



Cerámica SJ

# **Manual de Construcción y Diseño con Tabiques Estructurales de Cerámica Santa Julia**

Pilares 919, Col. Letrán Valle, Deleg. Benito Juárez, C.P. 03650, México D.F.

[www.ceramicasj.com](http://www.ceramicasj.com)

# MANUAL DE CONSTRUCCION Y DISEÑO CON TABIQUES ESTRUCTURALES DE **CERÁMICA SANTA JULIA**

Proceso de construcción	1
Detalles constructivos	6
Diseño de mamposterías con tabiques de barro de cerámica Santa Julia	8
Descripción de los ensayos efectuados. Comentarios y datos para diseño	13
Artículo para divulgación	21
<b>Anexo 1</b>	35
Resultados de pruebas de laboratorio	
<b>Anexo 2</b>	53
Resumen de resultados	

# MANUAL DE CONSTRUCCION Y DISEÑO CON TABIQUES ESTRUCTURALES DE CERÁMICA SANTA JULIA

Las presentes recomendaciones sólo serán aplicables a mamposterías construidas con los siguientes tipos de piezas fabricadas por Cerámica Santa Julia:

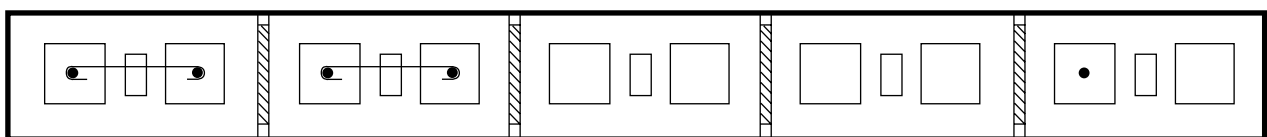
T-4 T-5 T-6

Los datos de resistencia ante carga axial y cortante fueron establecidos a partir de un estudio experimental; mientras que los requisitos de refuerzo cumplen con los requisitos de diseño establecidos en las Normas Técnicas Complementarias para el Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería, (NTCM) del Reglamento de Construcciones del Distrito Federal, norma que es ampliamente aceptada en toda la República Mexicana.

Las recomendaciones de estructuración y refuerzo que se dan tienen la finalidad de asegurar un comportamiento altamente satisfactorio ante fuerzas sísmicas principalmente, y están orientadas a lograr que las mamposterías construidas con estas piezas tengan gran capacidad de deformación y resistencia en el eventual caso de que se llegara a agrietar la mampostería por sobrepasarse su capacidad resistente

## PROCESO DE CONSTRUCCIÓN

- 1) Los tabiques se deberán saturar mediante inmersión total al menos dos horas antes de colocarse. Las piezas deben estar limpias y sin rajaduras.
- 2) Mediante plantilla, o trazo con cinta, deberán localizarse y dejarse las preparaciones del refuerzo, dejando ahogado dicho refuerzo en la losa de cimentación, contratrabe o dala de desplante.
- 3) El refuerzo por flexión (que se coloca en los extremos de los muros), deberá ser continuo y anclado convenientemente en la cimentación.
- 4) El acero por flexión se colocará en los primeros 2 ó 4 huecos de los extremos de los muros. Este refuerzo vertical será continua desde cimentación y sólo se podrá traslapar en los entrepisos usando 60 O (60 diámetro de la varilla), como longitud de traslape.

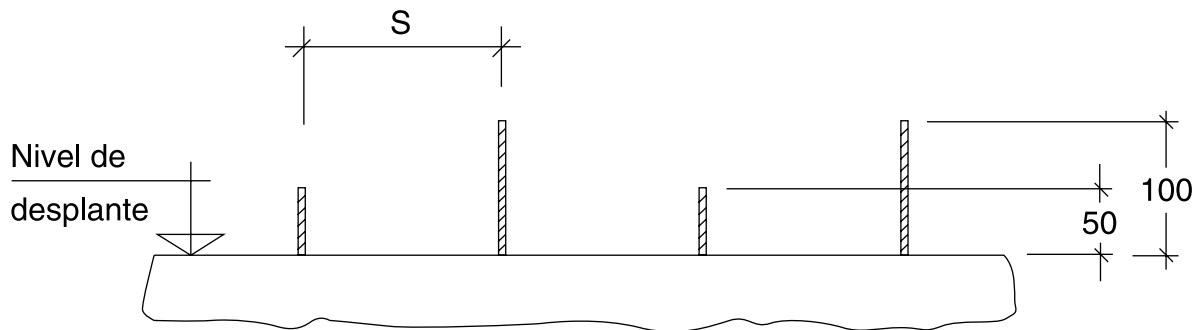


5) Unir en cada hilada el refuerzo por flexión mediante grapas a 180° (ver dibujo anterior). Estas grapas serán de varilla de alta resistencia 60, 3/16" ó 1/4" de diámetro ( $f_y=6000 \text{ kg/cm}^2$ ), o varilla grado 42 de 5/16" de diámetro. No se debe utilizar alambrcn para el refuerzo de las mamposterías.



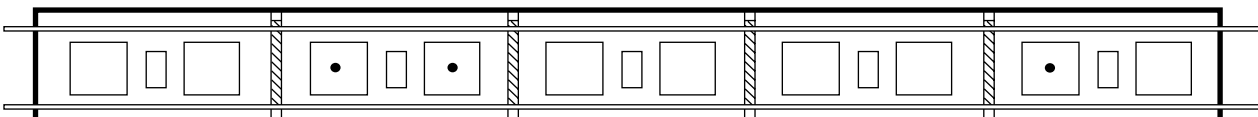
El hueco en que se coloque refuerzo por flexión se llenará con concreto que tenga una resistencia mínima de  $150 \text{ kg/cm}^2$ , ó inmediatamente hilada por hilada con el mismo mortero con el que se están uniendo las piezas, "picando" vigorosamente el hueco para evitar que queden espacios vacíos.

6) El refuerzo que va distribuido en el interior d muro debe desplantarse alternadamente de la siguiente manera:

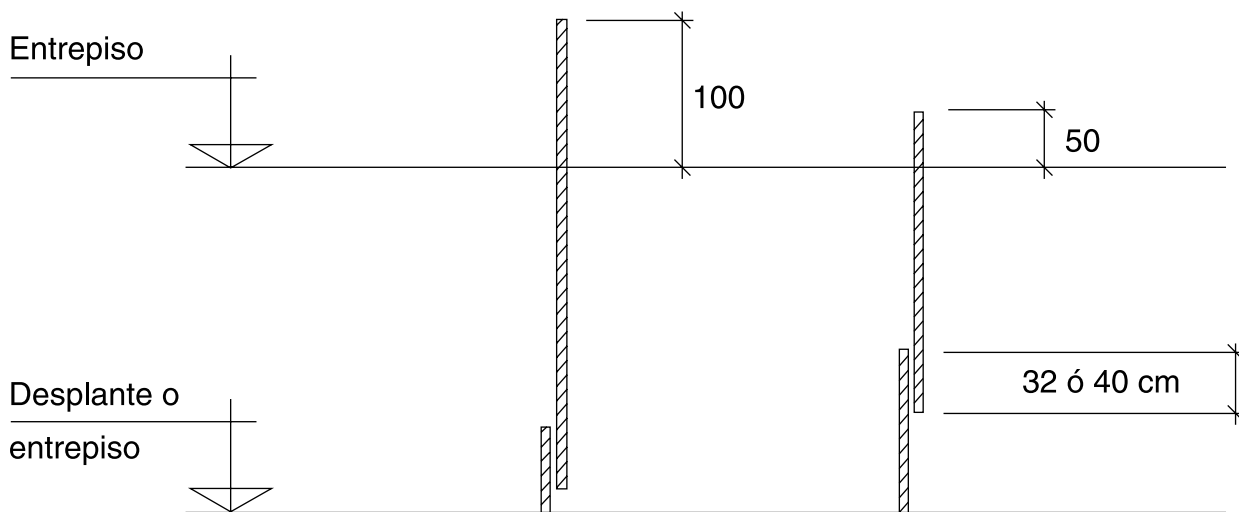


Las barbas que se dejan no deben tener la misma longitud, ver dibujo. El refuerzo deberá consistir en una varilla de alta resistencia 60 5/16" ó varilla grado 42 de 3/8"; la separación a la que debe colocarse este refuerzo vertical S en el interior del muro, depende del tipo de pieza y se indica a continuación; además a cada 3 metros deben reforzarse y colarse dos huecos consecutivos:

Tipo de pieza	S
T-4	60
T-5	72
T-680	



- 7) Las piezas se desplantarán sobre una base de mortero de aproximadamente 2 cm. Las hiladas se cuatrapean cuidando que se coloque mortero tanto en las juntas horizontales como verticales; el espesor de las juntas será de aproximadamente 1 cm si no se va a colocar refuerzo horizontal en ellas (mampostería no reforzada), ó de 1.5 cm si se pone refuerzo horizontal (mampostería reforzada).
- 8) En la colocación de las piezas se debe procurar que no caiga mortero en los huecos en que va a haber refuerzo vertical, para que cuando se haya levantado el muro en toda su altura, o donde se vaya a poner una dala intermedia, se pueda colocar sin dificultad el traslape del refuerzo, que tendrá una longitud de 32 cm si es varilla de alta resistencia 60 ó de 40 si es varilla grado 42. Después, colar el hueco con el mismo mortero, picando con varilla para asegurar que penetra el mortero, dejando las puntas sobresaliendo alternadamente.



- 9) Los morteros se prepararán con la menor cantidad de agua posible que permita su fácil colocación, no deberán emplearse morteros que tengan más de dos horas de elaborados. Los morteros que se recomiendan para unir las piezas T-4, T-6, T-6 son:

Mortero tipo	Proporción en volumen de		
	cemento	cal	arena
A	1	0	3
B	1	0.25	4.0
C**	1	0.50	4.0

\*\*\*mortero tipo 3 de las NTCM

10) La resistencia nominal de diseño ( $f_m^*$ ) a carga axial será la siguiente

Tipo de pieza	mortero	$F_m^*$ kg/cm <sup>2</sup>
T-4	A	75
T-5	B	75
T-6C	45	

En caso de usar mortero epóxico o el mortero Fester Grout,  $f_m^*$  se podrá incrementar y tomar como valor de diseño 120kg/cm<sup>2</sup>.

11) La resistencia nominal a cortante de las mamposterías construidas con estas piezas es:

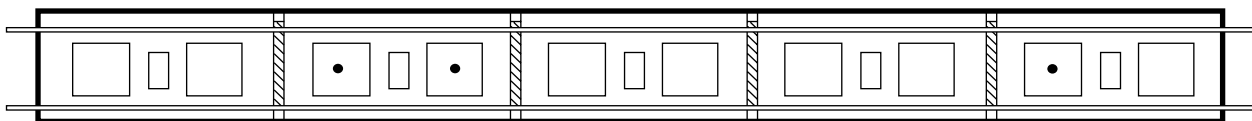
Tipo de pieza	mortero	$v^*$ kg/cm <sup>2</sup>	
T-4	A	5.0	.0
	B	6	
	C	3.5	
T-5	A	5.0	.0
	B	6	
	C	3.5	
T-6A	5.0		.0
	B	6	
	C	3.5	

En caso de usar mortero Fester Gruot, la resistencia a cortante será la misma que para los morteros A; mientras que se emplea un mortero epóxico, la resistencia nominal de diseño en cortante  $v^*$  se tomará igual a 8 kg/cm<sup>2</sup>

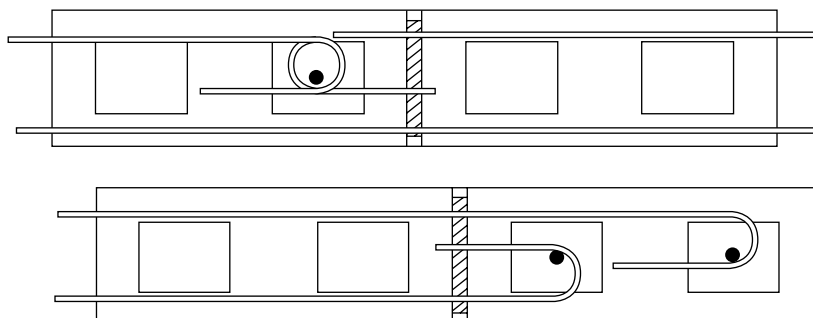
- 12) Para el procedimiento de diseño que se plantea más adelante, se tomará  $F_R=0.4$  si no se coloca refuerzo horizontal entre las juntas del mortero; mientras que si se pone este refuerzo horizontal, se puede incrementar un 25% el esfuerzo  $v^*$  indicado en la tabla anterior; la separación y tamaño del refuerzo se indica a continuación.

