

EDUCACIÓN

SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



VOLÚMEN 4. Seguridad Estructural

TOMO 4. Estructuras de Mampostería

INDICE

ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERÍA	3
1 Materiales para mampostería	3
1.1 Piezas	3
1.2 Cementantes y agregados	3
1.3 Mortero de pega y mortero y concreto de relleno	3
1.4 Acero de refuerzo	3
1.5 Mampostería	4
2 Especificaciones generales de análisis y diseño	6
2.1 Método simplificado de análisis y diseño	6
2.2 Detallado del refuerzo	7
3 Sistemas estructurales a base de muros de mampostería	8
3.1 Mampostería confinada	8
3.2 Mampostería reforzada interiormente	9
3.3 Requisitos generales	10
3.4 Refuerzo vertical en los extremos de muros e intersecciones	10
3.4.1 Refuerzo horizontal en juntas de mortero	11
3.4.2 Muros transversales	12
3.5 Muros diafragma	12
3.6 Mampostería simple	13
4 Diseño de los muros	13
4.1 Resistencia a compresión y flexocompresión en el plano del muro	13
4.2 Resistencia a cargas laterales	14
5 Mampostería de piedras naturales	14
5.1 Cimientos	15
5.2 Construcción	15

ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERÍA

1 MATERIALES PARA MAMPOSTERÍA

1.1 Piezas

Las piezas usadas en los elementos estructurales de mampostería deberán cumplir con la norma mexicana NMX-C-404-ONNCCE y con el peso volumétrico mínimo establecido en la sección 2.1 de las NTC-Mampostería.

Las piezas huecas de arcilla o de concreto que no sean multiperforadas deben tener una resistencia promedio a la compresión de 9 MPa medida sobre área bruta. Las piezas macizas y las piezas multiperforadas de arcilla o de concreto deben tener una resistencia promedio de 15 MPa medida sobre área bruta.

1.2 Cementantes y agregados

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

Para la elaboración de morteros se podrá usar cemento de albañilería que cumpla con los requisitos especificados en la norma mexicana NMX-C-021- ONNCCE, o bien se podrá usar cal hidratada que cumpla con los requisitos especificados en la norma mexicana NMX-C-003-ONNCCE.

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

El agua para el mezclado del mortero o del concreto debe cumplir con la norma mexicana NMX-C-122-ONNCCE. Esta debe almacenarse en depósitos limpios y cubiertos.

1.3 Mortero de pega y mortero y concreto de relleno

El mortero para pegar piezas cuyo objetivo sea construir muros estructurales debe cumplir con los requisitos que establece la norma mexicana NMX-C-486-ONNCCE. La resistencia a compresión del mortero, sea para pegar piezas o de relleno, se determinará de acuerdo con el ensaye especificado en la norma mexicana NMX-C-061-ONNCCE. La resistencia a compresión del concreto de relleno, que es el que se usará para rellenar celdas de piezas huecas, se determinará del ensaye de cilindros elaborados, curados y probados de acuerdo con las normas mexicanas NMX-C-160-ONNCCE y NMX-C-083-ONNCCE.

El mortero para el pegado de piezas debe ser tipo I con una resistencia promedio a compresión no menor de 18 MPa (180 kg/cm²). El mortero o concreto de relleno de celdas debe tener una resistencia a la compresión no menor de 20 MPa (200 kg/cm²).

1.4 Acero de refuerzo

El refuerzo que se emplee en castillos, dalas o refuerzo interior del muro, estará constituido por barras corrugadas que cumplan con la norma NMX-B-457-CANACERO y

NMX-B-506-CANACERO; los alambres laminados en frío deben cumplir con la norma NMX-B-072-CANACERO o NMX-B-253-CANACERO; la malla de alambre soldado debe cumplir con la norma NMX-B-290-CANACERO; y las armaduras de alambre soldado para castillos y dalas deben cumplir con la norma NMX-B-456-CANACERO. Se admitirá el uso de barras lisas, como el alambrón, únicamente en estribos, en mallas de alambre soldado o en conectores. El diámetro mínimo del alambrón para ser usado en estribos es de 5.5 mm, y tendrá un esfuerzo especificado de fluencia no menor a 206 MPa (2 100 kg/cm²).

