

**REPUBLICA DE BOLIVIA**

**MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS  
SERVICIOS Y VIVIENDA  
VICEMINISTERIO DE VIVIENDA Y URBANISMO  
DIRECCIÓN NACIONAL DE VIVIENDA  
PROVIVIENDA**

**BANCO INTERAMERICANO DE DESARROLLO**

**SOCIEDAD DE INGENIEROS BOLIVIA**

**NORMA BOLIVIANA  
DE  
DISEÑO SÍSMICO**

**NBDS – 2006**

**V.1.4 (NOV. 2006)**

**TITULO E. MAMPOSTERIA  
ESTRUCTURAL**

**AUTOR: MSC. ING. ROLANDO GRANDI GÓMEZ**

## TITULO E. MAMPOSTERÍA ESTRUCTURAL

<b>INDICE.....</b>	<b>PAG.</b>
1. ALCANCE.....	E1
2. MATERIALES.....	E1
2.1 PIEZAS .....	E1
2.1.1 MORTEROS .....	E2
2.1.2 LADRILLOS CERÁMICOS MACIZOS .....	E2
2.1.3 LADRILLOS CERÁMICOS HUECOS .....	E3
2.1.4 BLOQUES DE HORMIGÓN.....	E4
2.1.5 ACEROS DE REFUERZO .....	E4
2.1.6 ELEMENTOS DE HORMIGÓN ARMADO .....	E5
3. ANALISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL SÍSMICO .....	E5
3.1 ANÁLISIS SISMICO.....	E5
3.2 DISEÑO SÍSMICO .....	E5
4. REQUISITOS DE RESISTENCIA Y SERVICIO .....	E6
4.1 RESISTENCIA A COMPRESIÓN .....	E6
4.2 RESISTENCIA A TRACCIÓN .....	E8
4.3 RESISTENCIA AL CORTANTE .....	E9
4.4 REQUISITOS DE SERVICIO.....	E11
4.4.1 MÓDULO DE ELASTICIDAD .....	E11
4.4.2 COEFICIENTE DE POISSON.....	E11
5. TIPOS DE MAMPOSTERÍA ESTRUCTURAL .....	E11
5.1 MAMPOSTERÍA SIMPLE .....	E11
5.1.1 RESISTENCIA.....	E11
5.1.2 COMPORTAMIENTO SÍSMICO .....	E12
5.2 MAMPOSTERÍA CONFINADA .....	E12
5.2.1 RESISTENCIA.....	E12
5.2.2 COMPORTAMIENTO SÍSMICO .....	E12
5.2.2.1 REQUISITOS PARA PILARES Y VIGAS CADENA.....	E13
5.2.2.2 DISEÑO DE PILARES Y VIGAS CADENA .....	E14
5.3 MAMPOSTERÍA ARMADA .....	E14

5.3.1 RESISTENCIA .....	E15
5.3.2 COMPORTAMIENTO SÍSMICO .....	E15
5.3.2.1 REQUISITOS PARA MUROS ARMADOS .....	E15
5.3.2.2 DISEÑO DE LOS REFUERZOS PARA MAMPOSTERÍA ARMADA.....	E17
5.4 COMBINACIONES DE TIPOS DE MAMPOSTERÍA.....	E18
6. CONSTRUCCIÓN .....	E18
6.1 MATERIALES .....	E18
6.1.1 LADRILLOS Y BLOQUES.....	E18
6.1.2 MORTEROS .....	E18
6.2 PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO .....	E19
6.2.1 UNIONES.....	E19
6.2.2 COLOCACIÓN DE LAS PIEZAS.....	E19
6.2.3 COLOCACIÓN DEL HORMIGÓN MAMPOSTERÍA CONFINADA.....	E19
6.2.4 COLOCACIÓN DEL MORTERO MAMPOSTERÍA ARMADA .....	E19
6.2.5 COLOCACIÓN DE LOS REFUERZOS.....	E19
6.2.6 ESTABILIDAD DE LOS MUROS .....	E20
6.2.7 CURADO DE LOS MUROS .....	E20
6.2.8 TOLERANCIAS EN LA CONSTRUCCIÓN DE LOS MUROS .....	E20
6.2.9 PLANOS ESTRUCTURALES .....	E20
7. PRUEBAS DE CALIDAD .....	E20
8. SOFTWARE ESPECIALIZADO.....	E21
9. COMENTARIOS.....	E21

**INDICE DE TABLAS Y CUADROS ..... PAG.**

TC2-1. MORTEROS DE CEMENTO PORTLAND.....	E2
TC2-2. RESISTENCIAS NOMINALES DE LADRILLOS CERÁMICOS MACIZOS.....	E3
TC2-3. RESISTENCIAS NOMINALES DE LADRILLOS CERÁMICOS HUECOS.....	E4
TC2-4. RESISTENCIAS NOMINALES DE BLOQUES DE HORMIGÓN HUECOS....	E4
TC4-1. ESFUERZO RESISTENTE A COMPRESIÓN DE LA MAMPOSTERÍA .....	E8
TC4-2. ESFUERZO RESISTENTE A CORTANTE DE LA MAMPOSTERÍA.....	E10

**INDICE DE FIGURAS ..... PAG.**

FC4-1. FOTOS DEL ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE .....	E6
FC4-2. PILA DE MAMPOSTERÍA PARA ENSAYE DE COMPRESIÓN.....	E7
FC4-3. FOTOS DEL ENSAYO DE COMPRESIÓN DIAGONAL.....	E9
FC4-4. ENSAYO DE COMPRESIÓN DIAGONAL.....	E10
FC5-1. PILARES Y VIGAS CONFINANTES.....	E13
FC5-2. PILARES DE CONFINAMIENTO .....	E14
FC5-3. MURO REFORZADO .....	E16
FC5-4. REFUERZOS VERTICALES Y HORIZONTALES .....	E17

**NOMENCLATURA :**

fm.- Esfuerzo resistente a compresión de la mampostería

fm (PROM).- Esfuerzo promedio de compresión de las pilas ensayadas

fp.- Esfuerzo resistente a compresión de la pieza

$\tau_m$ .- Esfuerzo resistente al cortante de la mampostería

D.- Proyección de la carga de rotura P sobre la dirección paralela a las hiladas

P (PROM).- Promedio de la carga de rotura.

