

# COMPORTAMIENTO SÍSMICO DE UN MURO DE ALBAÑILERÍA CONFINADA CON INSTALACIÓN SANITARIA EN SU INTERIOR

Por: Ángel San Bartolomé, Cristhian Chuquín y Jorge Paredes

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

## RESUMEN

En nuestro medio se acostumbra picar a la albañilería de los muros portantes confinados para después instalar la tubería y resanar la zona afectada con mortero; este procedimiento está prohibido por la Norma E.070. Otra solución, menos frecuente, pero permitida por la Norma E.070, consiste en embeber la tubería en una falsa columna de concreto simple. De este modo, con miras de cuantificar la manera de cómo afectan ambas soluciones al comportamiento sísmico de los muros, se efectuaron ensayos de carga lateral cíclica en dos muros, llegándose a la conclusión que la solución tradicional afecta significativamente a la resistencia a fuerza cortante del muro, mientras que la alternativa de emplear falsa columna es adecuada.

## 1. INTRODUCCIÓN

En nuestro país se acostumbra instalar las tuberías después de haberse construido a los muros portantes confinados, para ello se pica a la albañilería, se instala el tubo y después se resana la zona afectada con mortero. Este procedimiento se encuentra prohibido por la Norma E.070 (Ref.1) puesto que: se puede desintegrar la conexión columna-muro (Fig.1) o dividir al muro en dos partes como si existiese una junta vertical en su interior (Fig.2).



Fig.1. Desintegración columna-muro.



Fig.2. Muro dividido en 2 partes.

En reemplazo del procedimiento anterior, la Norma E.070 permite que la tubería quede embutida en el interior de una falsa columna de concreto simple, para lo cual, durante la construcción de la albañilería debe dejarse una cavidad conectando las partes divididas del muro mediante mechas de acero colocadas en las juntas horizontales, tal como aparece en la Fig.3.

Los dos procedimientos citados fueron analizados en este proyecto mediante ensayos de carga lateral cíclica hechos en muros a escala natural de iguales características.



Fig.3. Falsa columna

## 2. CARACTERÍSTICAS DE LOS MUROS

Se construyeron dos muros de albañilería confinada (Fig.4) con la misma geometría, el mismo refuerzo (en cada columna se utilizó 4  $\phi$  1/2" y estribos de 1/4": 1 a 5 cm, 4 a 10 cm y el resto a 20 cm), el mismo ladrillo (King Kong industrial de arcilla), y la misma calidad del concreto  $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$ . Lo que varió fue el proceso constructivo para la instalación de la tubería de desagüe. Esta tubería, de 4 pulgadas de diámetro, fue enrollada con alambre número 16 (Fig.5) y estuvo ubicada en la parte central del muro.

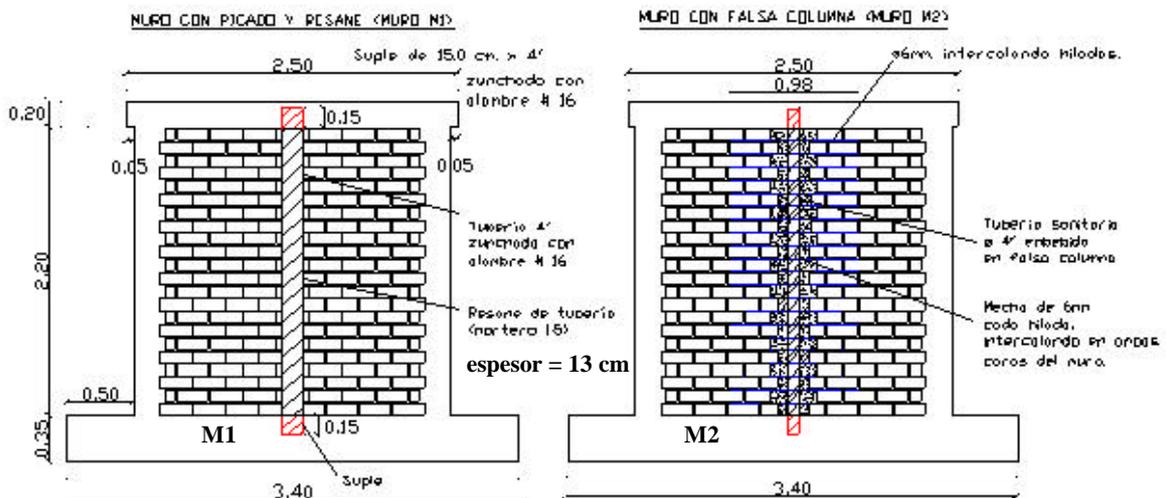


Fig.4. Muro M1 (izq.) picado y resanado, y muro M2 (der.) con falsa columna.

