_{AE}	factor de área efectiva
F_{CE}	factor de concentración de esfuerzos en los extremos de un muro que desplanta sobre una viga

F_E	factor de reducción por efectos de excentricidad y esbeltez
F_t	fuerza sísmica del nivel i
f	factor que toma en cuenta la relación de aspecto del muro en el cálculo de la contribución de la mampostería a la resistencia a corte
f_{an}	cociente entre área neta y el área bruta de las piezas
f_{nm}	cociente del área neta y el área bruta de un muro con refuerzo interior, considerando a las celdas rellenas de mortero o concreto de relleno como macizas
f_{CM}	esfuerzo de compresión máximo en el extremo de un muro desplantado sobre una viga, MPa (kg/cm ²)
f'_c	resistencia especificada del concreto en compresión, MPa (kg/cm ²)
f_l	factor de corrección del momento de inercia de una viga que soporta un muro
\overline{f}_j	resistencia media a compresión de cubos de mortero, MPa (kg/cm ²)
f'_j	resistencia especificada de diseño a compresión para diseño del mortero, MPa (kg/cm ²)
\overline{f}_m	resistencia media a compresión de pilas de mampostería, corregida por su relación altura a espesor y referida al área bruta, MPa (kg/cm ²)
f'_m	resistencia especificada a compresión para diseño de la mampostería, referida al área bruta, MPa (kg/cm ²)
\overline{f}_p	resistencia media a compresión de las piezas, referida al área bruta, MPa (kg/cm ²)
f'_p	resistencia especificada de diseño a compresión de las piezas, referida al área bruta, MPa (kg/cm ²)
f_y	esfuerzo de fluencia especificado del acero de refuerzo, MPa (kg/cm ²)
f_{yh}	esfuerzo de fluencia especificado del acero de refuerzo horizontal o malla de alambre soldado, MPa (kg/cm ²)
f_{yv}	esfuerzo de fluencia especificado del acero de refuerzo vertical distribuido a lo largo del muro, MPa (kg/cm ²)
G_e	módulo de rigidez a cortante elástico compatible con el módulo de elasticidad (E) y de Poisson (ν) del material
G_m	módulo de rigidez a cortante de la mampostería, MPa (kg/cm ²)
H	altura libre del muro entre elementos capaces de darle apoyo lateral, mm (cm)
H_0	longitud mínima, en los extremos de los castillos, a lo largo de la cual se deben colocar los estribos a una separación reducida, mm (cm)
h_c	peralte de la sección del castillo o dala que confina a un muro, paralela al plano del mismo, mm (cm)
h_j	espesor de la junta de mortero de pega, mm (cm)
h_v	peralte de la viga de concreto que soporta a un muro de mampostería, mm (cm)
I	momento de inercia de una sección bruta, mm ⁴ (cm ⁴)
K	relación de rigideces entre un muro y la viga de soporte
k	factor de altura efectiva del muro
k_c	ajuste al factor de concentración de esfuerzos en función de la posición del muro en la viga de apoyo
k_0	factor para determinar la resistencia a fuerza cortante debida a la mampostería que depende de la relación de aspecto del muro
k_1	factor de reducción de la resistencia a fuerza cortante debida a la mampostería que depende de la cuantía de refuerzo horizontal
L	longitud efectiva del muro, mm (cm)
L'	separación de los elementos que rigidizan transversalmente al muro, mm (cm)
L_d	longitud de desarrollo de barras a tensión de acuerdo con la NTC-Concreto, mm (cm)
L_{dh}	longitud de desarrollo de barras a tensión con doblez estándar según las NTC-Concreto, mm (cm)

L_v	longitud de la viga que soporta a un muro de mampostería, mm (cm)
l_d	longitud de la diagonal en un muro diafragma, mm (cm)
ℓ_c	longitud de contacto entre la columna del marco y el muro diafragma, cuando la estructura se deforma lateralmente, mm (cm)
ℓ_v	longitud de contacto entre la viga del marco y el muro diafragma, cuando la estructura se deforma lateralmente, mm (cm)
M_R	momento flexionante resistente de diseño en el plano de un muro sujeto a flexocompresión, N-mm (kg-cm)
M_0	momento flexionante resistente nominal en el plano de un muro sujeto a flexión pura, N-mm (kg-cm)
P	carga axial total que obra sobre el muro, sin multiplicar por el factor de carga, N (kg)
P_R	resistencia de diseño del muro a carga vertical, N (kg)
P_u	carga axial de diseño, N (kg)
p_h	cuantía de acero de refuerzo horizontal en el muro, calculada como $A_{sh}/(s_h \times t)$
p_v	cuantía de acero de refuerzo vertical en el muro, calculada como $A_{sv}/(s_v \times t)$
Q	factor de comportamiento sísmico
R	factor de sobrerresistencia, Capítulo 3 de la NTC-Sismo
s	separación del acero de refuerzo transversal o de conectores, mm (cm)
s_h	separación del acero de refuerzo horizontal en el muro o de los alambres horizontales de una malla de alambre soldado, mm (cm)
s_v	separación del acero de refuerzo vertical en el muro, mm (cm)
t	espesor de la mampostería del muro, mm (cm)
V_R	resistencia de diseño del muro a carga lateral, N (kg)
V_{Ri}	resistencia a fuerza cortante del i -ésimo entrepiso, N (kg)
V_{mR}	fuerza cortante resistente de diseño de un muro debida a la mampostería, N (kg)
V_{sR}	fuerza cortante resistente de diseño de un muro debida al acero de refuerzo horizontal o al refuerzo horizontal de una malla de alambre soldado, N (kg)
V_{ui}	fuerza cortante última en el i -ésimo entrepiso, N (kg)
v'_m	resistencia especificada a compresión diagonal para diseño de la mampostería, referida al área bruta, MPa (kg/cm ²)
\overline{v}_m	resistencia media a compresión diagonal de muretes, calculada sobre área bruta medida a lo largo de la diagonal paralela a la carga, MPa (kg/cm ²)
W_p	carga característica por unidad de longitud en una viga, N/mm (kg/cm)
w_u	carga vertical de diseño, distribuida uniformemente sobre la viga que soporta a un muro, N/mm (kg/cm)
z'	resistencia especificada de diseño de interés, MPa (kg/cm ²)
\bar{z}	resistencias medias de las muestras, MPa (kg/cm ²)
α	reducción de la resistencia a fuerza cortante normalizada por unidad de cuantía resistente efectiva $(p_h f_{yh})_e$, MPa ⁻¹ , (cm ² /kg)
β_1	coeficiente que afecta la longitud de traslape en función del diámetro de la barra
β_2	recubrimiento mínimo de mortero en traslape de barras, mm (cm)
γ_{lr}	distorsión lateral calculada con fuerzas laterales reducidas
γ_{li}	distorsión lateral inelástica
γ_{max}	distorsión lateral inelástica máxima de acuerdo con la NTC-Sismo
δ_h	holgura horizontal de muros no estructurales, mm (cm)
δ_v	holgura vertical de muros no estructurales, mm (cm)

ϵ_t	deformación unitaria neta en tensión del acero
ϵ_{ty}	deformación unitaria de fluencia del acero a tensión
η	factor de eficiencia del refuerzo horizontal
η_s	factor parcial de eficiencia del refuerzo horizontal que depende de la resistencia a compresión de la mampostería
ν	módulo de Poisson
θ_d	ángulo que forma la diagonal equivalente de un muro diafragma con la horizontal

Espacio en blanco dejado de manera intencional

TERMINOLOGÍA

Acciones

Todos los fenómenos que inducen en una estructura fuerzas internas, esfuerzos y deformaciones.

Aditivo

Sustancia que se agrega a la mezcla de concreto para producir ciertas propiedades de la mezcla o del concreto durante o después del fraguado. Deben cumplir con NMX-C-255-ONNCCE-2013.

Agregado

Material constitutivo del concreto o mortero. Debe cumplir con NMX-C-111-ONNCCE-2018.

Alambre

Hilo de metal obtenido por trefilado, con diámetro de 6.35 mm o menor.

Alambrón

Alambre de acero redondo liso laminado en caliente con diámetros de 5.5 a 6.35 mm.

Área bruta de una pieza de mampostería

Área del rectángulo que inscribe a la totalidad de la sección transversal de la pieza en un plano paralelo al plano de apoyo de la pieza. Se asume que la pieza es prismática (fig. C2.1.1).

Área neta de una pieza de mampostería

Área sólida de material que resulte menor de las obtenidas para las secciones transversales, paralelas al plano de apoyo, a todo lo alto de la pieza.

Área tributaria

Área del espacio sobre el que actúa la carga que se transmite al miembro estructural de interés.

Articulación plástica

Zona sobre el eje de una viga, columna o muro en la que se alcanza la fluencia por flexión.

Barra de refuerzo

Elemento de acero, con sección transversal nominal uniforme, utilizado para reforzar el concreto o la mampostería, con diámetro mayor que 6.35 mm.

Cal hidratada

Es el resultado de la hidratación de la cal viva u óxido de calcio, producto de la calcinación de piedra caliza, resultando hidróxido de Calcio $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (NMX-C-003-ONNCCE-2018).

Canto rodado

Fragmento de roca de tamaño reducido de superficie alisada y redondeada debido a un desgaste por erosión.

Castillo

Elemento de concreto reforzado de eje vertical de dimensiones reducidas (similares al espesor del muro), que es parte de un muro de mampostería confinada y que cumple con los requisitos de 6.2.

Castillo externo

Castillo que se construye por fuera de las piezas del muro. Se requiere de una cimbra para ser colado.

Castillo interior

Castillo construido en el interior de piezas huecas de un muro y que no requiere cimbra.

Cemento de albañilería

Conglomerante hidráulico comercializado para trabajos de albañilería y que puede contener uno o más de los materiales siguientes: cemento Portland, cemento portland ordinario, cemento portland de escoria de alto horno, cemento portland puzolánico, a los cuales se les puede agregar uno o más materiales tales como: cal hidratada, piedra caliza, arcilla o puzolana u otros materiales para dar plasticidad y trabajabilidad a la mezcla.

Colado

Proceso en el cual una mezcla fresca de concreto, o mortero, es colocada en un molde o cimbra, donde se le deja endurecer (fraguar).

Contracción

Reducción del volumen que ocurre cuando el concreto, mortero o pasta cementante, está pasando de su estado plástico (aún no ha fraguado) al estado endurecido, por pérdida de agua.

Contratrabe

Viga, típicamente parte de un cimiento, que tiene su carga en la cara inferior.

Cuantía de acero de refuerzo

Es el cociente del área de acero de refuerzo dividida entre el área bruta, en una sección transversal del elemento que se considere.

Cuantía resistente

Producto de la cuantía del refuerzo vertical u horizontal, p_v , o p_h , por el esfuerzo de fluencia de dicho refuerzo, f_y , esto es, $p_v f_{yv}$ o $p_h f_{yh}$, respectivamente. MPa, (kg/cm²).

Dala

Elemento horizontal de concreto reforzado, colocado sobre el muro, debajo de él (dala de desplante), en el extremo superior de huecos o aberturas (dala de cerramiento) o en el borde inferior de aberturas.

Dentado

Preparación de la mampostería en el paño de contacto con un castillo, que se utiliza para garantizar el trabajo mecánico conjunto de la mampostería y el concreto del castillo (fig. 10.2.4.3.1).

Diafragma

Se refiere al sistema de piso cuando cumple la función de transmitir fuerzas laterales en su plano a los elementos verticales que resisten cargas laterales.

Distorsión de entrepiso

Diferencia de los desplazamientos laterales en una misma dirección asociados a dos niveles consecutivos de la estructura, dividida entre la diferencia de las elevaciones correspondientes.

Entidad acreditadora

Órgano que garantiza que los Organismos de Evaluación de la Conformidad son confiables y técnicamente competentes.

Entrepiso

Espacio entre los planos medios de dos losas de piso consecutivas de una edificación.

Escalerilla

Refuerzo formado por dos alambres de acero paralelos en el sentido longitudinal, unidos por alambres de acero transversales electro-soldados espaciados uniformemente. No se admite para uso estructural, pero sí se refiere en la norma.

Escarpio

Cara lateral inclinada de una cimentación o muro de piedra.

Estado límite de falla

Combinación de fuerzas, desplazamientos y/o niveles de fatiga que ponen en peligro la estabilidad de la construcción o de una parte de ella, o a su capacidad para resistir nuevas aplicaciones de carga (3.1 de la NTC-Criterios).

Estado límite de servicio

Combinación de fuerzas, desplazamientos y/o niveles de fatiga que producen modos de comportamiento que implican la ocurrencia de daños económicos o la presentación de condiciones que impiden el desarrollo adecuado de las funciones para las que se haya proyectado la construcción (NTC-Criterios).

Estribo

Barra o alambre de refuerzo con forma cerrada colocado perpendicularmente al eje longitudinal de un elemento de concreto, con el objetivo de resistir fuerza cortante y confinar el núcleo del elemento.

Estructura Tipo I

Estructura que, por su importancia, debe ser analizada y diseñada siguiendo los procedimientos generales contenidos en esta norma.

Estructura Tipo II

Estructura que, por su importancia puede ser analizada y diseñada utilizando procedimientos simplificados conservadores contenidos en el Capítulo 12.

Comentario:

Se intercambió la designación de Tipo I y Tipo II respecto a la versión anterior de la norma, NTCM 2020.

Factor de carga, F_C

Factor que se aplica a una acción o fuerza interna de servicio para obtener el valor de diseño (NTC-Criterios)

Factor de resistencia, F_R

Factor menor que la unidad que se aplica a la resistencia nominal para obtener la resistencia de diseño (NTC-Criterios).

Fluencia

Estado de un material o elemento estructural en que éste pierde sustancialmente su rigidez y se deforma plásticamente.

Flujo plástico

Deformación con el paso del tiempo de un material ante cargas sostenidas. Esta deformación es adicional a la elástica que se produce por la aplicación inicial de la carga.

Grapa

Barra o alambre con dobleces a 180 grados en cada extremo, utilizada para mantener unidos dos elementos.

Junteador o llaguero

Herramienta metálica convexa y lisa que sirve para retacar o compactar el mortero de las juntas.

Laboratorio acreditado

Laboratorio acreditado por una entidad acreditadora.

Losa

Elemento estructural plano horizontal con la dimensión en el sentido vertical mucho menor que las otras dos, utilizado para cubrir un área.

Mampostería

Construcción compuesta, integrada por piezas de origen pétreo, naturales o artificiales, que por lo general son lo suficientemente pequeñas como para ser manejadas por una persona y que son unidas entre sí con mortero.

Mampostería confinada

Sistema a base de muros de mampostería rodeados con castillos y dalas que cumple con los requisitos del Capítulo 6.

Mampostería reforzada interiormente

Sistema a base de muros de mampostería en el que los elementos resistentes tienen acero de refuerzo horizontal y vertical distribuido en forma aproximadamente uniforme y que cumple con los requisitos del Capítulo 7.

Mortero

Mezcla de arena, cemento portland y otros cementantes como cal hidratada o cemento de albañilería, y agua, que se utiliza para pegar las piezas de mampostería. Puede usarse para rellenar las celdas de las piezas en muros de mampostería con refuerzo interior.

Murete

Probeta de mampostería utilizada para obtener experimentalmente la resistencia a compresión diagonal (fig. 2.8.2.4.1).

Muro

Elemento resistente con eje vertical que se caracteriza porque su sección transversal tiene una dimensión mucho menor en un sentido que en el sentido perpendicular.

Muro aparente

Mampostería que no se recubre quedando visibles las piezas y las juntas.

Muro diafragma

Es un muro estructural confinado o reforzado interiormente que se utiliza para cubrir el área limitada por un marco. El muro se construye de manera que está ligado al marco y contribuye a la estabilidad de la estructura. (Capítulo 5).

Muro no estructural

Muro que no contribuye a la resistencia ni estabilidad de la estructura.

Muro de carga

Muro que contribuye a la resistencia y estabilidad de la estructura.

Normas

Normas Técnicas Complementarias y otras Normas del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal vigentes.

NTC-Acero

Norma Técnica Complementaria para Diseño y Construcción de Estructuras de Acero.

NTC-Cimentaciones

Norma Técnica Complementaria para Diseño y Construcción de Cimentaciones.

NTC-Concreto

Norma Técnica Complementaria para Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto.

NTC-Criterios

Norma Técnica Complementaria sobre Criterios y Acciones para el Diseño Estructural de las Edificaciones.

NTC-Evaluación y Rehabilitación

Norma Técnica Complementaria para la Evaluación y Rehabilitación Estructural de Edificios Existentes.

NTC-Madera

Norma Técnica Complementaria para Diseño y Construcción de Estructuras de Madera y Bambú.

NTC-Mampostería

Norma Técnica Complementaria para Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería.

NTC-Proyecto Arquitectónico

Norma Técnica Complementaria para Diseño de Proyecto Arquitectónico.

NTC-Revisión

Norma Técnica Complementaria para la Revisión de la Seguridad Estructural de las Edificaciones.

NTC-Sismo

Norma Técnica Complementaria para Diseño por Sismo.

NTC-Viento

Norma Técnica Complementaria para Diseño por Viento.

Patín

Proyección horizontal en un extremo de la sección de un elemento, con lo que se proporciona un notable incremento de momento de inercia y de capacidad para resistir momentos flexionantes.

Piedra braza

Fragmentos de roca natural para hacer mampostería, referida a la medida antigua de una braza.

Pila

Probeta de mampostería que se utiliza para obtener la resistencia a compresión de la mampostería (fig. 2.8.1.3.1).

Pieza hueca

Es la clasificación que se da a una pieza de mampostería que tiene un área neta de, al menos, 50 por ciento, pero es menor que 75 por ciento, del área bruta, y cumple con los espesores de pared según la clasificación de la tabla 2.1.1.2.

Pieza maciza

Es la clasificación que se da a una pieza de mampostería que tiene un área neta mayor o igual al 75 por ciento del área bruta, y cumple con los espesores de pared según la clasificación de la tabla 2.1.1.2.

Pretil o parapeto

Muro de baja altura.

Puntal

Un elemento que representa la resultante de un campo de compresión paralelo o en forma de abanico.

Refuerzo horizontal

Barras o alambres de acero que se colocan en las juntas horizontales de la mampostería. El refuerzo también puede colocarse en piezas especiales que tienen ranuras o cavidades paralelas a las juntas.

Refuerzo vertical

Barra o alambre de acero que se coloca en una cavidad en el sentido vertical del muro, que resulta de la alineación, a todo lo alto del muro, de las celdas de las piezas de mampostería. Dichas cavidades se rellenan de concreto o mortero después de colocado el refuerzo.

Resistencia de diseño

Producto de la resistencia nominal, calculada a partir de las NTC, por el factor de resistencia, F_R .

Resistencia nominal

Resistencia de un elemento o una sección transversal calculada con las disposiciones e hipótesis del método de diseño por resistencia de las NTC, antes de aplicar cualquier factor de resistencia, F_R .

Retención de agua

Propiedad de la mezcla de mortero que mide la resistencia de la mezcla a perder agua al ser expuesto a un sustrato o el medio ambiente. (%)

Revenimiento

Propiedad del concreto relativa a su consistencia que caracteriza la capacidad de este material a fluir dentro de un molde. Para su medición se utiliza un ensaye estandarizado (NMX-C-156-ONNCCE-2010). (cm).

Rigidez

Oposición de un material o elemento estructural a ser deformado. Es el esfuerzo necesario para producir una deformación unitaria o, alternativamente, es la carga requerida para producir un desplazamiento unitario. La rigidez angular se define como el momento que produce un giro unitario.

Sección transformada

Procedimiento para el cálculo de las propiedades geométricas de una sección transversal compuesta de dos (o más) materiales, que consiste en transformar un material en el otro, utilizando el cociente de los módulos de elasticidad de los materiales.

Segregación

Concentración no uniforme de los componentes en una mezcla de concreto o mortero.

Tabicón

Tabique macizo compuesto de concreto.

Tabique

Pieza para mampostería de forma prismática rectangular, de dimensiones menores que el bloque, fabricado con concreto o con arcillas, comprimidas o extruidas, mediante un proceso de cocción. Puede ser macizo o hueco. Al tabique macizo de arcilla, de fabricación artesanal, se le conoce comúnmente como ladrillo y al tabique macizo de concreto como tabicón.

Valor esperado

Valor medio de una propiedad o parámetro.

Viga

Elemento estructural de eje recto que cubre un claro horizontal o sensiblemente horizontal que resiste cargas externas sobre la cara superior y su preso propio. Dichas cargas inducen, principalmente, momentos flexionantes y fuerzas cortantes.

Vigueta

Vigas de tamaño relativamente pequeño apoyadas sobre vigas o muros, colocadas en forma paralela a poca separación, para soportar las bovedillas. En conjunto, viguetas y bovedillas, sirven para formar un sistema de piso o cubierta.

Voladizo

Viga o losa empotrada en un extremo y libre en el otro.

Zapata

Elemento estructural de la cimentación que transmite las cargas directamente al suelo, generalmente tiene una forma ensanchada hacia la parte de contacto con el terreno para distribuir las cargas en una superficie más amplia. Puede ser aislada o corrida y de borde o lindero.

Espacio en blanco dejado de manera intencional

ESTÁNDARES

Normas Mexicanas (NMX)

Industria siderúrgica

NMX-B-072-CANACERO-2017 – Varilla corrugada de acero, grado 60, laminada en frío para refuerzo de concreto – Especificaciones y métodos de prueba.

NMX-B-253-CANACERO-2020 – Alambre de acero liso o corrugado para refuerzo de concreto – Especificaciones y métodos de prueba.

NMX-B-290-CANACERO-2021 – Malla electrosoldada de acero liso o corrugado para refuerzo de concreto – Especificaciones y métodos de prueba.

NMX-B-365-CANACERO-2017 – Alambión de acero al carbono para trefilación – Especificaciones y métodos de prueba.

NMX-B-456-CANACERO-2017 – Armaduras electrosoldadas de alambre de acero para castillos y dalas – Especificaciones y métodos de prueba.

NMX-B-457-CANACERO-2019 – Varilla corrugada de acero de baja aleación para refuerzo de concreto – Especificaciones y métodos de prueba.

NMX-B-506-CANACERO-2019 – Varilla corrugada de acero para refuerzo de concreto – Especificaciones y métodos de prueba.

Industria de la construcción

NMX-C-003-ONNCCE-2017 – Cal hidratada – Especificaciones y métodos de ensayo.

NMX-C-021-ONNCCE-2015 – Cemento para albañilería (mortero) – Especificaciones y métodos de ensayo.

NMX-C-036-ONNCCE-2013 – Mampostería – Resistencia a la compresión de bloques, tabiques o ladrillos y tabicones y adoquines – Método de ensayo.

NMX-C-061-ONNCCE-2015 – Cementantes hidráulicos – Determinación de la resistencia a la compresión de cementantes hidráulicos.

NMX-C-083-ONNCCE-2014 – Concreto – Determinación de la resistencia a la compresión de especímenes – Método de ensayo.

NMX-C-111-ONNCCE-2018 – Agregados para concreto hidráulico – Especificaciones y métodos de ensayo.

NMX-C-122-ONNCCE-2019 – Agua para concreto – Especificaciones.

NMX-C-159-ONNCCE-2016 – Concreto – Elaboración y curado de especímenes de ensayo.

NMX-C-255-ONNCCE-2013 – Aditivos químicos para concreto – Especificaciones y métodos de ensayo.

NMX-C-404-ONNCCE-2012 – Mampostería – Bloques, tabiques o ladrillos y tabicones para uso estructural – Especificaciones y métodos de ensayo.

NMX-C-405-ONNCCE-2014 – Paneles para uso estructural aplicados en sistemas constructivos – Especificaciones y métodos de ensayo.

NMX-C-406-ONNCCE-2019 – Componentes para sistemas de losas prefabricadas de concreto – Especificaciones y métodos de ensayo.

NMX-C-414-ONNCCE-2017 – Cementantes hidráulicos – Especificaciones y métodos de ensayo.

NMX-C-464-ONNCCE-2010 – Mampostería – Determinación de la resistencia a compresión diagonal y módulo de cortante de muretes, así como determinación de la resistencia a compresión y módulo de elasticidad de pilas de mampostería de arcilla o de concreto – Métodos de ensayo.

NMX-C-486-ONNCCE-2014 – Mampostería – Mortero para uso estructural – Especificaciones y métodos de ensayo.

NMX-C-536-ONNCCE-2017 – Mampostería – Piedra natural para construcción de mampostería – Especificaciones y métodos de ensayo.

American Concrete Institute (ACI)

ACI CODE 216.1-14(19) Code Requirements for Determining Fire Resistance of Concrete and Masonry Construction Assemblies.

1. CONSIDERACIONES GENERALES

1.1 Alcance

1.1.1 Esta Norma contiene requisitos mínimos para el análisis, diseño, detallado y construcción de estructuras a base de muros de mampostería. Esta norma sólo permite el diseño y construcción de estructuras nuevas de piezas artificiales a base de mampostería confinada o reforzada interiormente. Sólo se acepta mampostería sin refuerzo en mampostería de piedra natural.

1.1.2 Estas disposiciones deberán considerarse como un complemento de los principios básicos de diseño establecidos en el Título Sexto del Reglamento, la NTC-Criterios, la NTC-Proyecto Arquitectónico, la NTC-Sismo, la NTC-Viento y la NTC-Evaluación y Rehabilitación.

1.1.3 En esta Norma, cuando es necesario, se precisa la intervención del Director, Revisor, Responsable, Constructor y Supervisor, cuyas atribuciones generales están establecidas en el Reglamento.

1.1.4 Esta Norma no es aplicable para el diseño y construcción de estructuras a base de columnas de mampostería.

1.1.2 Cualquier otro tipo de piezas, de refuerzo o de modalidad constructiva a base de mampostería, diferente de los aquí comprendidos, deberá ser evaluado según lo establece el Reglamento y el Apéndice Normativo A de esta Norma.

1.2 El contenido de la Norma

En el Capítulo 2 se describen los materiales que deberán utilizarse para la construcción de estructuras y de mampostería, así como los parámetros de calidad, requisitos mínimos de resistencia y los procedimientos para evaluar dichas propiedades.

En los Capítulos 3 y 4 se incluyen los criterios generales de análisis y diseño, respectivamente, de las estructuras de mampostería consideradas en 1.1.

Los Capítulos 5 a 7 se refieren a los diferentes sistemas constructivos a base de mampostería con piedras artificiales. Si bien el comportamiento de los sistemas constructivos es, en términos generales, similar, se establece la división en capítulos para facilitar el proceso de análisis y diseño.

El Capítulo 8 se aplica al diseño de muros no estructurales.

El Capítulo 9 se aplica al diseño de estructuras hechas con piedras naturales.

Los Capítulos 10 y 11 se refieren a la construcción a la inspección y al control de obra.

En el Capítulo 12, se incluyen disposiciones para el análisis, diseño y construcción de estructuras de mampostería Tipo II de acuerdo con la clasificación establecida en 1.6.

En el Apéndice Normativo A se presenta un criterio de aceptación de sistemas constructivos a base de mampostería diseñados por sismo.

Comentario:

En versiones anteriores de esta Norma se tenía un capítulo para la evaluación y rehabilitación de estructuras de mampostería, pero ya no forma parte de esta Norma porque se integró a la NTC-Evaluación y Rehabilitación.

1.3 Normas y estándares

1.3.1 Se considerará obligatorio el uso de las Normas Mexicanas (NMX) o Estándares, así como cualquier otra publicación, nacional o extranjera, que sea requerida en el cuerpo normativo de esta Norma.

1.3.2 Se deberán aplicar las NMX o Estándares del año indicado en esta Norma. No se permitirá el uso de NMX o Estándares posteriores al inicio de vigencia de esta Norma, a menos que el Director lo apruebe.

1.3.3 Las normas mexicanas aplicables se listan en la sección correspondiente antes de este capítulo. En caso de haber conflicto entre esta norma y alguna de las normas mexicanas serán aplicables los requisitos prescritos en este documento.

1.4 Unidades

1.4.1 En las expresiones que aparecen en esta Norma se utilizan las unidades de la tabla 1.4.1 que corresponden al Sistema Internacional (SI).

Tabla 1.4.1 – Unidades del Sistema Internacional usadas en esta Norma

Dimensión	Unidad
Fuerza	N (newton)
Longitud	mm (milímetro)
Momento	N-mm
Esfuerzo	MPa (megapascal)

1.4.2 Siempre que es posible, las expresiones están escritas en forma adimensional; de lo contrario, junto a las expresiones en sistema internacional, se escriben, entre paréntesis, las expresiones equivalentes en el sistema gravitacional usual (MKS), empleando las unidades indicadas en la tabla 1.4.2.

Tabla 1.4.2 – Unidades del sistema gravitacional convencional usadas en esta Norma

Dimensión	Unidad
Fuerza	kg (kilogramo fuerza) ^[1]
Longitud	cm (centímetro)
Momento	kg-cm
Esfuerzo	kg/cm ²

^[1] En esta Norma el kilogramo fuerza se representa con kg.

1.4.3 Cada sistema deberá utilizarse con independencia del otro, sin hacer combinaciones entre los dos.

1.4.4 Las unidades que aquí se mencionan son las comunes de los dos sistemas. Se permitirá usar otras unidades, empleadas correctamente, que en ocasiones pueden ser más convenientes; por ejemplo, en el sistema gravitacional usual puede ser preferible expresar las longitudes en metros (m), las fuerzas en toneladas (t) y los momentos en t-m.

Comentario:

Los valores correspondientes a los dos sistemas de unidades en esta Norma no son exactamente equivalentes. Se adoptó la convención de redondear el factor 9.81 N/kg como 10.

1.5 Figuras

Las figuras aclaran la aplicación correcta de algunas de las especificaciones de esta norma, sin que por ello deba entenderse que el caso ilustrado sea la única posibilidad permitida.

1.6 Clasificación de las estructuras de mampostería

1.6.1 Para efectos de esta norma se clasificará como estructura Tipo II a la edificación que cumpla, simultáneamente, con los requisitos a) a f) siguientes:

- Tener una superficie construida total no mayor que 250 m²
- Contar con hasta dos niveles, incluyendo niveles de estacionamiento
- No debe tener muros estructurales desplantados sobre vigas o sobre la losa de entrepiso
- No deberá tener muros diafragma
- Ser de los siguientes usos: habitación unifamiliar o plurifamiliar, servicios, industria, infraestructura o agrícola, pecuario y forestal
- Si es de uso habitacional plurifamiliar, no deberá haber más de diez viviendas en el predio, incluyendo a las existentes.

1.6.2 Una estructura que no cumpla los requisitos para ser Tipo II se clasificará como estructura Tipo I. Las estructuras del Grupo A, de acuerdo con el Reglamento, serán del Tipo I.

Espacio en blanco dejado de manera intencional

2. MATERIALES PARA MAMPOSTERÍA

2.1 Piezas

2.1.1 Tipos de pieza

2.1.1.1 Las piezas usadas en los elementos estructurales de mampostería deberán cumplir con la norma mexicana NMX-C-404-ONNCCE-2012, y con la resistencia especificada a compresión para diseño indicada en 2.1.2.

2.1.1.2 Para fines de esta norma, las piezas se clasificarán de acuerdo con lo requerido en la tabla 2.1.1.2, en piezas macizas o huecas, según su relación entre el área neta, en su sección transversal más desfavorable, y el área bruta y los espesores mínimos de las paredes exteriores e interiores, cuando aplique.

Tabla 2.1.1.2 – Clasificación de piezas para fines de esta norma

Tipo de pieza para fines de esta norma	Geometría	f_{an} (A_n/A_b)	Pieza de arcilla		Pieza de concreto	
			Pared exterior, mín, mm	Pared interior, mín, mm	Pared exterior, mín, mm	Pared Interior, mín, mm
Maciza	Sin vacíos	1	-	-	-	-
	Con siete o menos celdas	≥ 0.75	20	13	20	13
	Multiperforada ^[1]	≥ 0.75	20	7	20	10
Hueca ^[2]	Bloques con dos celdas	≥ 0.5	15	13	20	20
	Con siete o menos celdas	≥ 0.5	15	13	15	13
	Multiperforada ^[1]	≥ 0.5	15	7	15	10

^[1] Piezas con más de siete perforaciones, de las mismas dimensiones y con distribución uniforme.

^[2] Se debe entender que $f_m < 0.75$

2.1.1.3 Las piezas deben cumplir, además, con los requisitos para el espesor de las paredes exteriores e interiores indicados en la NMX-C-404-ONNCCE-2012 para piezas huecas y/o multiperforadas.

2.1.1.4 El peso volumétrico neto mínimo de las piezas, en estado seco, será el indicado en la tabla 2.1.1.4. La determinación del peso volumétrico neto se debe realizar de conformidad con la NMX-C-404-ONNCCE-2012.

Tabla 2.1.1.4 – Peso volumétrico neto mínimo de piezas, en estado seco

Tipo de pieza	Peso volumétrico, en kN/m ³ (kg/m ³)
Tabique macizo de arcilla artesanal	13 (1 300)
Tabique hueco de arcilla extruida o prensada	17 (1 700)
Bloque de concreto	17 (1 700)
Tabique macizo de concreto (tabicón)	15 (1 500)

2.1.1.5 Para fines de esta norma sólo se permite usar piezas huecas con celdas o perforaciones ortogonales a la cara de apoyo.

Comentario:

Esta norma se refiere a piezas unidas con morteros a base de cemento Portland con adiciones de cal o cemento de albañilería. Para otros materiales, como piezas machihembradas o unidas con otras mezclas aglutinantes, se indican las pruebas necesarias para determinar dichas propiedades. En el Apéndice A se describe el procedimiento de ensayo de muros y su interpretación para que su uso sea aceptado.

El peso volumétrico de las piezas (tabla 2.1.1.4) se correlaciona con su resistencia a compresión y ésta con otras propiedades importantes como la permeabilidad, absorción de agua, durabilidad y estabilidad volumétrica ante cambios de humedad, por lo que se incluye como forma fácil de descartar piezas de baja capacidad, en particular para piezas de concreto.

La clasificación de las piezas que se permiten utilizar en el diseño y construcción según esta norma depende de un porcentaje mínimo de área neta (fig. C2.1.1). Las piezas clasificadas como macizas exhiben un comportamiento más dúctil y estable ante fuerzas horizontales cíclicas, como las impuestas por un sismo, que las piezas huecas. Si las piezas macizas tienen huecos o perforaciones, una vez que la pieza se agrieta, no se reduce su resistencia en

forma abrupta y las fuerzas normales y de cortante se pueden seguir transmitiendo entre las superficies de contacto en las grietas, disipando energía por fricción, fractura y/o pulverización del material de la pieza.

El comportamiento sísmico de muros construidos con piezas huecas es más frágil que el de muros construidos con piezas macizas. Esto se debe a que la falla de las paredes en piezas huecas da lugar a una pérdida brusca de su capacidad para resistir fuerzas, ya sean axiales o de corte. Este hecho se refleja en la NTC-Sismo en la que se especifica un factor de comportamiento Q igual a 2 para muros con piezas macizas e igual a 1.5 para muros piezas huecas, a menos que los muros sean confinados y con refuerzo horizontal, en cuyo caso se admite usar $Q = 2$.

En la versión 2004 de la NTC-Mampostería se prohibió el uso de piezas con huecos horizontales debido a su deficiente comportamiento ante fuerzas inducidas por sismo y su falla muy frágil al alcanzar su resistencia. Dicho comportamiento se observó en ensayos de laboratorio (Alcocer et al. 1995) y en inspecciones de zonas de desastre por sismos.

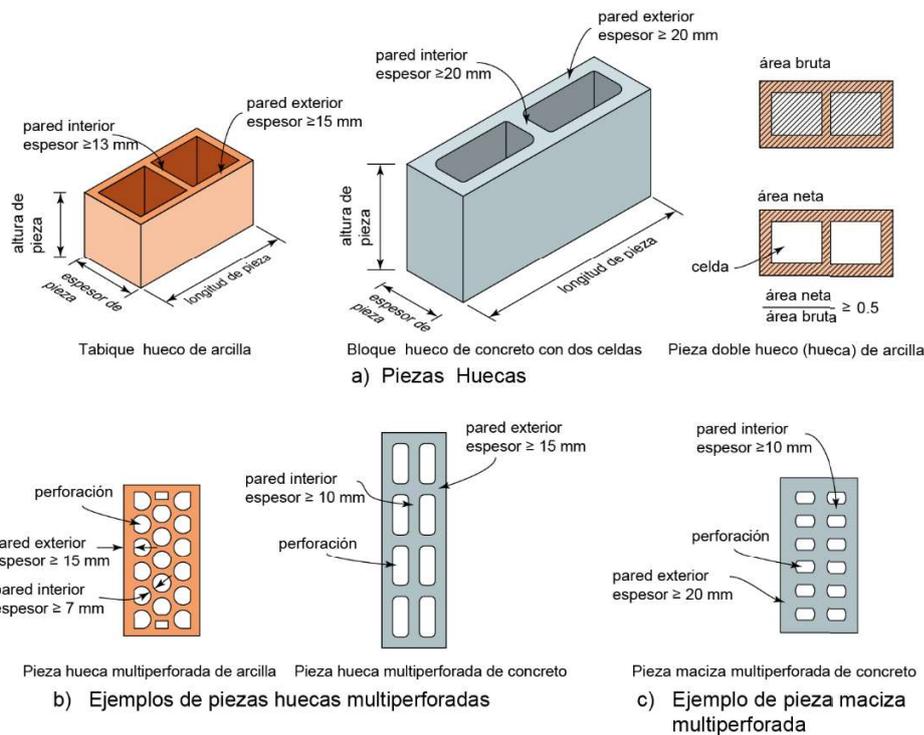


Figura C2.1.1 – Piezas

2.1.2 Resistencia a compresión

2.1.2.1 La resistencia a compresión se determinará, para cada tipo de pieza, de acuerdo con el ensayo especificado en la norma NMX-C-036-ONNCCCE.

2.1.2.2 La resistencia de diseño se determinará con base en la información estadística existente sobre el producto o a partir de muestreos de la pieza, ya sea en planta o en obra. Si se opta por el muestreo, se obtendrán, al menos, tres muestras, cada una de diez piezas, de lotes diferentes de la producción. Las 30 piezas así obtenidas se ensayarán en laboratorios acreditados por una entidad reconocida en los términos de la Ley de Infraestructura de la Calidad. La resistencia de diseño a compresión se calculará con la ec. 2.1.2.2:

$$f'_p = \frac{\overline{f_p}}{1 + 2.5 c_p} \tag{2.1.2.2}$$

donde c_p no será menor que 0.1.

2.1.2.3 En caso de no contar con el número de ensayos requerido, el valor de c_p no se tomará menor que 0.20 para piezas provenientes de plantas mecanizadas que cuenten con un sistema de control de calidad como el requerido en la norma NMX-C-404-ONNCCE-2012, ni que 0.30 para piezas de fabricación mecanizada, pero que no cuenten con un sistema de control de calidad, ni que 0.35 para piezas de producción artesanal. El sistema de control de calidad se refiere a los diversos procedimientos documentados de la línea de producción de interés, incluyendo los ensayos rutinarios y sus registros.

Comentario:

Los valores de coeficiente de variación mínimos de 0.2, 0.3 y 0.35 provienen de estudios estadísticos de la resistencia de cientos de piezas provenientes de muestras tomadas en múltiples fábricas del valle de México. En la versión 2017 de esta Norma se admitía usar un coeficiente de variación mínimo de 0.1 sólo si se tienen 30 piezas provenientes de tres lotes de la producción.

2.1.2.4 La resistencia especificada de diseño a compresión de las piezas, f'_p , no deberá ser menor que las indicadas en la tabla 2.1.2.4.

Tabla 2.1.2.4 – Valores mínimos permitidos de f'_p

Tipo de pieza y material	f'_p MPa (kg/cm ²)
Tabique macizo de arcilla artesanal	6 (60)
Tabique macizo o multiperforado de arcilla o de concreto	10 (100)
Tabique hueco de arcilla o de concreto	6 (60)
Bloque macizo o multiperforado de arcilla o de concreto	10 (100)
Bloque hueco de arcilla o de concreto	6 (60)

Comentario:

La resistencia en compresión de las piezas es el parámetro más importante del que dependen las propiedades mecánicas de los muros de mampostería. Por ello se requiere su determinación para fines de control de calidad. El valor de diseño de la resistencia a compresión de las piezas se determina tomando en cuenta la variabilidad en la fabricación, los materiales y la medición de esta propiedad, determinada por el coeficiente de variación, de modo que la probabilidad de alcanzar la resistencia de diseño sea del 98 por ciento (ec. 2.1.2.2).

Los tabiques y bloques multiperforados, ya sean huecos o macizos, deberán tener una resistencia a la compresión mínima de diseño f'_p de 10 MPa (100 kg/cm²). Para el control de la resistencia a compresión de las piezas en la planta por parte del fabricante y en la obra por parte del constructor y de la supervisión, se utilizarán las resistencias medias a compresión, \overline{f}_p , que se indican en la tabla 10.2.3.1.3, si el coeficiente de variación es menor o igual que 0.2.

2.2 Cementantes

2.2.1 Cemento hidráulico

2.2.1.1 En la elaboración del concreto y morteros se deberá emplear cualquier tipo de cemento hidráulico que cumpla con los requisitos especificados en la norma NMX-C-414-ONNCCE-2017.

2.2.2 Cemento de albañilería

2.2.2.1 En la elaboración de morteros se podrá usar cemento de albañilería que cumpla con los requisitos especificados en la norma NMX-C-021-ONNCCE-2015.

2.2.3 Cal hidratada

2.2.3.1 En la elaboración de morteros se aceptará usar cal hidratada que cumpla con los requisitos especificados en la norma NMX-C-003-ONNCCE-2017.

2.3 Agregados pétreos

2.3.1 Los agregados deben cumplir con las especificaciones de la norma NMX-C-111-ONNCCE-2018.

2.4 Agua para mezclado

2.4.1 El agua para el mezclado del mortero o del concreto deberá cumplir con las especificaciones de la norma NMX-C-122-ONNCCE-2019. El agua deberá almacenarse en depósitos limpios y cubiertos.

2.5 Morteros

2.5.1 El mortero para pegar piezas cuyo objetivo sea construir muros estructurales deberá cumplir con los requisitos de la norma NMX-C-486-ONNCCE-2014.

Comentario:

La función del mortero es permitir la sobreposición de las piezas formando un conjunto que tenga una liga fuerte y duradera. Sus propiedades más importantes son: manejabilidad, resistencia a compresión y tensión, adherencia con las piezas, la retención de agua y la contracción. Estas propiedades varían según el tipo de cementante empleado, la relación entre arena y cementante y según la cantidad de agua en la mezcla, aunque esta última no se suele controlar en obra. La adherencia está relacionada con la retención de agua y la contracción del mortero. La norma NMX-C-486-ONNCCE-2014 contiene especificaciones para el control de las propiedades del mortero hecho en obra o industrializado, tanto en su estado endurecido como en su estado fresco.

2.5.2 Resistencia a compresión

2.5.2.1 La resistencia a compresión del mortero, sea para pegar piezas o de relleno, se determinará de acuerdo con el ensaye especificado en la norma NMX-C-061-ONNCCE-2015.

Comentario:

La resistencia a compresión es el índice aceptado generalmente para determinar la calidad del mortero; ésta se determina con el ensaye de cubos según la norma NMX C 061-ONNCCE-2015 pero con la arena que se usará en la construcción. Debe tenerse en cuenta que esta resistencia puede no corresponder a la del material colocado entre las piezas de un muro, donde las condiciones de confinamiento y de curado son muy diferentes de las que se tienen en el ensaye estándar.

2.5.2.2 La resistencia a compresión del concreto de relleno se determinará del ensaye de cilindros elaborados, curados y probados de acuerdo con las normas NMX-C-159-ONNCCE-2016 y NMX-C-083-ONNCCE-2014.

2.5.2.3 Para diseño, se empleará un valor de la resistencia, f'_j , determinado como el que es alcanzado por lo menos por el 98 por ciento de las muestras (ec. 2.5.2.7).

2.5.2.4 La resistencia de diseño se calculará a partir de muestras del mortero, para pegar piezas o de relleno según 2.5.2.5 y en caso de concreto de relleno según 2.5.2.6.

2.5.2.5 En caso de mortero de pega o de relleno, se obtendrán, como mínimo, tres muestras, cada una de, al menos, tres probetas cúbicas. Las nueve probetas se ensayarán siguiendo la norma NMX-C-061-ONNCCE-2015.

2.5.2.6 En caso de concreto de relleno, se obtendrán, al menos, tres probetas cilíndricas. Las probetas se elaborarán, curarán y probarán de acuerdo con las normas NMX-C-159-ONNCCE-2016 y NMX-C-083-ONNCCE-2014, respectivamente.

2.5.2.7 La resistencia de diseño se calculará con la ec. 2.5.2.7:

$$f'_j = \frac{\overline{f}_j}{1 + 2.5c_j} \quad (2.5.2.7)$$

donde c_j no será menor que 0.2.

2.5.3 Clasificación de morteros

2.5.3.1 Los morteros se clasificarán por su resistencia de diseño a compresión, f'_j , como se indica en la tabla 2.5.3.1.