Tipo de pieza	Mortero tipo	Refuerzo TEC-60	Número de hiladas
T-4	A	2	de 5/165
	B	2	de 5/165
	C	2 de 1/4	5
T-5	A	2	de 5/167
	B	2	de 5/166
	C	2 de 1/4	6
T-6A	2	de	5/165
	B	2	de 5/165
	C	2 de 1/4	5

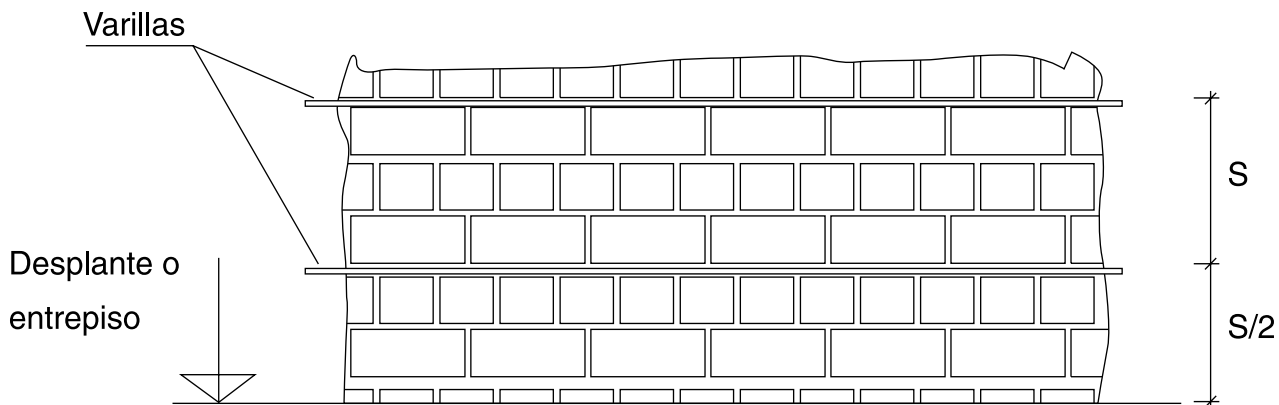
Se recomienda la varilla de alta resistencia 60 porque se tienen diámetro pequeños y el acero es de alto grado de fluencia ( $6000 \text{ kg/cm}^2$ ), pueden usarse varillas de grado 42 que desarrollen fuerzas de fluencia equivalentes, pero implicará aumentar el tamaño de las juntas porque serán de mayor diámetro.



- 13) Este refuerzo horizontal no se traslapa, debe anclarse en los castillos intermedios o en los extremos, de preferencia con su gancho doblado a  $180^\circ$ , alrededor del refuerzo vertical de un castillo interior, en el que el hueco se rellena totalmente con mortero.

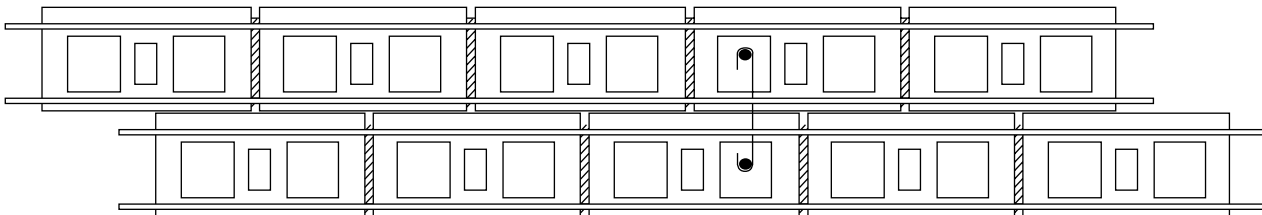


- 14) En la parte baja y alta de los muros, el refuerzo horizontal debe estar a la mitad de la distancia antes indicada.

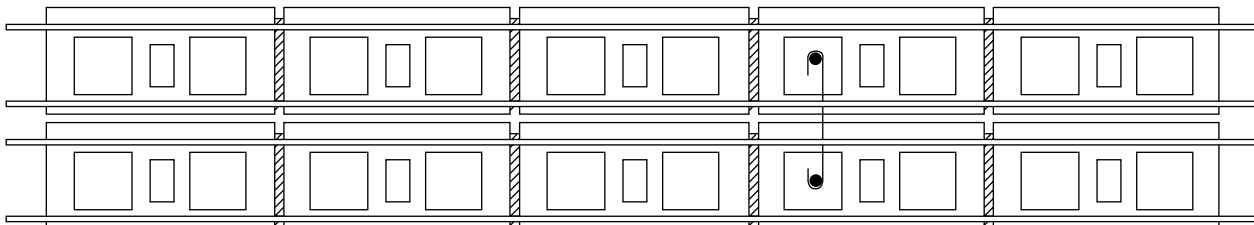


## DETALLES CONSTRUCTIVOS

- 15) En muros dobles debe ponerse una grapa en cada castillo, los cuales deben coincidir.

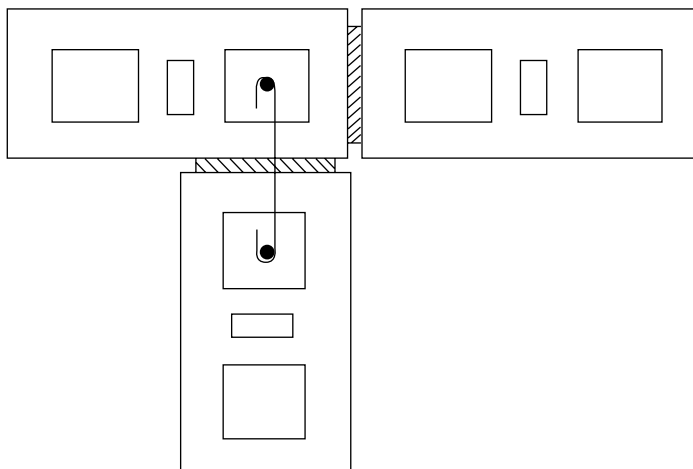


En los muros que no se ponga cuatrapeo, los detalles de refuerzo o conexión son similares al de aquellos muros en que si se cuatrapean las piezas.

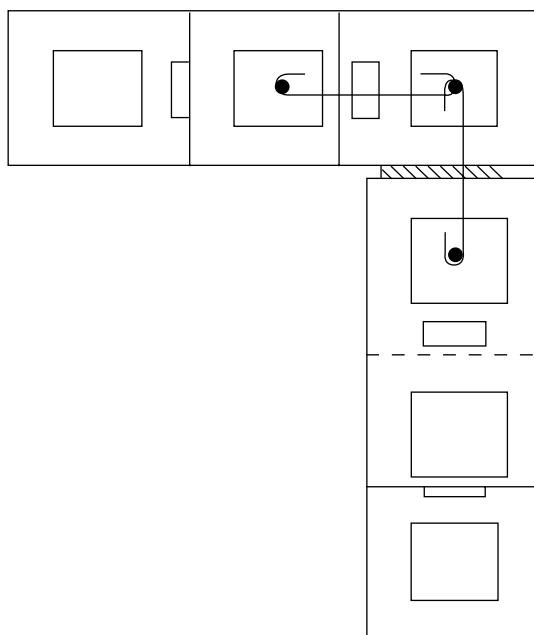




- 16) La unión entre muros transversales debe lograrse al ligar entre sí a los muros mediante grapas de varilla de alta resistencia 60 5/16" ó de 3/8 grado 42 en cada hilada.



- 17) La unión en esquina de muros transversales debe hacerse alternando las piezas de ambos muros y ligándose entre sí mediante grapas en cada hilada.



- 18) En muros muy altos que no tengan función estructural, se deben revisar para condición de viento o sismo actuando perpendicularmente al plano del muro, y suponiendo que el refuerzo vertical está colocado al centro del hueco de la pieza.

19) Los muros no estructurales se separarán de las columnas a una distancia igual a  $0.007 * h * Q$ , donde h es la altura del piso al lecho inferior de la losa o trabe, Q es el factor de comportamiento sísmico de la estructura. Deberá también dejarse una holgura vertical entre la losa o trabe y el muro; esta holgura y la separación con la columna no se cubrirán con ningún elemento rígido (aplanado, concreto, etc.) porque debe permitir que la estructura se deforme libremente.

20) En los muros de más de 2.50 metro de altura, se deberá poner una cadena intermedia cuando más a  $20 t$ , siendo t el espesor de la pieza.

Piezas		Distancia entre dadas
Tipo	ancho t	
T-4	10 cm	200 cm
T-5	12 cm	240 cm
T-614	cm	280 cm

21) En el caso de muros muy largos, no se requiere de juntas de expansión, sólo se cuidará que la jornada de trabajo termine en un castillo interior.

22) Las mamposterías fabricadas con estas piezas se diseñarán de acuerdo a lo indicado en las Normas Técnicas Complementarias para el Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería.

## **DISEÑO DE MAMPOSTERÍAS CON TABIQUE DE BARRO DE CERÁMICA SANTA JULIA**

En lo siguiente se aplican los requisitos establecidos en las Normas Técnicas Complementarias para el Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería (NTCM), del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal.

Las siguientes recomendaciones se aplican al diseño de muros construidos por piezas prismáticas de barro cocido de la fábrica Cerámica Santa Julia, identificándose como sigue. T-4, T-5, T-6, unidas con un mortero aglutinante y reforzado interiormente.

Para el diseño por sismo de muros construidos con estas piezas, se utilizará un Factor de Comportamiento Sísmico  $Q = 1.5$  si se coloca el refuerzo horizontal indicado en el inciso 12 del Manual de Construcción y Diseño (MCD); de no ser así, Q se tomará igual a 1.0.

# PROPIEDADES DE LOS MATERIALES

## Morteros

Los morteros recomendados son los indicados en el inciso 9 del MCD; está totalmente prohibido utilizar morteros que no contengan cemento.

## Acero

Debido al buen comportamiento observado en numerosos ensayos experimentales, se recomienda el uso de varillas de pequeño diámetro de alta resistencia 60 (esfuerzo nominal de fluencia de  $6000 \text{ kg/cm}^2$ ); pero pueden usarse otras calidades de acero siempre y cuando den la misma fuerza de fluencia que la varilla de alta resistencia 60 que sustituyan ( $A_s * f_y$ ).

Resistencia nominal de diseño a compresión de la mampostería

Los valores de la resistencia nominal de diseño a compresión se tomarán de la tabla que se encuentra en el inciso 10 del MCD; si las piezas no se cuatrapean, pueden tomarse para diseño los mismos valores.

## Resistencia nominal a cortante de la mampostería

Los valores de la resistencia nominal a cortante se muestran en la tabla del inciso 11 del MCD; si las piezas no se cuatrapean, la resistencia a cortante, a menos que se hagan pruebas específicas para ese caso, se tomará igual a las  $2/3$  partes de los valores indicados en la tabla antes mencionada.

## Módulo de elasticidad

Se recomienda utilizar el valor  $E = 13,000 \text{ kg/cm}^2$  para análisis por cargas estáticas, mientras que se utilizará  $E = 22,500 \text{ kg/cm}^2$  para cuando se realice un análisis sísmico.

## Módulo de cortante

El módulo de rigidez en cortante se tomará igual a  $6,800 \text{ kg/cm}^2$

# DISEÑO DE MUROS

Los muros se diseñarán para resistir los siguientes estados de carga:

- 1) Carga vertical en el plano del muro
- 2) Carga lateral en el plano del muro
- 3) Flexión en el plano del muro
- 4) Flexión por cargas normales al plano del muro

## Refuerzo del muro

Si los muros no se refuerzan con el refuerzo horizontal indicado en el inciso 12 del MCD, ni siguiendo las recomendaciones ahí indicadas, al muro se le debe considerar como no reforzado para efectos de diseño.

## Análisis de estructuras de mampostería

En las NTCM se indican procedimientos simplificados y detallados para efectuar el análisis de estructuras de mampostería, desde el punto de vista práctico, el programa ANEMGC (**AN**álisis de **E**structuras de **M**ampostería), aplica los criterios generales establecidos por la norma, por lo que se recomienda su utilización. Este programa hace una revisión de la resistencia de los muros en función de los parámetros que se le introduzcan.

## Resistencia a carga vertical

Se calcula con la siguiente expresión

$$P_R = F_R = F_E f_m^* A_T$$

Donde

$P_R$  carga vertical resistencia a compresión, kg

$F_R$  Factor de resistencia

$F_R = 0.4$  si al muro se le considera como no reforzado

$F_R = 0.7$  si el muro es reforzado

$F_E$  factor de esbeltez y excentricidad

$f_m^*$  resistencia nominal de la mampostería en compresión

$A_T$  área de la sección transversal del muro,  $\text{cm}^2$

Si la relación de altura de muro a espesor no es mayor de 20, si existen cadenas en los extremos superior e inferior de los muros y si no hay excentricidad excesiva de la cara vertical o fuerzas importantes normales al plano del muro, en este caso, se puede tomar para  $F_E$  el valor 0.7 si el muro tiene claros a los lados que no difieran entre sí más de un 50%, mientras que se podrá tomar  $F_E = 0.6$  para muros de lindero o con claros adjuntos que no cumplan con el requisito anterior.

Se pueden calcular los valores de  $F_E$  para otras condiciones de apoyo o si se quiere hacer un diseño más refinado, en este caso, consultar las NTCM o utilizar el programa ANEMGC.

Si el muro se refuerza con el acero vertical y horizontal indicado en el MCD, la resistencia  $f_m^*$  puede incrementar en 7 kg/cm<sup>2</sup>

Resistencia a fuerzas laterales (cortante)

El cortante resistente de la mampostería se calcula con la siguiente expresión

a) para muros diafragma

$$V_R = F_R (0.85 v^* A_T)$$

b) para muros estructurales

$$V_R = F_R (0.5 v^* A_T + 0.3 P) \leq (1.5 F_R v^* A_T)$$

donde

$V_R$  fuerza cortante resistente del muro, kg

$F_R$  factor de resistencia

$F_R = 0.4$  si al muro se le considera como no reforzado

$F_R = 0.7$  si el muro es reforzado

$P$  carga axial en el muro, sin multiplicar por el factor de carga, kg

$v^*$  resistencia nominal de diseño de la mampostería en cortante

$A_T$  área de la sección transversal del muro, cm<sup>2</sup>

Si el muro se refuerza con el acero vertical y horizontal indicado en el MCD, la resistencia  $v^*$  puede incrementar en 25%

### **Resistencia a flexión**

En el caso de muros considerados como no reforzados, la resistencia a flexión y flexocompresión se calculará según la teoría clásica de resistencia de materiales, suponiendo una distribución lineal de esfuerzos en la mampostería. Se considerará que la mampostería no resiste tensiones y que la falla ocurre cuando en el extremo más esforzado en compresión se alcanza un esfuerzo igual a  $f_m^*$ .