Fig.5

Tubería enrollada con alambre #16.



### 2.1. Instalación de la Tubería en M1

En el muro M1 se siguió el procedimiento tradicional para instalar la tubería (Fig.6). Una vez construida la albañilería y vaciadas las columnas, se picó a la albañilería por una de sus caras y se instaló la tubería insertándola en un suple dejado en la cimentación, para luego resanar la zona afectada con mortero cemento-arena 1:5. Finalmente, se vació la viga solera.

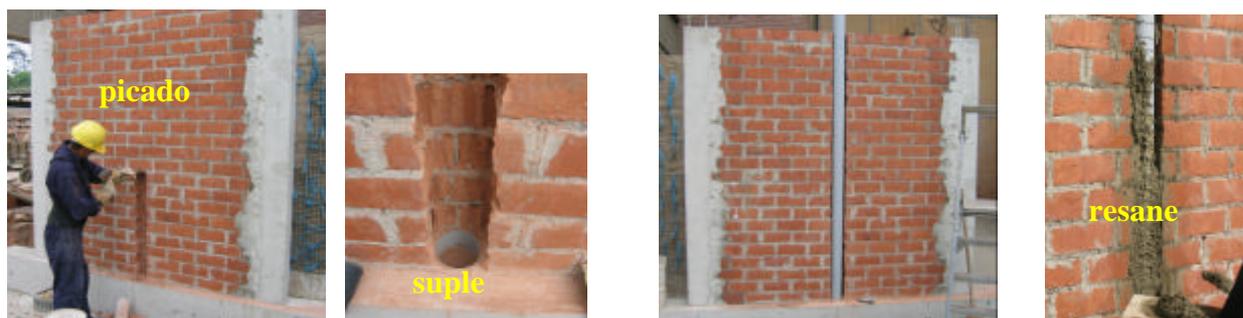


Fig.6. Secuencias de la instalación de la tubería en el muro M1.

## 2.2. Instalación de la Tubería en M2

- Se instaló la tubería insertándola en un suple dejado en la cimentación, para luego proceder con el asentado de los ladrillos, haciendo una conexión dentada tanto con las columnas como con la falsa columna. Para integrar las dos mitades del muro se usaron mechas de 6mm de diámetro por 98 cm de longitud, estas mechas se colocaron en todas las juntas horizontales durante el proceso de asentado de los ladrillos, intercalándolas en ambas caras del muro.
- La falsa columna fue de 13x24 cm y no llevó refuerzo vertical en su interior. Una vez concluido el levantamiento de la albañilería, se procedió con el vaciado de la falsa columna, utilizando grout con 10" de slump y una proporción cemento-arena-confitillo 1 : 2 ½ : 1 ½, con una resistencia a compresión de 175 kg/ cm<sup>2</sup>. Simultáneamente se vaciaron las columnas de confinamiento y finalmente se construyó la viga solera (Fig.7).

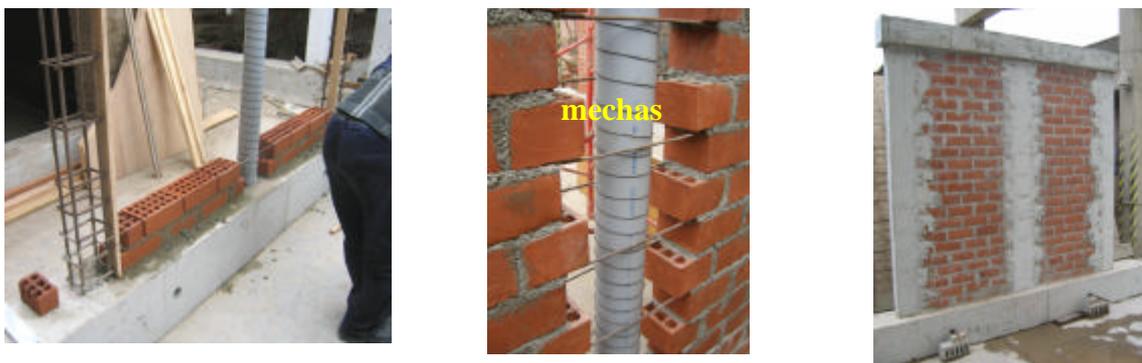


Fig.7. Secuencias en la construcción de M2 con falsa columna.