El módulo de elasticidad del acero de refuerzo ordinario, E_s , se tomará igual a 2×10⁵ MPa (2×10⁶ kg/cm²).

1.5 Mampostería

La resistencia de diseño a compresión de la mampostería, f'_m , se determinará según la norma mexicana NMX-C-464-ONNCCE con el ensaye de pilas construidas con piezas superpuestas y el mortero que se usará en la obra. Para la presente norma se la variable f'_m será equivalente a f_m^* de la norma citada.

Si se conoce la resistencia a compresión de las piezas, f'_p , obtenida experimentalmente podrá obtenerse la resistencia de diseño a compresión de la mampostería, f'_m , indicada en las Tabla 1 y Tabla 2 para el tipo de mortero utilizado.

Tabla 1 - Resistencia a compresión para diseño de la mampostería de piezas de concreto, f'_m , sobre área bruta

f'_p MPa (kg/cm ²) ¹	f'_m		
	MPa (kg/cm ²)		
	Mortero I	Mortero II	Mortero III
6.0 (60) ²	2.5 (25)	2.0 (20)	2.0 (20)
7.5 (75) ²	4.0 (40)	3.5 (35)	3.0 (30)
10.0 (100)	5.0 (50)	4.5 (45)	4.0 (40)
15.0 (150)	7.5 (75)	6.0 (60)	6.0 (60)
≥ 20.0 (200)	10.0 (100)	9.0 (90)	8.0 (80)

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

² Sólo para el caso de piezas huecas.

Tabla 2 - Resistencia a compresión para diseño de la mampostería de piezas de arcilla, f'_m , sobre área bruta

f'_p MPa (kg/cm ²) ¹	f'_m		
	MPa (kg/cm ²)		
	Mortero I	Mortero II	Mortero III
6.0 (60)	2.0 (20)	2.0 (20)	2.0 (20)
7.5 (75)	3.0 (30)	3.0 (30)	2.5 (25)
10.0 (100)	4.0 (40)	4.0 (40)	3.0 (30)
15.0 (150)	6.0 (60)	6.0 (60)	4.0 (40)
20.0 (200)	8.0 (80)	7.0 (70)	5.0 (50)
≥ 30.0 (300)	12.0 (120)	9.0 (90)	7.0 (70)

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

La fuerza cortante que toma la mampostería se basa en el esfuerzo cortante resistente de diseño, V'_m , que se toma igual a la resistencia a compresión diagonal. La resistencia de diseño a compresión diagonal de la mampostería se determinará con el método indicado en la norma NMX-C-464-ONNCCE, con el ensaye de muretes cuadrados y con el mortero usado en la obra. Para la presente norma la variable V'_m será equivalente a V_m^* de la norma citada.

De no contar con ensayos de pilas y muretes, y solo para el caso de estructuras de hasta dos niveles, se podrán usar los valores indicativos incluidos en la Tabla 3 siempre y cuando se cuente con ensayos de piezas a compresión y se cumpla con la norma mexicana NMX-C-404-ONNCCE.

Tabla 3 - Resistencia de diseño de la mampostería a compresión y a cortante, para estructuras de hasta dos niveles, sobre área bruta, MPa (kg/cm²)

Pieza (Que cumplen la NMX-C-404-ONNCCE)	Resistencia de diseño a compresión	Resistencia de diseño a cortante
	f'_m	V'_m
Tabique de arcilla	1.5 (15)	0.2 (2)
Tabique de arcilla con huecos verticales ¹	2.0 (20)	0.2 (2)
Bloque hueco de concreto ²	1.5 (15)	0.2 (2)
Tabique macizo de concreto (tabicón)	1.5 (15)	0.2 (2)

¹ Industrializado (extruido o prensado)

