

COMPORTAMIENTO SÍSMICO DE VIVIENDAS CONSTRUIDAS CON PANELES POLIBLOCK REFORZADO

ANGEL SAN BARTOLOMÉ HERNÁN VELARDE LUIS VELARDE GIANCARLO VÁSQUEZ
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
PERÚ

RESUMEN

Como una alternativa de solución al problema de la vivienda económica de hasta dos pisos, se ejecutó un programa de investigación en el Laboratorio de Estructuras de la Universidad Católica, estudiándose el comportamiento sísmico de especímenes contruidos con paneles Poliblock reforzados, en los muros y techos, obteniéndose resultados satisfactorios. Los especímenes fueron dos muros ensayados a carga lateral cíclica con carga vertical constante y un módulo de vivienda de dos pisos, a escala natural, sobre el cual se realizó una prueba de carga vertical y un ensayo de simulación sísmica en mesa vibradora.

1. INTRODUCCIÓN

Las viviendas tradicionales de dos pisos usualmente son estructuradas con muros de albañilería confinada y techos aligerados, elementos que por su gran peso generan fuerzas de inercia elevadas durante los terremotos; de esta manera, en este proyecto, se pretende reducir estas fuerzas empleando paneles Poliblock reforzados, tanto en los muros como en los techos.

Dada la rapidez constructiva de este sistema, el objetivo de este proyecto fue investigar la posibilidad de emplearlo como sistema estructural en las viviendas, para lo cual se hicieron ensayos de carga lateral cíclica sobre dos muros sujetos a carga vertical constante, así como una prueba de carga vertical en las losas de un módulo de dos pisos, el mismo que posteriormente fue ensayado sísmicamente en mesa vibradora.

2. CARACTERÍSTICAS DEL PANEL POLIBLOCK REFORZADO

El panel presenta dos modalidades: el utilizado para muros y el empleado para techos. Las dimensiones nominales del panel para muro son: 1.20 x 2.40 m con espesores de 5 y 10 cm (sin incluir tarrajeo); este panel está compuesto por un alma de poliestireno expandido (tecnopor de 3 u 8 cm de espesor), cuyas superficies están adheridas a una capa de fibra de madera prensada y aglomerada con cemento, sobre las cuales va una malla electrosoldada de 4 mm de diámetro con cocada de 15x15 cm, conectadas transversalmente por alambres de 6 mm de diámetro, estas mallas se encuentran recubiertas de mortero de 1 pulgada de espesor. El panel empleado para techos presenta las mismas características del utilizado para muros con la diferencia que sus dimensiones son: 0.50 x 3.55 m con un espesor bruto de 10 cm (sin tarrajeo). Ver la Foto 1.



Foto 1 - Montaje de los Paneles

3. CARACTERÍSTICAS DE LOS ESPECÍMENES Y RESULTADOS DE LOS ENSAYOS

3.1. Muro 1

El Muro 1 (Fig.1) fue construido sobre una cimentación existente y tuvo la particularidad de ser un espécimen preliminar, esto es, fue ensayado con la intención de observar defectos para posteriormente establecer mejoras. El espesor del Muro 1 terminado fue 16.5 cm. Las capas de mortero 1:3 tuvieron una resistencia a compresión de 268 kg/cm² a los 28 días de edad. El peso volumétrico de este muro, excluyendo

la viga solera y la cimentación, fue 900 kg/m^3 , este valor es el 50% del peso volumétrico de los muros tradicionales de albañilería, lo que contribuye a disminuir las fuerzas sísmicas actuantes en una vivienda.

