

COMPORTAMIENTO SÍSMICO DE ESPECÍMENES CONSTRUIDOS CON BLOQUES DE CONCRETO VIBRADO TIPO GRAPA

Por: Angel San Bartolomé y Humberto Pehovaz
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

RESUMEN

Como una alternativa de solución al problema de la vivienda económica, CORDELICA planteó un proyecto de investigación que se desarrolló en el Laboratorio de Estructuras de la Universidad Católica. En este proyecto se utilizaron muros portantes que no calificaban como confinados ni armados, sino más bien como un sistema mixto, con juntas secas, sobre las cuales apoyaba un techo compuesto por viguetas prefabricadas, domos de concreto vibrado y una losa de concreto vaciado in-situ.

1. INTRODUCCIÓN

El uso de un sistema constructivo de albañilería que demande poca o ninguna destreza para el asentado de las unidades, adquiere considerable importancia social en países como el nuestro, debido al déficit habitacional que existe y que se refleja en precarios asentamientos humanos ubicados en los alrededores de las grandes ciudades. Por ello, en este proyecto se utilizaron unidades de albañilería que no requerían ser asentadas con mortero, sino que son apilables, grampadas entre sí y unidas por el concreto fluido que se llena en las cavidades de la unidad, con lo cual se logra una gran velocidad en la construcción.

En este reporte se presenta los resultados de tres muros construidos con bloques de concreto vibrado tipo grapa, ensayados a carga lateral cíclica con desplazamiento horizontal controlado manteniendo constante la carga vertical. Los dos primeros muros (M-1 y M-2) simulaban a una albañilería armada parcialmente rellena, mientras que el tercer muro (M-3) tenía columnas de confinamiento y sus celdas estuvieron totalmente rellenas. Se realizaron pruebas de carga vertical y ensayo de carga lateral monótonica en un módulo de vivienda, uno de los ejes estuvo compuesto por muros similares a M-1 y M-2, mientras que el otro eje era similar a M-3. Adicionalmente, se estudió el comportamiento del muro M-2 bajo la acción de cargas sísmicas perpendiculares a su plano

2. UNIDAD DE ALBAÑILERÍA (Bloque de Concreto Vibrado tipo Grapa)

Según la Norma E-070, el bloque empleado (Fig.7) no clasifica como Tipo I; sin embargo, es posible utilizarlo en la construcción de los muros portantes de viviendas de hasta dos pisos, por su posterior relleno con concreto fluido. Los resultados experimentales obtenidos fueron los siguientes:

PRUEBA		Bloque Normal	Medio Bloque	Esquinero
Dimensiones Nominales y Variación de Dimensiones (%)	Largo (mm)	330 (0.5 %)	330 (0.4 %)	190 (0.8 %)
	Ancho (mm)	190 (0.7 %)	190 (0.7 %)	190 (0.7 %)
	Altura (mm)	195 (1.0 %)	105 (2.4 %)	195 (1.3 %)
	Grosor (mm)	33 (14.0 %)	33 (11.0 %)	33 (11.0 %)
Alabeo (mm)		2	6	3
Absorción (%)		6	6	6
Compresión sobre área neta f'_b (kg/cm ²)		124	116	106

3. PROBETAS DE ALBAÑILERÍA

3.1. Ensayos de Compresión Axial de Pilas. Las pilas vacías fallaron en forma frágil por trituración de los bloques, alcanzando una resistencia característica a compresión axial (con 29 % de dispersión de resultados) igual a: $f'_m = 20 \text{ kg/cm}^2$ sobre área bruta y $f'_m = 35 \text{ kg/cm}^2$ sobre área neta. Las pilas rellenas

fallaron por descascaramiento de las caras laterales de los bloques, alcanzando una resistencia a compresión axial (con 9% de dispersión de resultados) igual a: $f'_m = 82 \text{ kg/cm}^2$.

3.2. Ensayos de Compresión Diagonal de Muretes. Este tipo de ensayo no es aplicable a la albañilería de junta seca compuesta por pilares de bloques grampados, debido a que induce la falla por deslizamiento vertical entre los pilares, registrándose resistencias muy bajas, incluso cuando todos los pilares fueron completamente rellenos.

