

lej

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO



FACULTAD DE INGENIERIA

COMPORTAMIENTO ANTE CARGAS LATERALES
ALTERNADAS DE MUROS CONSTRUIDOS EN
TABIQUE MULTIPERFORADO.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO CIVIL

P R E S E N T A :

ISMAEL BASILIO SANCHEZ

L

273787

DIRECTOR: DR. OSCAR HERNANDEZ BASILIO

MEXICO, D. F.

1999



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

PAGINACION
DISCONTINUA.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

**FACULTAD DE INGENIERIA
DIVISION DE INGENIERIA CIVIL,
TOPOGRAFICA Y GEODESICA**

A QUIEN CORRESPONDA:

Con la presente hago constar que el alumno **ISMAEL BASILIO SANCHEZ**, con número de cuenta **9138593-4** tiene registrado el índice de su trabajo de tesis habiendo ya obtenido la aceptación del mismo teniendo el número de registro 156/98 que obra en la Unidad de Trámites de Titulación de la DICTyG el cual a la fecha continua desarrollando para obtener su título de Ingeniero Civil.

Sin otro particular, aprovecho la ocasión para enviarle un cordial saludo.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cd. Universitaria, a 15 de abril de 1999.

Ing. Héctor Sanginés García.
Secretario Académico de la
División

JMCS/GMP*mstg

156/98

A mis padres, quienes llenan un espacio muy especial en mi vida y por haberme dado todo su apoyo, sacrificio y cariño mil gracias.

A mi hermano Gilberto, por convertir esos ratos de convivencia en alegría y buen optimismo.

A mi familia y mis amigos, por estar presentes en los momentos más importantes de mi vida.

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS.....	1
1.1 Importancia de la mampostería.....	1
1.2 Daños en mampostería.....	1
1.3 Materiales que se utilizan para construir mampostería.....	2
1.3.1 Acero.....	2
1.3.2 Mortero.....	3
1.3.3 Tabique.....	3
1.4 Objetivo.....	4
2. BREVE DESCRIPCIÓN HISTÓRICA DEL DESARROLLO DE LA REGLAMENTACIÓN DE ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERÍA.....	5
2.1 Materiales.....	7
2.2 NTCM.....	7
2.2.1 Clasificación de los muros.....	7
2.2.1.1 Muros diafragma.....	7
2.2.1.2 Muros confinados.....	9
2.2.1.3 Muros reforzados interiormente.....	10
2.2.1.4 Muros no reforzados.....	12
3. COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE LA MAMPOSTERÍA.....	13
3.1 Comportamiento mecánico de la mampostería ante cargas laterales.....	13
3.2 Comportamiento ante cargas laterales reversibles.....	18
4. TRABAJO EXPERIMENTAL.....	19
4.1 Pilas y muretes con tabique multiperforado.....	19
4.1.1 Materiales.....	19
4.1.1.1 Características de las piezas.....	19
4.1.1.2 Características de los morteros.....	20
4.1.1.3 Características de los concretos.....	22
4.1.1.4 Características de los aceros.....	23
4.1.2 Ensayes índice de resistencia.....	23
4.1.3 Mampostería en carga axial.....	24
4.1.3.1 Resultados de los ensayos de pilas.....	27
4.1.4 Características de las mamposterías en compresión diagonal.....	29
4.1.4.1 Resultados de los ensayos de muretes.....	29
4.2 Ensaye en muros a escala natural.....	31
4.2.1 Descripción de los muros y procedimiento de ensaye.....	31
4.2.1.1 Etapa experimental.....	42
4.2.1.1.1 Instrumentación.....	42
4.2.1.1.2 Procedimiento general de ensaye.....	42
4.2.1.2 Curvas de comportamiento.....	43
4.2.1.2.1 Curvas histeréticas de los muros.....	43
4.2.1.2.2 Comportamiento general observado.....	44
4.2.2 Resultados cualitativos.....	46

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	47
5.1 Análisis cualitativo de los resultados.....	47
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	52
6.1 Conclusiones.....	52
6.1.1 Comentarios.....	53
6.2 Recomendaciones.....	53
ANEXO	57
APÉNDICE.....	64
A1. Pilas instrumentadas para obtener el módulo de elasticidad experimental.....	64
A2. Resistencia de morteros.....	73
A3. Resistencia del concreto.....	76
A4. Ensayes a compresión axial.....	78
A5. Ensayes a compresión diagonal.....	80
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	82

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS.

1.1 IMPORTANCIA DE LA MAMPOSTERÍA.

Para hacer ver la importancia de las mamposterías se puede decir que para la construcción en México de las al menos 650,000 viviendas que se deberían hacer anualmente, se utilizarían casi un 50% de la producción de varilla (en los últimos 4 años se han dejado de construir cerca de un millón de viviendas por los motivos por todos conocidos); esto da a pensar que la mitad de la actividad constructora del país es en este rubro. De ese acero, cerca del 35% se usaría como refuerzo en los aproximadamente 66 millones de metros cuadrados de muros 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.

Debido a la alza de precios en materiales de construcción los constructores se han visto en la necesidad de aprovechar al máximo los materiales, haciéndolos trabajar a su máxima capacidad. Uno de los aspectos que permite tener economías en la construcción de vivienda de cualquier especie, es la racionalización del acero de refuerzo y de emplear las piezas de mayor calidad.

La construcción de muros de carga de mampostería es muy común en nuestro país; su función principal es rigidizar a la estructura y resistir cargas gravitacionales verticales y horizontales. Las estructuras de mampostería han demostrado ser construcciones altamente confiables, seguras y económicas, las cuales si se diseñan de acuerdo con la reglamentación vigente, presentaran un comportamiento altamente satisfactorio ante un evento sísmico.

El uso de muros de mampostería se ha limitado en edificios de pocos niveles; sin embargo, debido a la economía al emplear los muros como elementos estructurales, y a que existen numerosas edificaciones que necesitan de gran densidad de muros, conviene estudiar formas de refuerzo de los muros que les proporcionen mayor capacidad de deformación y mejor comportamiento que los reforzados convencionalmente, a fin de permitir el uso de muros de carga de mampostería en edificios de mediana altura.

1.2 DAÑOS EN MAMPOSTERÍA.

A diferencia de otros materiales, como el acero y el concreto, las normas de diseño de mampostería han previsto las posibles complicaciones o problemas que pueden afectar el comportamiento de las mamposterías, de ahí el excelente comportamiento de las construcciones de mampostería construidas desde finales de los años sesenta a los noventa y que fueron diseñadas apegadas a las normas; la prueba máxima fueron los sismos ocurridos en septiembre 19 y 20 de 1985, en donde estas construcciones se comportaron excelentemente. Lo anterior se

demuestra al ver las tablas 1.1 y 1.2, que fueron resultado de un levantamiento en la zona de mayor daño durante esos eventos; estas tablas nos hace ver que las estructuras de mampostería, a pesar de ser las mas numerosas, fueron las que en porcentaje presentaron menores colapsos o daños graves, y en donde ocurrió, fue debido a que eran construcciones anteriores al reglamento de 1966 y estaban muy deterioradas por falta de mantenimiento. Desafortunadamente, en los últimos años se ha ido degradando la práctica constructiva de las mamposterías.

Tabla 1.1. Daños en estructuras durante los sismos de 1985.

Niveles	Construcciones Existentes	Construcciones Dañadas	Porcentaje dañado
Hasta 2	37,494	29	0.08
De 3 a 5	13,498	78	0.58
De 6 a 8	1,616	110	6.81
De 9 a 12	529	62	11.72
Mas de 12	229	26	11.35
TOTAL	53,366	305	0.57

Las estructuras de mampostería son usualmente menores de 5 niveles.

Tabla 1.2. Daños en distintos tipos de estructuras, sismos de 1985.

Tipo de estructura	Tipo De daño	Año de construcción			Número de pisos				Total
		<1957	57-76	>1976	<= 5	6-10	11-15	> 15	
Marcos concreto	1	27	51	4	27	46	8	1	82
	2	16	23	6	10	28	6	1	45
Losa plana	1	8	62	21	36	49	5	1	91
	2	4	22	18	5	26	12	1	44
Mampostería	1	6	5	2	11	2	0	0	13
	2	9	13	1	22	1	0	0	23

1 Colapso 2 Grave

1.3 MATERIALES QUE SE UTILIZAN PARA CONSTRUIR MAMPOSTERÍAS.

1.3.1 ACERO.

Vale la pena comentar que el refuerzo de los castillos por los años 40 consistía de 4 varillas lisas del #3, con esfuerzo de fluencia de 2500 kg/cm² y estribos de alambón de 1/4" a cada 20 cm; a principios de los años 50 aparecen los castillos electrosoldados como alternativa de refuerzo, pero con aceros de mejor calidad (4000 kg/cm² en esa época); estos castillos electrosoldados han

evolucionado mejorando sus características, mientras que en el armado tradicional, a pesar de haber mejores aceros, se sigue usando el mismo tamaño de varilla, y separación de estribos, siendo que éstos últimos no cumplen con las normas de diseño actuales.

1.3.2 MORTEROS.

Las normas mexicanas ref. 7 prohíben el uso de morteros que solo tengan cal o mortero de albañilería, siempre debe haber cemento. La proporción en que se unen el cemento, la cal o el mortero de albañilería, y la arena, determinará la resistencia del mortero.

Es conveniente observar que si se quiere obtener una mampostería de buena calidad, el mortero debe ser tipo I, con una resistencia de aproximadamente 125 kg/cm^2 . El utilizar morteros de baja calidad solo hará disminuir la resistencia de la mampostería, aun cuando se utilizan piezas de muy buena calidad.

1.3.3 TABIQUE.

Existen varios tipos de tabiques, en este trabajo solo se hará mención a los tabiques de barro industrializados.

La calidad de los tabiques industrializados se ha deteriorado fuertemente en los últimos 20 años; a principios de los años 70 la resistencia media de los tabiques industrializados era aproximadamente de 250 kg/cm^2 , mientras que ahora es de 125 kg/cm^2 .

Siguen existiendo fabricas que hacen tabiques de muy buena calidad, como los denominados MULTEX y TABIMAX en los que para su elaboración se emplean arcillas de buena calidad y se hornean con gas natural a temperaturas reguladas, que permiten obtener un producto de mejor calidad, con muy buenas propiedades de resistencia y de impermeabilidad. Así mismo, estas piezas tienen un peso menor al convencional tabique rojo, además de que cuenta con perforaciones que permiten contar con un anclaje mecánico, favorable en casos de sismos, además de la adherencia química convencional.

Otro beneficio por estos productos se refiere a que, con adecuado reforzamiento, los muros en caso de agrietamiento obtienen buena capacidad de deformación durante un evento sísmico, misma que permite disipar la energía que producen dichos movimientos en las estructuras.

1.4 OBJETIVO.

El objetivo de este trabajo es determinar las propiedades de resistencia de las mamposterías construidas con las piezas TABIMAX y NOVAMURO, así como estudiar el comportamiento de esas mamposterías al ensayar varios muros a escala natural y reforzarlos de manera no convencional.

Por el carácter repetitivo de los proyectos de vivienda y el elevado número de edificios similares que se tienen que construir, principalmente en zonas de alto riesgo sísmico en el país, se considera relevante contar con una verificación experimental cuando se utilizan procesos constructivos no convencionales en materiales de superior calidad a los usuales. Este tipo de ensayos podrán conducir, si se considera conveniente, a futuras modificaciones de los sistemas actuales de diseño y construcción de estructuras de mampostería.

2 BREVE DESCRIPCIÓN HISTÓRICA DEL DESARROLLO DE LA REGLAMENTACIÓN DE ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERÍA.

Si bien las modalidades de refuerzo propuestas en las NTCM ref. 7 hace cerca de 30 años resultaron convenientes para las características de las piezas que en esa época se fabricaban, actualmente es necesario dar cabida a alternativas cuya finalidad sea mejorar el comportamiento sísmico de mamposterías que tienen parámetros de resistencia mayor a las indicadas y que utilizan menores cantidades de refuerzo, pero detalladas adecuadamente.

Para poder comprender mejor en que dirección deben hacerse esas modificaciones es conveniente hacer un breve resumen histórico de cómo ha evolucionado el refuerzo en las mamposterías.

- En los años 40 era común el acero con $f_y = 2500 \text{ kg/cm}^2$ y que se reforzaran las mamposterías con 4 varillas #3 y estribos de alambra @20 cm, armado que sigue siendo tradicional aún en esta época, a pesar de que no cumplen con las normas actuales y a que han aparecido aceros de mejor calidad.
- En el reglamento de 1966 aparecen requisitos específicos de refuerzo de las dadas y castillos para estructuras de mampostería de más de 5 m de altura. Se pide que los castillos se coloquen en las intersecciones entre muros, en los extremos y a separaciones que no excedan las $\frac{3}{4}$ partes de la altura; la dala se debería poner en todo extremo horizontal del muro, salvo que existiera algún otro elemento de concreto. Para la resistencia del concreto se pedía un mínimo de 140 kg/cm^2 , y el acero de dadas y castillos debería tener al menos cuatro varillas, cuya área no fuera menor que $0.1f_c/f_y$ por el área transversal del castillo, pero no menor que $0.1f_c/f_y t^2$ (t es el espesor del muro). Decía también ese reglamento que el diámetro de los estribos no debería ser menor a 6mm con separación máxima de 20 cm, sin especificar el esfuerzo de fluencia. Si el refuerzo era interior, se pedía que se colocara refuerzo equivalente. Para esta NTCM de 1966 la finalidad de aumentar las cantidades de refuerzo era dar a los muros cierta capacidad de deformación para que pudiera aplicárseles factores de ductilidad mayores a la unidad: 1.5 para piezas huecas con refuerzo interior o confinadas, y 2 para piezas macizas confinadas.
- En noviembre de 1976 aparece un nuevo reglamento que se basa en criterio probabilista, se implementan las Normas Técnicas Complementarias para diseño de estructuras de distinto tipo, entre ellas las de mampostería. El cambio principal se refiere al criterio de diseño de las estructuras, el cual ahora es un criterio de resistencia. 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 ahí establecidos, se permitía incrementar su resistencia a cortante en un 50%; también se permitía

el mismo incremento en porcentaje para la compresión axial (pero no mayor a 15 kg/cm^2); en muros confinados se permitía incrementar en 4 kg/cm^2 la resistencia a compresión de la mampostería. Para muros confinados, los castillos y dadas debieran tener un concreto con f_c mayor a 150 kg/cm^2 y se aumentó al doble la cantidad de refuerzo longitudinal respecto al valor que antes se pedía; ahora el área deberá ser mayor a $0.2f_d/f_y$ por el área del castillo. Aparece una expresión para calcular el área de refuerzo en estribos, $1000S/(f_y d_c)$, y se pide que la separación no sea mayor a $1.5d_c$ ó 20 cm , la menor de ellas; la distancia entre castillos se pide que no sea mayor a 1.5 veces la altura del muro o cada cuatro metros. Para los muros con refuerzo interior se pide cantidades de refuerzo muy altas, cuando menos 0.0007 del área transversal del muro en una dirección (horizontal o vertical), pero la suma de ambas cuantías no debería ser menor a 0.002 . Además, en todo extremo o intersección de muros, o cada 3 metro, debieran ir colados dos huecos consecutivos cada uno de ellos con una varilla de $3/8"$ (con f_y 4200 o refuerzo equivalente); además, el refuerzo interior adicional se debía colocar a una separación no mayor a seis veces el espesor del muro, ó 90 cm .

- 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 Construcciones. Los cambios principales para el refuerzo de estructuras de mampostería consistieron en incrementar el factor de resistencia de mamposterías confinadas y con refuerzo interior de 0.6 a 0.7 , y se elimina el incremento en resistencia a cortante para mamposterías con refuerzo interior; permitiendo, solo en el caso de colocar acero de refuerzo en las juntas horizontales del mortero, incrementar 25% la resistencia a cortante, esto es aplicable tanto a muros confinados, como con refuerzo interior.
- La versión de las NTCM del año 1996 tiene modificaciones menores tendientes a aclarar la aplicación de las normas.

Estudios recientes en mamposterías de muy buena calidad nos dicen que se pueden alcanzar resistencias nominales de diseño a cortante de 5 kg/cm^2 y mayores, han permitido determinar que es necesario modificar algunos de los criterios para mejorar el comportamiento sísmico de las mamposterías, aún para cantidades de refuerzo menores a las indicadas actualmente en las normas.

2.1 MATERIALES.

Para determinar los esfuerzos básicos resistentes de la mampostería, tales como su resistencia al corte y a la compresión, se establecen procedimientos de ensaye relativamente simples. Para los casos en que no se determinen las resistencias en laboratorio, las NTCM proporcionan valores específicos para los materiales de empleo más común; los esfuerzos característicos propuestos representan el percentil 98% de probabilidad que la resistencia tal sea superior o igual al valor señalado. El problema es que la mayoría de los materiales no cumplen con esos valores mínimos que establecen las NTCM.

2.2 NORMAS TÉCNICAS COMPLEMENTARIAS PARA EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERÍA (NTCM).

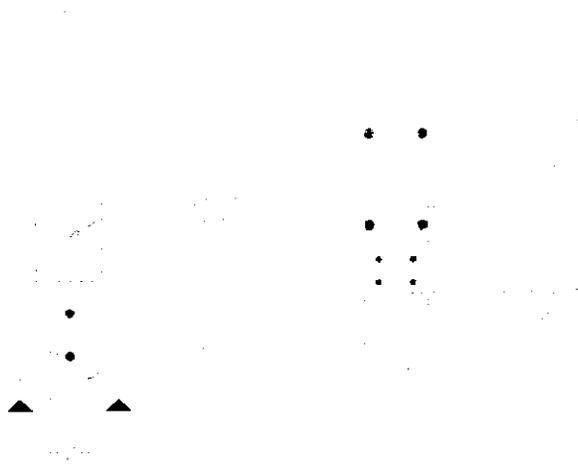
Hasta antes de 1977 las recomendaciones para el diseño de estructuras de mampostería han sido, tradicionalmente, muy someras basadas en procedimientos simples y burdos de revisión de esfuerzos, con factores de seguridad muy altos. Es claro que los estudios a la fecha, sobre propiedades mecánicas y el comportamiento estructural de la mampostería, han servido para elaborar normas de diseño mas precisas y detalladas. Dichas normas han servido de modelo para la elaboración de recomendaciones y reglamentos sobre mampostería en otros países.

Para ejemplificar el uso de las normas se hará un breve resumen de lo que establecen las NTCM.

2.2.1 CLASIFICACIÓN DE LOS MUROS.

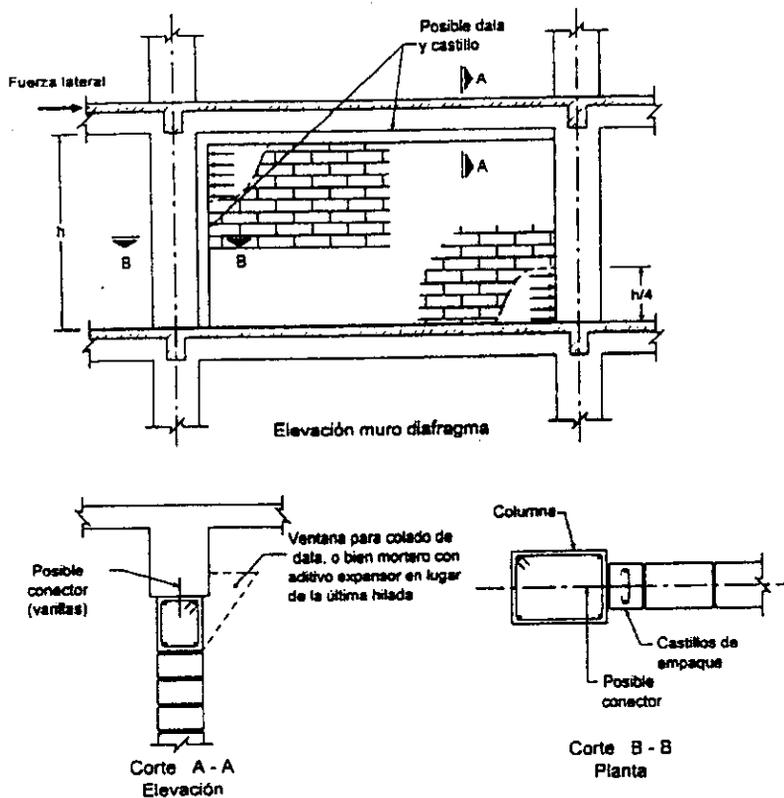
2.2.1.1 MUROS DIAFRAGMA.