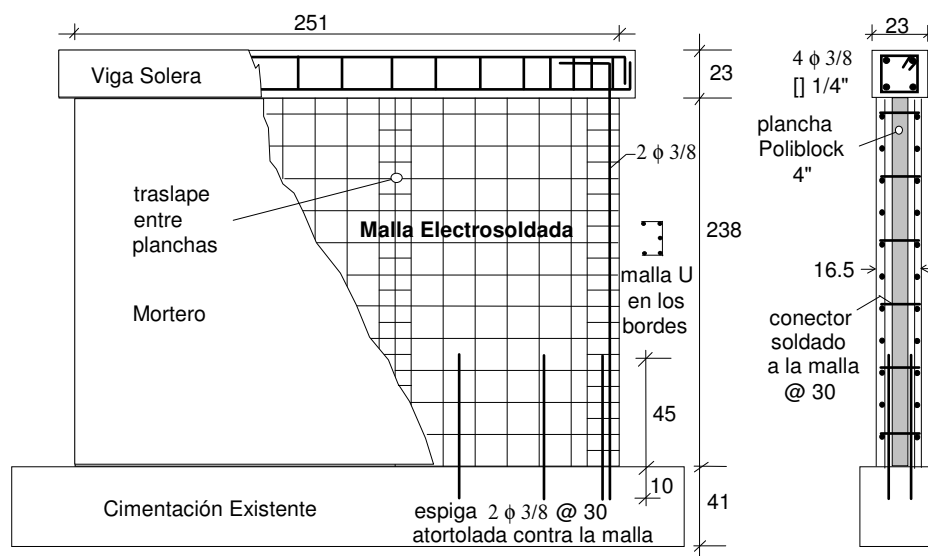


Fig.1- Muro 1

El Muro 1 fue sometido a una carga vertical de 2 ton para luego ser ensayado a carga lateral cíclica con desplazamiento horizontal controlado (Gráfico 1) hasta alcanzar un desplazamiento lateral de 10 mm. La falla final se debió al aplastamiento del Poliblock en los alrededores de las espigas de acero, lo que produjo huelgos importantes entre las espigas y el Poliblock. Pudo notarse que las espigas no se doblaron por corte-fricción y que en las capas de mortero no se notaron fisuras verticales exteriores en las zonas donde estaban las espigas, debido a que el conjunto (exceptuando las espigas) se deslizó horizontalmente y rotó sobre la cimentación; es decir, las espigas no trabajaron. De esta manera se determinó mejorar el anclaje del refuerzo en la cimentación así como la conexión entre la malla electrosoldada y el refuerzo vertical.

En viviendas de un piso, estructuradas con muros portantes similares al Muro 1, puede emplearse los siguientes parámetros de diseño:

- Rigidez lateral repartida por unidad de área bruta de muro: $k = 17.1 \text{ ton} / (\text{mm} \times \text{m}^2)$
- Esfuerzo cortante máximo, sobre área bruta: $v_m = 2.6 \text{ kg} / \text{cm}^2$
- Esfuerzo cortante admisible, sobre área bruta: $v_a = 1.3 \text{ kg} / \text{cm}^2$
- Factor de reducción de las fuerzas sísmicas: $R = 4.8$
- Distorsión angular máxima (inelástica): $\gamma = 0.003$

3.2. Muro 2

Las mejoras introducidas en el Muro 2 (Fig.2) fueron: el anclaje del refuerzo vertical sobre una cimentación nueva y que las espigas, en forma de horquillas, se soldaron contra las mallas electrosoldadas en sus puntos de intersección (Fig.3). El espesor del Muro 2 terminado fue 19.5 cm y el mortero de recubrimiento tuvo una proporción volumétrica cemento-arena gruesa 1:4.

