

MAMPOSTERIA ENCADENADA. ESTUDIO DIRIGIDO A LA VERIFICACION DEL ACTUAL REGLAMENTO ARGENTINO

Luis D. Decanini*

Alfredo Payer**

Ernesto Ochat***

RESUMEN

Se presenta una síntesis de los trabajos experimentales realizados en el Departamento de Estructuras de la Universidad Nacional de Córdoba (República Argentina) dentro del programa de investigación "Comportamiento Estructural de la Mampostería" que se desarrolla a partir del año 1980 en el Laboratorio del mencionado Departamento.

Se incluyen también algunos aspectos normativos para el diseño sismorresistente de la mampostería contenidos en la parte III del Reglamento INPRES-CIRSOC 103 (actual Reglamento argentino), con el objeto de cotejarlos con los resultados experimentales obtenidos.

Se examina lo relativo a la determinación de parámetros básicos de resistencia de la mampostería (a compresión y al corte).

Luego se describen y analizan los ensayos realizados sobre muros de mampostería encadenada (con y sin aberturas) aplicando cargas horizontales reversibles.

Se estudia el comportamiento resistente histerético y deformacional. También se presentan los resultados obtenidos sobre algunos de los especímenes que fueron reparados con acero y microconcreto y posteriormente ensayados.

Finalmente se formulan algunas conclusiones derivadas de los estudios realizados referidos al comportamiento sismorresistente de la mampostería.

1. INTRODUCCION

En la República Argentina la utilización de la mampostería para la construcción de viviendas y edificios de distintos destinos está muy difundida. Aproximadamente el 80% de las unidades habitacionales se construyen con este material (Fig. 1). Además un elevado porcentaje de dichas unidades se construyen en zonas sísmicas.

Desde el punto de vista estructural, se puede decir que se utiliza a este material de dos maneras:

- a) Como elemento resistente a cargas gravitatorias y también a fuerzas horizontales, en aquellas construcciones cuya estructura está constituida fundamentalmente por muros de mampostería (encadenada o armada).
- b) Como elemento de cerramiento o divisorios, en edificios que poseen una estructura resistente de otros materiales (hormigón armado, acero, etc.).

En estos casos la mampostería resulta solicitada por las acciones sísmicas.

Un caso particular es el de la mampostería incluida en pórticos de hormigón armado, donde cumple una importante función modificando la rigidez, la resistencia y el funcionamiento de los pórticos ante acciones laterales.

Mediante la observación y análisis de los daños provocados por los terremotos, complementados con estudios experimentales, se ha logrado una vasta experiencia relacionada al comportamiento sísmico de las construcciones de mampostería.

Existen antecedentes de verdaderas catástrofes, producidas por colapsos totales, casos que corresponden a construcciones de mampostería simple ejecutada sin ningún tipo de previsiones sismorresistentes.

Por el contrario, otros terremotos han permitido comprobar el buen comportamiento de la mampostería encadenada bajo acciones severas. Lo mismo ha

ocurrido con la mampostería con armadura distribuida, en aquellos casos en que las cuantías y detalle de las mismas fueron adecuados.

Puede afirmarse que si bien algunas características de la mampostería simple, tales como: fragilidad, poca capacidad de absorción y disipación de energía, elevado valor de la relación: peso sobre resistencia, degradación de rigidez, etc. la muestran como un material poco apto para soportar acciones sísmicas; mediante la adecuada incorporación del acero, ya sea de manera concentrada en los bordes (como encadenados) o en forma distribuida en todo el panel, se logra una buena performance de la mampostería bajo los efectos de terremotos.

Esto significa la posibilidad de tener daños reparables para terremotos de proyecto y evitar el colapso total para eventos excepcionales.

Los aspectos expuestos, sumados al gran déficit habitacional existente en el país, fueron determinantes para que en el año 1980 se iniciara en el Departamento de Estructuras de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Córdoba, un programa de investigación denominado "Comportamiento Estructural de la Mampostería Sometida a Excitaciones Sísmicas", cuyo propósito fundamental es la determinación del comportamiento de las estructuras de mampostería frente a acciones sísmicas y gravitatorias mediante el desarrollo de investigaciones experimentales y analítica. También se trata de ponderación y calibración de los criterios normativos.