## 3. MATERIALES EMPLEADOS

Las características de los materiales empleados fueron:

- Ladrillos. Se utilizaron ladrillos industriales de arcilla del tipo King Kong con 18 huecos, con dimensiones de 24x13x9 cm y resistencia a compresión  $f'_b = 119 \text{ kg/cm}^2$  sobre área bruta. Esta unidad calificó como hueca ya que las perforaciones cubrieron el 48% del área bruta.
- Arena. La granulometría de la arena gruesa mostró que no cumplía en su totalidad con la especificación dada por la Ref.1; su módulo de fineza fue 2.66.
- Mortero. Para el asentado de los ladrillos se utilizó mortero con proporción volumétrica cemento-arena 1:4, mientras que para el resane del muro M1 se usó mortero 1:5.
- Cemento. Se utilizó cemento Pórtland tipo I.
- Acero de refuerzo. Se utilizó acero corrugado grado 60, incluso para las mechas de M2.
- Concreto. La resistencia nominal a compresión del concreto empleado en las columnas y viga solera fue  $f'_c = 175 \text{ kg/cm}^2$ . En la falsa columna de M2 se usó grout (ver 2.2).

## 4. ENSAYO DE PRISMAS DE ALBAÑILERÍA

### 4.1 Pilas

Para obtener la resistencia característica a compresión axial  $f'_m$  y el módulo de elasticidad de la albañilería, se construyeron cuatro pilas de 5 hiladas. Los resultados sobre área bruta fueron:

- $f'_m = 64 \text{ kg/cm}^2$                        $E_m = 31328 \text{ kg/cm}^2 = 490 f'_m$

Las pilas tuvieron una falla frágil, concentrándose las fallas en sus caras (Fig.8).

Fig.8  
Pilares ensayados a compresión axial y falla típica.



#### 4.2 Muretes

Para determinar la resistencia al corte ( $v'm$ ) se construyeron cuatro muretes de 60x60 cm. Estos muretes fueron ensayados a compresión diagonal. La forma de falla se muestra en la Fig.9 y el resultado fue:  $v'm = 8.9 \text{ kg/cm}^2$ .

Fig.9  
Falla por tracción diagonal en los muretes.



### 5. ENSAYO DE CARGA LATERAL CÍCLICA

#### 5.1 Técnica de ensayo

Los muros M1 y M2 fueron ensayados a carga lateral cíclica (V), sin carga vertical, controlando el desplazamiento horizontal (D) de la viga solera en 10 fases, según se indica en la Tabla 1. El número de ciclos que se aplicó en cada fase fue el necesario para lograr estabilizar los lazos histeréticos V-D. La carga lateral fue aplicada mediante un actuador dinámico, mientras que los desplazamientos fueron medidos con LVDT, según se muestra en la Fig.10.



Fig.10. Vista global de los dispositivos de ensayo.

Tabla 1. Fases del ensayo de Carga Lateral Cíclica.

Fase	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
D (mm)	0.5	1.0	2.5	5.0	7.5	10.0	12.5	15.0	17.5	20.0
Nº de ciclos	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3

#### 5.2 Comportamiento de los Muros

- En la fase 1 los muros M1 y M2 tuvieron un comportamiento elástico.