L.- Longitud lateral del murete

t.- Espesor del murete

# 1. ALCANCE

En este título se especifica las disposiciones normativas para el análisis, diseño y construcción de edificaciones a base de mampostería estructural, específicamente muros de mampostería simple, confinada y armada.

- Muros de mampostería simple.- Compuestos por ladrillos cerámicos o bloques de hormigón sin ningún tipo de refuerzo ni confinamiento.
- Muros de mampostería confinada.- Compuestos por ladrillos cerámicos o bloques de hormigón “confinados” por vigas (encadenados) y columnas (pilares) de hormigón armado.
- Muros de mampostería armada.- Compuestos por bloques de hormigón reforzados con varillas de acero.

Estas edificaciones son muy útiles, prácticas y fáciles de construir, por lo que son muy utilizadas para construcciones de uno hasta cuatro pisos. Usualmente se utilizan para edificaciones de un solo piso.

Estas edificaciones se logran mediante la combinación de muros portantes de mampostería, losas macizas (si es que son de más de un piso) y sistemas livianos de techo.

Las indicaciones de esta norma se refieren a muros portantes de mampostería, no contemplan recomendaciones específicas para bóvedas, arcos, cimientos, vigas o columnas de mampostería.

## 2. MATERIALES

La mampostería estructural se forma básicamente a partir de ladrillos cerámicos y bloques de hormigón unidos con mortero de cemento, se puede reforzar con elementos de confinamiento (vigas cadena y pilares de hormigón armado) o con varillas de acero corrugado para “armar” los muros.

### 2.1 PIEZAS

Las piezas con que se puede construir muros de mampostería estructural son:

- Mortero de unión
- Ladrillos cerámicos macizos
- Ladrillos huecos

- Bloques de hormigón
- Aceros de refuerzo
- Elementos de hormigón armado

### 2.1.1 MORTEROS

Los morteros de unión serán fabricados en base a cemento Pórtland especial, cemento de mampostería, cal, arena y agua.

Los morteros deben cumplir lo siguiente:

- La resistencia mínima a compresión a 28 días del mortero será de 75 kg/cm<sup>2</sup>.
- Se utilizará la menor cantidad de agua compatible con la obtención de un mortero fácilmente trabajable y de adecuada adherencia con los ladrillos y bloques.

Las proporciones por volumen para la fabricación del mortero deben ser las siguientes:

Mortero Tipo	Partes de cemento Pórtland especial	Partes de arena suelta, con humedad natural	Resistencia mínima a compresión a 28 días, $f_{mo}$ (kg/cm <sup>2</sup> )
A	1	3	125
B	1	4	100
C	1	5	75

TABLA TC2-1. MORTEROS DE CEMENTO PORTLAND

### 2.1.2 LADRILLOS CERÁMICOS MACIZOS

Son ladrillos hechos a mano o con máquinas en base a arcilla. Se consideran ladrillos macizos aquellos que tengan en su sección transversal más desfavorable un área neta de por lo menos el 75% del área total, y cuyas paredes no tengan espesores menores de 2 cm. Usualmente se conocen como ladrillos “gambote macizo, gambote de 18 huecos y gambote de 21 huecos”.

Con estos ladrillos se puede fabricar estructuras de mampostería simple y confinada.

Se recomienda que el Ingeniero Estructural obtenga en laboratorio la resistencia a la compresión simple de este tipo de ladrillos, u obtenga una certificación del fabricante, se deberá ensayar por lo menos 15 ladrillos, se obtendrá la resistencia promedio  $f_{p(PROM)}$  y luego se obtendrá la resistencia  $f_p$  de la siguiente manera:

- Ladrillos fabricados a máquina con control permanente de calidad:

$$f_p = 0.75 f_{p(PROM)}$$

- Ladrillos fabricados a máquina sin control permanente de calidad:

$$f_p = 0.65 f_{p(PROM)}$$

- Ladrillos fabricados manualmente:

$$f_p = 0.55 f_{p(PROM)}$$

Para el cálculo de la resistencia a compresión se utilizará el área total (área bruta) de la pieza, sin descontar el área de los huecos que pudiera tener la pieza.

En caso de no ser factible realizar las pruebas, se puede utilizar la siguiente tabla que indica las resistencias nominales en compresión de piezas comunes de este tipo de ladrillos:

Pieza	Resistencia $f_p$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	Dimensiones aproximadas cm.
Gambote macizo	100	12 x 22.5 x 5.5
Gambote 18 huecos	180	12 x 25 x 6
Gambote 21 huecos	150	12 x 25 x 6

TABLA TC2-2. RESISTENCIAS NOMINALES DE LADRILLOS CERÁMICOS MACIZOS

### 2.1.3 LADRILLOS CERÁMICOS HUECOS

Son ladrillos hechos a mano o con máquinas en base a arcilla. Se consideran ladrillos huecos aquellos que tengan en su sección transversal más desfavorable un área neta de por lo menos el 45% del área total, y cuyas paredes no tengan espesores menores de 1.5 cm. Usualmente se conocen como “ladrillos de 6 huecos”.

Con estos ladrillos se puede fabricar estructuras de mampostería simple y confinada.

Los ladrillos de 3 huecos no pueden ser considerados para realizar trabajo estructural, por lo que sólo deben ser utilizados para construir tabiques divisorios.

Se recomienda que el Ingeniero Estructural obtenga una certificación del fabricante u obtenga en laboratorio la resistencia a la compresión simple de este tipo de ladrillos, para lo cual se debe seguir el mismo procedimiento indicado en el inciso 2.1.2.