Son muros contenidos dentro de traveses y columnas de un marco estructural, al que proporcionan rigidez ante la acción de cargas laterales y que cumplen con los requisitos geométricos y de refuerzo, de la sección 3.2 de las NTCM.



La unión entre el marco y el muro diafragma deberá garantizar la estabilidad de este bajo la acción de fuerzas perpendiculares al plano del muro. Además, las columnas del marco deberán ser capaces de resistir, cada una en una longitud igual a la cuarta parte de su altura libre una fuerza cortante igual a la mitad de la fuerza lateral que actúa sobre el tablero.

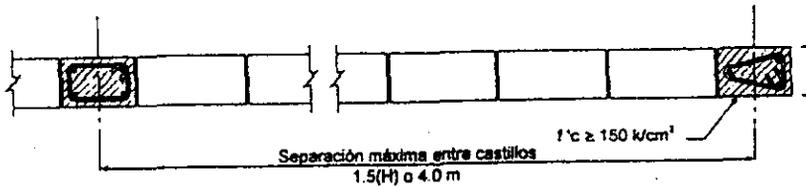
Los muros pueden integrarse al marco usándolos como cimbra parcial de trabe y columnas, o bien colocarse después del cimbrado el marco, usando dalas y castillos de empaque o morteros con aditivo espansor en la mezcla en lugar de la última hilada.



2.2.1.2 MUROS CONFINADOS.

Son muros reforzados con dalas y castillos que cumplen con los requisitos geométricos y de refuerzo, de la sección 3.3 de las NTCM. Las normas establecen que podrá incrementarse la resistencia a fuerza cortante de muros confinados de acuerdo a lo establecido en la sección 4.3.2 de las NTCM cuando se coloque refuerzo horizontal en las juntas, debidamente anclado a los castillos extremos y/o interiores.

Se indica también que habrá elementos de refuerzo (dalas y castillos), en el perímetro de todo hueco, cuya dimensión exceda de la cuarta parte de la dimensión del muro en la misma dirección.

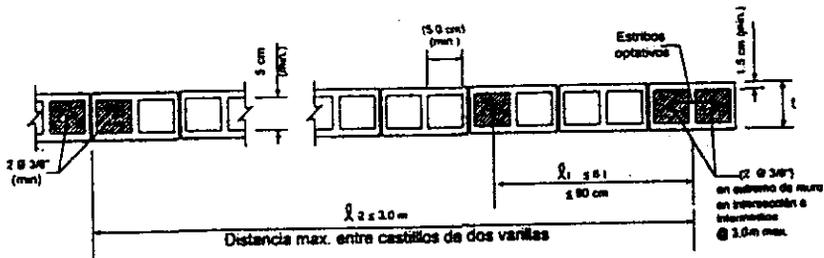


Otros requisitos se indican a continuación:

- Refuerzo mínimo en dalas y castillos $\rho = 0.20 \frac{f'_c}{f_y}$ (3 varillas mínimo)
- Área de estribos $\geq \frac{1000(s)}{(f_y)(d_c)}$ en donde $s \geq 1.5d_c$ o $s \leq 1.5d_c$
- Usar dalas intermedias si $H > 3.0 \text{ m}$
- Usar dalas de remate superior, excepto si el muro esta ligado a elementos de concreto reforzado
- Si $\frac{H}{T} > 30$ se usaran elementos rigidizantes que eviten la posibilidad de pandeo.

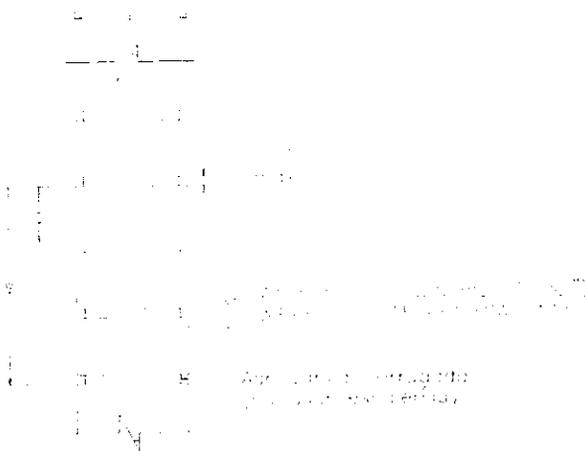
2.2.1.3 MUROS REFORZADOS INTERIORMENTE.

Son muros reforzados con malla o barras corrugadas de acero, horizontales y verticales, colocados en los huecos de las piezas, en ductos o en las juntas. Se muestra a continuación un resumen esquemático de los requisitos mínimos de refuerzo según la sección 3.4 de las NTCM.



- El área de un hueco $\geq 30 \text{ cm}^2$ y su dimensión menor $\geq 5.0 \text{ cm}$
 - Se usará castillo doble en intersección de muros
 - Huecos rellenos con mortero tipo II, I o concreto de alto revenimiento con $f_c=75 \text{ kg/cm}^2$ y agregado máximo de 1.0 cm
 - $H/t \leq 30$ a menos que se provean elementos rigidizantes que eviten la posibilidad de pandeo del muro
 - Refuerzo horizontal $\rho_h = \frac{A_{sh}}{St} \geq 0.0007$
 - Refuerzo vertical $\rho_v = \frac{A_{sv}}{tL} \geq 0.0007$
- y además $(\rho_v + \rho_h) \geq 0.002$

Nomenclatura (L) Longitud del muro en donde se coloca el refuerzo vertical (A_{sv})
(S) Separación del refuerzo horizontal (A_{sh})



Para el colado de los huecos donde se aloje el refuerzo vertical se puede emplear el mismo mortero que usa para pegar las piezas, o un concreto de alto revenimiento con agregado máximo de 1.0 cm, y resistencia a compresión no menor de 100 kg/cm^2 .

En las NTCM se menciona que el refuerzo horizontal debe ser continuo y sin traslape en la longitud del muro y anclado en sus extremos. Alrededor de toda abertura cuya dimensión exceda de 60 cm en cualquier dirección, deberá haber

refuerzo, consistente en una barra No. 4 (ϕ 1.27 cm) de grado 42, o con resistencia a tensión equivalente.

Se hace hincapié de que debe existir una supervisión continua en la obra, que asegure que el refuerzo se coloque de acuerdo con lo señalado en planos y que los huecos en que se aloja el refuerzo, sean colados completamente, solo de esta forma puede asegurarse el comportamiento adecuado.

2.2.1.4 MUROS NO REFORZADOS.

Son aquellos que no cumplen con el acero mínimo especificado para ser incluidos en algunas de las tres categorías anteriores. Por ahora no se establece alternativa de evaluación en el caso del cumplimiento parcial del acero de refuerzo especificado para muros confinados o reforzados interiormente.

De acuerdo con la sección 3.6 de las NTCM, cualquier otro tipo de refuerzo o modalidad constructiva deberá ser avalado por evidencia experimental y analítica a satisfacción del DDF para asegurar que cumpla con los requisitos de seguridad estructural establecidos en el Reglamento y sus NT.

3. COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE LA MAMPOSTERÍA.

Para el diseño de muros de mampostería las propiedades índice de resistencia se obtienen a partir del ensaye de compresión en pila y de compresión diagonal en murete (ver cap. 4); pero la reglamentación se basa principalmente en el comportamiento observado durante el ensaye en muros a escala natural de las mamposterías.

3.1 COMPORTAMIENTO GENÉRICO DE MUROS DE MAMPOSTERÍA ANTE CARGA LATERAL.

El comportamiento de la mampostería se ha estudiado principalmente al través de ensayos de especímenes a escala natural para los materiales y las sollicitaciones más usuales; esto es, cuando se pretende establecer criterios generales para predecir el comportamiento mecánico de la mampostería, es necesario estudiar sus mecanismos de falla ante las sollicitaciones básicas y determinar sus propiedades mecánicas elementales; esto puede efectuarse mediante ensayos simples en pequeños conjuntos de piezas y mortero, y correlacionando sus resultados con lo observado en ensayos de muros a escala natural.

El término comportamiento engloba conceptos de reserva de resistencia después del agrietamiento, de capacidad de absorción de energía y deterioro. Para muros con castillos exteriores se observa que al cerrar el espaciamiento de los estribos en los extremos del castillo se mejora el comportamiento y por lo tanto la capacidad de deformación y resistencia del muro, al igual que si se aumenta el refuerzo de fluencia o el área de los estribos.

Para cargas alternadas, el deterioro (pérdida de rigidez y resistencia) del muro es pequeño cuando se tienen distorsiones menores a la del agrietamiento; después de esta, el deterioro depende de la manera como se refuerce el muro.

Lo mismo sucede en muros con castillos colados interiormente; si no se coloca refuerzo transversal en estos castillos, se tiene una pérdida continua de la resistencia y un deterioro notable una vez que el muro se agrieta. En términos generales, los muros con castillos exteriores y estribos poco separados tienen un mejor comportamiento que los reforzados interiormente.

Las construcciones con muros con dadas y castillos que confinan a la mampostería han demostrado tener un comportamiento sísmico aceptable en edificios de baja y mediana altura. Sin embargo, la experiencia en la práctica y en el laboratorio han enseñado que la resistencia de un muro se deteriora rápidamente cuando se daña el elemento de concreto que lo confina, generalmente el castillo; la falla de este elemento ocurre después del

agrietamiento diagonal del muro; los esfuerzos cortantes en los extremos del castillo provocan que aparezcan grietas inclinadas en una distancia de 30 a 40 cm a partir del vértice de las esquinas interiores ver fig. 3.1. Esto hace suponer que es posible mejorar el comportamiento en general del muro mediante un diseño adecuado de la unión dala castillo, proporcionando continuidad al refuerzo y aumentando su resistencia al cortante mediante una cantidad adecuada de estribos.

En muros con refuerzo interior de piezas huecas, los reglamentos de construcción exigen una cantidad mínima de refuerzo horizontal, este acero generalmente se coloca en las piezas en forma de U colocadas en los extremos y en puntos medios del muro. El refuerzo horizontal entre las juntas del mortero también aumenta la resistencia y mejora el comportamiento de muros reforzados con dalas y castillos exteriores, después de que la mampostería se agrieta.

Generalmente se piensa que no resulta eficiente colocar el refuerzo horizontal en las juntas por la escasa adherencia que se desarrolla con el mortero; sin embargo, ese problema puede ser superado con el empleo de varillas corrugadas de diámetro pequeño ancladas perfectamente en sus extremos.

La mampostería con refuerzo interior se usa ampliamente en algunos países de alta sismicidad, como Estados Unidos y Nueva Zelandia. El comportamiento de construcciones de este tipo bajo sismos severos ha sido aparentemente satisfactorio. En México este tipo de construcción no es muy popular; se construye con cantidades y formas de refuerzo inferiores a las especificadas en los reglamentos de los países mencionados.

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/cm²) y puede ocurrir en el plano del muro o perpendicular a este.

Es raro que en una estructura 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.

Existen muchas situaciones en las que un muro de mampostería se puede ver sometido a tensión diagonal. Desde luego una de las situaciones más importantes es cuando una edificación de mampostería se ve sometida a un efecto

sísmico; sin embargo, existen muchas otras situaciones en las que pueden producir este tipo de sollicitaciones en la mampostería, como por ejemplo, cuando se producen hundimientos diferenciales en una edificación de mampostería, o bien aun bajo la acción de cargas gravitacionales cuando existe una distribución poco uniforme de cargas verticales en un determinado muro.

Para estudiar el comportamiento de la mampostería en tensión diagonal se utiliza un ensaye en compresión diagonal.

La falla de un muro por efecto de fuerzas cortantes ocurre generalmente a través de grietas inclinadas debidas a tensiones diagonales. Estas grietas se forman generalmente a lo largo de las juntas, propiciadas por la debilidad de la unión pieza_mortero; sin embargo, para piezas con buena resistencia de la pieza y del mortero, las grietas atraviesan indistintamente piezas y mortero.

Para describir la falla de la mampostería en tensión diagonal, pueden identificarse 3 fallas principalmente.

- a) El primer modo de falla es cuando el agrietamiento diagonal atraviesa las piezas. Este tipo de falla se da normalmente cuando la resistencia a tensión de las piezas es menor en relación a la resistencia de adherencia del mortero con las piezas.
- b) El segundo modo de falla corresponde aquel en que el agrietamiento se produce en las juntas, y se produce cuando la resistencia de las piezas es mayor en relación a la resistencia de adherencia del mortero con las piezas, por lo que el agrietamiento ocurre en el elemento débil que en este caso es la junta. Este tipo de falla es muy común en mamposterías hechas con piezas de muy buena resistencia y/o con morteros de muy baja calidad.
- c) Finalmente, cuando el esfuerzo resistente a la tensión de las piezas es semejante a la adherencia entre piezas y mortero, se da un modo de falla mixto en el que el agrietamiento diagonal se da tanto en las piezas como en las juntas.

El esfuerzo cortante resistente varia generalmente entre 0 y 10 kg/cm^2 , lo cual depende del tipo de pieza y mortero, las resistencias menores corresponde a piezas de muy baja resistencia en compresión y a piezas con huecos muy grandes y superficies lisas, así como el caso de morteros de muy baja calidad. Las resistencias mayores corresponden a piezas de superficie rugosas o con huecos pequeños en los que se introduce el mortero generalmente de buena calidad, proporcionando un anclaje mecánico.

Se ha visto que el esfuerzo cortante resistente, cuando la falla es por tensión diagonal, es proporcional a la raíz cuadrada de la resistencia en compresión. Cuando la falla se presenta a través de las piezas, el esfuerzo cortante resistente de la mampostería puede aproximarse como:

$$v = \sqrt{f_m}$$

Si bien el ensaye de compresión diagonal permite obtener índices como son el esfuerzo cortante resistente de la mampostería y el módulo de rigidez a cortante, este tipo de prueba no es representativa del comportamiento de un muro bajo cargas laterales, ya que en ella no existen deformaciones ni esfuerzos por flexión, como las que ocurren en muros sometidos a cargas laterales por sollicitaciones sísmicas.

La prueba de un muro ante cargas laterales consiste en probar el espécimen en voladizo por lo se que introducen esfuerzos cortantes simultáneamente con esfuerzos de flexión.

En el caso de muros de mampostería no reforzada y no confinada, su comportamiento ante cargas laterales es muy semejante al que se tiene en el ensaye a compresión diagonal. Sin embargo, debido a la presencia de flexiones que disminuyen los esfuerzos verticales en un extremo del muro y los incrementa en el otro, la fuerza cortante que produce el agrietamiento es menor cuando el ensaye se realiza en voladizo que cuando se efectúa en tensión diagonal. Se ha observado que el esfuerzo cortante que produce el agrietamiento diagonal en un muro sujeto a cargas laterales y sin esfuerzos de compresión significativos puede estimarse como:

$$V_a = 0.8V_{aCD}$$

donde:

- V_a :es el esfuerzo cortante que produce el primer agrietamiento en muro sujeto a cargas laterales
- V_{aCD} :es el esfuerzo cortante que produce el agrietamiento en un ensaye de compresión diagonal (ver capítulo 4)

De los resultados de ensayos en voladizo realizados en su mayoría en el Instituto de Ingeniería de la UNAM ref. 1 y 8, se ha visto que la grieta diagonal se forma inicialmente en el centro del muro y se prolonga rápidamente hacia los extremos. Su inclinación es usualmente la de una diagonal ver fig. 3.2.

En cuanto a los tipos de falla, se presenta la falla por las piezas en muros de piezas débiles y de superficies rugosas que tienen buena adherencia con el mortero; también es típica en muros en los que existen esfuerzos de compresión altos en la dirección normal a las juntas. La falla en las juntas se presenta en muros formados por piezas de alta resistencia de escasa adherencia con el mortero por sus superficies lisas o por tener huecos grandes, y en muros donde no existen refuerzos verticales.

En el caso de mampostería reforzada confinada por medio de dalas y castillos, su comportamiento hasta el primer agrietamiento diagonal es prácticamente el mismo al del los muros de mampostería no reforzada y confinada, lo que implica que la presencia y características de las dalas y castillos no tiene una influencia significativa en el comportamiento de la mampostería antes de que se produzca el primer agrietamiento diagonal.

Después del agrietamiento diagonal existe una distribución de esfuerzos, y el puntal de compresión de la mampostería incrementa significativamente las demandas de flexión pero principalmente de cortante en los extremos de los castillos. Este incremento en fuerza cortante puede producir la falla del castillo en la esquina, dando lugar a una reducción drástica de la capacidad resistente del muro. Si la sección y armado del castillo en su parte inferior y superior es capaz de resistir esta fuerza cortante, el muro confinado puede soportar cargas laterales adicionales que provocan generalmente la formación de nuevas grietas con inclinaciones menores que la diagonal. Esto da lugar a un modo de falla en el cual el sistema puede idealizarse como dos bloques rígidos de muro que actúan sobre dos tramos cortos de los castillos. En este sistema idealizado, la fuerza lateral es resistida en parte por fricción y anclaje mecánico a lo largo de la grieta y en parte por la resistencia a cortante de los castillos en los extremos de la grieta. La falla puede ocurrir nuevamente por cortante en los castillos, o si estos tienen resistencia suficiente en cortante existe reserva de carga importante hasta que los dos tramos cortos de los castillos llegan a articularse, y el conjunto es capaz de soportar deformaciones muy grandes, sin disminuir la resistencia.

Para el ingeniero estructurista es importante estar consciente de la función principal de los castillos no es incrementar la capacidad del muro ante cargas laterales, sino la de aumentar su capacidad de deformación y la de postergar y disminuir la degradación de resistencia.

En forma análoga al caso de la mampostería confinada, hasta la carga de agrietamiento diagonal, el comportamiento no depende en forma importante de las características del marco confinante; sin embargo después del agrietamiento diagonal, la posible reserva de carga y en parte también la ductilidad, si dependen del marco, especialmente de la resistencia de cortante de las esquinas ver fig. 3.3, ya que si esta baja, la grieta diagonal se prolonga rápidamente en el marco y la carga no aumenta apreciablemente, mientras que si la esquina del marco es resistente; se tiene un incremento de carga muy apreciable hasta que ocurre la falla de aplastamiento local en la mampostería.

3.2 COMPORTAMIENTO ANTES CARGAS LATERALES REVERSIBLES.

Al igual fue bajo cargas laterales monotónicas, antes del agrietamiento el comportamiento de la mampostería es esencialmente elástico y no se observa ninguna degradación considerable. Sin embargo después del primer agrietamiento la mampostería no reforzada se caracteriza por tener una fuerte degradación de rigidez y resistencia, cuando las cargas son reversibles como las inducidas por un sismo.

La rigidez lateral de la mampostería disminuye en la medida en que se incrementa el número de ciclos y el nivel de deformación lateral. Además de la pérdida de rigidez lateral, el agrietamiento de la mampostería produce un estrechamiento importante en los ciclos histeréticos. Básicamente lo que ocurre es que mientras se aumenta el desplazamiento lateral en una dirección se van abriendo las grietas y cuando se descarga, o bien cuando se empieza a imponer un desplazamiento en la otra dirección, durante el proceso de cerrado de las grietas el muro tiene una baja de rigidez (no hay fricción por que la grieta esta abierta), una vez cerradas las grietas, el muro incrementa su rigidez lateral.

Aquí también se ha observado que mientras más sea el esfuerzo transversal en los castillos, menor será el deterioro del muro y mayor será la capacidad de deformación. El refuerzo horizontal mejora notablemente el comportamiento ante cargas laterales alternadas.

4. TRABAJO EXPERIMENTAL.

Como es primordial relacionar los valores índice de resistencia f_m^* y v^* , con el comportamiento de muros a escala natural, cualitativamente se presentará lo determinado con los ensayos en pilas y muretes y posteriormente se describirá los ensayos efectuados.

4.1 PILAS Y MURETES CON TABIQUE MULTIPERFORADO.

4.1.1 MATERIALES.

Las propiedades índice de la mampostería fueron determinadas mediante el ensayo de pilas y muretes; en promedio se construyeron nueve pilas y muretes, empleando las mismas piezas y la misma mezcla del mortero utilizada para los muros.

Para conocer los índices de resistencia del concreto de castillos y dalas se ensayaron cilindros. Para determinar la calidad del mortero 1:0.25:3 (cemento:cal:arena; en volumen); se probaron cubos de 5 cm de arista.

4.1.1.1 CARACTERÍSTICAS DE LAS PIEZAS.

Los muros se construyeron con dos tipos de piezas:

- a) Tabique TABIMAX (Tabique de barro industrializado) y
- b) Tabique MULTEX (Tabique de barro industrializado).