- En la fase 2 el muro M1 presentó fisuras verticales a lo largo de la zona del resane, mientras que M2 mantuvo su comportamiento elástico.
- En la fase 3 se formaron fisuras de tracción por flexión en las columnas de ambos muros. En M1 se inició el agrietamiento diagonal con desprendimiento del mortero de resane, formándose una especie de letra “V” con su vértice en la base de la tubería. En M2 se formó una fisura vertical en la parte central de la falsa columna.
- En la fase 4 se inició la trituration de los ladrillos en M1 y el agrietamiento diagonal de M2 cortándose el muro en forma de “X”.
- En la fase 7 se notó en M1 un deslizamiento vertical entre la tubería y las dos partes en que había quedado dividido M1. En M2 se registró: el inicio de la trituration de ladrillos, y el desprendimiento del concreto en la parte central de la falsa columna, pandeándose una de las mechas que atravesaba la falsa columna.
- En la fase 9 la tubería del muro M2 se aplastó en su zona central.
- En la fase 10 el grosor de las grietas diagonales fue: 10 mm en M1 y 15 mm en M2.

En la Fig.11, se muestra el patrón de grietas que tuvieron ambos muros al término del ensayo.

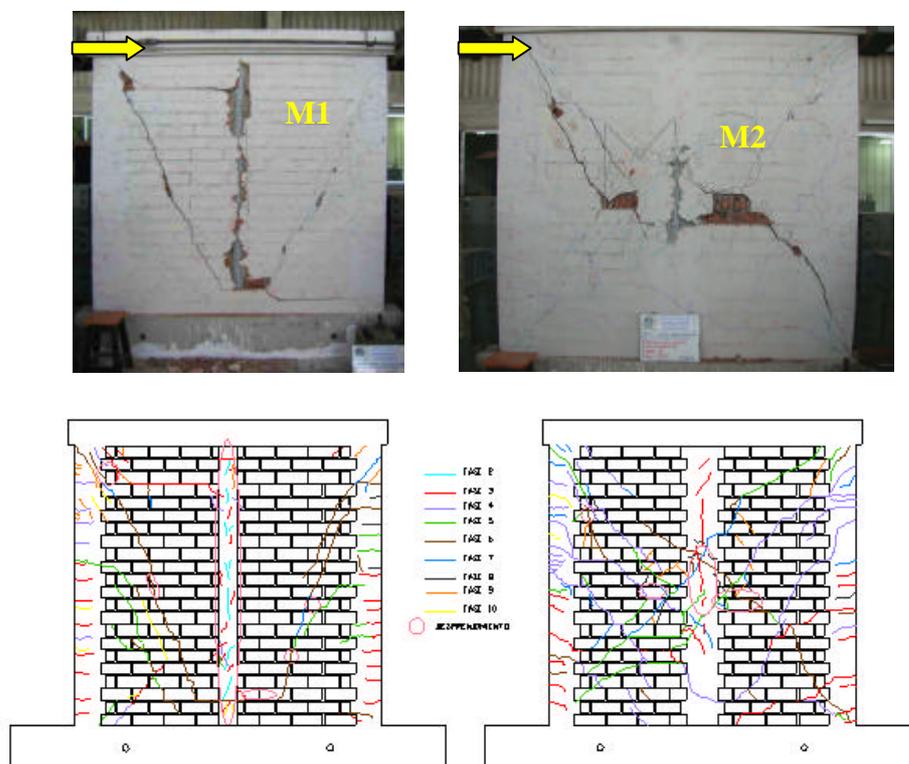


Fig.11. Estado final de los muros M1 (izq.) y M2 (der.).

### 5.3 Análisis Gráfico

En la Fig.12 se muestra los lazos histeréticos V-D para los muros M1 y M2, mientras que en la Fig.13 aparece la envolvente promedio correspondientes a las ramas positivas y negativas del primer ciclo de cada muro. En la Fig.13, se puede observar que a partir de la fase 2 hasta el final del ensayo, el incremento de carga en M1 es reducida a medida que aumenta el desplazamiento lateral, hasta que al llegar a la fase 10 se registra la mayor carga aplicada; mientras que para M2, en la fase 7 se produjo la máxima carga y a partir de esta etapa el muro pierde capacidad de resistencia, por la trituration de su zona central.