2. ASPECTOS REGLAMENTARIOS

El Reglamento INPRES-CIRSOC 103 - Normas Argentinas para Construcciones Sismorresistentes declarado de aplicación a nivel nacional en la República Argentina, por el INPRES, a partir del año 1984 está compuesto por tres partes:

PARTE I "Construcciones en General"

PARTE II "Construcciones de Hormigón Armado y Pretensado"

PARTE III "Construcciones de Mampostería"

Realizando una breve síntesis de la PARTE III "Construcciones de Mampostería", se pueden destacar los siguientes aspectos:

Definición de las Acciones Sísmicas, las que pueden calcularse por el procedimiento general dado en la PARTE I o mediante un procedimiento simplificado que nos exime de valorar el período fundamental de la construcción.

En ambos casos se determinan acciones en estado último.

Determinación de los Tipos de Mampostería, se consideran dos tipos básicos de mampostería:

- Mampostería Encadenada: Simple; Armada
- Mampostería Reforzada con Armadura Distribuida

Componentes de la Mampostería, se establecen las especificaciones que deben cumplir los mampuestos (resistencia, dimensiones, área neta, etc.) y los morteros (resistencia, dosajes, etc.)

Muros Resistentes, se fijan las dimensiones mínimas que deben tener los distintos tipos de muros para poder ser considerados resistentes a fuerzas horizontales.

Se dan también las alturas y número de pisos máximos que pueden tener las construcciones de los distintos tipos de mampostería en las respectivas zonas sísmicas.

Procedimientos de Análisis, existen dos posibilidades:

- a) Procedimiento General, semejante al método de las "fuerzas estáticas equivalentes" definido en la PARTE I.

- b) Procedimiento Simplificado, que consiste en: Verificar si se cumplen una serie de condiciones de aplicabilidad y finalmente comprobar si existe una cantidad mínima de muros en dos direcciones ortogonales.

Verificación de Resistencias, en este aspecto el Reglamento proporciona fórmulas para verificar, siempre en estado último los muros solicitados por acciones contenidas en su plano (corte, flexo-compresión, cargas verticales) y también por acciones perpendiculares al plano del muro.

Relativo a los *Encadenados* se establecen: dimensiones y cuantías de acero mínimas, detalles de armaduras, procedimientos para calcular los esfuerzos, etc.

Principios de Composición Estructural, el Reglamento da una serie de pautas tendientes a conseguir estructuras con un correcto funcionamiento ante acciones sísmicas.

3. ESTUDIOS EXPERIMENTALES

Dentro del programa de investigación "Comportamiento Estructural de la Mampostería" se distinguen cuatro fases experimentales:

Ensayos sobre componentes de la mampostería (mampuestos y morteros).

Determinación de las resistencias básicas de la mampostería (muretes y pilas).

Ensayos de prototipos a escala natural bajo acciones laterales cíclicas reversibles.

Ensayos sobre muros reparados.

Además de las investigaciones experimentales se realizaron estudios analíticos y se calibraron procedimientos de análisis numérico.

3.a. Ensayos sobre componentes de la mampostería.

3.a.1. Ensayos sobre mampuestos

Se trabajó con cuatro tipos básicos de mampuestos (Fig. 2) a saber:

Ladrillos cerámicos huecos.

Ladrillos cerámicos macizos

Bloques huecos portantes cerámicos

Bloques huecos de hormigón

Sobre mampuestos provenientes de diversos orígenes se realizaron los siguientes ensayos:

Medición de dimensiones

Compresión axial

Absorción de agua

Tracción por flexión (en ladrillos cerámicos macizos)

En términos generales los resultados indicaron que los mampuestos cumplen con los requisitos de resistencia para las calidades mínimas especificadas (normas IRAM: 12518, 1549, 11561).

Se detectó una elevada dispersión en los bloques huecos de hormigón con algunos casos de bajas resistencia. Cuando ensayaron especímenes provenientes de pequeñas fábricas sin controles adecuados de calidad.

Las fábricas de envergadura han logrado bloques de excelente calidad, los que en los últimos años han sido utilizados con armaduras distribuidas en la construcción de edificios de más de diez niveles.

3. a. 2. Ensayos sobre Mortero

Se realizaron ensayos a compresión de cubos de 7 cm. de lado, utilizándose diferentes dosajes que representaban en algunos casos los más utilizados y en otros los indicados por los Reglamentos.