² fabricado por medio de vibrocompactación de manera industrializada

Los módulos de elasticidad y de cortante se podrán obtener de ensayos de pilas a compresión y muretes a compresión diagonal, respectivamente, conforme a la norma mexicana NMX-C-464-ONNCCE; se admite también usar las expresiones siguientes:

$$E_m = 800 f'_m, \text{ para piezas de concreto}$$

$$E_m = 600 f'_m, \text{ para piezas de arcilla y otros materiales}$$

$$G_m = 0.4 E_m, \text{ para piezas de concreto}$$

$$G_m = 0.2 E_m, \text{ para piezas de arcilla y otros materiales}$$

2 ESPECIFICACIONES GENERALES DE ANÁLISIS Y DISEÑO

Se considerarán los criterios de diseño y las hipótesis para la obtención de resistencias de diseño a flexión indicadas en la sección 3.1 de las NTC-Mampostería.

En cuanto a los métodos de análisis se adoptarán los establecidos en la sección 3.2 de las NTC-Mampostería. Para el análisis por cargas laterales debidas a sismo será admisible utilizar métodos estáticos o dinámicos como se indica en la sección 3.2.3 de las MTC-Mampostería. En el caso en que la edificación cuente con no más de dos niveles y se ubique en zona sísmica A o B se admitirá usar el método simplificado que se define en la siguiente sección.

2.1 Método simplificado de análisis y diseño

En edificaciones de hasta dos niveles ubicadas en zona sísmica A o B, 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 simplificado de diseño sísmico.

El método simplificado será aplicable al análisis de edificios de mampostería que cumplan los requisitos establecidos en la sección 2.1 del Tomo 2 de este Volumen.

Se verificará únicamente que en cada entrepiso la suma de las resistencias al corte de los muros de carga, V_R , proyectados en la dirección en que se considera la aceleración, sea cuando menos igual a la fuerza cortante sísmica factorizada que obre en dicho entrepiso, V_u :

$$V_R \geq V_u \quad (1)$$

En donde:

V_R suma de la resistencia al corte de los muros de carga de un entrepiso en la dirección de análisis;

V_u fuerza cortante sísmica factorizada que obre en dicho entrepiso;

Para edificios escolares de uno o dos niveles, la fuerza cortante sísmica factorizada en cada entrepiso podrá calcularse, en forma aproximada, como la suma del peso arriba del entrepiso multiplicada por el coeficiente sísmico reducido establecido en la Sección **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** y por el factor de carga. El peso arriba del entrepiso debe incluir la carga viva accidental.

El cortante resistente de entrepiso en cada dirección de análisis deberá evaluarse como:

$$V_R = F_F(0.5 V'_m + 0.3\sigma + \eta\rho_h f_{yh}) \sum F_{AE} A_T \quad (2)$$

En donde:

- σ es el esfuerzo normal promedio en los muros del entrepiso, calculado como el peso total arriba del entrepiso, dividido entre la suma de las áreas transversales de todos los muros del entrepiso;
- η, ρ_h, f_{yh} son la eficiencia, la cuantía y el esfuerzo especificado de fluencia del refuerzo horizontal, como se señala en la sección en la Sección 4;
- F_{AE} es el factor de área efectiva que se indica en la Sección 2.1 del Tomo 2 de este Volumen, para el método simplificado.

Si en el sistema de piso predomina la descarga a muros en una sola dirección, como en sistemas de vigueta y bovedilla con las viguetas paralelas, entonces se calculará un esfuerzo σ para cada una de las dos direcciones de análisis como el promedio de los esfuerzos que producen las cargas verticales correspondientes. En caso de que parte de la carga baje por columnas a la cimentación, deberá excluirse dicha carga del peso total para el cálculo del esfuerzo promedio sobre muros.

Para el cálculo se tomará σ no mayor que $3.33 V'_m$, y el producto $\rho_h f_{yh}$ no excederá el máximo establecido en la Sección Resistencia a cargas laterales. Si el producto $\rho_h f_{yh}$ difiere entre los distintos muros del entrepiso en la dirección de análisis considerada, se tomará el menor de ellos.

2.2 Detallado del refuerzo

Para el detallado del refuerzo se usará lo establecido en la sección 3.3 de las NTC-Mampostería.