4. MUROS M-1, M-2 y M-3

4.1. Construcción. Los bloques se apilan formando pilares grampados entre sí, con un desfase de media altura entre bloques adyacentes, para lo cual en las hiladas extremas de los pilares no consecutivos, se emplea bloques de media altura. En el caso de los muros parcialmente rellenos M1 y M2 (Fig.1), los pilares fueron conectados por un refuerzo horizontal de $\frac{1}{4}$ " a media altura, lo que dificultó el proceso constructivo al tener que recortarse algunos bloques, éste refuerzo puede corroerse en las zonas vacías del muro. En la construcción del muro confinado totalmente relleno M-3 (Fig.2), no se utilizó dicho refuerzo. Otra dificultad encontrada fue el desalineamiento de los muros producido por el alabeo del medio bloque; esto se corrigió colocando chiletas (cuñas) de madera en las uniones horizontales de los bloques, pero esto produjo que la altura de los muros creciera 6 cm más de lo planificado.

El tarrajeo de los muros no es conveniente porque para desplazamientos laterales de 1 mm, se iniciaron las fisuras del enlucido (Fig.8) y para 10 mm se desprendió el tarrajeo, en su lugar se recomienda sellar las juntas con una pasta de mortero; esta operación se realizó en la construcción del módulo y en su ensayo de carga lateral monotónica se observó que ni la resistencia ni la rigidez lateral se alteraron.

4.2. Resistencia a Compresión Axial. Contemplando la reducción de resistencia por esbeltez del muro, la resistencia de las pilas f'_m , y adoptando un factor de seguridad igual a 5, la resistencia admisible a compresión axial (P_a) por unidad de longitud de los muros con altura libre igual a 2.35 m y espesor 19 cm, resultó ser suficiente como para soportar la carga vertical existente en una vivienda de dos pisos:

- P_a (muros parcialmente rellenos en sus alvéolos): 6615 kg / m
- P_a (muros totalmente rellenos en sus alvéolos): 27220 kg / m

4.3. Módulo de Elasticidad (E). El módulo de elasticidad en la dirección vertical de los muros parcial y totalmente rellenos fue calculado como: $E = 90,000 \text{ kg/cm}^2$. Sin embargo, es posible que este valor en la dirección horizontal (no medido) sea mucho más bajo, debido a los huelgos existentes entre los pilares consecutivos (grapas), por lo que es preferible trabajar con la rigidez lateral experimental.

4.4. Ensayo de Carga Lateral Cíclica. El muro M-1 careció de carga vertical, mientras que los muros M-2 y M-3, tuvieron una carga vertical de 10 ton simulando a un muro portante interior de una vivienda de dos pisos. Estos muros fueron sometidos a una prueba de carga lateral cíclica (Fig.8) con desplazamiento horizontal controlado ($D = 1, 5, 7.5, 10, 12.5, 15, 17.5$ y 20 mm).

Los muros soportaron la fase 8 del ensayo ($D = 20$ mm.), así como 20 ciclos de una sollicitación armónica de frecuencia 2 Hz, presentándose fisuras en alguno de los bloques (nunca llegaron a triturarse) y columnas que no comprometieron su comportamiento sísmico. Este desplazamiento está asociado a una distorsión angular de 0.8% mayor a la máxima distorsión angular especificada en la Ref.5 (0.5%), por lo que se concluye que el comportamiento inelástico de los muros en viviendas hasta de dos pisos debe ser satisfactorio. Asimismo, debido a que el comportamiento inelástico es semejante al de los muros reforzados (confinados y armados interiormente, Ref.1), es posible utilizar con fines de diseño el coeficiente de reducción de la fuerza sísmica $R = 6$ especificado en la Norma Sísmica E-030 (Ref.5).

4.5. Resistencia Admisible a Fuerza Cortante (V_a) y Rigidez Lateral (K). Para el cálculo de la resistencia admisible por unidad de longitud de los muros (V_a) se utilizó un factor de seguridad igual a dos (Ref.1), obteniéndose valores por debajo de las cargas laterales asociadas a los ciclos estables y de aquellas cargas que producían la fisuración del enlucido. Los resultados fueron (para el muro confinado se ha supuesto que la influencia de la carga axial P es similar que para el muro parcialmente relleno):

- Muro parcialmente relleno (P en ton/m): $V_a = 1.2 + 0.1P$ (ton/m)
- Muro confinado totalmente relleno (P en ton/m): $V_a = 2.3 + 0.1P$ (ton/m)

Para obtener teóricamente la rigidez lateral elástica, puede suponerse que el muro está compuesto por una serie de pilares (columnas de bloques grampados) conectados por la viga solera. Los resultados experimentales correspondientes (por unidad de longitud de muro) fueron:

- Muro parcialmente relleno: $K = 1.6$ ton / (mm x m)
- Muro confinado totalmente relleno: $K = 4.8$ ton / (mm x m)

De esta manera se concluye que para elevar sustancialmente la resistencia y la rigidez lateral de los muros (por ejemplo, en aquellas viviendas estructuradas con muros parcialmente rellenos que carecen de una adecuada densidad de muros en algunas de sus direcciones), es suficiente con rellenar los bloques confinándolos con columnas de concreto armado convenientemente estribadas.