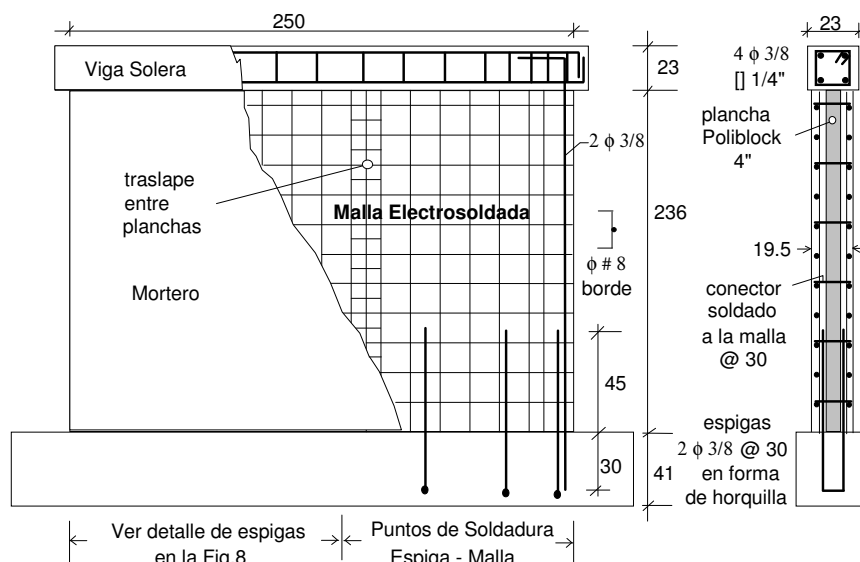


Fig.2 - Muro 2

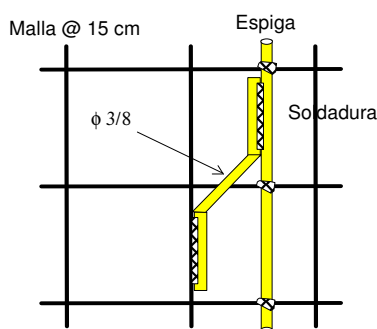


Fig.3 - Conexión espiga-malla

El Muro 2 fue ensayado de la misma forma que el Muro 1 (Gráfico 2), sin embargo, su comportamiento sísmico superó notoriamente al registrado por el Muro 1, soportando hasta 20 mm de desplazamiento horizontal. En viviendas de un piso, estructuradas con muros portantes similares al Muro 2, pueden emplearse los siguientes parámetros de diseño:

- Módulo de Elasticidad (sobre área bruta): $E = 33,000 \text{ kg / cm}^2$
- Módulo de Corte (sobre área bruta): $G = E / 2.5$
- Rigidez lateral repartida por unidad de área bruta de muro: $k = 19.84 \text{ ton / (mm x m}^2)$
- Esfuerzo cortante máximo, sobre área bruta: $v_m = 3.5 \text{ kg / cm}^2$
- Esfuerzo cortante admisible, sobre área bruta: $v_a = 1.7 \text{ kg / cm}^2$
- Factor de reducción de las fuerzas sísmicas: $R = 6$
- Distorsión angular máxima (inelástica): $\gamma = 0.005$

3.3. Módulo de Vivienda de Dos Pisos

En el Módulo (Fig.4) los muros del primer piso estaban conectados a la cimentación mediante espigas en forma de horquillas compuestas por $\phi^{3/8}$ @ 30 cm que anclaban 45 cm en cada muro y penetraban 30 cm en la cimentación (semejante al Muro 2). En el primer piso se utilizaron 8 paneles Poliblock de 4" de espesor con 4 columnas de 15 x 15 cm, reforzadas con $2 \phi^{3/8}$ (refuerzo vertical continuo, sin estribos, ver la Fig. 5), mientras que el segundo piso estuvo compuesto por 8 paneles Poliblock de 2" de espesor, en este piso no se emplearon columnas, ni refuerzo vertical continuo (Foto 1). Para conectar los muros de los dos entrepisos (Fig.6), se emplearon espigas, además de una viga solera con $4 \phi 8 \text{ mm}$ y estribos de $3/8$ @ 35 cm. Todas las espigas se soldaron en los puntos de intersección con las mallas.

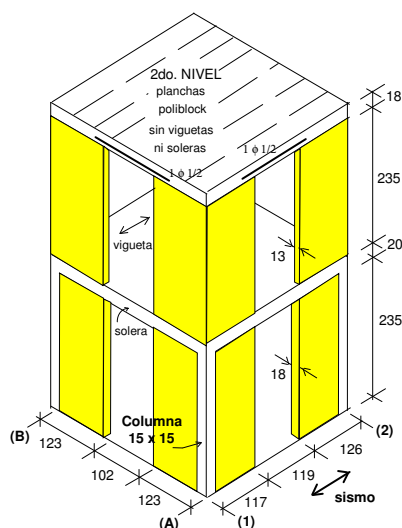


Fig.4 – Módulo

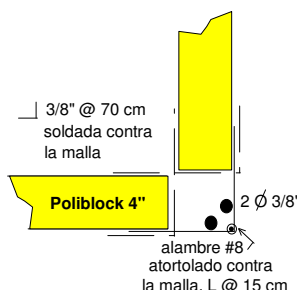


Fig. 5. Columna.