Tabla 4.1. Propiedades de los tabiques.

Pieza	Medidas Nominales en cm	Peso Promedio Kg./pza	Pzas/m ² Con juntas de 1 cm	Peso/m ² (sin mortero para juntas)	Promedio Absorción % en peso	Resistencia a la compresión f_p kg/cm ²
TABIMAX	12X10X23	2.5	32.0	80.0	16	122
MULTEX	6X12X24	1.7	57.1	97.07	16	160
	12X12X24	3.4	30.7	104.38		

4.1.1.2 CARACTERÍSTICAS DE LOS MORTEROS.

Los morteros son mezclas plásticas aglomeradas que resultan de combinar arena y agua con un material cementante que puede ser cemento, cal, yeso o una mezcla de estos materiales.

Las principales propiedades de los morteros son:

- su resistencia a la compresión y tensión
- adherencia con la pieza
- módulo de elasticidad
- trabajabilidad
- rapidez de fraguado, e impermeabilidad
- otra característica importante es su retención de agua, es decir, su capacidad para evitar que la pieza absorba el agua necesaria para el fraguado del mortero.

Los morteros que contienen mas de un material cementante se conocen como mixtos. En la práctica prevalecen los morteros elaborados con cemento y cal ya que reúnen ventajas de los dos materiales, dando lugar a mezclas de buena resistencia y trabajabilidad. También se usan ampliamente los cementantes premezclados, como los llamados cementos de albañilería que contienen cemento, cal y aditivos plastificadores.

Tabla 4.2. *Proporcionamientos recomendados para morteros en elementos estructurales.*

Tipo de mortero	Partes De Cemento	Partes de cemento de albañilería	Partes de cal	Partes de arena	Valor típico de la resistencia nominal, kg/cm ²
I	1	-	0 a ¼	No menos de 2.25 ni mas de 3 veces la suma de cementantes en volumen	125
	1	0 a ½	-		
II	1	-	¼ a ½		75
	1	½ a 1	-		
III	1	-	½ a 1¼		40

* El volumen de arena se medirá en estado suelto.

Con excepción de morteros extremadamente débiles, las propiedades mecánicas del mortero que más influye en el comportamiento estructural de un elemento de mampostería, son su deformabilidad y adherencia con las piezas; de la primera propiedad depende en gran medida las deformaciones totales del elemento de mampostería y en parte su resistencia a carga vertical; la adherencia entre el mortero y las piezas define en muchos tipos de mampostería (sobre todo en aquellos en que las piezas son muy resistentes) la resistencia por cortante del elemento.

Es importante también que el mortero tenga una manejabilidad adecuada que pueda ser colocado en capas uniformes sobre las que asienten bien las piezas, evitándose concentraciones de esfuerzos y excentricidades accidentales.

La resistencia a compresión del mortero no tiene, dentro de un intervalo bastante amplio, una influencia preponderante en el comportamiento estructural de la mampostería, sin embargo, el control de calidad del mortero se basa en la determinación de esta propiedad a través del ensaye de cubos de 5 cm de lado. La razón de esta selección estriba en la facilidad de la prueba y en el hecho de que muchas otras propiedades (como por ejemplo su adherencia, su módulo de elasticidad y resistencia a la tensión) pueden relacionarse en forma indirecta con la resistencia a compresión.

En la siguientes tablas se muestran los resultados a compresión de cubos de 5 cm por lado del mortero tipo utilizado para construir los especímenes de prueba.

Tabla 4.3. Mortero para mampostería TABIMAX.

No.	Mortero 1:0.25:3		
	Área [cm ²]	Carga P [kg.]	f [kg/cm ²]
1	25	5720	228.8
2	25	4790	191.6
3	25	5020	200.8
4	25	4500	180.0
5	25	5100	204.0
6	25	4600	184.0
7	25	4200	168.0
8	25	4800	192.0
9	25	5300	212.0
		f_m [kg/cm ²]	195.69

Tabla 4.4. Mortero para mampostería MULTEX.

Mortero 1:0.25:3			
No.	Área [cm ²]	Carga P [kg.]	f [kg/cm ²]
1	25	5300	212.0
2	25	6240	249.6
3	25	6830	273.2
4	25	7020	280.8
5	25	7520	300.8
6	25	7570	302.8
7	25	6470	258.8
8	25	6000	240.0
9	25	5900	236.0
f _m [kg/cm ²]			261.56

4.1.1.3 CARACTERÍSTICAS DE LOS CONCRETOS.

Antes de hacer ensayos con los muros, se llevaron a cabo pruebas de resistencia del concreto con los que se construyeron las dalas y castillos. Para probar la resistencia del concreto se ensayaron cubos de 5 cm de arista y cilindros de 15 y 10 cm de diámetro, estos son sometidos a carga axial en una máquina la cual marca la última carga que soportan antes de fallar, esto con el fin de obtener el esfuerzo de ruptura. A los cilindros se les pone un cabezal de azufre con puzolana en los extremos para tener una superficie mas lisa a la hora de aplicar la carga.

Tabla 4.5. Concretos para los muros construidos con TABIMAX.

	No.	Fecha Colado	φ [cm]	Área [cm ²]	Carga P [kg.]	f [kg/cm ²]
Cime	1	22-Dic-98	15	176.71	36600	207.11
	2	22-Dic-98	15	176.71	39900	225.79
Losas	3	31-Dic-98	15	176.71	54000	305.58
	4	31-Dic-98	15	176.71	50000	282.94
					f _c [kg/cm ²]	255.36

Tabla 4.6. Concretos para los muros construidos con MULTEX.

	No	Fecha Colado	ϕ [cm]	Área [cm ²]	Carga P [kg]	f [kg/cm ²]
Ciment	1	27/08/98	15	176.71	49030	277.45
	2	27/08/99	15	176.71	50380	285.09
Losas	3	27/08/100	15	176.71	56980	322.44
	4	27/08/101	15	176.71	59000	333.87
					f_c [kg/cm ²]	304.71

4.1.1.4 CARACTERÍSTICAS DE LOS ACEROS.

Tabla 4.7. Características de barras de refuerzo de alta resistencia.

Diámetro		Área [cm ²]	Peso [kg/m]	f_y [kg/cm ²]	Nota	NOM
Mm	pulg					
4.0	$\frac{5}{32}$	0.12	0.1	6000	Corrugada	B-72
4.8	$\frac{3}{16}$	0.18	0.14	6000		
6.4	$\frac{1}{4}$	0.32	0.25	6000		
7.9	$\frac{5}{16}$	0.49	0.39	8000		

B-72 Alambre corrugado de acero, laminado en frío para refuerzo de concreto

4.1.2 ENSAYES ÍNDICE DE RESISTENCIA.

La mampostería es el conjunto de piezas pegadas con mortero que forman un muro, pila o murete ver figs. 4.1 y 4.3. Para poder determinar los valores nominales de diseño se hacen pruebas de la mampostería en carga axial y diagonal.

Recomendaciones para efectuar el ensayo:

- 1) Los especímenes se ensayan a los 21 días de fabricados.
- 2) Al murete se aplica una carga diagonal durante el ensayo, cuidando que las placas de transmisión de carga apoyen entre 5 cm y 7 cm sobre el murete, pero nunca sobrepasó la primera hilada de mortero.
- 3) Durante el acomodamiento de los especímenes, se aplicó una precarga que no sobrepasó los 300 kg; cuidándose que se aplicara colinealmente, haciendo la revisión previa de la verticalidad del murete o pila en su plano.
- 4) Se debe de usar un dispositivo de carga compatible con la resistencia esperada de los muretes y pilas, en este caso se sugirió un dispositivo en el que se pudo medir confiablemente cargas en el rango de 0 a 10 ton, con una aproximación mínima de 10 kg.
- 5) La duración del ensayo de pilas y muretes debe estar entre de 3 y 5 min.

4.1.3 MAMPOSTERÍA EN CARGA AXIAL.

El ensaye que se utiliza para obtener el índice de la resistencia a compresión de la mampostería y para estudiar la forma de relación esfuerzo_deformación y el efecto de las diferentes variables, es el de una pila formada por varias piezas sobrepuestas hasta obtener una relación altura espesor de la pila de aproximadamente de cuatro. Las razones de esta selección radican en la relativa facilidad de construcción y ensaye del espécimen, en que se producen razonablemente los modos de falla observados en muros a escala natural y en que, para una pila de esas proporciones, las restricciones a las deformaciones transversales introducidas por las cabezas de la máquina de ensaye no influyen de manera importante en el comportamiento.

El comportamiento y los modo de falla de la mampostería ante cargas axiales depende en forma importante de la interacción de piezas y mortero; esta puede interpretarse de la siguiente manera: las piezas y el mortero tienen características esfuerzo_deformación diferentes; por tanto, al ser sometidos a un mismo esfuerzo se produce una interacción entre ambos que consiste en que el material menos deformable, las piezas en general, restringe las deformaciones transversales del material mas deformable, introduciendo en él esfuerzos de compresión de dirección transversal. Por el contrario en el material menos deformable se introducen esfuerzos transversales de tensión que disminuyan su resistencia respecto a la que se obtiene en el ensaye de compresión del material aislado.

En el ensaye a compresión de pilas de mampostería el modo de falla más común es a través de grietas verticales en las piezas ver fig. 4.1, producidas por las deformaciones transversales incrementadas por el efecto de las deformaciones del mortero en las juntas. Cuando este agrietamiento vertical se vuelve excesivo, se produce la inestabilidad del elemento y su falla. Para piezas de baja resistencia, la falla se presenta por aplastamiento en compresión de las piezas mismas. El aplastamiento del mortero no ocasiona la falla cuando los esfuerzos son puramente axiales, ya que este, cuando se aplasta es retenido por fricción por las piezas, y el conjunto puede soportar cargas mayores; sin embargo, en elementos esbeltos el aplastamiento del mortero puede provocar problemas de inestabilidad.

La relación esfuerzo_deformación registrada en ensayos de pilas huecas con materiales de buena calidad a compresión es prácticamente lineal hasta valores cercanos a la falla, que se presenta en general en forma brusca. Únicamente para piezas de baja resistencia, la curva tiende a ser parabólica y la falla se produce en forma paulatina.

El mortero tiene influencia significativa, en el comportamiento por lo que, para mamposterías que cumplen función estructural se recomienda usar los tipo I.

Es interesante hacer notar que la dispersión de la resistencia de pilas es, por lo general, notablemente menor que la dispersión de la resistencia de las piezas con que se construyen las pilas.

Para obtener los módulos de elasticidad de la mampostería se instrumentaron las pilas con deformímetros sostenidos con bandas metálicas que rodeaban las piezas extremas, para obtener la deformación se obtuvo con el promedio de las lecturas entre la altura media al centro de las bandas metálicas; el esfuerzo se obtuvo dividiendo la carga entre el área. Las lecturas fueron tomadas cada 1000 kg.

Para obtener el módulo de elasticidad, a partir de los datos experimentales teniendo la curva esfuerzo-deformación, se traza una recta entre el 15 al 50%, de la resistencia obteniendo la tangente de la curva la cual será el módulo de elasticidad de la mampostería. En la tabla 4.8 se puede apreciar un resumen de los principales parámetros de diseño obtenidos experimentalmente.

Tabla 4.8. Propiedades mecánicas de la mampostería.

Parámetro de Diseño	TABIMAX [kg/cm ²]	MULTEX [kg/cm ²]
Resistencia en compresión f_m^*	62.81	86.52
Resistencia en compresión diagonal v_m	4.11	5.47
Módulo de Elasticidad experimental E_m	34,487	37,817
Módulo de Elasticidad NTCM $E_m = 350f_m^*$	21,964	30,282
Módulo de Elasticidad NTCM $E_m = 600f_m^*$	37,686	51,912
Módulo de Cortante G_m	10,346	11,345

Los módulos de elasticidad secante obtenidos de los ensayos son más sensibles a la calidad del mortero, especialmente cuando se tiene mayor número de juntas por unidad de longitud. Los resultados mostrados en detalle en Meli y Reyes, 1971 ref. 8, permiten proponer las siguientes relaciones aproximadas:

Para carga sostenida:

$$E = 350f_m^* \quad \text{para piezas de barro}$$

$$E = 350f_m^* \quad \text{para piezas de concreto}$$

Para carga de corta duración:

$$E = 600f_m^* \quad \text{para piezas de barro}$$

$$E = 800f_m^* \quad \text{para piezas de concreto}$$

en las que f_m es la resistencia a compresión obtenida en pilas.

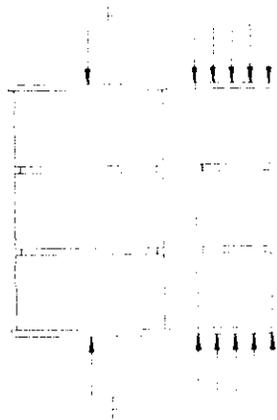
Los ensayos realizados y los valores del módulo de elasticidad presentados en las NTCM ref. 7 se refieren al efecto de compresión axial en dirección normal a las juntas. Hay que considerar que la diferente densidad de juntas en distintas direcciones ocasiona una ortotropía en el material.

Si utilizamos las fórmulas anteriores podemos observar como dan resultados menores a los obtenidos en forma experimental para el caso de cargas de larga duración.

Tanto para el TABIMAX como el MULTEX los especímenes se construyeron con tres hiladas, un centímetro de junta y un tabique en su base, la disposición anterior condujo a una geometría con relación de esbeltez (altura_espesor) aproximadamente igual a cuatro ver fig. 4.2. La mitad de los especímenes se instrumentaron para poder determinar su curva de esfuerzo_deformación y de ahí su módulo de elasticidad.

Antes de aplicar carga axial constante se les daba una pequeña precarga, para luego llevarlos hasta la falla. Los que no tenían deformímetros simplemente se hacía la aplicación de la carga hasta la falla, para que con los datos estadísticos se determinaran los valores índice de la resistencia a compresión.

Durante la falla se observaron desprendimientos de las paredes en las piezas, como si se hubiera cortado una rebanada. Se podía apreciar casos donde algunas piezas presentaban grietas longitudinales en su lado corto; en la mayoría de las pruebas hubo desprendimiento de las paredes laterales y partición de las piezas por la mitad con grietas transversales. Solamente en un caso, una de las piezas se desmorono completamente y en otra se rompió la pila en diagonal.



4.1.3.1. RESULTADOS DE LOS ENSAYES DE PILAS

Resultados representativos a carga axial de compresión se muestran en las tablas 4.10 y 4.11, el parámetro \bar{f}_m es el utilizado para el diseño de muros a carga axial y flexión. Este valor rara vez es crítico en un diseño, pero es conveniente determinarlo para la revisión por carga axial y flexión, el cual se obtiene con la fórmula:

$$f_m' = \frac{\bar{f}_m}{1 + 2.5C_m}$$

donde:

- \bar{f}_m : es el promedio de la resistencia de las pilas ensayadas, corregidas por esbeltez
 C_m : coeficiente de variación de la resistencia de las pilas ensayadas (pero no menor a 0.15).

Tabla 4.9. Factores correctivos para la resistencia de pilas con diferentes relaciones de esbeltez.

Relación de esbeltez de la pila	2	3	4	5
Factor correctivo	0.75	0.90	1.00	1.05

En las NTCM se especifica que se debe tomar como valor mínimo del coeficiente de variación un 15%. Para nuestro caso se tomó el factor correctivo de 1 el cual no suele afectar por la disposición de su geometría.

Tabla 4.10. RESISTENCIA EN PILA, MAMPOSTERÍA CON TABIMAX.

No.	Mortero 1.0.25.3				
	Ancho [cm]	Largo [cm]	Área [cm ²]	Carga P [kg]	f [kg/cm ²]
1	10	23,0	230	21280	92,52
2	10	23,0	230	24100	104,78
3	10	23,0	230	26400	114,78
4	10	23,0	230	22500	97,83
5	10	23,0	230	22630	98,39
6	10	23,0	230	26000	113,04
7	10	23,0	230	23180	100,78
8	10	23,0	230	24660	107,22
9	10	23,0	230	22980	99,91
10	10	23,0	230	27600	120,00
11	10	23,0	230	26920	117,04
12	10	23,0	230	24000	104,35
				f_m [kg/cm ²]	105,89
				σ^2	74,63
				σ	8,64
				C.V. [%]	8,16
				f_m [kg/cm ²]	77,01*

Tabla 4.11. RESISTENCIA EN PILA, MAMPOSTERÍA CON MULTEX.

No.	Mortero 1.0.25.3				
	Ancho [cm]	Largo [cm]	Área [cm ²]	Carga P [kg]	f [kg/cm ²]
1	11.7	23.9	279.6	32250	115.34
2	11.9	23.9	284.4	36320	127.71
3	11.8	23.8	280.8	30460	108.48
4	11.8	23.8	280.8	36160	128.77
5	11.8	23.8	280.8	32640	116.24
6	11.8	23.8	280.8	35350	125.89
7	11.8	23.8	280.8	39180	139.53
8	11.8	23.8	280.8	27880	99.29
9	11.7	23.7	277.3	33720	121.60
10	11.7	24.3	284.4	30370	106.79
				f_m [kg/cm ²]	118.96
				σ^2	146.29
				σ	12.09
				C.V. [%]	10.17
				f_m [kg/cm ²]	86.52*

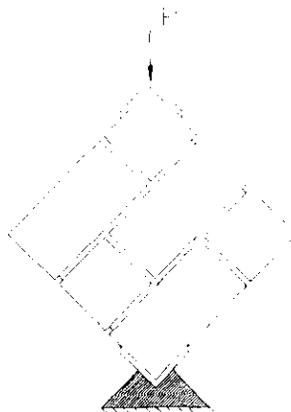
* Se utilizó el coeficiente de variación mínimo del 15% pedido por las NTCM

4.1.4 CARACTERÍSTICAS DE LA MAMPOSTERÍA EN COMPRESIÓN DIAGONAL.

Para determinar la capacidad a cortante de la mampostería se construyeron elementos de forma aproximadamente cuadrada, contruidos con tres hiladas, un centímetro de junta con una y media piezas en su base, a los cuales se les aplicó carga sobre su diagonal; se utilizó mortero de azufre en las esquinas, sobre el se colocaron unos ángulos de acero de 8 cm de ala en los extremos para poder inclinarlos a 45° para aplicar la carga diagonalmente.

En este ensaye, en el murete se produce un estado de esfuerzos de compresión a lo largo de la diagonal en la cual se aplica la carga, pero al mismo tiempo se produce un estado de esfuerzos de tensión a lo largo de la diagonal perpendicularmente a la que se produce la compresión.

La falla de la pieza es en diagonal con desprendimiento de las paredes en los extremos superior e inferior donde se encontraban los ángulos; en algunos casos se pudo observar la falta de adherencia entre las piezas deslizadas entre sí, denotando baja calidad del mortero; en otros muretes el anclaje mecánico trabajo perfectamente impidiendo la separación de las piezas ver fig. 4.3 y 4.4.



4.1.4.1 RESULTADOS DE LOS ENSAYES DE MURETES.

Los resultados a compresión diagonal se muestran en las tablas 4.12 y 4.13, el parámetro v es utilizado para el diseño a cortante de los muros y se

calcula a partir del esfuerzo promedio y del coeficiente de variación de la muestra. Dicho valor se obtiene con la fórmula:

$$v^* = \frac{v}{1 + 2.5(C_v)}$$

donde

- v : es el promedio de los esfuerzos resistentes de los muretes ensayados
 C_v : es el coeficiente de variación de los esfuerzos resistentes de los muretes ensayados.

En las NTCM se especifica que se debe tomar como valor mínimo del coeficiente de variación un 20%.

Tabla 4.12. RESISTENCIA EN MURETE, MAMPOSTERÍA CON TABIMAX.

No.	Mortero 1:0.25:3				
	Ancho [cm]	Largo [cm]	Diagonal [cm]	Carga P [kg/cm ²]	v [kg/cm ²]
1	10	35,6	52,5	4810	9,16
2	10	36,3	52,2	4430	8,49
3	10	36,5	52,5	4410	8,40
4	10	36,2	53,0	5100	9,62
5	10	36,0	52,3	4720	9,02
6	10	35,6	51,6	4820	9,34
7	10	35,4	52,3	6300	12,05
8	10	36,0	52,0	6160	11,85
9	10	36,2	52,0	4520	8,69
10	10	35,6	51,0	5020	9,84
11	10	36,1	52,1	4500	8,64
12	10	35,7	52,0	4010	7,71
				v_m [kg/cm ²]	9,40
				σ^2	1,75
				σ	1,32
				C.V. [%]	14,05
				v_m^* [kg/cm ²]	6,27*

Tabla 4.13. RESISTENCIA EN MURETE, MAMPOSTERÍA CON MULTEX.