Tabla 2.5.3.1 – Tipos de mortero

Tipo I	con resistencia de diseño a compresión, f'_j , mayor o igual que 12.5 MPa (125 kg/cm ²)
Tipo II	con resistencia de diseño a compresión, f'_j , menor que la del Tipo I y mayor o igual que 7.5 MPa (75 kg/cm ²)

Comentario:

En obra, en muchas ocasiones, el constructor toma el valor medio de la resistencia a compresión del mortero como valor de diseño para satisfacer lo especificado en 2.5.3.1. Lo que es un error. Para facilitar el control de obra, se especifica el valor medio que debe cumplir la resistencia a compresión del mortero (10.2.3.2.2 y tabla 10.2.3.2.2). El valor promedio puede obtenerse de la ec. 2.5.2.7, considerando el valor de diseño especificado en 2.5.3.1 y un coeficiente de variación de 0.2. Para el control de la resistencia en obra se utilizará la resistencia media, \bar{f}_j , que se indica en la tabla 10.2.3.2.2 y para control de todas sus propiedades con lo dispuesto en la NMX-C-486-ONNCCE-2014.

2.5.4 Mortero para pegar piezas

2.5.4.1 Los morteros que se empleen en elementos estructurales de mampostería deberán cumplir con los requisitos a) a f) siguientes:

- Su resistencia de diseño a compresión, f'_j , será por lo menos de 7.5 MPa (75 kg/cm²)
- Siempre deberán contener cemento hidráulico portland en la cantidad mínima indicada en la tabla 2.5.4.1

Tabla 2.5.4.1 – Proporcionamientos, en volumen, recomendados para mortero dosificado en obra ^[1]

Tipo de mortero	Partes de cemento hidráulico	Partes de cemento de albañilería	Partes de cal hidratada	Partes de arena ^[2]
I	1	—	0 a ¼	3
	1	½	—	4½
II	1	—	0 a ½	4½
	1	1	—	6

^[1] Los proporcionamientos incluidos en esta tabla son sólo indicativos, por lo que el mortero deberá cumplir con la resistencia a compresión de diseño establecida en 2.5.3 independientemente de la dosificación que se utilice.

^[2] El volumen de arena se medirá en estado suelto.

- El volumen de arena no será mayor que tres veces la suma de los cementantes y se medirá en estado suelto
- Se empleará la cantidad mínima de agua que dé como resultado un mortero fácilmente trabajable
- Si el mortero incluye cemento de albañilería, la cantidad máxima de éste, a usar en combinación con cemento, será la indicada en la tabla 2.5.4.1
- La arena debe tener un tamaño máximo de 3.2 mm, que pase la malla No. 6.

Comentario:

Los proporcionamientos, en todos los casos, obligan al uso de cemento hidráulico en combinación con cal o cemento de albañilería. Las partes de arena son fijas y no tienen que calcularse en proporción a la cantidad de los cementantes, como en versiones anteriores de la Norma.

Es importante apuntar que los proporcionamientos son recomendados pero el mortero resultante debe cumplir con: la resistencia a compresión de diseño y los requisitos en estado fresco definidos en la norma NMX-C-486-ONNCCE como la fluidez y el porcentaje de retención de agua. Deberá entenderse esta tabla como un punto de inicio en la dosificación y que el diseño final del mortero ha de ser avalado con base en ensayos de laboratorio.

2.5.5 Morteros de relleno y concretos de relleno

2.5.5.1 Los morteros de relleno y concretos de relleno, que se emplean en elementos estructurales de mampostería para rellenar celdas de piezas huecas, deberán cumplir con los siguientes requisitos:

- Su resistencia a compresión para diseño, f'_j , será por lo menos de 12.5 MPa (125 kg/cm²).
- Los concretos de relleno deberán tener una resistencia especificada, f'_c , no menor que 20 MPa (200 kg/cm²)
- El tamaño máximo del agregado será de 10 mm.

- d) En el caso de que se cuente con refuerzo interior, se empleará la mínima cantidad de agua que permita que la mezcla sea lo suficientemente fluida para rellenar las celdas y cubrir completamente las barras de refuerzo vertical; se aceptará el uso de aditivos que mejoren su trabajabilidad.
- e) El revenimiento para los morteros de relleno y/o concretos de relleno deberá estar entre 200 y 250 mm, para garantizar el llenado de las piezas.

En la tabla 2.5.5.1 se muestran las relaciones volumétricas recomendadas de los agregados para morteros de relleno y concretos de relleno.

Tabla 2.5.5.1 – Proporcionamientos, en volumen, recomendados para morteros de relleno y concreto de relleno en elementos estructurales

Tipo	Partes de cemento hidráulico	Partes de cal hidratada	Partes de arena ^[1]	Partes de grava
Mortero	1	0 a ¼	3	—
Concreto	1	0 a 1/10	3	1 a 2

^[1] El volumen de arena se medirá en estado suelto.

Comentario:

La resistencia media a compresión para mortero de relleno, f_j , no será menor que 18 MPa (180 kg/cm²), tabla 10.2.3.2.2.

El hecho de que en un mortero de relleno se acepte incluir una proporción de cal es para poder utilizar el mismo mortero para las juntas, siempre y cuando sea del tipo I, con lo cual podría hacerse el relleno hilada por hilada.

2.5.6 Concreto para castillos y dalas

2.5.6.1 El concreto para castillos y dalas debe cumplir con las siguientes especificaciones:

- Para muros se deberá tener una resistencia a compresión, f'_c , mínima de 20 MPa (200 kg/cm²)
- El tamaño máximo del agregado será de 10 mm
- El revenimiento para castillos no será menor que 150 mm y para dalas no será menor que 100 mm
- Se acepta el uso de aditivos que mejoren la fluidez del concreto que cumplan con 2.6.

2.6 Aditivos

2.6.1 En la elaboración de concretos, morteros de relleno y concretos de relleno se podrán usar aditivos que mejoren sus propiedades y que cumplan con los requisitos especificados en la norma NMX-C-255-ONNCCE-2013. No deberán usarse aditivos que aceleren el fraguado.

Comentario:

Se admite el uso de aditivos para los morteros de pega para mejorar su consistencia, retención de agua, su adherencia y para reducir su contracción.

2.7 Acero de refuerzo

2.7.1 El refuerzo que se emplee en castillos o dalas, elementos colocados en el interior del muro y/o en el exterior del muro, estará constituido por barras corrugadas, por malla de acero, por alambres corrugados laminados en frío, o por armaduras soldadas por resistencia eléctrica de alambre de acero para castillos y dalas.

2.7.2 Las barras corrugadas deberán cumplir con las normas NMX-B-457-CANACERO-2019 y NMX-B-506-CANACERO-2019.

2.7.3 Los alambres laminados en frío deberán cumplir con la norma NMX-B-072-CANACERO-2017 o NMX-B-253-CANACERO-2020.

2.7.4 La malla de alambre soldado deberá cumplir con la norma NMX-B-290-CANACERO-2021.

2.7.5 Las armaduras de alambre soldado para castillos y dalas deberán cumplir con la norma NMX-B-456-CANACERO-2017.

2.7.6 Se admitirá el uso de barras lisas, como el alambcón, únicamente en estribos, en mallas de alambre soldado o en conectores. El alambcón deberá cumplir con la norma NMX-B-365-CANACERO-2017 y contar con un esfuerzo de fluencia mínimo, f_y , de 210 MPa (2 100 kg/cm²).

2.7.7 El diámetro mínimo del alambcón para ser usado en estribos es de 5.5 mm. Se podrán utilizar otros tipos de acero siempre y cuando se demuestre, a satisfacción de la Administración, su eficiencia como refuerzo estructural.

2.7.8 El módulo de elasticidad del acero de refuerzo ordinario, E_s , se supondrá igual a 2×10^5 MPa (2×10^6 kg/cm²).

2.7.9 Para diseño se considerará el esfuerzo de fluencia mínimo, f_y , establecido en las normas citadas en 2.7.2 a 2.7.8.

Comentario:

El objetivo es que el refuerzo de los castillos pueda alcanzar mayores deformaciones a las que se obtendrían con un esfuerzo de fluencia mayor.

Para el refuerzo en el interior del muro se admite emplear barras y alambres con esfuerzo de fluencia especificado de 600 MPa (6 000 kg/cm²) para poder reducir el diámetro de las barras sin reducir significativamente la fuerza desarrollada en el refuerzo. Estas barras no tienen una zona de fluencia definida, esto es, la barra falla una vez que se alcanza el esfuerzo de fluencia. Adicionalmente, cuando se usan barras de diámetro pequeño es posible asegurar un tamaño de junta y un recubrimiento adecuado, además, facilita el correcto llenado de las celdas donde se coloca el refuerzo vertical.

2.8 Mampostería

2.8.1 Resistencia a compresión

2.8.1.1 La resistencia a compresión para diseño de la mampostería, f'_m , sobre área bruta, se determinará con alguno de los dos procedimientos indicados en 2.8.1.3 y 2.8.1.4. El valor de la resistencia en esta norma está referido a 28 días.

2.8.1.2 Si se considera que el muro recibirá las acciones de diseño antes de 28 días, se deberá evaluar la resistencia para el tiempo estimado según 2.8.1.3.

2.8.1.3 Ensayes de pilas construidas con las piezas y morteros que se emplearán en la obra

2.8.1.3.1 Las pilas (fig. 2.8.1.3.1) estarán formadas por lo menos con tres piezas sobrepuestas.

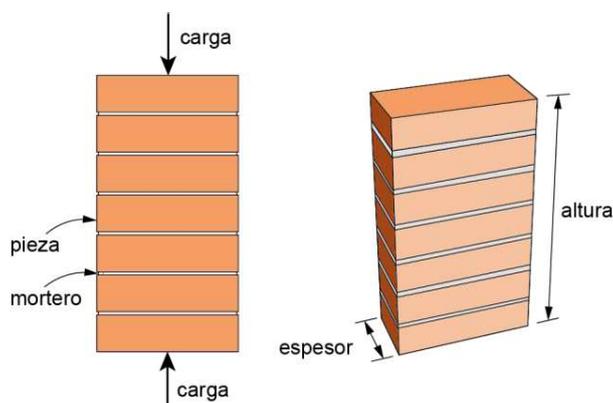


Figura 2.8.1.3.1 – Pila para prueba en compresión

2.8.1.3.2 La relación altura a espesor de la pila estará comprendida entre dos y seis.

2.8.1.3.3 Las pilas se ensayarán a la edad de 28 días.

2.8.1.3.4 En la elaboración, curado, transporte, almacenamiento, cabeceado y procedimiento de ensaye de los especímenes se seguirá la norma mexicana NMX-C-464-ONNCCE-2010, salvo lo que se indique en 2.8.1.3 y que difiera de dicha norma.

2.8.1.3.5 La determinación de la resistencia a compresión, f'_m , se hará en un mínimo de nueve pilas, construidas con piezas provenientes de, por lo menos, tres lotes diferentes del mismo producto. Cada pila debe usar piezas del mismo lote.

Comentario:

La cantidad de nueve pilas de tres lotes de fabricación equivale a caracterizar la resistencia de las piezas de un fabricante para un mismo tipo de mortero. Las propiedades del mortero deberán documentarse.

2.8.1.3.6 El esfuerzo medio obtenido, calculado sobre el área bruta, se corregirá multiplicándolo por los factores de la tabla 2.8.1.3.6.

Tabla 2.8.1.3.6 – Factores correctivos para las resistencias de pilas con diferentes relaciones altura a espesor

Relación altura a espesor de la pila ^[1]	2	3	4	5	6
Factor correctivo	0.75	0.90	1.00	1.05	1.06

^[1] Para relaciones altura a espesor intermedias se interpolará linealmente.

2.8.1.3.7 La resistencia a compresión para diseño se calculará con la ec. 2.8.1.3.7:

$$f'_m = \frac{\overline{f_m}}{1 + 2.5c_m} \quad (2.8.1.3.7)$$

donde c_m no se tomará menor que 0.15.

2.8.1.4 A partir de la resistencia de diseño de las piezas y el mortero

2.8.1.4.1 Para bloques con $f'_p \geq 6$ MPa (60 kg/cm²) y para tabiques y tabicones con $f'_p \geq 10$ MPa (100 kg/cm²) se podrá emplear como resistencia de diseño a compresión la que indica la tabla 2.8.1.4.1.

Tabla 2.8.1.4.1 – Resistencia a compresión para diseño de la mampostería de piezas de concreto, f'_m , sobre área bruta a partir de la resistencia a compresión de la pieza, f'_p

f'_p MPa (kg/cm ²) ^[1]	f'_m MPa (kg/cm ²)	
	Mortero tipo I	Mortero tipo II
6 (60) ^[2]	2.5 (25)	2 (20)
7.5 (75) ^[2]	4 (40)	3.5 (35)
10 (100)	5 (50)	4.5 (45)
15 (150)	7.5 (75)	6 (60)
≥ 20 (200)	10 (100)	9 (90)

^[1] Para valores intermedios de f'_p se interpolará linealmente para un mismo tipo de mortero.

^[2] Sólo para el caso de piezas huecas.

Comentario:

En la versión de 2017 se retomaron los valores desde de f'_p desde 6 MPa (60 kg/cm²) para bloques huecos, pero se añade una nota al pie de tabla indicando que se admiten dichos valores en piezas huecas solamente.

2.8.1.4.2 Para piezas de arcilla, la resistencia de diseño a compresión de la mampostería se podrá obtener de la tabla 2.8.1.4.2.

Tabla 2.8.1.4.2 – Resistencia a compresión para diseño de la mampostería de piezas de arcilla, f'_m , sobre área bruta a partir de la resistencia a compresión de la pieza, f'_p

f'_p , MPa (kg/cm ²) ^[1]	f'_m , MPa (kg/cm ²)	
	Mortero tipo I	Mortero tipo II
6 (60)	2 (20)	2 (20)
7.5 (75)	3 (30)	3 (30)
10 (100)	4 (40)	4 (40)
15 (150)	6 (60)	6 (60)
20 (200)	8 (80)	7 (70)
≥ 30 (300)	12 (120)	9 (90)

^[1] Para valores intermedios de f'_p se interpolará linealmente para un mismo tipo de mortero.

Comentario:

Anteriormente, la tabla 2.8.1.4.2 incluía valores hasta 50 MPa (500 kg/cm²) ya que se disponía de resultados de piezas macizas prensadas de arcilla con tales resistencias; sin embargo, dichos valores de resistencia no se han observado en el mercado en los últimos años por lo que se redujo el límite superior de la tabla a 30 MPa (300 kg/cm²). Si se tienen piezas con mayor resistencia se puede recurrir al ensaye de pilas.

Las tablas anteriores son producto de una extensa serie de ensayos realizados en la década de 1970 con piezas de mampostería de distintos fabricantes en el valle de México. Se considera que las correlaciones continúan siendo válidas y que permiten estimar la resistencia a compresión de la mampostería a partir de la resistencia de las piezas, siempre y cuando dicha resistencia se obtenga experimentalmente y que el mortero cumpla los requisitos correspondientes de esta norma.

2.8.1.4.3 Para hacer uso de los valores de resistencia de diseño, f'_m dados por las tablas 2.8.1.4.1 y 2.8.1.4.2, se deberán cumplir los requisitos a) a d) siguientes:

- las piezas deberán cumplir con 2.1 y el mortero con 2.5
- la relación altura a espesor de las piezas no debe ser menor que 0.5
- la mampostería deberá tener espesores de mortero en la junta horizontal comprendidos entre 10 y 12 mm si las piezas son de fabricación mecanizada, o entre 10 y 15 mm si son de fabricación artesanal. Estos espesores deben permitir la dimensión modular en mampostería a base de bloques
- la resistencia a compresión de las piezas, f'_p , se debe obtener a partir de los ensayos indicados en 2.1.2.

Para otros casos, la resistencia de la mampostería se obtendrá de acuerdo con 2.8.1.3.

Comentario:

Se permite determinar la resistencia de la mampostería a compresión a partir de tablas que están en función de las propiedades de los materiales componentes. La resistencia de la mampostería depende principalmente de la resistencia de la pieza y en menor grado de la del mortero. Se ha observado, en ensayos de laboratorio, que la relación entre la resistencia de la pila y de la pieza es aproximadamente lineal. El factor de proporcionalidad, sin embargo, varía para las distintas piezas, dependiendo principalmente de su forma, del material de que están hechas y de la regularidad de sus dimensiones. Este factor de proporcionalidad es mayor para bloques que para tabiques debido a que, en muros de bloque, se tiene un número menor de juntas. Por ello se tienen tablas distintas para los dos tipos de materiales.

2.8.2 Resistencia a compresión diagonal

2.8.2.1 La resistencia de diseño a compresión diagonal de la mampostería v'_m , para diseño, se determinará con el procedimiento indicado en 2.8.2.4.

2.8.2.2 Los muretes se ensayarán a la edad de 28 días.

2.8.2.3 Si se considera que el muro recibirá las acciones de diseño antes de 28 días, se deberá evaluar la resistencia para el tiempo estimado según 2.8.2.4.

2.8.2.4 Ensayes de muretes contruidos con las piezas y morteros que se emplearán en la obra

2.8.2.4.1 Los muretes (fig. 2.8.2.4.1) deberán tener una longitud de al menos una vez y media la longitud de la pieza y el número de hiladas necesario para que la altura sea igual a la longitud, con una tolerancia de ± 5 por ciento (altura / longitud entre 0.95 y 1.05).

2.8.2.4.2 Los muretes se ensayarán sometiéndolos a una carga de compresión monótona a lo largo de una de sus diagonales y el esfuerzo cortante medio se determinará dividiendo la carga máxima entre el área bruta del murete medida sobre la misma diagonal.

2.8.2.4.3 Los muretes se ensayarán a la edad de 28 días.

2.8.2.4.4 En la elaboración, curado, transporte, almacenamiento, cabeceado y procedimiento de ensaye de los especímenes se seguirá la norma mexicana NMX-C-464-ONNCCE-2010 salvo lo que se indique en 2.8.2.4 y que difiera de dicha norma.

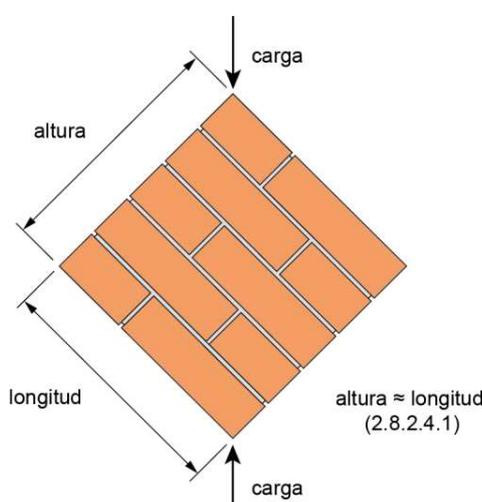


Figura 2.8.2.4.1 – Murete para prueba en compresión diagonal

Comentario:

Es indispensable seguir estrictamente el procedimiento de ensaye descrito en la norma mexicana NMX C-464-ONNCCE-2010, en especial en cuanto al tamaño de los cabezales colocados en las esquinas que deben cubrir 1/6 de la longitud ± 5 por ciento, ya que una dimensión incorrecta llevaría a resultados erróneos. Igualmente es importante que el murete sea cuadrado de modo de obtener resultados representativos de la resistencia a compresión diagonal.

2.8.2.4.5 La determinación de la resistencia especificada a compresión diagonal, v'_m , se hará en un mínimo de nueve muretes contruidos con piezas provenientes de, por lo menos, tres lotes diferentes del mismo producto. Cada murete debe usar piezas del mismo lote.

Comentario:

La cantidad de nueve muretes de, por lo menos, tres lotes de fabricación equivale a caracterizar la resistencia de las piezas de un fabricante para un tipo de mortero. Las propiedades del mortero deberán quedar documentadas.

2.8.2.4.6 La resistencia a compresión diagonal para diseño, v'_m , será calculada con la ec. 2.8.2.4.6:

$$v'_m = \frac{\overline{v_m}}{1 + 2.5c_v} \quad (2.8.2.4.6)$$

donde c_v no será menor que 0.2.

2.8.2.4.7 Para muros que dispongan de algún sistema de refuerzo cuya contribución a la resistencia se quiera evaluar o que tengan características que no pueden representarse en el tamaño del murete, las pruebas de compresión diagonal antes descritas deberán realizarse en muros de, por lo menos, 2 m de lado.

Comentario:

Se recomienda, en el caso descrito en el párrafo anterior, el caracterizar el comportamiento ante carga lateral del muro con el uso del Apéndice A

2.8.3 Resistencia al aplastamiento

2.8.3.1 Cuando una carga concentrada se transmite directamente a la mampostería, el esfuerzo de contacto no excederá $0.6f'_m$.

Comentario:

Un ejemplo sería una viga que se apoya sobre un muro.

2.8.4 Resistencia a tensión

2.8.4.1 Se considerará que la resistencia de la mampostería a esfuerzos de tensión perpendiculares a las juntas es nula. Cuando se requiera esta resistencia deberá proporcionarse el acero de refuerzo necesario.

2.8.5 Módulo de elasticidad de la mampostería para el análisis estructural

2.8.5.1 El módulo de elasticidad de la mampostería para análisis estructural, E_m , se determinará con alguno de los procedimientos indicados en orden de preferencia, en 2.8.5.2, 2.8.5.3 y 2.8.5.4.

2.8.5.2 Ensayes de pilas construidas con las piezas y morteros que se emplearán en la obra

2.8.5.2.1 Se ensayarán pilas del tipo, a la edad y en la cantidad indicados en 2.8.1.3.

2.8.5.2.2 El módulo de elasticidad para cargas de corta duración se determinará según lo especificado en la norma mexicana NMX-C-464-ONNCCE-2010.

2.8.5.2.3 Para obtener el módulo de elasticidad para cargas sostenidas se deberán considerar las deformaciones diferidas debidas al flujo plástico de las piezas y el mortero. Optativamente, el módulo de elasticidad para cargas de corta duración, obtenido del ensaye de pilas, se podrá dividir entre 2.3 si se trata de piezas de concreto, o entre 1.7 si se trata de piezas de arcilla o de otro material diferente del concreto.

2.8.5.3 Uso de los valores publicados por el fabricante de las piezas

2.8.5.3.1 Se aceptará utilizar los valores del módulo de elasticidad obtenidos y garantizados por los fabricantes de piezas, siempre que dichos valores se hayan obtenido de acuerdo con 2.8.5.2. El fabricante publicará sus resultados en el catálogo de sus productos o por otro medio oficial de su empresa, en el que se especifique claramente el tipo de mortero utilizado, de acuerdo con la clasificación de 2.5.3. Los ensayos deben realizarse por un laboratorio de materiales acreditado por una entidad acreditadora.

2.8.5.4 Determinación a partir de la resistencia de diseño a compresión de la mampostería

a) Para mampostería de tabiques y bloques de concreto:

para cargas de corta duración

$$E_m = 800f'_m \quad (2.8.5.4.a)$$

para cargas sostenidas

$$E_m = 350f'_m \quad (2.8.5.4.b)$$

b) Para mampostería de tabique de arcilla y otras piezas, excepto las de concreto:

para cargas de corta duración

$$E_m = 600f'_m \quad (2.8.5.4.c)$$

para cargas sostenidas

$$E_m = 350f'_m \quad (2.8.5.4.d)$$

Comentario:

El módulo de elasticidad puede obtenerse de la curva esfuerzo-deformación medida en un ensaye de pilas en compresión que se describe en la norma mexicana NMX-C-464-ONNCCE-2010. Una estimación aproximada se obtiene con los factores que multiplican a la resistencia en compresión.

En proyectos en que sea crítico conocer un valor más preciso del módulo de elasticidad se recomienda la determinación experimental mediante el ensaye a compresión de pilas instrumentadas.

El módulo de elasticidad para cargas de corta duración es el que se debe utilizar en un análisis que incluya acciones accidentales como el análisis por sismo o por viento. Como es necesario incluir en el análisis el efecto de las cargas verticales, permanentes y variables, junto con las fuerzas laterales, se recomienda hacer dicho análisis conjunto con el módulo para cargas de corta duración; así, la distribución de las cargas por rigideces, los modos y periodos de vibrar, así como las deformaciones laterales corresponderán al cálculo con módulos de elasticidad para dicha condición.

El modelado ante cargas verticales permanentes y cargas verticales variables con intensidad media se puede realizar con el módulo de elasticidad para cargas sostenidas; éste puede ser el caso cuando se requiera modelar la interacción de la mampostería con otros elementos verticales como muros o columnas de concreto o de acero.

El valor reducido del módulo de elasticidad de la mampostería para cargas sostenidas toma en cuenta, en forma simplificada, el efecto de flujo plástico de los materiales, en particular, el que ocurre en las piezas de concreto y en el mortero. Posibles usos del módulo de elasticidad para cargas sostenidas serían el análisis de deformaciones a largo plazo y el cálculo de deformaciones por asentamientos diferenciales del terreno de apoyo.

2.8.6 Módulo de cortante

2.8.6.1 El módulo de rigidez a cortante de la mampostería, G_m , se determinará con alguno de los procedimientos indicados en 2.8.6.3 y 2.8.6.4. Se aplicará lo estipulado en 2.8.6.4 si el módulo de elasticidad se determinó según 2.8.5.4.

2.8.6.2 Para efectos de considerar G_m en el análisis utilizando un programa de cómputo y cuando $G_m/E_m < 1/3$, se utilizará un valor del módulo de Poisson igual a $\nu = 0.25$ y se reducirá el área de cortante por un factor igual a $G_m/(0.4E_m)$.

Comentario:

En los programas de cómputo para análisis, suele calcularse el módulo de cortante en función del módulo de elasticidad, considerando que se trata de un material isótropo, elástico, lineal: $G_e = E/2(1 + \nu)$. Dado que la mampostería no es un material isótropo, el valor experimental de G_m no concuerda con dicho valor teórico, y tiende a ser un valor menor, alrededor de $G_m = 0.2E_m$, que no puede calcularse con la ecuación anterior para algún valor de ν en el intervalo permitido de ese parámetro ($0 \leq \nu < 0.5$). El valor de G_e determina la rigidez a corte de un muro dada por $G_e A_c/H$, siendo A_c , el área de cortante de la sección transversal del muro. Se desea que la rigidez a corte de los muros se calcule con un módulo de cortante G_m , donde $G_m = 0.2E$ (2.8.6.4). Dado que G_m no puede especificarse directamente en dichos programas de análisis, esto puede conseguirse si se multiplica el valor A_c , por el factor G_m/G_e . Si se define $\nu = 0.25$, entonces $G_e = 0.4E$; consecuentemente $G_m/G_e = 0.2E/0.4E = 0.5$. Los programas de cómputo modernos admiten la especificación de factores que afectan a las propiedades geométricas de la sección, por lo que la aplicación de un factor de 0.5 (dejando $\nu = 0.25$) al área de cortante es un procedimiento sencillo para conseguir el objetivo deseado.

2.8.6.3 Ensayes de muretes contruidos con las piezas y morteros que se emplearán en la obra

Se ensayarán muretes del tipo, a la edad y en la cantidad señalados en 2.8.2.4. El módulo de rigidez a cortante se determinará según lo especificado en la norma mexicana NMX-C-464-ONNCCE-2010.

2.8.6.4 Determinación a partir del módulo de elasticidad de la mampostería

2.8.6.4.1 Si se opta por usar 2.8.5.4 para determinar el módulo de elasticidad de la mampostería, el módulo de cortante de la mampostería se calculará con la ec. 2.8.6.4.1:

$$G_m = 0.2E_m \quad (2.8.6.4.1)$$

Para utilizar este valor en el análisis de la estructura usando programas comerciales deberán aplicarse los lineamientos descritos en 2.8.6.2 y el Capítulo 3 de esta norma.

Comentario:

Esta especificación reconoce que la rigidez lateral de muros de mampostería es menor que la que se predice con el módulo de cortante obtenido con base en el módulo de elasticidad de pilas utilizando la teoría elástica, $G_e = E_m/2(1 + \nu)$. Al utilizar el valor de G_m en vez de G_e en el análisis, cambia la distribución del cortante sísmico en los muros; los muros largos ($H/L < 1$) reciben menos cortante y los muros cortos más.

2.9 Piedra natural para mampostería

2.9.1 La piedra natural cuyo objetivo sea construir muros o cimientos debe cumplir con los requisitos que establece la norma mexicana NMX-C-536-ONNCCE-2017.

Espacio en blanco dejado de manera intencional

3. ESPECIFICACIONES GENERALES DE ANÁLISIS

3.1 Métodos de análisis

3.1.1 Criterio general

3.1.1.1 La determinación de las fuerzas internas y momentos internos en los muros se hará, en general, por medio de un análisis elástico.

3.1.1.2 Para la revisión del estado límite de falla, la determinación de las propiedades elásticas de los muros deberá considerarse que la mampostería no resiste tensiones en dirección normal a las juntas y se deberá emplear, por tanto, las propiedades de las secciones agrietadas y transformadas cuando dichas tensiones aparezcan.

3.1.1.2.1 Según el número de pisos de la estructura de mampostería arriba de la cimentación, se deberá satisfacer a) o b):

- a) Hasta tres niveles, todos los muros del primer nivel arriba de la cimentación se analizarán con secciones agrietadas
- b) Más de tres niveles, todos los muros de los dos niveles inferiores se analizarán con secciones agrietadas.

3.1.1.2.2 Para cumplir el requisito 3.1.1.2, se permitirá usar la rigidez efectiva de los muros de carga, en el análisis lineal de la estructura.

3.1.1.2.3 Se aceptará considerar, para el cálculo de la rigidez efectiva, el módulo de cortante reducido en un 50% ($0.5G_m$).

3.1.1.3 Para la revisión del estado límite de servicio, no será necesario considerar las secciones agrietadas.

Comentario:

En la versión 2023 de la Norma se introdujo el requerimiento de estimar las distorsiones laterales inelásticas de los edificios considerando el agrietamiento de los muros de mampostería. Los resultados de experimentos de estructuras a base de muros de mampostería ante cargas laterales han evidenciado una degradación de la rigidez lateral con el desplazamiento (o distorsión). Esta degradación es más pronunciada para valores de distorsión cercanos a los de agrietamiento, llegando a alcanzar valores de degradación del 90 por ciento a distorsiones mayores que las aceptables en la NTC-Sismo.

En esta Norma se ha adoptado el concepto de rigidez efectiva, similar al usado en la NTC-Concreto. La rigidez efectiva considerada para análisis lineales corresponde a una degradación del 50 por ciento de la rigidez de cortante sin agrietamiento. Ello supone, de manera aproximada, que los muros se deforman principalmente por cortante.

De manera alternativa a un análisis que permita identificar los muros que se agrietarían para el sismo base de diseño, la Norma establece aquellos entrepisos que deben considerarse agrietados según el número de pisos. La hipótesis se sustenta en observaciones de campo y de laboratorio en las que los muros más dañados en estructuras de mampostería son usualmente los ubicados en los entrepisos inferiores.

3.1.1.4 Los módulos de elasticidad del acero de refuerzo y de la mampostería, así como el módulo de rigidez a cortante de la mampostería, se tomarán como se indica en 2.7.8, y en 2.8.5 y 2.8.6, respectivamente. Para el concreto se usará el valor especificado en la NTC-Concreto.

3.1.2 Análisis por cargas verticales

3.1.2.1 Criterio básico

3.1.2.1.1 Para el análisis por cargas verticales se tomará en cuenta que en las juntas de los muros y los elementos de piso ocurren rotaciones locales debidas al aplastamiento del mortero. Por tanto, para muros que soportan losas de concreto monolíticas o prefabricadas, se aceptará suponer que la junta tiene suficiente capacidad de rotación para que pueda considerarse que, para efectos de distribución de momentos en el nudo muro–losa, la rigidez a flexión fuera del plano de los muros es nula y que los muros sólo quedan cargados axialmente.

Comentario:

Se aclara que los muros quedan cargados axialmente, pero con una excentricidad como se indica en 3.1.2.2.2. Si un elemento que produce momento flexionante fuera del plano, como un volado, está ligado solamente a los castillos de un muro, el elemento deberá diseñarse para que, adicionalmente a todas las acciones del muro, soporte dicha flexión.

3.1.2.1.2 En el análisis se deberá considerar la interacción que pueda existir entre el suelo, la cimentación y los muros. Cuando se consideren los efectos a largo plazo, se tomarán los módulos de elasticidad y de cortante para cargas sostenidas según 2.8.5 y 2.8.6, respectivamente.

3.1.2.2 Fuerzas y momentos de diseño

3.1.2.2.1 Será admisible determinar las cargas verticales que actúan sobre cada muro mediante una bajada de cargas por áreas tributarias.

Comentario:

Es factible, también, realizar un modelo numérico donde se analice la condición de cargas verticales y se modele la flexibilidad del sistema de piso fuera de su plano. Las cargas sobre el sistema de piso se distribuyen en los muros y trabes que limitan un tablero de losa, dependiendo de su rigidez vertical relativa. La carga vertical en los muros puede variar significativamente respecto al método de las líneas de fluencia (áreas tributarias), en casos en que se tienen muros de concreto y de mampostería o cuando un lado de un tablero está limitado por una viga y otros lados con muros. Los elementos con mayor rigidez axial en el sentido vertical tenderán a recibir más carga.

3.1.2.2.2 Para el diseño sólo se tomarán en cuenta los momentos flexionantes especificados en a) y b) siguientes:

- Los momentos flexionantes que deberán ser resistidos por condiciones de estática y que no pueden ser redistribuidos por la rotación del nudo, como son los debidos a un voladizo que se empotre en el muro y los debidos a empujes, de viento o sismo, normales al plano del muro
- Los momentos flexionantes debidos a la excentricidad con que se transmite la carga de la losa del piso inmediatamente superior en muros extremos; tal excentricidad, e_c , se tomará igual a la calculada con la ec.3.1.2.2.2:

$$e_c = \frac{t}{2} - \frac{b}{3} \quad (3.1.2.2.2)$$

donde t es el espesor de la mampostería del muro y b es la longitud de apoyo de una losa soportada por el muro (fig. 3.1.2.2.2).

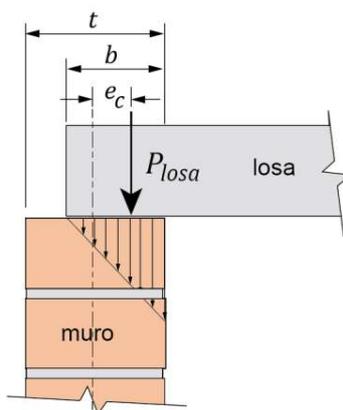


Figura 3.1.2.2.2 – Excentricidad de la carga vertical en muros extremos

3.1.2.3 Factor de reducción por los efectos de excentricidad y esbeltez

3.1.2.3.1 En el diseño, se deberán tomar en cuenta los efectos de excentricidad y esbeltez. Optativamente, se pueden considerar mediante los valores aproximados del factor de reducción F_E especificados en a) o b):

a) Se podrá tomar F_E igual a 0.7 para muros interiores que soporten claros que no difieren en más de 50 por ciento. Se podrá tomar F_E igual a 0.6 para muros extremos o con claros que difieran en más de 50 por ciento, así como para casos en que la relación entre cargas vivas y cargas muertas de diseño excede de uno. Para ambos casos, se deberá cumplir simultáneamente 1) a 3):

- 1) Las deformaciones de los extremos superior e inferior del muro en la dirección normal a su plano están restringidas por el sistema de piso, por dadas o por otros elementos
- 2) La excentricidad en la carga axial aplicada es menor o igual que $t/6$ y no hay fuerzas significativas que actúen en dirección normal al plano del muro
- 3) La relación altura libre a espesor de la mampostería del muro, H/t , no excede de 20.

b) Cuando no se cumplan las condiciones de 3.1.2.3.1.a, F_E se determinará como el menor valor entre el que se especifica en 3.1.2.3.1.a, y el que se obtiene con la ec. 3.1.2.3.1:

$$F_E = \left(1 - \frac{2e'}{t}\right) \left[1 - \left(\frac{kH}{30t}\right)^2\right] \quad (3.1.2.3.1)$$

donde:

- H** altura libre de un muro entre elementos capaces de darle apoyo lateral;
e' excentricidad calculada para la carga vertical más una excentricidad accidental que se tomará igual a $t/24$; y
k factor de altura efectiva del muro que se determinará según el criterio siguiente:
k = 2 para muros sin restricción al desplazamiento lateral en su extremo superior;
k = 1 para muros extremos en que se apoyan losas; y
k = 0.8 para muros limitados por dos losas continuas a ambos lados del muro.

Comentario:

El criterio adoptado en la versión de la NTC-Mampostería de 1976 era mediante la amplificación de momentos tomando en cuenta la carga crítica de pandeo y la flexión en curvatura simple o doble del muro definida en términos de excentricidades de las cargas verticales. En las modificaciones de la NTC-Mampostería de 1987, después de los sismos de 1985, se cambió el criterio por la expresión simplificada actual que toma en cuenta aproximadamente el efecto de la esbeltez kH/t del muro.

3.1.2.4 Efecto de las restricciones a las deformaciones laterales

3.1.2.4.1 En el caso de que el muro en consideración esté ligado a muros transversales, a contrafuertes, a columnas o a castillos (que cumplan con 6.1) que restrinjan los desplazamientos fuera del plano, el factor F_E se calculará como:

$$F_E = \left(1 - \frac{2e'}{t}\right) \left[1 - \left(\frac{kH}{30t}\right)^2\right] \times \left(1 - \frac{H}{L'}\right) + \frac{H}{L'} \leq 0.9 \quad (3.1.2.4.1)$$

donde L' es la separación de los elementos que rigidizan transversalmente al muro (fig. 3.1.2.4.1).

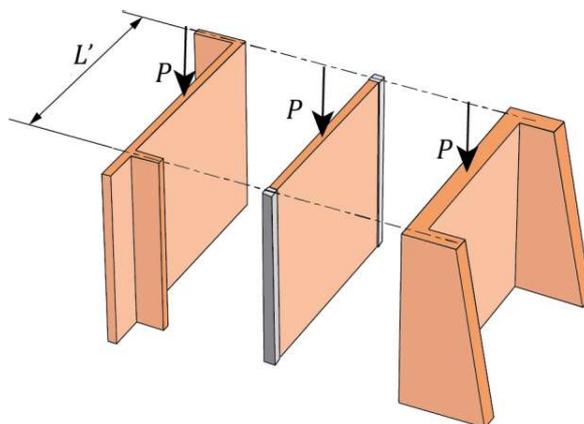


Figura 3.1.2.4.1 – Restricción a la deformación lateral

Comentario:

La expresión toma en cuenta, en forma simplificada, la restricción fuera del plano en la inestabilidad de una placa cargada verticalmente. La restricción lateral se asume a todo lo alto de los bordes verticales de la placa (muro).

3.1.3 Análisis por cargas laterales

3.1.3.1 Criterio básico

3.1.3.1.1 Para determinar las fuerzas internas y momentos internos que actúan en los muros, las estructuras de mampostería se podrán analizar mediante métodos dinámicos o estáticos que cumplan con el Capítulo 2 de la NTC-Sismo. Se deberá considerar el efecto de aberturas en la rigidez y resistencia laterales.

3.1.3.1.2 La determinación de los efectos de las cargas laterales inducidas por sismo se hará con base en las rigideces relativas de los distintos muros y segmentos de muro. Estas se determinarán tomando en cuenta las deformaciones por cortante y por flexión.

3.1.3.1.3 Para la revisión del estado límite de falla y para evaluar las deformaciones por cortante, será válido considerar la sección transversal agrietada en aquellos muros o segmentos más demandados.

3.1.3.1.4 Para evaluar las deformaciones por flexión se considerará la sección transversal agrietada del muro o segmento cuando la relación de carga vertical a momento flexionante es tal que se presentan fuerzas de tensión verticales.

3.1.3.1.5 Se tomará en cuenta la restricción que impone a la rotación de los muros, la rigidez de los sistemas de piso y techo, así como la de los dinteles y pretilas.

3.1.3.1.6 La estructura podrá modelarse utilizando el método de la columna ancha o con elementos finitos de acuerdo con las especificaciones este capítulo o como diagonal equivalente en el caso de muros diafragma (Capítulo 5).

3.1.4 Análisis por temperatura

3.1.4.1 Cuando por un diferencial de temperaturas así se requiera, o cuando la estructura tenga una longitud mayor que 30 m, será necesario considerar los efectos de la temperatura en las deformaciones y elementos mecánicos. Se deberá poner especial cuidado en las características mecánicas de la mampostería al evaluar los efectos de temperatura.

3.2 Modelación de estructuras de mampostería

3.2.1 Modelos con columna ancha

3.2.1.1 En estructuras de mampostería confinada o reforzada interiormente, los muros y segmentos de muro se pueden modelar como columnas anchas (fig. 3.2.1.1), con momentos de inercia y áreas de cortante iguales a las del muro o segmento de muro de acuerdo con a) a f) siguientes:

- Área transversal. Será el área transversal del muro más el área transformada de los castillos que se estén considerando en la sección del muro. Los castillos deberán incluirse solamente en la sección transversal de un muro (no deben duplicarse en el modelo)
- Área de cortante en la dirección paralela al muro. En forma aproximada, el área de cortante podrá estimarse como el área del muro más el área sin transformar de los castillos
- Área de cortante en la dirección perpendicular al plano del muro. Deberá tomarse como la suma del área transversal de la mampostería más el área transformada de los castillos dividida entre el factor de forma para cortante de la sección transversal (1.2, para secciones rectangulares)
- Momento de inercia con respecto al eje centroidal trasversal de la sección. Se tomará como la suma del momento de inercia de la sección de mampostería y el momento de inercia transformado de los castillos considerados en la sección, respecto al mismo eje
- Momento de inercia respecto al eje centroidal paralelo al muro. Se tomará como la inercia de la mampostería más la inercia transformada de los castillos
- Constante de torsión de Saint Venant. Se tomará como $Lt^3/3$, donde L incluye la longitud de los castillos, en su caso.

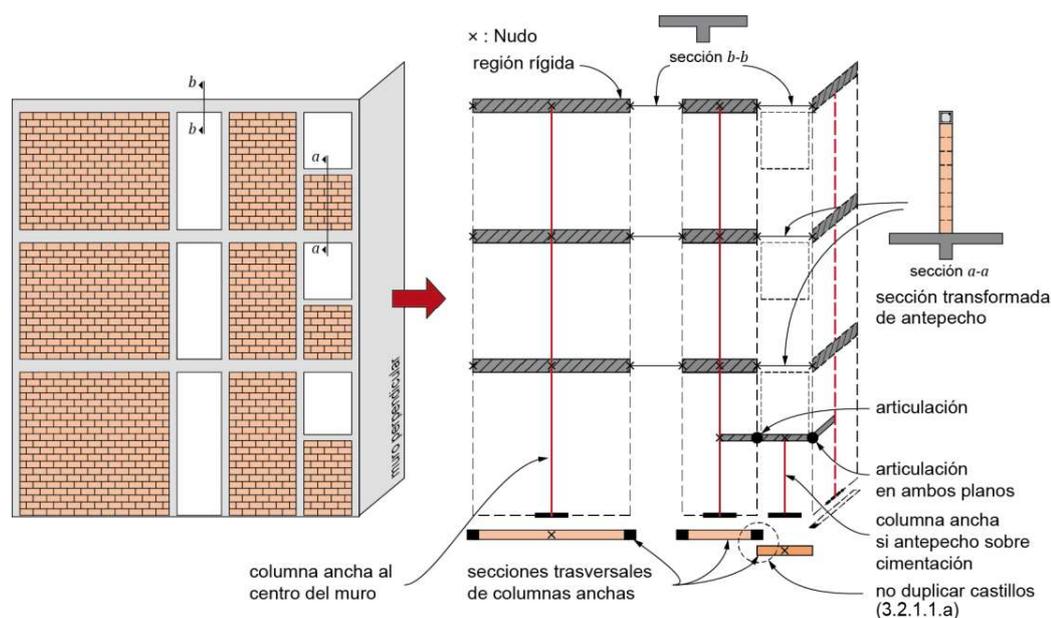


Figura 3.2.1.1 – Modelo de columna ancha

3.2.1.2 Por simplicidad, los ejes de las columnas anchas podrán localizarse en el centro del muro o segmento del muro que se modela, siempre que la distancia del centro del muro al centroide de la sección no sea mayor que 15 por ciento de la longitud del muro.

3.2.1.3 Las columnas anchas estarán acopladas por vigas con extremos rígidos dentro del ancho del muro y con el momento de inercia de la losa con un ancho efectivo, al cual deberá sumarse el momento de inercia de dinteles y pretilas (fig. 3.2.1.6). Los momentos de inercia deberán calcularse, en todos los casos, con respecto a ejes centroidales de la sección que se considere.

3.2.1.4 Los muros largos, como aquéllos con castillos intermedios, podrán dividirse, para efectos de modelación, en uno o más segmentos, cada uno para modelarse con una columna ancha, siempre que la longitud del muro dividida entre su altura libre sea al menos 1.4 ($L/H \geq 1.4$).

Comentario:

Para fines de diseño o revisión de los muros después del análisis se pueden considerar unidos nuevamente los muros largos que se habían dividido para modelado, considerando la resultante de fuerzas cortantes, cargas axiales y momentos, en el eje centroidal del muro completo.

3.2.1.5 En los análisis, se usarán los módulos de elasticidad y de cortante de la mampostería, E_m y G_m , de acuerdo con 2.8.5 y 2.8.6, respectivamente. Los valores deberán reflejar la rigidez axial y de corte que se esperan obtener de la mampostería en obra. Los valores usados en el análisis deberán indicarse en los planos.

3.2.1.6 Para estimar la rigidez a flexión en losas, con o sin pretilas, se considerará un ancho de cuatro veces el espesor de la losa a cada lado de la viga o dala, o de tres veces el espesor de la losa cuando no se tiene viga o dala, o cuando la dala está incluida en el espesor de la losa (fig. 3.2.1.6).