La resistencia mínima a compresión del concreto en castillos y dalas será de 20 MPa (200 kg/cm²), por lo que las barras de refuerzo longitudinal de castillos y dalas deberán tener un recubrimiento mínimo de concreto de 20 mm, y los estribos un mínimo de 10 mm.

3 SISTEMAS ESTRUCTURALES A BASE DE MUROS DE MAMPOSTERÍA

3.1 Mampostería confinada

Es la que está reforzada con castillos y dalas. En esta modalidad los castillos o porciones de ellos se cuelan después de ser construido el muro o la parte de él que corresponda.

El espesor de la mampostería de los muros, t , no será menor que 120 mm en zonas sísmicas A y B ni que 140 mm en zonas C y D y la relación altura libre a espesor de la mampostería del muro, H/t , no excederá de 25.

Para ser considerados como confinados, los muros deben cumplir con los requisitos de la sección 5.1 de las NTC-Mampostería con los requisitos adicionales siguientes:

- a) Los castillos y dalas tendrán como ancho mínimo, b_c , el espesor del muro, t y como peralte mínimo (h_c , medido en el plano del muro) el menor de t o de 150 mm. En muros que se interceptan el peralte mínimo h_c será necesario sólo en una de las dimensiones del castillo.
- b) El concreto de castillos y dalas tendrá una resistencia a compresión, f'_c , no menor de 20 MPa (200 kg/cm²), salvo en muros exteriores en regiones con condiciones ambientales agresivas donde tendrá una resistencia no menor que 25 MPa (250 kg/cm²).
- c) Para estructuras construidas en zona sísmica C y D, según se establece en el Capítulo 10, Diseño por sismo, en todos los muros de la planta baja y primer nivel, se suministrará el mismo refuerzo transversal pero con una separación no mayor que 100 mm, dentro de una longitud H_o en cada extremo de los castillos en el borde de muros y en castillos a los lados de aberturas, donde la distancia H_o se tomará a partir del extremo libre del castillo (ver Figura 1).

H_o se tomará como el mayor de $H/6$ y 400 mm, donde H es la altura del muro.

En muros con aberturas (como puertas y ventanas) existirán elementos de refuerzo con las mismas características que las dalas y castillos en el perímetro de toda abertura cuyas dimensiones horizontal o vertical excedan de 600 mm (ver Figura 1).