## FLEXIÓN SIMPLE

$$M_o = F_R A_s f_y d'$$

Donde

$A_s$  área de acero colocada en cada extremo del muro

$d'$  distancia entre centroides de áreas de acero en los extremos

## FLEXOCOMPRESIÓN

$$M_R = M_o + 0.3 P_U d \quad \text{si } P_U \leq P_R/3$$

$$M_R = (1.5 M_o + 0.15 P_R d')(1 - P_U/P_R) \quad \text{si } P_U > P_R/3$$

Donde

$P_U$  carga axial de diseño en el muro, kg

$P_R$  resistencia a carga axial de la mampostería, kg

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

$$F_R = 0.6 \text{ en otros casos}$$



**DESCRIPCION DE LOS ENSAYES  
COMENTARIOS  
Y DATOS PARA DISEÑO**

## DESCRIPCION DE LOS ENSAYES COMENTARIOS Y DATOS PARA DISEÑO

Para este estudio se ensayaron cuatro tipos de piezas distintas cuyas características principales se muestran en las tablas 1 a 4. Todas esas piezas se usan con fines estructurales y la finalidad es establecer los parámetros de diseño más importantes.

Inicialmente interesa conocer las características de resistencia de las piezas solas, por lo que se ensayaron 10 piezas de cada tipo para tener la estadística de su capacidad resistente. Las piezas identificadas como T-4, T-5 y T-6 (Tablas 1 a 3) tienen un porcentaje de huecos del 35%.

Las piezas que tienen una longitud no mayor a 24 cm (T-4, T-5 y T-6) tienen un peso volumétrico total aproximadamente  $1.28 \text{ t/m}^3$ , y al tener un 35% de huecos, hace que a volumen sólido el peso volumétrico del material sea de  $2 \text{ t/m}^3$ .

Para el ensaye, las piezas se "cabecearon" (colocación de una capa delgada de azufre líquido que solidifica al instante, sobre las cara opuestas de la pieza) para que presentaran una superficie horizontal y que al aplicar la carga, ésta se reparta lo más uniforme posible en toda la pieza. Después, las piezas se colocan en una máquina universal para la prueba, dividiendo la carga resistente entre el área de la pieza, se determina el esfuerzo axial, los resultado se muestran en las tablas 1 a 4.

Un resumen de los resultado de carga axial en las piezas muestra en el ANEXO 1 (Resumen de ensayos de laboratorio), analizando esos resultados se desprende que existe una gran uniformidad de la resistencia de cada uno de los tipos de piezas ensayados, el coeficiente de variación real fue menor al 10%, pero por consideraciones de los Reglamentos Mexicanos, este coeficiente de variación no puede tomarse menor a un 15%, por lo que en las tablas de Anexo 1 y 2 se indica cuando menos este valor.

La resistencia a compresión de las piezas indica que están fabricadas de un material de alta calidad ya que la resistencia promedio mínima fue de  $230 \text{ kg/cm}$  sobre área total para la pieza T-4, y la máxima de  $375 \text{ kg/cm}^2$  para la T-5, ver Anexo 1. Este parámetro es útil para establecer la calidad del material, pero no se utiliza directamente con fines de diseño de las mamposterías, para esto, hay que realizar dos tipos de pruebas: carga axial en pila de cortante en muretes, la primera de ellas sirve para establecerla resistencia nominal de diseño en compresión de las mamposterías, mientras que la segunda se efectúa para calcular la resistencia nominal a cortante. A continuación se describen estas pruebas y los resultados obtenidos para mamposterías construidas con estas piezas.



## ENSAYE EN PILAS EN COMPRESIÓN AXIAL

El espécimen se forma sobreponiendo una pieza sobre otra uniéndola con mortero, de tal manera que la relación de lado corto a altura no sobrepase de 4, esto para no introducir efectos de esbeltez en la prueba. Se pueden emplear especímenes de mayor o menor tamaño, habiendo factores correctivos para que se normalice a la relación antes mencionada.

Se utilizaron tres tipos de morteros para determinar cuál era el que hacía que las mamposterías presentara sus mejores características; las proporciones de cemento, cal y arena utilizadas en volumen para los morteros fueron: 1 : 0 : 3; 1 : 0.25 : 3.5, y 1 : 0.5 : 4. Además se probaron dos mortero especiales una a base de resinas epóxicas y otro un mortero expansor denominado comercialmente Fester Grout, la finalidad de usar estos últimos era ver el incremento en resistencia que se obtenía ya que las piezas tienen una alta resistencia.

En los ensayos de compresión axial en pilas se ensayaron del orden de 50 especímenes, no todos los morteros se utilizaron en cada pieza, sino que el estudio se concentró en ejecutar el mayor número de pruebas sobre las piezas tipo T-4, que son las que se considera tienen, por su tamaño y características, ventajas para su uso con fines estructurales; sin embargo, en base a éstos resultados se extrapolarán los resultados a otros tipos de piezas. La prueba consiste en aplicar carga axial a la pila hasta su ruptura; en varios especímenes se colocaron dispositivos especiales, ver fig. 1 para medir las deformaciones interiores y poder calcular el módulo elástico; se hicieron un total de 15 ensayos de este tipo, los cuales se muestran en el Anexo 3.

Los resultados de los ensayos de compresión axial en pilas se presentan en las Tablas 5 a 11 y los datos más interesantes se resumen en los Anexos 1 y 2. Como era de esperarse, al introducir un nuevo parámetro (mortero) con multitud de variables (mano de obra, relación agua-cementantes, agregados, etc.) crece la dispersión de resultados y de ahí la importancia de que se tenga un número suficiente de ensayos. El valor nominal de diseño se determina con la siguiente expresión:

$$F^*m = f_m / (2*(1+2.5 C.V.))$$

en donde  $f^*m$  es el valor de diseño de la mampostería,  $f_m$  la resistencia media obtenida de los ensayos, y C.V. es el coeficiente de variación de la muestra. La expresión anterior de manera aproximada nos da una probabilidad de que el valor usado para diseño tenga una probabilidad muy baja de no ser alcanzado.

A continuación se da un resumen de los resultados.

### PIEZA TIPO T-4

Los ensayos se efectuaron sobre los cinco morteros antes mencionados, Tablas 5 a 9 y un resumen de las mismas en el Anexo 1. La tabla siguiente engloba los resultados para la pieza T-4

Pieza Tipo	Mortero												
	1			2			3			4		5	
	Fm <sup>1</sup>	f*m <sup>2</sup>	E <sup>3</sup>	Fm <sup>1</sup>	f*m <sup>2</sup>	E <sup>3</sup>	Fm <sup>1</sup>	f*m <sup>2</sup>	E <sup>3</sup>	Fm <sup>1</sup>	f*m <sup>2</sup>	Fm <sup>1</sup>	f*m <sup>2</sup>
T-4	105	75	14000	130	95	13300	75	55	14000	200	121	170	125

Los morteros y parámetros de la tabla se dan a continuación

- Mortero 1 1 : 0 : 3 cemento : cal : arena en volumen
- Mortero 2 1 : 0.25 : 3.5 cemento : cal : arena en volumen
- Mortero 3 1 : 0.50 : 4 cemento : cal : arena en volumen
- Mortero 4 Epóxico
- Mortero 5 Fester Grout

- 1) fm Resistencia promedio en compresión, kg/cm<sup>2</sup>
- 2) f\*m Resistencia nominal para diseño en compresión, kg/cm<sup>2</sup>
- 3) E Módulo de elasticidad, kg/cm<sup>2</sup>

El mortero tipo 1 es de menor calidad que el tipo 2, sin embargo la resistencia es menor (105 kg/cm<sup>2</sup> versus 130 kg/cm<sup>2</sup>); esto indica que es necesario que el mortero tenga un poco de cal, lo cual hace más trabajable la mezcla. Pero si tiene mucha cal, mortero tipo 3, entonces la resistencia baja considerablemente.

Esta tendencia se encontró en todas las pruebas, por lo que se recomienda usar una proporción de mortero donde la cal esté entre el 15 y 20% de la cantidad de cemento en volumen, esto es, un proporcionamiento.

1 : 0.15 a 0.25 : 3.5

Con lo anterior, para este tipo de pieza puede usarse una resistencia nominal de diseño en compresión f\*m, de 95 kg/cm<sup>2</sup> si se usa un mortero con la proporción antes indicada.

En el caso de usar morteros especiales, tipos 4 y 5, se observa un aumento importante de la resistencia, 125 kg/cm<sup>2</sup>.

Las Tablas 10 a 17 contienen los datos de pruebas esfuerzo-deformación unitaria para determinar el módulo de elasticidad E. Este parámetro no mostró gran variación para los tipos de mortero empleados, como se ve en la tabla resumen anterior, por lo que para fines de diseño puede tomarse el valor  $E = 14,000 \text{ kg/cm}^2$ , para cualquiera de los morteros utilizados.

### PIEZA T-5

Las tablas 18 y 19 muestran los resultados de ensaye en compresión axial en pilas construidas con las piezas tipo T-5; el anexo 1 resume los resultados y a continuación se presentan los datos más importantes.

Pieza Tipo	Mortero												
	1			2			3			4		5	
	Fm <sup>1</sup>	f*m <sup>2</sup>	E <sup>3</sup>	Fm <sup>1</sup>	f*m <sup>2</sup>	E <sup>3</sup>	Fm <sup>1</sup>	f*m <sup>2</sup>	E <sup>3</sup>	Fm <sup>1</sup>	f*m <sup>2</sup>	Fm <sup>1</sup>	f*m <sup>2</sup>
T-5	110	80	12800	-	-	-	110	70	11700	-	-	-	-

De analizar los datos de la tabla anterior se observa que a pesar de ser el mortero tipo 1 de mejor calidad que el tipo 3, la resistencia en ambos casos es la misma, 110 kg/cm<sup>2</sup>, y considerando lo observado para la pieza T-4, se ve la conveniencia de usar morteros con un poco de cal, con el proporcionamiento recomendado para la pieza T-4, esto es, un mortero 1. 0.15 a 0.25 : 3.5 en partes de cemento, cal y arena, en volumen.

Con lo anterior, para este tipo de pieza puede usarse una resistencia nominal de diseño en compresión f\*m, de 110 kg/cm<sup>2</sup>.

Las tablas 20 a 24 muestran los datos de pruebas esfuerzo-deformación unitaria para determinar el módulo de elasticidad E. Este parámetro tampoco mostró gran variación para los tipos de mortero empleados, como se ve en la tabla anterior, por lo que para fines de diseño puede tomarse el valor  $E = 12,000 \text{ kg/cm}^2$ , para cualquiera de los morteros utilizados.

## ENSAYE DE MURETES EN COMPRESIÓN DIAGONAL

Los resultados de esta prueba sirven para tener el índice de resistencia de la mampostería a cortantes y con esto determinar la capacidad de los muros ante fuerzas cortantes debidas a fuerzas laterales, como las inducidas por sismo, viento, empujes, etc., o por asentamientos diferenciales de terreno.

En los ensayos de compresión diagonal en muretes se ensayaron del orden de 52 especímenes construidos con tres tipos diferentes de piezas: T-4, T-5 y T-6, así como con los cinco diferentes morteros que se describieron anteriormente.

El espécimen se construye poniendo una pieza y media en la base, con un número de hiladas tal que se tiene una probeta aproximadamente cuadrada. Para el ensaye, se aplica una carga sobre la diagonal, entre el área de la diagonal. Debe tenerse un número mínimo de ensayos para obtener estadísticamente un valor de diseño, el cual se determina con la siguiente expresión:

$$V^* = v_m / (2 \cdot (1 + 2.5 \text{ C.V.}))$$

en donde  $v^*$  es el valor de diseño en cortante de la mampostería,  $v_m$  la resistencia media a cortante obtenida de los ensayos, y C.V. es el coeficiente de variación de la muestra. La expresión anterior de manera aproximada nos da una probabilidad de que el valor usado para diseño en cortante tenga una probabilidad muy baja de no ser alcanzado.

A continuación se da un resumen de los resultados.

Las tablas 25 a 31 contienen los resultados de los distintos ensayos en cortante, el Anexo 1 presenta un resumen de dichos ensayos, y a continuación se muestran los resultados más importantes.

Pieza Tipo	Mortero												
	1			2			3			4		5	
	Vm1	v*2	++3	vm1	v*2	++3	vm1	v*2	++3	vm1	v*2	vm1	v*2
T-4	9.44	5.12	b	11.97	7.98	b	-	-	-	-	-	8.12	5.80
T-5	7.25	4.92	b	-	-	-	7.27	4.85	b	-	-	-	-

Anteriormente se identificaron los tipos de mortero y a continuación se mencionan las características siguientes:

- 1)  $v_m$  Resistencia promedio en cortante,  $\text{kg/cm}^2$
- 2)  $v^*$  Resistencia nominal para diseño en cortante,  $\text{kg/cm}^2$
- 3) ++ Tipo de falla en cortante:
  - a falla diagonal que rompe las piezas
  - b falla por las juntas, no rompe piezas
  - c falla combinada

Se observa de la tabla que al usar los morteros convencionales se tiene resistencias mayores a la especificada por los reglamentos nacionales ( $f_a = 3.5 \text{ kg/cm}^2$  máximo), valor que casi se duplica al usar un mortero con algo de cal, por lo que se recomienda usar el mismo proporcionalmente que para las pilas.

El mortero de alta adherencia (Fester Grout) no incrementa sustancialmente la resistencia, mientras que el mortero epóxico casi triplica el valor máximo dado por los reglamentos y en este caso agota la capacidad de las piezas ya que en la falla las piezas se rompen.