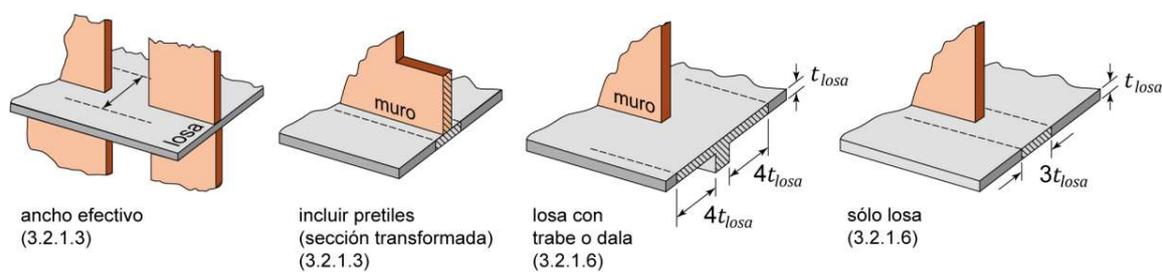


Figura 3.2.1.6 – Anchos efectivos en losas

3.2.1.7 En los análisis a base de marcos planos, para estimar la rigidez a flexión de muros con patines, se considerará un ancho del patín a compresión a cada lado del alma que no exceda de seis veces el espesor del patín (fig. 3.2.1.7).

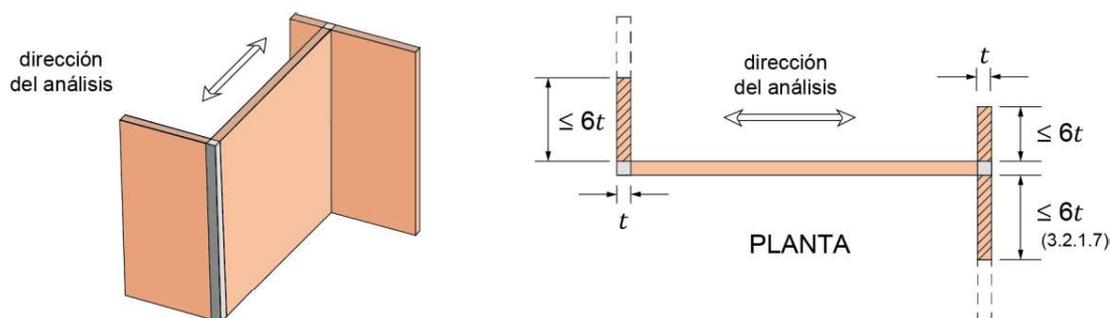


Figura 3.2.1.7 – Ancho efectivo del patín a compresión en muros para análisis a base de marcos planos

3.2.1.8 Para el caso de muros que contengan aberturas, éstos podrán modelarse como columnas anchas equivalentes, solamente si el patrón de aberturas es regular en elevación (fig. 3.2.1.1), en cuyo caso los segmentos del muro se modelarán como columnas anchas y éstas se acoplarán por vigas conforme se establece en 3.2.1.3.

3.2.1.9 Si la distribución de aberturas es irregular o compleja en elevación, deberán emplearse métodos más refinados para el modelado de dichos muros. Se admite usar el método de elementos finitos, el método de puntales y tensores u otros procedimientos analíticos similares que permitan modelar adecuadamente la distribución de las aberturas en los muros y su impacto en las rigideces, deformaciones y distribuciones de esfuerzos a lo largo y alto de los muros.

3.2.1.10 Los muros diafragma se podrán modelar como diagonales equivalentes o como paneles unidos en las esquinas con las vigas y columnas del marco perimetral (Capítulo 5).

3.2.1.11 Si se usan muros de mampostería y de concreto se deberán considerar las diferencias entre las propiedades mecánicas de ambos materiales.

3.2.2 Modelos con elementos finitos

3.2.2.1 Los muros de mampostería podrán modelarse con elementos finitos lineales (cuatro nudos) tipo membrana (con rigidez sólo en su plano), siempre que la formulación de dichos elementos pueda representar adecuadamente la flexión en el plano del muro, o con elementos lineales tipo cascarón (con rigidez en su plano y fuera del plano). Los elementos tendrán las propiedades mecánicas de la mampostería y un espesor igual al espesor del muro.

3.2.2.2 Se utilizará un sólo elemento por panel, siendo un panel el área de muro delimitada por castillos y dadas, siempre que la relación de aspecto del elemento no sea mayor que 2; en caso contrario se propondrá una malla de elementos que cumpla este requisito.

3.2.2.3 Los elementos contiguos tanto en el plano del muro como fuera de él deberán ser continuos en los nudos.

3.2.2.4 Los castillos se modelarán con elementos prismáticos tipo barra localizados en el centroide de la sección transversal del castillo y las propiedades mecánicas del concreto de que están hechos. Los elementos-barra deberán ser continuos en los nudos de todos los elementos finitos contiguos (fig. 3.2.2.4).

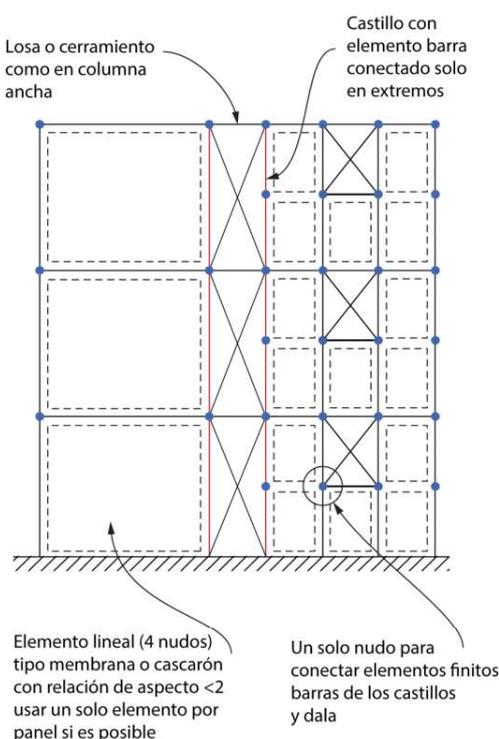


Figura 3.2.2.4 – Modelo de muro con elementos finitos

3.2.2.1 Será admisible utilizar un modelo más detallado siempre que los castillos estén debidamente representados en el modelo.

Comentario:

Las recomendaciones contenidas en esta sección corresponden a un método de modelación simplificado en el que los castillos se modelan con barras y los paneles de mampostería con elementos finitos, que pueden incluir grados

de libertad fuera del plano del muro (elementos tipo cascarón) o elementos que sólo contienen grados de libertad en el plano del muro (elemento tipo Panel).

La simplificación se justifica para reducir en forma muy considerable el número de elementos necesarios para la modelación estricta de la estructura. En la modelación estricta, los castillos también son modelados con elementos finitos. Dado que la relación de aspecto de los elementos finitos debe ser, en lo posible, cercana a la unidad, para obtener los mejores resultados, siendo un valor de 2 normalmente aceptado, resulta que el número de elementos necesarios para modelar los castillos es considerable. La malla de los muros al tener que ser compatible con la de los castillos también se reduce significativamente. El número de elementos resultante en una estructura convencional es muy grande lo que es impráctico en el día a día de la práctica profesional.

El método de modelación propuesto, al ser simplificado, introduce errores. Por ejemplo, los castillos, modelados con una barra, tienen una deformación incompatible con los paneles. Sin embargo, esa incompatibilidad se reduce a los giros, mientras que la deformación axial es consistente. Dado que la participación de los castillos a la rigidez lateral de la estructura es por su rigidez axial, el error que se comete no es considerable.

Se ha podido corroborar que el nivel de precisión obtenido con el método simplificado de modelación es mejor al obtenido con el método de columna ancha, aun con las deficiencias mencionadas. Eso se debe, entre otras razones, a que el método de la columna ancha introduce la hipótesis de sección plana de los muros, que no se cumple, especialmente en muros largos, y el uso de elementos finitos no impone esa restricción.

Espacio en blanco dejado de manera intencional

4. ESPECIFICACIONES GENERALES DE DISEÑO

4.1 Criterios de diseño

4.1.1 El dimensionamiento y detallado de elementos estructurales se hará de acuerdo con los criterios relativos a los estados límite de falla y de servicio establecidos en el Título Sexto del Reglamento y en esta Norma, o por algún procedimiento optativo que cumpla con los requisitos del Título Sexto. Adicionalmente, se diseñarán las estructuras por durabilidad.

4.1.2 Las fuerzas internas producidas por las acciones a que están sujetas las estructuras se determinarán de acuerdo con los criterios de análisis prescritos en 3.1.

4.1.3 Estado límite de falla

4.1.3.1 Según el criterio de estado límite de falla, las estructuras y elementos estructurales deberán dimensionarse y detallarse de modo que la resistencia de diseño en cualquier sección sea al menos igual al valor de diseño de la fuerza o momento internos.

4.1.3.2 Las resistencias de diseño deberán incluir el correspondiente factor de resistencia, F_R , prescrito 4.1.6.

4.1.3.3 Las fuerzas internas de diseño se obtienen multiplicando por el correspondiente factor de carga, los valores de dichas fuerzas internas calculados bajo las acciones especificadas en el Título Sexto del Reglamento y en la NTC-Acciones.

4.1.4 Estado límite de servicio

4.1.4.1.1 Se comprobará que las respuestas de la estructura (asentamientos, deformación, agrietamiento, vibraciones, etc.) queden limitadas a valores tales que el funcionamiento en condiciones de servicio sea satisfactorio.

4.1.5 Diseño por durabilidad y protección contra fuego

4.1.5.1 Se diseñarán y detallarán las estructuras por durabilidad para que la expectativa de vida útil sea de al menos 50 años.

4.1.5.2 Los requisitos mínimos establecidos en esta Norma son válidos para elementos expuestos a ambientes no agresivos, tanto interior como exteriormente, y que corresponden a una clasificación de exposición A_1 y A_2 , según el Capítulo 4 de la NTC-Concreto.

4.1.5.3 Si el elemento estará expuesto a ambientes más agresivos, se deberán aplicar los criterios de diseño por durabilidad del Capítulo 4 de la NTC-Concreto.

Comentario:

Dichos criterios incluyen el espesor del recubrimiento de concreto para el acero de refuerzo, la resistencia mínima a compresión para distintos ambientes, el contenido de sulfato, el contenido de cemento portland y relación agua/cemento.

4.1.5.4 Dimensiones y recubrimientos contra fuego

4.1.5.4.1 En adición a las dimensiones mínimas y espesores requeridos en los Capítulos 6 a 8 de las NTC-Concreto, según corresponda, se deberán satisfacer las dimensiones y espesores obtenidos de los métodos indicados en el Capítulo 4 de la NTC-Proyecto Arquitectónico, las que resulten mayores.

4.1.5.4.2 Además de cumplir con los recubrimientos de 4.13 y 4.14, de las NTC-Concreto, se revisará que éstos no sean menores que los determinados a partir de los métodos indicados en el Capítulo 4 de la NTC-Proyecto Arquitectónico.

4.1.5.4.3 Se aceptará obtener las dimensiones, espesores y recubrimientos de elementos estructurales por cualquier otro método a satisfacción del Director y, en su caso, del Corresponsable. En todos los casos, no deberán ser menores que los requeridos en los Capítulos 6 a 8, así como en 4.13 y 4.14 de las NTC-Concreto.

Comentario:

Para la revisión por fuego, en esta versión de la Norma se requiere el cumplimiento de dimensiones (de vigas y columnas, por ejemplo), de espesores (de sistemas de piso y techo), así como del espesor del recubrimiento de los elementos estructurales con objeto de satisfacer el número de horas mínimo de exposición al fuego que permita proteger la vida de los ocupantes.

Un método aceptado en 4.15.3 en las NTC-Concreto, es el del documento ACI 216.1-14(19).

4.1.6 Factores de resistencia

4.1.6.1 Las resistencias deberán reducirse por un factor de resistencia, F_R . Se acepta aplicar estos valores en aquellas modalidades constructivas y de refuerzo cuyo comportamiento experimental ha sido evaluado y satisface el Apéndice Normativo A. Los valores del factor de resistencia serán los indicados en 4.1.6.2, 4.1.6.3 y 4.1.6.4 para muros sujetos a compresión axial, flexión y fuerza cortante, respectivamente.

4.1.6.2 En muros sujetos a compresión axial

$F_R = 0.6$ para muros confinados (Capítulo 6), muros reforzados interiormente (Capítulo 7) o la diagonal equivalente de muros diafragma (Capítulo 5).

4.1.6.3 En muros sujetos a flexocompresión en su plano o a flexocompresión fuera de su plano

4.1.6.3.1 Para muros confinados (Capítulo 6) o reforzados interiormente (Capítulo 7):

- a) Si se usa el método general de diseño (véase 6.4.2.1 o 7.3.2.1) F_R para flexocompresión se calculará de acuerdo con la tabla 4.1.6.3.1. La deformación unitaria de fluencia del acero, ϵ_{yt} , será igual a f_y/E_s (para acero Grado 400, $\epsilon_{ty} = 0.002$). El mismo valor de F_R se debe aplicar a las resistencias nominales a momento y a carga axial.

Tabla 4.1.6.3.1 – Factor de resistencia F_R para el método general de diseño a flexocompresión

Deformación unitaria neta ϵ_t	Clasificación, según modo de comportamiento	F_R	
$\epsilon_t \leq \epsilon_{ty}$	Controlado por compresión	0.6	a)
$\epsilon_{ty} < \epsilon_t < \epsilon_{ty} + 0.003$	Transición ^[1]	$0.6 + 0.2 \frac{\epsilon_t - \epsilon_{ty}}{0.003}$	b)
$\epsilon_t \geq \epsilon_{ty} + 0.003$	Controlado por tensión	0.8	c)

^[1] En la zona de transición (b) se aceptará usar el F_R correspondiente a comportamiento controlado por compresión (a)

Comentario:

En la versión 2023 de la norma se establecen los requisitos para la determinación de la resistencia de diseño a flexocompresión usando el método general. La resistencia nominal de un muro a flexocompresión se calcula para la condición cuando la deformación unitaria en el extremo a compresión del concreto alcanza el límite de 0.003 (véase 4.1.8.e). En el cálculo, de manera similar a las estructuras de concreto, se determina el valor de la deformación unitaria neta a tensión, ϵ_t , la cual es la deformación unitaria a tensión calculada en el acero de refuerzo a tensión en el extremo, excluyendo deformaciones debido a presfuerzo, flujo plástico, contracción por fraguado y temperatura. La deformación unitaria neta a tensión se calcula a partir de una distribución lineal de deformaciones a la resistencia nominal. En la tabla 4.1.6.3.1 se reconoce que el comportamiento de un muro a flexocompresión evoluciona de uno controlado por tensión, cuando la deformación unitaria neta es igual o mayor que 0.005, a otro controlado por compresión cuando la deformación unitaria neta es menor o igual que la deformación unitaria de fluencia. Dependiendo de la clasificación del comportamiento del muro, se obtiene el valor de F_R . Las resistencias de diseño se determinarán multiplicando ambas resistencias nominales, P_n y M_n , por un solo valor de F_R calculado a partir de la tabla 4.1.6.3.1.

Para facilitar el cálculo de la resistencia de diseño a flexocompresión, se ha mantenido el método optativo. Este es un procedimiento aproximado en el cual el valor de F_R depende de la magnitud de la carga axial y sólo se aplica para obtener el momento flexionante de diseño M_R . En el método optativo, P_R es calculado con F_R obtenido en 4.1.6.2.

b) Si se usa el método optativo de diseño (véase 6.4.2.2 o 7.3.2.2)

$$F_R = 0.8 \text{ si } P_u \leq P_R/3$$

$$F_R = 0.6 \text{ si } P_u > P_R/3$$

F_R sólo se aplica para calcular el momento de diseño M_R

4.1.6.4 En muros sujetos a fuerza cortante

$F_R = 0.7$ para muros diafragma (Capítulo 5), muros confinados (Capítulo 6) y muros con refuerzo interior (Capítulo 7).

4.1.7 Contribución del refuerzo a la resistencia a cargas verticales

4.1.7.1 La contribución a la resistencia a carga vertical de castillos y dalas (Capítulo 6) o del refuerzo interior (Capítulo 7) se considerará de acuerdo con 6.4.1 y 7.3.1.

4.1.8 Hipótesis para la obtención de resistencias de diseño a flexocompresión

4.1.8.1 La determinación de resistencias de secciones de cualquier forma sujetas a flexión, carga axial o una combinación de ambas, se efectuará con un criterio de resistencia a flexocompresión con base en las hipótesis siguientes:

- La mampostería se comporta como un material homogéneo
- La distribución de deformaciones unitarias longitudinales en la sección transversal de un elemento es plana;
- Los esfuerzos de tensión son resistidos por el acero de refuerzo únicamente
- Existe adherencia perfecta entre el acero de refuerzo vertical y el concreto o mortero de relleno que lo rodea
- La sección falla cuando se alcanza, en la mampostería, la deformación unitaria máxima a compresión que se tomará igual a 0.003
- A menos que ensayos en pilas permitan obtener una mejor determinación de la curva esfuerzo–deformación de la mampostería, ésta se supondrá lineal hasta la falla.

4.1.8.2 En muros con piezas huecas en los que no todas las celdas estén rellenas con mortero o concreto, se considerará el valor de f'_m de las piezas huecas sin relleno en la zona a compresión.

4.1.8.3 Los muros sometidos a momentos flexionantes, perpendiculares a su plano podrán ser confinados o bien reforzados interiormente. En este último caso podrá determinarse la resistencia a flexocompresión tomando en cuenta el refuerzo vertical del muro, cuando la separación de éste no exceda de $6t$, donde t es el espesor de la mampostería del muro.

4.1.9 Resistencia de la mampostería a cargas laterales

4.1.9.1 La fuerza cortante que resiste la mampostería, según las modalidades descritas en los Capítulos 4 a 7 se basa en el esfuerzo cortante resistente de diseño que, en esta Norma, es proporcional a la resistencia a compresión diagonal, v'_m .

4.1.10 Revisión del cortante resistente de entrepiso

4.1.10.1 Toda estructura de mampostería se analizará y diseñará como se describe en esta Norma. Adicionalmente, se verificará que la resistencia a cortante de cada entrepiso, V_{Ri} , calculada para cada una de las dos direcciones ortogonales de análisis, como se describe en 4.1.12, sea mayor que el 80 por ciento de la fuerza cortante de diseño en el i -ésimo entrepiso, V_{ui} , obtenida con 4.1.11.

$$V_{Ri} \geq 0.8V_{ui} \quad i = 1, \dots, n \text{ entrepisos} \quad (4.1.10.1)$$

Comentario:

La revisión global descrita en esta sección es similar a la del Método Simplificado 12.3.2.4. La revisión que se específica es necesaria pero no es suficiente, la estructura debe cumplir el resto de los requisitos de diseño de la norma.

La idea de exigir esta revisión fue la de proveer al diseñador una estimación simple de la resistencia mínima requerida, que es una de las principales ventajas del mencionado Método Simplificado.

4.1.11 Cortante de diseño de entrepiso

4.1.11.1 La fuerza cortante que actúa en un entrepiso se obtendrá como la suma de las fuerzas sísmicas F_i , arriba de dicho entrepiso, calculadas de acuerdo con el método estático o algún otro método de los indicados en la NTC-Sismo, multiplicadas por el factor de carga correspondiente.

4.1.12 Resistencia a corte de entrepiso

4.1.12.1 Para efectos de la revisión de 4.1.10, la resistencia a corte de entrepiso en cada dirección de análisis, debe evaluarse como

$$V_{Ri} = F_R \left(0.5v'_m + 0.3\sigma_i + \eta(p_h f_{yh})_e \right) \sum A_T \quad \sigma_i \leq 3.33v'_m \quad (4.1.12.1)$$

donde la sumatoria se refiere a los muros en la dirección de análisis; σ_i es el esfuerzo normal promedio en los muros del entrepiso i , calculado como el peso total desde azotea hasta el entrepiso, dividido entre la suma de las áreas transversales de todos los muros del entrepiso.

Para el cálculo, σ_i no se tomará mayor que $3.33v'_m$. Si el producto $(p_h f_{yh})_e$ difiere entre los distintos muros del entrepiso en la dirección de análisis considerada, la contribución del refuerzo a la resistencia del entrepiso se calculará muro por muro. La eficiencia del refuerzo η se define en 6.5.3.4 o 7.4.3.5 según se trate de muros confinados (Capítulo 6) o reforzados interiormente (Capítulo 7), respectivamente.

4.1.12.2 Si el sistema de piso es a base de viguetas y bovedillas con todas las viguetas orientadas en la misma dirección, se calculará un esfuerzo σ_i para cada una de las dos direcciones de análisis como el promedio de los esfuerzos que producen las descargas verticales en los muros paralelos a la dirección correspondiente.

4.1.12.3 En caso de que parte de la carga sea resistida por columnas, deberá excluirse dicha carga del peso total para el cálculo del esfuerzo promedio.

4.1.12.4 Cuando existan muros de concreto se deberá incluir su resistencia, calculada de acuerdo con el Capítulo 6 de la NTC-Concreto.

Comentario:

Con la ec. 4.1.12.1 se verifica la resistencia de un entrepiso (i) en cada dirección de análisis X o Y. A diferencia del criterio del Método Simplificado (12.3.2.4), no se pide reducir la fuerza (o el área) de muros cortos con relación $H/L > 1.33$ con el factor de área efectiva F_{AE} , considerando que en general es mínima la contribución de esos muros en comparación con la de los muros largos, y para mantener con la mayor sencillez la ec. 4.1.12.1. En todo caso una recomendación adicional sería despreciar los muros con longitud menor de 1 m.

La expresión toma en cuenta el efecto de la carga axial en función del esfuerzo vertical promedio sobre los muros, σ_i . El límite de resistencia para cargas verticales altas " $\leq 1.5F_R v'_m A_T$ " que se usa en mampostería confinada (ec. 6.5.2.1) o reforzada interiormente (ec. 7.4.2.1.a) se ha tomado indirectamente limitando el esfuerzo, σ_i , a que no sea mayor que $3.33 v'_m$.

Cuando se tiene un sistema de piso a base de vigueta y bovedilla, la carga se transfiere a muros en una sola dirección, dando lugar a diferencias importantes del esfuerzo axial en muros en distintas direcciones. En ese caso debe evaluarse la ec. 4.1.12.1 muro por muro, siendo σ el esfuerzo axial que corresponde al muro en particular, sumando la resistencia de los muros en la dirección en que se desea determinar la resistencia.

El criterio en 4.1.12 es aplicable esencialmente a edificaciones cuyo sistema resistente a fuerzas laterales sea el de muros de mampostería (al menos en la dirección considerada). Si se tiene una estructura mixta con otros sistemas no puede aplicarse directamente el criterio. Se ha anotado la aclaración de que, en caso de la existencia de muros de concreto, se incluye su resistencia. No obstante, considerar simultánea la suma de las resistencias de ambos

sistemas puede no ser correcto debido a que la deformabilidad de los sistemas es distinta y alcanza su resistencia a distintas distorsiones. La expresión de cálculo podría ser, utilizando kg, cm y kg/cm²:

$$V_{Ri} = \left[F_R (0.5v'_m + 0.3\sigma_i + \eta(p_h f_y h)_e) \Sigma A_T \right]_{mampostería} + \alpha [F_R (0.5\sqrt{f'_c} + p_t f_y) \Sigma A_{cm}]_{concreto}$$

en que α puede valer 0.8; la cuantía es $p_t = A_{vm}/(s_l \cdot t) \geq 0.0025$, siendo $A_{cm} = t \cdot L$ el área del muro de concreto, A_{vm} el área del acero horizontal en el muro de concreto, s_l su separación no mayor que 35 cm, y $F_R = 0.75$ para cortante en concreto. El cálculo de la resistencia de los muros de concreto y todos los requisitos necesarios deberán verificarse según la NTC-Concreto. (Díaz Infante, 1993)

4.1.13 Factor de comportamiento sísmico

4.1.13.1 Para diseño por sismo, se usará el factor de comportamiento sísmico, Q indicado en el Capítulo 4 de la NTC-Sismo. El factor de comportamiento sísmico depende del tipo de pieza usado en los muros (véase 2.1.1), de la modalidad del refuerzo (Capítulos 6 y 7), así como de la estructuración del edificio.

4.1.13.1.1 Se deberá reducir el valor de Q en 0.5 para estructuras con más de seis niveles sobre banqueta.

Comentario:

Los factores de comportamiento sísmico que se especifican en la NTC-Sismo corresponden a ductilidades globales de la estructura. Sin embargo, es bien sabido que, en estructuras de mampostería, las deformaciones de entrepiso se concentran en el primer nivel, lo que implica que, para una cierta ductilidad global especificada y el número de niveles de la estructura, la distorsión esperada en el primer nivel será mucho mayor que la dada por la ductilidad global (SMIE Cap. 6 2019). Los valores de Q se determinaron para que una estructura de hasta 5 niveles pudiera desarrollar las distorsiones demandadas en el primer nivel con la estructuración y tipo de material utilizado (Pérez Gavilán 2019). En la NTC-Sismo los valores de Q deben de reducirse en 0.5 para estructuras con más de seis niveles. Se usaron seis niveles en vez de cinco, para reducir el valor de Q , ya que se consideró que la hipótesis de daño sólo en el primer nivel es aproximada y que el límite del número de niveles, en la práctica, para una estructura de mampostería, era de seis.

Es importante hacer énfasis que el valor del factor de comportamiento sísmico depende de manera importante de que las piezas cumplan los requisitos de área neta y espesores mínimos de las paredes, en caso de que se trate de piezas multiperforadas. Evidencia experimental demostró que piezas extruidas de barro con espesores menores que los especificados en la norma no son capaces de desarrollar la ductilidad especificada para ese tipo de material (Rubio 2018).

4.1.14 Distorsión lateral inelástica

4.1.14.1 Se revisará que la distorsión lateral inelástica, γ_{li} , calculada con el conjunto de fuerzas horizontales reducidas, γ_{er} , multiplicada por Q , y por R , obtenidos de acuerdo con los Capítulos 4 y 3 de la NTC-Sismo, respectivamente, no exceda del valor máximo indicado en el Capítulo 4 de dicha norma, y que satisfaga la ec. 4.1.14.1:

$$\gamma_{li} = \gamma_{er} QR \leq \gamma_{max} \quad (4.1.14.1)$$

4.1.15 Limitación en el uso de sistemas estructurales y condiciones de regularidad según la zona sísmica

4.1.15.1 Cuando la estructuración sea a base de marcos de concreto o acero y de muros de carga (como ocurre en edificios con plantas bajas a base de marcos que soportan muros de mampostería), se deberá usar, en cada dirección de análisis, el menor factor de comportamiento sísmico para toda la estructura. Además, se deberá satisfacer lo indicado en la NTC-Sismo.

4.1.16 Diseño de cimentaciones

4.1.16.1 Las cimentaciones de estructuras de mampostería se dimensionarán y detallarán de acuerdo con lo especificado en el Título Sexto del Reglamento, la NTC-Criterios, la NTC-Sismo, la NTC-Cimentaciones, en la NTC-Concreto y en 9.4 de esta Norma, según corresponda.

4.1.16.2 Los elementos de la cimentación deberán diseñarse para que resistan los elementos mecánicos de diseño y las reacciones del terreno, de modo que las fuerzas y momentos se transfieran al suelo en que se apoyan sin exceder la resistencia del suelo. Se deberán revisar los asentamientos máximos permisibles y sus efectos en la estructura.

4.1.16.3 El refuerzo vertical de muros y otros elementos deberá extenderse dentro de los elementos de la cimentación, tales como zapatas, losas, contratraves, etc., y deberá anclarse de modo que pueda desarrollar el esfuerzo especificado de fluencia a tensión. El anclaje se revisará según el Capítulo 14 de la NTC-Concreto.

4.1.16.4 El refuerzo vertical podrá desarrollarse como barra recta o con dobleces estándar a 90 grados. En este último caso, los dobleces se ubicarán cerca del fondo de la cimentación, con los tramos rectos orientados hacia el interior del elemento (fig. 4.1.16.4).

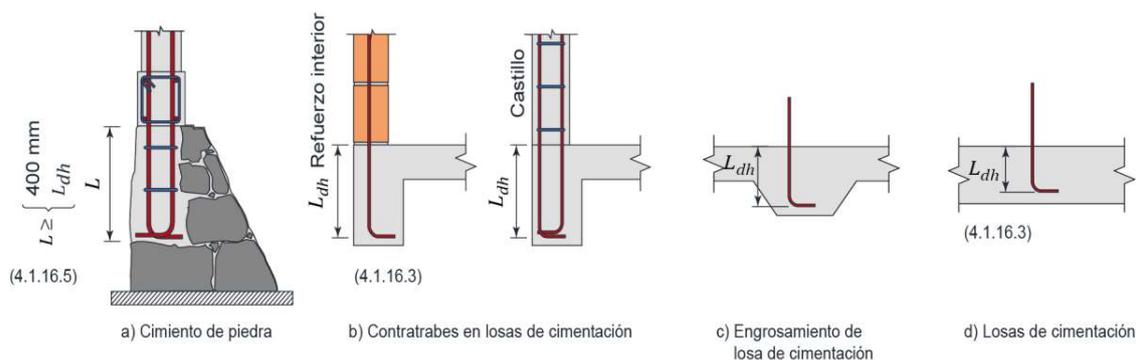


Figura 4.1.16.4 – Anclaje del refuerzo vertical en cimientos

4.1.16.5 El empotramiento mínimo de castillos en cimientos de piedra no será menor de 400 mm ni menor que L_{dh} , la longitud de desarrollo de las barras con dobleces estándar requerida por las NTC-Concreto, la que resulte mayor (fig. 4.1.16.4, inciso a).

Comentario:

Este mismo requisito de anclaje se debe cumplir para muros que parten de un nivel diferente al de cimentación donde, además, se requiere necesariamente de una trabe o contratrabe de, al menos, 250 mm de peralte o el peralte requerido según 4.1.18.

4.1.17 Diseño de sistemas de piso y techo

4.1.17.1 Los sistemas de piso y techo de las estructuras de mampostería se deberán dimensionar y detallar de acuerdo con los criterios relativos a los estados límite de falla y de servicio así como de durabilidad, establecidos en el Título Sexto del Reglamento. Asimismo, deberá cumplir los requisitos aplicables de la Norma Técnica Complementaria correspondiente, según el material del que se trate.

4.1.17.2 En todo caso, la transmisión de fuerzas internas entre los muros y los sistemas de piso y techo no deberá depender de la fricción entre los elementos. Si es el caso, las barras de refuerzo de los elementos resistentes de piso y techo deberán anclarse sobre los muros de modo que puedan alcanzar el esfuerzo especificado de fluencia a tensión.

4.1.17.3 Si los sistemas de piso o techo transmiten fuerzas laterales en su plano, como las inducidas por sismo, a los, o entre los elementos resistentes a fuerzas laterales, se deberán cumplir los requisitos correspondientes a diafragmas, de acuerdo a lo especificado en la NTC-Sismo.

4.1.17.4 Si los sistemas de piso y techo están hechos a base de paneles, se deberá cumplir lo especificado en la norma NMX-C-405-ONNCE.

4.1.17.5 Si se usan sistemas de vigueta y bovedilla se deberá cumplir con los requisitos de la norma NMX-C-406-ONNCE. Cuando las viguetas se apoyen en muros, la longitud de apoyo de las mismas será de, al menos, 50 mm. En ningún caso las bovedillas y las viguetas deberán obstruir el paso de las dalas de confinamiento.

Comentario:

La dala de confinamiento ha de tener su área transversal de concreto completa y el refuerzo longitudinal continuo, pero se admite que la vigueta pase a través de la dala formando parte de su sección. Cuando se corten las bovedillas es conveniente evaluar la necesidad de poner un apoyo adicional durante el colado.

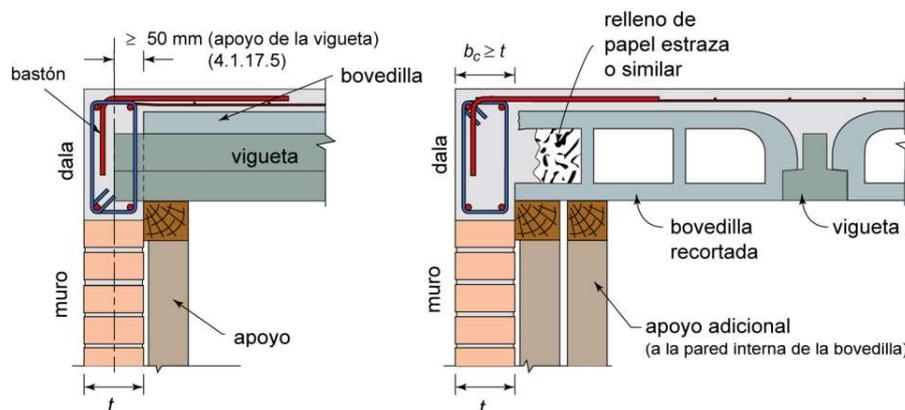


Figura C4.1.17.5 – Apoyo de viguetas y bovedillas recortadas

4.1.18 Diseño de muros sobre vigas

4.1.18.1 En el diseño de muros estructurales de mampostería que estén contruidos sobre vigas que no forman parte de la cimentación, se deberá revisar que se cumplan los requisitos establecidos en 4.1.18.2 y 4.1.18.3. El peralte de la viga de soporte deberá cumplir lo prescrito en 4.1.18.4. Cuando los muros posean aberturas, se revisará 4.1.18.5.

Comentario:

Las disposiciones en este inciso permiten revisar muros estructurales de mampostería desplantados sobre trabes flexibles. Este es el caso de estructuras en las que los muros no se desplantan sobre la cimentación, comúnmente, para dejar espacio a nivel de planta baja o de sótano para la circulación y estacionamiento de vehiculos. El problema no puede abordarse en forma simple con un análisis lineal de elementos finitos, se requiere de un análisis no-lineal para describir el problema en forma realista. La información disponible proviene de la literatura y de un estudio experimental y analítico reciente (Lizárraga, 2017). Se revisan los esfuerzos normales en los extremos de los muros y la flecha al centro del claro de la viga portante. Con estas disposiciones se determina el peralte mínimo requerido de la viga dadas las propiedades de los materiales y la carga sobre el muro y la viga.

4.1.18.2 Revisión del esfuerzo de compresión

4.1.18.2.1 Los requisitos en 4.1.18.2 sólo son aplicables para muros con relación de aspecto $H/L \geq 0.6$. En caso contrario, se deberá analizar la interacción entre muro y la viga, con énfasis en los esfuerzos rasantes horizontales.

4.1.18.2.2 Se verificará que los esfuerzos de compresión máximos en los extremos del muro, f_{CM} , no excedan el esfuerzo máximo resistente a compresión de la mampostería (ec. 4.1.18.2.2.a)

$$f_{CM} \leq F_R f'_m \tag{4.1.18.2.2.a}$$

donde:

$$f_{CM} = F_{CE} P_u / A_T \tag{4.1.18.2.2.b}$$

P_u es la carga axial de diseño debida a la combinación de cargas verticales, incluyendo el peso propio del muro analizado; y F_{CE} es el factor de concentración de esfuerzos en el muro. Para muros cuya longitud relativa a la de la viga sea $L/L_v = 1.0$

$$F_{CE} = 1.6K - 3.9 \tag{4.1.18.2.2.c}$$

y para muros con $L/L_v < 0.9$

$$F_{CE} = (3.2K - 7.8)k_c \tag{4.1.18.2.2.d}$$

donde:

$$k_c = \begin{cases} 0.7 & \text{si } c/c_{max} = 0.0 \\ 1.0 & \text{si } c/c_{max} = 0.5 \\ 0.5 & \text{si } c/c_{max} = 1.0 \end{cases} \tag{4.1.18.2.2.e}$$

c es la distancia del eje del muro al centro de la viga (fig. 4.1.18.2.2) y $c_{max} = (L_v - L)/2$. Para valores intermedios de c/c_{max} se interpolará el valor k_c . El valor de K se obtendrá con la ec. 4.1.18.2.2.f.

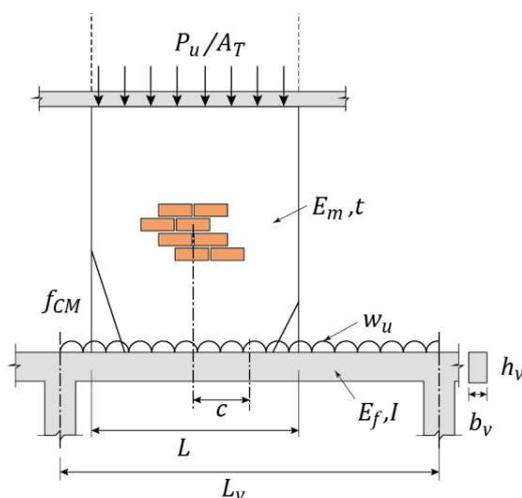


Figura 4.1.18.2.2 – Muro sobre viga

$$K = \left[\frac{E_m t L_v^3}{E_f I f_I} \right]^{1/4} \tag{4.1.18.2.2.f}$$

donde:

$$f_I = \frac{W_p}{W_p + 5w_u} \tag{4.1.18.2.2.g}$$

$$W_p = \frac{P_u}{A_T} t (a^4 - 4a^3 + 8a) \tag{4.1.18.2.2.h}$$

E_f, I y L_v son el módulo de elasticidad del material de la viga, el momento de inercia de la sección bruta y la longitud de la viga, respectivamente, $a = L/L_v$ y w_u es la carga vertical de diseño por unidad de longitud sobre la viga (fig. 4.1.18.2.2).

Para valores de L/L_v en el intervalo $0.9 < L/L_v < 1$ se interpolará el valor de F_{CE} obtenido con las ecs. 4.1.18.2.2.c y 4.1.18.2.2.d.

Comentario:

En el procedimiento de diseño se propone un peralte de la viga portante y con las propiedades mecánicas del material de la viga y el muro y la carga tributaria sobre la viga, w_u , se calcula el valor de K con la ec. 4.1.18.2.2.f. Posteriormente, con la posición del muro en la viga, c/c_{max} , y el esfuerzo axial sobre el muro es posible calcular

el factor de concentración de esfuerzos, F_{CE} , con la ec. 4.1.18.2.2.c o 4.1.18.2.2.d y con él, el esfuerzo normal en el extremo del muro (ec. 4.1.18.2.2.b) que puede compararse contra la resistencia a la compresión de la mampostería (ec. 4.1.18.2.2.a).

En caso de que el esfuerzo exceda la resistencia de la mampostería, debe reducirse el valor de K y revisar los esfuerzos. Para lograrlo, se puede aumentar el peralte de la viga. Alternativamente, en el caso en que la viga de apoyo es de concreto, puede aumentarse la resistencia a compresión del concreto, con la que se incrementa su módulo de elasticidad.

Para el diseño, puede optarse por determinar el valor de K necesario para que el esfuerzo máximo sea menor que el resistente y calcular el peralte (o la inercia) de la viga, despejándolo de la ec. 4.1.18.2.2.f.

Las expresiones propuestas para el cálculo del factor de concentración de esfuerzos, dan valores conservadores de F_{CE} si se comparan con los valores obtenidos originalmente por Lizárraga (2017). Este autor propuso expresiones que ajustan mejor los resultados numéricos, aunque son más complejas

Los valores de K están, normalmente; entre 3 y 8. Valores pequeños de K indican que la viga es rígida en comparación con el muro y los valores mayores de K indican que la viga es flexible.

En caso de que el muro sea confinado, debido a la rigidez del concreto en los castillos, el esfuerzo concentrado en éstos es muy superior al calculado en este apartado, aunque, en general, puede ser resistido por el concreto; sin embargo, los esfuerzos que corresponden al borde de la mampostería en la frontera con los castillos presentan valores similares a los calculados. Por lo anterior, la norma pide comparar los esfuerzos calculados con la resistencia a compresión de la mampostería, también en el caso de muros confinados.

4.1.18.3 Revisión por desplazamientos

4.1.18.3.1 Para cumplir con lo que establece en 4.1.a de la NTC-Criterios, se verificará que, para la condición de cargas permanentes, la relación L_v/h_v de vigas rectangulares cumpla con la ec. 4.1.18.3.1.a.

$$L_v/h_v \leq \left[\frac{1}{15} \cdot \frac{E_f b_v}{W_p + 5w_u} \right]^{1/3} \quad (4.1.18.3.1.a)$$

o bien que el momento de inercia de la sección transversal de la viga sea mayor que la dada por la ec. 4.1.18.3.1.b.

$$I \geq \frac{5}{4} \cdot \frac{L_v^3}{E_f} (W_p + 5w_u) \quad (4.1.18.3.1.b)$$

Comentario:

El cálculo de la flecha, de donde se deriva la relación L_v/h_v de la ec. 4.1.18.3.1.a, es conservador; considera la carga del muro centrada en la viga más la carga tributaria, w_u . Para el diseño se propone el peralte de la viga hasta que cumpla con la ec. 4.1.18.3.1.a. El límite de la flecha es consistente con la permitida en vigas que soportan muros que pueden dañarse o agrietarse de acuerdo con la NTC-Criterios.

4.1.18.4 Peralte mínimo

4.1.18.4.1 El cociente de la longitud entre el peralte de una viga sobre la que se desplanta un muro estructural, será menor o igual que 14, ($L_v/h_v \leq 14$), para vigas de sección rectangular de concreto o $I \geq L_v^3/160$ (I en mm^4 , L_v en mm) ($I \geq L_v^3/1600$, I en cm^4 , L_v en cm) para cualquier otro tipo de sección, donde I es el momento de inercia de la sección transversal bruta. En ningún caso h_v será menor que 250 mm.

4.1.18.5 Muros con aberturas

4.1.18.5.1 Cuando el muro tenga aberturas que requieran refuerzo según lo dispuesto en 6.2.6 o en 7.1.11, se revisarán los esfuerzos normales en cada segmento de muro, a cada lado de la abertura, tomados por separado.

Comentario:

Este inciso se refiere sólo a la concentración de esfuerzos en los extremos de los segmentos de muro a cada lado de la abertura por efecto de la flexibilidad de la viga de apoyo; sin embargo, también debe revisarse su resistencia a compresión, a cortante y flexocompresión como cualquier otro muro.

4.2 Detallado del refuerzo

4.2.1 General

4.2.1.1 Los planos de construcción deberán tener especificaciones, figuras (ver fig. 4.2.2.1.1) y notas con los detalles del refuerzo (véase 10.1.1.k). Toda barra de refuerzo deberá estar rodeada en toda su longitud por mortero, concreto o mortero de relleno, con excepción de las barras de refuerzo horizontal que estén ancladas según 4.2.6.2.

Comentario:

Cuando el muro es de piezas huecas, el refuerzo horizontal pasará, necesariamente, por sobre las celdas vacías por lo que no estaría cubierto por mortero. Esta condición es aceptable solamente en el caso de condiciones ambientales no severas, como las de la Ciudad de México; sin embargo, si se construye en zonas cercanas a la costa, zonas de alta humedad u otras condiciones ambientales severas, es conveniente tomar precauciones para proteger el refuerzo horizontal dentro del muro.

4.2.2 Tamaño del acero de refuerzo

4.2.2.1 Diámetro del acero de refuerzo longitudinal

4.2.2.1.1 En mampostería con refuerzo interior, el diámetro de la barra más gruesa no deberá exceder de la cuarta parte de la menor dimensión libre de la celda que la contiene (fig. 4.2.2.1.1).

4.2.2.1.2 En castillos y dalas, el diámetro de la barra más gruesa no deberá exceder de un sexto de la menor dimensión de la sección transversal del castillo o dala (fig. 4.2.2.1.1).

Comentario:

Esta especificación da lugar a tamaños de refuerzo más convenientes para la práctica constructiva en México. Por ejemplo, en un muro de 120 mm de espesor de piezas de arcilla, las celdas pueden tener del orden de 80 mm por lo que la barra máxima sería de 20 mm de diámetro (barra del no. 6) como máximo y ya no de 3 cm que sería mayor que una pulgada. La tabla 4.2.3.4 es congruente con este requisito.

4.2.2.2 Diámetro del acero de refuerzo horizontal

4.2.2.2.1 El diámetro del refuerzo horizontal no será menor que 3.5 mm ni mayor que tres cuartas partes del espesor de la junta (véanse 10.2.4.1 y fig. 4.2.2.1.1).

Comentario:

El requisito obedece a la correcta colocación del refuerzo dentro de la junta de mortero horizontal. No obstante, si se usan piezas especiales, como es el caso de las piezas que tienen una cavidad en forma de U, formando una canal horizontal, es posible colocar acero de mayor diámetro (fig. C4.2.2.2.1).