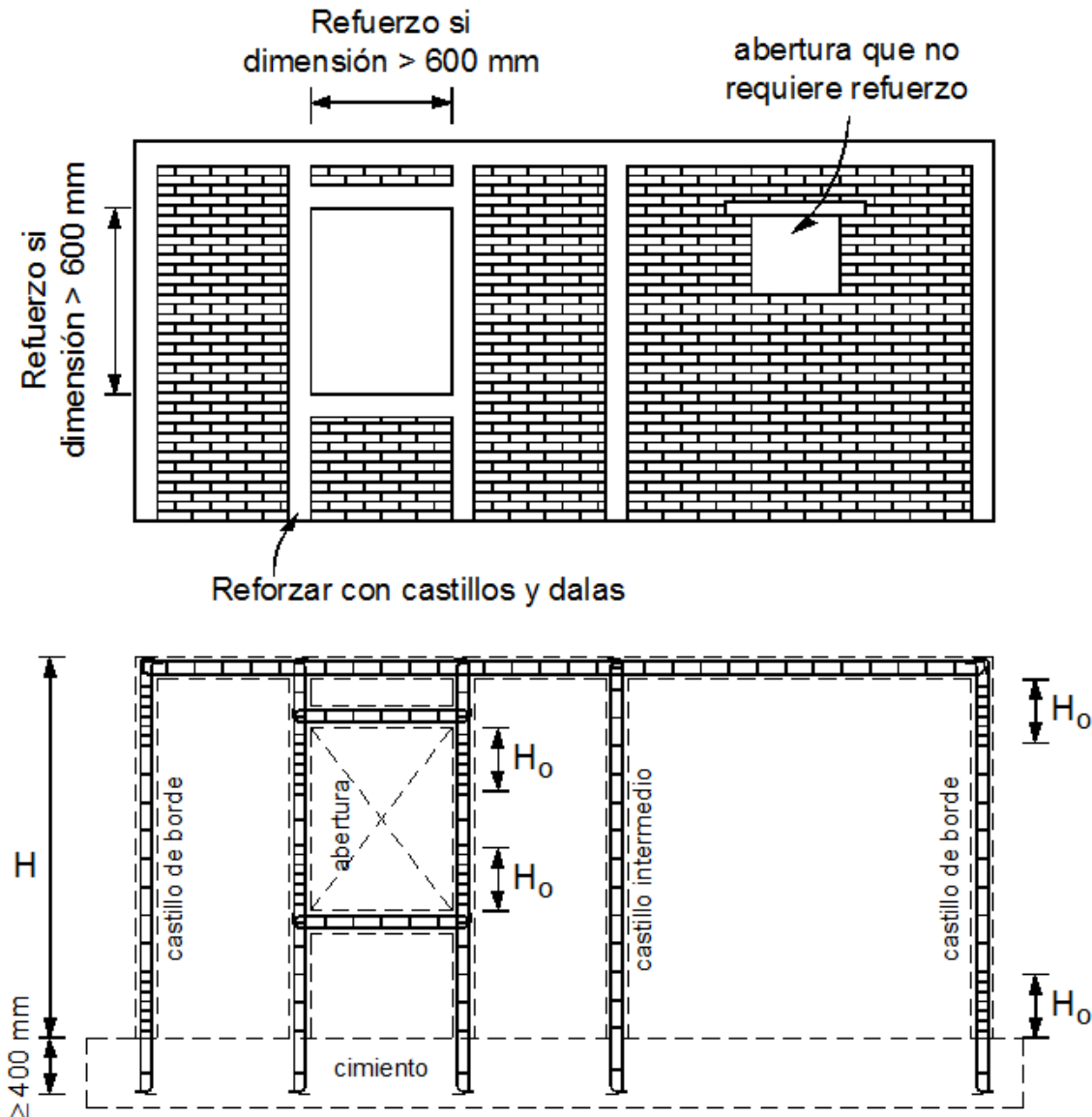


Figura 1 - Refuerzo en el perímetro de aberturas y estribos en los extremos de castillos de borde en zona sísmica C y D

3.2 Mampostería reforzada interiormente

Es aquella con 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. El acero de refuerzo, tanto horizontal como vertical, se distribuirá a lo alto y largo del muro.

El espesor de la mampostería de los muros, t , no será menor que 120 mm en zonas A y B ni que 140 mm en zonas C y D y la relación altura a espesor de la mampostería del muro, H/t , no excederá de 25.

3.3 Requisitos generales

Para que un muro pueda considerarse como reforzado deberán cumplirse los requisitos siguientes:

- a) La suma de las cuantías multiplicadas por el esfuerzo de fluencia especificado del refuerzo horizontal y vertical, 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), es decir:

$$\rho_h f_{yh} + \rho_v f_{yv} \geq 0.84 \text{ MPA} \quad (3)$$

$$\rho_h f_{yh} \geq 0.3 \text{ MPA} \quad (4)$$

$$\rho_v f_{yv} \geq 0.3 \text{ MPA} \quad (5)$$

$$\rho_h = \frac{A_{sh}}{s_h t} ; \quad \rho_v = \frac{A_{sv}}{s_v t} \quad (6)$$

En donde:

- ρ_h, ρ_v Es la cuantía de acero de refuerzo horizontal y vertical, respectivamente;
- A_{sh} Área de acero de refuerzo horizontal que se colocará a una separación vertical s_h ; y
- A_{sv} Área de acero de refuerzo vertical que se colocará a una separación s_v (ver Figura 2). Para la cuantía del refuerzo vertical no se deberá incluir el refuerzo colocado en los extremos del muro.