5. MÓDULO DE VIVIENDA

5.1. Características. El módulo fue de un piso, a escala natural (Fig.3). En la dirección de ensayo, el eje B estuvo compuesto por muros similares a M-1 y M-2, mientras que el eje A era similar a M-3.

5.2.- Sistema de Techado. El techo del módulo estuvo compuesto por viguetas prefabricadas sobre las cuales apoyaban unos domos de concreto vibrado (Fig.7) cubiertos por una losa de concreto armado (pudo emplearse un aligerado convencional). De la prueba de carga vertical realizada sobre el módulo de vivienda se concluye que este sistema de techado, con luces libres de hasta 3 m, es capaz de soportar las sobrecargas habituales de una vivienda (200 kg/m^2) y, en adición, el peso de los acabados (100 kg/m^2).

5.2. Comportamiento Sísmico del Módulo. El módulo fue sometido a una carga lateral monotónica (Fig.9), observándose lo siguiente:

- El encuentro entre paredes transversales funcionó adecuadamente, bajo las dos alternativas estudiadas: ganchos de anclaje entre muros perpendiculares parcialmente rellenos (esquina B-1), y sin ganchos cuando el muro era confinado y totalmente relleno (esquina A-1).
- La resistencia y rigidez lateral del Módulo fue 30% superior a los valores predichos empleando los resultados de los muros ensayados a carga lateral cíclica, la razón principal de esta diferencia se debe a que estos valores dependen de la cantidad de pilares rellenos. En el caso del eje B, éste resultó más rígido y resistente que lo previsto, debido a que sus pilares fueron rellenos en forma intercalada (un pilar relleno y el adyacente vacío), en cambio, los muros M-1 y M-2 fueron rellenos dejando los dos pilares intermedios vacíos; esto último es más representativo de las viviendas reales.
- El techo se comportó como un diafragma rígido capaz de compatibilizar los desplazamientos traslacionales y torsionales de los distintos muros que componían al módulo.
- Los muros del eje A (totalmente rellenos) presentaron menos fisuras que los muros del eje B (parcialmente rellenos), pudiéndose notar en el eje B la formación de fisuras horizontales en las uniones entre bloques vacíos, cosa que no se presentó en los muros del eje A debido a la resistencia a corte - fricción que tiene el concreto de relleno.

6. COMPORTAMIENTO ANTE CARGAS SÍSMICAS PERPENDICULARES AL PLANO

El tarrajeo del muro M2, previamente agrietado por corte ante la acción de cargas laterales cíclicas coplanares (ver 4.4), fue removido para posteriormente volver a tarrajar y ensayar al muro en la mesa vibradora sometiéndolo a cargas sísmicas ortogonales al plano (Fig.10). La señal sísmica aplicada fue la correspondiente al terremoto ocurrido el 31 de mayo de 1970, escalando su intensidad en varias fases.

Las fuerzas de inercia en cada punto del muro fueron obtenidas multiplicando la aceleración registrada por la masa tributaria circundante a los 12 acelerómetros empleados. Luego de determinar la fuerza total (F), ésta fue dividida entre el área del muro, para así obtener la carga sísmica “w”.

Aceleraciones máximas y fuerzas actuantes en el Muro M-2					
Fase	D _{mesa} (mm)	A _{mesa} (g)	A _{centro} (g)	F (kg)	w = F / Area (kg/m ²)
1	2.12	0.2097	0.2477	680	114
2	4.27	0.3955	0.5096	1412	236
3	5.95	0.5501	0.7337	2004	335
4	8.97	0.7925	1.0419	2822	472
5	13.74	1.2821	1.6818	4447	744

De este ensayo se concluyó lo siguiente:

- Las fisuras se iniciaron en la Fase 4 (muy severa, A_{mesa} = 0.8 g) del ensayo de simulación sísmica.
- La carga sísmica reglamentaria (Ref.5): $Z U C_1 \gamma t = 0.4 \times 1 \times 0.75 \times 1782 \text{ kg/m}^3 \times 0.19 \text{ m} = 102 \text{ kg/m}^2$ fue 4.6 veces menor que la carga experimental asociada a la Fase 4: $w = 472 \text{ kg/m}^2$.
- La frecuencia fundamental de vibrar en la dirección ortogonal al plano del muro M2 fue 16 Hz bastante lejana a la frecuencia predominante del sismo del ensayo (2.5 Hz), por lo que aún estando agrietado por fuerzas cortantes coplanares, el muro continúa siendo rígido.