No.	Mortero 1:0.25:3				
	Ancho [cm]	Largo [cm]	Diagonal [cm]	Carga P [kg/cm ²]	v [kg/cm ²]
1	11,8	37	51,5	4820	7,93
2	11,8	36,6	52	5380	8,77
3	11,7	36,6	52,3	5170	8,45
4	11,7	36,9	52,2	4500	7,37
5	11,7	36,9	52,2	4530	7,42
6	11,8	36,9	52,2	5760	9,35
7	11,8	36,9	52,2	6120	9,94
8	11,8	36,3	52,2	5060	8,21
9	11,9	36,7	52,6	4780	7,64
10	11,9	36,7	52,8	4380	6,97
				v_m [kg/cm ²]	8,20
				$\sigma^2 =$	0,88
				$\sigma =$	0,94
				C.V [%]	11,44
				v_m [kg/cm ²]	5,47*

* Se utilizó el coeficiente de variación mínimo del 20% pedido por las NTCM

Los fabricantes de estas piezas recomiendan utilizar un esfuerzo de 5.5 kg/cm² para el MULTEX y 5.0 kg/cm² para el TABIMAX.

4.2 ENSAYES EN MUROS A ESCALA NATURAL.

4.2.1 DESCRIPCIÓN DE LOS MUROS Y PROCEDIMIENTO DE ENSAYE.

Las pruebas fueron construidas sobre los marcos de acero del laboratorio de materiales de la Facultad de Ingeniería. Se probaron nueve muros a escala natural, cada muro fue instrumentado antes de ser probado para poder analizar su comportamiento ver fig. 4.5.

Para la construcción de los especímenes de prueba se consideró lo siguiente:

- 1) Las piezas estaban limpias y sin rajaduras.
- 2) Los tabiques se saturaron no menos 2 horas antes de su colocación.
- 3) Se hizo una sola bachada de mortero para la fabricación de los muros. No se agregó agua posteriormente.
- 4) La cantidad de agua para lograr trabajabilidad de la mezcla fue responsabilidad del albañil; el espesor de las juntas de mortero, tanto verticales como horizontales, no fue mayor a 1.2 cm.

- 5) Se obtuvieron 9 cubos para el ensaye del mortero.
- 6) El mortero se colocó sobre toda la superficie de unión entre los tabiques, tanto horizontal como verticalmente.
- 7) Mediante plantilla o trazo con cinta se presentó la 1ª hilada de tabiques dejando libre los huecos donde se alojaría el refuerzo
- 8) El acero por flexión se colocó en los primeros 2 huecos extremos de los muros. En el caso de castillos exteriores, el refuerzo quedó ahogado en el castillo; cuando el refuerzo era interior, el hueco en que se colocó refuerzo por flexión se llenó con concreto que tuvo una resistencia mínima de 150 kg/cm^2 o inmediatamente, hilada por hilada, con el mismo mortero con el que se estaban uniendo las piezas, "picando" vigorosamente el hueco para evitar que quedaran oquedades.



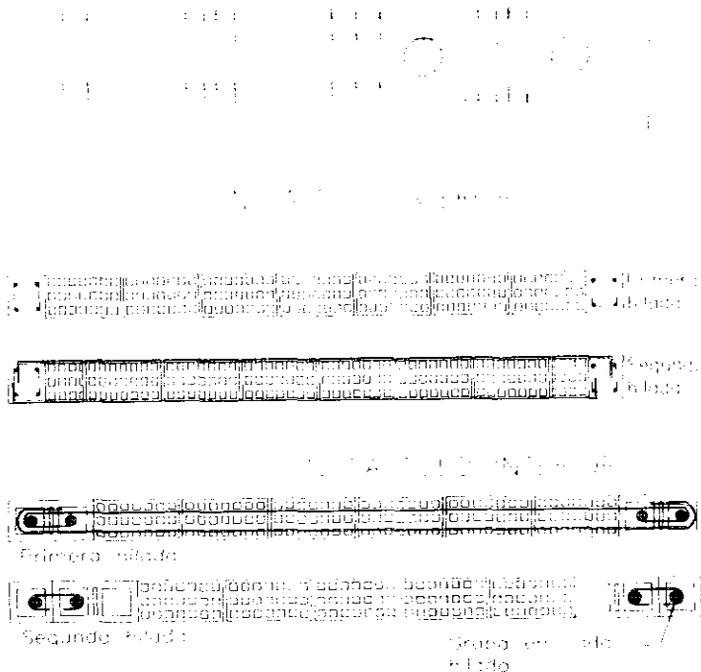
- 9) Para el castillo interior se unió en cada hilada el refuerzo por flexión mediante grapas a 180° (ver dibujo). Estas grapas fueron de varilla GRADO 60, $1/4"$ de diámetro ($f_y = 6000 \text{ kg/cm}^2$).



- 10) Las piezas se desplantaron sobre una capa de mortero de aproximadamente 1.5 cm. Las hiladas se cuatrapearon cuidando que el mortero se colocara tanto en las juntas horizontales como verticales; el espesor de las juntas fue de aproximadamente 1 cm si no se colocó refuerzo en las juntas, o máximo de 1.2 cm cuando se puso refuerzo horizontal.



- 11) El refuerzo horizontal no se traslapó, sino que se ancló en los castillos extremos, con su gancho rodeando al refuerzo vertical, el hueco se relleno totalmente con mortero.



Descripción general de los muros ensayados.

Todos los muros fueron construidos sobre marcos de acero el cual facilitó su ensaye ver fig. 3.2.

En términos generales la construcción de los muros se inició con la dala de cimentación haciendo el cimbrado en forma de cajón con el acero de refuerzo correspondiente, para que posteriormente se colocaran las doce hiladas de tabiques los cuales se saturaban de agua antes de ser colocados. Una vez terminado se procedió a construir los castillos y finalmente terminar con la dala superior; ambas dalas se decimbrarán a los catorce días.

Muro 1 (MULTEX).

En el extremo inferior de los muros se puso una dala de 25X12X216 donde se colocaron varillas de $\frac{1}{2}$ " con $\#2@16$ G-60. Para tomar los efectos de flexión e inducir en los muros la falla por cortante, como refuerzo principal vertical se colocó

en cada extremo una varilla corrugada de 1" la cual estaba empotrada en el marco de acero, esta dala fue común a todos los muros.

La dala superior de 10x35X216 fue armada con varillas de $\frac{1}{2}$ " con e#2@16 G-60, esta dala se unió al castillo con dos varillas en extremos, las cuales estaban empotradas 40 cm con un dobléz a 90°.

Los castillos extremos en este muro eran de 12X12 y se reforzaron con 4 varillas #3 y , estribos de alambrón cada 18 cm.

Muro 2 (MULTEX).

Este muro se reforzó con castillos interiores en sus extremos; en el primer hueco se colocó una varilla de 1", y una varilla de $\frac{3}{16}$ " en el hueco siguiente.

Muro 3 (MULTEX).

Además del refuerzo indicado en el muro anterior, este muro contó con refuerzo horizontal consistente de 2 varillas de $\frac{3}{16}$ "@36 G-60 (@ 3hiladas), hasta dos hiladas antes de la cadena; en las hiladas que no se colocó refuerzo horizontal había grapas del #2 G-60 uniendo el refuerzo vertical.

Muro 4 (TABIMAX).

Los castillos en este muro eran de 10X12 y se reforzaron adicionalmente con 4 varillas #2.5 y e#2, éstos se colocaron en los extremos del castillo a cada 7 cm y en la parte central a cada 15 cm.

Muro 5 (TABIMAX).

En este muro los castillos eran de 11X11 y se reforzaron con 3 varillas #2.5 y e#2, éstos se colocaron en los extremos del castillo a cada 7 cm y en la parte central a cada 15 cm.

Muro 6 (TABIMAX).

Los castillos en este muro también eran de tamaño 10X12 y se reforzaron con 3 varillas #2.5 y e#2, éstos se colocaron en los extremos del castillo a cada 7 cm y en la parte central a cada 15 cm. Este muro fue implementado con refuerzo horizontal que constaba de 2 varillas $\frac{3}{16}$ " G-60 @ 3hiladas

Muro 7 (TABIMAX).

Este muro se construyó con refuerzo interior, alojado entre los huecos de piezas especiales, uniendo este refuerzo con grapas en cada hilada.

La dala superior de 10x12X216 fue armada con varillas de $\frac{1}{2}$ " e#2@18 G-60; dentro de las piezas huecas se colocaron varillas ancladas 50 cm al castillo con un traslape de 40 cm en la dala, este muro mejora las conexiones de unión castillo_dala y también se mejora la unión muro_dala. Para mejorar la adherencia mecánica con la dala la última hilada fue de piezas huecas para que el concreto penetrara totalmente en ellas.



Muro 8 (TABIMAX)

Este muro también se hizo igual al muro 7, pero además, se le colocó refuerzo horizontal de 2 varillas $\frac{5}{16}$ "@48 cm

Muro 9 (TABIMAX)

La forma constructiva fue similar al muro 7, pero los castillos de los extremos se formaron dentro de las piezas huecas eliminando los castillos, teniendo un castillo continuo.

Algunos muros se pintaron de blanco para poder facilitar la observación de las grietas e ir marcando en que ciclo de carga se habían presentado.

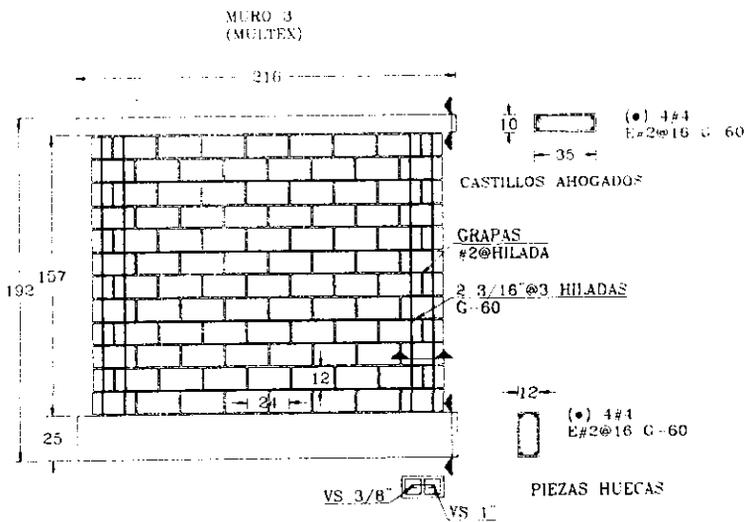
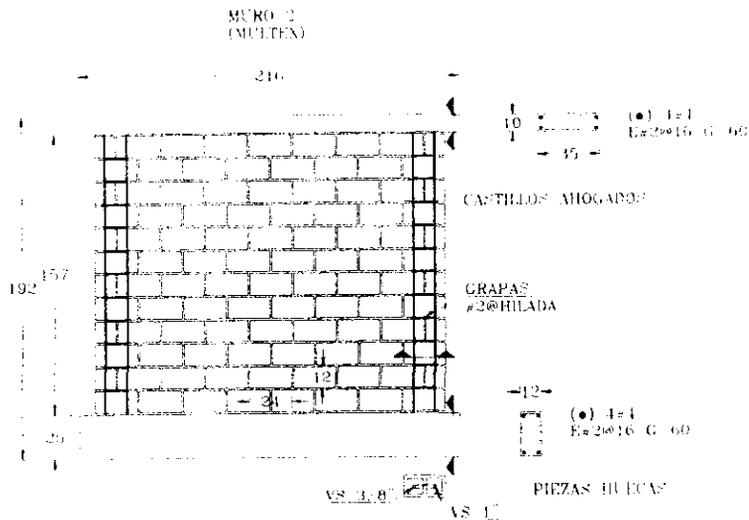
Tabla 4.14. Resumen de las características.

Id.	Castillo		Refuerzo horizontal	Refuerzo (Castillo)		Grapas @ hilada	Material
	Ext	Int.		(1)	(2)		
M1	X			X			MULTEX
M2		X					MULTEX
M3		X	X			X	MULTEX
M4	X			X			TABIMAX
M5	X				X		TABIMAX
M6	X		X		X		TABIMAX
M7		X				X	TABIMAX
M8		X	X			X	TABIMAX
M9		XX				X	TABIMAX

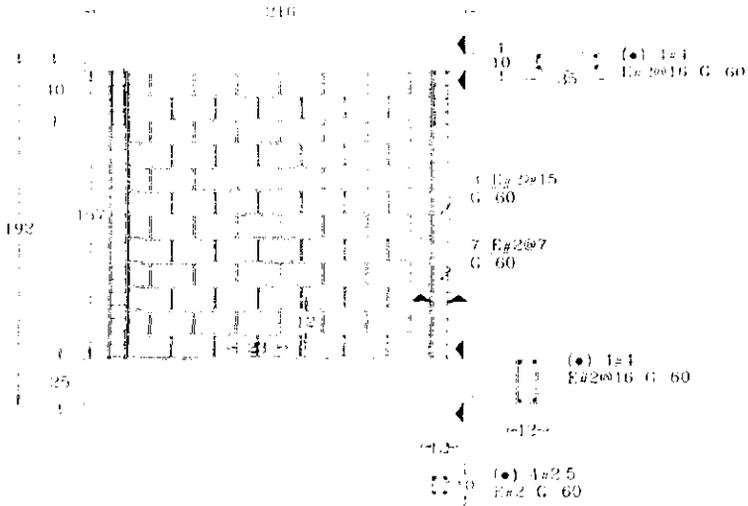
(1) Sección rectangular

(2) Sección triangular

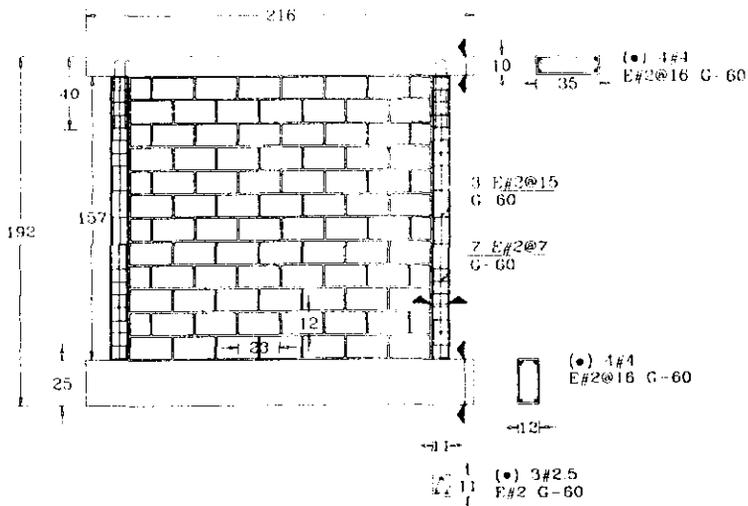
XX Castillo integral dentro de la pieza hueca.



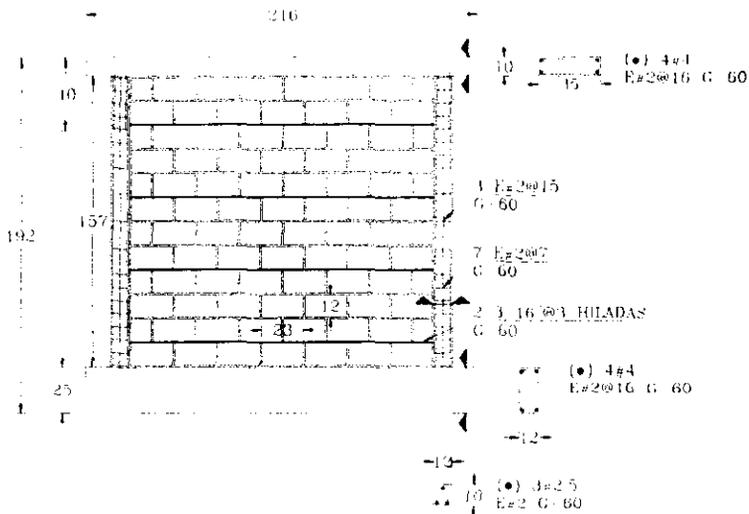
MURO 4
(TAHIMAX)



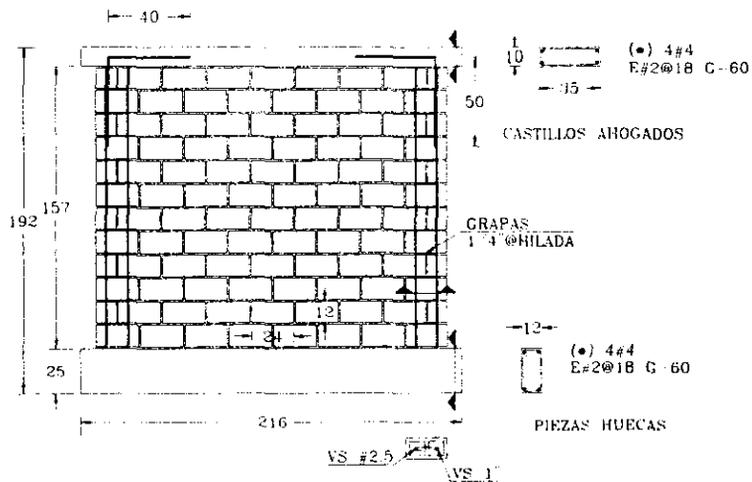
MURO 5
(TAHIMAX)



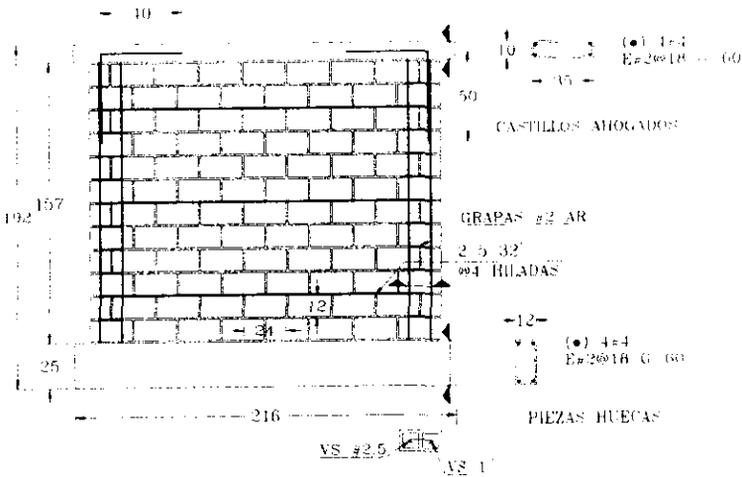
MURO 6
(TABIMAX)



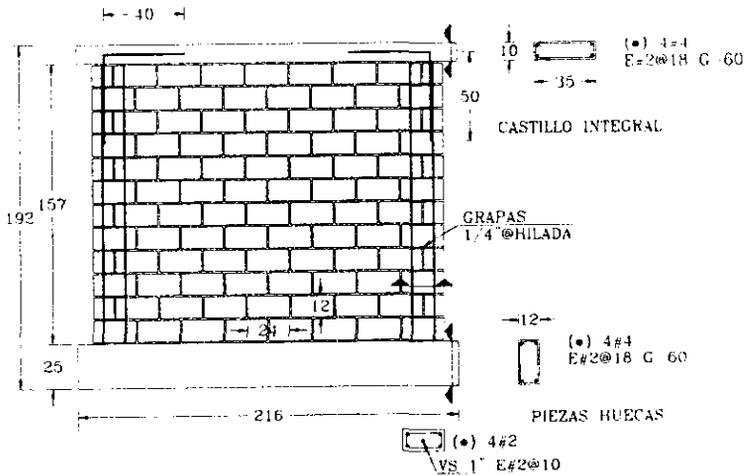
MURO 7
(TABIMAX)



MURO 8
(TABIMAX)



MURO 9
(TABIMAX)



4.2.1.1 ETAPA EXPERIMENTAL.

4.2.1.1.1 INSTRUMENTACIÓN.

Para el ensaye de los muros se empleo un sistema de carga y otro de medición de deformaciones.

Para cargar los muros se hizo uso de unas placas cuadradas de acero pegadas en los extremos de la dala superior, que es donde se aplicaban las cargas con los pistones de los gatos hidráulicos. Cada gato tiene una bomba manual con una carátula graduada, la cual marca la presión que se esta ejerciendo (en psi o kg/cm^2) al actuar el pistón sobre la superficie. Los pistones se encontraban descansando en bases de madera tipo andamio en los extremos del marco de acero a la altura requerida para aplicar la carga. Los gatos y pistones son de doble conexión, es decir permiten que el gato pueda aplicar tensiones y compresiones, aunque para este estudio solo se aplicaron fuerzas de compresión; por lo que fue necesario colocar un gato en cada extremo superior de los muros ver fig.4.6.