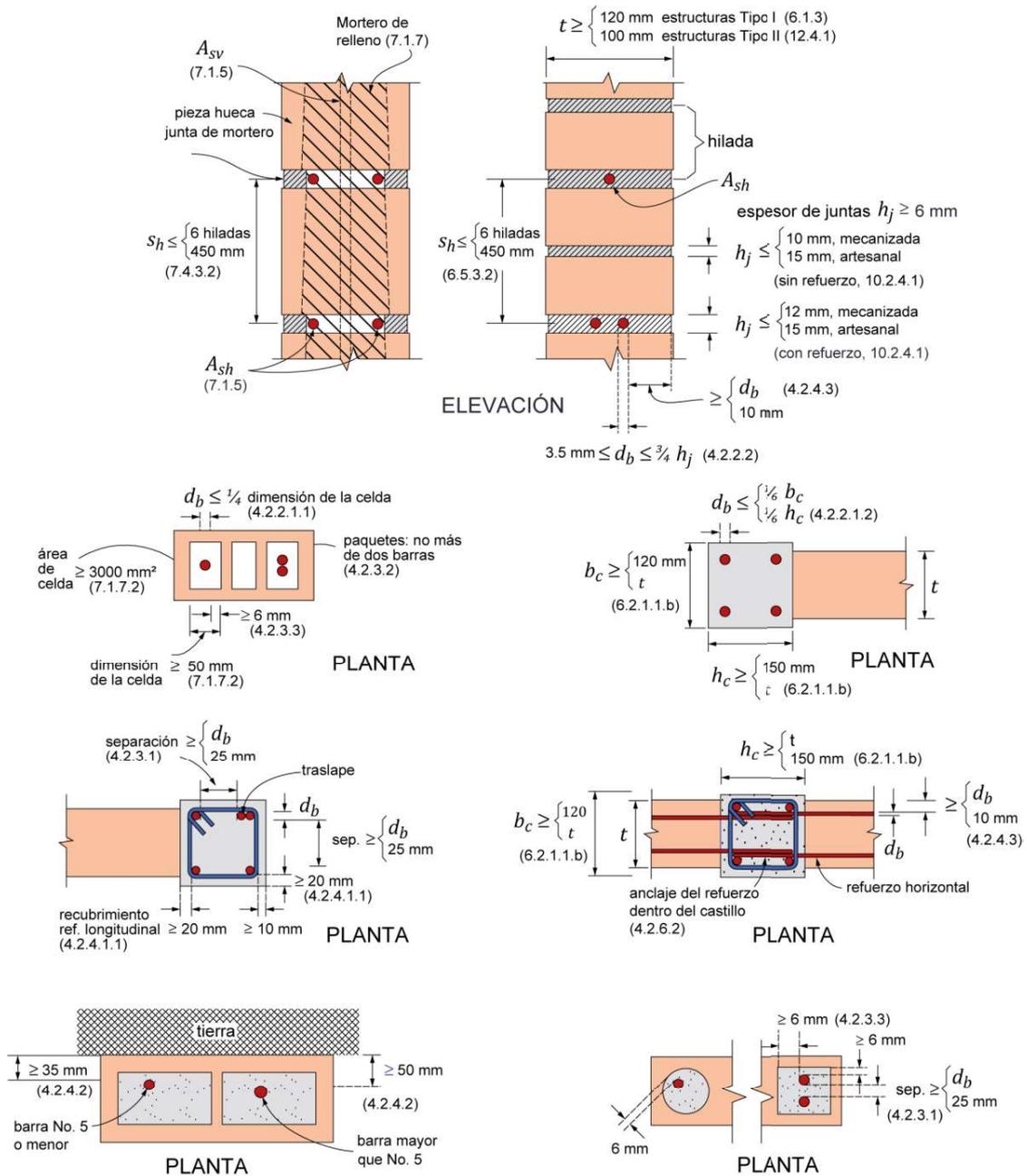


Figura 4.2.2.1.1 – Tamaño, colocación y protección del acero de refuerzo

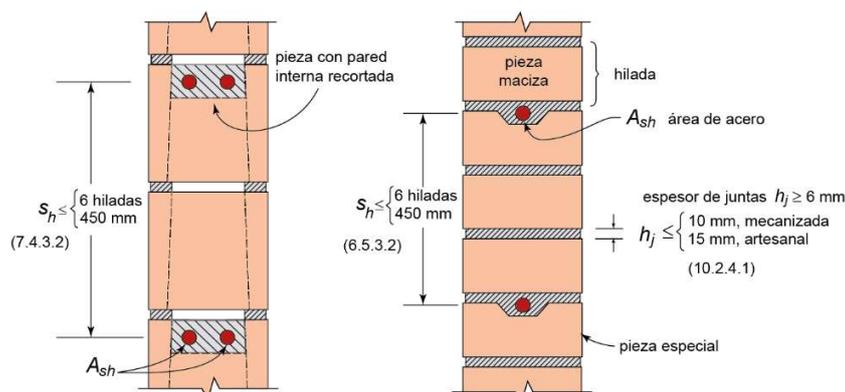


Figura C4.2.2.2.1 – Refuerzo horizontal en piezas especiales

4.2.3 Colocación y separación del acero de refuerzo longitudinal

4.2.3.1 La distancia libre entre barras paralelas, traslapes de barras, o entre barras y traslapes, no será menor que el diámetro nominal de la barra más gruesa, ni que 25 mm (véanse fig. 4.2.2.1.1 y tabla 4.2.3.4).

4.2.3.2 Se aceptarán paquetes de dos barras como máximo.

4.2.3.3 El espesor del concreto o mortero de relleno, entre las barras o empalmes y la pared de la pieza, será al menos de 6 mm (fig. 4.2.2.1.1).

4.2.3.4 El diámetro y la cantidad máxima de barras que pueden alojarse en una celda se indican en la tabla 4.2.3.4.

Tabla 4.2.3.4 – Número máximo de barras en una celda

Menor dimensión de la celda	Designación de la barra ^[1]				
	No. 3	4	5	6	8
70	2	1	-	-	-
80	2	2	1	-	-
90	4	2	2	1	-
130	4	4	2	2	1

^[1] Indica diámetro de la barra en octavos de pulgada

Comentario:

Los diversos requisitos tienen por objeto el correcto colado del mortero o concreto de relleno y el trabajo conjunto entre este y el acero de refuerzo.

Anterior a la versión 2017 no había restricción en la cantidad de acero que podía ser colocado en celdas verticales. Se incluyó en 2017, en la tabla 4.2.3.4, el número máximo de barras dentro de una celda. En esta revisión se hace referencia directamente al tamaño de la celda y no al tipo de pieza como se hacía en la versión de 2017. Con ello se cumple el requisito 4.2.2.1 del diámetro del acero de refuerzo vertical. Si se aceptan más de dos barras, deberán colocarse en paquetes de acuerdo con 4.2.1 y 4.2.2.

4.2.4 Protección del acero de refuerzo

4.2.4.1 Recubrimiento libre en castillos y dalas

4.2.4.1.1 En muros en el interior de edificios, las barras de refuerzo longitudinal de castillos y dalas deberán tener un recubrimiento libre mínimo de concreto de 20 mm (fig. 4.2.2.1.1), y los estribos un mínimo de 10 mm.

4.2.4.1.2 Los requisitos 4.2.4.1.1 deberán satisfacer también en las juntas entre castillos y dalas.

4.2.4.2 Recubrimiento libre en castillos internos y en muros con refuerzo interior expuesto a tierra

4.2.4.2.1 Si la cara del muro está expuesta a tierra, el recubrimiento libre mínimo será de 35 mm para barras no mayores del No. 5 (15.9 mm de diámetro) o de 50 mm para barras más gruesas (fig. 4.2.2.1.1).

4.2.4.3 Recubrimiento del refuerzo horizontal

4.2.4.3.1 La distancia libre mínima entre una barra de refuerzo horizontal y el exterior del muro será la menor de 10 mm o una vez el diámetro de la barra (fig. 4.2.2.1.1).

4.2.5 Dobleces estándar del refuerzo

4.2.5.1 Los dobleces estándar para desarrollar fluencia en barras de refuerzo deberán satisfacer la tabla 14.3.1 de la NTC-Concreto.

4.2.5.2 Los dobleces estándar deberán abrazar al refuerzo longitudinal.

4.2.5.3 Los diámetros interiores mínimos para doblar barras usadas como refuerzo transversal y la geometría de los dobleces estándar para anclar estribos, grapas y refuerzo helicoidal deberán cumplir con la tabla 14.3.2 de la NTC-Concreto.

4.2.5.4 Los estribos deberán ser cerrados y de una pieza y se deben rematar en una esquina con dobleces de 135 grados, seguidos de tramos rectos de longitud no menor que $6d_b$ ni que 35 mm (fig. 4.2.5.4).

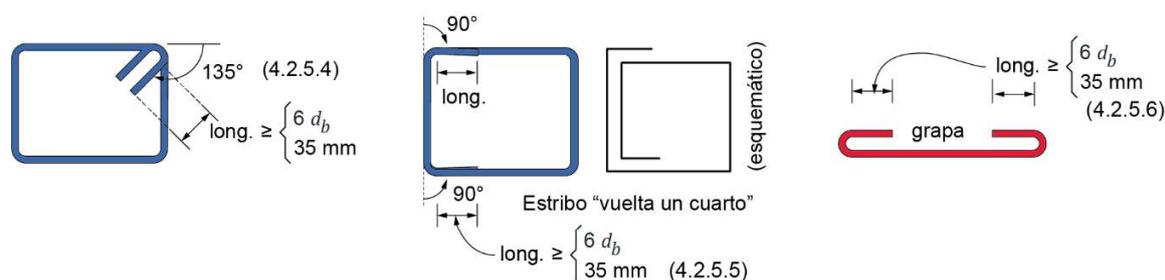


Figura 4.2.5.4 – Estribos y grapas

4.2.5.5 Se aceptarán estribos "vuelta un cuarto" en castillos, en lugar de estribos cerrados (fig. 4.2.5.4) rematados con un doblez estándar a 90 grados alrededor de las barras longitudinales del castillo.

4.2.5.5.1 En el caso de estribos "vuelta un cuarto", debe traslaparse el lado que está contiguo al muro.

4.2.5.5.2 En caso de que el castillo sea contiguo a dos muros y se usen estribos "vuelta un cuarto" es indistinto el lado del estribo que se traslape siempre que sea contiguo a uno de los muros.

4.2.5.6 Las grapas deberán rematarse con dobleces a 180 grados, seguidos de tramos rectos de longitud no menor que $6d_b$ ni que 35 mm (fig. 4.2.5.4).

Comentario:

El hecho de que la rama de traslape, en estribos "vuelta un cuarto" se coloque del lado en el que el castillo es contiguo al muro, tiene el efecto de evitar que el estribo se abra. Con estos estribos se evita que los dobleces a 135 grados de los estribos tradicionales obstaculicen la colocación del concreto durante el colado. Este tipo de estribos pueden resultar especialmente útiles en muros con refuerzo horizontal, ya que los ganchos del refuerzo anclados en los castillos son también obstáculos para el colado. Dependiendo del caso, estos estribos, podrían facilitar el colado en un solo tramo y no en dos o más tramos como suele hacerse en obra.

4.2.6 Longitud de desarrollo del refuerzo

4.2.6.1 Requisitos generales

4.2.6.1.1 La fuerza de tensión o compresión que actúa en el acero de refuerzo en toda sección debe desarrollarse a cada lado de la sección considerada por medio de adherencia en una longitud suficiente de barra, denominada longitud de desarrollo, L_d .

4.2.6.1.2 Para determinar la longitud de desarrollo, se aplicará lo dispuesto en 14.4 de la NTC-Concreto.

4.2.6.2 Refuerzo horizontal en juntas de mortero

4.2.6.2.1 El refuerzo horizontal colocado en juntas de mortero (6.5.3 y 7.4.3) podrá estar formado por una o más barras y deberá ser continuo a lo largo del muro, entre dos castillos si se trata de mampostería confinada, o entre dos celdas rellenas y reforzadas con barras verticales en muros reforzados interiormente.

4.2.6.2.2 El refuerzo horizontal deberá anclarse en los castillos, ya sean externos o internos, o en las celdas rellenas reforzadas (fig. 4.2.6.2.2), mediante dobleces a 90 grados colocados dentro de los castillos o celdas. El doblez del gancho se colocará verticalmente dentro del castillo o celda rellena lo más alejado posible de la cara del castillo o de la pared de la celda rellena en contacto con la mampostería, sin afectar el recubrimiento del lado opuesto.

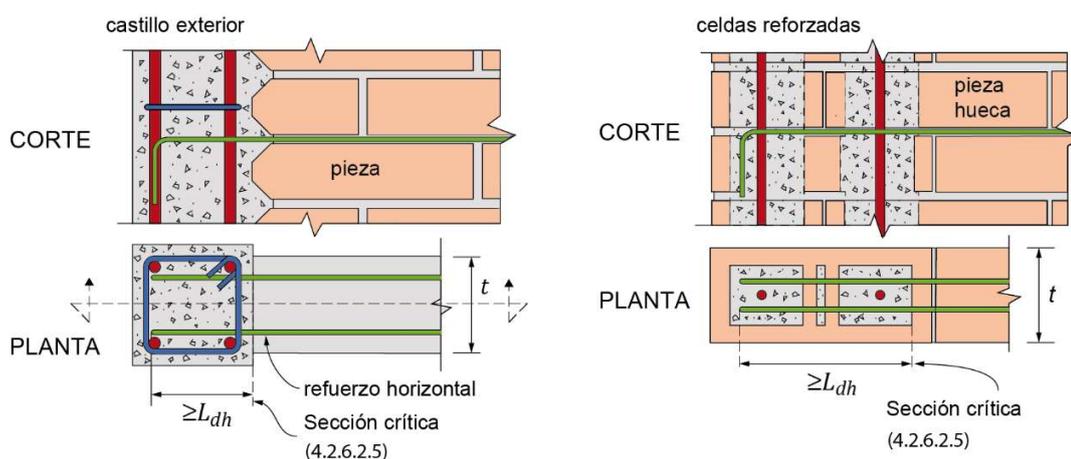


Figura 4.2.6.2.2 – Anclaje de refuerzo horizontal

4.2.6.2.3 Se podrán anclar dos o más barras o alambres en el mismo castillo o celda que refuercen muros colineales o transversales.

4.2.6.2.4 No se admitirá el traslape de alambres o barras de refuerzo horizontal en ningún tramo.

4.2.6.2.5 Para fines de revisar la longitud de desarrollo, la sección crítica será la cara del castillo o la pared de la celda rellena en contacto con la mampostería (fig. 4.2.6.2.2).

4.2.6.2.6 En muros de piezas huecas, el refuerzo horizontal deberá colocarse fuera de las zonas macizas de las piezas y, simultáneamente, evitar la interferencia con el paso de instalaciones. En muros de piezas macizas o multiperforadas el refuerzo podrá colocarse en cualquier ubicación a lo ancho de la pieza siempre que se cumpla la distancia mínima al borde definida en 4.2.3.

Comentario:

No se admiten traslapes en el refuerzo horizontal ya que no se puede garantizar la transmisión de las fuerzas por adherencia con el mortero. Esto es evidente en los casos en los que el alambre no está recubierto por mortero. Aun cuando el refuerzo esté cubierto por mortero, la adherencia se va perdiendo a medida que aparece el agrietamiento en el muro. Por lo anterior, se trata de garantizar el trabajo del refuerzo por anclaje del mismo en los castillos (o celdas en caso de muros reforzados interiormente) y no se toma en cuenta la transmisión de fuerzas por adherencia.

4.2.6.3 Mallas de alambre soldado

4.2.6.3.1 Las mallas de alambre soldado se deberán anclar a la mampostería, así como a los castillos y dalas si existen, de manera que pueda desarrollar su esfuerzo especificado de fluencia (fig. 4.2.6.3.1).

4.2.6.3.2 Se aceptará ahogar la malla en el concreto; para ello, deberán ahogarse, cuando menos, dos alambres perpendiculares a la dirección de análisis, distando el más próximo no menos de 50 mm de la sección considerada (fig. 4.2.6.3.1). Si para fijar la malla de alambre soldado se usan conectores instalados mediante una carga explosiva de potencia controlada o clavos de acero colocados manualmente, la separación máxima será de 450 mm.

4.2.6.3.3 Las mallas deberán rodear los bordes verticales de muros y los bordes de las aberturas. Si la malla se coloca sobre una cara del muro, la porción de malla que rodea los bordes se extenderá al menos dos veces la separación entre alambres transversales. Esta porción de malla se anclará de modo que pueda alcanzar su esfuerzo especificado de fluencia.

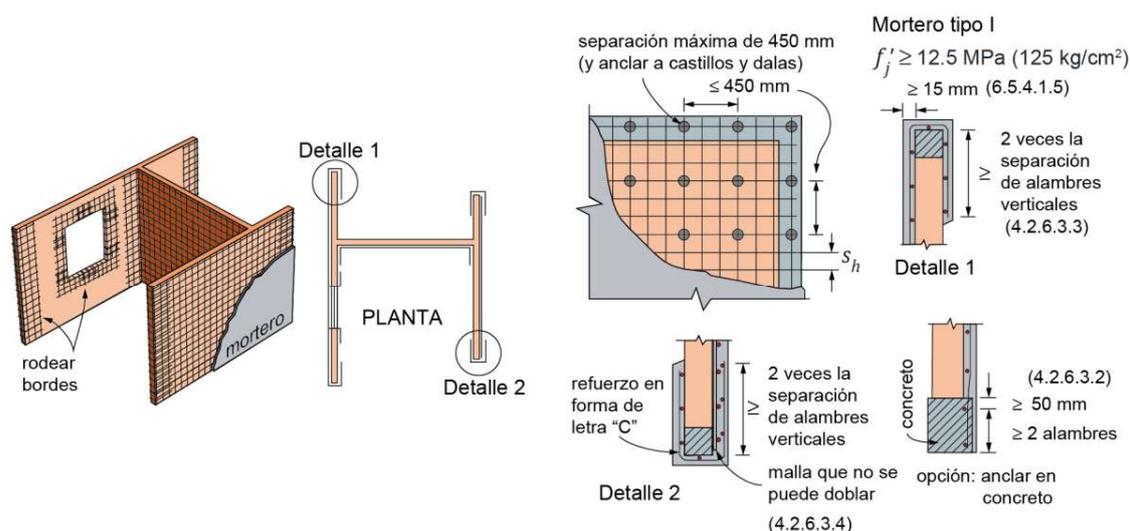


Figura 4.2.6.3.1 – Refuerzo con malla de alambre soldado y recubrimiento de mortero

4.2.6.3.4 Si el diámetro de los alambres de la malla no permite doblarla alrededor de bordes verticales de muros y los bordes de aberturas, se aceptará colocar un refuerzo en forma de letra 'C' hecho con malla de calibre no inferior al 10 (3.43 mm de diámetro) que se traslape con la malla principal según lo indicado en 4.2.7.7.

4.2.6.3.5 Se admitirá que la malla se fije en contacto con la mampostería.

Comentario:

Se busca que el muro y el encamisado con la malla se comporten de manera monolítica.

Se considera que el mecanismo de transmisión de fuerzas entre la malla y el muro es a través de los conectores y el anclaje de la malla en sus extremos. Los conectores proporcionan un sistema de transmisión de fuerzas confiable y permanente. Con ese fin, se especifica una densidad mínima de conectores por medio de espaciamientos máximos. Los fijadores que usan carga explosiva con potencia controlada, han mostrado ser muy eficientes. No se recomienda el uso de clavos; sin embargo, en caso de usarse, estos no deberán tener una longitud menor a 50 mm, ya que, en ese caso, sólo servirán para mantener a la malla en posición y no cumplirán con su función de transmitir la fuerza cortante entre muro y malla.

No se recomienda el uso de separadores de la malla con relación al muro. Esto permite una conexión más firme de los clavos y menores espesores de recubrimiento.

Aunque la adherencia entre el muro y el recubrimiento de mortero puede llegar a ser importante, es un mecanismo de transmisión de fuerza, del que no se tiene suficiente control y tiende a perderse por cambios volumétricos y de temperatura y a medida que en el muro se producen agrietamientos.

El anclaje de la malla en los bordes, ya sea ahogando la malla en el castillo o bien por medio de una longitud de anclaje alrededor de los castillos, permite la formación de un campo de tensión que no se pierde con el tiempo y que contribuye a aumentar la resistencia lateral.

4.2.7 Traslape de barras

4.2.7.1 La longitud de traslape y posición de los traslapes del refuerzo longitudinal en castillos de muros confinados se hará de acuerdo con 4.2.7.5 y en muros con refuerzo interior de acuerdo con 4.2.7.6. Para el traslape de mallas de alambre soldado se seguirá lo señalado en 4.2.7.7.

4.2.7.2 En dalas, no se admite traslapar más del 50 por ciento del refuerzo en una sola sección.

4.2.7.3 La longitud de traslapes de barras en concreto se determinará según lo especificado en 14.5 de la NTC-Concreto, con excepción de lo requerido en 4.2.7.5 y 4.2.7.6.

4.2.7.4 No se aceptan uniones de barras por soldadura.

Comentario:

Debido al pequeño diámetro de las barras usadas en mampostería, es económico resolver las uniones mediante traslapes en vez de usar soldadura. La soldadura de refuerzo se usa con éxito con barras de 25.4 mm o mayor diámetro y mediante un riguroso programa de verificación con muestreo y pruebas en los bulbos de soldadura.

4.2.7.5 Traslape de barras verticales en castillos de muros confinados

4.2.7.5.1 La longitud de traslape del acero longitudinal en castillos internos o externos de mampostería confinada se calculará de acuerdo con 14.5 de la NTC-Concreto, con excepción de lo requerido en 4.2.7.5.2 y 4.2.7.5.3.

4.2.7.5.2 En el primer nivel de mampostería de la estructura, el refuerzo longitudinal se podrá traslapar sólo en el tercio medio del entrepiso y los estribos en toda la longitud del traslape tendrán una separación menor o igual que $h_c/2$.

4.2.7.5.3 Cuando se requiera traslapar más del 50 por ciento del refuerzo en una sola sección del castillo, la longitud de traslape calculada se incrementará en $20d_b$ (fig. 4.2.7.5.3, inciso a).

Comentario:

En el caso de castillos y dalas se pide cumplir con las longitudes de traslape requeridas en la NTC-Concreto. Se admite el traslape a la mitad del primer entrepiso (planta baja) considerando que, en un modo de falla por cortante, las grietas inclinadas en los muros de mampostería cizallan los extremos superior e inferior de los castillos. No obstante, en la fig. 4.2.7.5.3, inciso a, se ilustra un castillo en el primer entrepiso sin traslapes lo cual es factible constructivamente y recomendable para tener íntegro el acero de refuerzo en este entrepiso que será el más demandado.

Aunque no es recomendable que el traslape en un castillo se realice cerca de su base, por motivos de facilidad constructiva, se admite que esto se realice a partir del segundo entrepiso (arriba de planta baja) y niveles superiores, pero disponiendo de una longitud de traslape aumentada en 20 diámetros de la barra que se traslapa. En la mampostería reforzada interiormente se admite el traslape a la mitad de la altura del entrepiso de todo el refuerzo vertical para permitir insertar las piezas huecas en las barras, sin tener que doblarlas.

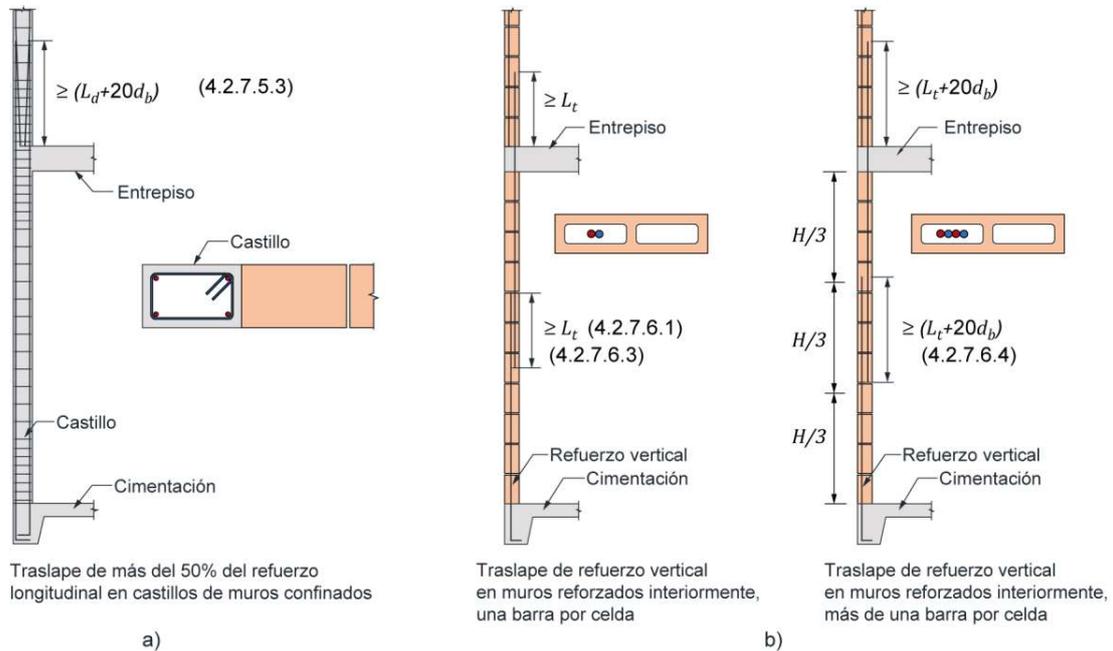


Figura 4.2.7.5.3 – Longitudes de traslape de barras: a) en castillos de muros confinados y b) en muros reforzados interiormente

4.2.7.6 Traslape de barras verticales en muros con refuerzo interior

4.2.7.6.1 La longitud de traslape de barras en el interior de piezas huecas rellenas de mortero de relleno o concreto de relleno no será menor que L_t calculada con la ec. 4.2.7.6.1.

$$L_t = 1.56 \frac{d_b^2 f_y \beta_1}{\beta_2 \sqrt{f'_j}} \geq 40d_b \quad \left(L_t = 0.49 \frac{d_b^2 f_y \beta_1}{\beta_2 \sqrt{f'_j}} \geq 40d_b \right) \quad (4.2.7.6.1)$$

- β_1 =1 para barras de menor diámetro que las del no. 5 o =1.3 para barras del no. 5 o de mayor diámetro;
- β_2 recubrimiento mínimo de mortero. En bloques de concreto se debe tomar el recubrimiento de mortero más la mitad del espesor de la pared de la pieza. Este valor en ningún caso se tomará mayor que $5d_b$.

4.2.7.6.2 En ningún caso la longitud de traslape será menor que $40d_b$.

4.2.7.6.3 Los traslapes del refuerzo vertical se podrán ubicar en el tercio medio o en el tercio inferior del muro, con excepción del primer nivel de la estructura de mampostería, en el cual se podrán ubicar sólo en el tercio medio.

4.2.7.6.4 Los traslapes del refuerzo vertical se podrán ubicar a la misma altura a todo lo largo del muro. Cuando se traslape más de una barra, la longitud de traslape se incrementará en $20d_b$ (fig. 4.2.7.5.3, inciso b).

4.2.7.6.5 No se permitirán traslapes del refuerzo vertical en muros de mampostería reforzada interiormente a lo largo de la altura calculada de la articulación plástica por flexión.

Comentario:

La ec. 4.2.7.6.1 está basada en la especificación correspondiente del código americano TMS 402.

En dicha ecuación, f'_j es la resistencia a compresión del mortero o concreto de relleno y el parámetro β_2 representa la dimensión del relleno que recubre el traslape que, en piezas de concreto, incluye la mitad del espesor de la pared de las piezas. Usando esta ecuación se identifica que en muros anchos (mayores que 15 cm) las barras de tamaño pequeño pueden traslaparse, incluso con menos de 30 diámetros, pero se limita a no menos de $40d_b$, mientras que en muros delgados (120 mm y menor) no es técnica ni económicamente factible construir con barras gruesas. Lo anterior se comprobó experimentalmente encontrando que, antes que se desarrolle la resistencia a tensión del acero, la mampostería falla, partiéndose en dos, a lo largo del traslape (Flores L.E. et al. 2010).

4.2.7.7 Traslape de mallas de alambre soldado

4.2.7.7.1 Las mallas de alambre soldado deberán ser continuas, sin traslape, a lo largo del muro.

4.2.7.7.2 Si la altura del muro así lo demanda, se aceptará unir las mallas en una sección horizontal, traslapando, al menos, dos alambres horizontales.

4.2.7.7.3 El traslape se colocará en una zona donde los esfuerzos esperados en los alambres sean bajos.

4.2.7.7.4 El traslape medido entre los alambres transversales extremos de las hojas que se unen no será menor que dos veces la separación entre alambres transversales más 50 mm.

Espacio en blanco dejado de manera intencional

5. MUROS DIAFRAGMA

5.1 Alcance

5.1.1 Este capítulo se aplica al diseño de muros diafragma rodeados por las vigas y columnas de un marco estructural al que proporcionan rigidez y resistencia ante cargas laterales. Pueden ser de mampostería confinada (Capítulo 6) o reforzada interiormente (Capítulo 7).

Comentario:

No se permite el uso de muros diafragma de mampostería que no sea confinada o que no esté reforzada interiormente. Se ha visto en ensayos experimentales que los muros diafragma de mampostería simple pueden fallar fuera del plano una vez que han desarrollado algún tipo de agrietamiento durante un sismo. El confinamiento o el refuerzo interior reducen la vulnerabilidad del muro por falla fuera del plano y mejora el desempeño de los muros en su plano.

5.1.2 Los muros diafragma deberán cumplir con a) y b) siguientes:

- Se revisará que la resistencia de diseño por aplastamiento, por deslizamiento y por tensión diagonal calculadas en las secciones 5.3 a 5.5, respectivamente, sea igual o superior a la fuerza cortante de diseño. La fuerza cortante de diseño se calculará de acuerdo con 5.2
- Los muros se construirán e inspeccionarán como se indica en los Capítulos 10 y 11, respectivamente.

5.2 Determinación de las fuerzas laterales de diseño de muros diafragma

5.2.1 Se deberá tomar en cuenta la rigidez lateral de los muros diafragma para estimar la distribución de las fuerzas laterales en los elementos resistentes de la estructura. Para tal efecto, se deberá emplear cualquier modelo de análisis que satisfaga el criterio de 3.1.1. Optativamente, podrá utilizarse el modelo de la diagonal equivalente. En ese caso, se aceptará que el muro se sustituya por un elemento diagonal biarticulado, que trabaja en compresión, cuya geometría se define en 5.2.3.

5.2.2 Fuerza cortante de diseño en muros diafragma

5.2.2.1 La fuerza cortante de diseño en un muro diafragma se obtendrá multiplicando la fuerza cortante obtenida del análisis estructural por el factor de carga correspondiente. En caso de usar la diagonal equivalente como modelo de análisis, la fuerza de diseño será la componente horizontal de la fuerza axial de la diagonal multiplicada por el factor de carga correspondiente.

5.2.3 Geometría de la diagonal equivalente en muros diafragma

5.2.3.1 La sección transversal de la diagonal equivalente tendrá un espesor igual al del muro y una anchura igual a la calculada con la ec. 5.2.3.1.a (fig. 5.2.3.1):

$$b_d = \frac{1}{2} \sqrt{\ell_c^2 + \ell_v^2} \leq \frac{l_d}{4} \quad (5.2.3.1.a)$$

Las longitudes ℓ_c , ℓ_v y l_d se determinarán con las ecuaciones 5.2.3.1.b a 5.2.3.1.d:

$$\ell_c = \frac{\pi}{2} \left(\frac{4E_f I_c H}{E_m t \sin 2\theta_d} \right)^{\frac{1}{4}} \quad (5.2.3.1.b)$$

$$\ell_v = \pi \left(\frac{4E_f I_v L}{E_m t \sin 2\theta_d} \right)^{\frac{1}{4}} \quad (5.2.3.1.c)$$

$$l_d = \sqrt{H^2 + L^2} \quad (5.2.3.1.d)$$

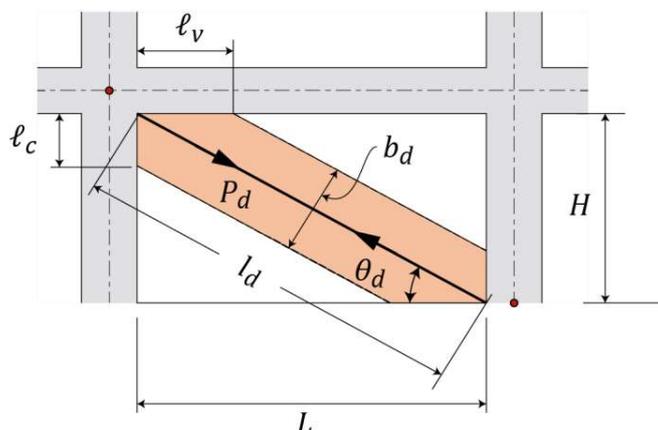


Figura 5.2.3.1 – Geometría de la diagonal equivalente

Comentario:

Es opcional el uso del método de la diagonal equivalente para el análisis, sin embargo, la inclinación de la diagonal se requiere para la revisión por deslizamiento y el ancho de la diagonal para la revisión por aplastamiento. Las expresiones toman en cuenta la rigidez relativa del marco, vigas y columnas, y la del muro.

5.3 Resistencia a corte por aplastamiento a lo largo de la diagonal de un muro diafragma

5.3.1 La resistencia a corte por aplastamiento a lo largo de la diagonal de un muro diafragma se calculará con la ec. 5.3.1:

$$V_R = 0.4F_R f'_m b_d t \cdot \cos \theta_d \quad (5.3.1)$$

donde b_d y θ_d se calculan de acuerdo con 5.2.3 y $F_R = 0.6$ (véase 4.1.6.2).

Comentario:

La fuerza cortante resistida por los muros diafragma se transmite por la diagonal, formando lo que se conoce como el puntal de compresión. La fuerza máxima en la diagonal está dada por el producto del área del puntal ($b_d t$) por la resistencia a compresión de la mampostería. Para interpretar esta fuerza como una resistencia a corte, se considera la componente horizontal, esto es, la fuerza axial en la diagonal se multiplica por $\cos \theta_d$.

5.4 Resistencia a corte por deslizamiento en muros diafragma

5.4.1 La fuerza cortante resistente por deslizamiento en muros diafragma con $H/L \leq 1.0$ se calculará con la ec. 5.4.1:

$$V_R = \frac{0.4F_R v'_m A_T}{1 - 0.9F_R \tan \theta_d} \quad (5.4.1)$$

donde θ_d se calcula de acuerdo con 5.2.3 y $F_R = 0.7$ (véase 4.1.6.4). Si $H/L > 1$ no será necesario revisar para este modo de falla.

Comentario:

La falla por deslizamiento se da por la pérdida de adherencia entre piezas y mortero, al superarse la resistencia en las juntas por fricción. La fuerza normal que se considera para la estimación de la resistencia por fricción en las juntas proviene de la componente vertical de la fuerza lateral por sismo que se transmite por la diagonal del muro. Esta resistencia al deslizamiento es la máxima posible, esto es, considerando la fuerza máxima por aplastamiento en la diagonal. Se supone que el muro no transmite carga vertical, $P=0$. Esta suposición se hace igualmente para los otros tipos de falla (Leal et al., 2018).

5.5 Resistencia a corte por tensión diagonal en muros diafragma

5.5.1 La fuerza cortante resistente a tensión diagonal en el plano del muro diafragma se calculará de acuerdo con los Capítulos 6 o 7 dependiendo de la modalidad de mampostería usada, ya sea mampostería confinada o reforzada interiormente, respectivamente.

5.5.2 En todos los casos, se considera que $P = 0$.

Comentario:

El refuerzo horizontal en el muro puede tomarse en cuenta solamente para el caso de falla por tensión diagonal, ya que se requiere que las grietas crucen el refuerzo para que este contribuya a la resistencia.

Se considera que la carga axial es nula porque la viga del marco es robusta y transmite las cargas verticales a las columnas.

5.6 Rigidez reducida de muros diafragma para el cálculo de distorsiones de entrepiso

5.6.1 Para calcular las distorsiones de entrepiso ante cargas inducidas por sismo y compararlas con las distorsiones límite señaladas en la NTC-Sismo, se deberá reducir la rigidez lateral de los muros diafragma para tomar en cuenta su agrietamiento. Se acepta reducir a la mitad los valores de los módulos de elasticidad y de cortante de la mampostería. Si se opta por usar el modelo de la diagonal equivalente, se permite reducir b_d a la mitad.

Comentario:

Dado que los muros reducen sustancialmente su rigidez lateral ante pequeñas deformaciones laterales deberán, para efectos del cálculo de deformaciones, considerarse rigideces reducidas para tener una evaluación más realista.

5.7 Volteo de muros diafragma

5.7.1 Se deberá evitar la posibilidad de volteo del muro perpendicularmente a su plano. Para lograrlo, se diseñará y detallará la unión entre el marco y el muro diafragma y se reforzará el muro con castillos o refuerzo interior (fig. 5.7.1). La resistencia a flexión perpendicular al plano del muro se calculará de acuerdo con 4.1.8.

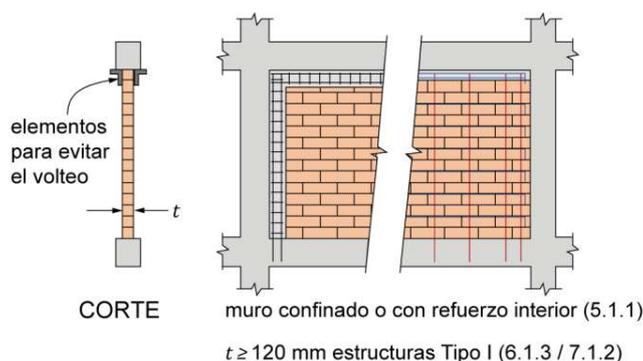


Figura 5.7.1 – Ejemplos esquemáticos de detallado de muros diafragma

5.8 Interacción marco–muro diafragma

5.8.1 Las columnas del marco deberán ser capaces de resistir, cada una, en una longitud igual a una cuarta parte de su altura medida a partir del paño de la viga, una fuerza cortante igual a la mitad de la carga lateral resistente del tablero (fig. 5.8.1).

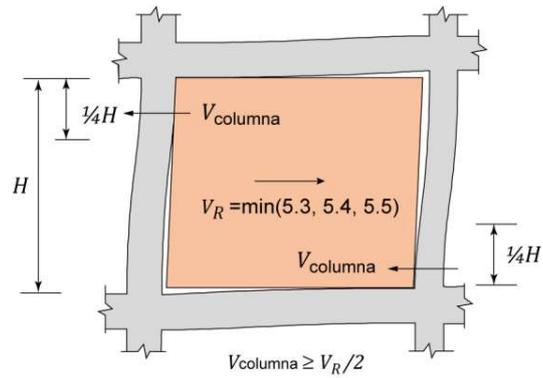


Figura 5.8.1 – Interacción marco–muro diafragma

5.8.2 El valor de esta carga será, al menos, igual a la resistencia nominal a fuerza cortante en el plano del muro diafragma, calculada como la menor de las obtenidas con las secciones 5.3, 5.4 y 5.5 con $F_R = 1.0$.

Comentario:

La revisión de las columnas y vigas se hace con valores nominales de la resistencia con objeto de hacer una revisión por capacidad y evitar la falla por fuerza cortante de esos elementos.

Espacio en blanco dejado de manera intencional

6. MAMPOSTERÍA CONFINADA

6.1 Alcance

- 6.1.1** Las disposiciones de este Capítulo aplicarán al diseño de estructuras de mampostería confinada con castillos y dalas.
- 6.1.2** Para ser considerados como confinados, los muros deberán cumplir con 6.2.
- 6.1.3** El espesor de los muros de mampostería, t , no será menor que 120 mm en estructuras Tipo I. La relación altura libre a espesor de la mampostería del muro, H/t , no excederá 25.
- 6.1.4** Las dalas deberán ser continuas en el perímetro de la edificación.
- 6.1.5** Los muros se construirán e inspeccionarán como se indica en los Capítulos 10 y 11, respectivamente.

Comentario:

La limitación de la esbeltez del muro tiene como objeto controlar los efectos adversos de inestabilidad por carga vertical, o del pandeo lateral por fuerzas cortantes y otros efectos como la falla fuera del plano de un muro que se ha agrietado por cargas en su plano.

El valor límite de la relación H/t a 25 permite que las piezas de 100 mm de espesor puedan usarse en Estructuras Tipo II, para muros de hasta 250 cm de altura sin necesidad de proveer restricción lateral fuera del plano.

La definición de la altura, H , implica tener una restricción por un sistema de piso, como una losa de concreto, un arriostramiento horizontal del muro con marcos estructurales o soluciones similares. El hecho de colocar una dala a cierta altura del muro no constituye una restricción lateral fuera del plano del mismo y, por lo tanto, no reduce su altura libre.

6.2 Requisitos de castillos y dalas

6.2.1 Requisitos generales

6.2.1.1 Los castillos deberán cumplir con las especificaciones a) a c) siguientes (véanse las figs. 6.2.1.1.a y 6.2.1.1.b):

- Existirán castillos por lo menos en los extremos de los muros e intersecciones con otros muros y en puntos intermedios del muro a una separación no mayor que $1.5H$ ni 4 m
- Los castillos tendrán como dimensión mínima 120 mm en la dirección perpendicular al plano del muro, b_c y de 150 mm en la dimensión paralela al muro, h_c . Si el castillo es compartido por dos muros ortogonales, la dimensión de 150 mm sólo será necesaria en una dirección. En el caso de castillos externos, estas dimensiones no serán menores que t
- Los pretilos o parapetos deberán tener castillos con una separación no mayor que 4 m.

6.2.1.2 Las dalas deberán cumplir con las especificaciones a) a c) siguientes (véanse las figs. 6.2.1.1.a y 6.2.1.1.b):

- Existirá una dala en todo extremo horizontal de muro, en puntos intermedios a una separación no mayor que 3 m y en el extremo superior de pretilos o parapetos cuya altura sea superior a 500 mm
- Las dimensiones mínimas de la dala serán de 120 mm de ancho, b_c y 150 mm de peralte, h_c , a menos que el muro esté ligado a una losa de concreto reforzado con un peralte mínimo de 100 mm, en cuyo caso la dala podrá tener el mismo peralte de la losa. En caso de dalas externas, b_c no será menor que t
- Se aceptará sustituir a la dala de la parte inferior de una abertura o extremo superior de un pretil por los elementos de refuerzo indicados en 6.2.4.3.

Comentario:

El requisito de dimensión mínima de 150 mm se incluyó para facilitar el colado de castillos en muros con espesores de 100, 120 o 140 mm.

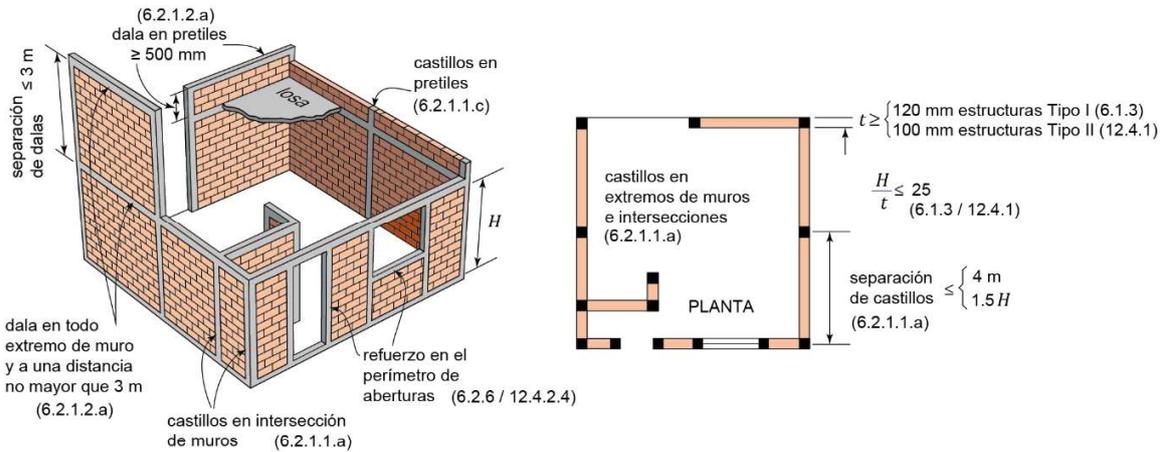


Figura 6.2.1.1.a – Requisitos para mampostería confinada

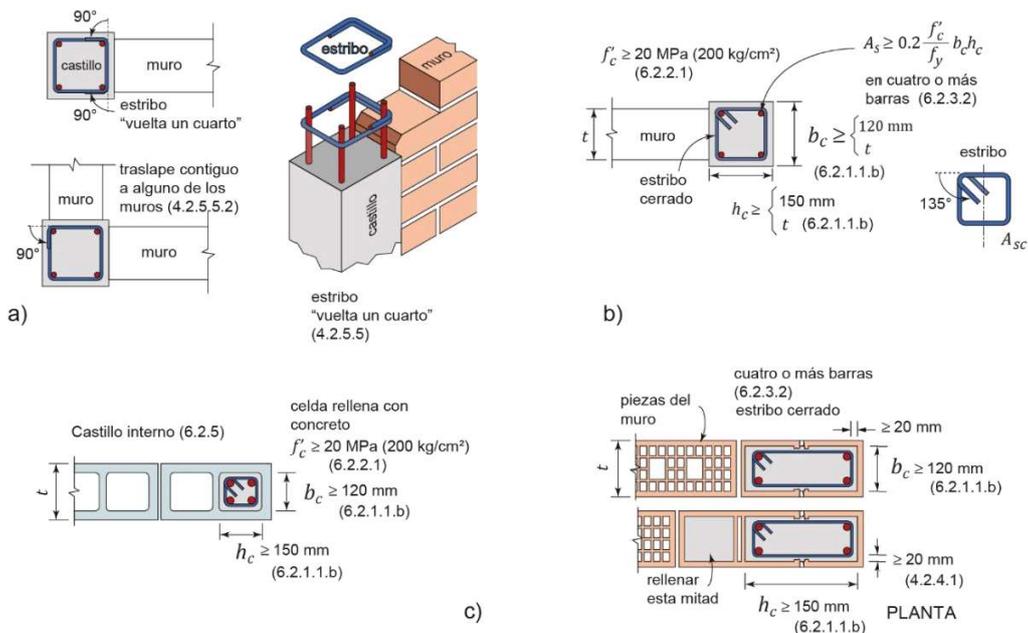
6.2.1.3 Concreto y mortero en castillos y dalas

6.2.1.3.1 El concreto de castillos y dalas en ambientes no agresivos tendrá un f'_c , no menor que 20 MPa (200 kg/cm²).

6.2.1.3.2 En el caso de castillos internos podrá usarse mortero Tipo I siempre que se rellene el castillo hilada por hilada.