En caso de no ser factible realizar las pruebas, se puede utilizar la siguiente tabla:

Pieza	Resistencia $f_p$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	Dimensiones aproximadas cm.
Ladrillo de 6 huecos	50	12 x 24 x 15

TABLA TC2-3. RESISTENCIAS NOMINALES DE LADRILLOS CERÁMICOS HUECOS

### 2.1.4 BLOQUES DE HORMIGÓN

Son bloques hechos a máquina en base a hormigón simple. En nuestro país sólo se cuenta con bloques huecos, es decir son aquellos que en su sección transversal más desfavorable, su área neta es por lo menos el 45% del área total, y cuyas paredes no tienen espesores menores de 1.5 cm.

Con estos bloques se puede fabricar estructuras de mampostería simple, confinada y armada.

Se recomienda que el Ingeniero Estructural obtenga una certificación del fabricante u obtenga en laboratorio la resistencia a la compresión simple de este tipo de bloques, para lo cual se debe seguir el mismo procedimiento indicado en el inciso 2.1.2.

En caso de no ser factible realizar las pruebas, se puede utilizar la siguiente tabla:

Pieza	Resistencia $f_p$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	Dimensiones aproximadas cm.
Bloque hueco de hormigón	70	15 x 40 x 20

TABLA TC2-4. RESISTENCIAS NOMINALES DE BLOQUES DE HORMIGÓN HUECOS

### 2.1.5 ACEROS DE REFUERZO

Los aceros de refuerzo para la mampostería confinada y reforzada deben tener los siguientes rangos de resistencia característica:

- Mínimo:  $f_{yk} = 4200 \text{ kg/cm}^2$
- Máximo:  $f_{yk} = 6000 \text{ kg/cm}^2$

## **2.1.6 ELEMENTOS DE HORMIGÓN ARMADO**

Para la mampostería confinada, las vigas cadena y los pilares deben ser de hormigón armado. Se debe utilizar como mínimo hormigones de resistencia característica:

$$f_{ck} = 150 \text{ Kg/cm}^2$$

# **3. ANALISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL SÍSMICO**

## **3.1 ANÁLISIS SISMICO**

Las estructuras a base de mampostería se analizarán siguiendo los lineamientos indicados en el Título A de esta normativa sísmica. Es decir que se deberá realizar un análisis sísmico dinámico modal espectral, análisis descrito en el capítulo 9 del Título A, para lo cual se deberá:

- Definir el espectro sísmico en función a la zonificación sísmica del país.
- Definir un modelo estructural muy cercano a la realidad.
- Definir las cargas y las masas de la edificación.
- Definir el amortiguamiento.
- Definir todas las condiciones para obtener la matriz de rigidez del sistema.

Justamente en esta última parte se debe tener un cuidado especial para definir las propiedades de la mampostería, especialmente para definir el módulo de elasticidad y el coeficiente de Poisson. En los capítulos siguientes se dan valores referenciales.

Usualmente los elementos estructurales de mampostería son muros, por lo que para el uso de programas modernos de computación se debe modelar los muros como elementos finitos tipo “placa” (Shell).

## **3.2 DISEÑO SÍSMICO**

El diseño sísmico de los elementos de mampostería consiste en verificar si cumplen los estados límite de servicio y los estados límites últimos, se debe revisar según lo indicado en el capítulo 9 del Título A de esta norma.

Particularmente en el diseño de elementos de mampostería se debe verificar que las cargas actuantes no exceden la resistencia de estos elementos. Es decir que se debe verificar que los esfuerzos actuantes por cualquier combinación de cargas no exceden los esfuerzos resistentes. Los esfuerzos actuantes deben estar “mayorados”, los esfuerzos resistentes deben estar “reducidos” por los factores de reducción “FR”. En el capítulo 5 se presenta los esfuerzos resistentes para cada tipo de mampostería.

## 4. REQUISITOS DE RESISTENCIA Y SERVICIO

La resistencia y nivel de servicio de la mampostería depende del tipo de piezas, del mortero, de la forma, geometría y tipo de refuerzo que se utilice.

Para diseñar muros de mampostería se debe conocer:

- Esfuerzo resistente a compresión
- Esfuerzo resistente a tracción
- Esfuerzo resistente a cortante

Para conocer el comportamiento se debe conocer:

- Módulo de elasticidad
- Coeficiente de Poisson

### 4.1 RESISTENCIA A COMPRESIÓN

La resistencia básica esta formada por la resistencia combinada de las piezas y del mortero, el Ingeniero Estructural debe obtener en laboratorio la resistencia mínima de la mampostería básica (piezas y mortero), se cuenta con tres procedimientos:

a) En base a ensayos a compresión simple

Se deberá fabricar una “pila” de mampostería compuesta por lo menos por tres piezas, con una altura mayor a 35 cm. Las piezas deberán estar unidas con el mismo mortero que se utilizará en la obra. La relación de esbeltez entre la altura y el espesor de la pila deberá estar entre 2.5 y 5, se recomienda utilizar una relación de 4. Ver las siguientes fotos (cortesía del alumno Carlos Llanque).



FIGURA FC4-1. FOTOS DEL ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE

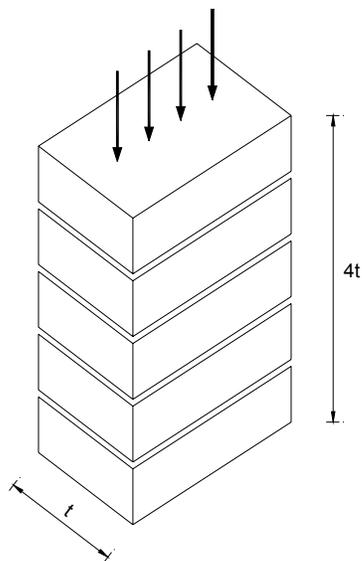


FIGURA FC4-2. PILA DE MAMPOSTERÍA PARA ENSAYE DE COMPRESIÓN

Se deberá seguir en lo posible, el mismo procedimiento que se utiliza para probar cilindros de hormigón en laboratorio. El tiempo de curado del mortero de la pila deberá ser de 28 días.

Se deberá ensayar por lo menos 10 pilas.