Entre las conclusiones que se obtuvieron las más importantes son:

La resistencia del mortero crece junto con la relación:

$$\frac{\text{CEMENTO}}{\text{CAL} + \text{ARENA}}$$

Los mejores resultados se obtuvieron con relaciones:

$$\frac{\text{ARENA}}{\text{CAL} + \text{CEMENTO}} = 2 \text{ o } 3$$

Todos los dosajes se realizaron en volumen y la cantidad de agua fue necesaria para lograr una buena trabajabilidad.

Cuando se utilizan bloques huecos de hormigón resulta imprescindible que el mortero tenga una buena retentividad para permitir que el bloque se pueda colocar con su humedad natural. Esto se logra utilizando una elevada cantidad de finos, agregando pequeñas proporciones de cal (1/8 en volumen) o mediante el empleo de aditivos fluidificantes.

3.b. Determinación de las Resistencias Básicas de la Mampostería

Después de analizar diversas alternativas para establecer parámetros que permitiesen caracterizar el comportamiento mecánico de la mampostería y ser utilizados en la predicción de la resistencia de las estructuras, se seleccionaron los siguientes:

Resistencia básica a la compresión (σ_{mo})

Resistencia básica al corte (τ_{mo})

Ambos parámetros pueden ser determinados mediante ensayos sencillos sobre muretes y correlacionados con las resistencias, a cargas verticales y horizontales de paneles de mampostería considerando las particulares características de las acciones sísmicas.

3.b.1. Resistencia Básica a la Compresión de la Mampostería (σ_{mo})

Para su determinación se realizaron ensayos de compresión axial sobre muretes cuya altura varía de 60 cm. a 80 cm. y su relación alto sobre espesor es próxima a cuatro.

También se ensayaron muretes cuadrados o ligeramente rectangulares de aproximadamente 60 cm. de lado.

La resistencia básica a la compresión se determina dividiendo la carga de rotura por el área bruta de la pila o murete.

$$\sigma_{mo} = \frac{N_u}{\text{AREA BRUTA}}$$

Como resultado de los numerosos ensayos realizados sobre distintos tipos de mampostería y con otros antecedentes disponibles, se establecieron valores

recomendables de esta resistencia básica, que luego sirvieron de base para establecer los valores indicativos especificados en el Reglamento INPRES-CIRSOC 103 PARTE III (tabla 2).

La resistencia básica a la compresión es el parámetro que nos permite calcular la resistencia a la compresión de muros utilizando la siguiente expresión:

$$N_{UR} = \psi \cdot f_m \cdot B_m$$

donde:

N_{UR} Carga vertical última resistida por el muro.

ψ Factor de reducción por excentricidad y esbeltez

f_m Resistencia básica a la compresión de la mampostería

B_M Area bruta de la sección horizontal del muro

3.b.2. Resistencia básica al corte de la mampostería (\bar{f}_m)

Este parámetro o índice de resistencia se determina mediante la ejecución del ensayo de compresión diagonal; que consiste en aplicar a un murete de mampostería, aproximadamente cuadrado una carga en la dirección de una de las diagonales (Fig. 3)

La resistencia básica al corte de la mampostería se calcula con la siguiente expresión:

$$V_{UR} = (\alpha \bar{f}_{mo} + \beta \sqrt{0}) B_M$$

Siendo \bar{f}_{mo} resistencia básica al corte de la mampostería

N_R Carga de rotura

a Longitud del lado del murete

e Espesor del murete

Al igual que para la resistencia básica a la compresión, con los resultados de ensayos realizados con distintos tipos de mampuesto y mortero se elaboró una tabla de valor recomendables que luego fueron utilizados como referencia para fijar los valores indicativos dados por el Reglamento INPRES - CIRSOC 103 PARTE III (Tabla No. 1).

La resistencia básica al corte nos permite predecir la resistencia al corte de la mampostería encadenada con la fórmula:

$$V_{UR} = (\alpha \bar{f}_{mo} + \beta \sqrt{0}) B_M$$

Siendo:

v_{UR} El esfuerzo de corte resistido por la mampostería encadenada

f_m Resistencia básica al corte de la mampostería

α Coeficiente que considera la reversibilidad de las cargas y el efecto de escala (El Reglamento INPRES-CIRSOC 103 adopta $\alpha = 0,6$).