Después de probar cada muro se necesita hacer la calibración de los gatos, para lo cual se coloca el pistón en la máquina universal aplicando carga axial para establecer la relación presión_carga y poder obtener la ecuación lineal representativa. La calibración es con el fin de obtener una serie de datos los cuales relacionen la presión con la carga axial y poder realizar la regresión lineal entre ellos.

Para medir las deformaciones se colocó en cada cara del muro un ángulo de aluminio a 45° aproximadamente, fijo en la parte superior e inferior mediante un perno, el cual es parte de una placa de acero que se pegan en las esquinas opuestas de las diagonales del muro; la lectura se hace con un micrómetro de carátula con aproximación de una centésima de milímetro. Se toma la lectura del micrómetro frontal y posterior con el fin de obtener la distorsión del muro. Conviene señalar que las diagonales se pusieron de tal forma que quedaron cruzadas entre si.

4.2.1.1.2 PROCEDIMIENTO GENERAL DE ENSAYE.

Durante las pruebas de los muros, la carga se aplicaba en la dala superior; eran cargas laterales alternadas tratando de reproducir las inducidas por un sismo, primero en un sentido, para después descargar y empezar a cargar del lado contrario.

Se fijaba hasta que nivel de carga se quería llegar, para después tomar la lectura de ambos micrómetros. Este ciclo repetitivo se hacía una y otra vez incrementando el nivel de carga y la presión en ambos sentidos observando como se comportaban los muros.

Se efectuaron varios ciclos de alternación de carga hasta que se mantenían estable la curva de acción respuesta (esfuerzo cortante vs distorsión v_γ). Después del agrietamiento, el ensaye se controló por deformación, dándose diversos ciclos de carga para deformaciones predeterminadas, para cada nivel de deformación se daban repeticiones de carga alternada, hasta que se conservaba estable la curva histerética.

En el registro de los datos se anotan en forma de tabla el número de la carga, lectura del micrómetro frontal, posterior y la presión de la bomba, en ese orden.

4.2.1.2. CURVAS DE COMPORTAMIENTO.

4.2.1.2.1 CURVAS HISTERÉTICAS DE LOS MUROS.

En la hoja de cálculo donde se procesaron los datos se empieza con la lectura que tenía inicialmente el micrómetro, la cual se va restando a todas las demás para obtener la real, de esta manera la primer lectura indicará cero por la ser la inicial.

Al ser dividida cada una de ellas entre la longitud de la diagonal del muro se obtienen las deformaciones δ correspondientes de cada lado, es independiente en que unidades se quiera trabajar siempre y cuando sean congruentes. Cuando se realiza la resta algebraica de cada una de las deformaciones se obtienen la distorsión γ , que será graficada como las abscisas en la curva histerética.

Mediante la curva de calibración de las bombas hidráulicas se procede a obtener la carga que representaba cada presión, es importante señalar que independientemente del signo que tenga la presión, para una magnitud con diferente signo la ecuación debe dar el mismo resultado con el signo correspondiente. Finalmente se divide la carga obtenida entre el área del muro para obtener el cortante, dato que será las ordenadas de la curva de histéresis.

Tabla 4.15. Procesamiento de datos para la obtención de las curvas histeréticas.

No	M _f [mm]	Lect _f [mm]	δ _f	M _p [mm]	Lect _p [mm]	δ _p	γ	p [psi]	P [kg]	v [kg/cm ²]
1	22.24	0.00	0.000000	24.00	0.00	0.000000	0.000000	0	0.0	0.00
2	22.23	-0.01	-0.000006	24.18	0.18	0.000107	-0.00011	700	2718.4	-1.39
3	22.23	-0.01	-0.000006	24.00	0.00	0.000000	-0.00001	0	0.0	0.00
4	22.24	0.00	0.000000	23.95	-0.05	-0.000030	0.00003	-700	-2718.4	1.39
5	22.23	-0.01	-0.000006	23.97	-0.03	-0.000018	0.00001	0	0.0	0.00
6	22.22	-0.02	-0.000012	23.18	-0.82	-0.000490	0.00048	700	2718.4	-1.39
7	22.21	-0.03	-0.000018	23.33	-0.67	-0.000400	0.00038	1400	4800.2	-2.46
8	22.22	-0.02	-0.000012	24.01	0.01	0.000006	-0.00002	0	0.0	0.00
9	22.22	-0.02	-0.000012	23.94	-0.06	-0.000036	0.00002	-700	-2718.4	1.39
10	22.2	-0.04	-0.000024	23.88	-0.12	-0.000072	0.00005	-1400	-4800.2	2.46

Para determinar la carga aplicada fue necesario hacer la calibración de los gatos mediante la curva de regresión; esto se hizo para cada conjunto de gato y bomba hidráulica

Definición de parámetros.

La distorsión es la suma algebraica de la deformación de las diagonales del muro. El esfuerzo es la relación entre la carga aplicada y el área bruta de la sección horizontal del muro.

La curva histerética de un modelo es la representación gráfica de la relación entre el esfuerzo y su deformación asociada. En estas curvas es común expresar la deformación en términos de la distorsión. El fenómeno por el que los tramos de carga y descarga no se superponen, se denomina histéresis. En estos casos no se restituye todo el trabajo invertido en la deformación del muro y se produce por tanto una disipación de energía.

4.2.1.2.2 COMPORTAMIENTO GENERAL OBSERVADO.

La mampostería se comportó elásticamente durante varios ciclos de carga, hasta antes del agrietamiento, después, los castillos empiezan a trabajar junto con el refuerzo horizontal, si es que esta presente.

El comportamiento después del agrietamiento de cada muro varió dependiendo del refuerzo de los castillos, interiores o extremos, así como del refuerzo horizontal. En la mayoría de los muros las pruebas duraron aproximadamente 5 horas.

Los altos valores de esfuerzo al agrietamiento de estos muros fue debido a una buena adherencia entre las piezas con el mortero, donde adicionalmente existe un anclaje mecánico debido a la forma multiperforada del tabique. Este anclaje se forma a la hora de que el mortero es colocado para unir las piezas y se introduce en los huecos de la mampostería, formando una llave de cortante, la cual le da mayor resistencia a esfuerzos cortantes.

Las gráficas v_v y obtenidas, así como el nivel de resistencia que solicitan las NTCM son mostradas en las figuras 4.7 a 4.15.

La resistencia de la mampostería de acuerdo a las NTCM se calcula con la siguiente expresión

$$V_R = F_R(0.5v^*A_v + 0.3P)$$

donde

$$F_R = 0.7$$

v^* : es la resistencia nominal a cortante;

P: carga axial sobre el muro. En este caso $P = 0$

$$V_R = 0.35v^*A_v \text{ y para } F_R = 0.7$$

Para los muros

1 a 3	$v^* = 5.5 \text{ kg/cm}^2$	$V_R = 1.93A_v \text{ kg/cm}^2$
4 a 6	$v^* = 6.2 \text{ kg/cm}^2$	$V_R = 2.17 A_v \text{ kg/cm}^2$
7 a 9	$v^* = 3.2 \text{ kg/cm}^2$	$V_R = 1.12 A_v \text{ kg/cm}^2$

Éstos valores se incluyen en las gráficas (fig. 4.7 a 4.15); en ellas también se identifica la resistencia de las NTCM cuando se usa el valor v^* recomendado por el fabricante de las piezas

1 a 3	$v^* = 5.5 \text{ kg/cm}^2$	$V_R = 1.92 \text{ kg/cm}^2$
4 a 9	$v^* = 5.0 \text{ kg/cm}^2$	$V_R = 1.75 \text{ kg/cm}^2$

4.2.2 RESULTADOS CUALITATIVOS

Después del ensaye de los muros se confirmaron los siguientes conceptos:

- 1) El refuerzo del muro funciona una vez que este se agrieta.
- 2) La grieta es única y se desarrolla con una inclinación de 45°, aproximadamente.
- 3) La resistencia a fuerza cortante después de agrietado el muro fue proporcionada por el acero horizontal, los estribos en los castillos, la fricción desarrollada en la grieta y el concreto de los castillos.
- 4) La resistencia al agrietamiento en tensión diagonal de la mampostería no se incrementa apreciablemente por la presencia de dadas y castillos ni del refuerzo horizontal, ya que la función de estos elementos es precisamente evitar la falla frágil después de que se agrieta la mampostería.
- 5) Las cantidades de refuerzo horizontal necesarias para lograr un comportamiento adecuado no son muy altas.
- 6) 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 ésta depende del confinamiento, refuerzo exterior e interior, que este tenga y que puede hacer que el muro resista cargas similares o mayores a la de agrietamiento.

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS.

5.1 ANÁLISIS CUALITATIVO DE LOS RESULTADOS.

Para realizar el análisis de los resultados se definen las siguientes variables:

- v :esfuerzo al dividir la carga aplicada entre el área total de una sección horizontal del muro
- v^* :esfuerzo nominal resistente a cortante obtenido del ensaye en muretes
- v_{agr} :esfuerzo promedio para el que aparece la primer grieta importante en el muro
- $v_{m\acute{a}x}$:esfuerzo cortante máximo alcanzado por el muro después de agrietarse
- v_{sos} :esfuerzo máximo sostenido promedio en el muro ante varias alternaciones de carga y para grandes deformaciones
- $\gamma_{m\acute{a}x}$:promedio de la máxima distorsión alcanzada para el v_{sos} (resistencia sostenida)
- p :porcentaje de refuerzo del muro

Para el análisis de muros con refuerzo horizontal debe tomarse en cuenta la participación de este refuerzo en la resistencia, sobre todo para fines de diseño. La práctica actual consiste en suponer un incremento del 25% en la resistencia a carga lateral en aquellos muros de mampostería confinada reforzados horizontalmente que cumplen con los requisitos de la ecuación:

$$p_h \geq \left\{ \begin{array}{l} 0.05\% \\ 0.0002v \cdot \left(1 + 0.2 \frac{P}{v \cdot A_T} \right) \frac{4200}{f_y} \end{array} \right\}$$

donde:

- p_h : es la cuantía del refuerzo horizontal
- v : esfuerzo nominal de diseño a cortante
- A_T : área de la sección transversal del muro.
- f_y : esfuerzo nominal de fluencia del refuerzo horizontal

En estudios experimentales previos, se ha observado que el refuerzo horizontal de un muro de mampostería no alcanza su fluencia simultáneamente en todas sus secciones y participa en la resistencia a carga lateral con una fuerza cuya magnitud depende de la cuantía, de la distribución y tipo de refuerzo horizontal, de la relación de aspecto y del modo de falla. Además de que las

deformaciones y esfuerzos no son uniformes a lo largo de las barras de refuerzo horizontal y varían de acuerdo a su localización en la altura del panel.

Las deformaciones del refuerzo horizontal, como los esfuerzos, se relacionaron fundamentalmente con el daño en el tablero de la mampostería; las barras alcanzan distintos niveles de deformación en su longitud y altura de los especímenes.

Para fines prácticos se puede suponer que el refuerzo horizontal está sujeto a un esfuerzo uniforme en toda la altura del muro e igual al esfuerzo nominal de fluencia del mismo f_y . Lo cual nos permite calcular la resistencia del refuerzo horizontal mediante la expresión:

$$v_s = \rho_h f_y$$

donde:

- v_s : es el esfuerzo cortante lateral resistida por el refuerzo horizontal,
- ρ_h : es la cuantía del refuerzo horizontal, definida por la ecuación

$$\rho_h = \frac{A_{sh}}{st}$$
 - A_{sh} : es el área de refuerzo horizontal que se colocara en el espesor t del muro a una separación s .
- f_y : esfuerzo nominal de fluencia del refuerzo horizontal, y

Al observar las curvas esfuerzo_deformación se puede decir que el comportamiento de los muros se caracteriza por un primer tramo aproximadamente lineal hasta que se produce el primer agrietamiento diagonal. Puede verse que para un mismo tabique el tipo de refuerzo no influyen significativamente en el esfuerzo al cual se produce el primer agrietamiento diagonal.

Antes de agrietarse el muro tiene un comportamiento elástico lineal aún para cargas alternadas; después que se agrieta, su comportamiento dependerá de la cantidad y disposición del acero de 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 resistencia drásticamente. 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 elastoplástico.

A continuación se hace un análisis cualitativo más detallado de los resultados, para ello se hará el uso de la tabla 5.1 que muestra un resumen de los

resultados obtenidos. En dicha tabla v^* es la resistencia nominal a cortante obtenida del ensaye en muretes; pf_y la resistencia a cortante dada por el refuerzo horizontal, v_{sos} es el esfuerzo cortante máximo promedio que bajo alternaciones de carga pudo soportar el muro; $V_{m\acute{a}x}$ el máximo esfuerzo cortante que soportó el muro y $\gamma_{m\acute{a}x}$ la distorsión máxima promedio del muro.

Tabla 5.1. Análisis y comparación de algunos parámetros de diseño.

Muro	v^* kg/cm ²	V_{agr} kg/cm ²	$V_{m\acute{a}x}$ kg/cm ²	V_{sos} kg/cm ²	ρ	pf_y	$\gamma_{m\acute{a}x}$	V_{agr}/v^*	$V_{m\acute{a}x}/v^*$	v_{sos}/v^*
1	5.5	5.5	4.0	2.75	0.0	0.0	0.0065	1.00	0.73	0.50
2	5.5	4.8	2.5	<1.0	0.0	0.0	0.0020	0.87	0.45	0.18
3	5.5	5.3	5.0	4.00	0.00075	4.92	0.0052	0.96	0.91	0.73
4	6.2	5.0	6.0	2.75	0.0	0.0	0.0080	0.81	0.97	0.44
5	6.2	5.7	5.5	3.00	0.0	0.0	0.0061	0.92	0.89	0.48
6*	6.2	5.5	5.7	3.50	0.0009	6.0	0.0132	0.89	0.92	0.56
7	3.2	3.0	3.3	1.75	0.0	0.00	0.0036	0.94	1.03	0.55
8	3.2	3.3	3.5	2.50	0.00047	3.0	0.0057	1.03	1.09	0.78
9	3.2	3.7	3.3	1.70	0.0	0.0	0.0053	1.15	1.03	0.53

* Este muro pudo haber soportado mayor deformación.

Es de notarse la baja resistencia de la mampostería de los muros 7 a 9 con la de los muros 4 a 6, observada también durante el ensaye de muretes, ya que en ellas se obtuvieron un $v^* = 6.2 \text{ kg/cm}^2$ y la falla siempre fue por tensión diagonal; mientras que cuando fue de $v^* = 3.2 \text{ kg/cm}^2$ la falla fue por cortante (por las juntas del mortero). La causa de la diferencia en resistencia se achaca a la forma en como se construyó la mampostería, ya que la resistencia del mortero fue incluso mayor en el caso de menor resistencia a cortante, El personal a cargo de la fabricación de los muretes y muros se les "olvidó" humedecer las piezas antes de colocarlas, haciendo que absorbieran el agua del mortero y debilitando la unión.

Ver tabla 4.14 donde se muestra un resumen de las características (cuadro comparativo entre muros).

El muro 2 con solo refuerzo vertical interior exhibió un comportamiento totalmente inadecuado, si se compara con el muro 1 que tiene un castillo exterior; en ambos casos no se tiene refuerzo horizontal. Este refuerzo horizontal no es necesario en muros de piezas huecas siempre y cuando el refuerzo vertical de los extremos este confinado con grapas en cada hilada que una el acero colocado en sus huecos; ver resultados para muros 7 y 9.

Se confirma que una mampostería confinada tiene mejor comportamiento sísmico que una con refuerzo interior, comparar muro 1 con 2 y muros 4,5 con 7. También se observa como los muros confinados con estribos más cerrados se

comportan mejor que los tienen los estribos más separados (muros 4 y 5 con respecto a muro 1), tanto en capacidad de carga, pero principalmente su capacidad de deformación. También se confirma que el uso de refuerzo horizontal en muros con refuerzo interior aumenta sustancialmente su capacidad de carga sostenida y de deformación, comparar muro 3 con 2 y muro 8 con 7.

El efecto de colocar un castillo bien detallado con estribos cerrados es casi equivalente (en capacidad de deformación) a tener refuerzo horizontal; pero en resistencia sostenida es muy útil el refuerzo horizontal. Comparar muro 3 con 1, muro 8 con 4 ó 5.

En capacidad de deformación el construir un castillo integral en el muro es casi equivalente a tenerlo en el exterior (comparar muro 9 con 1 y 5).

El mejor comportamiento se obtiene cuando además del refuerzo horizontal, se tiene un castillo de confinamiento externo, tanto en resistencia sostenida como en capacidad de deformación, ver muro 6.

La capacidad sostenida de un muro con solo refuerzo vertical sin confinar es menos del 20% de v^* , y su distorsión del orden de 0.002 (muro2).

En el muro en los que el refuerzo vertical interior se confino mediante grapas a cada hilada, su distorsión máxima fue del orden de 0.0036 y su capacidad sostenida de $0.55v^*$, ver muro 7. La capacidad de deformación aumenta y es equivalente a la de un muro con castillo exterior cuando se construye un castillo integral, muro 9.

La distorsión alcanzada en muros con refuerzo exterior es mayor a 0.005 (muros 1, 4, 5, 9) y su capacidad sostenida fue igual o mayor a $0.5v^*$; se alcanzó una capacidad de deformación de aprox. 0.005 en muros con refuerzo interior que tenía refuerzo horizontal en un porcentaje mayor a 0.0005.

La mayor capacidad de deformación, y en general el mejor comportamiento, se tuvo en el muro 6, el cuál además de su castillo exterior tenía refuerzo horizontal. La relación pf_y/v^* fue en promedio igual a 0.85.

En los muros con refuerzo horizontal, el esfuerzo sostenido fue mayor al 80% del proporcionado por ese refuerzo cuando $p \leq 0.00075$, esto es:

$$v_{sos} \approx 0.85/pf_y$$

independientemente si el muro tiene castillos interiores o exteriores, o de la resistencia de la mampostería (ver muros 3, 6 y 8); en el muro 6 con alto porcentaje de refuerzo (0.0009) solo se alcanzó $v_{sos} = 0.65 pf_y$, aunque con gran capacidad de deformación.

Si bien el refuerzo horizontal es el predominante para determinar la resistencia sostenida, el confinamiento del muro (castillo exterior o integral) es determinante para la capacidad de deformación y de disipación de energía, comparar curvas v_γ de muros 3, 6 y 8, donde las curvas de histéresis del muro 6 son más amplias que las de los otros muros.

Si se compara los esfuerzos sostenidos de los muros con refuerzo horizontal con los que no lo tienen, se observa que el incremento en resistencia es cuando menos del orden del que las NTCM permiten (25%).

Estos muros se ensayaron sin carga axial de compresión, es de esperarse que el comportamiento va a mejorar si los esfuerzos de carga axial no son muy altos (ver NTCM).

La notable diferencia del valor de v^* de los muros 7 a 9 y que se refleja en la resistencia al agrietamiento de los muros, se debió a un mal procedimiento constructivo, por lo que hay que ser muy insistente a la hora de humedecer los tabiques antes de colocarlos.

Aún cuando resultó baja la resistencia de la mamposterías, por lo dicho en el párrafo anterior, las mamposterías con los tabiques TABIMAX, cumplen con los requisitos de resistencia de las NTCM considerando un v^* nominal de 5.5 kg/cm^2 tal como se hizo ver en el capítulo respectivo, aún cuando el v^* real haya sido de 3.2 kg/cm^2 . En el caso de una adecuada construcción y se obtenga el v^* nominal, la resistencia y comportamiento será muy superior al esperado por las NTCM.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES.

Se estudiaron diversas formas de reforzar muros de mampostería con la finalidad de observar su comportamiento (resistencia y capacidad de deformación) ante cargas laterales alternadas. Se buscaron detalles constructivos que permitieran emplear la menor cantidad de acero de refuerzo. El refuerzo se colocó en castillos interiores y exteriores, confinado con estribos o grapas, y entre las juntas horizontales del mortero con barras de pequeño diámetro.

El objetivo del trabajo fue tratar de encontrar modalidades de refuerzo que permitan aumentar la resistencia o la capacidad de deformación de las mamposterías y de preferencia ambas. Para ello se planeó un programa experimental en el que se estudio la forma de hacer más eficiente tanto el refuerzo de los castillos como el que se coloca en el interior de los muros (vertical y horizontal).