Por lo antes visto, se recomienda utilizar el proporcionamiento 1 : 0.15 a 0.25 : 3.5 de cemento : cal : arena en volumen, con lo cual puede tomarse un esfuerzo nominal de diseño de  $6 \text{ kg/cm}^2$  para las piezas T-4 y T-5, y de  $5 \text{ kg/cm}^2$  para la pieza T-6 mientras que si se utiliza el mortero Fester Grout, esa resistencia es prácticamente la misma. Con el mortero epóxico puede usarse una resistencia de  $8 \text{ kg/cm}^2$ .





# **ARTICULO PARA DIVULGACIÓN**

# CONTRIBUCIÓN DE CERÁMICA SANTA JULIA AL CONOCIMIENTO DEL ESTADO ACTUAL DE LA MAMPOSTERÍA EN MÉXICO

Autor: Oscar Hernández Basilio

## INTRODUCCIÓN

Se tiene previsto que en los años finales de este siglo se construyan en la República Mexicana cerca de 550,000 viviendas anuales, que representan aproximadamente 30 millones de metros cuadrados de sistemas de piso y del orden de 6 millones de metros cuadrados de muros, siendo la mayoría de estos últimos de mampostería. Lo anterior es independiente del uso que tienen las mamposterías en edificación o en construcciones industriales donde se emplean como muros de rigidez o simplemente de relleno para subdividir espacios.

Lo anterior hace ver la importancia que tiene la mampostería dentro del ámbito de la ingeniería, por lo que en este artículo se hace un análisis crítico de la mampostería en cuanto a su comportamiento estructural, la práctica de diseño y la práctica constructiva, para finalmente presentar un Manual de Construcción de mampostería fabricadas con tabiques Santa Julia.

## IMPORTANCIA DE LA MAMPOSTERÍA

Para hacer ver la importancia de las mamposterías se puede decir que para la construcción en México de las 550,000 viviendas que se pretende hacer anualmente, se utiliza casi un 50% de la producción de varilla del país; esto da a pensar que el 50% de la actividad constructora del país es en este rubro. De ese acero, cerca del 35% se usa como refuerzo en los aproximadamente 56 millones de metros cuadrados de muros de mampostería; los datos anteriores hacen ver la importancia que tiene la mampostería dentro del ámbito de la ingeniería.

En nuestro país es común el uso de muros de carga de mampostería en construcciones de hasta cinco o seis pisos, en los cuales se confinan los muros con dadas y castillos, o con refuerzo interior; con la ventaja de utilizar el mismo elemento de construcción para subdividir los espacios y como aislamiento térmico y acústico. Este sistema constructivo ha probado ser a través de los años altamente seguro, confiable y económico, aspectos que resaltaron después de los sismos en 1985

Pero ¿qué es la mampostería? De una manera general se puede definir como la resultante de la unión de piezas hechas de distintos materiales, naturales o artificiales, por medio de un mortero y cuya función más simple es subdivisión de espacios, pero la más general es resistir cargas gravitacionales verticales y horizontales, éstas últimas casi siempre originadas por sismos; pero saber esto no es suficiente para asegurar que se tendrá un comportamiento satisfactorio, principalmente ante efectos sísmicos, por lo que debemos ser capaces de entender su comporta-



miento, tener criterios razonables para su diseño, así como establecer requisitos detalles constructivos que garanticen su buen comportamiento estructural.

## **LA MAMPOSTERÍA Y LA PRÁCTICA DE DISEÑO**

Sabemos que la resistencia de las mamposterías no es proporcional a las propiedades de sus componentes, piezas y morteros, por lo que resulta necesario conocer las características de esos elementos, usualmente esas características se toman de valores dados en las Normas Técnicas Complementarias para el Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería (NTCM); en términos generales esos parámetros de diseño son conservadores por naturaleza, de ahí la importancia de establecer específicamente los valores nominales de diseño en materiales de muy buena calidad, como es el caso de los fabricados por Cerámica Santa Julia.

Pero, ¿qué tanto sabemos de las piezas y morteros que se utilizan comúnmente?

Usualmente las piezas que se usan con fines estructurales son de los siguientes tipos.

1. De barro; que pueden ser en estado natural como el adobe, fabricadas artesanalmente como el tabique que genera un alto grado de contaminación, o fabricadas industrialmente como los tabiques extruidos, los que tienen una gran variedad de formas y tamaños.
2. De concreto o cemento-arena. Estas piedras artificiales están construidas por agregados pétreos (grava-arena) y cemento. Existen dos tipos principales. Bloques y tabicones.
3. Materiales varios. Están apareciendo en el mercado nacional materiales diferentes a los tradicionalmente utilizados en la construcción de la mampostería. Entre ellos podemos mencionar al silicio calcáreo, tabicones asfálticos, los bloques de yeso, los tabicones de desperdicio plástico, etc.

En este momento cabe reflexionar que el tamaño de alguna de las piezas más usuales ha variado; por ejemplo, es prácticamente imposible encontrar tabique rojo de 1 cm de espesor, actualmente está entre 12 y 12.5 cm, esta variación influye sustancialmente en el cálculo de la resistencia a cortante de la mampostería del refuerzo de confinamiento del muro. Caso similar son los tabicones, donde es común tener espesores entre 12 y 13 cm en lugar del 14 nominal. Las piezas de tabique extruido y los bloques de concreto, por fabricarse de una manera más industrializada, han conservado sus valores nominales.

Como el tabique rojo y el tabicón representa un alto porcentaje en la construcción de muros, cabe mencionar que el refuerzo tradicional de armar los castillos y dadas de confinamiento de los muros con varilla grado 42 y estribos de alambón a cada 20 cm, no cumple con las NTCM, al igual que la armaduras elecrosoldadas que se usan como refuerzo, con excepción de las

fabricadas con grado 60, ref. 2. En general el refuerzo longitudinal convencional está en demasía, pero lo crítico es que no cumple con el refuerzo mínimo de estribos, que para el caso de usar  $f_y=2320 \text{ kg/cm}^2$ , el alambraón de 1/4" debería tener una separación máxima de 16 cm, en lugar de 20; en el caso de usar electrosoldados que tienen estribos de calibre 8,  $f_y=5000 \text{ kg/cm}^2$  y separación a cada 15.8 cm, tampoco cumplen ya que deberían estar a cada 12.5 cm. La situación se vuelve más crítica si el espesor de los muros es menor, ya que de llegar a agrietarse los muros por cortante, serán poco eficientes los estribos para dar a los muros capacidad de carga y deformación, como se verá posteriormente.

Lo anterior tiene la intención de hacer resaltar la necesidad de que en los planos estructurales se identifique el tipo de pieza con el que se construirán los muros, sus características mínimas de resistencia y los detalles de refuerzo de sus dadas y castillos.

Otro aspecto interesante es que además de la calidad y la forma de las piezas que rompan la mampostería, el mortero que las une es determinante en la resistencia del conjunto. A su vez, la resistencia del mortero depende de la proporción de sus componentes en volumen; en la tabla 1 se muestran las proporciones recomendadas por el Reglamento del Distrito Federal según la calidad de la mampostería que se desea obtener.

¿Por qué se menciona algo tan obvio?, por la sencilla razón de que en muy pocos planos estructurales se especifica el tipo de mortero a utilizar, dejando a la comodidad de los albañiles la proporción a usar; lo crítico de esta situación es que emplean en ocasiones mortero sólo a base de cal o del llamado "mortero o cemento de albañilería". Ambos tipos de mortero están prohibidos por las normas NTCM.

Las pruebas realizadas en mamposterías construidas con tabiques de Cerámica Santa Julia, han hecho ver la conveniencia de limitar la cantidad de cal en el mortero para obtener las características óptimas de resistencia de las mamposterías.

## **COMPORTAMIENTO DE MUROS EN MAMPOSTERÍA**

Una estructura de mampostería estará sometida durante su vida útil principalmente a los siguientes efectos: 1) carga vertical debido al peso de las losas, de las cargas vivas y a su peso propio; 2) fuerzas cortantes y momentos de volteo (flexión) originados por las fuerzas de inercia durante un sismo, ver fig. 1; 3) empujes normales al plano de los muros que pueden ser causados por empuje de viento, tierra o agua, así como por fuerzas de inercia cuando el sismo actúa normal al plano del muro.

Ante las acciones mencionadas en el párrafo anterior, puede ocurrir la falla de la mampostería, por lo que es conveniente conocer el comportamiento y los tipos de falla que se puede presentar en ellas independientemente de la existencia o no del refuerzo.

La falla por carga axial es muy poco probable que ocurra debido a que el área de los muros es grande; podría ocurrir si las piezas son de muy mala calidad, o porque han perdido capacidad de carga por efecto del intemperismo. Se identifica esta falla porque el material literalmente se aplasta cuando es de baja calidad, o si es de buena calidad aparecen numerosas grietas verticales.

La falla por flexión se produce cuando se alcanza el esfuerzo resistente en tensión de la mampostería, el cual es muy bajo (del orden de 1 a 2 kg/cm<sup>2</sup>) y puede ocurrir en el plano del muro o perpendicular a este. La flexión en el plano del muro es grave cuando no hay acero de refuerzo; el haber refuerzo, este debe tomar los esfuerzos de tensión que la mampostería no es capaz de soportar. Si existen problemas de flexión en el plano del muro, éstos se identifican mediante grietas horizontales que se forman en los extremos del muro, siendo mayores en la parte inferior, fig. 1. Es raro que se tengan problemas por flexión porque la carga vertical sobre los muros contrarresta los efectos de los momentos (volteo), o porque lo evita el acero de refuerzo colocado en los extremos del muro.

Para alcanzar la falla debida a un esfuerzo cortante es necesario que no se alcance la de flexión en primera instancia; es decir, sólo se obtiene aquella cuando existe carga vertical sobre el muro que contrarresta el efecto de la flexión, o en muros de gran longitud. Se identifican dos formas de falla en cortante: en una de ellas la grieta es diagonal que corre solamente a través de las juntas de mortero (escalerilla), fig. 2, a esta se le conoce como falla por cortante; mientras que si la grieta diagonal es casi recta rompiendo las piezas, fig. 3, se dice que la falla es por tensión diagonal. Es importante reconocer el tipo de falla porque en este último caso se tiene agotada completamente la capacidad de la mampostería, y si la falla de la mampostería es por escalerilla, es posible incrementar sustancialmente su resistencia al repararla o reforzarla, ref. 3.

Como gran parte de la República Mexicana está situada en una zona de alto riesgo sísmico, ha sido preocupación de los investigadores nacionales determinar el efecto de los sismos en estructuras de mampostería. Sabemos que los sismos induce fuerzas laterales, pero es conveniente recalcar que para el diseño sísmico no sólo interesa la resistencia de la estructura ante carga lateral, sino que también es necesario conocer otras propiedades que sólo se pueden determinar mediante ensayos de laboratorio.

El comportamiento de muros de mampostería ha sido estudiado en México desde los años 60; el compendio más completo de la investigación realizada, y que se tomó como base para la elaboración de las NTCM del Reglamento para Construcciones del Distrito Federal, se pueden ver en la ref. 4, los aspectos más relevantes de ese trabajo se mencionan a continuación.

La mampostería tiene una gran rigidez y capacidad de carga mientras se encuentra sin fisuramientos, y prácticamente tiene un comportamiento elástico lineal aún para cargas alterna-

das en esas condiciones, fig. 4; después que se agrieta, su comportamiento dependerá de la cantidad y disposición del refuerzo. Si el refuerzo es poco, los ciclos histeréticos (representación gráfica del comportamiento de un elemento ante cargas alternadas) son delgados, haciendo ver la poca capacidad de disipar energía, por lo que comúnmente se pierde rigidez y resistencia drásticamente, ver fig. 4. Pero si tiene refuerzo suficiente, los ciclos de histéresis son amplios y el muro es capaz de soportar altos niveles de carga con grandes deformaciones; incluso puede llegar a tener un comportamiento equivalente al elastolástico, fig. 5 de ref. 5

Las mamposterías de piezas huecas son más sensibles al deterioro (pérdida de rigidez y resistencia) que uno macizo; y es diferente la intensidad del deterioro si la falla es por flexión (dúctil) a que si es por cortante o por tensión diagonal (frágil), siendo mayor en los últimos casos; la carga vertical, hasta ciertos niveles, reduce apreciablemente el deterioro si el muro se encuentra convenientemente reforzado.

Se aprecia de lo anterior que para evitar la falla frágil de la mampostería, principalmente si esta es de piezas huecas, es necesario que se refuerce adecuadamente.

Una manera sencilla de describir el efecto del refuerzo en la mampostería sería mediante el ejemplo de tratar de construir un pequeño cobertizo con tres cartas de naipes, dos de ellas como muros y otra como techo. Al colocarlas, las cartas están estables hasta que ocurre un ligero soplo o un pequeñísimo movimiento de la superficie donde están asentadas; este símil podría ocurrir si no se ligan adecuadamente los muros entre sí y con la losa, donde movimientos sísmicos ligeros, o vientos fuertes o empujes de tierra o agua podrían hacer colapsar a la construcción. De aquí se ve la necesidad de dar continuidad a los distintos elementos, que para el caso del ejemplo, si se unen las cartas mediante una cinta adhesiva, se observa que se tiene mucho mayor rigidez y resistencia del conjunto; en el caso de una construcción real esa continuidad la dan las dadas y castillos, o el refuerzo en el interior de piezas huecas. Este refuerzo no va a trabajar estructuralmente en condiciones normales de operación, y sólo lo hará ante la eventualidad del agrietamiento de la mampostería.