Comentario

Los ensayos de laboratorio han evidenciado un adecuado comportamiento de muros de mampostería confinada si se usan concretos con resistencia a compresión de al menos 15 MPa (150 kg/cm²). En esta versión de la Norma se requiere que el concreto de castillos y dalas tenga una resistencia, al menos, de 20 MPa (200 kg/cm²) para estructuras Tipo I, para mejorar la durabilidad y debido al avance en el uso de mamposterías de resistencia alta.



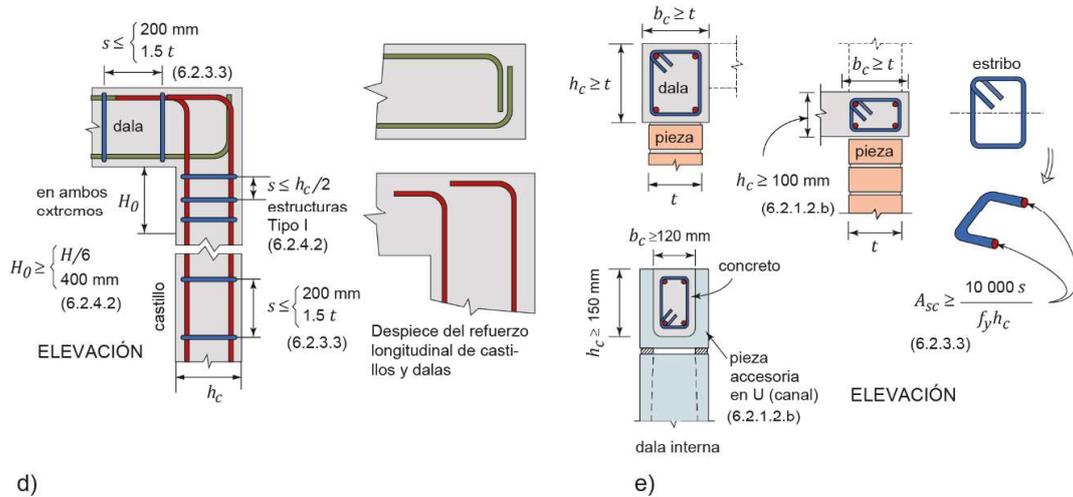


Figura 6.2.1.1.b – Detallado de castillos y dalas

6.2.2 Diseño del refuerzo longitudinal y transversal de castillos y dalas

6.2.2.1 El refuerzo longitudinal del castillo y de la dala deberá dimensionarse para resistir las componentes vertical y horizontal del puntal de compresión, respectivamente, que se desarrolla en la mampostería para resistir las cargas laterales y verticales.

6.2.2.2 En cualquier caso, el refuerzo longitudinal estará formado por lo menos de cuatro barras, cuya área total sea al menos igual a la obtenida con la ec. 6.2.3.2:

$$A_s = 0.2 \frac{f'_c}{f_y} b_c h_c \tag{6.2.3.2}$$

6.2.2.3 Los castillos y dalas estarán reforzados transversalmente por estribos cerrados y con un área, A_{sc} , al menos igual a la calculada con la ec. 6.2.3.3:

$$A_{sc} = \frac{10\,000s}{f_y h_c} \quad \left(A_{sc} = \frac{1\,000s}{f_y h_c} \right) \tag{6.2.3.3}$$

La separación de los estribos, s , no excederá de $1.5t$ ni de 200 mm.

Comentario:

El criterio adoptado establece que el acero de refuerzo debe ser capaz de tomar dos veces la fuerza que agrietaría al concreto del castillo si se sometiera a tensión pura. Puesto que se estima que dicha resistencia es aproximadamente un décimo de la resistencia a compresión, se tiene que: $A_{s\,min} \cdot f_y = 2 (0.1 f'_c b_c h_c)$, siendo $b_c h_c$ el área del castillo.

El área A_{sc} incluye las dos ramas de estribos rectangulares. Por ejemplo, usando alambroón del no. 2 (6.4 mm de diámetro), $A_{sc} = 2 \times 0.31 = 0.62 \text{ cm}^2$.

6.2.3 Detallado del refuerzo longitudinal y transversal de castillos y dalas

6.2.3.1 El refuerzo longitudinal y transversal del castillo y la dala deberá cumplir con lo indicado en 4.2.

6.2.3.2 La separación del refuerzo transversal, s , no será mayor que $h_c/2$ dentro de una longitud H_0 en cada extremo de los castillos. La longitud H_0 se tomará como la mayor de $H/6$ y 400 mm.

Comentario:

En ensayos de muros a escala natural ante cargas laterales y en la inspección de edificaciones dañadas por sismo, se ha observado daño severo en los extremos de los castillos de borde de los muros cuando las grietas inclinadas los penetran. Cuando esto sucede, la degradación de la resistencia a fuerza cortante es severa y abrupta, y, en caso de suspender la carga, el muro es incapaz de recuperar su configuración no deformada. Más aún, el deterioro de los castillos pone en riesgo la estabilidad ante cargas verticales del muro. En la NTC-Mampostería de 2004 se estableció la necesidad de colocar estribos a cada hilada (considerando mampostería de tabiques) en muros con resistencia $v'_m \geq 0.6 \text{ MPa}$ (6 kg/cm^2) que se consideraba una resistencia a corte mayor que la obtenida con mampostería tradicional. Esta resistencia a cortante se traduciría en una fuerza también mayor en el puntal de compresión que, eventualmente, debía ser resistida por los extremos de los castillos; de ahí el incremento en el refuerzo transversal. Desde la versión de 2017 la Norma se requiere reducir la separación de los estribos a $h_c/2$ en los extremos, independientemente de la resistencia de la mampostería. La intención es que dichos estribos tengan la función de resistir cortante y la de confinar el núcleo del castillo.

Se tiene evidencia experimental de los años 90 y más reciente de la efectividad de esta disposición, retardando sustancialmente el cizallado del castillo, que en ocasiones no se presenta, aun para distorsiones laterales muy elevadas (Alcocer et al. 1994, Cruz 2015, Rubio 2018).

6.2.3.3 Se aceptará sustituir a la dala en la parte inferior de una abertura o el extremo superior de un pretil, por un elemento de concreto reforzado de dimensiones mínimas 60 mm de ancho y 100 mm de peralte, con acero de refuerzo horizontal anclado en los castillos o celdas reforzadas que confinan a la abertura o pretil. El refuerzo consistirá de barras capaces de alcanzar en conjunto una tensión a la fluencia de 29 kN (2 950 kg). En caso de que el elemento de concreto sea externo, su ancho no será menor que el espesor del muro, t (fig. 6.2.4.3).

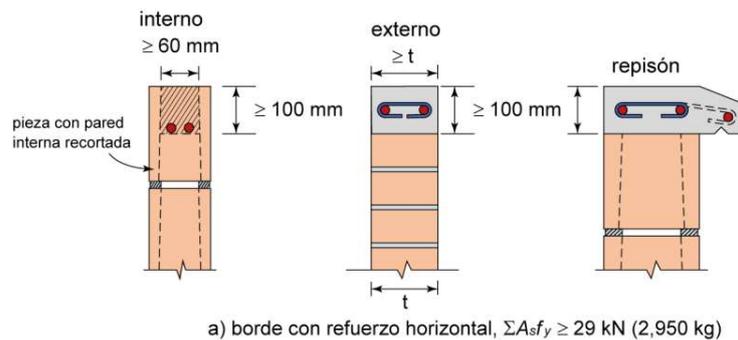


Figura 6.2.4.3 – Refuerzo en borde inferior de ventanas y extremo superior de pretil

6.2.4 Muros con castillos internos

6.2.4.1 Se aceptará considerar a los muros como confinados si el espesor del muro es, al menos, de 200 mm y los castillos internos y las dalas cumplen con todos los requisitos de 6.2.

6.2.4.2 Se aceptará considerar a los muros como confinados cuando se usen piezas con un ancho menor que 200 mm siempre que los castillos internos cumplan con 6.2.1.1.b y que se use un factor de comportamiento sísmico, Q , no mayor que 1.5, como se indica en la NTC-Sismo.

Comentario:

Para que un muro con refuerzo interior pueda considerarse como confinado, los castillos internos deberán alojarse en piezas suficientemente grandes para que pueda colocarse debidamente el refuerzo, tanto longitudinal como transversal. Para facilitar el colado pueden utilizarse los estribos vuelta un cuarto (fig. 4.2.5.4). En muchas ocasiones se consideraba, en forma errónea, que un muro con refuerzo interior era confinado, utilizando “castillos” con una o dos barras y con un colado que sólo podía ser muy deficiente por lo limitado del espacio en las celdas de piezas huecas de 120 y de hasta 100 mm de espesor. Esta disposición está encaminada a asegurar que pueda, efectivamente, construirse un castillo con cuatro barras longitudinales con el refuerzo transversal requerido dentro de una celda.

Para que un muro con castillos interiores y con espesor menor que 200 mm pueda considerarse como confinado, se establece el requisito de que la dimensión mínima de la sección “maciza” del castillo interior sea de 120 x 150 mm y la restricción para que en edificaciones con este tipo de muros el factor de comportamiento sísmico no sea

mayor que 1.5 a pesar de que se use refuerzo horizontal. Al considerar a un muro confinado, se permite incluir refuerzo sólo en los extremos del muro que, de no ser así, debiera reforzarse como un muro con refuerzo interior, esto es, con refuerzo distribuido tanto vertical como horizontal. Sin embargo, dada la complejidad del colado de estos castillos en piezas de ancho menor que 200 mm la ductilidad de los muros se ve comprometida, de ahí que sólo se permite usar $Q = 1.5$ en estos casos, aunque se tenga refuerzo horizontal.

6.2.5 Muros con aberturas

6.2.5.1 Se suministrarán elementos de refuerzo, con las mismas características de los castillos y dadas establecidas en 6.2.1 a 6.2.5, en el perímetro de toda abertura cuyas dimensiones horizontal o vertical excedan 400 mm o cuando se tenga más de una abertura con dimensión menor o igual a 400 mm en un panel de muro.

6.2.5.2 Se aceptará en un panel de muro sólo una abertura con dimensiones tales que no requiera elementos de refuerzo de acuerdo con 6.2.6.1. En caso de que se requiera un mayor número de aberturas éstas deberán reforzarse.

6.2.5.3 Los elementos verticales de confinamiento en aberturas tendrán una altura igual a la del muro (véase fig. 6.2.1.1.a).

6.2.5.4 Se aceptará sustituir a la dala de la parte inferior de una abertura o en el extremo superior de un pretil, por un elemento de concreto reforzado con dimensiones mínimas de 60 mm de ancho y 100 mm de peralte y con acero de refuerzo longitudinal anclado en los castillos o celdas reforzadas que confinan a la abertura o pretil. El refuerzo longitudinal consistirá de barras corrugadas capaces de alcanzar, en conjunto, una fuerza de tensión a la fluencia de 29 kN (2950 kg). En caso de que el elemento sea externo al muro, su ancho no será menor que t .

Comentario:

En la fig. C6.2.6.4, se muestran los refuerzos alrededor de las aberturas. En el dibujo de la izquierda, la dala es parte del refuerzo de la abertura. En el caso de la derecha, se observa un cerramiento en el borde superior de la abertura. Se hace énfasis, en este último esquema, en que la dala debe seguir estando en el extremo superior de los muros, donde se conectará con el sistema de piso. Esta recomendación contrasta con lo utilizado en regiones cálidas del país, que requieren de entresijos altos por razones térmicas, en las que suelen construirse las dalas al nivel superior de ventanas y puertas, construyendo posteriormente algunas hiladas adicionales para dar la altura deseada y descansando finalmente el sistema de piso directamente sobre el muro, sin una dala de refuerzo perimetral.

Se requiere colocar refuerzo, del tipo utilizado en castillos y dalas, alrededor de las aberturas, generalmente puertas y ventanas, pero también otras aberturas como los huecos para cajas eléctricas u otras instalaciones que excedan las dimensiones señaladas. Este refuerzo no evitaría que el muro se agriete ante la fuerza cortante de diseño, pero controlará el ancho y longitud de las grietas y mantendrá la integridad del muro. Está plenamente demostrado, por ensayos de laboratorio y por los daños que se producen por sismos reales que, cuando no hay confinamiento en un borde, los fragmentos en que se fractura el muro pueden salirse de su posición, perdiéndose la capacidad de resistir carga vertical y horizontal de los muros.

Se acepta un tamaño mínimo de hueco sin reforzar, que permita un comportamiento aceptable técnica y económicamente, ya sea para una pequeña ventana o huecos para paso de instalaciones. El requisito supone un solo hueco sin reforzar en un muro entre castillos, pero si hay múltiples huecos, el diseñador debe tomar medidas pertinentes. Una opción de modelado de rigidez es mediante el método del elemento finito del Capítulo 3.

La posición del hueco en el tablero también se ha encontrado que es crítica en el comportamiento del mismo (en medio, en una esquina, a media altura, etc.) pero se encontró que para las dimensiones establecidas el efecto en resistencia y rigidez son poco importantes (Álvarez, 2000).

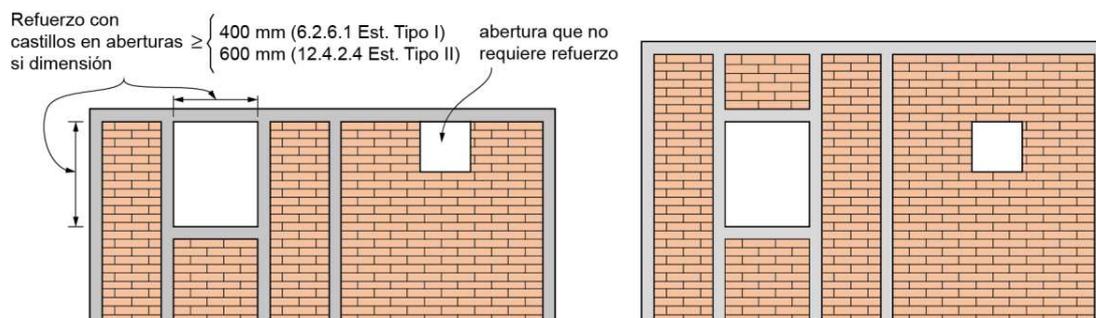


Figura C6.2.6.4 – Refuerzo en el perímetro de aberturas

6.3 Fuerzas y momentos de diseño

6.3.1 Las fuerzas y momentos de diseño se obtendrán a partir de los análisis indicados en 3.1.2, 3.1.3 y 3.1.4, empleando las cargas de diseño que incluyan el factor de carga correspondiente.

6.3.2 La resistencia ante cargas verticales y laterales de un muro de mampostería confinada deberá revisarse para el efecto de carga axial, la fuerza cortante, de momentos flexionantes en su plano y, cuando proceda, también para momentos flexionantes normales a su plano principal de flexión.

6.3.3 En la revisión ante cargas laterales se puede considerar la participación total de muros cuyo eje transversal, en el plano del muro, tenga una inclinación, respecto a la dirección de análisis, menor a 15 grados.

6.3.4 La revisión ante cargas verticales se realizará conforme a lo establecido en 3.1.2.

6.4 Resistencia a compresión y flexocompresión en el plano del muro

6.4.1 Resistencia a compresión de muros confinados

6.4.1.1 La carga vertical resistente, P_R , se calculará con la ec. 6.4.1.1 :

$$P_R = F_R F_E (f'_m A_T + \sum A_s f_y) \quad (6.4.1.1)$$

donde F_E se obtendrá de acuerdo con 3.1.2.3.1 y F_R se tomará igual a 0.6.

Comentario:

Para la resistencia vertical de un muro confinado se supone que el material que toma la carga es la mampostería, pero se admite la participación de los castillos (o las celdas reforzadas verticalmente en mampostería hueca con refuerzo interior).

No se incluye el concreto de los castillos en el cálculo (ni el relleno de celdas en mampostería hueca reforzada), ya que se considera que, en forma aproximada, se sustituye por mampostería el concreto de los castillos al incluir en los cálculos el área $A_T = t \cdot L$, siendo L la longitud del muro que incluye a los castillos.

6.4.2 Resistencia a flexocompresión en el plano del muro

6.4.2.1 Método general de diseño

6.4.2.1.1 La resistencia a flexión pura o flexocompresión en el plano de un muro confinado con elementos externos o internos se calculará con base en las hipótesis estipuladas en 4.1.8.

6.4.2.1.2 La resistencia de diseño se obtendrá afectando la resistencia nominal por el factor de resistencia indicado en 4.1.6.3.

6.4.2.2 Método optativo

6.4.2.2.1 Para muros con barras longitudinales colocadas simétricamente en sus castillos extremos, sean éstos externos o internos, se aceptará calcular M_R con las ecuaciones 6.4.2.2.1.a y 6.4.2.2.1.b (fig. 6.4.2.2.1):

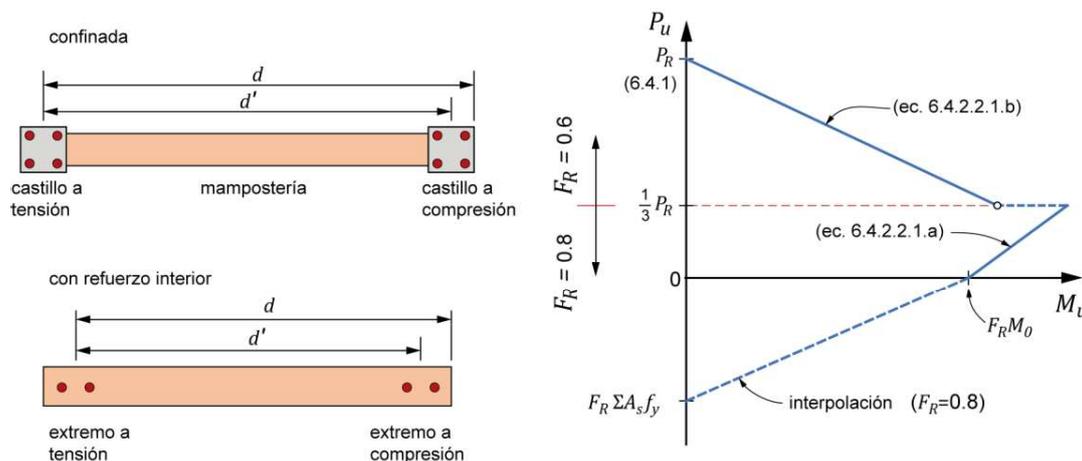


Figura 6.4.2.2.1 – Diagrama de interacción carga axial–momento flexionante resistente de diseño con el método optativo

$$M_R = F_R M_o + 0.3 P_u d \quad \text{si } 0 \leq P_u \leq \frac{P_R}{3} \tag{6.4.2.2.1.a}$$

$$M_R = (1.5 F_R M_o + 0.15 P_R d) \times \left(1 - \frac{P_u}{P_R}\right) \quad \text{si } P_u > \frac{P_R}{3} \tag{6.4.2.2.1.b}$$

donde:

$M_o = A_s f_y d'$ resistencia nominal a flexión pura del muro;

F_R se tomará igual a 0.8, si $P_u \leq P_R/3$ e igual a 0.6 en caso contrario.

6.4.2.2.2 Para cargas axiales de tensión será válido interpolar entre la carga axial resistente a tensión pura, $\Sigma A_s f_y$, y el momento flexionante resistente M_o , afectando el resultado por $F_R = 0.8$.

Comentario:

El procedimiento alternativo es, en general, conservador, y reproduce razonablemente la forma del diagrama de interacción obtenido mediante el equilibrio de la sección suponiendo una deformación plana como se hace en elementos de concreto. Puede verse un ejemplo en SMIE (2019).

6.5 Resistencia a cargas laterales

6.5.1 Consideraciones generales

6.5.1.1 La resistencia a cargas laterales, V_R será proporcionada por la mampostería, V_{mR} y por el refuerzo, V_{sR} , como se indica en la ec. 6.5.1.1:

$$V_R = V_{mR} + V_{sR} \tag{6.5.1.1}$$

Comentario:

La ec. 6.5.1.1 presenta la resistencia como la suma de dos componentes independientes, la debida a la mampostería y la contribución del refuerzo horizontal. Resultados experimentales muestran que estas componentes no son independientes. En el comentario de 6.5.2 se explica que la resistencia debida a la mampostería se reduce con la cuantía de refuerzo. Sin embargo, se creyó conveniente preservar este formato de la ecuación debido, principalmente, a que los diseñadores revisan primeramente la resistencia del muro sin refuerzo y en caso de que la resistencia no sea suficiente, incluyen el refuerzo necesario para alcanzar la resistencia deseada. Además, y no menos importante, es el mismo formato utilizado en diseño de elementos de concreto.

6.5.1.2 La resistencia a cargas laterales proporcionada por la mampostería se calculará con el procedimiento de 6.5.2. La resistencia a corte debida al acero de refuerzo horizontal se determinará según 6.5.3. La resistencia a corte suministrada por mallas de alambre soldado se calculará cumpliendo con 6.5.4.

6.5.1.3 Cuando la carga vertical que actúe sobre el muro sea de tensión se aceptará que el acero de refuerzo horizontal o mallas de alambre soldado resistirán la totalidad de la carga lateral.

Comentario:

Se considera, de modo simplificado y conservador, que cuando la carga vertical sea de tensión la contribución a la resistencia a cortante de la mampostería sea nula.

6.5.1.4 No se considerará incremento alguno de la fuerza cortante resistente por efecto de las dalas y castillos de muros confinados.

Comentario:

Se ha determinado que en el instante del agrietamiento inclinado los castillos en los bordes de los muros no son demandados. Después del agrietamiento, los castillos mantienen la integridad del muro, evitando su desintegración, misma que puede observarse en muros sin confinamiento. Esto permite que, aunque la mampostería esté agrietada, pueda seguir transmitiendo carga lateral por distintos mecanismos: fricción a lo largo de las grietas y esfuerzos normales a través de las grietas. Sin embargo, las propiedades mecánicas del concreto en los castillos y la cantidad de refuerzo longitudinal y transversal en ellos, no se relaciona con la resistencia a corte de los muros. Esto último se ha demostrado por investigadores independientes utilizando extensas bases de datos con los resultados de cientos de muros ensayados ante carga lateral (Riahi et al. 2008, Márquez et al. 2019).

6.5.1.5 El factor de resistencia, F_R , se tomará igual que 0.7 (véase 4.1.6.4).

6.5.2 Fuerza cortante resistida por la mampostería

6.5.2.1 La fuerza cortante de diseño debida a la mampostería V_{mR} , se calculará con la ec. 6.5.2.1:

$$V_{mR} = F_R (0.5v'_m A_T + 0.3P) \cdot f \leq 1.5F_R v'_m A_T f \quad (6.5.2.1)$$

donde A_T es el área transversal del muro obtenida como $t \times L$, donde L incluye la longitud de los castillos.

6.5.2.2 Cuando la resistencia de diseño a compresión diagonal de diseño de la mampostería sea mayor o igual a 1 MPa (10 kg/cm²), los muros construidos con dicha mampostería deberán incluir refuerzo horizontal.

Comentario:

Después de alcanzar la resistencia a corte, los muros que no tienen refuerzo horizontal, tienen una reducción de la resistencia significativa para pequeños incrementos de desplazamiento lateral. Al incluir refuerzo horizontal la resistencia a corte se mantiene o se reduce lentamente para desplazamiento laterales adicionales después de la carga máxima. Esto es, el comportamiento del muro es más dúctil.

Esta especificación intenta asegurar que la falla de un muro no conduzca a fallas de tipo frágil, especialmente cuando el muro pueda resistir grandes cargas laterales; esto es, cuando la resistencia a corte de la mampostería es elevada.

6.5.2.3 La carga axial P se deberá tomar positiva en compresión y deberá considerar las acciones permanentes, variables con intensidad instantánea, y accidentales que conduzcan al menor valor y sin multiplicar por el factor de carga. Si la carga vertical P es de tensión, se despreciará la contribución de la mampostería, V_{mR} .

6.5.2.4 El factor f se determinará según la ec. 6.5.2.4:

$$f = \begin{cases} 1.5 & \text{si } \frac{H}{L} \leq 0.2 \\ 1.0 & \text{si } \frac{H}{L} \geq 1.0 \end{cases} \quad (6.5.2.4)$$

para los casos intermedios de H/L , se interpolará linealmente.

Comentario:

Si el muro no tiene refuerzo horizontal, se considera que la resistencia a corte corresponde a la fuerza cortante que produce el primer agrietamiento por tensión diagonal, $V_{mR} = V_a$, si bien, en muchos casos, los muros pueden resistir una fuerza mayor, dependiendo de su relación de aspecto. El criterio se justifica ya que la resistencia a corte a corte (o carga máxima) de un muro, sin refuerzo horizontal, implica cálculos adicionales que no son prácticos para el diseño. Adicionalmente, después de alcanzar dicha resistencia, ésta se degrada rápidamente con la deformación lateral. En esas circunstancias, la carga máxima no garantiza el nivel de desempeño esperado de protección contra colapso.

Por el contrario, cuando el muro tiene refuerzo horizontal, la resistencia especificada corresponde a la resistencia del muro (carga resistente máxima). Esto es posible ya que, en ese caso, la resistencia se degrada lentamente y la falla del muro se presenta después de alcanzar un nivel de deformación lateral considerable. Esto implica que si se alcanza la carga máxima el muro no se colapsa.

La ecuación básica 6.5.2.1, sin tomar en cuenta el factor f , predice la resistencia al agrietamiento de muros cuadrados. Esta expresión fue propuesta en la NTC-Mampostería de 1977 (y se conservó en la versión de 2004) habiéndose calibrado con ensayos de cerca de 200 muros a escala natural; sin embargo, casi la totalidad de los muros ensayados eran cuadrados, $H/L = 1$.

Ensayos de muros con distinta relación de aspecto, realizados posteriormente, mostraron que la resistencia de los muros largos era mayor que la que se predecía con la expresión de la NTC-Mampostería 2004. El factor f , introducido en esa versión, incrementa la resistencia a corte de los muros con $H/L < 1$, con base en dichos ensayos (Pérez Gavilán et al. 2015).

La resistencia al agrietamiento está en función de la resistencia a compresión diagonal, v'_m (véase 2.8.2), y de la carga axial, P , en el muro. El límite de la resistencia al agrietamiento, dado por la expresión del lado derecho de la ec. 6.5.2.1, expresa que la resistencia puede incrementarse con la carga axial, pero hasta cierto límite. Otra forma de expresar el límite, en términos del esfuerzo axial en el muro, σ , puede obtenerse dividiendo la ec. 6.5.2.1 entre $v'_m A_T$ lo que da lugar a $\sigma \leq (10/3)v'_m$.

Cuando los muros tienen refuerzo horizontal, se ha visto experimentalmente que la resistencia debida a la mampostería, se reduce con la cuantía de refuerzo horizontal (Cruz 2015, 2019, SMIE 2019). El valor esperado de la contribución de la mampostería, en ese caso, puede escribirse como:

$$V_{mR} = k_0 k_1 V_a$$

donde el factor k_0 esta dado por la ec. 6.5.3.4.1.e y el factor k_1 por la ec. 6.5.3.4.1.f. El factor k_0 tiene la función de amplificar la resistencia al agrietamiento, V_a , para obtener la resistencia máxima del muro sin considerar el refuerzo. El efecto del factor k_1 es la de reducir la contribución de la mampostería, $k_0 V_a$, a medida que aumenta la cantidad de refuerzo horizontal, hasta cierto límite (ver comentario de 6.5.3.4). Cuando el muro no tiene refuerzo horizontal el factor $k_0 = k_1 = 1$ y $V_{mR} = V_a$. Esta reducción está considerada en las ecuaciones de resistencia a corte.

Sin embargo, la reducción no aparece en forma explícita en la ec. 6.5.2.1 de V_{mR} debido a que se decidió conservar el formato de las ecuaciones de la Norma anterior en las que la resistencia a corte de un muro con refuerzo horizontal se expresa como la suma de la resistencia debida a la mampostería, V_{mR} , y la debida al refuerzo, V_{sR} , como términos "independientes".

6.5.3 Fuerza cortante resistida por el acero de refuerzo horizontal

6.5.3.1 Tipos de acero de refuerzo

6.5.3.1.1 Se permitirá el uso de acero de refuerzo horizontal colocado en las juntas de mortero para resistir fuerza cortante. El refuerzo consistirá de barras corrugadas o alambres corrugados laminados en frío que sean continuos a lo largo del muro.

6.5.3.1.2 No se permite el uso de armaduras planas de alambres de acero soldados por resistencia eléctrica (“escaleras”) para resistir fuerza cortante inducida por sismo.

Comentario:

Ensayes de muros a escala natural, reforzados con escalera, realizados en los años 90 (Sánchez et al. 1992) mostraron que se presentaba la fractura del refuerzo en la unión del alambre transversal con los longitudinales. Esto se atribuyó al proceso de soldadura. Dicho fenómeno reducía significativamente la eficacia de dicho refuerzo, en cuanto a resistencia y capacidad de distorsión de los muros. Con base en dichos estudios se descartó el uso del refuerzo horizontal con tramos electrosoldados, conocido como “escalera”, para contribuir en la resistencia a fuerza cortante. Sin embargo, el uso de alambres o barras corrugadas se ha encontrado muy eficiente para proporcionar resistencia adicional y capacidad de deformación inelástica a los muros (SMIE 2019).

6.5.3.1.3 El esfuerzo especificado de fluencia para diseño, f_{yh} , no deberá ser mayor que 600 MPa (6 000 kg/cm²).

6.5.3.1.4 El refuerzo horizontal se detallará como se indica en 4.2.2.2, 4.2.4.3, 4.2.5.1 y 4.2.6.2.

6.5.3.2 Separación del acero de refuerzo horizontal

6.5.3.2.1 La separación máxima del refuerzo horizontal, s_h , no excederá de seis hiladas ni de 450 mm.

Comentario:

La separación máxima del refuerzo horizontal se redujo a 450 mm con el objeto de lograr una mayor uniformidad del refuerzo con más hiladas reforzadas distribuidas en el muro. El valor seleccionado considera que puede haber piezas de 200 mm de alto más la junta de 10 mm, lo que conduce a una altura, para dos hiladas, de 420 mm.

6.5.3.3 Cuantías mínima y máxima del acero de refuerzo horizontal

6.5.3.3.1 El producto de la cuantía de refuerzo horizontal y el esfuerzo de fluencia especificado, $p_h f_{yh}$, no será inferior que 0.3 MPa (3 kg/cm²).

6.5.3.3.2 El valor máximo de $p_h f_{yh}$ será $0.15 f'_m f_{an}$ pero no menor que 0.3 MPa (3 kg/cm²) ni mayor que $0.05 h_j f_{yh} / s_h$, donde h_j es el espesor de la junta horizontal.

Comentario:

El valor mínimo de refuerzo horizontal garantiza que el ancho de las grietas se reduzca significativamente en comparación con los que se obtendrían en el mismo muro sin refuerzo horizontal. Si se incluye muy poco refuerzo, el agrietamiento se concentra en las diagonales principales del muro y los anchos de estas grietas pueden llegar a ser grandes cuando se alcanza la resistencia, lo que conduce frecuentemente a la fractura de los alambres de refuerzo con la consecuente degradación abrupta de la resistencia y el incremento igualmente pronunciado de los desplazamientos laterales. La cuantía mínima se determinó con base en ensayos experimentales.

Como se explica en el comentario de 6.5.3.4, el refuerzo máximo efectivo, para el cálculo de la resistencia a corte de los muros, está dado por $0.1 f'_m f_{an}$ donde f_{an} es el factor de área neta (fig. C2.1.1) y f'_m es la resistencia de diseño a compresión de la mampostería. Se decidió aceptar que el refuerzo pudiera ser mayor que este valor máximo efectivo, aunque ya no contribuya a la resistencia, debido a que se observó en ensayos experimentales que dicho refuerzo puede incrementar la capacidad de desplazamiento lateral del muro. Sin embargo, se observó también que, una cantidad excesiva del refuerzo en una junta, puede dar lugar a un plano de deslizamiento. Por esta razón se incluyó una restricción de tipo geométrico que establece que el área del refuerzo en la junta debe ser menor que 5 por ciento del área de la junta:

$$A_{sh} \leq 0.05 h_j t$$

Esta condición puede expresarse como cuantía resistente, dividiendo ambos lados de la ecuación por $s_h \times t$ y multiplicando ambos lados por f_{yh} , se obtiene que

$$p_h f_{yh} < 0.05 h_j f_{yh} / s_h$$

ya que $p_h = A_{sh} / (s_h \times t)$. Este porcentaje equivale a dos alambres de 6.35 mm de diámetro en las juntas de muros de 12 cm de ancho.

Si el refuerzo se alojara en piezas especiales, con un canal en forma de "U", este requisito no sería necesario.

6.5.3.4 Diseño del refuerzo horizontal

6.5.3.4.1 La fuerza cortante resistente debida al refuerzo horizontal, V_{sR} , se calculará con la ec. 6.5.3.4.1.a

$$V_{sR} = F_R \eta (p_h f_{yh})_e A_T \quad (6.5.3.4.1.a)$$

$$p_h = A_{sh} / (s_h \times t) \quad (6.5.3.4.1.b)$$

$$(p_h f_{yh})_e = p_h f_{yh} \leq 0.1 f'_m f_{an} \quad (6.5.3.4.1.c)$$

El valor de η se determinará con a) o b) dependiendo de si la carga P es de compresión o tensión, respectivamente, como sigue:

a) Si el muro está sujeto a una carga axial P de compresión,

$$\eta = \frac{V_{mR}}{F_R (p_h f_{yh})_e A_T} (k_0 k_1 - 1) + \eta_s \quad (6.5.3.4.1.d)$$

$$k_0 = \begin{cases} 1.3 & \text{si } H/L \leq 1.0 \\ 1.0 & \text{si } H/L \geq 1.5 \end{cases} \quad (6.5.3.4.1.e)$$

$$k_1 = 1 - \alpha (p_h f_{yh})_e \quad (6.5.3.4.1.f)$$

$$\eta_s = \begin{cases} 0.75 & \text{si } f'_m \geq 9 \text{ MPa} \left(90 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \right) \\ 0.55 & \text{si } f'_m \leq 6 \text{ MPa} \left(60 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \right) \end{cases} \quad (6.5.3.4.1.g)$$

Para casos intermedios de H/L y f'_m , se interpolará linealmente para obtener los valores de k_0 y η_s , respectivamente; $\alpha = 0.45 \text{ MPa}^{-1}$ ($0.045 \text{ cm}^2/\text{kg}$).

b) Si el muro está sujeto a una carga axial P en tensión,

$$\eta = k_1 \eta_s \quad (6.5.3.4.1.h)$$

El valor de k_1 y η_s se calcularán de acuerdo con a) de este inciso.

Comentario:

La contribución del refuerzo a la resistencia, V_{sR} , (ec. 6.5.3.4.1.a) crece proporcionalmente con la cuantía resistente, $p_h f_{yh}$, hasta llegar a un cierto valor límite de la cuantía resistente, $(p_h f_{yh})_e$, después de la cual la contribución del refuerzo a la resistencia ya no aumenta (fig. C6.5.3.4.1).

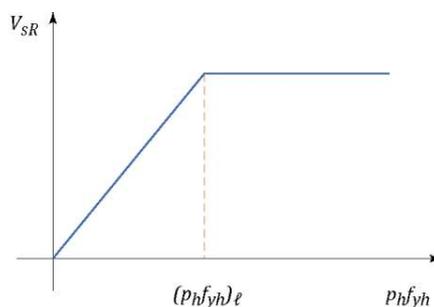


Figura C6.5.3.4.1 – Modelo bilineal de la contribución del refuerzo a la resistencia

El valor límite de la cuantía que es efectiva está dada por:

$$(p_h f_{yh})_e = 0.1 f'_m f_{an}$$

donde $f_{an} = A_{neta}/A_{bruta}$ de las piezas y f'_m es la resistencia a la compresión de la mampostería.

La cuantía resistente efectiva, $(p_h f_{yh})_e$, se define entonces como la cuantía resistente, pero no mayor que la cuantía resistente límite (Cruz, 2015) (véase ec. 6.5.3.4.1.c).

Mamposterías con resistencias a compresión bajas, por ejemplo, piezas macizas con $f'_m = 2$ MPa (20 kg/cm²) o menor, darían un producto $0.1 f'_m f_{an}$ menor que 0.3 MPa (3 kg/cm²), que corresponde a la cuantía resistente mínima. Esto implica que el muro debe incluir, físicamente, un $p_h f_{yh} = 0.3$ MPa, pero debe calcularse la resistencia a corte, V_{sR} , con una cuantía resistente efectiva, menor que la mínima. Incluso, la cuantía máxima, $0.15 f'_m f_{an}$, podría llegar a ser menor que la mínima. En ese caso extremo, puede aceptarse incluir el refuerzo mínimo (i.e. la cuantía resistente máxima no puede ser menor que la mínima, 0.3 MPa, véase 6.5.3.3). Lo anterior implica que la aportación a la resistencia a corte, debida al refuerzo, es muy pequeña cuando la resistencia a compresión de la mampostería es muy baja.

Véase SMIE 2019, para la obtención detallada de las expresiones de resistencia a corte de esta Norma.

6.5.4 Fuerza cortante resistida por malla de alambre soldado recubierta de mortero

6.5.4.1 Tipo de refuerzo y de mortero

- 6.5.4.1.1 Se permitirá el uso de mallas de alambre soldado para resistir la fuerza cortante.
- 6.5.4.1.2 Las mallas deberán tener, en ambas direcciones, la misma área de refuerzo por unidad de longitud.
- 6.5.4.1.3 El esfuerzo de fluencia para diseño, f_{yh} , no deberá ser mayor que 500 MPa (5 000 kg/cm²).
- 6.5.4.1.4 Las mallas se anclarán y se detallarán como se señala en 4.2.6.3 y 4.2.7.7.
- 6.5.4.1.5 Las mallas deberán ser recubiertas por una capa de mortero Tipo I (tabla 2.5.4.1) con espesor mínimo de 15 mm.

6.5.4.2 Cuantías mínima y máxima de refuerzo

- 6.5.4.2.1 Para fines de cálculo, sólo se considerará la cuantía de los alambres horizontales.
- 6.5.4.2.2 Si la malla se coloca con los alambres inclinados, en el cálculo de la cuantía se considerarán las componentes horizontales.
- 6.5.4.2.3 En el cálculo de la cuantía sólo se incluirá el espesor de la mampostería del muro, t .
- 6.5.4.2.4 El valor de $p_h f_{yh}$, no será inferior que 0.25 MPa (2.5 kg/cm²) y no mayor que $0.15 f'_m f_{an}$.

Comentario:

La cuantía resistente mínima cuando se usan mallas puede ser menor que la requerida cuando se usan alambres horizontales. Esta posibilidad se base en ensayos experimentales que utilizaron como refuerzo la malla 6×6–10/10,

que da una cuantía resistente, $p_h f_{yh} = 0.25 \text{ MPa}$. Los muros así reforzados presentaron un comportamiento apropiado y la resistencia se incrementó sustancialmente, como se tiene contemplado.

6.5.4.3 *Diseño de la malla de alambre soldado*

6.5.4.3.1 La fuerza cortante que resistirá la malla de alambre soldado se obtendrá como se indica en 6.5.3.4.

6.5.4.3.2 No se considerará contribución a la resistencia por el mortero.

6.5.4.3.3 En las ecuaciones 6.5.3.4.1.d y 6.5.3.4.1.h, se deberá usar $\eta_s = 0.5$.

Espacio en blanco dejado de manera intencional

7. MAMPOSTERÍA REFORZADA INTERIORMENTE

7.1 Alcance

7.1.1 Las disposiciones de este Capítulo son aplicables a muros reforzados con barras o alambres corrugados de acero, horizontales y verticales, colocados en las celdas de las piezas, en ductos o en las juntas.

7.1.2 El espesor de la mampostería de los muros, t , no será menor que 120 mm. En ningún caso la relación altura libre a espesor de la mampostería del muro, H/t , excederá de 25.

7.1.3 El acero de refuerzo, tanto horizontal como vertical, se distribuirá a lo alto y largo del muro. Para que un muro pueda considerarse como reforzado deberán cumplirse los requisitos 7.1.5 a 7.1.12 (figs. 7.1.5.1, 7.1.10.1 y 7.1.11.1).

7.1.4 Los muros se construirán e inspeccionarán como se indica en los Capítulos 10 y 11, respectivamente.

7.1.5 Cuantías de refuerzo horizontal y vertical

7.1.5.1 La suma de las cuantías del refuerzo horizontal y vertical multiplicadas por el esfuerzo de fluencia especificado, no será menor que 0.84 MPa (8.4 kg/cm²) y ninguna de las dos cuantías multiplicada por el esfuerzo de fluencia será menor que 0.3 MPa (3 kg/cm²), tal que:

$$\begin{aligned} p_h f_{yh} + p_v f_{yv} &\geq 0.84 \text{ MPa} \\ (p_h f_{yh} + p_v f_{yv}) &\geq 8.4 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned} \quad (7.1.5.1.a)$$

$$\begin{aligned} p_h f_{yh} &\geq 0.3 \text{ MPa} \text{ y } p_v f_{yv} \geq 0.3 \text{ MPa} \\ (p_h f_{yh} &\geq 3 \text{ kg/cm}^2 \text{ y } p_v f_{yv} \geq 3 \text{ kg/cm}^2) \end{aligned}$$

donde:

$$p_h = \frac{A_{sh}}{s_h t}; \quad p_v = \frac{A_{sv}}{s_v t} \quad (7.1.5.1.b)$$

Comentario:

Véase comentario de 6.5.3.3.

Esta Norma pide un mínimo de refuerzo horizontal y vertical, pero, también, la suma de ambas no debe ser menor que una cierta cuantía mínima. Es posible incluir una cuantía horizontal mayor que la vertical y viceversa. Esto puede ser conveniente para ajustar el refuerzo a la forma en que los alambres trabajan a cortante o flexión, según sea el caso. El propósito de las cuantías mínimas, horizontal y vertical, es mantener la carga de agrietamiento a deformaciones inelásticas consistentes con los desplazamientos permisibles de la NTC-Sismo.

En las ecs. 7.1.5.1.a y 7.1.5.1.b no se deberá incluir el refuerzo en los extremos del muro requerido en 7.1.6.3.

7.1.6 Tamaño, colocación y separación del refuerzo

7.1.6.1 Se deberá cumplir con las disposiciones aplicables de 4.2.

7.1.6.2 El refuerzo vertical en el interior del muro tendrá una separación no mayor que seis veces el espesor del mismo ni mayor que 800 mm (fig. 7.1.5.1).

7.1.6.3 Deberá colocarse, por lo menos, una barra vertical del no. 3 con $f_y = 420$ MPa (4 200 kg/cm²), o refuerzo de otras características con resistencia a tensión equivalente, en cada una de dos celdas consecutivas, en todo extremo de muros, en la intersección entre muros o a cada 3 m (fig. 7.1.5.1).

7.1.6.4 Existirá una dala en todo extremo horizontal de muro, y en puntos intermedios a una separación no mayor que 3 m (véase fig. 7.1.5.1).

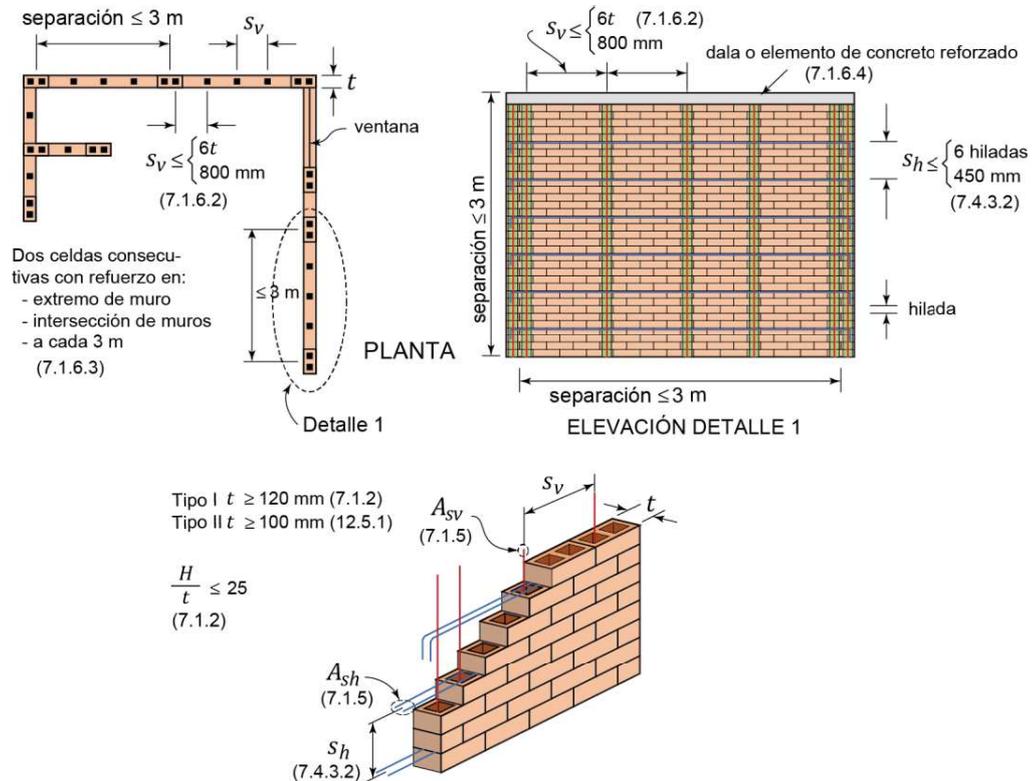


Figura 7.1.5.1 – Requisitos para mampostería con refuerzo interior

7.1.6.5 El refuerzo longitudinal de la dala deberá dimensionarse para resistir la componente horizontal del puntal de compresión que se desarrolle en la mampostería para resistir las cargas laterales y verticales. En cualquier caso, estará formado por lo menos de cuatro barras, cuya área total sea al menos igual a la obtenida con la ec. 7.1.6.5:

$$A_s \geq 0,2 \frac{f'_c}{f_y} b_c h_c \quad (7.1.6.5)$$

7.1.6.6 El refuerzo transversal de la dala estará formado por estribos cerrados y con un área, A_{sc} , al menos igual a la calculada con la ec. 7.1.6.6:

$$A_{sc} = \frac{10\,000\ s}{f_y h_c} \quad \left(A_{sc} = \frac{1\,000\ s}{f_y h_c} \right) \quad (7.1.6.6)$$

donde h_c es la dimensión de la dala en el plano del muro. La separación de los estribos, s , no excederá de $1,5t$ ni de 200 mm.