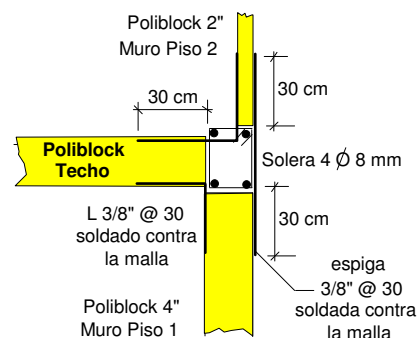


Fig.6. Conexión muro-techo

El techo del primer piso estaba conformado por planchas Poliblock de 50 cm de ancho y 10 cm de espesor y viguetas (Foto 2) de 8 cm de base por 10 cm de peralte, reforzadas con $1 \phi^{3/8} \text{''} @ 60 \text{ cm}$; en cambio, el techo del segundo piso carecía de viguetas y soleras.



Foto 2 - Detalle de la conexión techo-muro

Como resultado de las pruebas de carga vertical, el techo del segundo piso (carente de soleras y viguetas), soportó una sobrecarga de 60 kg/m^2 , inferior a la sobrecarga especificada en la Norma de Cargas E-020 (para azoteas: 100 kg/m^2); en cambio, el techo del primer piso (con solera y viguetas) soportó la sobrecarga reglamentaria para viviendas (200 kg/m^2).

Incluyendo sobrecargas y acabados, el Módulo resultó ser 29% más ligero que un módulo de igual geometría construido con muros de albañilería confinada; además, como resultado de los ensayos de vibración libre del módulo, el grado de amortiguamiento obtenido (10%) superó al valor que se adopta en las construcciones de albañilería (5%). Estos dos aspectos resultan beneficiosos para reducir la respuesta sísmica.

El ensayo de simulación sísmica (Foto 3) consistió en someter al módulo a 5 fases de aceleración creciente (0.19g, 0.34g, 0.63g, 0.93g y 1.3g), correspondiente al terremoto del 31 de Mayo de 1970, superando a la aceleración máxima reglamentaria (Ref.1). El tipo de falla final fue por flexión, concentrándose las fisuras en la mitad inferior del primer piso de los muros correspondientes a los ejes principales A y B (Fig.7). Cabe destacar que los muros de los ejes transversales a la dirección de movimiento (1 y 2) trabajaron al 100%, formándose fisuras horizontales que corrían a lo largo de toda su longitud, asimismo, esos muros evitaron la trituration de los talones externos de los muros de los ejes A y B.



Foto 3 - Ensayo de simulación sísmica

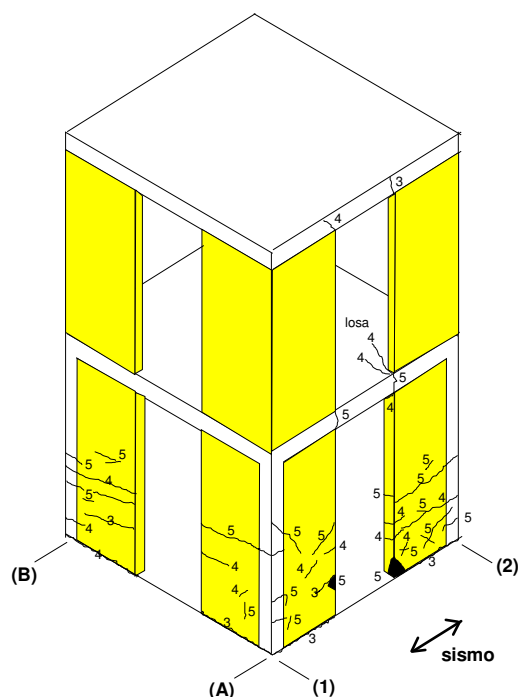


Fig.7. Fallas después del ensayo sísmico

En viviendas de dos pisos, estructuradas con muros portantes similares al primer piso del Módulo (semejantes al Muro 2), pueden emplearse los siguientes parámetros de diseño:

- Módulo de Elasticidad (sobre área bruta): $E = 33,000 \text{ kg / cm}^2$
- Módulo de Corte (sobre área bruta): $G = E / 2.5$
- Grado de Amortiguamiento: $\zeta = 10\%$
- Esfuerzo cortante máximo, sobre área bruta: $vm = 3.5 \alpha \text{ (kg / cm}^2\text{)}$
- Factor de reducción de resistencia por esbeltez de muros: $1/3 \leq \alpha = V L / M \leq 1$
- Esfuerzo cortante admisible, sobre área bruta: $va = vm / 2$
- Factor de reducción de las fuerzas sísmicas: $R = 6$
- Distorsión angular máxima (inelástica): $\gamma = 0.005$

Donde V = fuerza cortante, M = momento flector, L = longitud de muro. “V” y “M” provienen del análisis sísmico elástico (Ref.3).