β Coeficiente que cuantifica el efecto de las cargas verticales (El Reglamento INPRES-CIRSOC 103 adopta $\beta = 0,3$).

σ_c Tensión media de compresión originada por el 85% de las cargas permanentes.

B_M Area bruta de la sección horizontal

Complementariamente se realizaron ensayos de compresión diagonal con muretes en los que no se llenó con mortero las juntas verticales. Se obtuvieron valores de resistencia muy bajos, lo que confirma la gran influencia de este detalle constructivo en la resistencia al corte de la mampostería y a su vez justifica la exigencia del Reglamento referido al llenado de las juntas verticales.

3.c. Ensayos de Prototipos a Escala Natural

3.c.1. Generalidades

La tercera fase de estudios experimentales de la investigación, se llevó a cabo mediante el ensayo de prototipos a escala natural, aplicándoles cargas estáticas reversibles, de modo tal que simulen acciones sísmicas.

Debido a la amplia gama de variables y particularidades que afectan el comportamiento de los muros, tales como tipos de mampuestos, armadura concentrada y/o distribuida, aberturas, acciones verticales, etc., se decidió fijar algunas, dejando para futuras etapas el estudio experimental de otras alternativas.

Dentro de este marco, se realizaron en una primera etapa 8 paneles constituidos por 2 tipos de mampuestos (4 cada uno). Estos mampuestos fueron ladrillos cerámicos macizos y bloques huecos portantes cerámicos. A su vez en cada tipo de mampuesto se confeccionaron muros con y sin abertura. En una segunda etapa se construyeron otros 8 muros con ladrillos cerámicos huecos (Tipo A 13) y con bloques huecos de hormigón. Todos los prototipos llevaban encadenados perimetrales de hormigón armado, y los que poseían aberturas tenían una armadura de antepecho. No se aplicaron cargas verticales.

En las figuras 4 y 5 se pueden apreciar las dimensiones geométricas y las características generales de los paneles de ladrillos cerámicos macizos.

Las características de los ocho primeros prototipos se encuentran en la Tabla No. 3, donde se detallan: el espesor (e) la resistencia de los mampuestos (σ'_{mb}), la resistencia de los morteros (σ'_p), la resistencia de las armaduras (β_s), la resistencia del hormigón (σ'_{bk}), la resistencia básica de la mampostería a la compresión (σ'_{mo}) y la resistencia básica al corte (ζ_{mo}).

3.c.2. Modalidad y Procedimientos de Ensayos

De entre las posibles formas de realizar los ensayos se empleó la modalidad "en voladizo", debido a las instalaciones y equipos de medición disponibles.

Esta modalidad de ensayo supone que el prototipo se encuentra empotrado en su base, pudiendo tener movimientos libres, tanto horizontales como verticales en su borde superior.

Para lograr el empotramiento, se construyeron los paneles sobre una viga rígida en las que se anclaban los encadenados. Esta viga se anclaba a su vez en la losa reactiva.

Los gatos de carga se montaron sobre un pórtico de reacción convenientemente reforzado, lo que se aprecia en el esquema de la Fig. 6).

Se midieron deformaciones diagonales en ambas caras del muro, en el borde superior del mismo y en la viga de amarre. Los instrumentos de medición fueron comparadores centesimales. La disposición de éstos se aprecia en la Fig. 4.

El procedimiento de ensayo, consistió en aplicar gradualmente carga con el gato I hasta un nivel determinado, y luego descargar hasta anular esta acción. Posteriormente se realizaba un proceso análogo con el gato II (opuesto al I). los ciclos eran 3 para cada nivel de carga. En todos los casos se relevaron los cuadros fisurativos. En la Ref. (3), se brindan mayores detalles del procedimiento de ensayo.

3.c.3. Análisis y Resultados de los Ensayos

Observaciones :

En la tabla 4, se detallan los resultados obtenidos para los 8 primeros muros, en lo referente a cargas y deformaciones angulares. En esta tabla se hace mención a tres estados (Fig. 7), los que se pueden definir como sigue:

- Fisuración inicial: aparecen las primeras fisuras que se cierran al desaparecer la acción.
- Agrietamiento completo: es un cuadro fisurativo estabilizado. Las fisuras ya no desaparecen.
- Carga máxima: es el máximo valor de carga horizontal alcanzado.