7.1.6.1 Las aberturas en muros se reforzarán según 7.1.11.

7.1.6.2 Los pretiles se reforzarán según 7.1.12.

Comentario:

En ocasiones, se denomina incorrectamente a las celdas reforzadas verticalmente como “castillos ahogados”; debido a que dicho refuerzo no cumple la función de confinamiento de un castillo. Esta confusión del término tiene el efecto nocivo de considerar a un muro con refuerzo interior como confinado y con ello la posibilidad de utilizar para el diseño de la estructura un factor de comportamiento sísmico $Q=2$. Dicha ductilidad no puede garantizarse en muros con refuerzo interior que no están confinados y por lo mismo, si se utiliza para el diseño dicho valor de Q , se producirá un nivel de daño inaceptable en la estructura.

Se aceptan castillos internos siempre que el refuerzo longitudinal esté formado por cuatro o más barras y se coloquen estribos cerrados o de vuelta un cuarto. Este tipo de refuerzo sólo es factible si se cumple lo señalado en 6.2.5.

Las dos celdas consecutivas reforzadas, requeridas en los bordes de muros con refuerzo interior, tienen una distribución y una función semejante al de los castillos, pero no son castillos en cuanto a que resisten la componente vertical del puntal inclinado a compresión que se desarrolla en la mampostería, pero no son ni deben considerarse como castillos. El refuerzo vertical puede ser de una o más barras en cada celda y, en el caso de las dos celdas contiguas reforzadas, no es necesario unir las con grapas si se tiene refuerzo horizontal que las debe ligar.

7.1.7 Mortero de relleno y concreto de relleno

7.1.7.1 Para el colado de las celdas donde se aloje el refuerzo vertical podrán emplearse los morteros de relleno y concretos de relleno especificados en 2.5.5, o se podrá usar el mismo mortero que se usa para pegar las piezas (véase 2.5.3), si el mortero es del Tipo I y se rellena hilada por hilada.

7.1.7.2 El hueco de las piezas (celda) tendrá una dimensión mínima igual o mayor que 50 mm y un área no menor que 3000 mm².

7.1.8 Anclaje del refuerzo horizontal y vertical

7.1.9 La longitud de desarrollo de barras de refuerzo horizontal y vertical deberá cumplir con 4.2.6.

7.1.10 Muros transversales

7.1.10.1 Cuando los muros transversales sean de carga y lleguen a tope, sin traslape de piezas, será necesario unirlos mediante grapas, estribos o dispositivos equivalentes que aseguren la continuidad de la estructura (fig. 7.1.10.1).

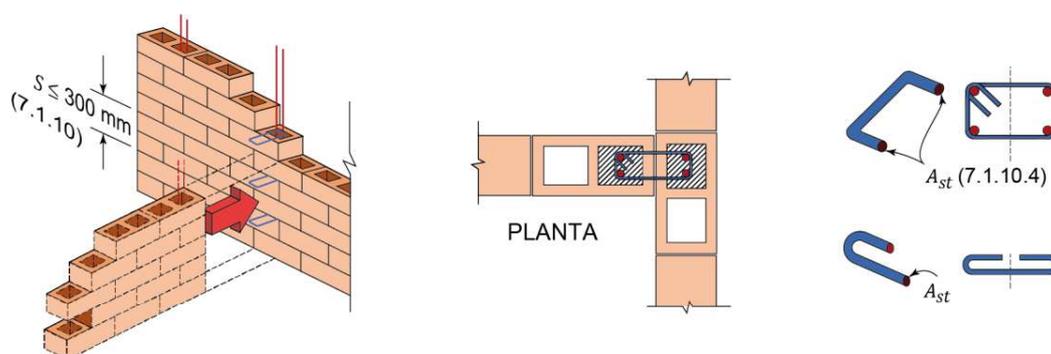


Figura 7.1.10.1 – Conectores entre muros sin traslape de piezas

7.1.10.2 Las grapas, estribos o dispositivos equivalentes deberán ser capaces de resistir 1.33 veces la resistencia de diseño a fuerza cortante del muro transversal por conectar dividida por el factor de resistencia correspondiente.

7.1.10.3 En la resistencia de diseño se incluirá la fuerza cortante resistida por la mampostería y, si aplica, la resistida por el refuerzo horizontal.

7.1.10.4 Alternativamente, el área de acero de los dispositivos o conectores, A_{st} , colocada a una separación s en la altura del muro, se podrá calcular mediante la expresión siguiente:

$$A_{st} = \frac{2.5V_R t s}{F_R L f_y} \quad \left(A_{st} = \frac{V_R t s}{4F_R L f_y} \right) \quad (7.1.10.4)$$

donde A_{st} está en mm^2 (cm^2), V_R es la resistencia de diseño del muro a carga lateral, F_R se tomará igual a 0.7; t y L son el espesor y longitud del muro transversal, respectivamente, en mm (cm), y f_y es el esfuerzo de fluencia especificado de los dispositivos o conectores, en MPa (kg/cm^2). La separación s no deberá exceder de 300 mm.

Comentario:

La ec. 7.1.10.4 se derivó de suponer el flujo de esfuerzos cortantes, idealizándolo como un elemento vertical con sección transversal en forma de T, calculado en la conexión entre el alma (muro transversal) y el patín (muro al que se conecta), con suponiendo el mismo espesor, t , en ambos muros y considerando que el ancho efectivo del patín tiene una longitud de seis veces su espesor a cada lado.

También la conexión entre muros se puede lograr con el refuerzo horizontal.

7.1.11 Muros con aberturas

7.1.11.1 Existirán elementos de refuerzo vertical y horizontal en el perímetro de toda abertura cuya dimensión exceda 400 mm (fig. 7.1.11.1). Los elementos de refuerzo serán como los señalados en 7.1.6.

7.1.11.2 Se aceptará sustituir a la dala de la parte inferior de una abertura o extremos superior de un pretil, por un elemento de concreto reforzado de dimensiones mínimas de 60 mm de ancho y 100 mm de peralte y con acero de refuerzo horizontal anclado en los castillos o celdas reforzadas que rodean la abertura o pretil. El refuerzo consistirá de barras capaces de alcanzar en conjunto una tensión a la fluencia de 29 kN (2 950 kg). En caso de que el elemento sea externo, su ancho no será menor que el espesor del muro, t , (véase fig. 6.2.4.3).

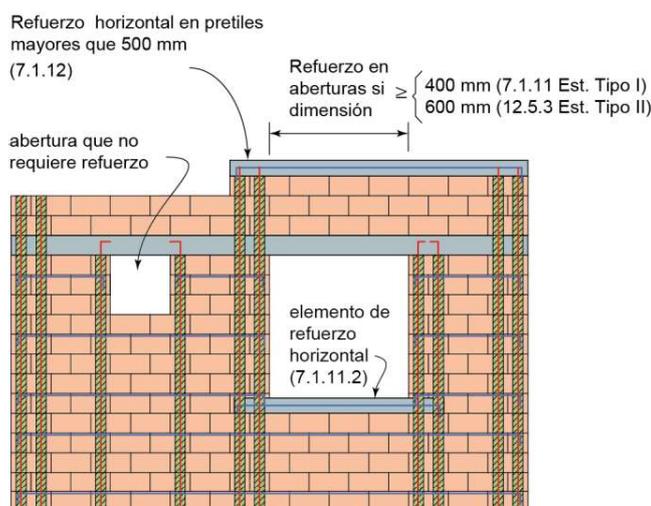


Figura 7.1.11.1 – Refuerzo en aberturas y pretiles

7.1.12 Pretiles

7.1.12.1 Los pretiles o parapetos deberán reforzarse interiormente con barras de refuerzo vertical como las especificadas en 7.1.6.

7.1.12.2 Se deberá proporcionar refuerzo horizontal en la parte superior de pretiles o parapetos cuya altura sea superior a 500 mm de acuerdo con 7.1.11.

7.1.12.3 Deberá colocarse una dala en el extremo horizontal de pretiles o parapetos cuya altura sea superior a 500 mm (fig. 7.1.11.1). Alternativamente, se aceptará sustituir a la dala por un elemento de concreto reforzado como se indica en 7.1.11.2.

7.1.13 Supervisión

7.1.13.1 Deberá haber una supervisión continua en la obra que asegure que el refuerzo esté colocado de acuerdo con lo indicado en planos y que las celdas en que se aloja el refuerzo sean coladas completamente.

7.2 Fuerzas y momentos de diseño

7.2.1 Las fuerzas y momentos de diseño se obtendrán a partir de los análisis indicados en 3.1.2, 3.1.3 y 3.1.4, empleando las cargas de diseño que incluyan el factor de carga correspondiente.

7.2.2 La resistencia ante cargas verticales y laterales de un muro de mampostería reforzada interiormente deberá revisarse para el efecto de carga axial, la fuerza cortante, de momentos flexionantes en su plano y, cuando proceda, también para momentos flexionantes normales a su plano principal de flexión.

7.2.3 En la revisión ante cargas laterales se admite considerar la participación total de muros cuyo eje transversal, en el plano del muro, tenga una inclinación, respecto a la dirección de análisis, menor a 15 grados.

7.2.4 La revisión ante cargas verticales se realizará conforme a lo establecido en 3.1.2.

7.3 Resistencia a compresión y flexocompresión en el plano del muro

7.3.1 Resistencia a compresión de mampostería con refuerzo interior

7.3.1.1 La carga vertical resistente, P_R , se calculará con la ec. 7.3.1.1:

$$P_R = F_R F_E (f'_m A_T + \sum A_s f_y) \leq 1.25 F_R F_E f'_m A_T \quad (7.3.1.1)$$

donde F_E se obtendrá de acuerdo con 3.1.2 y F_R se tomará igual a 0.6.

Comentario:

No se considera la participación del mortero o concreto de relleno de las celdas por varias razones: en general no se puede garantizar la resistencia a compresión de ese relleno, es dudoso el correcto llenado de dichas celdas y las piezas, en muchos casos, se aplastarían antes que el relleno.

Dada la alta rigidez de las piezas, se supone que el material que toma la carga vertical es, esencialmente, la mampostería. Sin embargo, se admite una cierta participación del acero en las celdas reforzadas verticalmente, pero se limita a no más del 25 por ciento de la resistencia debida a la mampostería.

7.3.2 Resistencia a flexocompresión en el plano del muro

7.3.2.1 Método general de diseño

7.3.2.1.1 La resistencia a flexión pura o flexocompresión en el plano de un muro reforzado interiormente se calculará con base en las hipótesis estipuladas en 4.1.8.

7.3.2.1.2 La resistencia de diseño se obtendrá afectando la resistencia nominal por el factor de resistencia indicado en 4.1.6.3.1.a.

7.3.2.2 Método optativo

7.3.2.2.1 Para muros con barras longitudinales colocadas simétricamente en sus extremos se aceptará calcular M_R , con las ecuaciones 7.3.2.2.1.a y 7.3.2.2.1.b:

$$M_R = F_R M_0 + 0.3 P_u d \quad \text{si} \quad 0 \leq P_u \leq \frac{P_R}{3} \quad (7.3.2.2.1.a)$$

$$M_R = (1.5F_R M_0 + 0.15P_R d) \times \left(1 - \frac{P_u}{P_R}\right) \text{ si } P_u > \frac{P_R}{3} \quad (7.3.2.2.1.b)$$

donde $M_0 = A_s f_y d'$ es la resistencia nominal a flexión pura del muro y F_R se tomará igual a 0.8 si $P_u \leq P_R/3$ e igual a 0.6, en caso contrario.

7.3.2.2.2 Para cargas axiales de tensión será válido interpolar entre la carga axial resistente a tensión pura, $\Sigma A_s f_y$, y el momento flexionante resistente M_0 , afectando el resultado por $F_R = 0.8$ (ver fig. 6.4.2.2.1).

Comentario:

El procedimiento optativo es, en general, conservador y reproduce razonablemente la forma del diagrama de interacción obtenido mediante el equilibrio de la sección suponiendo una deformación plana como se hace en elementos de concreto. Puede verse un ejemplo en SMIE (2019).

7.4 Resistencia a cargas laterales

7.4.1 Consideraciones generales

7.4.1.1 La resistencia a cargas laterales, V_R , será proporcionada por la mampostería, V_{mR} y por el refuerzo, V_{sR} , como se indica en la ec. 7.4.1.1:

$$V_R = V_{mR} + V_{sR} \quad (7.4.1.1)$$

7.4.1.2 La resistencia a cargas laterales proporcionada por la mampostería se calculará con el procedimiento de 7.4.2.

7.4.1.3 La fuerza cortante resistida por el acero de refuerzo horizontal se determinará según 7.4.3.

7.4.1.4 Cuando la carga vertical que actúe sobre el muro sea de tensión se aceptará que el acero de refuerzo horizontal o mallas de alambre soldado resistan la totalidad de la carga lateral.

7.4.1.5 No se considerará incremento alguno de la fuerza cortante resistente por efecto de las dalas, refuerzo vertical interior ni castillos internos de muros.

7.4.1.6 El factor de resistencia, F_R , se tomará igual a 0.7 (4.1.6.4).

7.4.2 Fuerza cortante resistida por la mampostería

7.4.2.1 La fuerza cortante de diseño debida a la mampostería V_{mR} , se calculará con la ec. 7.4.2.1.a:

$$V_{mR} = F_R (0.5v'_m A_T + 0.3P) \cdot f \leq 1.5F_R v'_m A_T f \quad (7.4.2.1.a)$$

donde A_T es el área transversal del muro.

La carga axial P se deberá tomar positiva en compresión y deberá considerar las acciones permanentes, variables con intensidad instantánea, y accidentales que conduzcan al menor valor y sin multiplicar por el factor de carga. Si la carga vertical P es de tensión, se despreciará la contribución de la mampostería V_{mR} .

El factor f se determinará con la ec. 7.4.2.1.b:

$$f = \begin{cases} 1.5 & \text{si } \frac{H}{L} \leq 0.2 \\ 1.0 & \text{si } \frac{H}{L} \geq 1.0 \end{cases} \quad (7.4.2.1.b)$$

para los casos intermedios de H/L , se interpolará linealmente.

7.4.3 Fuerza cortante resistida por el acero de refuerzo horizontal

7.4.3.1 Tipos de acero de refuerzo

7.4.3.1.1 Se permitirá el uso de acero de refuerzo horizontal colocado en las juntas de mortero para resistir fuerza cortante. El refuerzo consistirá de barras corrugadas o alambres corrugados laminados en frío que sean continuos a lo largo del muro.

7.4.3.1.2 No se permite el uso de armaduras planas de alambres de acero soldados por resistencia eléctrica (“escaleras”) para resistir fuerza cortante inducida por sismo.

Comentario:

Véase comentario de 6.5.3.1.

7.4.3.1.3 El esfuerzo especificado de fluencia para diseño, f_{yh} , no deberá ser mayor que 600 MPa (6 000 kg/cm²).

7.4.3.1.4 El refuerzo horizontal se detallará como se indica en 4.2.2.2, 4.2.4.3 y 4.2.6.2.

7.4.3.2 Separación del acero de refuerzo horizontal

La separación máxima del refuerzo horizontal, s_h , no excederá seis hiladas ni 450 mm.

7.4.3.3 Factor de área neta del muro

7.4.3.3.1 El factor de área neta de un muro reforzado interiormente, f_{nm} , es el cociente del área neta y el área bruta del muro. El área neta del muro se determinará deduciendo del área bruta los huecos de las piezas que no se rellenen de concreto o mortero.

7.4.3.4 Cuantías mínima y máxima del acero de refuerzo horizontal

7.4.3.4.1 El producto de la cuantía de refuerzo horizontal y el esfuerzo de fluencia especificado, $p_h f_{yh}$, no será inferior que 0.3 MPa (3 kg/cm²).

7.4.3.4.2 El valor máximo de $p_h f_{yh}$ será $0.15 f'_m f_{nm}$ pero no menor que 0.3 MPa (3 kg/cm²) ni mayor que $0.05 h_j f_{yh} / s_h$, donde h_j es el espesor de la junta horizontal.

7.4.3.5 Diseño del refuerzo horizontal

7.4.3.5.1 La fuerza cortante que toma el refuerzo horizontal, V_{sR} , se calculará con las ecs. 7.4.3.5.1.a a 7.4.3.5.1.f:

$$V_{sR} = F_R \eta (p_h f_{yh})_e A_T \quad (7.4.3.5.1.a)$$

$$(p_h f_{yh})_e = p_h f_{yh} < 0.1 f'_m f_{nm} \quad (7.4.3.5.1.b)$$

El valor de η se determinará como sigue:

a) Si el muro está sujeto a una carga axial P de compresión,

$$\eta = \frac{V_{mR}}{F_R (p_h f_{yh})_e A_T} (k_0 k_1 - 1) + \eta_s \quad (7.4.3.5.1.c)$$

$$k_0 = \begin{cases} 1.3 & \text{si } H/L \leq 1.0 \\ 1.0 & \text{si } H/L \geq 1.5 \end{cases} \quad (7.4.3.5.1.d)$$

$$k_1 = 1 - \alpha(p_h f_{yh})_e \quad (7.4.3.5.1.e)$$

$$\eta_s = \begin{cases} 0.75 & \text{si } f'_m \geq 9 \text{ MPa} \left(90 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}\right) \\ 0.55 & \text{si } f'_m \leq 6 \text{ MPa} \left(60 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}\right) \end{cases} \quad (7.4.3.5.1.f)$$

Para casos intermedios de H/L y f'_m , se interpolará linealmente para obtener los valores de k_0 y η_s , respectivamente; $\alpha = 0.45 \text{ MPa}^{-1} (0.045 \text{ cm}^2/\text{kg})$.

b) Si el muro está sujeto a una carga axial P en tensión,

$$\eta = k_1 \eta_s \quad (7.4.3.5.1.g)$$

El valor de k_1 y η_s se calculará de acuerdo con a) de este inciso.

Comentario:

Para mampostería con refuerzo interior se ha supuesto el mismo comportamiento y cálculo de la contribución del refuerzo horizontal que el desarrollado para muros confinados. La diferencia entre las expresiones para mampostería confinada y mampostería con refuerzo interior radica en el factor de área neta f_{an} que se sustituye por el factor f_{nm} que relaciona el área neta y bruta del muro considerando a las celdas rellenas de mortero como macizas. Este factor puede calcularse como $f_{nm} = (A_T - \sum A_{\text{hueco}}) / A_T$, donde A_{hueco} es el área de cada celda no rellena.

Espacio en blanco dejado de manera intencional

8. MUROS NO ESTRUCTURALES

8.1 Alcance

8.1.1 Los muros no estructurales son muros de mampostería que no contribuyen a la resistencia ni a la rigidez lateral de la estructura, pero que deben ser estables ante acciones laterales de viento o sismo. Pueden tener la función de ser muros divisorios, pretilas, o bardas etc., de los cuales no depende la seguridad de la estructura.

8.1.2 Los muros no estructurales deberán cumplir con los requisitos a) a e) siguientes:

- Deben diseñarse y construirse de modo de garantizar que no entren en contacto con el marco para las máximas distorsiones de entrepiso calculadas
- La relación de esbeltez H/t de los muros no será mayor a 30
- Se revisará que resista las fuerzas laterales en el sentido perpendicular a su plano, ya sean acciones sísmicas o de viento en el caso de muros de fachada
- Los muros se construirán e inspeccionarán como se indica en los Capítulos 10 y 11, respectivamente
- Los muros deberán cumplir lo especificado con la NTC-Arquitectónico, en cuanto a aislamiento térmico y acústico, cuando sea aplicable.

8.2 Diseño

8.2.1 Los muros no estructurales deberán diseñarse de modo que la holgura lateral, δ_h , entre el muro y un elemento estructural, columna o muro, no sea menor que el desplazamiento lateral inelástico del entrepiso (véase 4.1.14) más 10 mm ($\delta_h = \gamma_{li} \times H + 10$ mm).

8.2.2 La holgura vertical no será menor que la flecha a largo plazo calculada al centro del claro de la viga más 5 mm.

8.2.3 Cuando sea posible, de acuerdo con el proyecto arquitectónico, los muros deberán localizarse fuera del plano del marco (fig. 8.2.3).

8.2.4 Preferentemente, se deberán usar materiales ligeros tales que su rigidez y resistencia en el plano sean poco significativas.

8.2.5 Se revisará que los muros no estructurales puedan resistir las fuerzas laterales en el sentido perpendicular a su plano de conformidad con el Capítulo 8 de la NTC-Sismo.

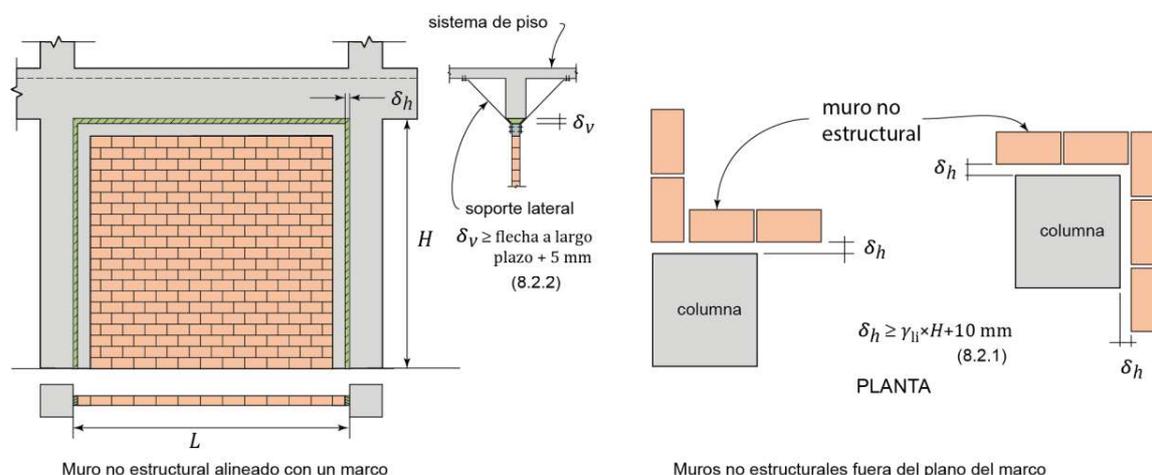


Figura 8.2.3 – Holguras entre muros no estructurales y columnas y vigas

Comentario:

La magnitud de los daños en muros divisorios y de fachada que no cumplen una función estructural, observados en los sismos de 2017 reforzaron la idea de incluir este capítulo en la Norma. El objetivo fue el de incluir recomendaciones para la debida separación de estos elementos de los de la estructura y garantizar su estabilidad fuera del plano.

Las divisiones entre espacios de un inmueble, así como las fachadas, se recomienda hacerlas con elementos que, por una parte, no interfieran con el desempeño estructural, tanto en rigidez como en resistencia, y por otra, que sean estables. Esto implica que la estructura se pueda deformar sin la restricción de los muros no estructurales, es decir, que tengan las holguras suficientes. El uso de mampostería para muros divisorios toma en cuenta que:

- son muy rígidos en su plano y a su vez frágiles.
- es necesario garantizar su estabilidad en la dirección perpendicular al muro.
- para su diseño ante acciones sísmicas resisten las fuerzas perpendiculares al plano del muro producidas por las aceleraciones de piso (véase 8.2 de la NTC-Sismo).
- el material para rellenar las juntas es, por una parte, ser flexible y dicha flexibilidad debe perdurar en el tiempo y, por otra, dar el aislamiento requerido.

Las consecuencias de que lo muros no estructurales participen en la respuesta estructural pueden ser graves. A continuación, se señalan algunas de ellas:

- Pueden generar efectos de torsión, en algunos casos, muy importantes, que no son tomados en cuenta en el análisis. Tal es el caso de edificios en esquina, los cuales, cuentan con muros no estructurales en las colindancias interiores. En los sismos del 19 de septiembre de 1985 y en el pasado sismo del 19 de septiembre de 2017 se observaron estos efectos por torsión que produjeron daños severos y en algunos casos el colapso (fig. C8.2.5.a).

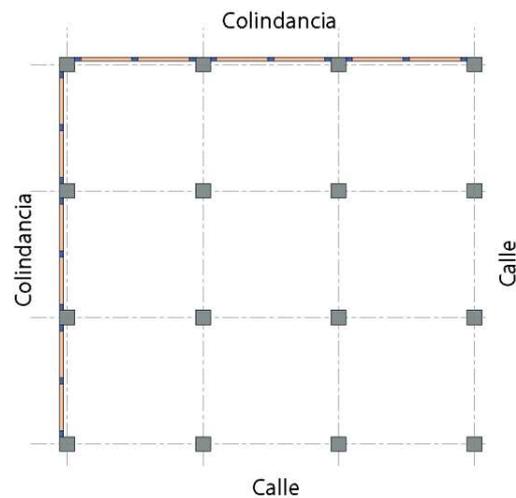


Figura C8.2.5.a – Edificio en esquina con muros de colindancia que producen torsión

- En muchos casos, los daños de estos elementos provocan el desalojo del inmueble después del sismo, a lo que se suma el efecto psicológico a los usuarios, a pesar de que la estructura a base de marcos se encuentre sana. Históricamente, los pretilos de fachada han generado columnas cortas que fallan a cortante en forma frágil, por lo que ben desligarse debidamente del marco o bien ubicarlos fuera del marco (fig. C8.2.5.b).

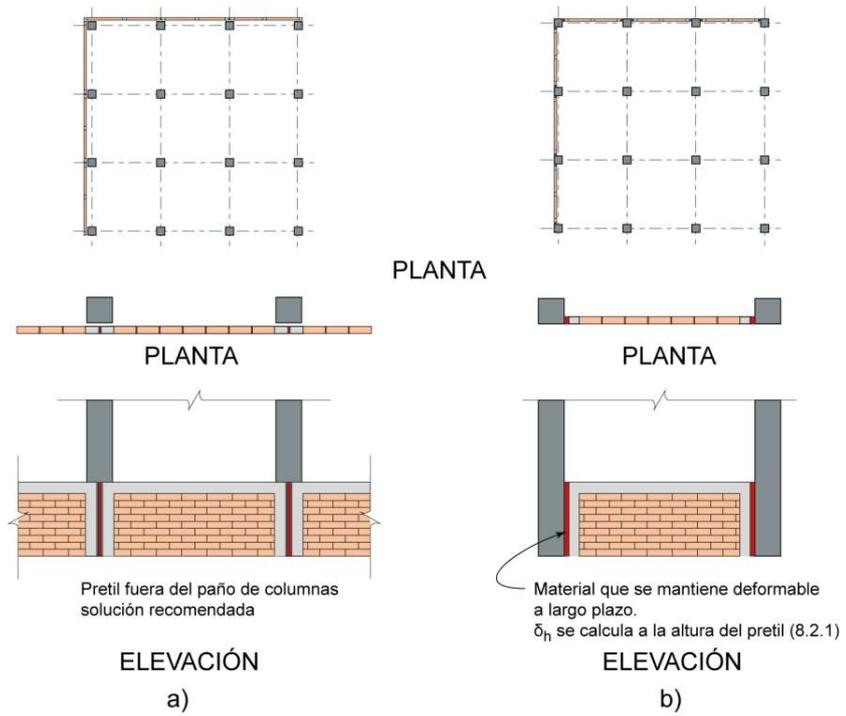


Figura C8.2.5.b – Pretiles desligados de la estructura, a) fuera del marco (lo más recomendable), b) dentro del claro del marco, debidamente desligados.

Espacio en blanco dejado de manera intencional

9. MAMPOSTERÍA DE PIEDRAS NATURALES

9.1 Alcance

9.1.1 Este capítulo se refiere al diseño y construcción de cimientos, muros de retención y otros elementos estructurales de mampostería del tipo conocido como de tercera, o sea, formado por piedras naturales sin labrar unidas por mortero.

9.2 Materiales

9.2.1 Piedras

9.2.1.1 Las piedras que se empleen en elementos estructurales deberán satisfacer los requisitos a) a d) siguientes:

- Su resistencia mínima a compresión en dirección normal a los planos de formación sea de 15 MPa (150 kg/cm²)
- Su resistencia mínima a compresión en dirección paralela a los planos de formación sea de 10 MPa (100 kg/cm²)
- La absorción máxima sea de 4 por ciento
- Su resistencia al intemperismo, medida como la máxima pérdida de peso después de cinco ciclos en solución saturada de sulfato de sodio, sea de 10 por ciento o menor.

9.2.1.2 Las propiedades de 9.2.1.1 se determinarán de acuerdo con NMX-C-536-ONNCCE-2017.

9.2.1.3 Las piedras no necesitarán ser labradas, pero se evitará, en lo posible, el empleo de piedras de formas redondeadas y de cantos rodados.

9.2.1.4 Por lo menos, el 70 por ciento del volumen del elemento estará constituido por piedras con un peso mínimo de 300 N (30 kg), cada una.

9.2.2 Morteros

9.2.2.1 Los morteros que se empleen para mampostería de piedras naturales deberán ser al menos del Tipo II (tabla 2.5.4.1), tal que la resistencia mínima en compresión sea de 7.5 MPa (75 kg/cm²).

9.2.2.2 La resistencia se determinará según lo especificado en la norma NMX-C-061-ONNCCE-2015.

9.3 Diseño

9.3.1 Esfuerzos resistentes de diseño

9.3.1.1 Los esfuerzos resistentes de diseño en compresión, f'_m , y en cortante, v'_m , multiplicados por el factor de reducción de la resistencia, F_R , se tomarán como sigue:

$$F_R f'_m = 2.0 \text{ MPa (20 kg/cm}^2\text{)}$$

$$F_R v'_m = 0.06 \text{ MPa (0.6 kg/cm}^2\text{)}$$

Comentario:

Debido a que, desde la norma de 2017, ya no se admite el uso de mortero tipo III, no se incluyeron los valores de diseño para ellos. No obstante, en casos de revisión de estructuras de piedra existentes con mortero de resistencia menor que 5 MPa (50 kg/cm²), pueden usarse los valores siguientes:

$$F_R f'_m = 1.5 \text{ MPa (15 kg/cm}^2\text{)}$$

$$F_R v'_m = 0.04 \text{ MPa (0.4 kg/cm}^2\text{)}$$

9.3.2 Determinación de la resistencia

9.3.2.1 Se verificará que, en cada sección, la fuerza normal actuante de diseño no exceda la fuerza resistente de diseño dada por la ec. 9.3.2.1.

$$P_R = F_R f'_m A_T \left(1 - \frac{2e}{t} \right) \quad (9.3.2.1)$$

La expresión anterior es válida cuando la relación entre la altura y el espesor medio del elemento de mampostería no excede de cinco; cuando dicha relación se encuentre entre cinco y diez, la resistencia se tomará igual al 80 por ciento de la calculada con la expresión anterior; cuando la relación exceda de diez deberán tomarse en cuenta explícitamente los efectos de esbeltez en la forma especificada para mampostería de piedras artificiales en 3.1.2.

9.3.2.2 La fuerza cortante actuante no excederá de la resistente obtenida de multiplicar el área transversal de la sección más desfavorable por el esfuerzo cortante resistente especificado en 9.3.1.

9.4 Cimientos

9.4.1 En cimientos de piedra braza la pendiente de las caras inclinadas (escarpio), medida desde la arista de la dala o muro, no será menor que 1.5 (vertical) : 1 (horizontal) (fig. 9.4.1).

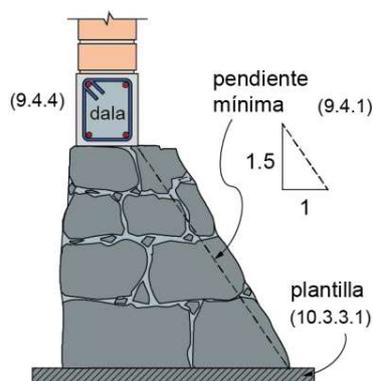


Figura 9.4.1 – Cimiento de piedra

9.4.2 En cimientos de mampostería de forma trapecial con un paramento vertical y el otro inclinado, tales como cimientos de lindero, deberá verificarse la estabilidad del cimiento a torsión.

9.4.3 Se aceptará no efectuar esta verificación si se suministran cimientos perpendiculares a separaciones no mayores que las señaladas en la tabla 9.4.3, donde el claro máximo permisible se refiere a la distancia entre los ejes de los cimientos perpendiculares, menos el promedio de los anchos medios de éstos.

Tabla 9.4.3 – Separación máxima de cimientos perpendiculares a cimientos donde no se revise la estabilidad a torsión

Presión de contacto con el terreno, kPa (kg/m ²)	Claro máximo, m
Menos de 20 (2 000)	10.0
Más de 20 (2 000) y hasta 25 (2 500)	9.0
Más de 25 (2 500) y hasta 30 (3 000)	7.5
Más de 30 (3 000) y hasta 40 (4 000)	6.0
Más de 40 (4 000) y hasta 50 (5 000)	4.5

9.4.4 En todo cimiento deberán colocarse dalas de concreto reforzado, tanto sobre los cimientos sujetos a momento de volteo como sobre los perpendiculares a ellos. Los castillos deberán empotrarse en los cimientos no menos de 400 mm y se deberán rellenar con el concreto usado en los castillos (fig. 4.1.16.4).

9.4.5 En el diseño se deberá considerar la pérdida de área debido al cruce de los cimientos.

9.5 Muros de contención

9.5.1 En el diseño de muros de contención se tomará en cuenta la combinación más desfavorable de cargas laterales y verticales debidas a empuje de tierras, al peso propio del muro, a las demás cargas muertas que puedan obrar y a la carga viva que tienda a disminuir el factor de seguridad contra volteo o deslizamiento.

9.5.2 Los muros de contención se diseñarán con un sistema de drenaje adecuado. Además, se deberán cumplir las disposiciones del Capítulo 6 de la NTC-Cimentaciones.

Comentario:

En la NTC-Cimentaciones se especifica la revisión contra mecanismos de falla como el volteo y el deslizamiento del muro de contención como cuerpo rígido. Adicionalmente, se debe estimar en cada sección trasversal los elementos mecánicos y verificar la resistencia a carga axial y a fuerza cortante mediante la comparación con los esfuerzos resistentes dados en este capítulo.

Espacio en blanco dejado de manera intencional

10. CONSTRUCCIÓN

La construcción de las estructuras de mampostería cumplirá con lo especificado en el Título Séptimo del Reglamento y con lo indicado en este capítulo.

10.1.1 Adicionalmente a lo establecido en el Reglamento, los planos de construcción de edificaciones de mampostería deberán señalar, en un plano específico o en un cuadro de especificaciones y detalles, al menos las especificaciones a) a o) siguientes:

- a) El tipo, dimensiones exteriores e interiores (si aplica) y tolerancias, resistencia a compresión media y de diseño, absorción, así como el peso volumétrico máximo y mínimo de la pieza. Si es aplicable, el nombre y marca de la pieza y la indicación del cumplimiento de la norma NMX-C404-ONNCCE-2012 para piezas de uso estructural, que contempla resistencia a compresión, absorción inicial y total, contracción y tolerancias dimensionales
- b) El tipo de cementante a utilizar para fabricar los morteros para el pegado de las piezas, el concreto de relleno o el concreto para el colado de castillos
- c) Características y tamaño de los agregados para fabricar los morteros para el pegado de las piezas, el concreto de relleno o el concreto para el colado de castillos
- d) Proporcionamiento y resistencia a compresión media y de diseño del mortero para pegar piezas. El proporcionamiento deberá expresarse en volumen y así deberá indicarse en los planos. En caso de morteros secos predosificados deberá indicarse la cantidad de agua por saco. Se incluirá el porcentaje de retención, fluidez, revenimiento y el consumo de mortero. Se indicará el cumplimiento de la norma NMX-C-486-ONNCCE-2014 Mortero para uso estructural, que considera resistencia a compresión medida en cubos, fluidez, retención de agua y revenimiento
- e) Procedimiento de mezclado y remezclado del mortero
- f) Si aplica, proporcionamiento, resistencia a compresión y revenimiento de morteros y concretos de relleno. El proporcionamiento deberá expresarse en volumen. Si se usan aditivos, como superfluidificantes, se deberá señalar el tipo y su proporcionamiento
- g) Si aplica, proporcionamiento, resistencia a compresión y revenimiento del concreto para el colado de castillos, indicando que el concreto es Tipo 2 a menos que se considere el agregado o el suministro del concreto del concreto en caso de especificar Tipo 1
- h) El tipo, diámetro y grado de las barras de acero de refuerzo y la norma NMX que corresponda a cada tipo de acero
- i) Las resistencias a compresión f'_m y a compresión diagonal v'_m de diseño de la mampostería
- j) El módulo de elasticidad E_m y de cortante G_m de diseño de la mampostería
- k) Los detalles del refuerzo necesarios para la correcta ejecución de la obra mediante figuras y/o notas, que incluyan colocación, anclaje, traslape y dobleces
- l) Detalles de intersecciones entre muros y anclajes de elementos de fachada
- m) Tolerancias de construcción, como se indica en 10.2.4.11
- n) Si aplica, el tipo y frecuencia de muestreo de mortero y mampostería, como se indica en 11.2.2
- o) Para muros aparentes, indicar el compactado de la junta de mortero mediante el uso de un junteador o llaguero.

Comentario:

Se requiere indicar el revenimiento del mortero hecho en obra como un medio indirecto del control del agua para la preparación del mortero cuando este se prepara en obra.

Es importante indicar las normas NMX de los aceros usados en mampostería, en particular los aceros de alta resistencia estirados en frío para que no se confundan con otros aceros de refuerzo.

El uso del junteador o llaguero ayuda a mejorar la adherencia del mortero con las piezas y corrige los errores de pegado de las piezas. Su uso se recomienda para todo tipo de muros, ya sea aparentes o con recubrimiento.

Es importante que todo proyecto de mampostería cuente con un plano de proyecto que contenga la información señalada para la correcta ejecución en obra. Dichos requerimientos y especificaciones los deberá cumplir el constructor y el Director deberá de verificar que los planos cuenten con dicha información y en caso de que no se tengan exigir al proyectista que se complemente el proyecto.

10.2 Construcción de mampostería de piedras artificiales

10.2.1 En la construcción de muros diafragma (Capítulo 5), deberá garantizarse que el muro esté en contacto con las columnas y vigas del marco que lo rodea.

10.2.2 Cuando se construyan muros confinados (Capítulo 6), los castillos o porciones de ellos se colarán una vez construido el muro o la parte de él que corresponda.

10.2.3 Materiales

10.2.3.1 Piezas

10.2.3.1.1 Las piezas usadas en los elementos estructurales de mampostería deberán cumplir con las propiedades de resistencia a compresión, absorción, contracción y tolerancias dimensionales, las cuales se establecen en NMX-C-404-2012. Para estructuras Tipo I el proveedor deberá proporcionar los certificados correspondientes.

10.2.3.1.2 Los requisitos de diseño y construcción de esta norma aplican sólo en muros construidos con un mismo tipo de pieza y unidas con morteros a base de cemento hidráulico. En esta norma no se contemplan casos donde se haga la combinación de diferentes tipos de piezas o de piezas unidas sin mortero o adhesivos químicos. Será aceptable usar muros con piezas de estas características si el Director aprueba los resultados que se obtengan de ensayos a escala natural con el protocolo de prueba que se indica en el Apéndice A de esta norma.

10.2.3.1.3 Para el control de la resistencia a compresión de las piezas en la planta por parte del fabricante, y en la obra por parte del constructor y de la supervisión, se utilizarán las resistencias medias a compresión, \overline{f}_p , que se indican en la tabla 10.2.3.1.3.

Tabla 10.2.3.1.3 – Valores mínimos permitidos de la resistencia media a compresión de las piezas

Tipo de pieza y material	\overline{f}_p MPa ^[1] (kg/cm ²)
Tabique macizo de arcilla artesanal	11 (110)
Tabique macizo o multiperforado de arcilla o de concreto	15 (150)
Tabique hueco de arcilla o de concreto	9 (90)
Bloque macizo o multiperforado de arcilla o de concreto	15 (150)
Bloque hueco de arcilla o de concreto	9 (90)

^[1] Los valores de \overline{f}_p son válidos siempre que el coeficiente de variación de los ensayos, sea para el caso tabique macizo artesanal $c_p \leq 0.35$ y para el resto de las piezas $c_p \leq 0.2$. En caso contrario, el valor admisible se calculará con el valor de c_p medido y el valor de la resistencia de diseño f'_p con la ec. 2.1.2.2.

10.2.3.1.4 La resistencia media, \overline{f}_p , se obtendrá considerando una muestra de por lo menos cinco piezas por cada lote conforme a lo establecido en 11.2.2. La preparación de las muestras y su ensaye se realizará conforme a la norma NMX-C-036-ONNCCE-2013.

10.2.3.1.5 Las piezas, para su colocación, deberán cumplir con los requisitos a) a c) siguientes:

- Condición de las piezas. Las piezas empleadas deberán estar limpias, sin rajaduras
- Humedecimiento de las piezas. Las piezas de arcilla artesanales deberán saturarse al menos **2h** antes de su colocación y las piezas extruidas de arcilla por cinco minutos. En ambos casos deberá verificarse que al colocar las piezas no modifiquen al mortero ya sea aportando agua o absorbiendo agua de él. Las piezas a base de cemento deberán estar secas al colocarse. Sin embargo, se aceptará un rociado leve de las superficies sobre las que se colocará el mortero
- Orientación de piezas huecas. Las piezas huecas se deberán colocar de modo que sus celdas y perforaciones sean ortogonales a la cara de apoyo.

Comentario:

En la tabla 10.2.3.1.3, la resistencia media a compresión, \overline{f}_p , se obtuvo a partir de la expresión 2.1.2.2 de la resistencia de diseño, f'_p , considerando un coeficiente de variación de 0.35 para las piezas artesanales y 0.2, para los demás casos, con lo que dichas resistencias medias resultan de multiplicar por 1.83 y 1.5 las resistencias de diseño, f'_p , indicadas en la tabla 2.1.2.4, respectivamente. Sin embargo, el coeficiente de variación de los ensayos,

c_p , siempre debe calcularse, y en caso de que sea distinto al supuesto debe usarse la ec. 2.1.2.2 con el valor de diseño f'_p requerido en 2.1.2.2 y el c_p medido.

En la tabla se ha considerado que los tabiques y bloques multiperforados, ya sean huecos o macizos, tengan una resistencia promedio a la compresión $f'_p = 15 \text{ MPa}$ (150 kg/cm²) para cumplir con la resistencia de diseño f'_p de 10 Mpa (100 kg/cm²).

10.2.3.2 Morteros

10.2.3.2.1 Los morteros usados en elementos estructurales de mampostería para pegar o rellenar piezas deberán cumplir con las propiedades de resistencia a compresión, fluidez y porcentaje de retención de agua que establece la NMX-C-486-ONNCCE-2014.

10.2.3.2.2 Para el control de la resistencia a compresión del mortero por parte del fabricante, si fuera industrializado, y en obra, por parte del constructor y de la supervisión, se utilizarán las resistencias medias a compresión, \bar{f}_j , que se indican en la tabla 10.2.3.2.2.

Tabla 10.2.3.2.2 – Valores mínimos permitidos de la resistencia media a compresión, \bar{f}_j , del mortero

Mortero	\bar{f}_j MPa ^[1] (kg/cm ²)
Tipo I	18 (180)
Tipo II	11 (110)

^[1] Los valores de \bar{f}_j son válidos siempre que el coeficiente de variación de los ensayos, $c_j \leq 0.2$. En caso contrario, el valor admisible se calculará con el valor de c_j medido y el valor de la resistencia de diseño f'_j con la ec. 2.5.2.7.

10.2.3.2.3 La resistencia media, \bar{f}_p , se obtendrá considerando una muestra de por lo menos tres cubos por cada lote conforme a lo establecido en 11.2.2. El muestreo y curado de los cubos se debe realizar conforme a la norma NMX-C-061-ONNCCE-2015, pero utilizando la arena que se usará en la obra.

10.2.3.2.4 Para la fabricación de los morteros deberá usarse una arena que pase la malla No. 6 (3.35 mm).

10.2.3.2.5 Para la elaboración los morteros deberán cumplir con los requisitos a) a f) siguientes:

- El mezclado puede realizarse por medios manuales o mecánicos
- Si es por medios manuales, los materiales deben mezclarse en seco, sobre una superficie no absorbente, hasta obtener un color homogéneo de la mezcla. Posteriormente, debe agregarse el agua poco a poco, y realizar el mezclado del material, hasta lograr la fluidez requerida para su colocación
- Si el mezclado es por medios mecánicos, después de agregar el agua, el tiempo de mezclado no debe ser menor que 3 min ni mayor que 5 min. El agua se agregará de manera que la mezcla tenga la fluidez adecuada para su colocación.
- Si el mortero empieza a endurecerse, podrá remezclarse hasta que vuelva a tomar la fluidez deseada agregándole un poco de agua, si es necesario. Sólo se acepta un remezclado
- Los morteros deberán usarse dentro de un lapso no mayor que **2h** a partir del mezclado inicial
- Los morteros y concretos de relleno se deberán proporcionar de modo que su revenimiento se encuentre en un intervalo de 200 a 250 mm para que rellene completamente las celdas de las piezas huecas.