## **ESTRUCTURACIÓN DE MUROS DE MAMPOSTERÍA**

En párrafos anteriores se hace ver la necesidad que todo elemento de mampostería tenga refuerzo dispuesto de manera adecuada para evitar que la estructura tenga un comportamiento de tipo frágil, por ello, toda construcción de mampostería debe cumplir con los requisitos de refuerzo establecidos por los reglamentos, por ejemplo el del Distrito Federal, ref. 2; pero más importante que eso es la manera de cómo se debe estructurar una construcción.

En el caso de mamposterías, las formas principales para hacerlos son:

1. Muros de carga; para resistir la acción de cargas verticales y horizontales.

2. Muros diafragma; que sólo ayudarán a resistir las fuerzas laterales ya que las cargas verticales son soportadas por marcos de acero o concreto.

El primer tipo es eficiente debido a la presencia de la carga vertical, que hace que el muro sea más resistente a las fuerzas cortantes y a los momentos de volteo producidos por el sismo. Cuando se estructura a base de muros de carga se pueden tener dos alternativas para reforza a los muros: con dalas y castillos (mampostería confinada), o con refuerzo interior.

En las mamposterías confinadas los muros están rodeados en su perímetro por castillos y dalas que forman un marco que encierra tableros relativamente pequeños, proporcionando una capacidad de deformación mucho mayor que la del muro no reforzado y una liga muy efectiva con los elementos resistentes y de su refuerzo y con procedimientos para el diseño de estructuras de mampostería. Hay que hacer notar sin embargo, que si con este sistema se reduce mucho la posibilidad de un colapso de la construcción y de daños mayores, no se evita la posibilidad de agrietamientos diagonales en los muros, ya que la resistencia en tensión diagonal de la mampostería no se incrementa por la presencia de dalas y castillos, ya que la función de estos elementos es precisamente evitar la falla frágil cuando se agrieta la mampostería.

En años recientes se ha popularizado en Estados Unidos, Nueva Zelanda y otros países un sistema constructivo que consiste en reforzar los muros de piezas nuevas, con barras verticales en los huecos de las piezas y horizontales en las juntas o piezas especiales. La experiencia sobre el comportamiento sísmico de estas construcciones es más o menos amplia, hay evidencia de que si se refuerzan adecuadamente, se obtiene un incremento en la resistencia con respecto a la mampostería no reforzada y un comportamiento bastante dúctil. Hay que recalcar que las cantidades de refuerzo necesarias para lograr un comportamiento adecuado son altas y que se requieren separaciones pequeñas tanto vertical como horizontalmente. El procedimiento tiene distintas modalidades que llegan en muro de edificios altos hasta el relleno total de los huecos de las piezas con concreto y el colado de muros delgados de concreto entre dos paños de muros de mampostería.

En México, el refuerzo interior es poco popular debido a la dificultad de supervisión; sin embargo si se refuerza adecuadamente, da lugar a mamposterías que presentan gran capacidad de deformación y bajo deterioro ante alternaciones de altos niveles de carga lateral, ref. 5.

Este procedimiento de refuerzo tiene la ventaja, sobre el confinar con dalas y castillos, de que el muro puede quedar aparente; tiene sin embargo la desventaja de que las piezas huecas requieren de un detallado mayor para evitar problemas tales como el desprendimiento de sus paredes cuando llega a agrietarse la mampostería, o liga entre los distintos elementos.

## OBSERVACIONES ADICIONALES

En un muro de mampostería que soporta tanto cargas verticales como laterales, la falla se inicia con ligero agrietamiento horizontal en base (flexión), presentándose después una falla por agrietamiento diagonal al aumentar las cargas. El tener cara vertical aumenta apreciablemente la resistencia al primer agrietamiento y tiende a llevar a un tipo de falla por tensión diagonal, disminuyendo la capacidad de deformación muro. El agrietamiento por flexión se refuerza también al aumentar el acero de refuerzo en los extremos del muro y la carga vertical sobre el mismo.

Los aplanados de buena calidad (que contengan cemento) contribuyen en forma importante a la resistencia del muro, principalmente porque ayudan a redistribuir los esfuerzos. También se ha observado que el confinamiento exterior del muro (dadas y castillos) no influye apreciablemente en la resistencia al agrietamiento, pero sí a la resistencia y capacidad de deformación en la falla; tampoco el refuerzo interior en un muro aumenta la resistencia al agrietamiento, pero el refuerzo horizontal colocado entre las juntas del mortero ayuda a repartir mejor la fuerza cortante en toda la altura del muro, evitando que se concentre en sus extremos superior e inferior, mejorando sustancialmente el comportamiento posagrietamiento de los muros.

Ya sea por flexión o por cortante, se producen aplastamientos y desprendimientos locales de las paredes de las piezas en los extremos de los muros para etapas cercanas a las fallas, dichos aplastamientos son debido a la gran expansión lateral que tiene el mortero para altos niveles de esfuerzos, lo que produce tensiones en las piezas. En Estados Unidos y Nueva Zelanda se evita lo anterior colocando piezas de acero perforadas en los extremos de los muros en las dos o tres hiladas inferiores y superiores, esto resulta impráctico en nuestro medio; una solución eficiente que ha dado muy buenos resultados, aun en mampostería de piezas huecas, es colocar carilla corrugada de pequeño diámetro (5/32") y de muy alta resistencia (6000 kg/cm<sup>2</sup>), en las juntas de mortero; este refuerzo también ha probado ser efectivo cuando se coloca horizontalmente entre las juntas del mortero, para resistir fuerza cortante una vez que el muro se agrieta.

Lo comentado en los párrafos anteriores confirma que todo tipo de refuerzo trabaja a su plena capacidad después que se daña la mampostería; y que la presencia de agrietamiento no implica necesariamente la falla del muro, sino que puede hacer que el muro resista cargas similares a la de agrietamiento.

Los estudios hechos en la ref. 5 hacen ver cómo se tiene gran capacidad de deformación para cargas similares a las que produjeron el agrietamiento de los muros, cuando se reforzaron muros de piezas huecas con refuerzo interior vertical y horizontal adecuadamente dispuesto. Actualmente en el CENAPRED (Centro Nacional de Prevención de Desastres), se están llevando a cabo ensayos en construcciones a escala natural que están confirmando el buen comportamiento de muros con refuerzo horizontal.

## REGLAMENTO DE LA MAMPOSTERÍA

Todo lo observado en laboratorio o los efectos encontrados después de un sismo intenso sirven de retroalimentación a los reglamentos para introducir en ellos los requisitos o criterio que lleven a que las estructuras de mampostería tenga un buen comportamiento. Por ello es interesante saber cómo ha ido evolucionando la reglamentación al respecto.

Nos remontaremos al reglamento de construcciones del Distrito Federal del año de 1951. En cuanto a mamposterías este reglamento contiene lo siguiente:

- Se dan valores de cargas vivas y pesos volumétricos para distintos materiales.
- Aparece la clasificación de estructuras, 8 tipos en ese entonces según el uso. Según su forma constructiva se tienen 6 clases: A, B, C, D, E, y F, donde no se define claramente a las de mampostería.
- Aparece el concepto de coeficiente sísmico, que se aplica según el tipo de construcción; el valor máximo era 0.1.
- Se dan valores a la resistencia de mampostería hecha con tabique rojo, hecho a mano o prensado, tabique de barro extruido, tabicón y bloque de concreto, estos últimos no debería tener menos de 20 cm de ancho.
- Los muros de carga se menciona que deben tener refuerzo, con espesor no menor de 20 cm. Si su área tributaria era mayor a 15 m<sup>2</sup>, de ser mayor, se deberían reforzar con varillas de 13 mm a cada 60 cm, estas barras se anclarían en las trabes. Los muros divisorios debían confinarse por postes metálicos y mallas en sus caras. Todo lo anterior para construcciones clase A y B.
- En construcciones clase C, típicamente de carga, se limitaban hasta 15 metros de altura, su espesor mínimo sería 15 cm si era de un solo nivel.

Se observa que no se dan detalles de refuerzo específicos para los muros.

En septiembre de 1957 se hacen modificaciones de emergencia, después del sismo de julio de ese año (sismo del Ángel) al reglamento que se había expandido en 1951, donde se introducen conceptos de diseño que ayudaron a hacer mejores construcciones, principalmente para resistir sismos. Dentro de los cambios importantes estuvieron:

- Se clasificaron los suelos en el Distrito Federal como Tipo A, B o C; siendo el A el comprensible, B de transición y C el suelo con alta capacidad de carga.

- A las construcciones se les clasifica en Clase 1, 2 ó 3; las de clase 3 correspondía a las estructuradas por muros de carga (mampostería)
- Se clasifica según el uso del edificio en grupo a, b, o c, siendo las del grupo a las importantes, las b las edificaciones de uso normal, y c las provisionales.
- Se dan específicamente valores de coeficientes sísmicos para cada grupo y clase de construcción según el tipo de terreno; para las de clase 3 y grupo a valía 0.15; para clase 3 grupo b, 0.07. El tipo de diseño que se hacía era elástico.
- El cálculo de fuerzas sísmicas se indicaba que se hiciera con una distribución lineal de aceleraciones y también se indicaron valores límite a los desplazamientos horizontales ( $0.002xL$ ).
- Para muros se especificaba un esfuerzo admisible de  $0.6f_m$  en compresión;  $.06f_m$  en tensión y cortante;  $f_m$  era el valor de resistencia a compresión de la pieza o del mortero, el menor de ellos. Como módulo elástico se limitaba a  $5000 \text{ kg/cm}^2$  para muros de relleno y  $20000 \text{ kg/cm}^2$  en muros de carga; el módulo de rigidez se indicaba fuera el 40% de elasticidad.
- Se imponen requisitos geométricos y de resistencia a las mamposterías según fueran de relleno o de carga. No se indica nada respecto al refuerzo de dadas y castillos.

Se observa que no se menciona nada respecto al refuerzo de los muros, por lo que se consideraba adecuado el poner 4 varillas de  $3/8''$  con  $f_y=2300 \text{ kg/cm}^2$ ; y estribos de alambra de  $1/4''$ , del mismo acero, y espaciados a cada 20 cm, que era la práctica usual.

Estas modificaciones sirvieron como reglamento de emergencia mientras se desarrollaba el que salió en enero de 1996, el cual sigue basado en un criterio elástico teniendo como opcional un criterio de resistencia. En esta versión se refinan los conceptos del reglamento de emergencia, a continuación se indican los aspectos relevantes adicionales.

- Se proporcionan valores de pesos unitario de distintos materiales. También valores de cargas vivas según el uso de la construcción.
- En lo que respecta a cimentaciones, se dan amplios criterios para identificar los tipos de suelos, así como para el diseño.
- Aparece un capítulo dedicado específicamente para el diseño de mamposterías; en una de sus partes indica que la resistencia a compresión se obtenga del ensaye de una pila que tenga al menos dos piezas, aplicando un factor de seguridad de 2.5. En piezas hueca se acepta la resistencia de la pieza como parámetro, pero el mortero no debería tener menor



resistencia de la pieza como parámetro, pero el mortero no debería tener menos resistencia que la pieza. De no hacer pruebas, el reglamento da solo valor tipo para la piedra braza ( $20 \text{ kg/cm}^2$ ), y para el tabique rojo  $6.5 \text{ kg/cm}^2$  como esfuerzo permisible, para cortante se limitaba a  $0.7 \times T \text{ fm}$ . Se dan nuevos valores al módulo elástico con fórmulas muy complicadas. También se dan lineamientos para diseñar cimientos, muros de retención, muros de relleno, y **para muros de carga aparecen requisitos de refuerzo de castillos y dalas si la estructura tiene más de 5 metros de altura**. Se pide que los castillos estén en las intersecciones entre muros, en los extremos, a separaciones que no exceda los  $3/4$  de altura; la dala se debería poner en todo extremo horizontal de muro, salvo que existiera algún otro elemento de concreto. La resistencia del concreto se pedía un mínimo de  $140 \text{ kg/cm}^2$ , y el acero de dalas y castillos debería tener al menos cuatro varillas, cuya área no fuera menor que  $0.1 \times f'_c / f_y$  por el área transversal del castillo, pero no menos que  $0.1 \times f'_c / f_y \times t^2$ . Decía también que los estribos sería de tamaño no menor a  $6 \text{ mm}$  con separación máxima de  $20 \text{ cm}$ , sin especificar el esfuerzo de fluencia. Se el refuerzo era interior, se pedía que se colocara refuerzo equivalente.

- Se reclasifica a las construcciones según su estructuración, perteneciendo ahora las que tienen muros de carga a la estructura tipo 2, a las que les correspondía un coeficiente sísmico de  $0.08$  para cualquier tipo de terreno. Aparece el método simplificado de análisis para estructuras de mampostería que cumplen ciertos requisitos geométricos.

En noviembre de 1976 aparece un nuevo reglamento que se basa en criterios probabilistas, apareciendo las Normas Técnicas Complementarias para diseño de estructuras; esto fue con la finalidad de actualizar las normas de diseño de los materiales de una manera menos complicada, eso se dijo, pero en la práctica no ha resultado así. El cambio principal se refiere al criterio de diseño de las estructuras, el cual ahora implica que una estructura se diseña para que falle, pero para cargas mayores a las de servicio, esto es, con un criterio de resistencia. Los cambios principales para el caso de mampostería fueron:

- Las estructuras de mampostería pasan a ser parte de aquellas agrupadas dentro del Tipo 1; se establecen coeficientes sísmicos para distintos tipos de terreno, introduciéndose el concepto de factor de ductilidad, dándose un valor de  $2$  si los muros estaban contruidos con piezas macizas y  $1.5$  con piezas huecas, a manera comparativa, las estructuras de concreto tenían valores entre  $6$  y  $4$ . En el método simplificado se dan valores a coeficientes sísmicos ya reducidos por ductilidad según el tipo de suelo y la altura de la construcción.
- Aparecen las Normas Técnicas para el Diseño y construcción de Estructuras de Mampostería en donde se establece lo siguiente: Se permite determinar la resistencia compresión de la mampostería a través de tres procedimientos, el primero es conociendo la resistencia de la pieza, con esta se va a tablas dentro de la norma y según la pieza sea de barro o de concreto y el tipo de mortero que se va a utilizar, se dan valores de resistencia; otro proce-

dimiento es que se dan valores típicos de resistencia para tabique rojo, bloque de concreto, tabicón y tabique extruido de barro; la última opción es efectuar el ensaye de especímenes; estableciéndose las características del mismo así como el número mínimo de ensayes a efectuar. Para la resistencia a cortante se establece el procedimiento de prueba en muretes para determinarla, así como una tabla para materiales típicos.