Cualitativamente, el comportamiento de los muros ensayados bajo alternaciones de carga puede resumirse de la siguiente manera. La relación carga_distorsión (v_γ) es aproximadamente lineal hasta el agrietamiento diagonal; después de este el comportamiento depende principalmente del tipo y cantidad de refuerzo que se tenga. Con un refuerzo suficiente pueden alcanzarse resistencias mayores a la de agrietamiento, si no, la resistencia se deteriora continuamente. Cuando hay refuerzo en cantidad suficiente, al incrementar la deformación más allá de la de agrietamiento y al efectuar varios ciclos de alternaciones de carga para esa misma deformación se observa una disminución en la resistencia del primero al segundo ciclo, para ciclos adicionales la curva v_γ permanece prácticamente estable.

En las gráficas (figs. 4.7 a 4.15) se puede observar que para deformaciones muy grandes, la pendiente de las curvas va disminuyendo, lo que significa que el deterioro aumenta y por tanto disminuye la capacidad de los muros para absorber energía y sostener carga; al esfuerzo que se tenía en la curva ya estabilizada, para una deformación prefijada, al cual se le denomina esfuerzo sostenido.

Al analizar los resultados obtenidos y las gráficas de acción_respuesta se desprende que el mejor comportamiento fue de aquellos muros donde se colocó refuerzo horizontal entre las juntas del mortero y se tenían castillos exteriores.

6.1.1. DE LA OBSERVACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LOS MUROS ENSAYADOS SE DESPRENDEN LOS SIGUIENTES COMENTARIOS GENERALES:

- 1) La carga de agrietamiento diagonal del muro no depende del refuerzo de los castillos ni del refuerzo horizontal, sino de las propiedades de la mampostería.
- 2) La resistencia y capacidad de deformación después del que el muro se agrieta depende exclusivamente del refuerzo de los castillos y del refuerzo horizontal.
- 3) El comportamiento de muros reforzados interior o exteriormente es similar si los castillos tienen la misma resistencia.
- 4) El comportamiento de muros con refuerzo interior y exterior es similar para idénticas cantidades de refuerzo horizontal.
- 5) Para una misma resistencia de los castillos exteriores, el esfuerzo sostenido del muro aumenta y el comportamiento general mejora cuando se adiciona refuerzo horizontal.
- 6) A mayor resistencia de los castillos exteriores o interiores mejor comportamiento, afirmación válida también para una misma cantidad de refuerzo horizontal.
- 7) Para alcanzar alta capacidad de deformación es más conveniente, desde el punto de vista de comportamiento, utilizar castillos exteriores junto con refuerzo horizontal.
- 8) El mejor sistema constructivo en muros de tabique hueco es aquel donde se forma un castillo integral en el interior de las piezas. Colocar dos castillos consecutivos interior es más conveniente que colocar uno solo; si además se une el refuerzo de los castillos mediante estribos o grapas colocados en las juntas, el comportamiento mejora.

Las deformaciones al corte gobernaron la respuesta de la estructura. El refuerzo horizontal permite una distribución mas uniforme del agrietamiento diagonal en los muros de mampostería. La cantidad y refuerzo horizontal no tuvieron efecto significativo en la rigidez inicial de los muros.

Una conclusión es que para evitar la falla frágil de la mampostería, es necesario que esta se refuerce adecuadamente.

6.2 RECOMENDACIONES.

Es necesario tener especial cuidado en el dimensionamiento, refuerzo y detallado de los elementos confinantes, especialmente en muros de planta baja y niveles inferiores. Se sugiere dentar los muros en sus extremos para incrementar la trabazón de los tabiques del tablero con el concreto de los castillos.

Se recomienda que los extremos superior e inferior de los castillos tengan una resistencia adicional por cortante lo cual se puede lograr si la separación de

los estribos se reduce a la mitad en una longitud igual a 40-50 cm. Desafortunadamente con la introducción de aceros de refuerzo prefabricados y de alta resistencia para los castillos se ha observado un incremento en la separación de los estribos que en algunas ocasiones llegan a ser del orden de la dimensión transversal del castillo. En estos casos, se recomienda se coloque estribos adicionales en los extremos superior e inferior de los armados en castillos.

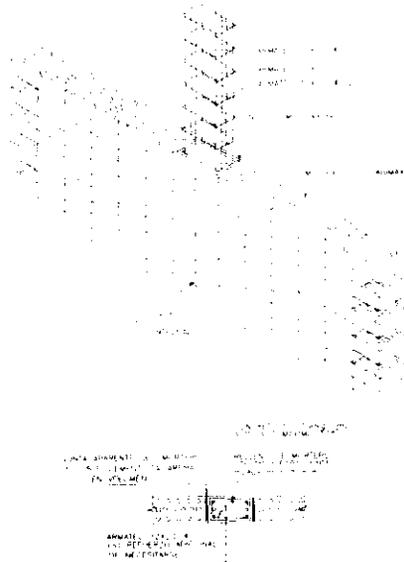
Es conveniente que los muros, confinados o con refuerzo interior, tengan una cuantía mínima de refuerzo en sus extremos, pero que es necesario revisar su capacidad a flexión, y donde se requiera, incrementar el área de acero.

Es muy importante la contribución de los estribos, ya que al estar poco espaciados confinan adecuadamente al concreto permitiendo sostener una buena parte de resistencia al cortante para deformaciones importantes. Se ha observado que para muros reforzados como lo dicen las NTCM, y donde se empleaba alambón para los estribos, al instante de agrietarse también se dañaron los castillos extremos; se interpreta que la alta deformabilidad del acero y la gran separación entre los estribos, dio lugar a poco confinamiento del concreto, dañándose y perdiendo capacidad de carga y deformación. Otros muros se han ensayado disminuyendo la separación entre los estribos de alta resistencia a aproximadamente 7 cm, pero solo en los extremos de los castillos (aproximadamente 50cm), encontrando que, si bien la carga de agrietamiento prácticamente era la misma, se obtuvo mucho mejor comportamiento, ya que permitieron gran capacidad de deformación; resultados similares se obtuvieron para tabiques huecos multiperforados.

Estos ensayos han comprobado que los estribos de alta resistencia permiten confinar mejor al concreto aún para altos niveles de fuerza cortante, de ahí la conveniencia de su uso en los castillos.

Como resultado de experiencias se recomienda que no se utilice mas el alambón para formar los estribos que refuerzan las dalas y castillos, sino que se utilicen varillas de diámetro pequeño y con alto grado de fluencia; además, como las partes críticas de los castillos son sus extremos, la separación de los estribos, en un tramo de 40 a 50 cm en la parte superior e inferior de los castillos, no debe ser mayor a 7 u 8 cm, mientras que en la parte central puede aumentarse al valor indicado actualmente por las normas, ya que tanto en laboratorio como cuando ocurre un sismo, se ha observado que esta zona central prácticamente no contribuye a la resistencia. Estas recomendaciones adicionales hacen que los muros puedan sostener una buena cantidad de fuerza cortante para deformaciones importantes; la conjunción de esta forma de refuerzo con el uso del refuerzo horizontal mejora considerablemente el comportamiento después de agrietarse los muros.

En el caso de muros con refuerzo interior, es necesario que el refuerzo que se tiene en los extremos de los muros, se una mediante grapas de acero de alto grado de fluencia, lo cual se ha observado experimentalmente también contribuye a la resistencia a cortante; en este caso, se recomienda que las grapas sean de $\frac{1}{4}$ ". Un procedimiento que se ha visto que tiene muy buenos resultados es construir un castillo integral dentro del muro, esto se logra eliminando el material en el interior de las piezas, ver fig., con lo cual se logra una mejor eficiencia del refuerzo al tener un elemento de concreto peraltado en la dirección crítica y estribos cerrados que son más eficientes.



CASTILLO INTEGRAL INTERMEDIO

Es conveniente aclarar que este procedimiento de refuerzo cerrando estribos y usando aceros con alto grado de fluencia es suficiente para asegurar un buen comportamiento de mamposterías que tengan una resistencia nominal de diseño no mayor a 3 ó 4 kg/cm^2 , para resistencias mayores, o para asegurar una gran capacidad de deformación de los muros, es necesario utilizar refuerzo horizontal entre las juntas del mortero.

No debe utilizarse la escalerilla como refuerzo horizontal de la mampostería, y en lugar de ello deben emplearse varillas con alto grado de fluencia y diámetro pequeño.

En el caso de usar varillas como refuerzo horizontal, es muy importante que se ancle la varilla perfectamente en los castillos mediante escuadras en sus extremos, con la finalidad de que el refuerzo pueda desarrollar su máxima capacidad por el anclaje mecánico que se logra, y no depender de la adherencia con el mortero; si se hace esto convenientemente.