7. CONCLUSIONES

- El sistema estructural compuesto por viguetas prefabricadas, domos de concreto vibrado, vigas soleras de concreto armado y losa de concreto formando techos que apoyan sobre muros de junta seca, con bloques grampados que forman pilares verticales con los alvéolos total o parcialmente rellenos de concreto líquido, funcionan adecuadamente tanto por carga vertical como por carga sísmica en viviendas hasta de dos pisos.
- La rigidez y la resistencia de los muros dependen de la cantidad de pilares que se rellenen con concreto fluido.

8. REFERENCIAS

1. San Bartolomé, Ángel. Construcciones de Albañilería – Comportamiento Sísmico y Diseño estructural. Pontificia Universidad Católica del Perú. Fondo Editorial 1994.
2. San Bartolomé, Ángel. Proyecto LE-DI “Ensayos de Pilas, Muretes, Muros y Módulo de Vivienda construidos con bloques de concreto vibrado Tipo Grapa”. 1998.
3. Normas Técnicas de Edificación: E-070 Albañilería. ININVI – 1982.
4. Normas Técnicas de Edificación: E-060 Concreto Armado. ININVI – 1989.
5. Normas Técnicas de Edificación: E-030 Diseño Sismorresistente. SENCICO 1997.

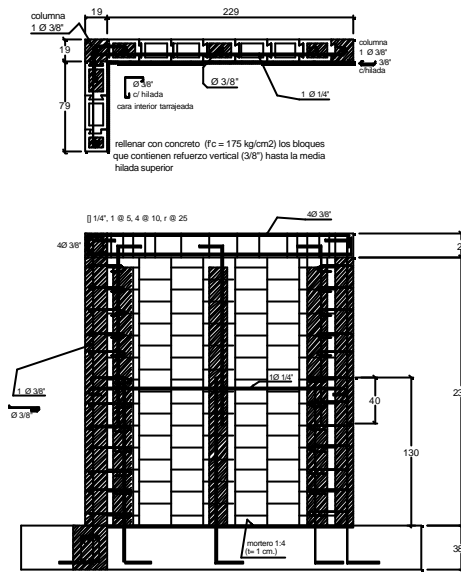


Fig.1. Muros M-1 y M-2

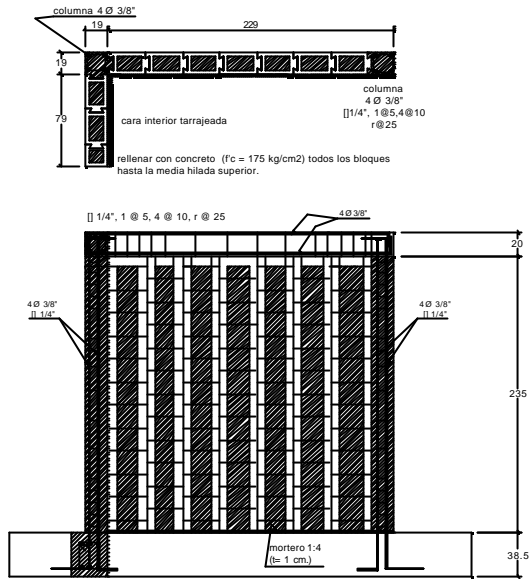


Fig.2. Muro M-3

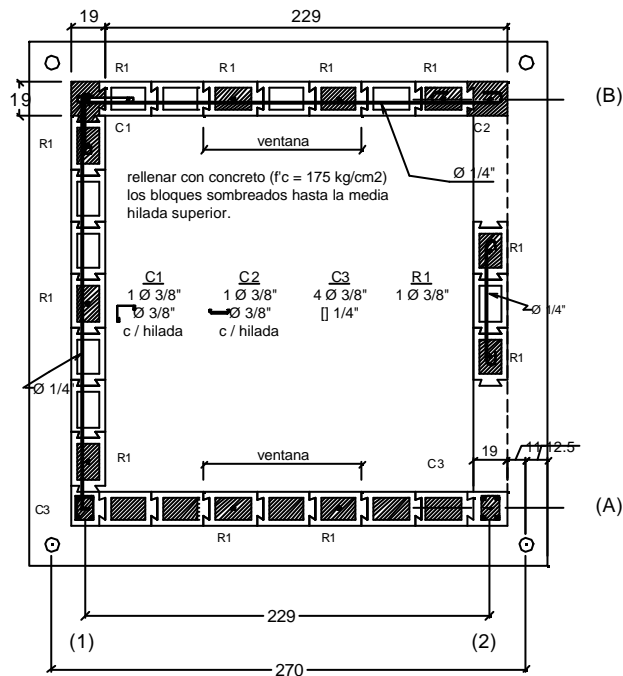


Fig.3. Planta del Módulo. Medidas en centímetros

Fig.4
V vs. D
Muro M-2

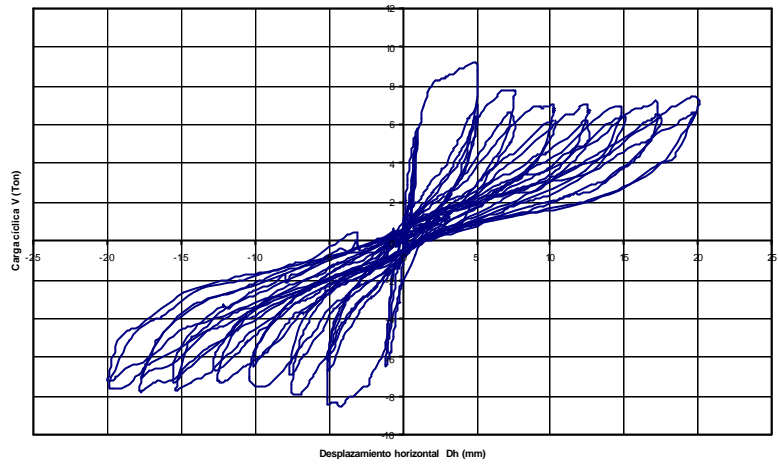


Fig. 5
V vs. D
Muro M-3

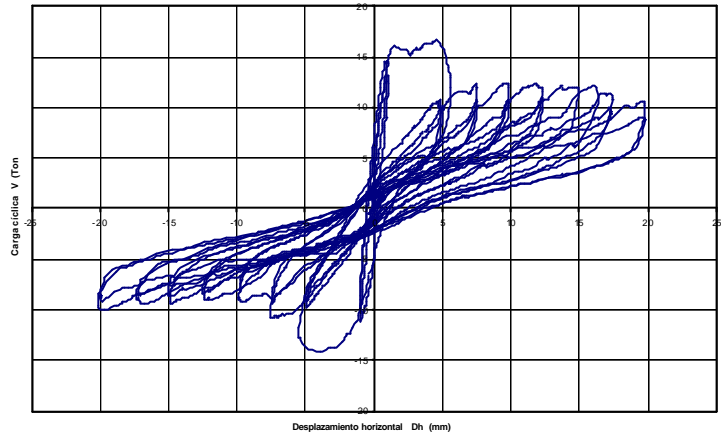


Fig. 6
V vs. D
Módulo

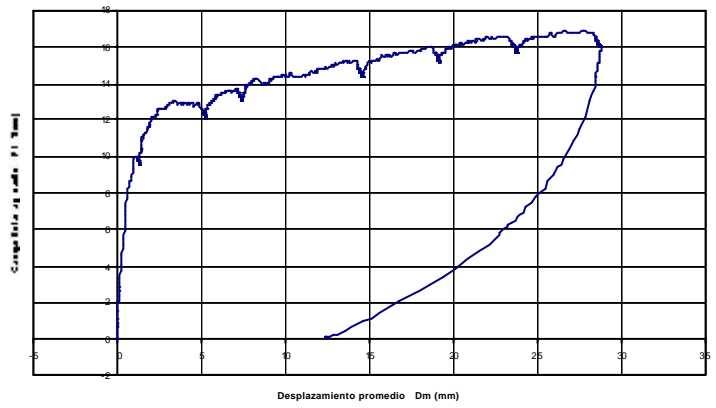




Fig.7. Construcción del Módulo



Fig.8. Ensayo de Carga Lateral Cíclica





Fig. 9. Ensayo de Carga Lateral Monotónica en el Módulo



Fig.10. Ensayo de Simulación Sísmica Perpendicular al Plano del Muro