Sobre estos resultados se puede enunciar entre otras cosas que para muros de ladrillo cerámico macizo, la carga de fisuración inicial es del orden del 50% de la de agrietamiento completo, mientras que para los otros paneles la diferencia fue de aproximadamente un 20%.

En los muros sin abertura y de ladrillo cerámico macizo, la carga de fisuración es el doble aproximadamente que para muros con aberturas.

Por otra parte y comparando los distintos tipos de mampuestos, se puede observar que las cargas de agrietamiento completo y máxima, en los prototipos de ladrillos cerámicos macizos, fueron alrededor de 1,5 veces mayores que las obtenidas para muros de bloques huecos portantes cerámicos.

Esfuerzos de Corte

Dividiendo las cargas horizontales que producen cada uno de los estados citados, por el área horizontal de los paneles (incluyendo los encadenados y descontando las aberturas) se obtienen las tensiones de corte ($\bar{\sigma}$).

Como en los ensayos no se aplicaron cargas verticales resulta muy importante la comparación de estos valores ($\bar{\sigma}$) con la resistencia básica al corte ($\bar{\sigma}_{mo}$), de modo tal que se pueden calibrar las relaciones (α) propuestas por las normativas vigentes.

En el caso particular del Reglamento INPRES-CIRSOC 103, esta comparación se puede realizar dividiendo las tensiones de corte.

($\bar{\sigma}_{gr}$ y $\bar{\sigma}_{m\acute{a}x}$) por el coeficiente $\alpha = 0,6$. Cabe señalar que en esta investigación, las resistencias básicas al corte obtenidas ($\bar{\sigma}'_{mo}$), son menores que las propuestas por dicho Reglamento.

Relacionando las tensiones de corte con la raíz cuadrada de la resistencia básica a la compresión ($\bar{\sigma}'_{mo}$), es posible obtener factores, comparables con los expresados por otros autores.

En la tabla 5a, se encuentran expresadas las tensiones y relaciones mencionadas.

Esfuerzos de Flexión

Con un criterio simplificado se consideró que los esfuerzos de flexión fueron resistidos por los encadenados verticales, lo que permitió utilizar una fórmula por el Reglamento citado para estimar el momento flector resistente último (M_{uR}) y compararlo con el momento solicitante último (M_{uS}), el que se determinó conociendo la carga máxima y su punto de aplicación. Dicha fórmula se puede enunciar como:

$$M_{uR} = A_c \beta_s L_e$$

A_c Sección total de armadura encadenados verticales

β_s Tensión de fluencia nominal de acero

L_e Separación entre ejes encadenados

En tabla 5b, se sintetizan los cálculos mencionados.

Ductilidades Obtenidas

En la tabla 6 se resumen las características de cada uno de los paneles ensayados.

Se realizó la determinación experimental de las ductilidades disponibles en cada prototipo. Si bien éstas se calculan para un elemento aislado, su conocimiento servirá para valorar la ductilidad global de la estructura, valor interviniente en los análisis dinámicos simplificados.

Como es sabido, la mampostería tiene un comportamiento fuertemente no lineal. Además en la mampostería encadenada especialmente resulta muy difícil determinar el momento en que la estructura comienza a fluir, y, si los ensayos se realizan a carga controlada, no se puede construir la parte descendente de la curva envolvente. Como

estos valores son necesarios para definir la ductilidad según los métodos clásicos, se concluye en que su determinación se ve muy influenciada por los criterios con que se calculen la carga de fluencia y la carga máxima.

Los estudios realizados en nuestro Laboratorio nos indican que para la mampostería encadenada ensayada a carga controlada, los criterios más adecuados para definir estos puntos característicos son los siguientes:

Punto de Fluencia

Punto de intersección de: la recta pasa por el origen la deformación correspondiente al 60% de la carga máxima, con la recta que contiene al punto de carga máxima e iguala la energía de deformación anelástica del modelo y del sistema analizado (Fig. 8) Ref. (6).

Punto de Deformación Máxima

Considerar que la deformación máxima corresponde al momento en que se alcanza la carga máxima.