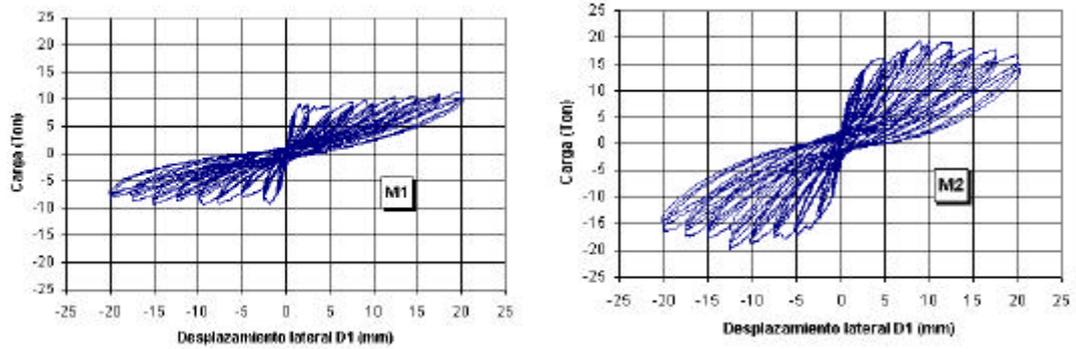
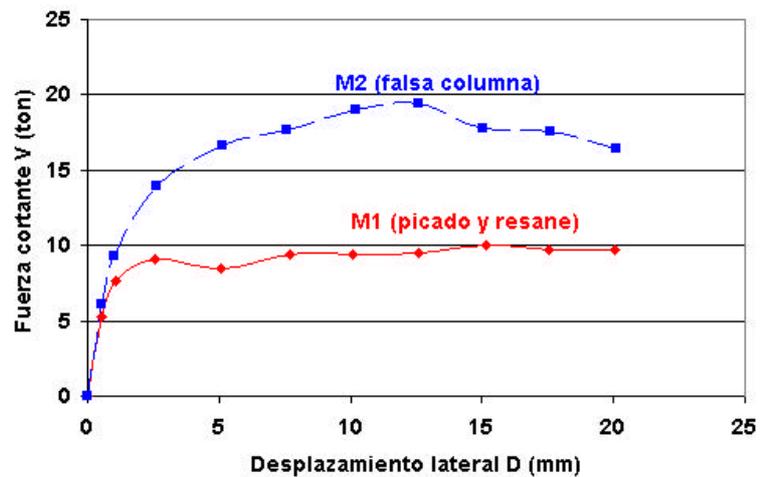


Fig.12. Lazos histeréticos de los muros M1 (izq.) y M2 (der.).

Fig.13  
Envolvente V-D correspondiente al primer ciclo de cada fase.



## 6. COMPARACIÓN DE RESULTADOS

### 6.1. Comparación de Resultados Experimentales

En la tabla 2 se efectúa una comparación de los resultados experimentales obtenidos para M1 y M2; adicionalmente, se indica los porcentajes de incremento de M2 respecto a M1.

Tabla 2. Comparación de resultados experimentales.

Parámetro	Muro M1	Muro M2	Incremento
Rigidez lateral inicial "K" (ton/mm)	11.41	17.75	56%
Carga de agrietamiento de tracción por flexión (ton)	8.39	12.04	44%
Resistencia al agrietamiento diagonal "Vm" (ton)	8.59	15.90	85%
Carga máxima soportada (ton)	11.29	19.69	74%

Puesto que la rigidez lateral, la carga de agrietamiento de tracción por flexión, la resistencia al agrietamiento diagonal, y la carga máxima soportada por el muro M2 fueron superiores a las del muro M1, se puede concluir que el empleo de una falsa columna es una solución idónea para alojar tuberías sanitarias en los muros portantes confinados.

### 6.2. Carga de Agrietamiento Diagonal Teórica (Vm)

Empleando la expresión [1] de la Ref.1, para muros sin carga axial y asumiéndose que M1 queda dividido en 2 partes iguales, mientras que M2 se comporta como una sola unidad se tiene:

$$V_m = 0.5 v'm a t L \quad [1]$$

Donde:

$v'm$  = resistencia a compresión diagonal de muretes =  $8.9 \text{ kg/cm}^2$  (ver 4.2).

$t$  = espesor del muro = 13 cm

$L$  = longitud del muro (240 cm para M2 y 120 cm para cada parte de M1)

$h$  = altura del muro hasta el eje del actuador = 2.3 m

$M$  = momento flector en la base del muro =  $V h$

$\alpha$  = coeficiente de reducción de resistencia =  $V L / M = L / h$ , mayor que 1/3 y menor que 1.