Debe mencionarse que la rigidez lateral del Módulo no pudo predecirse teóricamente, esto se atribuye al debilitamiento producido por la prueba de carga vertical tanto de la losa de techo como de la interfase solera-muro, creándose microfisuras que posiblemente hayan causado pequeños deslizamientos de la losa respecto a los muros.

El techo del segundo piso (carente de soleras y viguetas), no se comportó como diafragma rígido en el ensayo de simulación sísmica. En cambio, el techo del primer piso (con solera y viguetas) funcionó aceptablemente como diafragma rígido.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Con los resultados obtenidos puede concluirse que las viviendas de hasta dos pisos construidas con paneles Poliblock reforzados presentan una adecuada rigidez y resistencia contra las solicitaciones sísmicas y de gravedad, cumpliendo satisfactoriamente los requisitos especificados en la Norma Sismorresistente (Ref.1) y de Cargas (Ref.2), con excepción del techo del segundo nivel que carecía de soleras y viguetas.

Se sugiere las siguientes recomendaciones:

- a) Para que la losa del segundo nivel funcione como diafragma rígido y pueda soportar la sobrecarga reglamentaria, se sugiere añadir viguetas y vigas soleras.

- b) En todos los extremos de aquellos muros en los cuales no concurren muros ortogonales, se sugiere colocar mallas "U" para evitar la trituration de los talones por flexocompresión.
- c) Debido a que el peso de los muros, así como su resistencia, es proporcionado principalmente por las capas de mortero, se sugiere que los muros del primer y segundo piso tengan el mismo espesor con la finalidad de evitar excentricidades de la carga del segundo piso.
- d) A pesar que los muros del segundo piso del Módulo no fallaron, se recomienda prolongar las columnas empleadas en el primer piso, hasta que su refuerzo vertical ancle en las soleras del segundo nivel.
- e) El control del espesor del tarrajeo debe mejorarse, ya que en los muros ensayados su espesor final varió demasiado: t (Muro 1) = 16.5 cm, t (Muro 2) = 19.5 cm, y t (muros del primer piso del Módulo) = 18 cm.