La resistencia a la compresión de la mampostería se obtendrá de la siguiente manera:

$$f_m = 0.75 f_{m(PROM)}$$

Donde:

$f_m$ .- Esfuerzo resistente a compresión de la mampostería

$f_{m(PROM)}$ .- Esfuerzo promedio de compresión de las pilas ensayadas

b) En base a la resistencia de las piezas

Cuando sea muy dificultoso realizar los ensayos de las pilas, se podrá recurrir a este procedimiento alternativo.

La resistencia de la mampostería esta en función a la resistencia de la pieza (resistencia  $f_p$  obtenida de ensayos en laboratorio) y del tipo de mortero, se podrá utilizar las siguientes expresiones:

- Ladrillos cerámicos macizos y huecos:

- Mortero tipo A  $f_m = 0.50 f_p$
- Mortero tipo B  $f_m = 0.45 f_p$
- Mortero tipo C  $f_m = 0.35 f_p$

- Bloques de hormigón:
  - o Mortero tipo A  $f_m = 0.55 f_p$
  - o Mortero tipo B  $f_m = 0.50 f_p$
  - o Mortero tipo C  $f_m = 0.45 f_p$

Donde:

$f_m$ .- Esfuerzo resistente a compresión de la mampostería

$f_p$ .- Esfuerzo resistente a compresión de la pieza

c) En base a la siguiente tabla de resistencias nominales

Si no es posible realizar los dos procedimientos anteriores, se puede utilizar la siguiente tabla:

Tipo de pieza	Esfuerzo resistente a compresión $f_m$ (kg/cm <sup>2</sup> )		
	Mortero Tipo A	Mortero Tipo B	Mortero Tipo C
Ladrillo gambote macizo	40	35	30
Ladrillo gambote de 18 huecos	70	65	60
Ladrillo gambote de 21 huecos	60	55	50
Ladrillo de 6 huecos	30	25	20
Bloque hueco de hormigón	40	35	30

TABLA TC4-1. ESFUERZO RESISTENTE A COMPRESIÓN DE LA MAMPOSTERÍA

## 4.2 RESISTENCIA A TRACCIÓN

El esfuerzo resistente a la tracción de la mampostería depende totalmente de la adherencia entre el mortero y las piezas, este valor es bajo y muy variable, por lo que en general se aconseja utilizar el siguiente valor máximo:

$$f_t = 3\% \text{ de } f_{m0}$$

Debido a la alta variabilidad de la resistencia a tracción, se recomienda que en los sectores de muros donde se presenten fuertes esfuerzos de tracción, se refuercen esos

sectores con varillas corrugadas o colocando en esos lugares elementos estructurales (vigas o columnas) que pueda tomar dicho esfuerzo.

### 4.3 RESISTENCIA AL CORTANTE

La resistencia a la fuerza cortante se puede obtener de la siguiente manera:

a) En base a ensayos a compresión diagonal

Se deberá fabricar un pequeño muro (murete) de mampostería compuesto por lo menos por una pieza y media en una dirección y dos a tres hiladas en la dirección perpendicular, de manera que el murete tenga una forma casi cuadrada. Este murete deberá reflejar de la mejor manera posible la fabricación de los muros en obra, las piezas deberán estar unidas con el mismo mortero que se utilizará en la obra.

Se deberá seguir en lo posible, el mismo procedimiento que se utiliza para probar cilindros de hormigón en laboratorio. El tiempo de curado del mortero de la pila deberá ser de 28 días. Se deberá ensayar por lo menos 10 muretes.

En ensayo consiste en aplicar carga según una diagonal del murete, es decir que el murete será colocado de manera “diagonal” y se le aplicará carga hasta llegar a la rotura, ver las siguientes fotos (cortesía del alumno Carlos Llanque).



FIGURA FC4-3. FOTOS DEL ENSAYO DE COMPRESIÓN DIAGONAL

La resistencia al corte de la mampostería se obtendrá de la siguiente manera:

$$\tau_m = 0.75 D / L \cdot t$$

$$D = 0.7 P_{(PROM)}$$

Donde:

$\tau_m$ .- Esfuerzo resistente al cortante de la mampostería

D.- Proyección de la carga de rotura P sobre la dirección paralela a las hiladas

$P_{(PROM)}$ .- Promedio de la carga de rotura.

L.- Longitud lateral del murete

t.- Espesor del murete

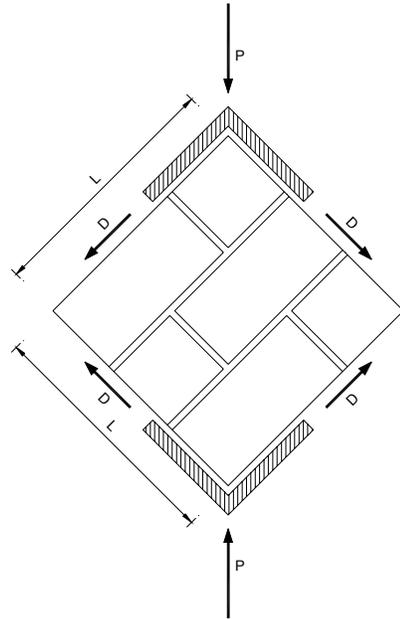


FIGURA FC4-4. ENSAYO DE COMPRESIÓN DIAGONAL

b) En base a la siguiente tabla de resistencias nominales

Si no es posible realizar el procedimiento anterior, se puede utilizar la siguiente tabla:

Tipo de pieza	Esfuerzo resistente a cortante $\tau_m$ (kg/cm <sup>2</sup> )		
	Mortero Tipo A	Mortero Tipo B	Mortero Tipo C
Ladrillo gambote macizo	4.5	4.5	4.0
Ladrillo gambote de 18 huecos	6.5	6.0	5.5
Ladrillo gambote de 21 huecos	5.5	5.0	4.5
Ladrillo de 6 huecos	4.5	4.0	3.5
Bloque hueco de hormigón	7.0	6.5	6.0

TABLA TC4-2. ESFUERZO RESISTENTE A CORTANTE DE LA MAMPOSTERÍA

## 4.4 REQUISITOS DE SERVICIO

Se debe verificar el comportamiento de las estructuras de mampostería, especialmente verificar las deflexiones verticales y los desplazamientos laterales. Para esta verificación se debe seguir lo indicado en el inciso 9.4.2.1 del capítulo 9 del Título A de estas normas.