$\alpha$  (M1) =  $1.2 / 2.3 = 0.52$ , para una de las partes de M1

$\alpha$  (M2) =  $2.4 / 2.3 = 1.04 \rightarrow$  usar 1.00

De este modo se obtiene los siguientes resultados teóricos:

- $V_m$  (M1) = 2 partes x  $[0.5 \times 8.9 \times 0.52 \times 13 \times 120] = 7220 \text{ kg} = 7.2 \text{ ton}$
- $V_m$  (M2) =  $0.5 \times 8.9 \times 1.0 \times 13 \times 240 = 13880 \text{ kg} = 13.9 \text{ ton}$

Comparando estos resultados con los experimentales (Tabla 2), se observa que los valores teóricos son 15% menores que los experimentales, pero lo importante es que la baja resistencia que tuvo M1 puede justificarse teóricamente mediante la ecuación 1.

### 6.3. Comparación de M2 con el muro MT de la Ref.3

Empleando el mismo tipo de ladrillo, mortero y refuerzo, en la Ref.3 se construyó un muro "MT" de iguales características que los analizados en este proyecto, pero sin tubería. El muro MT fue sujeto a la misma técnica de ensayo utilizada en este proyecto. Con el objeto de observar si la tubería embutida en la falsa columna de M2 afecta la resistencia de un muro que carece de tubería (MT), se comparan en la Fig.14 la envolvente V-D de ambos muros, concluyéndose que hasta un desplazamiento de 11.5 mm (distorsión 0.005), las diferencias no son significativas.

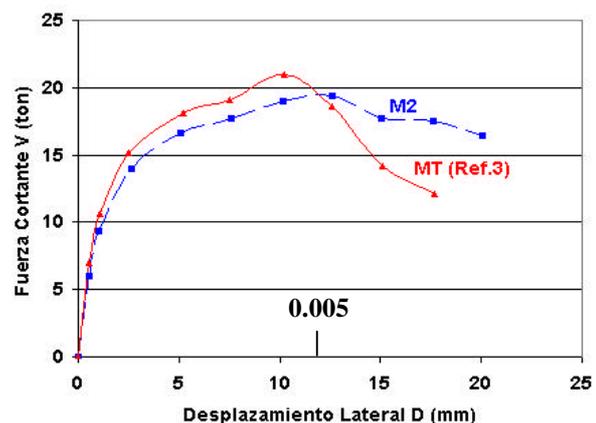
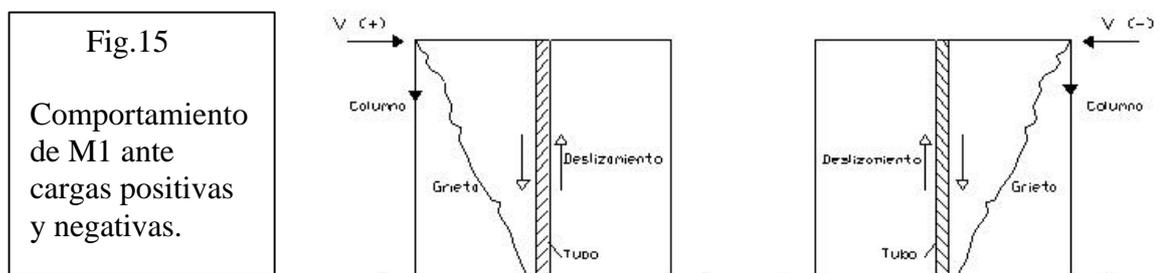


Fig.14. Muro MT de la Ref.3 y comparación de envolventes V-D de MT y M2.