- Se simplifica el cálculo del módulo elástico para mamposterías, dejándolo en función de la resistencia e compresión. También se da procedimientos detallados para calcular la resistencia a compresión y cortante de los muros. Aquí es importante acotar que para muros reforzados convenientemente, se toma un factor de resistencia de 0.6.
- Aparece el concepto de muro confinado y muro con refuerzo interior estableciéndose las características para cada uno. Si el muro con refuerzo interior cumplía con los requisitos, se permitía incrementar su resistencia cortante en un 50%; también se permitía el mismo porcentaje de incremento en compresión (pero no mayor a  $15/\text{kg}/\text{cm}^2$ ). En muros confinados sólo se permitía incrementar en  $4 \text{ kg}/\text{cm}^2$  la resistencia de la mampostería a compresión.
- Para muros confinados, los castillos y dalas debían tener un concreto con  $f'c$  mayor a  $150 \text{ kg}/\text{cm}^2$ , se aumentó la cantidad de refuerzo longitudinal al doble del valor que antes se pedía; ahora el área deberá ser mayo a  $0.2f'c/fy$  por el área del castillo. Aparece una expresión para calcular el área de refuerzo en estribos,  $1000S/(fydc)$ , no excediendo la separación a  $20 \text{ cm}$  ó  $1.5$  veces el peralte efectivo del castillo ( $dc$ ), la menor. La separación de los castillos se pide que no sea mayor a  $1.5$  veces la altura del muro o cada cuatro metros.
- Este reglamento a los muros con refuerzo interior ahora se les pide cantidades de refuerzo altas, cuando menos  $0.007$  del área del muro puesta en cualquier dirección, pero su suma no debería ser menor a  $0.002$ . Además, en todo extremo o intersección de muros o cada  $3$  metros debieran ir dos huecos consecutivos colados con varilla de  $3/8"$  ( $fy 4200$ ). Se indica que el refuerzo interior adicional no debe ponerse a una separación mayor a seis veces el espesor del muro, ó  $90 \text{ cm}$ .
- Aparecen procedimientos racionales para el diseño en compresión y cortante de los muros, el factor de resistencia para muros con adecuado refuerzo es  $0.6$ .

En septiembre 19 y 20 de 1985 ocurren dos temblores de gran intensidad causando numerosos daños en estructuras, principalmente de concreto, haciendo necesaria la aparición de unas normas de emergencia y posteriormente, en 1987, un nuevo Reglamento de Construcción y Normas Técnicas con cambios sustanciales. Los cambios principales fueron:

- Aumento del coeficiente sísmico para terrenos tipo I y II, incluso para el método simplificado para estructuras de mampostería.
- Se cambia el nombre al factor de ductilidad y ahora se le conoce como factor de comportamiento sísmico, reduciéndose a valores entre 2 y 4 para estructuras de acero y concreto, reconociendo así el mal comportamiento observado durante los sismos de 1985. El factor de comportamiento sísmico permaneció igual para mamposterías, dando a comprender que éstas tuvieron un comportamiento altamente satisfactorio.
- El factor de resistencia de mamposterías confinadas y con refuerzo interior se incrementa de 0.6 a 0.7 confirmando lo expuesto en el párrafo anterior; se elimina el incremento en resistencia para mamposterías con refuerzo interior, permitiendo sólo en el caso de colocar refuerzo en las juntas, y en este caso se permite incrementar 25% sólo la resistencia a cortante.

Se observa cómo se hizo menos estricto el reglamento con las mamposterías en comparación con las estructuras de acero y concreto.





# **ANEXO 1**

**TABLA 1**  
**ENSAYE A COMPRESIÓN SIMPLE**

MUESTRA	ALTO cm	ANCHO cm	LARGO cm	ÁREA cm <sup>2</sup>	CARGA kg	ESFUERZO kg/cm <sup>2</sup>	PESO kg	PESO VOL kg/m <sup>3</sup>	% HUECOS
T-4-1	9.70	10.00	20.20	202.00	41400	204.95	2.520	1.28635	
T-4-2	9.70	10.00	20.20	202.00	46200	228.71	2.500	1.276	35
T-4-3	9.70	10.00	20.20	202.00	45800	226.73	2.507	1.279	35
T-4-4	9.70	10.00	20.20	202.00	46200	228.71	2.509	1.280	35
T-4-5	9.70	10.00	20.20	202.00	43000	212.87	5.5561.304		35
T-4-69.70	10.00	20.20	202.00	45800	73 226	2.531	1.292	35	
T-4-7	9.70	10.00	20.20	202.00	46200	228.71	2.498	1.275	35
T-4-8	9.70	10.00	20.20	202.00	48200	238.61	2.445	1.248	35
T-4-9	9.70	10.00	20.20	202.00	45300	224.262.507	1.279		35
T-4-10	9.70	10.00	20.20	202.00	56200	278.22	2.523	1.288	35
					Promedio	229.85	Promedio	1.281	

Características: Color ocre, área de huecos 70.76 cm<sup>2</sup>      \*\*\*esfuerzos sobre área total  
Esfuerzo promedio sobre área neta= 353.78

**TABLA 2**  
**ENSAYE A COMPRESIÓN SIMPLE**

MUESTRA	ALTO cm	ANCHO cm	LARGO cm	ÁREA cm <sup>2</sup>	CARGA kg	ESFUERZO kg/cm <sup>2</sup>	PESO kg	PESO VOL. kg/m <sup>3</sup>	% HUECOS
T5-1	5.80	11.80	23.60	278.48	89600	321.75	2.097	1.298	36
T5-2	5.80	11.80	23.60	278.48	108000	387.82	2.098	1.299	36
T5-3	5.80	11.80	23.60	278.48	107400	385.67	2.100	1.300	36
T5-4	5.80	11.80	23.60	278.48	101400	364.12	2.102	1.301	36
T5-5	5.80	11.80	23.60	278.48	117400	421.57	2.100	1.300	36
T5-65.80	11.80	23.60	500	382.43	2.087	1.292	36		
T5-7	5.80	11.80	23.60	278.48	107400	385.67	2.100	1.300	36
T5-8	5.80	11.80	23.60	278.48	106200	381.36	2.058	1.274	36
T5-9	5.80	11.80	23.60	278.48	104000	373.46	2.085	1.291	36
T5-10	5.80	11.80	23.60	278.48	104300	374.53	2.096	1.298	36
					Promedio	377.84	Promedio	1.295	

Características: Color siena, área de huecos 100.64 cm<sup>2</sup> \*\*\*esfuerzos sobre área total  
Esfuerzo promedio sobre área neta= 591.66

**TABLA 3**  
**ENSAYE A COMPRESIÓN SIMPLE**

MUESTRA	ALTO cm	ANCHO cm	LARGO cm	ÁREA cm <sup>2</sup>	CARGA kg	ESFUERZO kg/cm <sup>2</sup>	PESO kg	PESO VOL kg/m <sup>3</sup>	% HUECOS
T6-1	9.70	14.00	20.00	280.00	87500	312.50	3.390	1.248	34
T6-2	9.70	14.00	20.00	280.00	82200	293.57	3.386	1.247	34
T6-3	9.70	14.00	20.00	280.00	87400	312.14	3.520	1.296	34
T6-4	9.70	14.00	20.00	280.00	77300	276.07	3.512	1.293	34
T6-5	9.70	14.00	20.00	280.00	86600	309.29	3.413	1.257	34
T6-6	9.70	14.00	20.00	280.00	87600	312.86	3.430	1.263	34
T6-7	9.70	14.00	20.00	280.00	103000	367.86	3.409	1.255	34
T6-8	9.70	14.00	20.00	280.00	99200	354.29	3.400	1.252	34
T6-9	9.70	14.00	20.00	280.00	76200	272.14	3.388	1.247	34
T6-10	9.70	14.00	20.00	280.00	85800	306.43	3.446	1.269	34
					Promedio	311.71	Promedio	1.263	

Características: Color ocre, área de huecos 95.40 cm<sup>2</sup> \*\*\*esfuerzos sobre área total  
Esfuerzo promedio sobre área neta= 472.81



**TABLA 5  
ENSAYE DE COMPRESIÓN AXIAL EN PILAS**

MUESTRA	ANCHO cm	DIAGONAL cm	ÁREA cm <sup>2</sup>	CARGA kg	ESFUERZO kg/cm <sup>2</sup>
T4-1	10.00	20.00	200.00	19500	97.50
T4-2	10.00	20.00	200.00	22900	114.50
T4-3	10.00	20.00	200.00	19200	96.00
T4-4	10.00	20.00	200.00	22500	112.50
T4-5	10.00	20.00	200.00	19800	99.00
T4-6	10.00	20.00	200.00	28900	144.50
T4-7	10.00	20.00	200.00	21750	108.75
T4-8	10.00	20.00	200.00	23600	118.00
T4-9	10.00	20.00	200.00	15800	79.00
T4-10	10.00	20.00	200.00	17600	88.00
Promedio					105.78

Características: Color ocre, mortero 1 : 0 : 3: \*\*\*esfuerzo sobre área total

**TABLA 6  
ENSAYE DE COMPRESIÓN AXIAL EN PILAS**

MUESTRA	ANCHO cm	DIAGONAL cm	ÁREA cm <sup>2</sup>	CARGA kg	ESFUERZO kg/cm <sup>2</sup>
T4-1	10.00	20.00	200.00	27200	136.00
T4-2	10.00	20.00	200.00	26800	134.00
T4-3	10.00	20.00	200.00	25000	125.00
T4-4	10.00	20.00	200.00	30700	153.50
T4-5	10.00	20.00	200.00	21750	108.75
Promedio					131.45

Características: Color Ocre, mortero 1 : 0.25 : 3.5 : \*\*\*esfuerzo sobre área total

**TABLA 7  
ENSAYE DE COMPRESIÓN AXIAL EN PILAS**

MUESTRA	ANCHO cm	DIAGONAL cm	ÁREA cm <sup>2</sup>	CARGA kg	ESFUERZO kg/cm <sup>2</sup>
T4-1	10.00	20.00	200.00	18100	90.50
T4-2	10.00	20.00	200.00	14800	74.00
T4-3	10.00	20.00	200.00	14100	70.50
T4-4	10.00	20.00	200.00	14950	74.75
Promedio					77.44

Características: Color ocre, mortero 1 : 0.5 : 4 : \*\*\*esfuerzo sobre área total

**TABLA 8**  
**ENSAYE DE COMPRESIÓN AXIAL EN PILAS**

MUESTRA	ANCHO cm	DIAGONAL cm	ÁREA cm <sup>2</sup>	CARGA kg	ESFUERZO kg/cm <sup>2</sup>
T4-1	10.00	20.00	200.00	31600	158.00
T4-2	10.00	20.00	200.00	39200	196.00
T4-3	10.00	20.00	200.00	26700	133.50
T4-4	10.00	20.00	200.00	31700	158.50
T4-5	10.00	20.00	200.00	31600	158.00
T4-6	10.00	20.00	200.00	31500	157.50
T4-7	10.00	20.00	200.00	42000	210.00
T4-8	10.00	20.00	200.00	39700	198.50
T4-9	10.00	20.00	200.00	37550	187.75
Promedio					173.08

Características: Color ocre, mortero Fester Grout \*\*\*esfuerzo sobre área total

**TABLA 9**  
**ENSAYE DE COMPRESIÓN AXIAL EN PILAS**

MUESTRA	ANCHO cm	DIAGONAL cm	ÁREA cm <sup>2</sup>	CARGA kg	ESFUERZO kg/cm <sup>2</sup>
T4-1	10.00	20.00	200.00	39600	198.00
T4-2	10.00	20.00	200.00	22800	114.00
T4-3	10.00	20.00	200.00	41600	208.00
T4-4	10.00	20.00	200.00	49200	246.00
T4-5	10.00	20.00	200.00	49500	247.50
Promedio					202.70

Características: Color ocre, mortero Epóxico \*\*\*esfuerzo sobre área total

**TABLA 10**  
**CURVA Esfuerzo-deformación unitaria EN COMPRESIÓN AXIAL**

CARGA	MICR. IZQ. mm/10	MICR. DER. mm/10	DELTA I	DELTA D	ESFUERZO kg/cm <sup>2</sup>	DEFORMACIÓN UNITARIA
0	0.0	0.0	0	0	0.00	0.000000
2000	3.0	1.0	0.000923	0.000308	10.00	0.000615
4000	4.5	3.5	0.001385	0.001077	20.00	0.001231
6000	6.0	5.5	0.001846	0.001692	30.00	0.001769
8000	7.5	8.0	0.002308	0.002462	40.00	0.002385
10000	9.0	10.5	0.002769	0.003231	50.00	0.003000
12000	10.0	13.0	0.003077	0.004000	60.00	0.003538
14000	12.0	15.5	0.003692	0.004769	70.00	0.004231
16000	14.0	16.5	0.004308	0.005077	80.00	0.004692
18000	15.5	20.0	0.004769	0.006154	90.00	0.005462
20000	17.2	23.0	0.005292	0.007077	100.00	0.006185
22000	20.0	26.0	0.006154	0.008000	110.00	0.007077
23600					118.00	