Para que los modelos de elementos finitos realizados en programas especializados de computación generen valores realistas, se debe definir el módulo de elasticidad y el coeficiente de Poisson de la mampostería.

### 4.4.1 MÓDULO DE ELASTICIDAD

El módulo de elasticidad podrá determinarse experimentalmente o se podrá utilizar la siguiente expresión aproximada:

$$E_m = 300 f_m$$

### 4.4.2 COEFICIENTE DE POISSON

Se puede asumir el siguiente valor para el coeficiente de Poisson:

$$\mu = 0.25$$

## 5. TIPOS DE MAMPOSTERÍA ESTRUCTURAL

### 5.1 MAMPOSTERÍA SIMPLE

Esta compuesta por piezas de ladrillo cerámico o bloques de hormigón sin ningún tipo de refuerzo, por lo que sólo se cuenta con su resistencia básica.

#### 5.1.1 RESISTENCIA

La resistencia a los esfuerzos de compresión, tracción y cortante son los siguientes:

- Esfuerzo resistente a compresión:

$$f_{md} = FR \cdot f_m$$

$$FR = 0.40$$

- Esfuerzo resistente a tracción:

$$f_{td} = FR \cdot f_t$$

$$FR = 0.40$$

- Esfuerzo resistente a cortante:

$$\tau_{md} = FR \cdot \tau_m$$

$$FR = 0.40$$

### 5.1.2 COMPORTAMIENTO SÍSMICO

El comportamiento sísmico de estos elementos es malo, se recomienda utilizar este tipo de mampostería solamente en zonas de muy baja sismicidad y sobre suelos firmes.

## 5.2 MAMPOSTERÍA CONFINADA

Esta compuesta por piezas de ladrillo cerámico o bloques de hormigón “confinados” por pilares (columnas pequeñas) y vigas cadena de hormigón armado. Esta mampostería cuenta con su resistencia propia mejorada por la resistencia de las columnas y vigas.

### 5.2.1 RESISTENCIA

La resistencia a los esfuerzos de compresión, tracción y cortante son los siguientes:

- Esfuerzo resistente a compresión:

$$f_{md} = FR \cdot f_m$$

$$FR = 0.80$$

- Esfuerzo resistente a tracción:

$$f_{td} = FR \cdot f_t$$

$$FR = 0.70$$

- Esfuerzo resistente a cortante:

$$\tau_{md} = FR \cdot \tau_m$$

$$FR = 0.70$$

### 5.2.2 COMPORTAMIENTO SÍSMICO

Para lograr un buen comportamiento sísmico debe seguirse las siguientes recomendaciones:

- Los desplazamientos laterales de los extremos superior e inferior de los muros, en dirección perpendicular a su plano, deben estar limitadas por el sistema de piso (usualmente elementos de cimentación y losas macizas de piso) o por otros elementos.
- No deben existir excentricidades importantes en la aplicación de cargas axiales. Es decir que las losas de piso u otros elementos, deben apoyar perfectamente bien sobre los muros.

- La relación altura libre a espesor del muro (h/t) no debe exceder a 20.
- Los elementos de confinamiento deben cumplir lo indicado a continuación.

### 5.2.2.1 Requisitos para Pilares y Vigas Cadena

Los pilares y vigas cadena deben cumplir los siguientes requisitos:

- Deberá existir un pilar en todo extremo de muro.
- Deberá existir un pilar en puntos intermedios del muro con una separación L:
  - $L \leq 4m.$
  - $L \leq 1.5H$  (H.- Altura libre del muro)
- Deberá existir una viga de cimentación sobre todo el cimiento corrido de los muros.
- Deberá existir una viga cadena sobre todos los muros portantes.
- En caso de muros “altos” (3 a 5 m de altura), deberá existir una viga cadena “intermedia” a la mitad del muro.
- Los pilares y vigas tendrán como dimensión mínima el espesor del muro.
- Se colocarán pilares y vigas alrededor de ventanas importantes (ventanas cuya dimensión exceda de la cuarta parte de la dimensión del muro en la misma dirección).

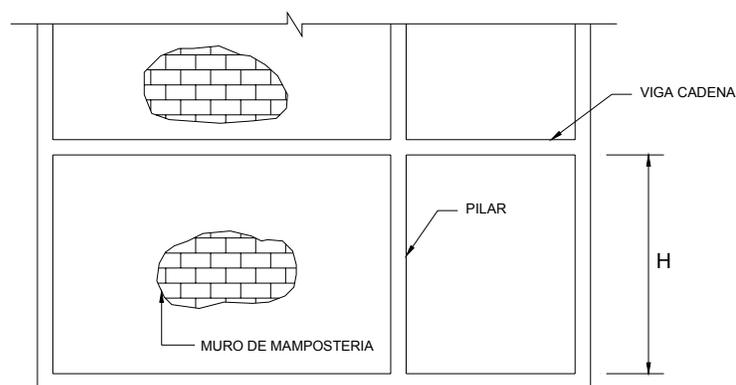


FIGURA FC5-1. PILARES Y VIGAS CONFINANTES

- Las vigas tendrán 4 varillas de por lo menos  $\phi = 8$  mm en toda su longitud.
- La separación de estribos en vigas será por lo menos:

$$s \leq 20 \text{ cm}$$

$$s \leq h \text{ (h.- peralte de la viga)}$$

- Los estribos de las vigas serán por lo menos de 6 mm de diámetro.
- El total de área de acero de cada pilar será por lo menos:

$$A_s \geq 0.2 \cdot (f_{ck} / f_y) \cdot C_1 \cdot C_2$$

- Los estribos de pilares serán por lo menos de 6mm de diámetro.
- La separación de estribos en pilares será por lo menos:

$$s \leq 20 \text{ cm}$$

$$s \leq 1.5 C_1$$

$$s \leq 1.5 C_2$$

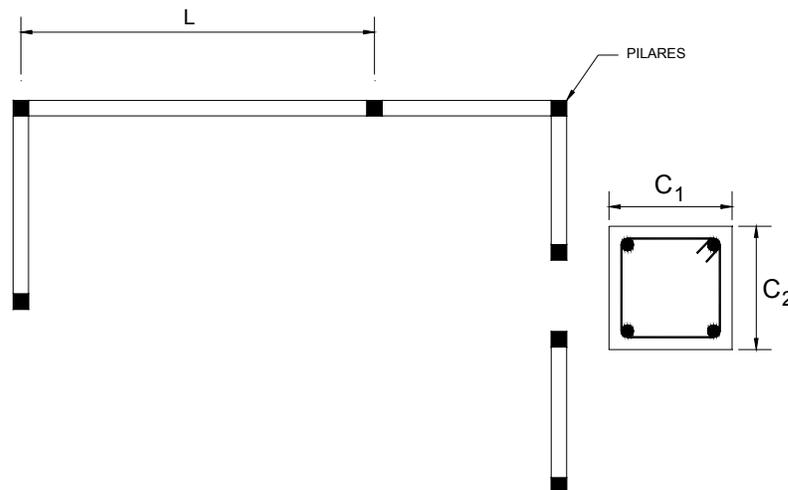


FIGURA FC5-2. PILARES DE CONFINAMIENTO

### 5.2.2.2 Diseño de Pilares y Vigas Cadena

Los pilares, vigas cadena y vigas de cimentación deberán diseñarse en función a los elementos mecánicos (axial, cortante, flexión y torsión), que se presentan por acción de las distintas combinaciones de cargas. El programa de cálculo generará las distintas fuerzas internas para el diseño, deberá seguirse las recomendaciones de diseño de elementos de hormigón armado (Título C)

## 5.3 MAMPOSTERÍA ARMADA

Esta compuesta por bloques de hormigón “reforzados” con varillas de acero. Esta mampostería cuenta con su resistencia propia mejorada por la resistencia de las varillas de refuerzo.

Las varillas de acero se colocan en dirección horizontal y vertical en los huecos que tienen las piezas, en ductos o en las juntas.

### 5.3.1 RESISTENCIA

La resistencia a los esfuerzos de compresión, tracción y cortante son los siguientes:

- Esfuerzo resistente a compresión:

$$f_{md} = FR \cdot f_m$$

$$FR = 0.95$$

- Esfuerzo resistente a tracción:

$$f_{td} = FR \cdot f_t$$

$$FR = 0.70$$

- Esfuerzo resistente a cortante:

$$\tau_{md} = FR \cdot \tau_m \cdot 1.5$$

$$FR = 0.70$$

### 5.3.2 COMPORTAMIENTO SÍSMICO

Para lograr un buen comportamiento sísmico debe seguirse las siguientes recomendaciones:

- Los desplazamientos laterales de los extremos superior e inferior de los muros, en dirección perpendicular a su plano, deben estar limitadas por el sistema de piso (usualmente elementos de cimentación y losas macizas de piso) o por otros elementos.
- No deben existir excentricidades importantes en la aplicación de cargas axiales. Es decir que las losas de piso u otros elementos, deben apoyar perfectamente bien sobre los muros.
- La relación altura libre a espesor del muro ( $h/t$ ) no debe exceder a 20.
- Los elementos reforzados deben cumplir lo indicado a continuación.

#### 5.3.2.1 Requisitos para Muros Armados

Los muros armados deben cumplir los siguientes requisitos:

- Deberá existir una viga de cimentación sobre todo el cimiento corrido de los muros.
- La cuantía de refuerzo horizontal será por lo menos:

$$\rho_h \geq 0.0007 \quad \text{donde} \quad \rho_h = A_h / (s_v \cdot t)$$

- La cuantía de refuerzo vertical será por lo menos:

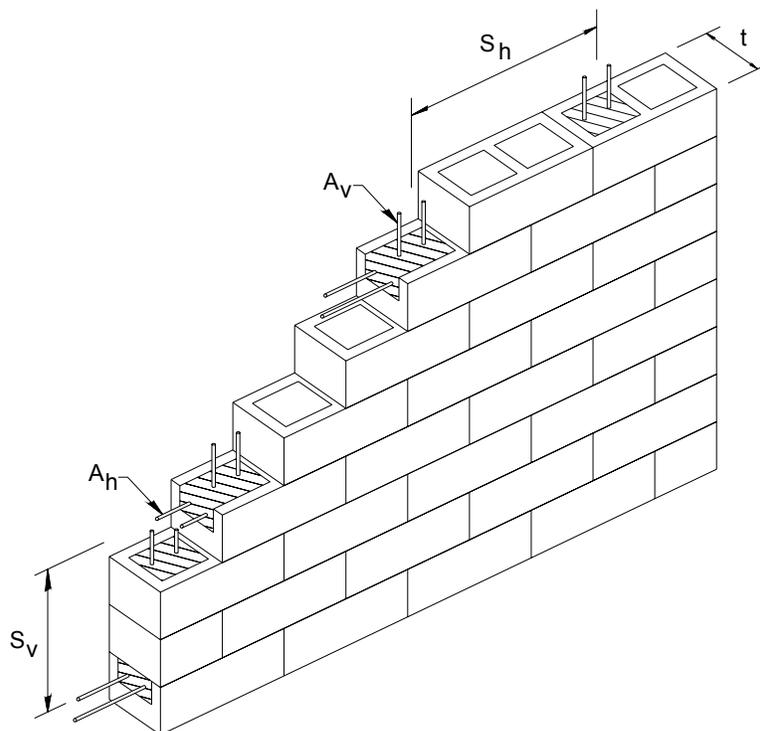
$$\rho_v \geq 0.0007 \quad \text{donde} \quad \rho_v = A_v / (s_h \cdot t)$$