Ductilidad

$$\text{Relación entre: } \frac{\text{Deformación de Carga Máxima}}{\text{Deformación de Fluencia}} \quad (\text{Fig. 8})$$

En la tabla No. 7 se han volcado los valores de ductilidades obtenido para cada uno de las mamposterías ensayadas, en ella puede observarse:

- a) Los muros con aberturas cuya ubicación y dimensiones son las especificadas en el Reglamento, presentan mayor ductilidad que los muros llenos equivalentes, a pesar de tener menor resistencia al corte.
- b) Los muros de ladrillos cerámicos macizos tienen una ductilidad muy superior a la obtenida para los otros mampuestos.

- c) Si la rotura se produce por corte de la mampostería, la ductilidad obtenida es aceptable, en cambio si la rotura se debe a falla por corte de la columna de encadenado, la ductilidad es baja e independiente del mampuesto utilizado.

Características de las Curvas Histeréticas

En los ciclos histeréticos se pudo evaluar como era previsible un estrangulamiento y consiguiente disminución del área encerrada, para los ciclos finales de cada nivel de carga (Fig. 9). Confeccionando una curva envolvente de los ciclos y relacionando distintos tipos de mampuestos y muros con y sin abertura, se pueden obtener curvas como las de las figuras 10 y 11. En la figura 10, se comparan los dos tipos de mampuestos, y puede apreciarse, que además de un nivel de carga mayor, se alcanzan mayores deformaciones horizontales en los muros de ladrillo cerámico macizo. Por último en la Fig. 11 se comparan muros con y sin abertura, y puede apreciarse que no hay prácticamente variaciones de carga para los muros de ladrillos cerámicos macizo (N1 - M3), y se observa una pequeña variación para los prototipos de bloques huecos portantes cerámicos (M6 y M7). En todos los casos es remarcable la diferencia de deformaciones máximas alcanzadas.

Coefficiente de Amortiguamiento

No existe un método que permita determinar el amortiguamiento de una estructura real en forma exacta, pero se han estudiado procedimientos aproximados, los que dentro de ciertas hipótesis permiten calcular el valor del amortiguamiento en un elemento estructural.

El Prof. Newmark estableció que el amortiguamiento de una estructura de un grado de libertad que posea una curva carga-deformación simétrica respecto al origen puede ser definido como:

$$\bullet = \frac{E. T.}{2 \gamma P_y Y}$$

E.T.: Energía disipada en el ciclo histerético

Py: Carga máxima en el ciclo considerado

Y: Deformación máxima en el ciclo considerado

En las figuras 12, 13 y 14 se representan las variaciones del coeficiente de amortiguamiento, obtenidas con este criterio, para cada uno de los muros estudiados en función del porcentaje de la carga máxima.

Puede apreciarse que resulta muy realista adoptar un valor del 5% para el amortiguamiento en este tipo de estructuras.

4. REFUERZOS DE PANELES DAÑADOS

Luego de un movimiento sísmico, pueden aparecer daños en las estructuras, estos deben ser reparados para permitir la puesta en servicio con una adecuada seguridad.

Existen diferentes técnicas para reparar las estructuras de mampostería, pero todas ellas producen cambios significativos, tanto en la resistencia como así también en la rigidez de los elementos reparados. El conocimiento de estos dos parámetros, resulta imprescindible para realizar un adecuado proyecto de reparación, contemplando la nueva distribución de fuerzas en la estructura.

La técnica más utilizada, en nuestro medio, para la reparación de muros puede describirse así:

- a) Picado de la superficie a reparar para aumentar la rugosidad y mejorar la adherencia eliminando el revoque existente.
- b) Ejecución de perforaciones cada 50 cm. en ambas direcciones para materializar el anclaje de la malla.

- c) **Aplicación de una primera capa de mortero cementicio para facilitar la adherencia de la malla.**
- d) **Colocación de anclajes y fijación de la malla**
- e) **Aplicación de una segunda capa de mortero cementicio recubriendo totalmente las mallas.**

A pesar de ser una metodología tradicional, no existe ningún procedimiento de dimensionado adecuado para este tipo de reparación.

Utilizando los ensayos realizados por distintos investigadores, se ha tratado de evaluar la influencia de los elementos resistentes en este tipo de refuerzos.

En la Fig. 15 se relacionan la tensión de corte máxima en la capa de mortero con la cuantía de armadura. Puede apreciarse en esta gráfica una elevada dispersión en los resultados, lo que nos indica que no existe una relación directa entre la cuantía de la armadura y la resistencia última alcanzada por el prototipo. Esto puede atribuirse a que la falla se alcanza al fisurarse el mortero y esta tensión es independiente de la cuantía de armadura.