Pieza T4 con mortero 1 : 0 : 3    Li = 325 mm    Ld = 311 mm

**TABLA 11**  
**CURVA Esfuerzo-deformación unitaria EN COMPRESIÓN AXIAL**

CARGA	MICR. IZQ. mm/10	MICR. DER. mm/10	DELTA I	DELTA D	ESFUERZO kg/cm <sup>2</sup>	DEFORMACIÓN UNITARIA
0	0.0	0.0	0	0	0.00	0.000000
2000	2.0	1.5	0.000727	0.000545	10.00	0.000636
4000	3.0	5.0	0.001091	0.001818	20.00	0.001455
6000	4.5	8.0	0.001636	0.002909	30.00	0.002273
8000	5.5	12.0	0.002000	0.004364	40.00	0.003182
10000	7.0	15.0	0.002545	0.005455	50.00	0.004000
12000	8.0	17.0	0.002909	0.006182	60.00	0.004545
14000	10.0	22.0	0.003636	0.008000	70.00	0.005818
15800					79.00	

Pieza T4 con mortero 1 : 0 : 3    Li = 257 mm    Ld = 257 mm

**TABLA 12**  
**CURVA Esfuerzo-deformación unitaria EN COMPRESIÓN AXIAL**

CARGA	MICR. IZQ. mm/10	MICR. DER. mm/10	DELTA I	DELTA D	ESFUERZO kg/cm <sup>2</sup>	DEFORMACIÓN UNITARIA
0	0.0	0.0	0	0	0.00	0.000000
2000	3.0	1.0	0.001091	0.000364	10.00	0.000727
4000	5.0	2.5	0.001818	0.000909	20.00	0.001364
6000	7.0	4.0	0.002545	0.001455	30.00	0.002000
8000	9.5	5.5	0.003455	0.002000	40.00	0.002727
1000	11.5	8.5	0.004182	0.003091	50.00	0.003636
12000	14.0	10.0	0.004281	0.003636	60.00	0.003959
14000	16.0	12.0	0.005818	0.004364	70.00	0.005091
16000	18.2	14.0	0.006618	0.005091	80.00	0.005855
17600					88.00	

Pieza T4 con mortero 1 : 0 : 3    Li = 275 mm    Ld = 275 mm

**TABLA 13**  
**CURVA Esfuerzo-deformación unitaria EN COMPRESIÓN AXIAL**

CARGA	MICR. IZQ. mm/10	MICR. DER. mm/10	DELTA I	DELTA D	ESFUERZO kg/cm <sup>2</sup>	DEFORMACIÓN UNITARIA
0	0.0	0.0	0	0	0.00	0.000000
2000	2.5	0.5	0.000943	0.000190	10.00	0.000567
4000	5.0	1.5	0.001887	0.000570	20.00	0.001229
6000	8.0	3.0	0.003019	0.001141	30.00	0.002080
8000	10.0	4.0	0.003774	0.001521	40.00	0.002647
10000	12.5	7.0	0.004717	0.002662	50.00	0.003689
12000	15.0	8.0	0.005660	0.003042	60.00	0.004351
14000	17.5	9.5	0.006604	0.003612	70.00	0.005108
16000	20.0	11.5	0.007547	0.004373	80.00	0.005960
18000	23.0	13.0	0.008679	0.004943	90.00	0.006811
20000	26.0	15.0	0.009811	0.005703	100.00	0.007757
22000	28.5	18.0	0.010755	0.006844	110.00	0.008799
24000	33.0	21.0	0.011509	0.007795	120.00	0.009652
25000					125.00	

Pieza T4 con mortero 1 : 0.25 : 3.5    Li = 265 mm    Ld = 263 mm

**TABLA 14**  
**CURVA Esfuerzo-deformación unitaria**  
**EN COMPRESIÓN AXIAL**

CARGA	MICR. IZQ. mm/10	MICR. DER. mm/10	DELTA I	DELTA D	ESFUERZO kg/cm <sup>2</sup>	DEFORMACIÓN UNITARIA
0	0.0	0.0	0	0	0.00	0.000000
2000	4.0	0.0	0.001493	0.000000	10.00	0.000746
4000	7.0	0.0	0.002612	0.000000	20.00	0.001306
6000	10.0	0.5	0.003731	0.000187	30.00	0.001959
8000	13.0	1.5	0.004851	0.000560	40.00	0.002705
10000	16.0	3.0	0.005970	0.001119	50.00	0.003545
12000	19.0	4.5	0.007090	0.001679	60.00	0.004384
14000	21.0	6.0	0.007836	0.002239	70.00	0.005037
16000	24.0	8.0	0.008955	0.002985	80.00	0.005970
18000	27.0	9.0	0.010075	0.003358	90.00	0.006716
20000	31.0	11.0	0.011567	0.004104	100.00	0.007836
22000	34.0	13.0	0.012687	0.004851	110.00	0.008769
24000	37.0	14.0	0.013806	0.005224	120.00	0.009515
26000	41.0	17.0	0.015299	0.006343	130.00	0.010821
28000	45.0	19.0	0.016791	0.007090	140.00	0.011940
30000	48.0	22.0	0.016418	0.008209	150.00	0.012313
30700					153.50	

Pieza T4 con mortero 1 : 0.25 : 3.5    Li = 268 mm    Ld = 268 mm

**TABLA 15**  
**CURVA Esfuerzo-deformación unitaria EN COMPRESIÓN AXIAL**

CARGA	MICR. IZQ. mm/10	MICR. DER. mm/10	DELTA I	DELTA D	ESFUERZO kg/cm <sup>2</sup>	DEFORMACIÓN UNITARIA
0	0.0	0.0	0	0	0.00	0.000000
2000	2.5	0.5	0.000936	0.000187	10.00	0.000256
4000	5.5	1.0	0.002060	0.000357	20.00	0.001217
6000	8.5	2.0	0.003184	0.000749	30.00	0.001966
8000	11.0	3.0	0.004120	0.001124	40.00	0.002622
10000	14.00	4.5	0.005243	0.001685	50.00	0.003464
12000	16.5	5.5	0.006180	0.002060	60.00	0.004120
14000	19.5	7.5	0.007303	0.002809	70.00	0.005056
16000	22.0	9.0	0.008240	0.003371	80.00	0.005805
18000	25.0	11.0	0.009363	0.004120	90.00	0.006742
20000	28.0	13.0	0.010487	0.004869	100.00	0.007678
21750					108.75	

Pieza T4 con mortero 1: 0.25 : 3.5    Li = 267 mm    Ld = 267 mm

**TABLA 16**  
**CURVA Esfuerzo-deformación unitaria EN COMPRESIÓN AXIAL**

CARGA	MICR. IZQ. Mm/10	MICR. DER. mm/10	DELTA I	DELTA D	ESFUERZO kg/cm <sup>2</sup>	DEFORMACIÓN UNITARIA
0	0.0	0.0	0	0	0.00	0.000000
2000	5.0	0.0	0.001923	0.000000	10.00	0.000962
4000	7.0	1.0	0.002692	0.000389	20.00	0.001541
6000	9.0	2.0	0.003462	0.000778	30.00	0.002120
8000	12.0	4.0	0.004615	0.001556	40.00	0.003086
10000	16.0	6.0	0.006154	0.002335	50.00	0.004244
12000	19.0	7.0	0.007308	0.002724	60.00	0.005016
14000	23.0	14.0	0.0088460	0.005447	70.00	0.007147
14100					70.50	

Pieza T4 con mortero 1 : 0.5 : 4    Li = 260 mm    Ld = 257 mm

**TABLA 17**  
**CURVA Esfuerzo-deformación unitaria EN COMPRESIÓN AXIAL**

CARGA	MICR. IZQ. Mm/10	MICR. DER. mm/10	DELTA I	DELTA D	ESFUERZO kg/cm <sup>2</sup>	DEFORMACIÓN UNITARIA
0	0.0	0.0	0	0	0.00	0.000000
2000	1.5	1.5	0.000560	0.000560	10.0	0.000560
4000	4.0	3.0	0.001493	0.001119	20.00	0.001306
6000	5.5	4.5	0.002052	0.001679	30.00	0.001866
8000	10.0	7.0	0.003731	0.002612	40.00	0.003172
10000	13.0	8.0	0.004851	0.002985	50.00	0.003918
12000	16.5	11.5	0.006157	0.004291	60.00	0.005224
14000	21.0	13.0	0.0078360	0.004851	70.00	0.006306
14950					74.75	

Pieza T4 con mortero 1 : 0.5 : 4    Li = 268 mm    Ld = 268 mm

**TABLA 18**  
**ENSAYE DE COMPRESIÓN AXIAL EN PILAS**

MUESTRA	ANCHO cm	DIAGONAL cm	ÁREA cm <sup>2</sup>	CARGA kg	ESFUERZO kg/cm <sup>2</sup>
T5-1	12.0	24.00	288.00	32450	112.67
T5-2	12.0	24.00	288.00	29500	102.43
T5-3	12.0	24.00	288.00	37250	129.34
T5-4	12.0	24.00	288.00	31560	109.58
T5-5	12.0	24.00	288.00	34500	119.79
T5-6	12.0	24.00	288.00	37450	130.03
T5-7	12.0	24.00	288.00	38500	133.68
T5-8	12.0	24.00	288.00	31650	109.90
T5-9	12.0	24.00	288.00	31700	110.07
T5-10	12.0	24.00	288.00	25100	87.15
Promedio					114.47

Características: Color Siena Mortero 1 : 0 : 3 : \*\*\*esfuerzo sobre área total

**TABLA 19**  
**ENSAYE DE COMPRESIÓN AXIAL EN PILAS**

MUESTRA	ANCHO cm	DIAGONAL cm	ÁREA cm <sup>2</sup>	CARGA kg	ESFUERZO kg/cm <sup>2</sup>
T5-1	12.0	24.00	288.00	35600	123.61
T5-2	12.0	24.00	288.00	36800	127.78
T5-3	12.0	24.00	288.00	36500	126.74
T5-4	12.0	24.00	288.00	26100	90.63
T5-5	12.0	24.00	288.00	23000	79.86
Promedio					109.72

Características: Color siena Mortero 1 : 0.5 : 4 : \*\*\*esfuerzo sobre área total

**TABLA 20**  
**CURVA esfuerzo-deformación unitaria EN COMPRESIÓN AXIAL**

CARGA	MICR. IZQ. mm/10	MICR. DER. mm/10	DELTA I	DELTA D	ESFUERZO kg/cm <sup>2</sup>	DEFORMACIÓN UNITARIA
0	0.0	0.0	0	0	0.00	0.000000
2000	1.0	0.0	0.000382	0.000000	6.94	0.0000191
4001	3.0	1.0	0.001145	0.000382	13.89	0.000763
6000	4.0	2.0	0.001527	0.000763	20.83	0.001145
8000	5.0	3.0	0.001908	0.001145	27.78	0.001527
10000	6.0	4.0	0.002290	0.001527	34.72	0.001908
12000	7.5	6.5	0.002863	0.002481	41.67	0.002672
14000	9.0	8.0	0.003435	0.003053	48.61	0.003244
16000	11.0	10.0	0.004198	0.003817	55.56	0.004008
18000	12.0	11.0	0.004580	0.004198	62.50	0.004389
20000	15.5	14.0	0.0059160	0.005344	9.44	0.0056
22000	18.0	16.0	0.006870	0.006107	76.39	0.006489
24000	20.0	18.0	0.007634	0.006870	83.33	0.007252
26000	23.5	20.5	0.008969	0.007824	90.28	0.008397
28000	27.0	24.0	0.010305	0.009160	97.22	0.009733
30000	31.0	29.0	0.011832	0.011069	104.17	0.011450
31650					109.90	

Pieza T5 con mortero 1 : 0 : 3    Li = 262 mm    Ld = 262 mm



**TABLA 21**  
**CURVA esfuerzo-deformación unitaria EN COMPRESIÓN AXIAL**

CARGA	MICR. IZQ. mm/10	MICR. DER. mm/10	DELTA I	DELTA D	ESFUERZO kg/cm <sup>2</sup>	DEFORMACIÓN UNITARIA
0	0.0	0.0	0	0	0.00	0.000000
2000	1.5	0.5	0.000573	0.000191	6.94	0.000382
4000	3.0	2.0	0.001145	0.000763	13.89	0.000954
6000	4.0	4.0	0.001527	0.001527	20.83	0.001527
8000	5.0	5.5	0.001908	0.002099	27.78	0.002004
10000	6.0	7.5	0.002290	0.002863	34.72	0.002576
12000	7.0	9.5	0.002672	0.003626	41.67	0.003149
14000	9.0	11.5	0.003435	0.004389	48.61	0.003915
16000	10.5	13.5	0.004008	0.005153	55.56	0.004580
18000	13.0	16.0	0.004962	0.006107	62.50	0.005534
20000	15.0	19.5	0.005725	0.007443	69.44	0.006584
22000	18.0	23.0	0.006870	0.008779	76.39	0.007824
24000	21.0	26.5	0.008015	0.010115	83.33	0.009065
26000	24.0	31.0	0.009160	0.011832	90.28	0.010496
28000	29.0	36.0	0.011069	0.013740	97.22	0.012405
30000	34.0	42.0	0.012977	0.016031	104.17	0.014504
31700					110.07	