- La suma de ambas cuantías no será menor a 0.002.
- Todo hueco vertical del bloque de hormigón que contenga una varilla vertical deberá tener una distancia libre mínima entre el refuerzo y las paredes del bloque igual a la mitad del diámetro de la barra y deberá ser llenado con mortero.
- La distancia libre mínima entre una varilla de refuerzo horizontal y el exterior del muro será de 1.5 cm. El refuerzo horizontal deberá estar embebido en toda su longitud en mortero.
- El mortero deberá el mismo con que se cuelean los bloques entre sí.
- El hueco de los bloques deberá tener una dimensión mínima mayor de 5 cm y un área no menor de 30 cm<sup>2</sup>.
- Por lo menos deberá colocarse una varilla de 10 mm de diámetro en dos huecos verticales consecutivos en todo extremo de muros, una varilla en un bloque y la otra en otro bloque para ligarlos a ambos. También se deberá realizar esta operación en cada intersección de muros y también máximo a cada 3 m.
- El refuerzo vertical deberá tener una separación:

$$s_h \leq 6 t$$

$$s_h \leq 80 \text{ cm}$$

- Todos los muros portantes deberán unirse entre sí mediante el traslape de sus bloques.



### FIGURA FC5-3. MURO REFORZADO

- El refuerzo horizontal deberá ser continuo y sin traslapes en la longitud del muro y estar anclado con ganchos en los extremos.
- El refuerzo horizontal deberá tener una separación:

$$s_v \leq 6 t$$

$$s_v \leq 80 \text{ cm}$$

- El refuerzo horizontal puede ir en la junta o en piezas especiales fabricadas para colocar este refuerzo. Mejor si se utiliza piezas especiales.
- Se deberá colocar una varilla de 12 mm de diámetro alrededor de toda abertura cuya dimensión exceda de 60 cm en cualquier dirección.

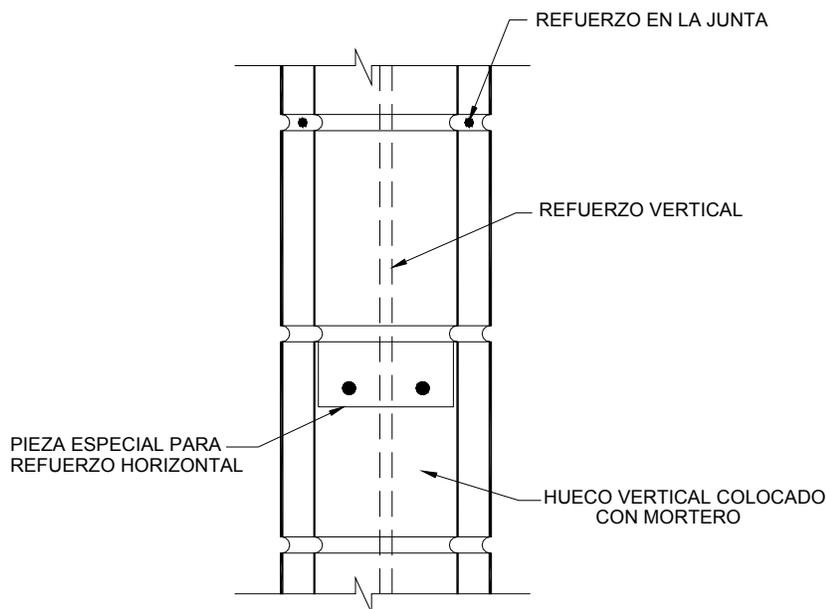


FIGURA FC5-4. REFUERZOS VERTICALES Y HORIZONTALES

#### 5.3.2.2 Diseño de los Refuerzos para Mampostería Armada

En refuerzo vertical simplemente debe cumplir lo especificado en el inciso anterior (5.3.2.1). La contribución del refuerzo a la compresión se toma en cuenta mejorando el factor de reducción de la mampostería a 0.95 (ver inciso 5.3.1).

El refuerzo horizontal también debe seguir lo indicado en el inciso anterior, de esta manera se considera que la contribución de este refuerzo en el cortante resistente de la mampostería permite incrementar en 1.5 veces el esfuerzo resistente (ver 5.3.1).

La acción sísmica generará momentos flectores en el plano y fuera del plano de los muros, los programas especializados traducirán estos momentos en esfuerzos internos

en los muros, especialmente se presentarán zonas a tracción, en ese caso se considerará que la mampostería no resiste nada a tracción ( $f_t = 0.00$ ) y se deberá tomar el esfuerzo actuante a tracción mediante varillas de acero, entonces se podrá diseñar refuerzos verticales y en algunos casos también horizontales trabajando a tracción pura, esos refuerzos se colocarán en las zonas donde sean necesarios.

## **5.4 COMBINACIONES DE TIPOS DE MAMPOSTERÍA**

Se permite utilizar muros confinados con pilares y vigas cadena y a la vez reforzados con varillas horizontales y verticales. Se puede combinar en toda la estructura o solamente en algunos sectores, pero se deberá lograr un comportamiento adecuado. En cualquier caso se deberá considerar todos los requisitos para ambos sistemas, evidentemente la resistencia sísmica será bastante alta.

# **6. CONSTRUCCIÓN**

## **6.1 MATERIALES**

### **6.1.1 LADRILLOS Y BLOQUES**

Los ladrillos cerámicos y los bloques de hormigón deberán estar limpios, íntegros y sin rajaduras.

Los ladrillos deberán colocarse en estado de saturación y sin agua libre superficial.

Los bloques deberán colocarse en estado seco.

### **6.1.2 MORTEROS**

Se deberá utilizar la mínima cantidad de agua que permita lograr una mezcla consistente y trabajable.

La dosificación del mortero deberá estar bien controlada.

El tiempo de mezclado deberá ser mínimo de 3 minutos.

El mortero deberá utilizarse máximo 2.5 horas después de su elaboración.