Comentario:

En la tabla 10.2.3.2.2, la resistencia media a compresión del mortero, \bar{f}_j , se obtuvo a partir de la expresión 2.5.2.7, de las resistencias de diseño, f'_j , considerando un coeficiente de variación de $c_j = 0.2$; lo que resulta en multiplicar por 1.5 las resistencias de diseño, f'_j , indicadas en 2.5.3. Sin embargo, c_j debe medirse y en caso de que resulte mayor al supuesto debe utilizarse para calcular el valor medio admisible usando el valor de diseño f'_j y el c_j medido con la ec. 2.5.2.7.

El módulo de finura es una medida suplementaria al diámetro de grano para el control de la granulometría de la arena. Dicho valor normalmente se encuentra entre 2.3 y 3.1.

Para controlar la cantidad de agua en el mortero para pegar piezas, se puede usar la prueba de revenimiento. Se recomienda que el revenimiento alcance un valor de 160 mm, el cual es correspondiente a la fluidez de la mezcla requerida en la norma NMX-C-486-ONNCCE-2014.

El revenimiento de los morteros y concretos de relleno debe ser un valor alto que garantice el llenado de las celdas de las piezas. El valor indicado de 200 a 250 mm está basado en recomendaciones de la norma ASTM C476 2020 y en pruebas realizadas en campo con piezas de concreto que cumplen con la norma NMX-C-404-ONNCCE-2012.

10.2.3.3 Concretos

10.2.3.3.1 Los concretos para el colado de elementos de refuerzo, internos o externos al muro, tendrán la cantidad de agua que asegure una consistencia líquida sin segregación de los materiales constituyentes.

10.2.3.3.2 Se aceptará el uso de aditivos que mejoren la trabajabilidad. El tamaño máximo del agregado será de 10 mm y su revenimiento será similar al del concreto de relleno si fuera utilizado para el colado de castillos.

10.2.4 Procedimientos de construcción

10.2.4.1 Juntas de mortero

10.2.4.1.1 El mortero en las juntas, tanto verticales como horizontales, cubrirá totalmente la superficie correspondiente de la pieza. Su espesor, h_j , será el mínimo que permita una capa uniforme de mortero y la alineación de las piezas.

10.2.4.1.2 Si se usan piezas de fabricación mecanizada, el espesor de las juntas horizontales y verticales será de 10 mm. Si se coloca acero de refuerzo horizontal el espesor de las juntas podrá ser hasta de 12 mm.

10.2.4.1.3 Si se usan piezas de fabricación artesanal, el espesor de las juntas no excederá de 15 mm.

10.2.4.1.4 En piezas multiperforadas, se verificará, además de lo establecido en 10.2.4.1.1, que el mortero penetre, por lo menos un centímetro, en las perforaciones de la cara superior.

10.2.4.1.5 Para fines de control de obra se considerará una tolerancia en el espesor de las juntas de ± 3 mm y en todos los casos el espesor mínimo no será menor que 6 mm.

Comentario:

En piezas multiperforadas, el mortero debe cubrir totalmente la cara horizontal y vertical que esté en contacto con otra pieza. Se verificará además que el mortero penetre en las perforaciones de la cara superior por lo menos 1 cm.

Se permite un espesor mayor de las juntas en las piezas artesanales para compensar las variaciones en las dimensiones de las piezas.

Las juntas de mortero con espesores menores a 6 mm pueden generar problemas de adherencia del mortero con las piezas, razón por la que no se permiten.

10.2.4.2 Aparejo

10.2.4.2.1 Las fórmulas y procedimientos de cálculo especificados en esta norma son aplicables sólo si las piezas se colocan en forma cuatrapeada con la junta vertical a la mitad de la pieza de la hilada anterior (fig. 10.2.4.4.4). Para otros tipos de aparejo, el comportamiento de los muros deberá deducirse de ensayos a escala natural (Apéndice A).

10.2.4.3 Unión vertical de la mampostería con castillos externos

10.2.4.3.1 La unión vertical de la mampostería con los castillos externos deberá detallarse para transmitir las fuerzas de corte. Se aceptará que la mampostería se deje dentada por medio de cortes cuando sean piezas macizas o que las piezas se desfacen, al menos 30 mm, para formar el dentado, cuando sean huecas, para no cortarlas. Alternativamente se admitirá que se coloquen conectores metálicos de no menos de 200 mm dentro del muro o se coloque refuerzo horizontal. El colado del castillo se hará una vez construido el muro o la parte de él que corresponda (fig. 10.2.4.3.1).

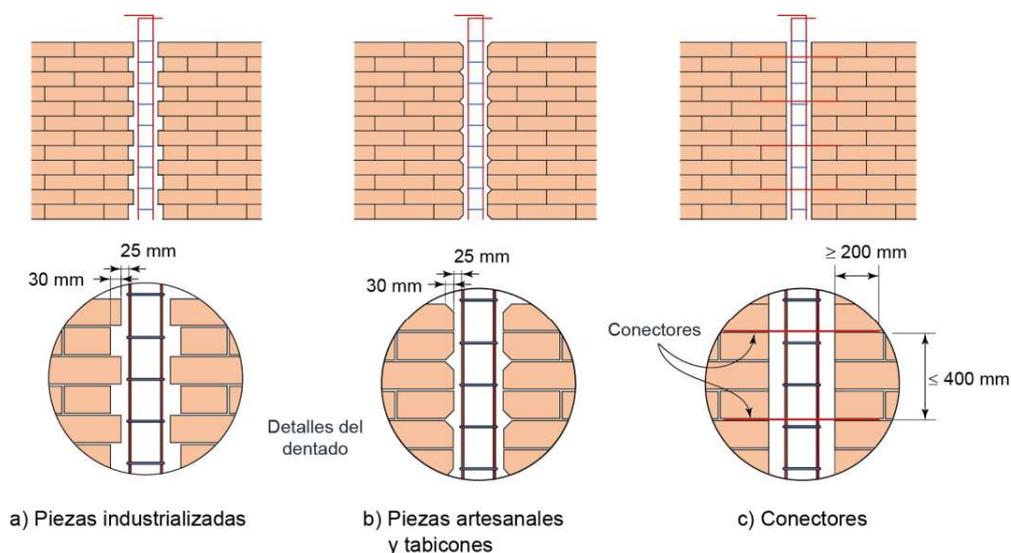


Figura 10.2.4.3.1 – Dentado y conectores

Comentario:

Los bordes verticales de muros confinados con castillos externos deben dentarse haciendo cortes en a 45 grados en las piezas o deben colocarse conectores entre muro y castillo (véase 11.1.2 inciso g y definición de dentado en Terminología). Si el muro tiene refuerzo horizontal, se cumple con este requisito. Cuando se usan piezas de arenamiento o arcilla extruida se permite desfasar las piezas en hiladas consecutivas al menos 30 mm.

10.2.4.4 Mortero de relleno y concreto de relleno

10.2.4.4.1 Los huecos deberán estar libres de materiales extraños y de mortero de la junta.

10.2.4.4.2 En castillos y huecos internos se colocará el mortero de relleno o concreto de relleno de manera que se obtenga un llenado completo de los huecos.

10.2.4.4.3 Se admite la compactación del mortero y concreto, sin hacer vibrar excesivamente el refuerzo. El colado de elementos interiores verticales se efectuará en tramos no mayores que:

- a) 500 mm, si el área de la celda es de hasta 8 000 mm² o el espesor del muro es de 100 mm o
- b) 1.5 m, si el área de la celda es mayor que 8 000 mm² o el espesor del muro es mayor o igual a 120 mm.

Comentario:

Se recomienda retirar el exceso de mortero de junteo en los huecos de las piezas en donde se colocará el mortero o concreto de relleno, hilada por hilada.

10.2.4.4.4 Si por razones constructivas se interrumpiera la construcción del muro en ese día, el concreto o mortero de relleno deberá alcanzar hasta la mitad de la altura de la pieza de la última hilada (fig. 10.2.4.4.4).

10.2.4.4.5 En muros con piezas huecas y multiperforadas sólo se rellenarán las celdas de las primeras (fig. 10.2.4.4.4) y los huecos de las piezas multiperforadas deberán rellenarse de acuerdo con 10.2.4.1.4.

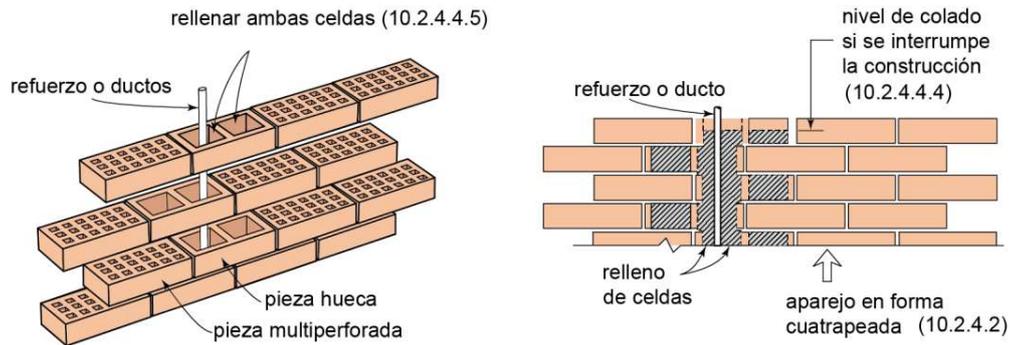


Figura 10.2.4.4.4 – Relleno de piezas

10.2.4.5 Refuerzo

10.2.4.5.1 El refuerzo se colocará de manera que se asegure que se mantenga fijo durante el colado.

10.2.4.5.2 El recubrimiento, separación y traslapes mínimos, así como el refuerzo horizontal colocado en las juntas, serán los que se especifican en 4.2.

10.2.4.5.3 No se admitirá traslape de barras de refuerzo colocadas en juntas horizontales, ni traslape de mallas de alambre soldado en una sección vertical del muro, ni de refuerzo vertical en muros de mampostería reforzada interiormente en la altura calculada de la articulación plástica por flexión.

10.2.4.5.4 No se permite doblar el refuerzo vertical en muros de mampostería reforzada interiormente una vez iniciada la colocación del mortero o concreto de relleno; las piezas huecas se deben insertar ya sea dejando un traslape intermedio en la altura del muro o utilizando piezas huecas con ranuras verticales en la pared lateral (fig. C10.2.4.5.4).

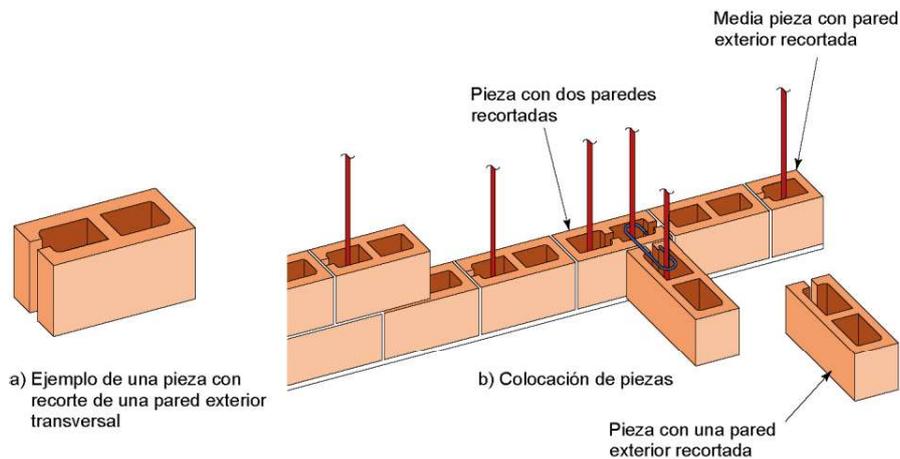


Figura C10.2.4.5.4 – Piezas con paredes ranuradas para facilitar su colocación, a) pieza hueca con ranura vertical en pared lateral, b) Colocación de piezas con una y dos ranuras verticales para insertar las piezas en forma lateral, en vez de por el extremo superior del refuerzo.

Comentario:

La colocación del refuerzo vertical en muros con refuerzo interior se debe prever desde el proyecto para evitar doblar el refuerzo al insertar las piezas. Puede hacerse utilizando traslapes a una altura tal que el trabajador pueda insertar las piezas. La altura del traslape debe indicarse en los planos. Alternativamente pueden usarse piezas huecas con una ranura vertical en la pared lateral que permita insertar la pieza por dicha ranura. Ocasionalmente se requiere que la pared central de la pieza también este ranurada para incluir refuerzo vertical en ambas celdas.

Cuando se use esta solución debe indicarse en las notas de materiales de los planos el uso de estas piezas ya sea que se adquieran con la o las ranuras hechas por el fabricante o que éstas se hagan en obra (fig. C10.2.4.5.4).

10.2.4.6 Tuberías y ductos

10.2.4.6.1 Se deberá verificar que las instalaciones hidráulicas, sanitarias y eléctricas no interfieren con las dalas ni los castillos, ya sean internos o externos, o en su caso, con el refuerzo interior en los muros.

10.2.4.6.2 Para garantizar el cumplimiento de 10.2.4.8, en el caso de muros confinados construidos con piezas multiperforadas se deberá indicar en los planos estructurales la localización de piezas “doble hueco” para alojar tuberías y/o ductos.

10.2.4.6.3 No se permite colocar tuberías ni ductos en castillos que tengan función estructural, sean externos o internos, o en celdas reforzadas verticalmente como las dispuestas en los Capítulos 6 y 7, respectivamente.

Comentario:

La inclusión de ductos en castillos reduce significativamente el área de la sección y dificulta el colado. Lo anterior se traduce en un deterioro del confinamiento de los muros.

10.2.4.6.4 Las instalaciones eléctricas e hidrosanitarias se deberán colocar sin dañar los muros, de modo que la resistencia a flexocompresión y cortante se preserve.

10.2.4.6.5 Las instalaciones hidrosanitarias y eléctricas dentro del muro, deberán satisfacer 10.2.4.7, 10.2.4.8 y 10.2.4.9. Si no pueden satisfacerse estos requisitos, las instalaciones se deberán colocar fuera del muro o en un muro adosado que no tendrá fines estructurales (fig. 10.2.4.6.5).

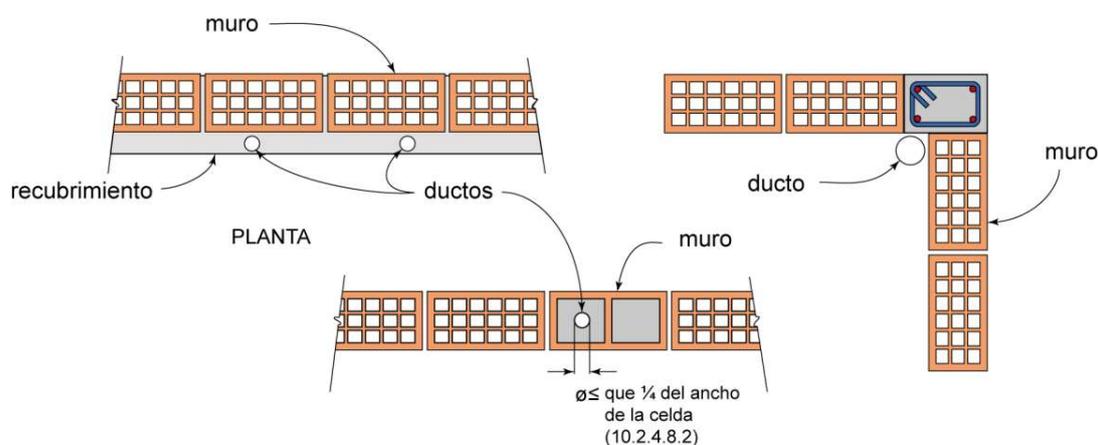


Figura 10.2.4.6.5 – Ejemplos de ductos fuera del muro o en piezas huecas

Comentario:

Es muy importante que las instalaciones, tanto eléctricas como hidrosanitarias, no reduzcan la resistencia y capacidad de deformación de los muros supuesta en el diseño. Para evitarlo, en el diseño, deberá contemplarse la ubicación de instalaciones tales como cisternas, tanques de almacenamiento de agua, cárcamos de bombeo, subestaciones eléctricas, así como la trayectoria de todos los ductos. Debe hacerse una conciliación entre los distintos proyectos: arquitectónico, estructural, eléctrico, hidrosanitario, etc.

No es adecuado que el proyecto estructural se desarrolle independientemente del de instalaciones y que posteriormente las trayectorias de las tuberías sean resueltas en obra, sin ninguna planeación, haciendo indiscriminadamente ranuras en los muros. Este problema se ilustra en la fig. C10.2.4.6.5.a:

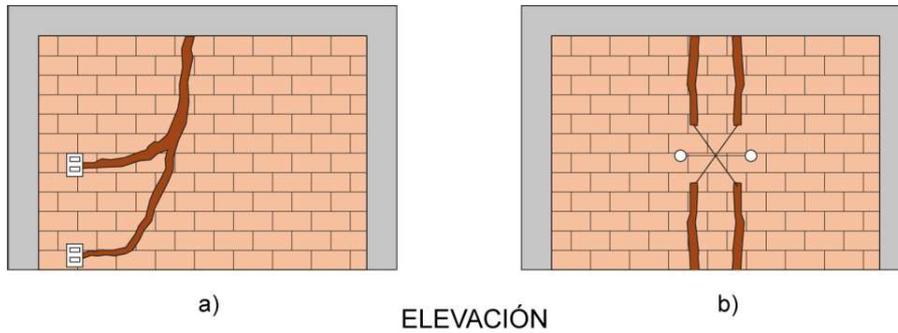


Figura C10.2.4.6.5.a – Ranuras inapropiadas en muros. a) Instalación de ductos eléctricos en habitaciones, b) Instalaciones hidrosanitarias en baños

Otro problema importante es la instalación de cajas grandes para la concentración de las instalaciones eléctricas, empotradas en los muros, que no fueron consideradas en el diseño. Esto ocurre generalmente en algunos muros de los niveles inferiores, por ejemplo, en planta baja (fig. C10.2.4.6.5.b).

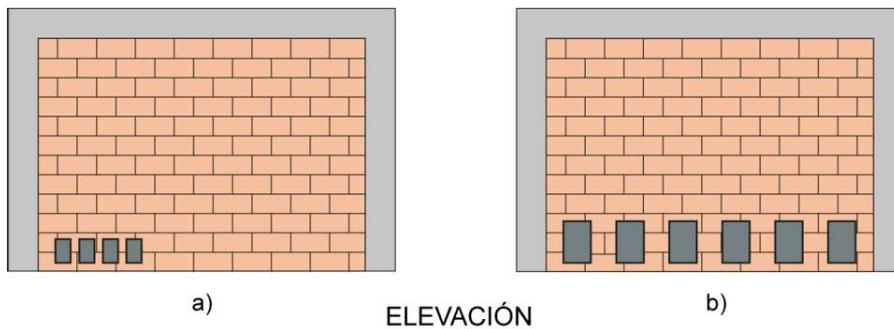


Figura C10.2.4.6.5.b – Cajas para instalaciones eléctricas: a) cajas de contactos, b) cajas de concentraciones eléctricas

El hecho de hacer ranuras o perforar los muros de mampostería para alojar ductos o cajas eléctricas reduce su resistencia y rigidez, lo que, a su vez, puede producir efectos de torsión y el incremento del periodo de la estructura. El incremento del periodo puede aumentar las acciones sísmicas, ya que las estructuras tienen usualmente un periodo corto que se encuentra en la rama ascendente del espectro de respuesta.

En ninguna circunstancia se podrán colocar tubos, para la conducción de aguas pluviales o sanitarias, de diámetros considerables, por ejemplo, de tres cuartas partes del espesor del muro o mayores, interrumpiendo el muro por medio de castillos, a menos que este considerado en el proyecto estructural. De no haber sido considerado, este procedimiento altera, de manera importante, la resistencia y rigidez del muro y por ende de la estructura. Este problema se repite frecuentemente en todos los muros coincidentes de los niveles inferiores dado que el tubo debe llegar al drenaje.

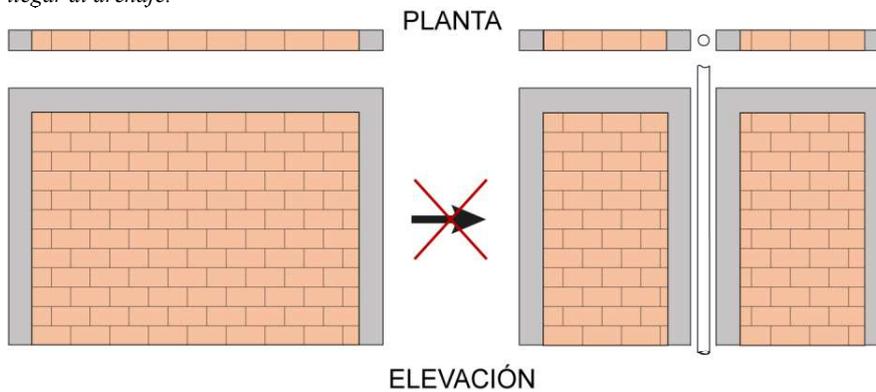


Figura C10.2.4.6.5.c – División de muros en obra para colocar tubería, no considerada en el proyecto estructural. Los ductos pueden adosarse al muro colocándoles un recubrimiento, por ejemplo, en cocinas, o bien para ductos de drenaje de aguas pluviales o residuales (fig. 10.2.4.6.5).

Una posible solución es generar ductos explícitos para este objetivo o colocarlos en una esquina (fig. 10.2.4.6.5).

10.2.4.7 Tuberías y ductos en piezas macizas (sin huecos)

10.2.4.7.1 Se permitirá ranurar el muro para alojar tuberías o ductos siempre que:

- a) la profundidad de la ranura no exceda de la cuarta parte del espesor de la mampostería del muro ($t/4$) (fig. 10.2.4.7.1.a)

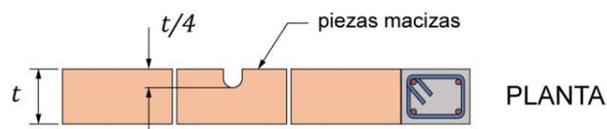


Figura 10.2.4.7.1.a – Profundidad de ranuras

- b) el recorrido sea vertical
 c) el recorrido no sea mayor que la mitad de la altura libre del muro ($H/2$)
 d) la ranura se separe del castillo por lo menos 500 mm (fig. 10.2.4.7.1.b).

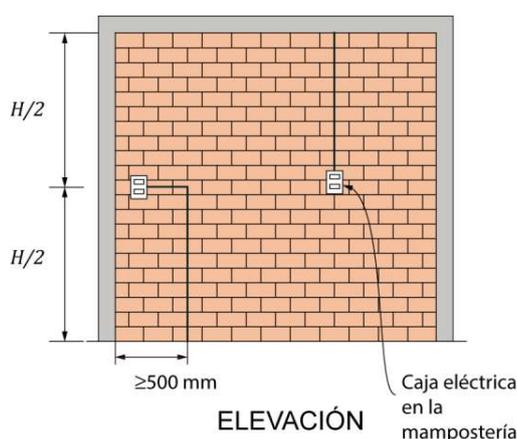


Figura 10.2.4.7.1.b – Ranuras en muros

- e) Las aberturas realizadas en muros para alojar instalaciones eléctricas deberán cumplir con lo especificado en 6.2.6 y 7.1.11 en muros confinados y reforzados interiormente, respectivamente.

Comentario:

Esta especificación tiene como objetivo el no disminuir la capacidad ni la rigidez del muro. Se hace notar que cuando las piezas son de concreto y estas son muy resistentes $f_p > 10$ MPa (100 kg/cm^2) es difícil hacer la ranura sin que se genere el despostillamiento de la pieza, por lo que se recomienda se haga una prueba previamente.

Es recomendable rellenar el espacio entre el ducto y la pieza con mortero de alta resistencia o mortero de alta resistencia de baja contracción ('grout') y colocar una malla para reforzar la superficie del muro, recibir el aplanado y evitar que aparezcan fisuras. En caso de que se requieran varios ductos se pueden sustituir las piezas macizas por piezas doble hueco con resistencia similar y de material igual, arcilla o concreto, para alojar los ductos de instalaciones, cuyo diámetro no deberá exceder de $1/4$ del ancho de la celda (10.2.4.8.2).

En las piezas doble hueco donde se coloquen instalaciones, los espacios entre tubo y pieza deberán ser rellenadas con mortero. Esto relleno tiene la finalidad de igualar, en lo posible, la capacidad de la pieza hueca con la de una pieza maciza (fig. 10.2.4.4.4).

10.2.4.8 Tuberías y ductos en piezas multiperforadas

10.2.4.8.1 No se permite ranurar el muro para alojar ductos o tuberías. Estos se deberán instalar en el interior de celdas de piezas huecas rellenas de mortero o concreto (fig. 10.2.4.6.5).

10.2.4.8.2 El diámetro del ducto no deberá ser mayor que una cuarta parte del ancho de la celda de la pieza.

Comentario:

En piezas multiperforadas, ya sean de arcilla o de concreto, no se permite hacer ranuras debido a que se altera el comportamiento mecánico de las piezas. Para alojar las instalaciones en muros de piezas multiperforadas se deberán utilizar piezas doble hueco y rellenar el espacio entre el ducto y la pieza con mortero. La limitación en el diámetro de la tubería y posterior relleno de mortero tiene la finalidad de garantizar que no se deteriore la resistencia del muro.

10.2.4.9 *Tuberías en muros reforzados interiormente*

10.2.4.9.1 En muros con piezas huecas no se podrán alojar tubos o ductos en celdas con refuerzo.

10.2.4.9.2 Las celdas con tubos y ductos deberán ser rellenas con concreto o mortero de relleno (véase 2.5.5).

10.2.4.10 *Construcción de muros*

10.2.4.10.1 En la construcción de muros, además de los requisitos de las secciones anteriores, se cumplirán los requisitos a) a e) siguientes:

- a) Todos los muros que se toquen o crucen deberán anclarse o ligarse entre sí (6.2.1, 7.1.6.3 y 7.1.10), salvo que se tomen precauciones que garanticen su estabilidad y buen funcionamiento
- b) Las superficies de las juntas de construcción deberán estar limpias y rugosas. Se deberán humedecer en caso de usar piezas de arcilla
- c) Los muros de fachada que reciban recubrimiento de materiales pétreos naturales o artificiales deberán llevar elementos suficientes de liga y anclaje para soportar dichos recubrimientos
- d) Durante la construcción de todo muro se tomarán las precauciones necesarias para garantizar su estabilidad en el proceso de la obra, tomando en cuenta posibles empujes horizontales, incluso viento y sismo
- e) En muros reforzados con mallas de alambre soldado y recubrimiento de mortero, la superficie deberá estar saturada y libre de materiales que afecten la adherencia del mortero.

10.2.4.11 *Tolerancias*

- a) En ningún punto, el eje de un muro que tenga función estructural distará más de 20 mm de la posición indicada en los planos
- b) Para efectos de inspección se aceptarán los muros que cumplan con las tolerancias constructivas que se especifican en la tabla 10.2.4.11.

Tabla 10.2.4.11 – Tolerancias en las dimensiones reales de muros^[3]

Parámetro	Muros que recibirán recubrimiento	Muros aparentes
a) Nivel de enrase	±5 mm	±5 mm
b) Desplomo del muro	0.004 h y no mayor que 15 mm	0.004 h y no mayor que 10 mm
c) Desviación de la vertical en la cara de alineación Desviación de la vertical en piezas sobresalientes en la cara posterior a la alineación	0.004 h , y no mayor que 15 mm ±5 mm	0.004 h , y no mayor que 15 mm ±5 mm
d) Desalineación horizontal del eje del muro (de la cara del proyecto)	0.004 h , y no mayor que 20 mm	0.004 h , y no mayor que 10 mm en 3 m
e) Longitud del muro y posición de los extremos	±20 mm	±10 mm
f) Desviación del nivel de la junta horizontal	0.002 L ^[1] y no mayor que 10 mm	0.004 L ^[1] y no mayor que 5 mm en 3 m
g) Dimensiones de aberturas para puertas y ventanas	±10 mm muro estructural ±20 mm muro no estructural	±10 mm muro estructural ±10 mm muro no estructural
h) Descuadre de aberturas para puertas y ventanas	0.003 L ^[1] o 0.003 h ^[2] según aplique y no mayor que 3 mm	0.003 L ^[1] o 0.003 h ^[2] según aplique y no mayor que 3 mm

^[1] **L** es la longitud del muro o del vano

^[2] **h** es la altura del muro, la altura del vano o la distancia entre puntos de máxima desviación

^[3] En la fig. 10.2.4.11 se ejemplifican las tolerancias en la geometría de los muros.

10.2.4.12 Muros no estructurales

10.2.4.12.1 Los muros divisorios no estructurales deberán indicarse en planos y detallarse de modo de garantizar su estabilidad lateral y que no contribuyan a la rigidez lateral ni a resistir fuerzas verticales o laterales (fig. 8.2.3).

10.2.4.13 Acabados de muros

10.2.4.13.1 En los pasillos y escaleras que formen parte de la ruta de evacuación por emergencia de una edificación, la fijación de los acabados deberá detallarse y construirse para evitar su desprendimiento y el bloqueo de la circulación.

Comentario:

Para mayor información sobre herramientas, medios auxiliares, procesos constructivos de los muros consultar la norma NMX-C-529-ONNCCE-2020 Procedimientos Constructivos para Muros de Mampostería- Requisitos.

10.3 Construcción de mampostería de piedras naturales

10.3.1 Piedras

10.3.1.1 Las piedras que se emplean deberán estar limpias y sin rajaduras.

10.3.1.2 No se emplearán piedras que presentan forma de laja o con cantos rodados.

10.3.1.3 Las piedras se mojarán antes de usarlas.

10.3.2 Mortero

10.3.2.1 El mortero se elaborará con la cantidad de agua mínima necesaria para obtener una pasta manejable. Para el mezclado y remezclado se respetarán los requisitos en 10.2.3.2.5.

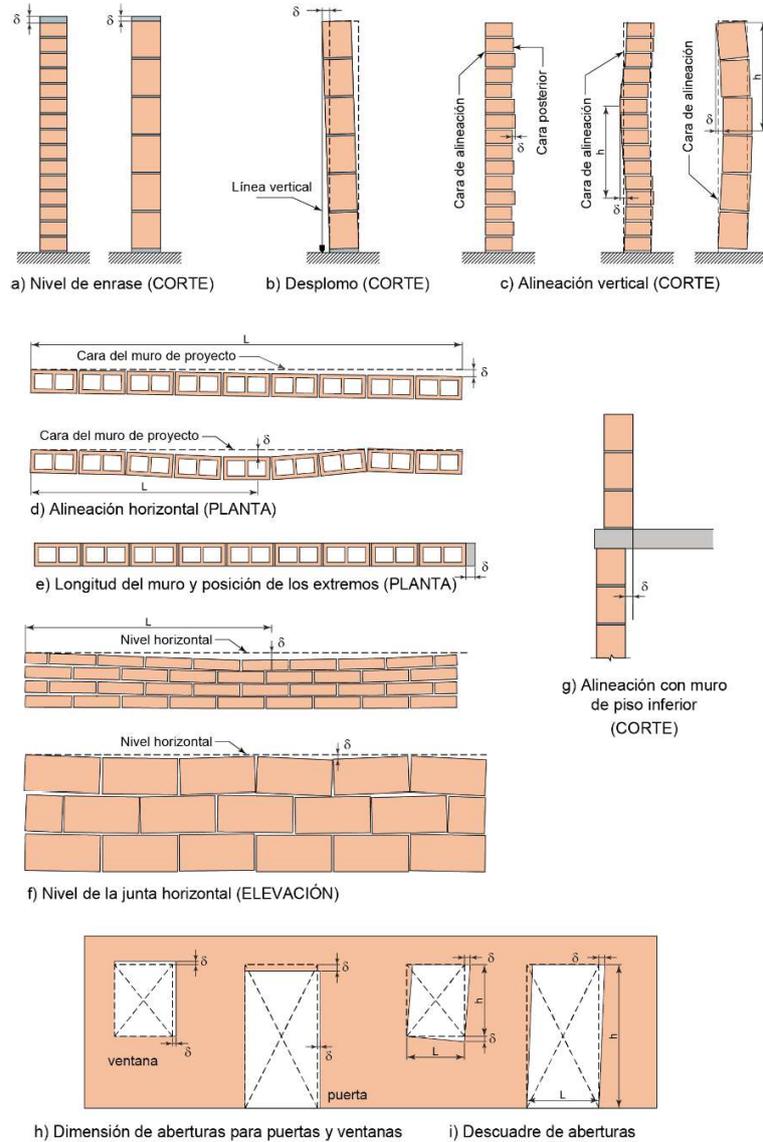


Figura 10.2.4.11 – Tolerancias constructivas

10.3.3 Procedimiento constructivo

10.3.3.1 La mampostería se desplantará sobre una plantilla de mortero o concreto que permita obtener una superficie plana.

10.3.3.2 En las primeras hiladas se colocarán las piedras de mayores dimensiones y las mejores caras de las piedras se aprovecharán para los paramentos.

10.3.3.3 Cuando las piedras sean de origen sedimentario se colocarán de manera que los lechos de estratificación queden normales a la dirección de las compresiones.

10.3.3.4 Las piedras deberán humedecerse antes de colocarlas y se acomodarán de manera de llenar lo mejor posible el hueco formado por las otras piedras.

10.3.3.5 Los vacíos se rellenarán completamente con piedras pequeñas y mortero.

10.3.3.6 Deberán usarse piedras a tizón (que cubran el espesor del muro), que ocuparán por lo menos una quinta parte del área del paramento y estarán distribuidas en forma regular.

10.3.3.7 No deberán existir planos definidos de falla transversales al elemento.

10.3.3.8 Se respetarán, además, los requisitos de 10.2.4.10 que sean aplicables.

10.4 Construcción de cimentaciones

10.4.1 Las cimentaciones se ejecutarán según lo especificado en el Capítulo 7 de la NTC-Cimentaciones.

10.4.2 Si la cimentación es de concreto, se cumplirá con lo indicado en el Capítulo 9 de la NTC-Concreto.

10.4.3 Si la cimentación es de mampostería de piedras naturales se seguirá lo señalado en 10.3.3 de esta norma.

Espacio en blanco dejado de manera intencional

11. INSPECCIÓN Y CONTROL DE OBRA

11.1 Inspección

11.1.1 Antes de la construcción de muros de mampostería

11.1.1.1 Se deberá verificar que la cimentación se haya construido con las tolerancias señaladas en la NTC-Concreto, si la cimentación es de concreto, y con las especificaciones de la sección 9.4 de esta norma, si la cimentación es de mampostería.

11.1.1.2 Se revisará que el refuerzo longitudinal de castillos, o el vertical de muros, esté anclado y en la posición señalada en los planos estructurales. Se hará énfasis en que se cumpla con 4.2.6 y 4.2.7.

11.1.2 Durante la construcción

Se revisará que:

- a) Las piezas sean del tipo y tengan la calidad especificados en los planos de construcción
- b) Las piezas artesanales de arcilla estén sumergidas en agua al menos 2 h antes de su colocación, y las piezas extruidas de arcilla 5 min y que las piezas no alteren el mortero al colocarlas ya sea aportando o absorbiendo agua (ver 10.2.3.1.5.b)
- c) Las piezas de concreto estén secas y que se rocíen con agua justo antes de su colocación
- d) Las piezas estén libres de polvo, grasa, aceite o cualquier otra sustancia o elemento que reduzca la adherencia o dificulte su colocación
- e) Las barras de refuerzo sean del tipo, diámetro y grado indicado en los planos de construcción
- f) El aparejo sea cuatrapeado
- g) Los bordes verticales de muros confinados con castillos externos estén dentados o que cuenten con conectores o refuerzo horizontal
- h) El refuerzo longitudinal de castillos o el interior del muro esté libre de polvo, grasa o cualquier otra sustancia que afecte la adherencia, y que su posición de diseño esté asegurada durante el colado
- i) El refuerzo horizontal sea continuo en el muro, sin traslapes, y anclado en los extremos con ganchos a 90 grados colocados en el plano del muro
- j) El mortero no se fabrique en contacto con el suelo o sin control de la dosificación
- k) El relleno de los huecos verticales en piezas huecas se realice a la altura máxima especificada en los planos
- l) Las juntas verticales y horizontales estén totalmente rellenas de mortero
- m) Si se usan tabiques multiperforados, que el mortero penetre en las perforaciones la distancia indicada en los planos, pero no menos de 10 mm
- n) El espesor de las juntas no exceda el valor indicado en los planos de construcción
- o) El desplomo, alineación, longitudes y descuadres de los muro deberán cumplir con las tolerancias de 10.2.4.11
- p) En castillos internos, el concreto o mortero de relleno haya penetrado completamente, sin dejar huecos
- q) En muros reforzados con malla soldada de alambre, los conectores de anclaje estén firmemente instalados en la mampostería y concreto, con la separación señalada en los planos de construcción
- r) Los muros transversales de carga que lleguen a tope estén conectados con el muro ortogonal
- s) Las aberturas en muros, estén reforzadas o confinadas en sus bordes
- t) Los pretilas cuenten con castillos y dalas o refuerzo interior.

11.2 Control de obra

11.2.1 Alcance

11.2.1.1 Las disposiciones de control de obra son aplicables a cada edificación y a cada empresa constructora que participe en la obra.

11.2.2 Muestreo y ensayos

11.2.2.1 Mortero para pegar piezas

11.2.2.1.1 Se tomarán como mínimo seis muestras por cada lote de 3 000 m² o fracción de muro construido. En casos de edificios que no formen parte de conjuntos, al menos dos muestras serán de la planta baja en edificaciones de hasta tres niveles, y de la planta baja y primer entrespacio en edificios de más niveles.

11.2.2.1.2 Las muestras se tomarán durante la construcción del lote indicado. Cada muestra estará compuesta de tres probetas cúbicas. La elaboración, curado, ensayo y determinación de la resistencia de las probetas se hará según lo especificado en la norma NMX-C-061-ONNCCE-2015, pero utilizando la arena usada en la obra. Las muestras se ensayarán a los 28 días. Los ensayos se realizarán en laboratorios acreditados por la entidad de acreditación reconocida en los términos de la Ley de Infraestructura de la Calidad.

Comentario:

Dado que un lote de 3000 m² equivale aproximadamente a 100 m³ de mortero para el junteo de tabiques, siendo esta una cantidad considerable de mortero, se recomienda considerar como fracción de muro construido las cantidades de mortero que establece la norma NMX-C-486-ONNCCE-2014 que es una muestra por cada revoltura en donde se usen 500 kg de cementantes para mortero hecho en obra, 7 m³ de mortero si es premezclado o 20 t de mortero si es predosificado seco.

11.2.2.2 Mortero de relleno y concreto de relleno

11.2.2.2.1 Se tomarán como mínimo tres muestras por cada lote de 3 000 m² o fracción de muro construido. En casos de edificios que no formen parte de conjuntos, al menos una muestra será de la planta baja en edificaciones de hasta tres niveles, y de la planta baja y primer entrespacio en edificios de más niveles.

Comentario:

Ver el comentario de 11.2.2.1.2, válido para mortero de relleno.

11.2.2.2.2 Para el control de la resistencia del mortero en obra, se utilizará la resistencia media conforme a lo indicado en la norma NMX-C-486-ONNCCE-2014.

11.2.2.2.3 Para el control en obra de las propiedades del mortero en estado fresco tales como porcentaje de retención de agua, fluidez y revenimiento se aplicará lo indicado en la norma NMX-C-486-ONNCCE-2014.

11.2.2.2.4 Las muestras se tomarán durante la construcción del lote indicado. Cada muestra estará compuesta de tres probetas cúbicas en el caso de morteros, y de tres cilindros en el caso de concretos de relleno. La elaboración, curado, ensayo y determinación de la resistencia de las probetas de mortero se hará según lo especificado en la norma NMX-C-061-ONNCCE-2015. La elaboración, curado y ensayo de cilindros de concreto de relleno se hará de acuerdo con las normas NMX-C-159-ONNCCE-2016 y NMX-C-083-ONNCCE-2014. Las muestras se ensayarán a los 28 días. Los ensayos se realizarán en laboratorios acreditados por la entidad de acreditación reconocida en los términos de la Ley de Infraestructura de la Calidad.

11.2.2.3 Piezas

11.2.2.3.1 Para el muestreo de piezas se tomará, como mínimo, una muestra por cada lote de 3 000 m² o fracción de muro construido con cada tipo de pieza.

11.2.2.3.2 Cada muestra estará compuesta por 5 piezas de mampostería.

11.2.2.3.3 El ensayo y determinación de la resistencia de las piezas se hará según lo especificado en la norma NMX-C-036-ONNCCE-2013.

11.2.2.3.4 Las piezas se ensayarán con la edad a la que llegan a la obra más el tiempo que indica la norma mexicana para su preparación y ensayo.

11.2.2.3.5 Los ensayos se realizarán en laboratorios acreditados por la entidad de acreditación reconocida en los términos de la Ley de Infraestructura de la Calidad.

11.2.2.4 Mampostería

11.2.2.4.1 Para estructuras del Subgrupo B1 se deberán de realizar al inicio de la obra nueve muestras por cada lote de 3000 m² o fracción de muro construido con cada tipo de pieza.

11.2.2.4.2 Las probetas se elaborarán con los materiales, mortero y piezas, usados en la construcción de los muros.

11.2.2.4.3 Cada muestra estará compuesta por una pila y un murete.

11.2.2.4.4 Se aceptará elaborar las probetas en laboratorio usando las piezas, la mezcla en seco del mortero y la cantidad de agua empleada en la construcción.

11.2.2.4.5 La elaboración, curado, transporte, ensaye y determinación de las resistencias de las probetas se hará según lo indicado en las normas NMX-C-464- ONNCCE-2010.

11.2.2.4.6 Las muestras se ensayarán a los 28 días de haberse fabricado.

11.2.2.4.7 Los ensayes se realizarán en laboratorios acreditados por la entidad de acreditación reconocida en los términos de la Ley de Infraestructura de la Calidad.

11.2.2.4.8 Para estructuras del Subgrupo B2 o Tipo II será suficiente con realizar el muestreo de piezas (10.2.2.3) y mortero (10.2.2.1 y 10.2.2.2) y verificar que cumplan con los valores promedio y de diseño establecidos en el proyecto.

Comentario:

Es importante corroborar los valores de diseño de la mampostería considerados en el proyecto al inicio de la obra ya que en la mayoría de los casos estos se obtienen de especificaciones de los fabricantes de piezas y no siempre se tienen las pruebas que realizó el fabricante en un laboratorio acreditado.

Para las estructuras del grupo B1 se solicita que se hagan pilas y muretes para comprobar los valores de diseño de la mampostería considerados en el diseño.

Las estructuras se clasifican dentro del grupo B1 de acuerdo con el Reglamento, por su altura y área construida, a aquellas con 30 m y 6,000 m² para zona I y II y más de 15 m y 3,000 m² para zona III.

Para las estructuras del grupo B2 de acuerdo con el Reglamento se considera suficiente obtener los valores de diseño de la mampostería mediante ensayes de piezas y mortero para verificar la resistencia a compresión considerada en el proyecto.

Para estructuras clasificadas como Tipo II, según estas normas, se admite no hacer ensayes, sin embargo deben tomarse valores conservadores de la resistencia de diseño y cumplir con la calidad del procedimiento constructivo.

11.2.2.5 Penetración del mortero en piezas multiperforadas

11.2.2.5.1 Se aceptará la aplicación de cualquiera de los procedimientos siguientes:

- Penetración del mortero. Se determinará la penetración del mortero retirando una pieza multiperforada en un muro de planta baja si el edificio tiene hasta tres niveles, o de planta baja y primer entrespacio si el edificio tiene más niveles
- Consumo de mortero. Se controlará el consumo de mortero que penetra en las perforaciones de las piezas, adicional al colocado en las juntas horizontal y vertical, en todos los muros de planta baja, si el edificio tiene hasta tres niveles, o de planta baja y primer entrespacio si el edificio tiene más niveles.

11.2.3 Criterio de aceptación

11.2.3.1 De morteros y mampostería

11.2.3.1.1 El criterio de aceptación se basa en que la resistencia de diseño, especificada en los planos de construcción, sea alcanzada por lo menos por el 98 por ciento de las probetas. Es decir, se deberá cumplir que

$$z' \geq \frac{\bar{z}}{1 + 2.5c_z} \quad (11.2.3.1.1)$$

donde:

- z' resistencia de diseño de interés (f'_j del mortero o del mortero o concreto de relleno, f'_m y v'_m de la mampostería);
- \bar{z} resistencias medias de las muestras obtenidas según 11.2.2; y
- c_z coeficiente de variación de la resistencia de interés de las muestras, que en ningún caso será menor que 0.20 para la resistencia a compresión de los morteros o de los concretos de relleno y que lo indicado en las secciones 2.8.1.3 y 2.8.2.4 para pilas y muretes, respectivamente.

11.2.3.2 *De la penetración del mortero en piezas multiperforadas*

11.2.3.2.1 Si se opta por 11.2.2.5.a, la penetración media del mortero, tanto en la junta superior como en la inferior de la pieza, será de 10 mm, a menos que los planos de construcción especifiquen otros valores mínimos.