- b) El refuerzo horizontal en el interior del muro tendrá una separación no mayor de seis hiladas ni mayor de 450 mm.
- c) El refuerzo vertical en el interior del muro tendrá una separación no mayor de seis veces el espesor del mismo, t , ni mayor de 800 mm.

3.4 Refuerzo vertical en los extremos de muros e intersecciones

- a) Existirá una dala en todo extremo horizontal de muro. Las dimensiones y requisitos de refuerzo longitudinal y transversal cumplirán con lo indicado para dalas en la Sección 3.
- b) En todo extremo de muro y a una separación máxima de 3 m deberá colocarse acero de refuerzo vertical en cada una de las dos celdas consecutivas, donde el producto del área de acero en cada celda por su esfuerzo especificado de fluencia sea igual o mayor que 30 kN (3 000 kg).

- c) En la intersección de muros deberá contarse con las dos celdas consecutivas indicadas en el inciso anterior para los muros en cada dirección, compartiendo una celda común.
- d) Para muros que lleguen a tope, sin traslape de piezas, se deberá contar con las dos celdas reforzadas indicadas en el inciso b) pertenecientes a dicho elemento, y con los conectores indicados en la Sección 3.4.2.

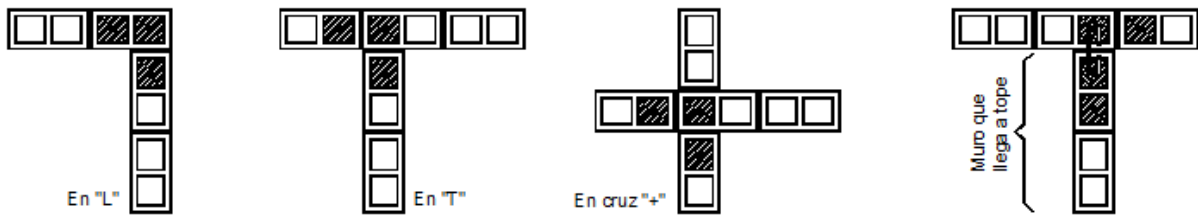


Figura 2 - Refuerzo en los extremos de los muros e intersecciones

Para el colado de las celdas donde se aloje el refuerzo vertical podrán emplearse los morteros y concretos de relleno especificados en la Sección 1. El hueco de las piezas (celda) tendrá una dimensión mínima mayor de 50 mm y un área no menor de 30 cm².

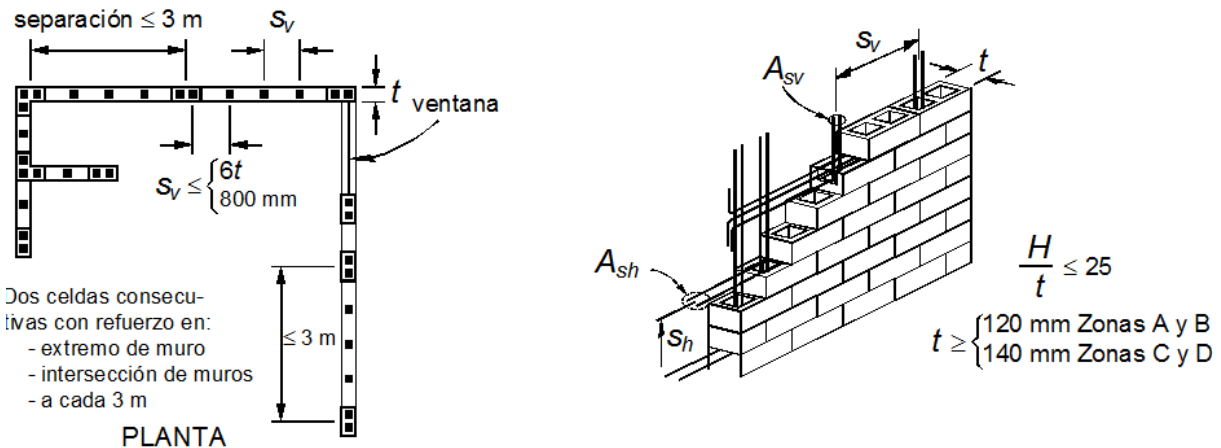


Figura 3 - Requisitos para mampostería con refuerzo interior

3.4.1 Refuerzo horizontal en juntas de mortero

Cumplirá lo establecido en la sección 3.3.6.4 de las NTC-Mampostería, y estará formado por uno o más alambres o barras con esfuerzo especificado de fluencia no menor a 412 MPa (4 200 kg/cm²). Deberá ser continuo a lo largo del muro, anclado con dobleces a 90 grados colocados verticalmente en celdas rellenas y reforzadas con barras verticales.