## 7. CONCLUSIONES

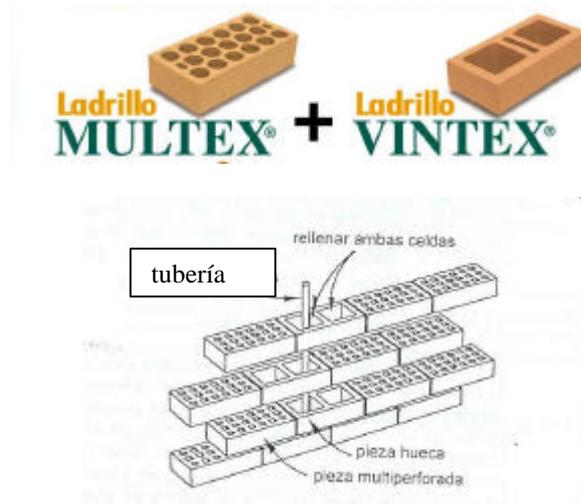
- La Ref.1 clasifica a la unidad empleada en este proyecto como tipo III y descarta su uso en la construcción de muros portantes en las zonas sísmicas 2 y 3 por calificar como hueca (con porcentaje de perforaciones mayor que 30% del área bruta). Esta restricción se debe a que estas unidades terminan triturándose ante los sismos severos. En el caso del muro M1 la trituración de los ladrillos se inició para un desplazamiento de 5.0 mm (fase 4), inferior al límite de reparación especificado por la Ref.1 ( $D = 0.005 h = 0.005 \times 2300 = 11.5 \text{ mm}$ ), por lo que el empleo de estos ladrillos resulta peligroso.
- En el muro M2 la tubería fue embebida en una falsa columna y puesto que su rigidez lateral, carga de fisuración de tracción por flexión, resistencia al agrietamiento diagonal, y la carga máxima fueron superiores a las del muro M1 (en 56%, 44%, 85% y 74%, respectivamente), se puede concluir que el empleo de una falsa columna con la adición de mechas que permiten integrar las partes divididas del muro es una solución idónea para alojar tuberías sanitarias en los muros portantes. En adición, hasta el instante de alcanzarse una distorsión de 0.005 (límite máximo de la Ref.1), el muro M2 tuvo un comportamiento similar al muro MT de la Ref.3 carente de tubería, es decir, M2 se comportó como si no existiese tubería en su interior. Para distorsiones mayores que 0.005, se produjo la degradación de resistencia tanto en MT como en M2 (en menor grado que MT) debido a la trituración de sus unidades huecas.
- El procedimiento de instalación de tuberías mediante el picado y resane de la albañilería hizo que el muro M1 se comporte como si estuviese compuesto por dos muros, uno a cada lado de la tubería instalada, presentándose dos grietas en forma de “V” con el vértice en la base de la tubería. El comportamiento como dos sub-muros fue evidente durante el ensayo, ya que se pudo observar que una parte del muro se desplazaba verticalmente hacia arriba a lo largo de la tubería mientras que la otra parte del muro se desplazaba hacia abajo (Fig.15).



- La construcción de una falsa columna no reforzada pero con mechas de anclaje, dentro de la cual se aloja la tubería, permite al muro tener una falla por corte muy similar a la de un muro que no presenta instalación sanitaria, ya que se registra la formación de dos grandes grietas, describiendo una especie de letra “X” sobre el muro, con la consecuente trituración de la región central de la albañilería, el pandeo de las mechas y el aplastamiento de la tubería cuando se supera la distorsión máxima permitida por la Ref.1 (0.005).
- La baja resistencia al agrietamiento diagonal que tuvo M1, pudo explicarse teóricamente mediante la expresión  $V_m = 0.5 v' m \alpha t L$  que aparece en la Ref.1.
- Cabe destacar que en países como México, se fabrican ladrillos alveolares (Vintex en la Fig.16) que permiten alojar a los conductos eléctricos y sanitarios, para después rellenarlos con grout. Estos ladrillos, de igual geometría externa que los ladrillos sólidos, se colocan sólo en la zona donde existen tuberías. De producirse en el Perú este tipo de unidad, se lograría

abaratar costos mediante la eliminación de la partida de picado y resane, lo cual aceleraría la construcción y evitaría el debilitamiento de los muros.

Fig.16  
México, combinación  
de unidades sólidas y  
alveolares.



## 8. REFERENCIAS

1. Normas Técnicas de Edificación E.070 “Albañilería”. SENCICO, 2006.
2. Construcciones de Albañilería, Ángel San Bartolomé. Fondo Editorial PUCP, 2001.
3. Comparación del Comportamiento Sísmico de un Muro de Albañilería Tradicional y un Muro Caravista, Á. San Bartolomé y J. Ordóñez. Revista COSTOS, Edición 134, 2005.