11.2.3.2.2 Se aceptará si, aplicando 11.2.2.5.b, el consumo de mortero varía entre 0.8 y 1.2 veces el consumo indicado en los planos de construcción.

Espacio en blanco dejado de manera intencional

12. ANÁLISIS, DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE ESTRUCTURAS TIPO II

12.1 Consideraciones generales

12.1.1 Para el análisis y diseño de estructuras Tipo II (véase 1.6), se permite el uso de valores predeterminados de las propiedades de los materiales y los procedimientos de análisis y diseño simplificados a los que se hace referencia en este capítulo.

12.1.2 Se podrán utilizar los métodos más generales para estructuras Tipo I contenidas en los capítulos 1 al 11 en el diseño de estructuras Tipo II.

12.1.3 En la tabla 12.1.3 se muestran las especificaciones de este capítulo que deben cumplirse para estructuras Tipo I y las especificaciones alternativas que se aceptan para el diseño de estructuras Tipo II.

Tabla 12.1.3 – Disposiciones normativas para estructuras Tipo I (disposiciones generales) y su correspondencia para estructuras Tipo II

	Disposiciones generales	Disposiciones para estructuras Tipo II
Consideraciones generales	Cap. 1	12.1 (adicionalmente)
Materiales	Cap. 2	
Mampostería	2.8	
Resistencia a compresión	2.8.1	12.2.3.1
Resistencia a compresión diagonal	2.8.2	12.2.3.2
Especificaciones generales de análisis y diseño	Cap. 3	12.3
Revisión del cortante resistente de entrepiso	4.1.10	12.3.1.2
Métodos de análisis	3.1	12.3.2
Análisis por cargas laterales	3.1.3	12.3.2.4
Mampostería confinada	Cap. 6	12.4
Alcance	6.1	No aplica
Espesor y relación altura a espesor de los muros	6.1.3	12.4.1
Castillos y dalas	6.2	12.4.2
Dimensiones de castillos	6.2.1.1.b	12.4.2.1
Dimensiones de dalas	6.2.1.2.b	12.4.2.2
Refuerzo transversal	6.2.3.3	12.4.2.3
Detallado de refuerzo de castillos y dalas	6.2.4.2	No Aplica
Muros con aberturas	6.2.6.1	12.4.2.4
Resistencia a cargas laterales	6.5	12.4.3
Mampostería reforzada interiormente	Cap. 7	12.5
Espesor de los muros	7.1.2	12.5.1
Muros con aberturas	7.1.11	12.5.3
Resistencia a cargas laterales	7.4	12.5.4
Construcción	Cap. 10	12.6
Inspección y control de obra	Cap. 11	12.7

Comentario:

En la versión 2017 de la NTC-Mampostería se creó una categoría de estructuras de mampostería para aquellas de tamaño reducido y que pertenecieran al Subgrupo B2 o Grupo C, con la intención de permitir el uso de criterios de análisis, diseño y construcción más simples y conservadores. En la versión 2023 se decidió renombrar la categoría como Tipo II y reunir los criterios simplificados de análisis y diseño en este capítulo.

12.2 Materiales

12.2.1 Los materiales para estructuras Tipo II deberán cumplir con las disposiciones del Capítulo 2.

12.2.2 La resistencia de diseño a compresión y la resistencia de diseño a compresión diagonal de la mampostería podrán determinarse de acuerdo con 12.2.3.1 y 12.2.3.2, respectivamente.

12.2.3 Mampostería

12.2.3.1 Resistencia de diseño a compresión

12.2.3.1.1 Para el diseño podrán emplearse los valores de f'_m que se presentan en la tabla 12.2.3.1.2, en donde el mortero debe satisfacer los requisitos de 2.5.

12.2.3.1.2 Para hacer uso de los valores de f'_m dados en la tabla 12.2.3.1.2, se deberán cumplir con a), b) y c) de 2.8.1.4.3. Para otros casos se deberá determinar la resistencia de acuerdo con 2.8.1.3.

Tabla 12.2.3.1.2 – Resistencia de diseño a compresión de la mampostería, f'_m , para algunos tipos de piezas, sobre área bruta

Tipo de pieza	f'_m , MPa (kg/cm ²)
Tabique macizo de arcilla artesanal	1.5 (15)
Tabique de arcilla extruido	2.0 (20)
Bloque de concreto	1.5 (15)
Tabique de concreto (tabicón)	1.5 (15)

12.2.3.2 Resistencia de diseño a compresión diagonal

12.2.3.2.1 Para el diseño de estructuras Tipo II se podrán emplear los valores de v'_m que se presentan en la tabla 12.2.3.2.2, en donde el mortero debe satisfacer 2.5.

12.2.3.2.2 Para hacer uso los valores de v'_m de la tabla 12.2.3.2.2 se deberá cumplir con a), b) y c) de 2.8.1.4.3. Para otros casos se deberá determinar v'_m de acuerdo con 2.8.2.4.

Tabla 12.2.3.2.2 – Resistencia de diseño a compresión diagonal, v'_m , para algunos tipos de mampostería, sobre área bruta

Pieza	v'_m , MPa (kg/cm ²)
Tabique macizo de arcilla artesanal	0.2 (2)
Tabique de arcilla extruido	0.2 (2)
Bloque de concreto	0.2 (2)
Tabique de concreto (tabicón)	0.2 (2)

Comentario:

En las tablas 12.2.3.1.2 y 12.2.3.2.2 se dan valores indicativos de la resistencia de diseño a compresión y a compresión diagonal de la mampostería para las piezas más comunes, respectivamente. Los valores son aplicables al diseño de estructuras Tipo II para las cuales no es necesario conocer experimentalmente la resistencia de las piezas. Los valores de la tabla son conservadores para ser utilizados en este tipo de estructuras. Para casos no cubiertos en esa tabla, o cuando se quiera obtener una determinación más precisa de la resistencia, es necesario recurrir a ensayos de los materiales específicos que se vayan a emplear.

12.3 Especificaciones generales de análisis y diseño

12.3.1 Consideraciones generales

12.3.1.1 En el diseño de estructuras Tipo II se deberá cumplir con lo especificado en 4.1.

12.3.1.2 Cuando se use el método simplificado de análisis por cargas laterales que se describe en 12.3.2.4, no será necesario hacer la revisión descrita en 4.1.10.

12.3.2 Métodos de análisis

12.3.2.1 Se determinarán las fuerzas y momentos de diseño por cargas verticales de acuerdo 3.1.2.2.

12.3.2.2 Las fuerzas y momentos de diseño debidos a cargas laterales se calcularán de acuerdo con 12.3.2.4.

12.3.2.3 Los efectos de temperatura se determinarán mediante lo dispuesto en 3.1.4.

12.3.2.4 Método simplificado de análisis por cargas laterales

12.3.2.4.1 Para determinar las fuerzas y momentos internos que actúan en los muros, las estructuras Tipo II se analizarán con el método simplificado cuyos requisitos se encuentran en 12.3.2.4.2. En caso de que la estructura no cumpla con los requisitos 12.3.2.4.2, el análisis se realizará siguiendo los requisitos de 3.1.3.

12.3.2.4.2 Será admisible considerar que la fuerza cortante que toma cada muro o segmento es proporcional a su área transversal, ignorar los efectos de torsión, de momento de volteo y de flexibilidad de diafragma, y emplear el método estático de la NTC-Sismo para la determinación de las fuerzas sísmicas, cuando se cumplan simultáneamente los requisitos a) a j) siguientes:

- En cada planta, incluyendo a la apoyada en la cimentación, al menos 75 por ciento de las cargas verticales estén soportadas por muros continuos en elevación desde la cimentación y ligados entre sí mediante losas monolíticas u otros sistemas de piso suficientemente resistentes y rígidos al corte
- Dichos muros tendrán distribución con respecto a dos ejes ortogonales tal que el valor absoluto de la excentricidad torsional calculada estáticamente, e_s , no exceda 10 por ciento de la dimensión en planta del entrepiso medida paralelamente a dicha excentricidad, B

La excentricidad torsional podrá estimarse como el cociente del valor absoluto de la suma algebraica del momento de las áreas efectivas de los muros, A_E , con respecto al centro de cortante del entrepiso, entre el área efectiva total de los muros orientados en la dirección de análisis (fig. 12.3.2.4.2.a)

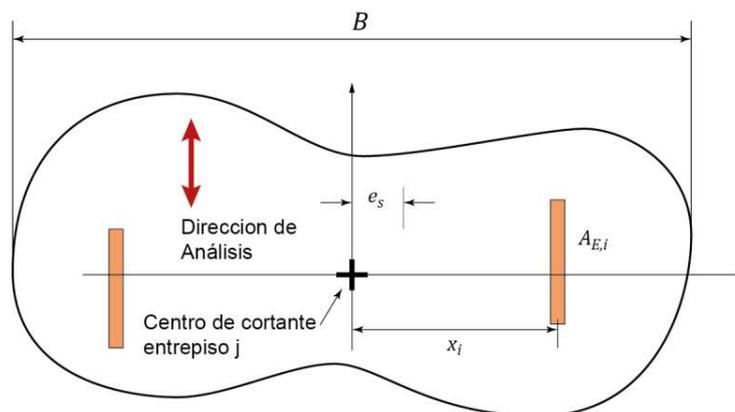


Figura 12.3.2.4.2.a – Excentricidad estática calculada por el método simplificado para estructuras Tipo II

donde A_E es el producto del área bruta de la sección transversal del muro, A_T , por el factor F_{AE} , que está dado por la ec. 12.3.2.4.2.a.

$$F_{AE} = \left(1.33 \frac{L}{H}\right)^2 \leq 1 \quad (12.3.2.4.2.a)$$

- En todos los pisos, y en cada dirección de análisis, se colocarán como mínimo dos muros de carga (o sistemas de muros) perimetrales paralelos, cada uno con una longitud total al menos igual a la mitad de la dimensión en planta del edificio en la dirección de análisis (fig. 12.3.2.4.2.b)

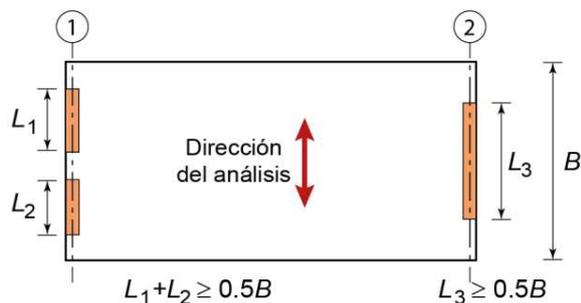
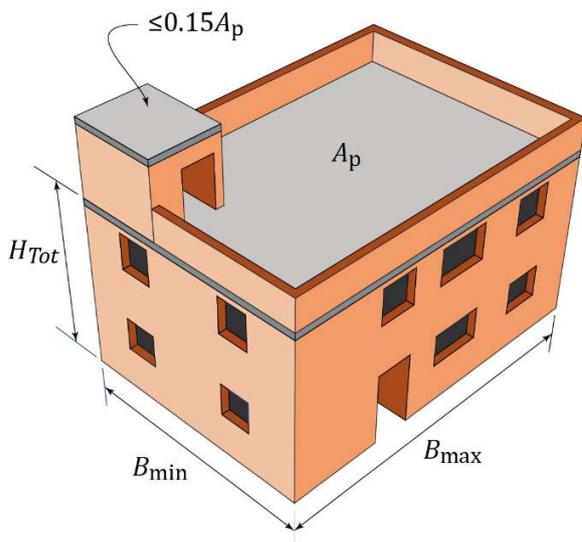


Figura 12.3.2.4.2.b – Requisito sobre la longitud de muros de carga perimetrales paralelos (se muestra sólo una dirección por claridad)

- d) La relación entre la dimensión mayor y menor de la planta no debe exceder de 2.0 (fig. 12.3.2.4.2.c)
- e) La altura de la estructura entre la dimensión menor en planta no excederá 1.5
- f) La altura de la estructura, H_{Tot} , no es mayor que 5.5 m, en no más de dos niveles a partir del nivel del terreno y sin tomar en cuenta los pretilos de azotea, contando la planta baja como nivel uno y la planta alta como nivel dos
- g) Si, además de los dos niveles existe un apéndice, como un cubo de escaleras o un cuarto en la azotea, el área de dicho apéndice no será mayor que 15 por ciento del área de la planta alta (fig. 12.3.2.4.2.c)



- Muros de carga desde cimentación;
- Distribución uniforme de muros en ambas direcciones;
- Excentricidad $e_s \leq 0.1B$;
- Muros perimetrales $\sum Li \geq 0.5B$;
- Relaciones de aspecto:
 - $B_{max}/B_{min} \leq 2$; y
 - $H_{Tot}/B_{min} \leq 1.5$;
- $H_{Tot} \leq 5.5$ m (sin considerar pretil);
- Máximo dos niveles (sin apéndices);
- Área total ≤ 250 m² y claros ≤ 4 m ;
- Muros de carga ($\sum P \geq 75\%$ vertical)
 - Confinados; o
 - Refuerzo interior.

Figura 12.3.2.4.2.c – Geometría de una estructura Tipo II permitida para ser analizada con el método simplificado

- h) La edificación estará estructurada por muros formando áreas internas aproximadamente rectangulares en planta, cuyo lado corto tenga claros o separación libre de los muros de carga de no más de 4 m
- i) La fuerza cortante total en la dirección de análisis y en cada entrespaño, $V_{u,j}$, se repartirá entre los elementos resistentes en forma proporcional a su área efectiva, $A_{E,i}$, de acuerdo con la ec. 12.3.2.4.2.b

$$V_{u,i} = V_{u,j} \times \frac{A_{E,i}}{\sum A_{E,i}} \tag{12.3.2.4.2.b}$$

- j) La revisión de la resistencia a fuerza cortante de cada muro se hará de acuerdo con 12.4.3 si la estructura es de mampostería confinada y con 12.5.4 si es de mampostería reforzada interiormente.

Comentario:

En la versión 2023 de la NTC-Mampostería se incluye el método simplificado para análisis ante cargas laterales de estructuras Tipo II. Este método es aplicable a estructuras en que la rigidez y resistencia a cargas laterales son proporcionadas por muros de carga. Se limita a edificios de baja altura, con losas continuas en todos los pisos y en los que existen muros largos paralelos en los extremos, que controlan las posibles torsiones (Meli, 1998). Se desprecian así, los efectos de torsión, los efectos bidireccionales, los momentos de volteo y los desplazamientos.

El método tiene implícita una hipótesis elástica en rigidez y una elastoplástica en resistencia. Según la hipótesis elástica, la distribución de fuerzas cortantes se realiza en función de la rigidez lateral relativa de los elementos. La rigidez lateral de los elementos se supone proporcional al área transversal A_T de los muros, aceptando que dominan las deformaciones por cortante en ellos. Esto es aproximadamente cierto en muros largos ($H/L < 0.5$). Para el caso de muros cortos ($H/L > 1.33$) la rigidez lateral está dominada por flexión, por lo que es necesaria una corrección de la rigidez lateral mediante el uso del factor de área efectiva F_{AE} .

La hipótesis elastoplástica implica que algunos muros entran en comportamiento no lineal y mantienen su capacidad de carga mientras se alcanza la resistencia de los demás, de modo que todos los muros puedan desarrollar simultáneamente su capacidad resistente antes del colapso (Meli, 1994).

12.3.3 Detallado del refuerzo

12.3.3.1 El detallado del refuerzo de las estructuras Tipo II deberá cumplir con 4.2.

12.4 Mampostería confinada

12.4.1 El espesor de los muros de mampostería, t , no será menor que 100. La relación altura libre a espesor de la mampostería del muro, H/t , no excederá 25.

12.4.2 Castillos y dalas

12.4.2.1 Los castillos tendrán como dimensión mínima 100 mm en la dirección perpendicular al plano del muro, b_c y de 150 mm en la dimensión paralela al muro, h_c . Si el castillo es compartido por dos muros ortogonales, la dimensión de 150 mm sólo será necesaria en una dirección. Estas dimensiones no serán menores que t .

12.4.2.2 Las dimensiones mínimas de la dala serán de 100 mm de ancho, b_c y 150 mm de peralte, h_c , a menos que el muro esté ligado a una losa de concreto reforzado con un peralte mínimo de 100 mm, en cuyo caso la dala podrá tener el mismo peralte de la losa. En caso de dalas externas, b_c no será menor que t .

12.4.2.3 Se suministrará refuerzo transversal en los castillos y dalas con estribos hechos con alambroón del No. 2 (6.4 mm de diámetro) y esfuerzo especificado de fluencia $f_y = 210$ MPa (2100 kg/cm²), o bien un refuerzo que cumpla con 6.2.3.3. La separación de los estribos, s , no excederá de $1.5t$ ni de 200 mm.

12.4.2.4 Se colocarán elementos de confinamiento con las mismas características que las dalas y castillos en el perímetro de toda abertura cuyas dimensiones, en el sentido horizontal o vertical, excedan de 600 mm (fig. C6.2.6.4).

12.4.3 Resistencia a cargas laterales**12.4.3.1 Consideraciones generales**

12.4.3.1.1 La resistencia a cargas laterales, V_R , será proporcionada por la mampostería, V_{mR} , y, si se emplea, por el acero de refuerzo horizontal o por mallas de alambre soldado, V_{sR} , de acuerdo con la ec. 12.4.3.1.1.

$$V_R = V_{mR} + V_{sR} \quad (12.4.3.1.1)$$

12.4.3.1.2 La fuerza resistente, V_{mR} , se calculará de acuerdo con 12.4.3.2 y V_{sR} de acuerdo con 12.4.3.3, en las cuales se tomará a $F_R = 0.7$.

12.4.3.1.3 Cuando la carga vertical que actúe sobre el muro sea de tensión se aceptará que el acero de refuerzo horizontal o mallas de alambre soldado deberá resistir la totalidad de la carga lateral.

12.4.3.1.4 No se considerará incremento alguno de la fuerza cortante resistente por efecto de las dalas, refuerzo vertical interior ni castillos internos de muros.

12.4.3.2 Fuerza cortante resistida por la mampostería

12.4.3.2.1 La fuerza cortante resistente de diseño, V_{mR} , se determinará con la ec. 12.4.3.2.1:

$$V_{mR} = F_R(0.5v'_m A_T + 0.3P) \leq 1.5F_R v'_m A_T \quad (12.4.3.2.1)$$

donde $A_T = t \times L$ y la longitud del muro L incluye a los castillos.

La carga vertical de compresión, P , que actúa sobre el muro deberá considerar las acciones permanentes, variables con intensidad instantánea, y accidentales que conduzcan al menor valor y sin multiplicar por el factor de carga.

Comentario:

La única diferencia de la ec. 12.4.3.2.1 con relación a la ec. 6.5.2.1 es que no aparece el factor f que toma en cuenta la relación de aspecto. Ese hecho, da lugar a que la ec. 12.4.3.2.1 subestime la resistencia de los muros largos, $H/L < 1$. Esta simplificación, permite que la resistencia sólo dependa del área transversal de los muros, que, en caso de que el espesor de los mismos sea constante, permite calcular la resistencia como una proporción de la longitud de los muros en la dirección de análisis.

12.4.3.3 Fuerza cortante resistida por el acero de refuerzo horizontal

12.4.3.3.1 Para el cálculo de la fuerza cortante resistida por el acero de refuerzo horizontal se deberán satisfacer 6.5.3.1, 6.5.3.2 y 6.5.3.3.

12.4.3.3.2 La fuerza cortante resistida por el acero de refuerzo horizontal se calculará con la ec. 12.4.3.3.2.a si las piezas son huecas y con la ec.12.4.3.3.2.b, si las piezas son macizas:

$$V_{sR} = 0.05F_R A_T \quad (V_{sR} = 0.5F_R A_T) \quad \text{si las piezas son huecas} \quad (12.4.3.3.2.a)$$

$$V_{sR} = 0.1F_R A_T \quad (V_{sR} = F_R A_T) \quad \text{si las piezas son macizas} \quad (12.4.3.3.2.b)$$

Comentario:

La ecuación simplificada para calcular la resistencia debida al refuerzo que se muestra en las ecuaciones 12.4.3.3.2.a y 12.4.3.3.2.b son el resultado de aplicar la ec. 6.5.3.4.1.a utilizando la resistencia a compresión de la mampostería que se indica en la Tabla 12.2.3.1.2, el valor de $\eta_s = 0.55$ que le corresponde de acuerdo a la ec. 6.5.3.4.1.g y un valor de $f_{an} = 0.56$ para piezas huecas. En ese caso la resistencia debida al refuerzo se estimó entre $0.46A_T$ y $0.62A_T$ tomando un valor intermedio de $0.5A_T$ (usando kg, cm y kg/cm^2). En el caso de piezas macizas se tomó $f_{an} = 1$, dando lugar a resistencias entre $0.825A_T$ y $1.1A_T$, tomando un valor intermedio de $1.0A_T$ (usando kg, cm y kg/cm^2).

Debido a que la resistencia a compresión de la mampostería se ha supuesto baja, la contribución máxima del refuerzo no depende de la cuantía de refuerzo sino de la capacidad máxima de la mampostería de transmitir las fuerzas que se desarrollan en el refuerzo: $0.1f'_m f_{an}$. Esto implica que, en general, no es necesario usar cuantías mayores a la mínima. Sin embargo, la cuantía de refuerzo nunca debe ser menor que la mínima requerida en 6.5.3.3.

12.4.3.4 Fuerza cortante resistida por mallas de acero soldado

12.4.3.4.1 Si se refuerza la estructura Tipo II con mallas de acero soldado se deberán satisfacer 6.5.4.1 y 6.5.4.2.

12.4.3.4.2 La fuerza cortante resistida por la malla se calculará como se indica en 12.4.3.3. En el cálculo, no se considerará contribución a la resistencia por el mortero.

12.5 Mampostería reforzada interiormente

12.5.1 El espesor de la mampostería de los muros, t , no será menor que 100 mm.

12.5.2 En ningún caso la relación altura libre a espesor de la mampostería del muro, H/t , excederá de 25.

12.5.3 Muros con aberturas

12.5.3.1 Se colocarán elementos de refuerzo vertical y horizontal en el perímetro de toda abertura cuya dimensión exceda 600 mm (fig. 7.1.11.1). Los elementos de refuerzo vertical y horizontal deberán satisfacer 7.1.11.

12.5.4 Resistencia a cargas laterales

12.5.4.1 Consideraciones generales

12.5.4.1.1 La resistencia a cargas laterales, V_R , será proporcionada por la mampostería, V_{mR} , y, si se emplea, por el refuerzo horizontal o por mallas de alambre soldado, V_{sR} , de acuerdo con la ec. 12.5.4.1.1:

$$V_R = V_{mR} + V_{sR} \quad (12.5.4.1.1)$$

12.5.4.1.2 La resistencia V_{mR} se calculará de acuerdo con 12.5.4.2 y V_{sR} con 12.5.4.3, en las cuales se tomará a $F_R = 0,7$.

12.5.4.1.3 No se considerará incremento alguno de la fuerza cortante resistente por efecto del refuerzo vertical interior de muros.

12.5.4.1.4 Cuando la carga vertical que actúe sobre el muro sea de tensión, el acero de refuerzo horizontal o malla de alambre soldado deberá resistir la totalidad de la carga lateral.

12.5.4.2 Fuerza cortante resistida por la mampostería

12.5.4.2.1 La fuerza cortante resistente de diseño, V_{mR} , se determinará con la ec. 12.5.4.2.1:

$$V_{mR} = F_R(0,5v'_m A_T + 0,3P) \leq 1,5F_R v'_m A_T \quad (12.5.4.2.1)$$

La carga vertical de compresión, P , que actúa sobre el muro deberá considerar las acciones permanentes, variables con intensidad instantánea, y accidentales que conduzcan al menor valor y sin multiplicar por el factor de carga.

12.5.4.3 Fuerza cortante resistida por el acero de refuerzo horizontal

12.5.4.3.1 Para el cálculo de la fuerza cortante resistida por el acero de refuerzo horizontal se deberán satisfacer 7.4.3.1, 7.4.3.2 y 7.4.3.4.

12.5.4.3.2 La fuerza cortante resistida por el acero de refuerzo horizontal se calculará con la ec. 12.5.4.3.2:

$$V_{sR} = 0,05F_R A_T \quad (V_{sR} = 0,5F_R A_T) \quad (12.5.4.3.2)$$

Comentario:

El resultado está en N, usando el área en mm², ya que está implícito un esfuerzo en MPa (o resultan kg si se usan cm² en la ecuación entre paréntesis); ver comentario de 12.4.3.3, considerando que aquí se trata de piezas huecas.

12.6 Construcción

12.6.1 En la construcción de estructuras Tipo II deberán cumplirse los requisitos del Capítulo 10.

12.7 Inspección y control de obra

12.7.1 En la inspección y control de obra de una estructura Tipo II se deberá cumplir con el Capítulo 11, con excepción de lo requerido en 11.2.

Espacio en blanco dejado de manera intencional

APÉNDICE A - CRITERIO DE ACEPTACIÓN DE SISTEMAS CONSTRUCTIVOS A BASE DE MAMPOSTERÍA DISEÑADOS POR SISMO**Notación**

H	altura no restringida del muro, mm (cm)
n	número de niveles
Q	factor de comportamiento sísmico
R	resistencia lateral de diseño calculada del espécimen con un factor de resistencia unitario, N (kg)
R_a	resistencia lateral aproximada del espécimen, N (kg)
$R_{máx}$	resistencia (carga lateral máxima) del espécimen medida en laboratorio, N (kg)
R_y	resistencia de fluencia del modelo elastoplástico equivalente, kN (kg)
$R_{\gamma máx}$	resistencia experimental obtenida de la envolvente a la distorsión máxima admisible dividida entre 2, kN (kg)
Δ	desplazamiento lateral aplicado en la parte superior del espécimen y medido a la mitad de la longitud del muro, mm (cm)
$\gamma_{máx}$	Distorsión límite de entrepiso
θ	distorsión
$\theta_{máx}$	distorsión a la resistencia del espécimen, medida experimentalmente.
θ_y	distorsión a la fluencia del modelo elastoplástico equivalente
θ_u	distorsión a la falla experimental o última, cuando la resistencia del muro es $0.8R_{máx}$
λ	factor de sobrerresistencia de las conexiones.

Espacio en blanco dejado de manera intencional

Terminología

Distorsión

Rotación del eje vertical del muro bajo carga lateral, con respecto a la vertical. Se puede obtener dividiendo el desplazamiento lateral aplicado a nivel de losa, y medido a la mitad de la longitud del muro, entre la altura del entrepiso.

Ductilidad

Cociente entre la distorsión a la resistencia del espécimen y la distorsión a la fluencia del modelo elastoplástico equivalente.

Especimen

Estructura probada en el laboratorio que representa el arreglo común del refuerzo y condiciones de borde.

Resistencia

Máxima capacidad de carga en un ciclo o para una distorsión determinada. Puede ser medida o calculada.

Rigidez de ciclo

Pendiente de la secante que une los puntos de máxima distorsión, en sentidos positivo y negativo, para un mismo ciclo.

Espacio en blanco dejado de manera intencional

A.1 Alcance

A.1.1 En este apéndice se establece el criterio de aceptación de sistemas constructivos a base de muros de mampostería que sean diseñados para resistir las fuerzas inducidas por los sismos. La aceptación se apoya en evidencia experimental de su desempeño, así como en análisis matemáticos.

A.1.2 El comportamiento del sistema constructivo evaluado deberá ser, al menos, igual al exhibido por la mampostería diseñada y construida según las modalidades de esta norma, y hecha con piezas macizas o huecas.

A.1.3 Se deberá establecer, mediante las pruebas de laboratorio de los especímenes, la resistencia a carga lateral, la capacidad de desplazamiento lateral, la ductilidad y la rigidez lateral.

A.1.4 El espécimen de prueba deberá mantener su integridad estructural y su capacidad de carga vertical a una distorsión al menos igual a $\gamma_{max}/2$.

A.2 Criterio de diseño de los especímenes

A.2.1 Antes de realizar las pruebas, se deberá contar con un proceso de diseño, en cuyo desarrollo se hayan incluido el comportamiento no lineal de los materiales, el efecto de conexiones y refuerzo, así como la influencia de las cargas cíclicas reversibles. Si el desarrollo del proceso requiere de pruebas preliminares, éstas no serán parte de las pruebas para aceptación objeto del Apéndice.

A.2.2 Los especímenes se diseñarán con este proceso de diseño. Se determinará la resistencia lateral calculada, R , a partir de las propiedades geométricas especificadas, de los esfuerzos de fluencia especificados del acero, de las resistencias de la mampostería especificadas y concreto (si aplica), de un análisis de compatibilidad de deformación y usando un factor de resistencia unitario.

A.2.3 Se diseñarán los especímenes de manera tal que la resistencia lateral asociada a la falla de la conexión más débil sea λ veces la resistencia lateral aproximada del espécimen, R_a . El término conexión se refiere, por ejemplo, a la unión entre muros transversales u oblicuos, a la unión del espécimen con la cimentación y con sistemas de piso o techo, y a la unión entre elementos que proporcionan resistencia, rigidez o confinamiento, como es el caso de castillos en la mampostería confinada. El valor mínimo del factor de sobrerresistencia de las conexiones, λ , será 1.3.

A.2.4 La resistencia lateral aproximada del espécimen, R_a , se calculará usando el proceso de diseño del sistema, a partir de las propiedades geométricas y mecánicas reales (medidas), con un factor de resistencia unitario, incluyendo, si aplica, los efectos de endurecimiento por deformación del acero.

A.3 Especímenes de pruebas

A.3.1 Se probará, al menos, un espécimen para cada configuración característica del refuerzo, o condiciones de borde.

A.3.2 Los especímenes se diseñarán y construirán a una escala que permita reproducir fielmente los fenómenos de transmisión de carga, en particular en las conexiones y bordes. La menor escala permitida será un medio.

A.3.3 Se deberán reproducir las condiciones de borde (restricciones a giros o desplazamientos) de la configuración estudiada.

A.4 Laboratorio

A.4.1 Las pruebas se llevarán a cabo en un laboratorio de reconocido prestigio y que cuente con equipos calibrados. El programa experimental y los análisis de datos deberán ser por el Instituto para la Seguridad de las Construcciones de la Ciudad de México quien podrá aprobar el sistema si lo considera apropiado.

A.5 Protocolo de ensayo

A.5.1 Los especímenes serán probados bajo la serie de ciclos a deformación controlada de la fig. A.5.1.

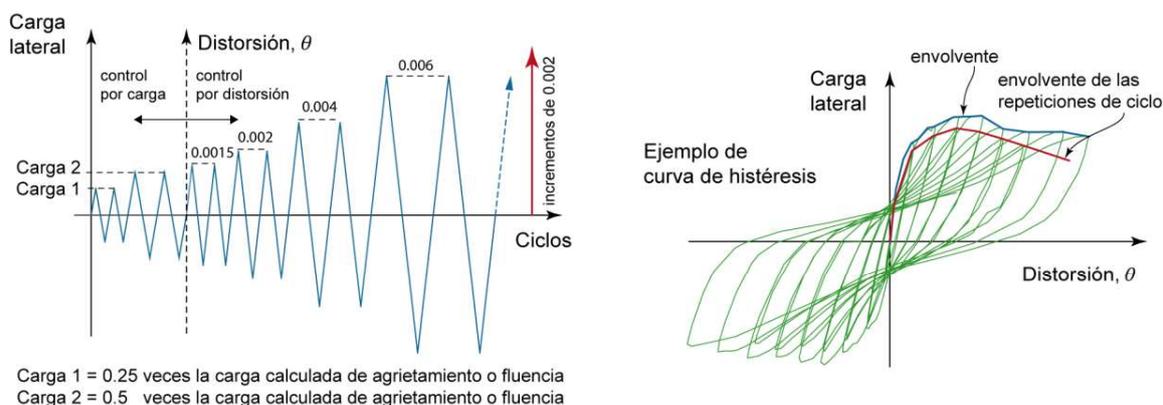


Figura A.5.1 – Historia de carga y curva carga lateral–distorsión

A.5.2 Las pruebas se harán bajo una carga vertical constante que represente las acciones permanentes del Reglamento consistentes con el uso que se pretende dar al sistema constructivo, así como con la magnitud (número de niveles).

A.5.3 Para cada distorsión se aplicarán dos ciclos. Los dos primeros pares de ciclos se aplicarán controlando por carga, y corresponderán a la cuarta parte y a la mitad de la carga calculada de agrietamiento inclinado del muro o de fluencia del refuerzo vertical. A partir de ahí se aplicarán las distorsiones de la fig. A.5.1 hasta alcanzar la falla o la resistencia se reduzca un 20% respecto a la carga máxima.

A.5.4 La fuerza lateral cíclica alternada se aplicará de modo que su distribución sea sensiblemente uniforme a lo largo del muro. Se aceptará que la fuerza lateral se aplique en los extremos superiores opuestos del muro, según el semiciclo que se trate.

A.5.5 Durante los ensayos se llevará, al menos, un registro gráfico que defina la curva carga lateral–distorsión, uno fotográfico del espécimen al término de cada pareja de ciclos a una misma distorsión y uno escrito con la fecha de prueba, nombre del operador y la información de los sucesos relevantes ocurridos durante el ensaye, tales como agrietamientos, desprendimientos, fracturas, ruidos, fugas de aceite, y otros.

A.6 Informe de pruebas

A.6.1 El informe de las pruebas deberá contener, como mínimo, lo siguiente:

- Fecha de la prueba, nombre del laboratorio, operadores y autores, nombre del supervisor y del patrocinador
- Teoría usada para calcular la resistencia (con factor de resistencia unitario) y el valor predicho. Si se espera más de un modo de falla, se deberán incluir las teorías y resistencias asociadas a cada modo de falla
- Detalles de los especímenes ensayados: dimensiones, cuantía y detallado de refuerzo, así como de la construcción. Se deberán incluir figuras claras e ilustrativas
- Propiedades de los materiales, tanto aquéllas especificadas en el diseño, como las medidas mediante probetas en el laboratorio
- Descripción del arreglo para aplicación de la carga, con fotos o figuras
- Tipo, localización y propósito de los sensores usados en la instrumentación. Se deberán incluir, si aplica, las características del sistema de captura de datos. Se presentarán fotos y figuras
- Gráfica de la historia de distorsiones aplicada al espécimen
- Descripción del desempeño observado durante los experimentos, con fotos del espécimen inmediatamente después de algún suceso relevante. Al menos, se incluirán fotos correspondientes al primer agrietamiento inclinado, a la formación de un patrón estable de agrietamiento, a la distorsión asociada a la resistencia medida, a la distorsión asociada a una

caída del 20 por ciento de la resistencia medida y al final de la prueba. Se deberá reportar el agrietamiento máximo del agrietamiento diagonal

- i) Gráfica de la curva carga lateral–distorsión (fig. A.5.1).
- j) Gráfica de la curva rigidez de ciclo–distorsión (fig. A.6.1).

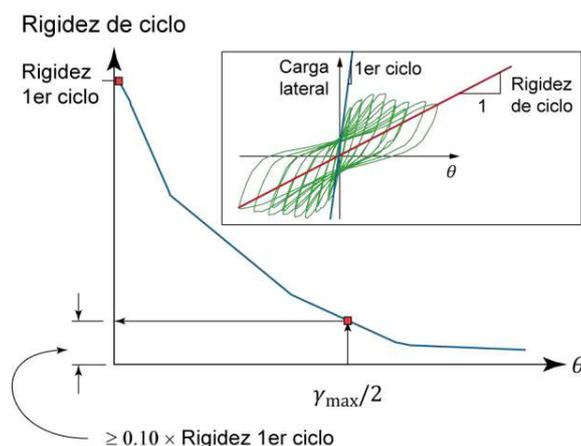


Figura A.6.1 – Degradación de rigidez de ciclo

A.6.2 El modelo elastoplástico equivalente de la envolvente, en ambas direcciones, de la curva de fuerza cortante contra distorsión, definido por la distorsión a la fluencia θ_y y la fuerza lateral de fluencia R_y . El modelo elastoplástico equivalente se obtiene de manera que se cumpla que:

- a) El área bajo la curva del modelo elastoplástico equivalente sea igual al área bajo la curva de la envolvente de la curva fuerza lateral contra distorsión obtenida experimentalmente considerada hasta la distorsión última θ_u
- b) La ordenada de la intersección de la rama ascendente del modelo elastoplástico equivalente con la envolvente experimental sea $0.6 R_y$ (fig.A.6.2).

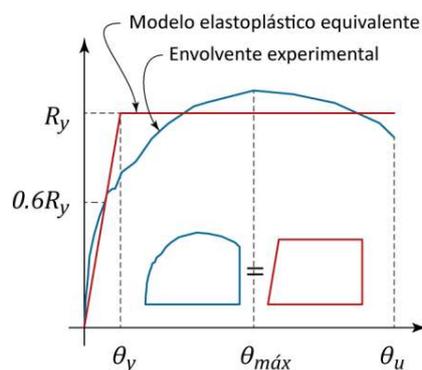


Figura A.6.2 – Modelo elastoplástico equivalente

A.7 Criterio de aceptación

A.7.1 Se considerará que el espécimen satisface el criterio de aceptación si se cumplen todos los criterios siguientes en ambos sentidos de comportamiento cíclico:

A.7.1.1 La resistencia medida, $R_{m\acute{a}x}$, es menor que λR (fig. A.7.1.1), donde λ es el factor de sobrerresistencia para las conexiones descrito en A.4. Lo anterior se comprobará por el hecho de que no falle ninguna conexión de las que se señalan en A.4.

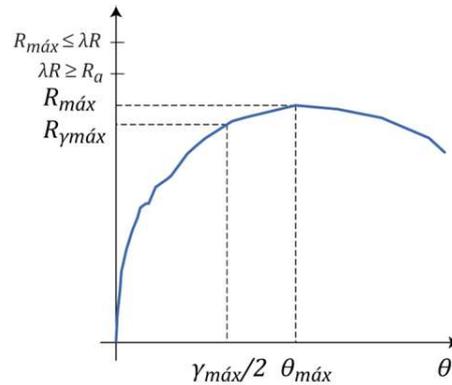


Figura A.7.1.1 – Resistencia y resistencia a la distorsión máxima admisible

A.7.1.2 El espécimen alcanza una resistencia, R_{max} , igual o superior a la calculada, R , para una distorsión, θ_{max} , mayor o igual a $\gamma_{max}/2$, donde γ_{max} es la distorsión límite de entepiso especificada en la NTC-Sismo, de acuerdo con el tipo de pieza y a si el muro tiene o no refuerzo horizontal (fig. A.7.1.1).

A.7.1.3 El cociente

$$\frac{R_{\gamma m\acute{a}x}}{R_{m\acute{a}x}} \text{ sea mayor o igual a } \begin{cases} 0.6 & \text{para muros sin refuerzo horizontal} \\ 0.8 & \text{para muros con refuerzo horizontal} \end{cases}$$

donde $R_{\gamma_{max}}$ es la resistencia que corresponde a una distorsión igual a la distorsión $\gamma_{max}/2$, γ_{max} se define en la NTC-Sismo, dependiendo del tipo de pieza y de si el muro tiene refuerzo horizontal o no (fig. A.7.1.1).

A.7.1.4 La rigidez de ciclo para la distorsión $\gamma_{max}/2$ no sea menor que 0.1 veces la rigidez de ciclo calculada a partir del primer ciclo aplicado en el experimento (fig. A.6.11).

A.7.1.5 La ductilidad calculada como θ_{max}/θ_y deberá cumplir que

$$\frac{\theta_{max}}{\theta_y} \geq 1 + 4(Q - 1)$$

donde θ_{max} es la distorsión a la resistencia y θ_y es la distorsión a la fluencia del modelo elastoplástico equivalente, como se define en A.6.2, donde Q es el valor máximo admisible del factor de comportamiento sísmico en función del tipo de pieza y de si se incluye refuerzo horizontal, que se indica en la NTC-Sismo.

Comentario:

El apéndice tiene como objetivo valorar el desempeño de muros de mampostería hechos con un sistema no contemplado en estas normas. Muros con piezas de materiales distintos, con un sistema de junteo distinto, ya sea con mortero no convencional, adhesivos, etc., con un sistema de refuerzo interior o exterior novedoso, con un aparejo no contemplado por las normas, con conexiones entre muros no convencionales, etc. La evaluación está encaminada a garantizar que los muros cumplan los supuestos básicos de desempeño, capacidad de distorsión y ductilidad principalmente, pero también para verificar que la resistencia pueda desarrollarse para el nivel de distorsión admisible y que la rigidez lateral remanente para dicha distorsión sea suficiente para garantizar la estabilidad de una estructura construida con dicho sistema.

Se asume que el fabricante del nuevo sistema cuenta con un procedimiento de diseño para calcular la resistencia a corte. Sin embargo, esto implica que el fabricante tiene información experimental o analítica que justifique dicho procedimiento. En caso de que el fabricante no cuente con dicho esquema de diseño, se tendrá que valorar el nuevo

sistema clasificándolo como alguna variante de los sistemas reconocidos en la norma, para utilizar los procedimientos de diseño contemplados en ella. Por ejemplo, si se clasifica un sistema como una variante de muros con refuerzo interior, se valorará el desempeño del nuevo sistema haciendo las estimaciones de resistencia y asumiendo una capacidad de deformación y ductilidad que corresponden al sistema reforzado interiormente.

El apéndice puede ser utilizado por un laboratorio competente que eventualmente emitirá los resultados del cumplimiento de los criterios contenidos en este apéndice. Sin embargo, la aceptación o rechazo del nuevo sistema será la responsabilidad de la autoridad competente de la ciudad de México que es el Instituto en Seguridad de las Construcciones. El Instituto valorará que la metodología de los ensayos sea la contemplada por las normas y determinará, con base en los resultados, si dicho sistema puede utilizarse considerando que cumple la normatividad.

Se espera que este apéndice siga evolucionando a medida que se utilice para evaluar nuevos sistemas y se cuente con información experimental adicional.

Espacio en blanco dejado de manera intencional

REFERENCIAS EN LOS COMENTARIOS

Alcocer S.M., Aguilar G., Cano G. (1995), “Determinación de las propiedades mecánicas de los tabiques extruidos tipo VINTEX, MULTEX y AREMAX”, Informe Interno ES/01/95, Centro Nacional de Prevención de Desastres, México, marzo, 65 pp.

Alcocer S.M., Meli R., Sánchez T.A., Flores L.E. (1994), “Comportamiento ante cargas laterales de sistemas de muros de mampostería confinada con diferentes grados de acoplamiento a flexión”, Cuadernos de Investigación No 17, Seguridad sísmica de la vivienda económica, Centro Nacional de Prevención de Desastres, julio, pp. 53-76.

Álvarez J.J. (2000), “Estudio analítico sobre el comportamiento no lineal de muros de mampostería confinada con y sin abertura”, Tesis de maestría, Universidad Nacional Autónoma de México, 144 pp.

Cruz A.I. (2015), “Contribución del refuerzo horizontal a la resistencia de muros de mampostería confinada”, Tesis de Maestría, Universidad Nacional Autónoma de México, 115 pp.

Díaz Infante L.A. (1993), “Estadísticas de propiedades estructurales de conjuntos habitacionales de interés social”, Tesis profesional, Universidad Nacional Autónoma de México, 137 pp.

Flores L.E., Mendoza J.A. (2010), “Ensayo de dos muros de mampostería con refuerzo interior para estudio del traslape de las barras verticales”, Memorias del XVII Congreso Nacional de Ingeniería Estructural, Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural, León, Guanajuato, noviembre, 26 pp.

Leal J.M. (2018), “Comportamiento de muros diafragma ante cargas laterales”, Tesis doctoral, Universidad Nacional Autónoma de México, 107 pp.

Lizárraga J.F. (2017), “Comportamiento de muros de mampostería confinada sobre elementos flexibles”, Tesis Doctoral, Universidad Nacional Autónoma de México, 97 pp.

Marquez R., Laurenço P.B. (2019), “Structural behaviour and design rules of confined masonry walls: Review and proposals”, *Construction and Building Materials*, Vol. 217, pp. 137-155.

Meli R. (1994), “Mampostería estructural. La práctica, la investigación y el comportamiento sísmico observado en México”, Cuadernos de investigación, No. 17, Seguridad sísmica de la vivienda económica, Centro Nacional de Prevención de Desastres, julio, pp. 3-23.

Meli R. (1998), “Diseño estructural”, Segunda edición, Ed Limusa, 596 pp.

Pérez Gavilán J.J., Flores L.E., Alcocer S.M. (2015), “An Experimental Study of Confined Masonry Walls with Varying Aspect Ratios”, *Earthquake Spectra*, Vol. 31, pp. 945-968.

Pérez Gavilán J.J. (2019), “Ductility of Confined Masonry Walls: Results from Several Experimental Campaigns in Mexico”, 13th Masonry Conference, June 16-19, Salt Lake City, UT, USA.

Riahi Z., Elwood K.J., Alcocer S.M. (2008), “Modelo envolvente del comportamiento de muros de mampostería confinada para un diseño sísmico basado en desempeño”, Memorias del XVI Congreso Nacional de Ingeniería Estructural, sociedad mexicana de Ingeniería Estructural, Veracruz, 20 pp.

Rubio L. (2018), “Contribución del refuerzo horizontal a la resistencia a corte de muros confinados de piezas de arcilla extruida”, Tesis de maestría, Universidad Nacional Autónoma de México, 66 pp.

Sánchez T.A., Flores L., Alcocer S.M., Meli R. (1992), “Respuesta sísmica de muros de mampostería confinada con diferentes tipos de refuerzo horizontal”, Informe Interno ES/02/92, Centro Nacional de Prevención de Desastres, México, marzo, 49 pp.

SMIE (2019), “Edificaciones de mampostería”, Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural, Ed. Limusa, 1ª Edición, México, 419 pp.