Pieza T5 con mortero 1 : 0 : 3    Li = 262 mm    Ld = 262 mm

**TABLA 22**  
**CURVA esfuerzo-deformación unitaria EN COMPRESIÓN AXIAL**

CARGA	MICR. IZQ. mm/10	MICR. DER. mm/10	DELTA I	DELTA D	ESFUERZO kg/cm <sup>2</sup>	DEFORMACIÓN UNITARIA
0	0.0	0.0	0	0	0.00	0.000000
2000	1.5	1.0	0.000551	0.000368	6.94	0.000460
4000	2.5	2.0	0.000919	0.000735	13.89	0.000827
6000	4.0	3.0	0.001471	0.001103	20.83	0.001287
8000	5.5	4.0	0.002022	0.001471	27.78	0.001746
10000	7.5	5.5	0.002757	0.002022	34.72	0.002390
12000	9.0	7.0	0.003309	0.002574	41.67	0.002941
14000	10.5	8.5	0.003860	0.003125	48.61	0.003493
16000	12.0	10.0	0.004412	0.003676	55.56	0.004044
18000	14.0	12.0	0.005147	0.004412	62.50	0.004779
20000	16.0	13.5	0.005882	0.004963	69.44	0.005423
22000	19.0	16.0	0.006985	0.005882	76.39	0.006434
24000	22.0	18.0	0.008088	0.006618	83.33	0.007353
25100					87.15	

Pieza T5 con mortero 1 : 0 : 3    Li = 272 mm    Ld = 272 mm

**TABLA 23**  
**CURVA esfuerzo-deformación unitaria**  
**EN COMPRESIÓN AXIAL**

CARGA	MICR. IZQ. mm/10	MICR. DER. mm/10	DELTA I	DELTA D	ESFUERZO kg/cm <sup>2</sup>	DEFORMACIÓN UNITARIA
0	0.0	0.0	0	0	0.00	0.000000
2000	1.0	1.0	0.000373	0.000366	6.94	0.000370
4000	2.5	1.5	0.000933	0.000549	13.89	0.000741
6000	4.0	2.5	0.001493	0.000916	20.83	0.001204
8000	5.0	3.5	0.001866	0.001282	27.78	0.001574
10000	6.5	5.0	0.002425	0.001832	34.72	0.002128
12000	8.0	6.5	0.002985	0.002381	41.67	0.002683
14000	10.0	8.0	0.003731	0.002930	48.61	0.003331
16000	11.0	10.0	0.004104	0.003663	55.56	0.003884
18000	13.5	12.0	0.005037	0.004366	62.50	0.004716
20000	16.0	14.0	0.005970	0.005128	69.44	0.005549
22000	18.5	17.0	0.006903	0.006227	76.39	0.006565
24000	21.5	19.0	0.008022	0.006960	83.33	0.007491
26000	25.0	21.5	0.009328	0.007875	90.28	0.008602
28000	30.0	25.0	0.011194	0.009158	97.22	0.010176
30000	34.0	29.0	0.012687	0.010623	104.17	0.011655
36500					126.74	

Pieza T5 con mortero 1 : 05 : 4    Li = 268 mm    Ld = 273 mm

**TABLA 24**  
**CURVA esfuerzo-deformación unitaria EN COMPRESIÓN AXIAL**

CARGA	MICR. IZQ. mm/10	MICR. DER. mm/10	DELTA I	DELTA D	ESFUERZO kg/cm <sup>2</sup>	DEFORMACIÓN UNITARIA
0	0.0	0.0	0	0	0.00	0.000000
2000	1.5	1.0	0.0005560	0.000370	6.94	0.000346
4000	3.5	2.0	0.0012960	0.000741	13.89	0.001019
6000	5.0	4.0	0.001852	0.001481	20.83	0.001667
8000	5.5	6.5	0.002037	0.002407	27.78	0.002222
10000	7.0	9.0	0.002593	0.003333	34.72	0.002963
12000	9.0	11.0	0.003333	0.004074	41.67	0.003704
14000	11.0	12.0	0.004074	0.004444	48.61	0.004259
16000	14.0	16.0	0.005185	0.005926	55.56	0.005556
18000	17.0	19.0	0.006296	0.007037	62.50	0.006667
20000	21.0	24.0	0.007778	0.008889	69.44	0.008333
22000	25.0	27.0	0.009259	0.010000	76.33	0.009630
24000	31.0	33.0	0.011481	0.012222	83.33	0.011852
26100					90.63	

Pieza T5 con mortero 1 : 05 : 4    Li = 270 mm    Ld = 270 mm

**TABLA 25**  
**ENSAYE EN COMPRESIÓN DIAGONAL**

MUESTRA	ANCHO cm	DIAGONAL cm	ÁREA cm <sup>2</sup>	CARGA kg	ESFUERZO kg/cm <sup>2</sup>
T4-1	10.0	45.00	450.00	6380	14.18
T4-2	10.0	45.40	454.00	2650	5.84
T4-3	10.0	43.20	432.00	3150	7.29
T4-4	10.0	43.00	430.00	3750	8.72
T4-5	10.0	43.10	431.00	3800	8.82
T4-6	10.0	43.20	432.00	2870	6.64
T4-7	10.0	42.60	426.00	3550	8.33
T4-8	10.0	43.00	430.00	3730	8.67
T4-9	10.0	43.00	430.00	3980	9.26
T4-10	10.0	43.50	435.00	7150	16.44
				Promedio	9.42

Características: Color ocre Mortero 1 : 0 : 3 : \*\*\*esfuerzo sobre área total

**TABLA 26**  
**ENSAYE EN COMPRESIÓN DIAGONAL**

MUESTRA	ANCHO cm	DIAGONAL cm	ÁREA cm <sup>2</sup>	CARGA kg	ESFUERZO kg/cm <sup>2</sup>
T4-1	10.0	43.40	434.00	5500	12.67
T4-2	10.0	43.30	433.00	6480	14.97
T4-3	10.0	43.60	436.00	4700	10.78
T4-4	10.0	43.30	433.00	4100	9.47
				Promedio	11.97

Características: Color ocre Mortero 1 : 0.25 : 3.5 : \*\*\*esfuerzo sobre área total

**TABLA 27**  
**ENSAYE EN COMPRESIÓN DIAGONAL**

MUESTRA	ANCHO cm	DIAGONAL cm	ÁREA cm <sup>2</sup>	CARGA kg	ESFUERZO kg/cm <sup>2</sup>
T4-1	10.0	42.50	425.00	7300	17.18
T4-2	10.0	42.80	428.00	4300	10.05
T4-3	10.0	42.70	427.0	3200	7.49
T4-4	10.0	43.00	430.00	3200	7.44
T4-5	10.0	42.60	426.00	3200	7.51
T4-6	10.0	42.80	428.0	3200	7.48
Promedio					9.52

Características: Color Ocre    Mortero Fester Grout    \*\*\*esfuerzo sobre área total

**TABLA 28**  
**ENSAYE EN COMPRESIÓN DIAGONAL**

MUESTRA	ANCHO cm	DIAGONAL cm	ÁREA cm <sup>2</sup>	CARGA kg	ESFUERZO kg/cm <sup>2</sup>
T4-1	12.00	52.40	628.80	3400	5.41
T5-2	12.00	52.80	633.60	4000	6.31
T5-3	12.00	53.00	636.00	4550	7.15
T5-4	12.00	52.30	627.60	4060	6.47
T5-5	12.00	52.40	628.80	5600	8.91
T5-6	12.00	53.00	636.00	4400	6.92
T5-7	12.00	52.00	624.00	4350	6.97
T5-8	12.00	52.40	628.80	5750	9.14
T5-9	12.00	52.30	627.60	5840	9.31
T5-10	12.00	52.60	631.20	3700	5.86
Promedio					7.25

Características: Color siena    Mortero 1 : 0 : 0 :    \*\*\*esfuerzo sobre área total

**TABLA 29**  
**ENSAYE DE COMPRESIÓN DIAGONAL**

MUESTRA	ANCHO cm	DIAGONAL cm	ÁREA cm <sup>2</sup>	CARGA kg	ESFUERZO kg/cm <sup>2</sup>
T5-1	12.00	51.40	616.80	4200	6.81
T5-2	12.00	52.50	630.00	4320	6.86
T5-3	12.00	52.60	631.20	3800	6.02
T5-4	12.00	52.30	627.60	5900	9.40
Promedio					7.27

Características: Color siena    Mortero 1 : 0.5 : 4 :    \*\*\*esfuerzo sobre área total





## **ANEXO 2**

# RESUMEN DE ENSAYES DE LABORATORIO

## ENSAYE DE COMPRESIÓN SIMPLE DE LAS PIEZAS

Tipo	Tamaño b, l, h cm	No. ensayos	Esfuerzo* kg/cm <sup>2</sup>	c.v.+ %	fn* *** kg/cm <sup>2</sup>	Peso Vol. ++ kg/cm <sup>3</sup>	% Huecos
T-4	10x20x10	10	229.85	15	167	1.281	35
T-5	12x24x610	377.84	15	275	1.295	36	
T-614	12x20x10	10	311.71	15	225	1.326	34

- \* Esfuerzo promedio sobre área total
- \*\* Coeficiente de variación
- \*\*\* Resistencia nominal de diseño de las piezas
- + Por Reglamento el coeficiente de variación debe ser mayor al 15%
- ++ Sobre volumen total

## ENSAYE EN COMPRESIÓN AXIAL EN PILAS

Pieza	MORTERO++											
	1 : 0 : 3				1 : 0.25 : 3.5				1 : 0.5 : 4			
Tipo	fm <sup>1</sup>	c.v. <sup>2</sup>	f*m <sup>3</sup>	E <sup>4</sup>	fm <sup>1</sup>	c.v. <sup>2</sup>	f*m <sup>3</sup>	E <sup>4</sup>	fm <sup>1</sup>	c.v. <sup>2</sup>	f*m <sup>3</sup>	E <sup>4</sup>
T-4	105.78	17	75	14600	131.45	15	95	13300	77.44	15	55	14000
T-5	114.47	15	83	12800	-	-	-	-	109.7	20	73	11700

- + Proporción en volumen; cemento : cal : arena
- 1 Resistencia promedio en compresión, kg/cm<sup>2</sup>
- 2 Coeficiente de variación, ensaye de 10 pilas, %, no menor al 15%, por Reglamento
- 3 Resistencia nominal de diseño de la mampostería, kg/cm<sup>2</sup>
- 4 Módulo de Elasticidad de la mampostería, kg/cm<sup>2</sup>



## ENSAYE EN COMPRESIÓN AXIAL EN PILAS, MORTEROS ESPECIALES

Pieza	MORTERO++											
	Epóxico								Festero Grout			
	fm <sup>1</sup>	c.v. <sup>2</sup>	f*m <sup>3</sup>	E <sup>4</sup>	fm <sup>1</sup>	c.v. <sup>2</sup>	f*m <sup>3</sup>	E <sup>4</sup>	fm <sup>1</sup>	c.v. <sup>2</sup>	f*m <sup>3</sup>	E <sup>4</sup>
T-4	202.70	27	121	0	0	0	0	0	173.1	15	125	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

- + Proporción en volumen; cemento : cal : arena
- 1 Resistencia promedio en compresión, kg/cm<sup>2</sup>
- 2 Coeficiente de variación, ensaye de 10 pilas, %, no menor al 15%, por Reglamento
- 3 Resistencia nominal de diseño de la mampostería, kg/cm<sup>2</sup>
- 4 Módulo de Elasticidad de la mampostería, kg/cm<sup>2</sup>

## ENSAYE EN COMPRESIÓN DIAGONAL EN MURETES (CORTANTE)

Pieza	MORTERO++											
	1: 0 : 3				1: 0.25 : 3.5				1: 0.5 : 4			
	vm <sup>1</sup>	c.v. <sup>2</sup>	v* <sup>3</sup>	falla <sup>4</sup>	vm <sup>1</sup>	c.v. <sup>2</sup>	v* <sup>3</sup>	falla <sup>4</sup>	vm <sup>1</sup>	c.v. <sup>2</sup>	v* <sup>3</sup>	falla <sup>4</sup>
T-4	9.44	33	5.12	b	11.97	20	7.98	b	-	-	-	-
T-5	7.25	19	4.92	b	-	-	-	-	7.27	20	4.85	b

- + Proporción en volumen; cemento : cal : arena
- 1 Resistencia promedio en compresión, kg/cm<sup>2</sup>
- 2 Coeficiente de variación, ensaye de 10 muretes, %
- 3 Resistencia nominal de diseño de la mampostería en cortante, kg/cm<sup>2</sup>
- 4 Tipo de falla predominante: a) diagonal; b) por las juntas; c) combinada

## ENSAYE EN COMPRESIÓN DIAGONAL EN MURETES (CORTANTE)

Pieza	MORTEROS ESPECIALES++											
	Epóxico								Festero Grout			
	vm <sup>1</sup>	c.v. <sup>2</sup>	v* <sup>3</sup>	falla <sup>4</sup>	vm <sup>1</sup>	c.v. <sup>2</sup>	v* <sup>3</sup>	falla <sup>4</sup>	vm <sup>1</sup>	c.v. <sup>2</sup>	v* <sup>3</sup>	falla <sup>4</sup>
T-4	9.52	41	4.70	c	-	-	-	-	-	-	-	-

- + Proporción en volumen; cemento : cal : arena
- 1 Resistencia promedio en compresión, kg/cm<sup>2</sup>
- 2 Coeficiente de variación, ensaye de 10 muretes, %
- 3 Resistencia nominal de diseño de la mampostería en cortante, kg/cm<sup>2</sup>
- 4 Tipo de falla: a) diagonal; b) por las juntas; c) combinada



Cerámica SJ

Pilares 919, Col. Letrán Valle, Deleg. Benito Juárez, C.P. 03650, México D.F.

[www.ceramicasj.com](http://www.ceramicasj.com)