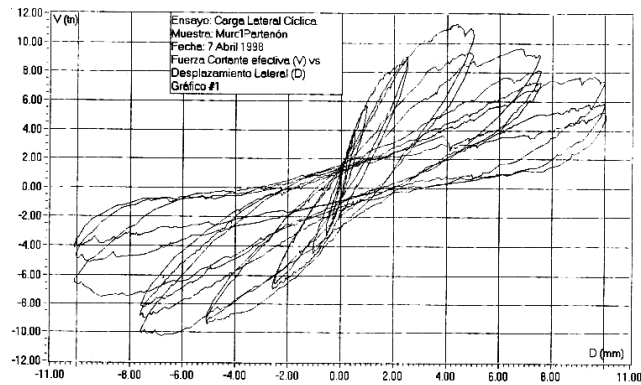


Fig.8. Cortante-Desplazamiento del Muro 1

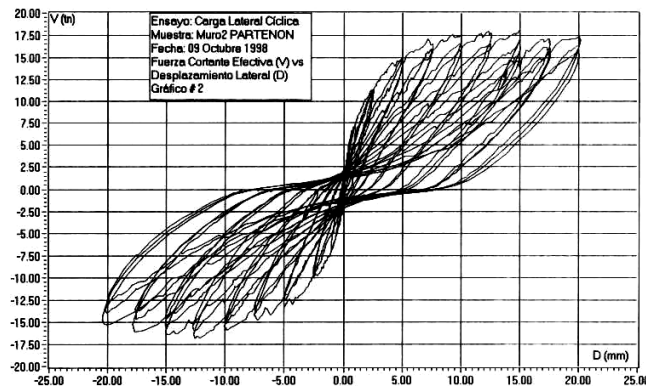


Fig.9. Cortante-Desplazamiento del Muro 2

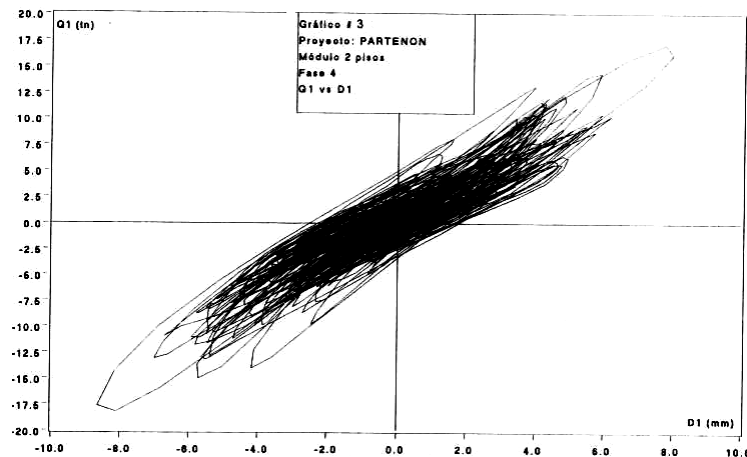


Fig.10. Cortante-Desplazamiento en el primer piso del módulo en la Fase 4

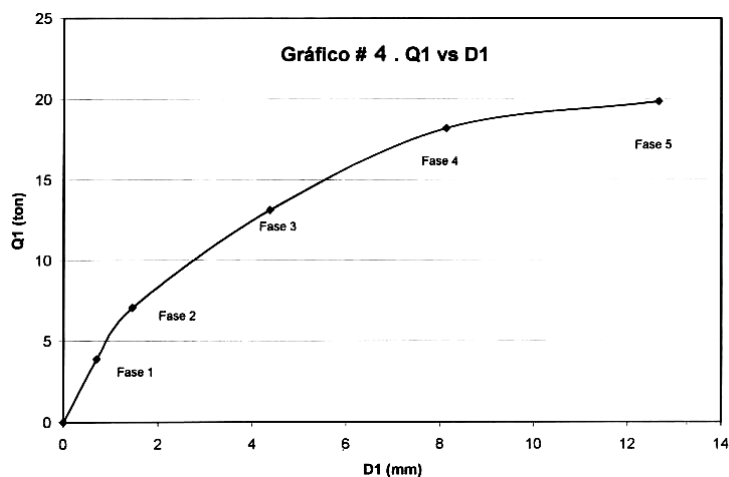
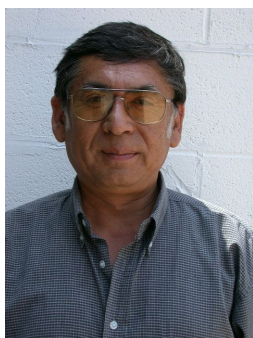


Fig.11. Envoltorio Cortante-Desplazamiento del primer piso del Módulo en las 5 fases del ensayo de simulación sísmica.

5. REFERENCIAS

- [1] Normas Técnicas de Edificación E-030, Diseño Sismorresistente, ININVI 1997.
- [2] Normas Técnicas de Edificación E-020, Cargas, ININVI 1985.
- [3] Construcciones de Albañilería, Comportamiento Sísmico y Diseño Estructural. A. San Bartolomé. Fondo Editorial PUCP, 1998.



ANGEL SAN BARTOLOME

Universidad Católica del Perú

asanbar@pucp.edu.pe

Profesor Principal - Pontificia Universidad Católica del Perú. Post Grado en Ingeniería Antisísmica en el International Institute of Seismology and Earthquake Engineering - Tokyo-Japan. Estudio Individual en Albañilería Estructural en The Large Scale Structures Testing Building Research Institute - Tsukuba-Japan. Profesor de los cursos Albañilería Estructural, Análisis Estructural y Trabajos de Tesis. Investigador en las áreas de Albañilería, Adobe, Tapial y Concreto Armado - Laboratorio de Estructuras de la Universidad Católica. Proyectista de Estructuras. Más de 100 artículos técnicos publicados en congresos nacionales e internacionales de ingeniería sismorresistente.

HERNÁN VELARDE

LUIS VELARDE

GIANCARLO VÁSQUEZ