Si el mortero empieza a endurecerse se podrá aumentar agua para poderlo utilizar, antes de las 2.5 horas.

El agua deberá estar limpia y exenta de impurezas.

La arena deberá ser “fina” exenta de materias orgánicas.

## **6.2 PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO**

### **6.2.1 UNIONES**

El mortero debe cubrir perfectamente todas las caras de las piezas. El espesor deberá ser suficiente para obtener uniformidad y buena alineación de las piezas. El espesor máximo será de 2 cm.

### **6.2.2 COLOCACIÓN DE LAS PIEZAS**

Las piezas deben colocarse completamente trabadas entre sí. Todos los muros portantes deberán ligarse y anclarse entre sí. El espesor del muro debe ser mayor a 12 cm.

### **6.2.3 COLOCACIÓN DEL HORMIGÓN MAMPOSTERÍA CONFINADA**

El hormigón de los pilares y vigas cadena deberá colocarse siguiendo las recomendaciones usuales para elementos de hormigón armado, debe prestarse especial cuidado a la vibración, ya que son elementos pequeños.

### **6.2.4 COLOCACIÓN DEL MORTERO MAMPOSTERÍA ARMADA**

El mortero para la mampostería armada debe llenar totalmente los huecos verticales, se deberá llenar en tramos de 1.00 m simultáneamente con la construcción del muro.

En mortero para cubrir los refuerzos horizontales también debe llenar completamente las piezas especiales, si es que se cuenta con ellas. En caso contrario deberá seguirse lo recomendado para las uniones (6.2.1).

### **6.2.5 COLOCACIÓN DE LOS REFUERZOS**

Los aceros de refuerzo deberán mantenerse fijos durante el vaciado.

Para pilares y vigas cadenas los requisitos de recubrimientos, separación de barras, traslapes y anclajes son los mismos que para elementos de hormigón armado.

Para los refuerzos de muros regirá lo indicado en 5.3.2.1.

## **6.2.6 ESTABILIDAD DE LOS MUROS**

Durante la construcción deberá cuidarse la estabilidad de los muros, especialmente ante acciones perpendiculares a su plano debidas a viento, sismo, etc.

## **6.2.7 CURADO DE LOS MUROS**

Deberá curarse los muros por lo menos durante 7 días en condiciones climáticas normales. Los elementos de hormigón armado según la normativa respectiva (Título C).

## **6.2.8 TOLERANCIAS EN LA CONSTRUCCIÓN DE LOS MUROS**

Los muros no deberán presentar desviaciones respecto a la vertical mayores que 0.4% de su altura libre ni que 1.5 cm.

Ningún punto del eje de un muro distará mas de 2 cm del eje del proyecto.

## **6.2.9 PLANOS ESTRUCTURALES**

En los planos estructurales deberá indicarse el peso máximo de las piezas, la resistencia a la compresión, tracción y cortante, la tolerancia en sus dimensiones, el tipo de mortero, los detalles del colocado de refuerzos, longitudes, diámetros y anclajes, la ubicación y armado de pilares y vigas cadena, etc.

## **7. PRUEBAS DE CALIDAD**

En toda construcción debe verificarse la calidad del mortero y de las piezas de mampostería.

Para construcciones de uno a dos pisos simplemente debe verificarse en obra la calidad del mortero y de las piezas según lo indicado en el inciso 6.1.

Para construcciones de más de dos pisos, la calidad del mortero esta definida básicamente por su resistencia a la compresión, para verificarla debe probarse a la compresión simple unas 10 piezas representativas del mortero, esta prueba deberá seguir lo especificado en la respectiva norma de IBNORCA. La resistencia del mortero debe ser mayor a la indicada en la tabla TC2-1.

Para construcciones de más de dos pisos, también debe verificarse la resistencia a la compresión y al cortante de la mampostería, para lo cual se debe realizar las pruebas de compresión simple y de compresión diagonal, según lo indicado en 4.1 y 4.3.

## 8. SOFTWARE ESPECIALIZADO

Se recomienda utilizar programas que puedan representar mediante “elementos finitos” el comportamiento de los muros de mampostería, si bien la aproximación que se logra con estos elementos no es perfecta, permite conocer bastante bien el comportamiento (esfuerzos y deformaciones) de la estructura y muchísimo mejor que utilizando una simple tabla (hoja electrónica) para distribuir fuerzas en función a la ubicación de los muros.

Programas conocidos y recomendados son:

- SAP2000
- ROBOT
- MIDAS

Esta lista es sólo referencial, el Ingeniero Estructural puede utilizar otros conociendo el manejo del programa, sus bases teóricas y su capacidad para modelar este tipo especial de estructuras.

## 9. COMENTARIOS

Se considera que el método de análisis y diseño sísmico de elementos de mampostería confinada y reforzada (armada) mostrado en los capítulos anteriores, es conservador, debido principalmente a la falta de información técnica, especialmente falta de ensayos en laboratorio de la resistencia de las piezas, del mortero y de la mampostería misma. Además prácticamente no existen edificaciones realizadas con estos elementos.

Usualmente se construye casas de uno a dos pisos con “mampostería confinada” pero prácticamente sin saberlo, donde no se aprovecha la capacidad de las piezas, simplemente se utilizan como relleno (muros divisorios).

Sí se construyen varias casas de uno a dos pisos con mampostería simple, situación que puede ser muy peligrosa en zonas con sismicidad alta.

Este Título de la Norma Sísmica pretende generar interés en el uso de este tipo de estructuras y que poco a poco se vaya generando más información técnica para la próxima versión de la Norma y se obtenga estructuras seguras, económicas y estables, colaborando a disminuir el elevado déficit habitacional del país.

En los distintos capítulos no se dice nada del tipo de suelo y de la cimentación, evidentemente se deberá realizar un adecuado diseño del sistema de fundación, puede utilizarse cimientos corridos o incluso losas de cimentación.

Se debe tener mucho cuidado al manejar los programas especializados, se debe tener mucha práctica y experiencia en su manejo y también realizar algunas verificaciones manuales sencillas.