A pesar de que la cuantía de acero no contribuye en la resistencia final del muro reparado, su importancia reside en que evita fisuraciones prematuras del mortero, dando a la estructura capacidad de deformarse anelásticamente.

En la Fig. 16 se ha graficado la tensión de corte máxima alcanzada en la capa de mortero en función de la resistencia a la compresión del mismo. Puede apreciarse que a medida que mejora la calidad del mortero aumenta la tensión de corte última en el mismo.

Basándose en los valores obtenidos, se proponen dos ecuaciones (ver Fig. 16) que nos permiten establecer cuál será la tensión de corte última del mortero conociendo la resistencia a la compresión del mismo.

Conociendo las dimensiones del muro, el espesor del refuerzo y la carga que debe resistir: inmediatamente determinamos la característica del mortero a utilizar en la reparación.

Con el objeto de observar el comportamiento sismorresistente de esta técnica de reparación, se procedió al refuerzo del prototipo M-6 (bloques cerámicos huecos) siguiendo los pasos anteriormente descritos.

El muro reforzado fue ensayado de igual forma que el original, en la Fig. 17 se observa la curva carga-desplazamiento de ambos.

Puede apreciarse un aumento significativo de la carga de rotura y de rigidez.

La carga máxima alcanzada se corresponde con la calculada con la fórmula anteriormente propuesta.

En la Fig. 18 puede observarse el ciclo histerético correspondiente a la carga máxima de rotura de ambos prototipos. Resultan evidentes las diferencias en resistencia, rigidez y capacidad de disipación de energía.

5. CONCLUSIONES

1. Mediante ensayos sencillos de compresión axial y compresión diagonal sobre muretes es posible definir dos parámetros o índices de resistencia: resistencia básica a la compresión de la mampostería y resistencia básica al corte de la mampostería. A partir de los mismos se puede predecir la resistencia de elementos estructurales mediante la aplicación de expresiones adecuadas con oportunos coeficientes de transposición, los que deben considerar efectos de escala y de reversibilidad de las cargas.
2. De los ensayos a compresión diagonal resulta que la falta de llenado en juntas verticales, en construcciones que utilizan bloques huecos (cerámicos y hormigón) disminuyen abruptamente la resistencia al corte.

De este tipo de ensayo resulta también que el mortero de cal y arena sin ningún contenido de cemento lleva a resistencias al corte sumamente bajas.

Como consecuencia de estas observaciones, dichas situaciones, deben excluirse en los muros que cumplan funciones sismorresistentes.

3. La evaluación de la capacidad resistente al corte en muros con aberturas, puede realizarse con la expresión reglamentaria, siempre que se considere la sección horizontal efectiva del muro a nivel de la abertura, esto a la luz de los resultados obtenidos en los ensayos.
4. El tipo de material utilizado, influye en los niveles de deterioro observados, bajo grandes deformaciones.

En los muros de bloques huecos portantes cerámicos el desprendimiento de las caras externas a causa de la rotura previa de las paredes internas origina un grado de deterioro que no se manifiesta en los muros de ladrillo cerámico macizo.

5. Cuando aparece la fisuración inicial, las rigideces secantes de los muros disminuye a valores entre el 50 y el 70% de las correspondientes a niveles

previos de carga. Para situaciones de agrietamiento completo, las rigideces secantes están comprendidas entre el 20% y 30% de los valores observados previamente a la fisuración. Para los niveles de carga máxima, los valores de rigideces secantes varían entre el 5% y 20% de los observados para niveles de carga previos a la fisuración.

Considerando cuadros fisurativos comparables, las rigideces de los muros con aberturas resultan en promedio del orden del 40% de los correspondientes a muros llenos.

6. De los ensayos realizados sobre prototipos a escala natural, si bien no se aplicaron cargas verticales surge que la estimación de la resistencia al cortante con la expresión indicada por el Reglamento INPRES-CIRSOC 103, es adecuada. Lo cual también se ha comprobado examinando en detalle ensayos realizados por otros autores.
7. Los comportamientos histeréticos observados pueden considerarse en general aceptables.