No se admite el traslape de alambres o barras de refuerzo horizontal.

El refuerzo horizontal se colocará recto entre las celdas donde se ancla en su extremo, pasando por la parte interior de las piezas sin quedar cubierto por el mortero de la junta (Figura 4 a). En el caso de muros de bloque en zona con ambiente agresivo se permite pasar el refuerzo horizontal sobre la cara lateral de las piezas a modo de que quede protegido con el mortero de pega, y donde los extremos se desvíen hacia el centro del muro para anclar los dobleces dentro de las celdas reforzadas (Figura 4 b). Dicha desviación deberá guardar una proporción mínima de 10:1 (diez centímetros en su longitud por cada centímetro en dirección transversal).

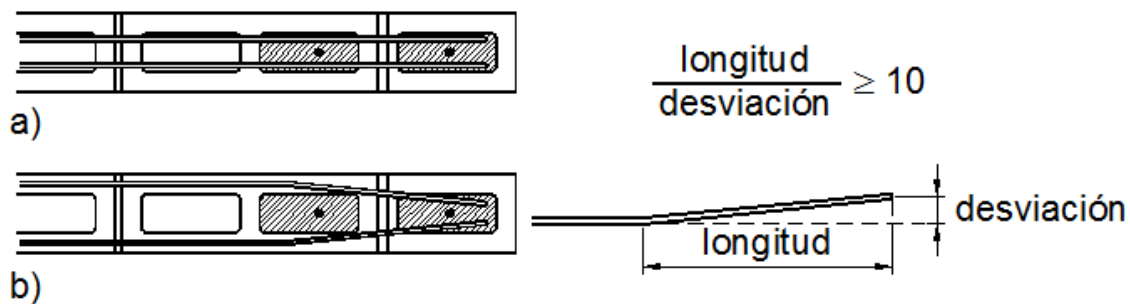


Figura 4 - Requisitos para mampostería con refuerzo interior

3.4.2 Muros transversales

Cuando los muros transversales sean de carga y lleguen a tope, sin traslape de piezas, será necesario unirlos mediante dispositivos como se establece en la sección 6.1.5 de las NTC-Mampostería.

Los pretilos o parapetos deberán reforzarse interiormente con barras de refuerzo vertical como las especificadas en la Sección 3.4. Se deberá proporcionar refuerzo horizontal en la parte superior de pretilos o parapetos cuya altura sea superior a 500 mm.

3.5 Muros diafragma

Estos son los que se encuentran rodeados por las vigas y columnas de un marco estructural al que proporcionan rigidez ante cargas laterales. Pueden ser de mampostería confinada, reforzada interiormente o no reforzada. El espesor de la mampostería de los muros no será menor de 120 mm.

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 o bien se reforzará el muro con castillos o refuerzo interior. La resistencia a flexión perpendicular

al plano del muro se calculará con las hipótesis de la sección 3.1 de las NTC-Mampostería.

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 resistencia del tablero.

3.6 Mampostería simple

Queda prohibido el uso de muros de mampostería sin algún tipo de refuerzo para elementos estructurales en edificaciones escolares.