ANEXO

Figura 3.1



Figura 3.2

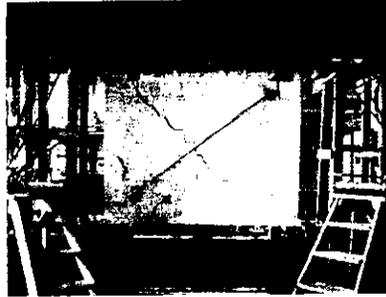


Figura 3.3

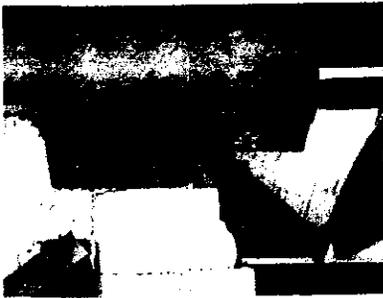


Figura 4.1

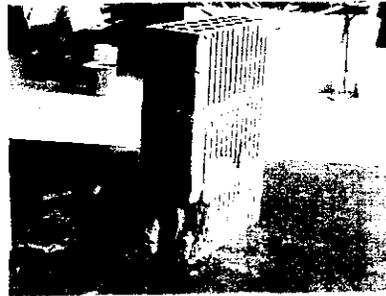


Figura 4.2

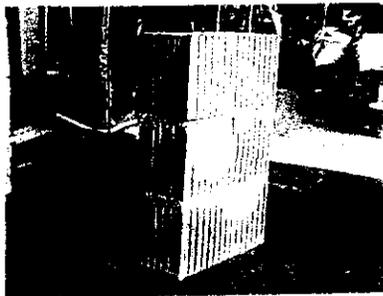


Figura 4.3



Figura 4.4

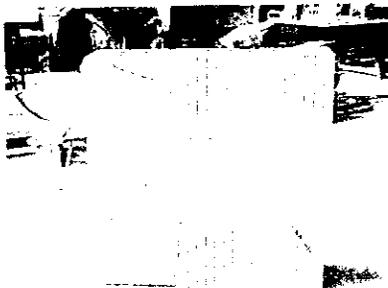


Figura 4.5



Figura 4.6



Figura 4.7

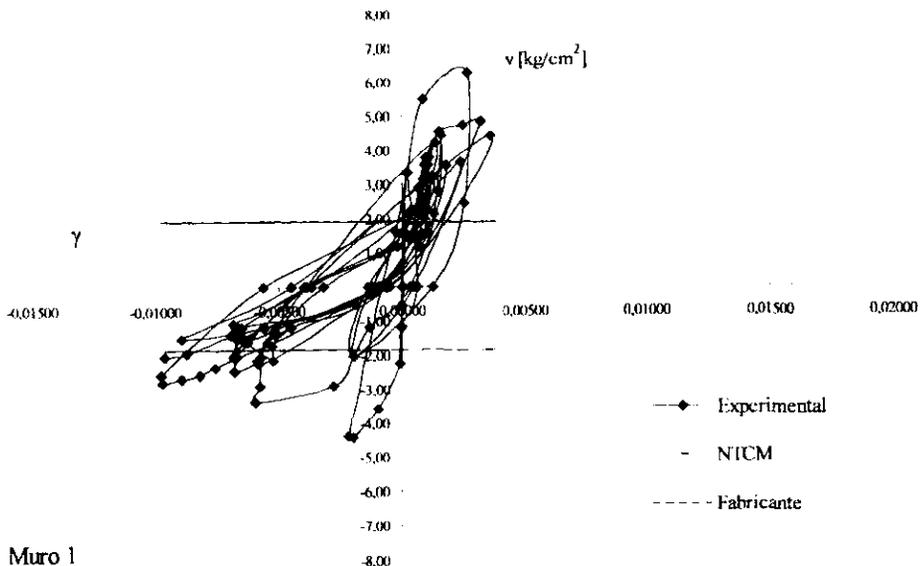


Figura 4.8

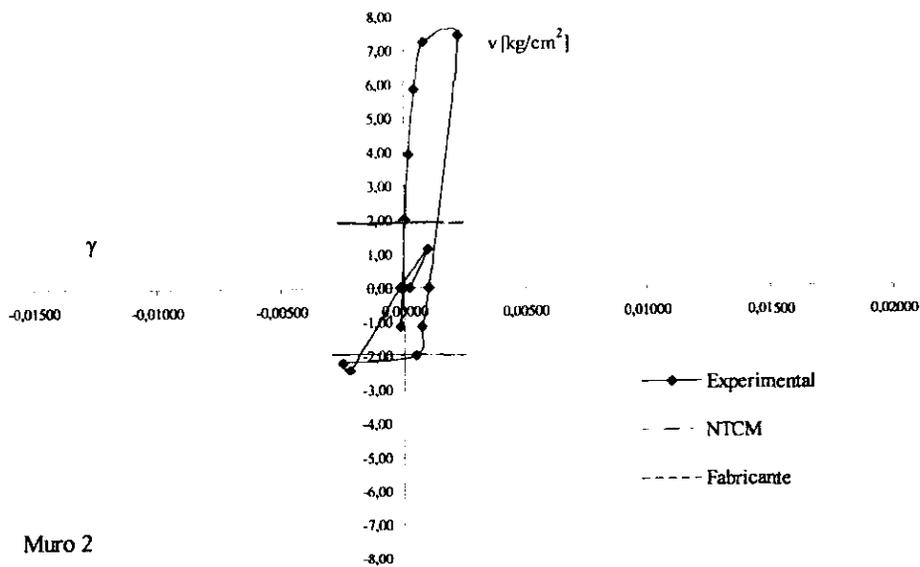


Figura 4.9

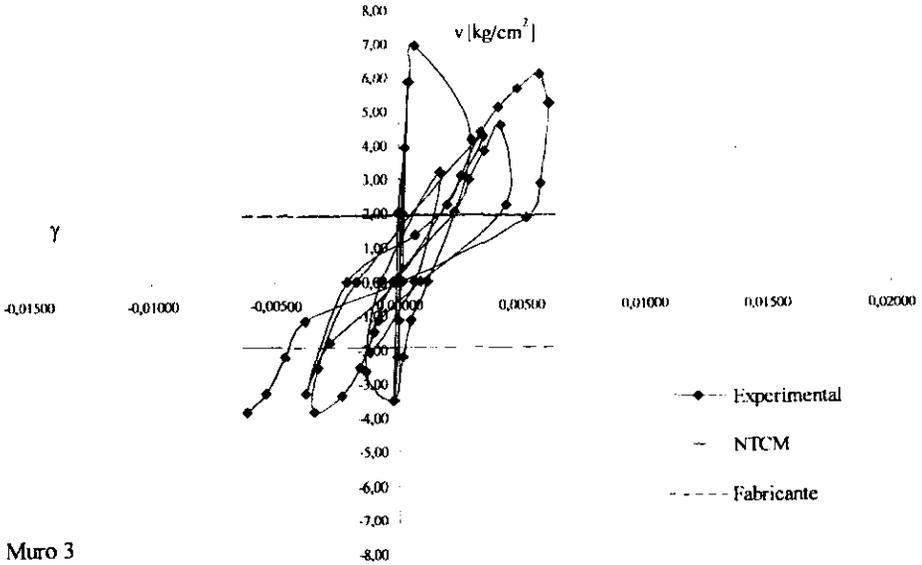


Figura 4.10

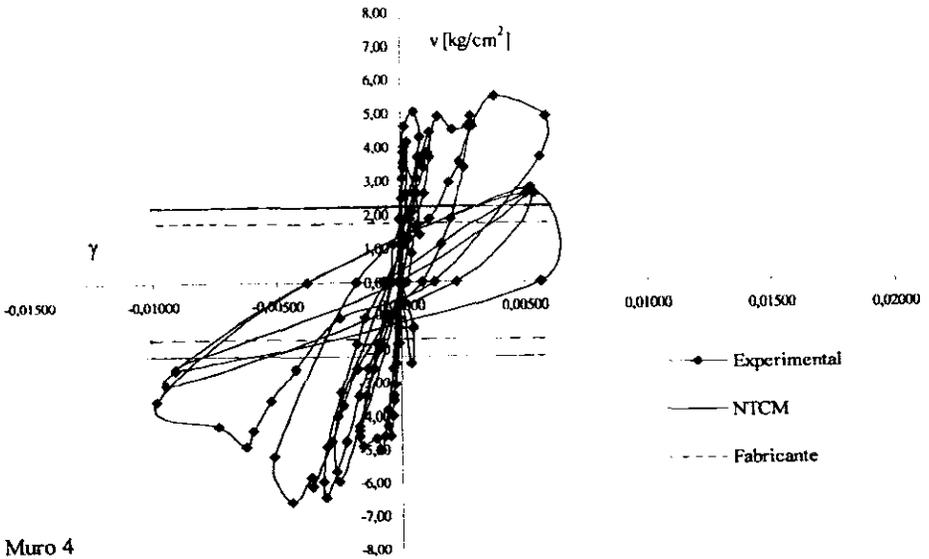


Figura 4.11

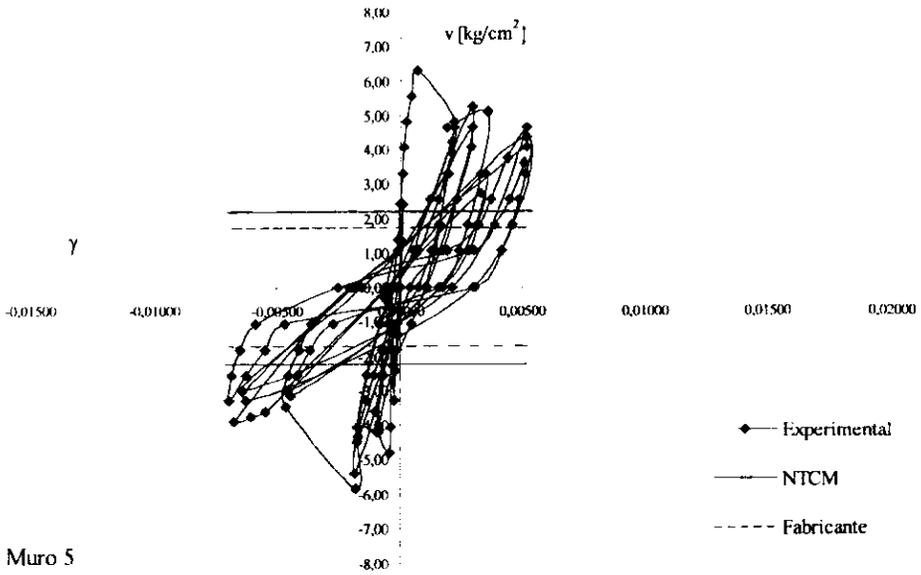


Figura 4.12

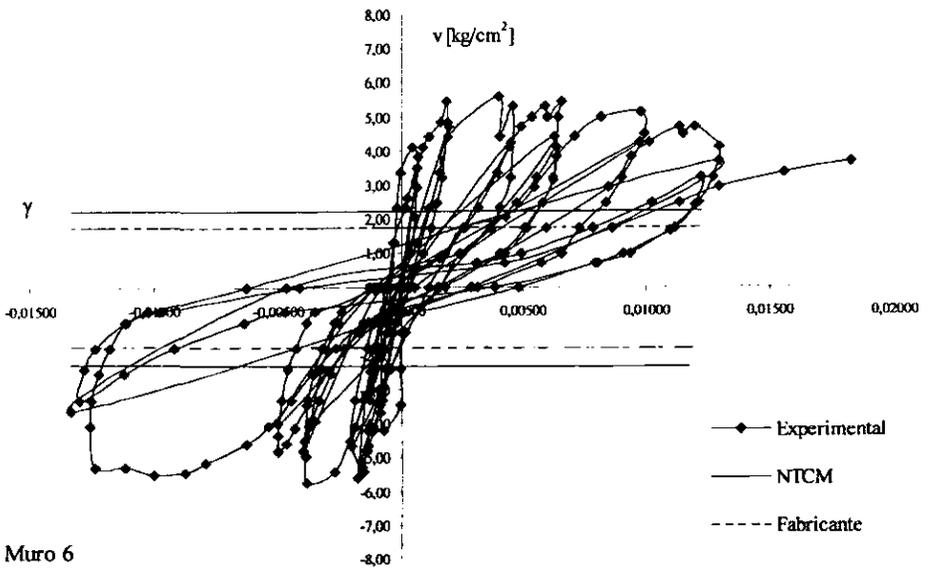


Figura 4.13

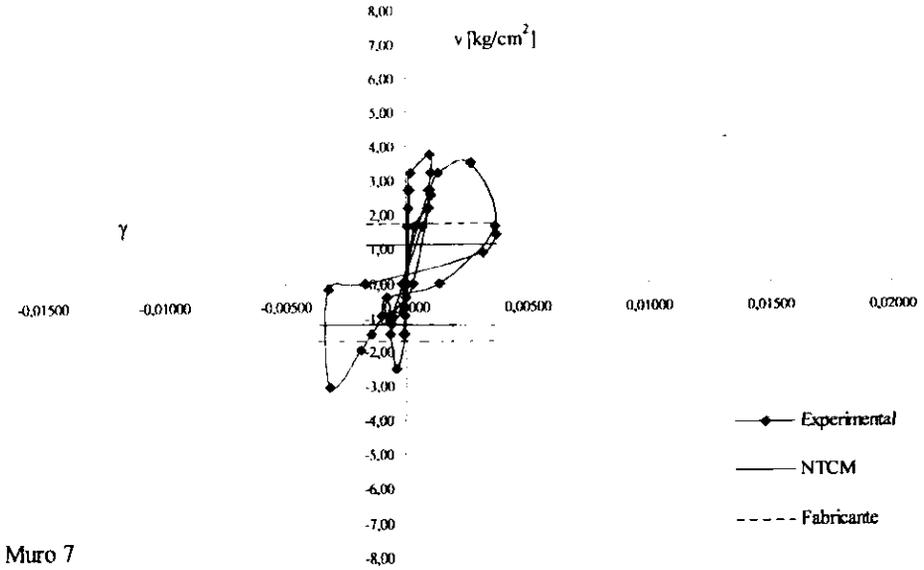


Figura 4.14

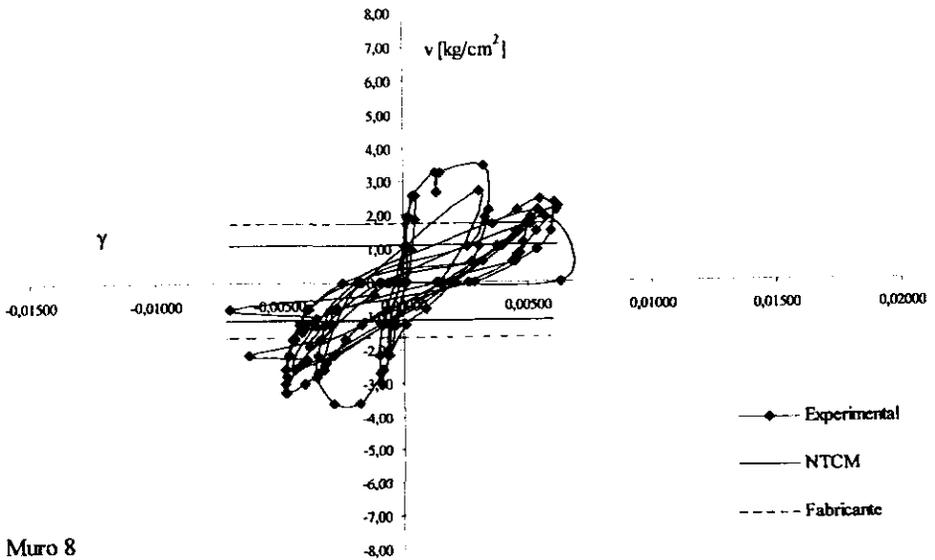
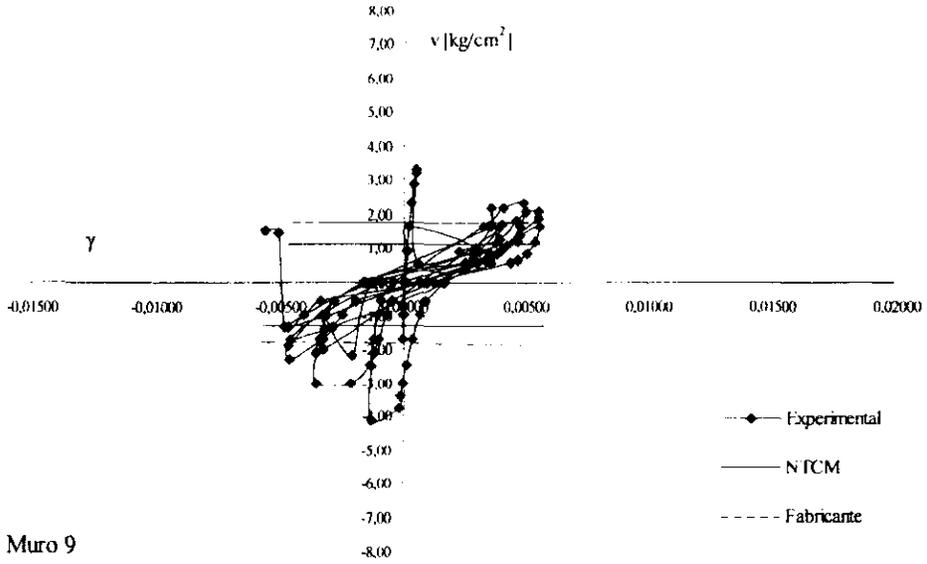


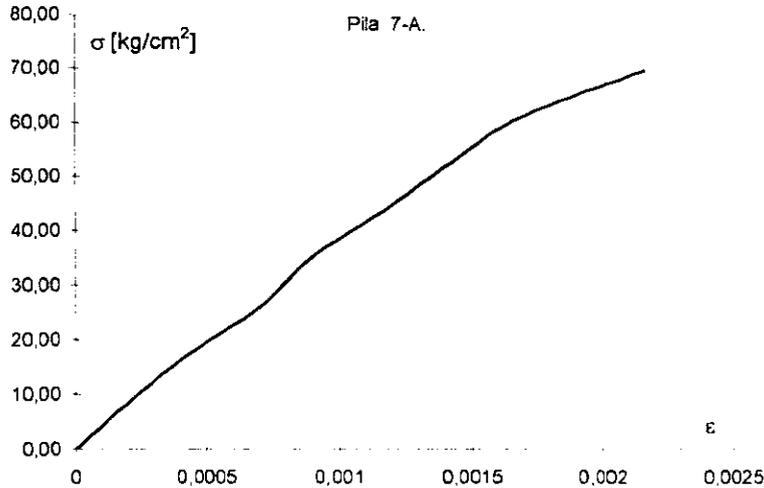
Figura 4.15



Carga Máxima kg 21280

7-A

P [ton]	Li [mm]	Defi [mm]	Ld [mm]	Defd [mm]	δ [mm]	ϵ	σ [kg/cm ²]
0	1,52	0	8	0	0	0,0000	0,00
2	1,55	0,03	8,065	0,065	0,0475	0,0002	8,70
4	1,6	0,08	8,12	0,12	0,1	0,0004	17,39
6	1,65	0,13	8,195	0,195	0,1625	0,0007	26,09
8	1,71	0,19	8,22	0,22	0,205	0,0009	34,78
10	1,77	0,25	8,285	0,285	0,2675	0,0012	43,48
12	1,83	0,31	8,34	0,34	0,325	0,0014	52,17
14	1,895	0,375	8,4	0,4	0,3875	0,0017	60,87
16	2,05	0,53	8,465	0,465	0,4975	0,0022	69,57



Muros 4,5 y 6

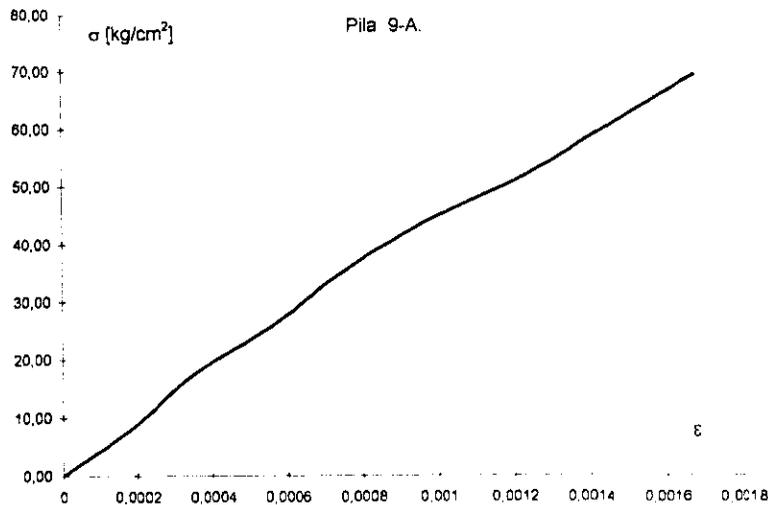
%	P [ton]	ϵ	σ [kg/cm ²]
15	3,192	0,0003	13,88
50	10,64	0,0012	46,26

E [kg/cm²] 35961,57

Carga Máxima kg 26400

9-A

P [ton]	Li [mm]	Ld [mm]	δ [mm]	ϵ	σ [kg/cm ²]
0	0	0	0	0,0000	0,00
2	0,01	0,08	0,045	0,0002	8,70
4	0,04	0,12	0,08	0,0003	17,39
6	0,08	0,18	0,13	0,0006	26,09
8	0,12	0,22	0,17	0,0007	34,78
10	0,18	0,26	0,22	0,0010	43,48
12	0,25	0,32	0,285	0,0012	52,17
14	0,29	0,38	0,335	0,0015	60,87
16	0,35	0,42	0,385	0,0017	69,57



E [kg/cm²] 39202.38

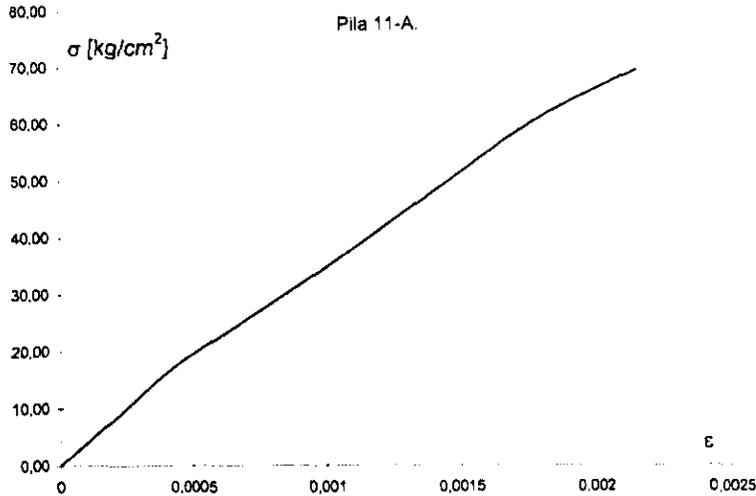
%	P [ton]	ϵ	σ [kg/cm ²]
15	3,96	0,0003	17,22
50	13,2	0,0014	57,39

Carga Máxima kg 22630

Apéndice

11-A

P [ton]	Li [mm]	Ld [mm]	δ [mm]	ε	σ [kg/cm ²]
0	0	0	0	0,0000	0,00
2	0,02	0,08	0,05	0,0002	8,70
4	0,07	0,13	0,1	0,0004	17,39
6	0,13	0,2	0,165	0,0007	26,09
8	0,2	0,26	0,23	0,0010	34,78
10	0,25	0,33	0,29	0,0013	43,48
12	0,31	0,39	0,35	0,0015	52,17
14	0,37	0,45	0,41	0,0018	60,87
16	0,44	0,55	0,495	0,0022	69,57

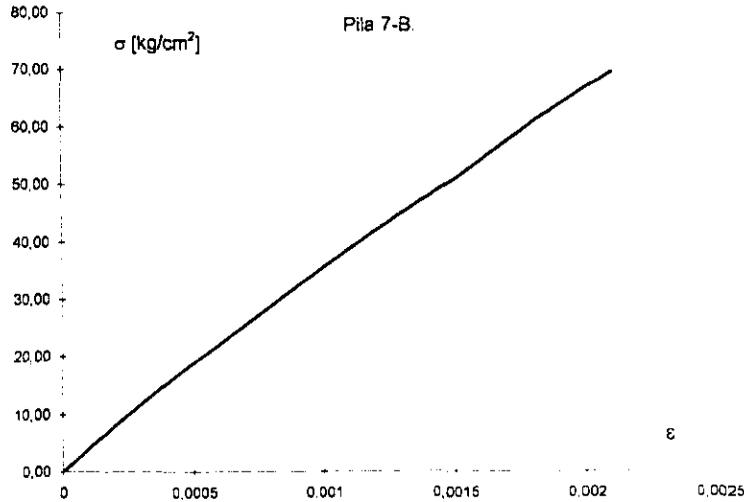


%	P [ton]	ε	σ [kg/cm ²]
15	3,3945	0,0004	14,76
50	11,315	0,0014	49,20

E [kg/cm²] 32383.09

Carga Máxima kg 23180

7-B	P [ton]	Li [mm]	Ld [mm]	δ [mm]	ϵ	σ [kg/cm ²]
	0	0	0	0	0,0000	0,00
	2	0,03	0,07	0,05	0,0002	8,70
	4	0,09	0,12	0,105	0,0005	17,39
	6	0,14	0,19	0,165	0,0007	26,09
	8	0,2	0,25	0,225	0,0010	34,78
	10	0,26	0,315	0,2875	0,0013	43,48
	12	0,32	0,39	0,355	0,0015	52,17
	14	0,38	0,45	0,415	0,0018	60,87
	16	0,45	0,515	0,4825	0,0021	69,57



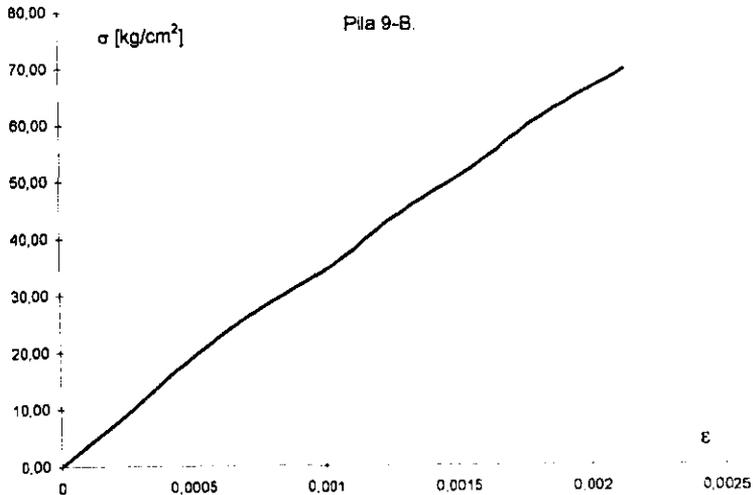
%	P [ton]	ϵ	σ [kg/cm ²]
15	3,477	0,0004	15,12
50	11,59	0,0015	50,39

E [kg/cm²] 32381,41

Carga Máxima kg 22980

9-B

P [ton]	Li [mm]	Ld [mm]	δ [mm]	ε	σ [kg/cm ²]
0	0	0	0	0,0000	0,00
2	0	0,11	0,055	0,0002	8,70
4	0,03	0,18	0,105	0,0005	17,39
6	0,08	0,245	0,1625	0,0007	26,09
8	0,14	0,33	0,235	0,0010	34,78
10	0,195	0,385	0,29	0,0013	43,48
12	0,245	0,47	0,3575	0,0016	52,17
14	0,3	0,53	0,415	0,0018	60,87
16	0,36	0,62	0,49	0,0021	69,57



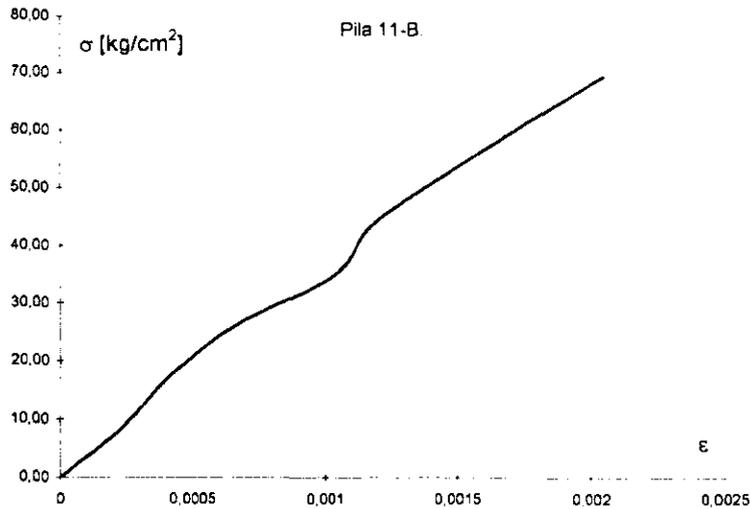
%	P [ton]	ε	σ [kg/cm ²]
15	3.447	0,0004	14,99
50	11.49	0,0014	49,96

E [kg/cm²] 34054.17

Carga Máxima kg 26920

11-B

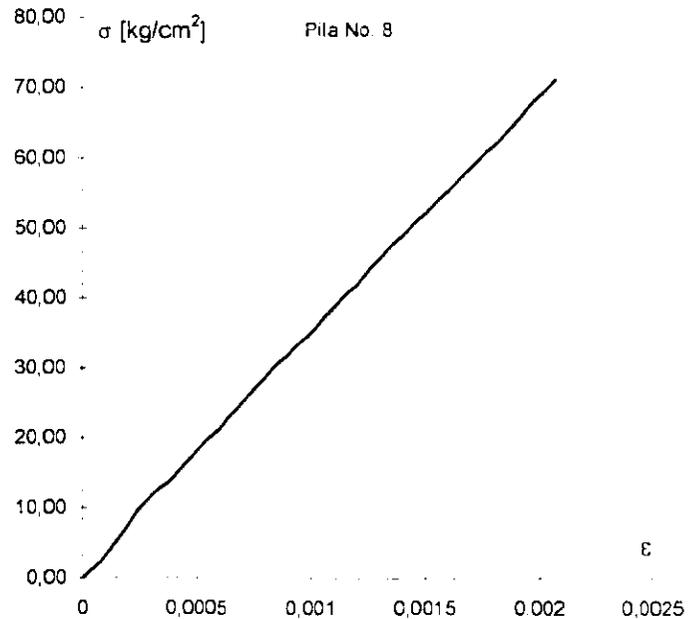
P [ton]	Li [mm]	Ld [mm]	δ [mm]	ϵ	σ [kg/cm ²]
0	0	0	0	0,0000	0,00
2	0,04	0,07	0,055	0,0002	8,70
4	0,07	0,12	0,095	0,0004	17,39
6	0,115	0,19	0,1525	0,0007	26,09
8	0,23	0,245	0,2375	0,0010	34,78
10	0,24	0,3	0,27	0,0012	43,48
12	0,3	0,365	0,3325	0,0014	52,17
14	0,37	0,43	0,4	0,0017	60,87
16	0,45	0,49	0,47	0,0020	69,57



E [kg/cm²] 32942,33

%	P [ton]	ϵ	σ [kg/cm ²]
15	4,038	0,0004	17,56
50	13,46	0,0017	58,52

8	P [ton]	Ld [mm]	Li [mm]	δ [mm]	ϵ	σ [kg/cm ²]
	0	0	0	0	0,0000	0,00
	1	0,03	0,04	0,035	0,0001	3,56
	2	0,05	0,07	0,06	0,0002	7,12
	3	0,07	0,1	0,085	0,0003	10,68
	4	0,11	0,14	0,125	0,0004	14,24
	5	0,14	0,17	0,155	0,0005	17,80
	6	0,17	0,21	0,19	0,0006	21,36
	7	0,2	0,24	0,22	0,0007	24,93
	8	0,23	0,27	0,25	0,0008	28,49
	9	0,27	0,3	0,285	0,0009	32,05
	10	0,3	0,34	0,32	0,0010	35,61
	11	0,33	0,37	0,35	0,0011	39,17
	12	0,36	0,41	0,385	0,0012	42,73
	13	0,39	0,44	0,415	0,0013	46,29
	14	0,42	0,48	0,45	0,0014	49,85
	15	0,46	0,51	0,485	0,0015	53,41
	16	0,49	0,55	0,52	0,0017	56,97
	17	0,52	0,59	0,555	0,0018	60,53
	18	0,56	0,62	0,59	0,0019	64,09
	19	0,59	0,65	0,62	0,0020	67,65
	20	0,62	0,69	0,655	0,0021	71,21