Los prototipos de ladrillos cerámicos macizos han presentado en general un comportamiento muy satisfactorio con muy buena capacidad de disipación de energía. Su ductilidad es muy superior a la obtenida en cualquier otro mampuesto.

Los prototipos de bloques huecos portantes cerámicos construidos con los requerimientos de encadenado correspondiente a las zonas sísmicas 1 y 2 han tenido un comportamiento general aceptable en lo referente a resistencia y posibilidades de disipación energética.

8. Los muros con aberturas que cumplen con la normativa nacional tienen ductilidades superiores a muros equivalentes sin aberturas.
9. Es realístico proponer un coeficiente de amortiguamiento del 50% para las construcciones de mampostería.

10. Los muros reparados con capas de mortero y mallas de acero muestran un buen comportamiento sismorresistente. Pero tanto su resistencia como su rigidez varían sensiblemente con respecto al panel original. Estos aspectos deber ser considerados, ya que modifican la distribución de esfuerzos.
11. La armadura horizontal utilizada en el refuerzo no influye significativamente en su resistencia final al corte, siendo necesaria la colocación de una cuantía mínima para proveer a la estructura de una adecuada capacidad de deformación anelástica y evitar fisuras por retracción.
12. La tensión de corte última de la reparación está determinada principalmente por la resistencia a la compresión del mortero utilizado. La fórmula propuesta para calcular la tensión de corte última mostró una buena correlación con los ensayos analizados.
13. En general, las especificaciones y criterios del Reglamento INPRES-CIRSOC 103, han sido reafirmadas por los resultados experimentales hallados hasta el presente.
14. Se considera necesario continuar con el desarrollo de la investigaciones experimentales abarcando parámetros distintos a los examinados hasta el presente.

BIBLIOGRAFIA

1. DECANINI, L.D.- PAYER A.- TERZARIOL R.- "Contribución al establecimiento de los índices de la mampostería. Resultados experimentales". Memoria Jornadas Argentinas de Ingeniería Estructural - 1982.
2. DECANINI, L.D.- PAYER, A.- "Comentarios sobre normas para construcciones sismorresistentes de mampostería". Memoria III Jornadas Argentinas de Ingeniería Estructural - Agosto 1983.
3. DECANINI, PAYER, SERRANO, TERZARIOL.- "Investigación experimental sobre comportamiento sismorresistente de prototipos a escala natural de muros de mampostería encadenada".- Memoria Colloquia 85 - Tomo IV - 1985.
4. CAPRARI, A.- DECANINI, L.- "Evaluación de la resistencia sísmica de estructuras de mampostería.- Aplicación del programa P O R y comparación con criterios normativos". Memoria II Jornadas Argentinas de Ingeniería Estructural. Tomo III Año 1982.
5. Reglamento INPRES-CIRSOC 103 - Parte III - Construcciones de Mampostería. Noviembre 1983.
6. CARL LUDERS SCH - HIDALGO PEDRO.- "Ductilidad y degradación de rigidez en muros de mampostería armada". Colloquia 87 - Volumen I - Pags. 33/47.
7. DECANINI, L.- OCHAT, E.- "Estudio experimental de los parámetros determinantes del comportamiento de muros de mampostería encadenada bajo cargas cíclicas horizontales" - VII Jornadas Argentinas de Ingeniería Estructural.
8. OCHAT, E., DECANINI, L.- "Influencia de las características del mortero en el comportamiento de la mampostería de bloques huecos de hormigón -

Acciones verticales y horizontales estructural de la mampostería.- VIII Jornadas Argentinas de Ingeniería Estructural.

- 9 DECANINI, L. OCHAT, E.- "Refuerzos de paneles dañados de mampostería mediante capas de mortero y armaduras de mallas. Resultados experimentales y criterios para el proyecto.- X Jornadas Argentinas de Ingeniería Estructural.**

*** Profesor Titular Departamento de Estructuras .- Universidad Nacional de Córdoba .- Argentina.- Asesor del CIRSOC.**

**** Profesor Adjunto Departamento de Estructuras.-Universidad Nacional de Córdoba .- Argentina.- Asesor del CIRSOC.**

***** Becario del CONICET**

Reconocimientos

El presente trabajo ha sido preparado con el apoyo de la ACDEC (Asociación Cooperadora del Departamento de Estructuras). Los trabajos de compaginación y dactilografía estuvieron a cargo del señor Elinó Oscar Pereyra.