4 DISEÑO DE LOS MUROS

4.1 Resistencia a compresión y flexocompresión en el plano del muro

Para el cálculo de la carga vertical resistente, P_R , y del momento flexionante resistente de diseño de la sección, M_R , se usará la sección 5.3 o de la 6.3 de las NTC-Mampostería para muros de carga mampostería confinada o mampostería reforzada interiormente, según sea el caso, y que se calcula como:

$$P_R = F_R F_E (f'_m A_T + \sum A_s f_y) \quad (7)$$

En donde:

F_R factor de reducción que se tomará igual a 0.6;

F_E factor de excentricidad y esbeltes según la sección 3.2.2.3 de las NTC-Mampostería;

A_T área transversal del muro calculada como el producto del espesor por la longitud del muro, incluyedo los castillos en caso de tenerlos, $A_T = tL$;

ΣA_s área del acero de refuerzo vertical en todos los castillos o repartida en las celdas reforzadas; y

f_y esfuerzo especificado de fluencia del refuerzo vertical.

En el caso de muros con refuerzo interior la resistencia a compresión no se tomará mayor de:

$$P_R \leq 1.25 F_R F_E f'_m A_T \quad (8)$$

4.2 Resistencia a cargas laterales

La fuerza cortante resistente de diseño, V_R , se determinará como la suma de la contribución de la mampostería más la del refuerzo horizontal, en caso de que cumpla con los requisitos establecidos en esta norma:

$$V_R = V_{mR} + V_{sR} \quad (9)$$

En donde:

V_R fuerza cortante resistente de diseño;

V_{mR} contribución de la mampostería;

V_{sR} contribución del refuerzo horizontal;

Para el cálculo de la contribución de la mampostería, V_{mR} , y del refuerzo horizontal, V_{sR} , se usará la sección 5.4 o la sección 6.4 de las NTC-Mampostería para muros de carga de mampostería confinada o mampostería reforzada interiormente, respectivamente. Para muros diafragma se usará la sección 4.3 de las NTC-Mampostería.

$$V_{mR} = F_R (0.5V'_m A_T + 0.3 P) f \leq 1.5 F_R V'_m A_T f \quad (10)$$

$$V_{sR} = F_R \eta \rho_h f_{yh} A_T \quad (11)$$

f factor que se toma igual a 1.5 si $H/L \leq 0.2$, igual a 1.0 si $H/L \geq 1$ o se interpola para casos intermedios;

Para muros diafragma la resistencia a fuerza cortante se tomará como la menor de las obtenidas en las secciones 4.3, 4.4 o 4.5 de las NTC-Mampostería.

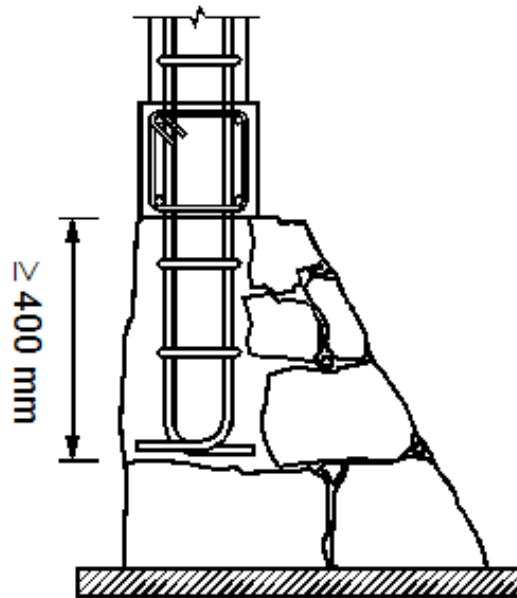
En las zonas C y D no se permite el uso de armaduras planas de alambres de acero soldados por resistencia eléctrica (escalera) para resistir fuerza cortante inducida por sismo.

5 MAMPOSTERÍA DE PIEDRAS NATURALES

Los requisitos para el 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, se ajustarán a los requisitos del capítulo 8 de las NTC-Mampostería

5.1 Cimientos

En todo cimiento deberán colocarse dalas de concreto reforzado, tanto sobre los cimientos sujetos a momento de volteo como sobre los perpendiculares a ellos. El refuerzo de los castillos deben anclarse en los cimientos no menos de 400 mm. Se aplicarán los requisitos de la sección 8.4 de las NTC-Mampostería.



5.2 Construcción

Para la construcción de elementos de mampostería se deberá cumplir con los requisitos del capítulo 9 de las NTC-Mampostería.