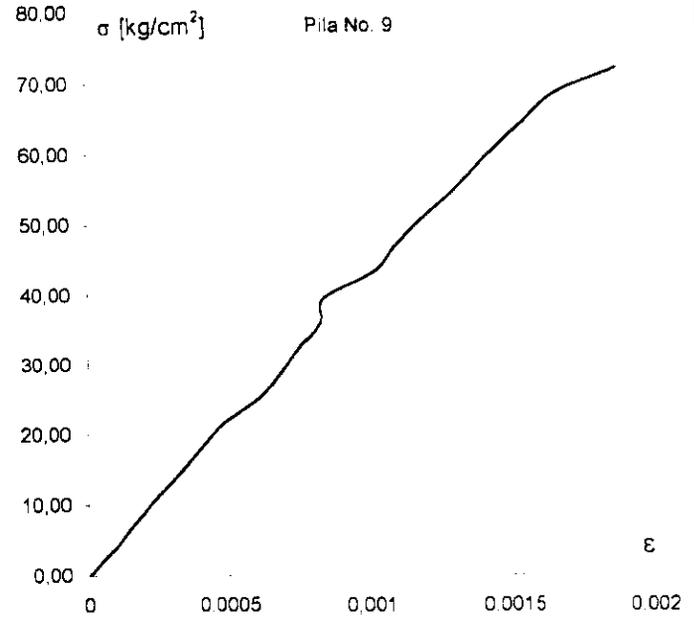


Carga Máxima [kg] 33120

E [kg/cm²] 33722,36

%	P [ton]	ϵ	σ [kg/cm ²]
15	4,968	0,0005	17,69
50	16,56	0,0017	58,97

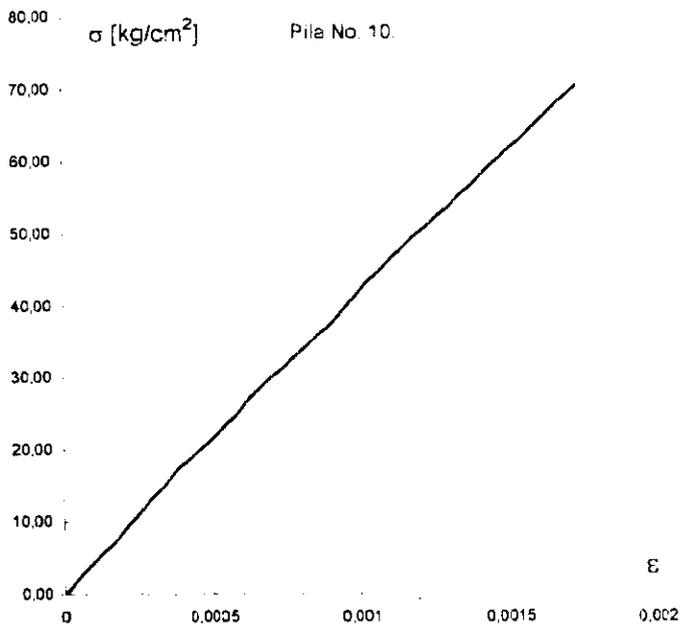
9	P [ton]	Ld [mm]	Li [mm]	δ [mm]	ϵ	σ [kg/cm ²]
0	0	0	0	0	0,0000	0,00
1	0,03	0,04	0,035	0,0001	3,61	
2	0,06	0,07	0,065	0,0002	7,21	
3	0,09	0,1	0,095	0,0002	10,82	
4	0,12	0,14	0,13	0,0003	14,43	
5	0,14	0,18	0,16	0,0004	18,03	
6	0,17	0,22	0,195	0,0005	21,64	
7	0,2	0,29	0,245	0,0006	25,24	
8	0,24	0,31	0,275	0,0007	28,85	
9	0,27	0,33	0,3	0,0008	32,46	
10	0,3	0,36	0,33	0,0008	36,06	
11	0,33	0,34	0,335	0,0008	39,67	
12	0,37	0,44	0,405	0,0010	43,28	
13	0,4	0,47	0,435	0,0011	46,88	
14	0,43	0,51	0,47	0,0012	50,49	
15	0,47	0,55	0,51	0,0013	54,09	
16	0,51	0,58	0,545	0,0014	57,70	
17	0,54	0,62	0,58	0,0015	61,31	
18	0,58	0,66	0,62	0,0016	64,91	
19	0,62	0,7	0,66	0,0017	68,52	
20	0,66	0,84	0,75	0,0019	72,13	



E. [kg/cm²] 41231,49

Carga Máxima [kg]			33120
%	P [ton]	ϵ	σ [kg/cm ²]
15	4.968	0,0004	17,92
50	16.56	0,0014	59,72

10	P [ton]	Ld [mm]	Li [mm]	δ [mm]	ε	σ [kg/cm ²]
0	0	0	0	0	0,0000	0,00
1	0,05	0,01	0,03	0,0001	3,52	
2	0,09	0,04	0,065	0,0002	7,03	
3	0,12	0,07	0,095	0,0002	10,55	
4	0,15	0,1	0,125	0,0003	14,06	
5	0,18	0,13	0,155	0,0004	17,58	
6	0,22	0,17	0,195	0,0005	21,10	
7	0,25	0,21	0,23	0,0006	24,61	
8	0,28	0,24	0,26	0,0007	28,13	
9	0,32	0,28	0,3	0,0008	31,64	
10	0,35	0,32	0,335	0,0008	35,16	
11	0,38	0,36	0,37	0,0009	38,68	
12	0,41	0,39	0,4	0,0010	42,19	
13	0,44	0,43	0,435	0,0011	45,71	
14	0,47	0,47	0,47	0,0012	49,22	
15	0,51	0,51	0,51	0,0013	52,74	
16	0,54	0,55	0,545	0,0014	56,26	
17	0,57	0,59	0,58	0,0015	59,77	
18	0,61	0,63	0,62	0,0016	63,29	
19	0,64	0,67	0,655	0,0016	66,80	
20	0,68	0,71	0,695	0,0017	70,32	



E [kg/cm²] 38497,29

Prom

Mod Elast E = 37817,05 [kg/cm²]

Carga Máxima [kg] 30370

%	P [ton]	ε	σ [kg/cm ²]
15	4.5555	0,0004	16,02
50	15.185	0,0013	52,09

MURO 5

Fecha Colado 14-ago-97

No.	Mortero 1:0.25:3		
	Área [cm ²]	Carga P [kg.]	f [kg/cm ²]
1	25	3550	142
2	25	4100	164
3	25	3750	150
4	25	4100	164
5	25	3900	156
6	25	3650	146
7	25	3690	147,6
8	25	3870	154,8
9	25	4250	170
		f _m [kg/cm ²]	154,93

Muros

1,2 y 3

No.	Mortero 1:0.25:3		
	Área [cm ²]	Carga P [kg.]	f [kg/cm ²]
1	25	3600	144
2	25	3650	146
3	25	3590	143,6
4	25	3490	139,6
5	25	3230	129,2
6	25	3430	137,2
7	25	3378	135,12
8	25	3200	128
9	25	3408	136,32
		f _m [kg/cm ²]	137,67

Fecha Colado 14-ago-97

No.	Mortero 1:0.25:3		
	Área [cm ²]	Carga P [kg.]	f [kg/cm ²]
1	25	4940	197,6
2	25	4930	197,2
3	25	4875	195,0
4	25	4700	188,0
5	25	4600	184,0
6	25	4900	196,0
7	25	5450	218,0
8	25	4550	182,0
9	25	4800	192,0
f _m [kg/cm ²]			194,42

Fecha Colado 14-ago-97

No.	Mortero 1:0.25:3		
	Área [cm ²]	Carga P [kg.]	f [kg/cm ²]
1	25	5720	228,8
2	25	4790	191,6
3	25	5020	200,8
4	25	4500	180
5	25	5100	204
6	25	4600	184
7	25	4200	168
8	25	4800	192
9	25	5300	212
f _m [kg/cm ²]			195,69

Muro 7

Fecha Colado 22/08/98

No.	Mortero 1:0.25:3		
	Área [cm ²]	Carga P [kg.]	f [kg/cm ²]
1	25	5300	212
2	25	6240	249,6
3	25	6830	273,2
4	25	7020	280,8
5	25	7520	300,8
6	25	7570	302,8
7	25	6470	258,8
8	25	6000	240
9	25	5900	236
		f_m [kg/cm ²]	261,56

Muro 8

Fecha Colado 29-dic-98

No.	Mortero 1:0.25:3		
	Área [cm ²]	Carga P [kg.]	f [kg/cm ²]
1	25	4270	170,8
2	25	4240	169,6
3	25	4230	169,2
		f_m [kg/cm ²]	169,87

Muro 9

Fecha Colado 8-ene-99

No.	Mortero 1:0.25:3		
	Área [cm ²]	Carga P [kg.]	f [kg/cm ²]
1	25	5330	213,2
2	25	5940	237,6
3	25	5580	223,2
		f_m [kg/cm ²]	224,67

Trabes de cimentación Muros 1,2 y 3

No.	Fecha Colado	ϕ [cm]	Área [cm ²]	Carga P [kg]	f [kg/cm ²]
1	6-ago-97	15	176,71	50200	284,07
2	6-ago-97	15	176,71	51000	288,60
3	6-ago-97	15	176,71	45200	255,78
4	12-ago-97	15	176,71	40800	230,88
5	12-ago-97	15	176,71	41200	233,14
f_m [kg/cm ²]					258,50

Castillos Muros 4, 5 y 6

No.	Fecha Colado	ϕ [cm]	Área [cm ²]	Carga P [kg]	f [kg/cm ²]
1	22-jul-97	10	78,54	16900	215,18
2	28-jul-97	10	78,54	15800	201,17
f_m [kg/cm ²]					208,17

Muro 7

No.	Fecha Colado	ϕ [cm]	Área [cm ²]	Carga P [kg]	f [kg/cm ²]
1	27/08/98	15	176,71	49030	277,45
2	27/08/99	15	176,71	50380	285,09
3	27/08/100	15	176,71	56980	322,44
4	27/08/101	15	176,71	59000	333,87
f_m [kg/cm ²]					304,71

Muro 8

No.	Fecha Colado	ϕ [cm]	Área [cm ²]	Carga P [kg]	f [kg/cm ²]
1	22-dic-98	15	176,71	36600	207,11
2	22-dic-98	15	176,71	39900	225,79
3	31-dic-98	15	176,71	54000	305,58
4	31-dic-98	15	176,71	50000	282,94
f_m [kg/cm ²]					255,36

Muro 9

	No.	Fecha Colado	ϕ [cm]	Área [cm ²]	Carga P [kg]	f [kg/cm ²]
losas Cimer	1	6-ene-99	15	176,71	37600	212,77
	2	6-ene-99	15	176,71	37000	209,38
losas	3	9-ene-99	15	176,71	47600	269,36
	4	9-ene-99	15	176,71	49800	281,81
f _m [kg/cm ²]						243,33

Muros

4.5 y 6

No.	Mortero 1:0.25:3				
	Ancho [cm]	Largo [cm]	Área [cm ²]	Carga P [kg]	f [kg/cm ²]
1	10	23,0	230	21280	92,52
2	10	23,0	230	24100	104,78
3	10	23,0	230	26400	114,78
4	10	23,0	230	22500	97,83
5	10	23,0	230	22630	98,39
6	10	23,0	230	26000	113,04
7	10	23,0	230	23180	100,78
8	10	23,0	230	24660	107,22
9	10	23,0	230	22980	99,91
10	10	23,0	230	27600	120,00
11	10	23,0	230	26920	117,04
12	10	23,0	230	24000	104,35
f_m [kg/cm ²]					105,89
$\sigma^2 =$					74,63
$\sigma =$					8,64
C.V. [%]					8,16
f'_m [kg/cm ²]					77,01

Muros

1,2 y 3

No.	Mortero 1:0.25:3				
	Ancho [cm]	Largo [cm]	Área [cm ²]	Carga P [kg]	f [kg/cm ²]
1	11,7	23,9	279,6	32250	115,34
2	11,9	23,9	284,4	36320	127,71
3	11,8	23,8	280,8	30460	108,48
4	11,8	23,8	280,8	36160	128,77
5	11,8	23,8	280,8	32640	116,24
6	11,8	23,8	280,8	35350	125,89
7	11,8	23,8	280,8	39180	139,53
8	11,8	23,8	280,8	27880	99,29
9	11,7	23,7	277,3	33720	121,60
10	11,7	24,3	284,4	30370	106,79
f_m [kg/cm ²]					118,96
$\sigma^2 =$					146,29
$\sigma =$					12,09
C.V. [%]					10,17
f'_m [kg/cm ²]					86,52

Resultados de los ensayos a compresión simple
Pilas de una pieza por tres o cuatro de alto

Muros 7,8 y 9

No.	Mortero 1:0.5:4				
	Ancho [cm]	Largo [cm]	Área [cm ²]	Carga P [kg]	f [kg/cm ²]
1	10	22,6	226	23350	103,32
2	10	22,6	226	11400	50,44
3	10	22,6	226	16350	72,35
4	10	22,6	226	14800	65,49
5	10	22,6	226	18650	82,52
6	10	22,6	226	16400	72,57
7	10	22,6	226	18500	81,86
8	10	22,6	226	17900	79,20
9	10	22,6	226	24700	109,29
10	10	22,6	226	14850	65,71
f _m [kg/cm ²]					78,27
σ ² =					309,43
σ =					17,59
C.V. [%]					22,47
f _m [kg/cm ²]					50,12

ESTA TESIS NO DEBE SALIR DE LA BIBLIOTECA

No.	Mortero 1:0.5:4				
	Ancho [cm]	Largo [cm]	Área [cm ²]	Carga P [kg]	f [kg/cm ²]
1	10	22,6	226	20950	92,70
2	10	22,6	226	18400	81,42
3	10	22,6	226	16300	72,12
4	10	22,6	226	17650	78,10
5	10	22,6	226	18100	80,09
6	10	22,6	226	18500	81,86
7	10	22,6	226	18450	81,64
8	10	22,6	226	23500	103,98
9	10	22,6	226	23300	103,10
10	10	22,6	226	15300	67,70
f _m [kg/cm ²]					84,27
σ ² =					145,86
σ =					12,08
C.V. [%]					14,33
f _m [kg/cm ²]					61,29

Resultados de los ensayos a compresión simple
Pilas de una pieza por tres o cuatro de alto

Muros 4,5 y 6

Mortero 1:0.25:3					
No.	Ancho [cm]	Altura [cm]	Diagonal [cm]	Carga P [kg/cm ²]	v [kg/cm ²]
1	10	35,6	52,5	4810	9,16
2	10	36,3	52,2	4430	8,49
3	10	36,5	52,5	4410	8,40
4	10	36,2	53,0	5100	9,62
5	10	36,0	52,3	4720	9,02
6	10	35,6	51,6	4820	9,34
7	10	35,4	52,3	6300	12,05
8	10	36,0	52,0	6160	11,85
9	10	36,2	52,0	4520	8,69
10	10	35,6	51,0	5020	9,84
11	10	36,1	52,1	4500	8,64
12	10	35,7	52,0	4010	7,71
v_m [kg/cm ²]					9,40
$\sigma^2 =$					1,75
$\sigma =$					1,32
C.V. [%]					14,05
\dot{v}_m [kg/cm ²]					6,27

Muros 1,2 y 3

Mortero 1:0.25:3					
No.	Ancho [cm]	Altura [cm]	Diagonal [cm]	Carga P [kg/cm ²]	v [kg/cm ²]
1	11,8	37,0	51,5	4820	7,93
2	11,8	36,6	52,0	5380	8,77
3	11,7	36,6	52,3	5170	8,45
4	11,7	36,9	52,2	4500	7,37
5	11,7	36,9	52,2	4530	7,42
6	11,8	36,9	52,2	5760	9,35
7	11,8	36,9	52,2	6120	9,94
8	11,8	36,3	52,2	5060	8,21
9	11,9	36,7	52,6	4780	7,64
10	11,9	36,7	52,8	4380	6,97
v_m [kg/cm ²]					8,20
$\sigma^2 =$					0,88
$\sigma =$					0,94
C.V. [%]					11,44
\dot{v}_m [kg/cm ²]					5,47

Muros 7.8 y 9

Mortero 1:0.5:4					
No.	Ancho [cm]	Altura [cm]	Diagonal [cm]	Carga P [kg/cm ²]	v [kg/cm ²]
1	10	38,0	52,6	2550	4,85
2	10	38,1	52,4	2570	4,90
3	10	38,0	52,3	2470	4,72
4	10	37,7	52,4	2700	5,15
5	10	37,9	52,3	2240	4,28
6	10	37,8	52,3	2260	4,32
7	10	38,1	52,7	2350	4,46
8	10	38,0	53,0	2360	4,45
9	10	38,0	52,0	2900	5,58
10	10	37,8	52,4	2550	4,87
v_m [kg/cm ²]					4,76
$\sigma^2 =$					0,16
$\sigma =$					0,40
C.V. [%]					8,49
\dot{v}_m [kg/cm ²]					3,17

Mortero 1:0.5:4					
No.	Ancho [cm]	Altura [cm]	Diagonal [cm]	Carga P [kg/cm ²]	v [kg/cm ²]
1	10	38,0	53,0	1700	3,21
2	10	37,8	52,5	2350	4,48
3	10	37,8	52,8	2100	3,98
4	10	38,1	52,6	2050	3,90
5	10	37,7	52,2	2330	4,46
6	10	37,9	52,8	1990	3,77
7	10	38,1	52,6	2000	3,80
8	10	38,1	52,7	3170	6,02
9	10	38,1	52,8	2780	5,27
10	10	38,0	52,7	2550	4,84
v_m [kg/cm ²]					4,37
$\sigma^2 =$					0,68
$\sigma =$					0,83
C.V. [%]					18,93
\dot{v}_m [kg/cm ²]					2,91

Resultados de los ensayos a compresión diagonal
Murete de una y media pieza

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

1. Meli R. y Hernández O.; "Propiedades de piezas para mampostería producidas en el Distrito Federal"; Instituto de Ingeniería, UNAM; No. 297, 1971
2. Hernández O., Guzmán H.; "Ensayo bajo Cargas Laterales Alternadas de Muros Construidos con el Tabique MULTEX", Laboratorio de Materiales, Facultad de Ingeniería, UNAM, 1996
3. Hernández O.; "Comportamiento de Muros Confinados Construidos con Tabique TABIMAX ante Cargas Laterales Alternadas". Informe 01/98, Laboratorio de Materiales, Facultad de Ingeniería, UNAM, Mayo de 1998
4. Alcocer S. et al ; "Estudio de Factibilidad Técnica del Uso de Tabique VINTEX y MULTEX para Vivienda Económica", Informe IEG/01/97 de la Coordinación de Investigación, Área de ingeniería Estructural y Geotécnia, CENAPRED, Julio 1997
5. Castilleja F. L. et al. ; "Estudio Preliminar para la Determinación de Valores de Diseño de Muros de Mampostería a base de Tabique Rojo Recocido y Tabique Hueco para la Ciudad de Puebla", tesis profesional, Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla, marzo de 1995
6. Ruiz C. et al. ; "Obtención de Valores de Diseño para Muros de Mampostería a base de Tabique Rojo Común, Tabique Hueco Vertical y Tabique Multiperforado para la Ciudad de Puebla", tesis profesional, Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla, noviembre de 1995
7. Normas Técnicas Complementarias para el Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería; Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal; 1996
8. Hernández O. y Meli R.; "Modalidades de refuerzo para mejorar el comportamiento sísmico de muros de mampostería"; Instituto de Ingeniería UNAM; No. 382, 1976

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Oscar Hernández Basilio, por haber dirigido esta tesis dándome la oportunidad de participar en este proyecto.

A la compañía NOVACERAMIC por haber facilitado los materiales utilizados en este trabajo.

Al laboratorio de materiales de la Facultad de Ingeniería y el personal que colaboró por hacer posibles todas las pruebas.

Declaro terminado este material de investigación sufrido, ideado y llevado a cabo entre los años del 97 y el 99, aún y a pesar de impedimentos tales como: la mala suerte, las horas de frío, la tristeza, el cansancio, el presente, el pasado y mi futuro, en fin todo aquello que pudiera ser tomado por mi, o por cualquiera como un obstáculo en este tiempo de mentiras, verdades, de incredibilidad e ignorancia o negación de la existencia real y física de la mala fe.