

CML LACASA - Presenta una solución trascendental para el diseño de Tabiques con unidades de Albañilería: -Placas-, que permite su empleo en los muros intermedios no portantes.

La empresa realizó en sus instalaciones de pórticos de ensayos, existentes en su planta de producción, las pruebas correspondientes para tener la certeza de su uso.

Están editadas en su folleto de INNOVACION EN PROCEDIMIENTOS CONSTRUCTIVOS: PARA MUROS NO PORTANTES - TABIQUES EN LA ALBAÑILERIA ARMADA CON LA NUEVA: PLACA P-7.

La labor de investigación efectuada por los Bachilleres Giovanna Novoa y Gustavo Hermosa, para la obtención de su grado profesional, CONTANDO CON LA DIRECCION DEL INGENIERO MAGISTER ANGEL SAN BARTOLOME*, tienen singular importancia y significación en el diseño sísmico correspondiente y es de ameritar una vez más las acciones que en esta área realiza este distinguido profesional, dentro del ámbito de la Pontificia Universidad Católica del Perú - Departamento de Estructuras.

Este minucioso y excelente trabajo permite que los profesionales del ramo, puedan apreciar debidamente las ventajas de la estructuración del Tabique de Placa P-7 -diseño de nuestra empresa-, que se ha visto así magnificada.

Alejandro Garland Melián
 Presidente del Directorio

Autores: Señor Profesor Ingeniero Angel San Bartolomé
 Ingenieros: Giovanna Novoa y Gustavo Hermosa

* PROFESOR JEFE PRINCIPAL DEL DEPARTAMENTO DE INGENIERIA CIVIL
 POSTGRADO EN JAPON DE INGENIERIA ANTISISMICA.

COMPORTAMIENTO SÍSMICO DE UN TABIQUE FIJO HECHO CON PLACA P-7

RESUMEN

La placa P-7 es una unidad de albañilería sílico-calcárea de grandes dimensiones y con alvéolos semicirculares en sus extremos que permiten el paso del refuerzo vertical, el mismo que se conecta a las vigas o a las losas de techo. Estas unidades se utilizan para construir muros divisorios de ambientes (tabiques). Puesto que se desconoce el comportamiento sísmico de este sistema, se ejecutaron ensayos de simulación sísmica en el Laboratorio de Estructuras de la Pontificia Universidad Católica del Perú, analizando el caso de un pórtico de concreto armado cuyo paño fue relleno con un tabique P-7. Este sistema fue sujeto a la acción de cargas laterales cíclicas coplanares al tabique y a un ensayo sísmico en mesa vibradora sometiendo al tabique a la acción de cargas perpendiculares a su plano. Los resultados obtenidos fueron satisfactorios.

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, se viene utilizando la Placa P-7 para la construcción de tabiques no portantes en los edificios (Fig. 1); sin embargo, se desconoce el comportamiento de estos muros ante cargas sísmicas paralelas y perpendiculares al plano, por lo que fue necesario comprobar si este sistema y sus conexiones podían soportar los desplazamientos y las cargas sísmicas reglamentarias, además de observar en qué medida afectan al comportamiento de la estructura principal.

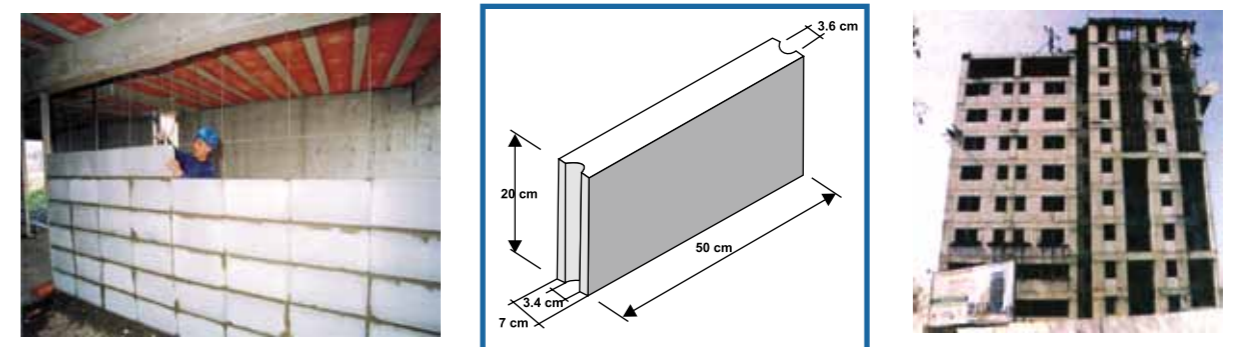


Fig. 1. Uso de la Placa P-7 en la construcción de tabiques permanentes (fijos).

La metodología de trabajo utilizada en este proyecto fue la siguiente:

- Se construyó un pórtico de concreto armado para luego construir el tabique P-7. Posteriormente, se aplicaron cargas laterales cíclicas paralelas al plano del tabique, hasta alcanzar la máxima distorsión inelástica permitida por la norma sísmica E.030 (Ref.1). Este ensayo permitió determinar además la influencia del tabique en la rigidez del pórtico.
- Se construyó otro pórtico con tabique P-7. Este sistema fue ensayado en mesa vibradora aplicando aceleraciones correspondientes a sismos leves, moderados y severos, perpendiculares al plano del tabique. Adicionalmente, hubo que aplicar cargas estáticas para determinar la capacidad resistente del tabique en la dirección ortogonal a su plano.

2. MATERIALES

2.1 Placa P-7

Son unidades sílico-calcáreas, cuyas dimensiones nominales (en cm) son: largo = 50, espesor = 7 y altura = 24, con baja variación en sus dimensiones. Otras características de esta unidad son:

- Succión: 8 gr / (200 cm² - min).
- Absorción en 24 horas de inmersión: 14%.
- Resistencia característica a compresión sobre 5 muestras: $f'b = 182 \text{ kg/cm}^2$.

2.2 Concreto, Mortero y Grout

En este proyecto se utilizó cemento Pórtland tipo I. El concreto utilizado para los elementos de cada pórtico (cimentación, viga y 2 columnas) fue de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$.

El mortero utilizado para asentar las placas P-7 tuvo una proporción cemento-arena gruesa 1 : 4.

El grout (concreto líquido para llenar los alvéolos de la placa P-7) tuvo una proporción cementoarena 1 : 3. La resistencia promedio a compresión de las probetas de grout fue 218 kg/cm^2 .

2.3 Acero de Refuerzo

El acero utilizado en el pórtico de concreto armado y en la armadura vertical del tabique fue de grado 60, con esfuerzo nominal de fluencia $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$. Para el refuerzo vertical del tabique P-7 se utilizaron en total 4 varillas de acero corrugado de $\frac{1}{4}$ " espaciadas a 50 cm.

2.4 Soldadura

Las varillas del tabique fueron soldadas a unos pernos expansivos insertados en la viga y la cimentación del pórtico, utilizando electrodos Supercito AWS/ASME E 7018.

3. CARACTERÍSTICAS DEL PÓRTICO DE CONCRETO ARMADO

Se construyeron 2 pórticos (Fig.2), cada uno estuvo compuesto por 2 columnas de 0.25x0.25x2.4 m de altura libre y una viga de 0.25x0.25x3.0 m de longitud total. La viga de cimentación fue de 0.30x0.30 y 3.60 m de longitud. Todos los elementos fueron reforzados con 4 f $\frac{1}{2}$ " y estribos de $\frac{3}{8}$ ", 1 a 5, 4 a 10, resto a 20 cm. El paño a ser relleno con el tabique P-7 fue de 2.5x2.4 m.

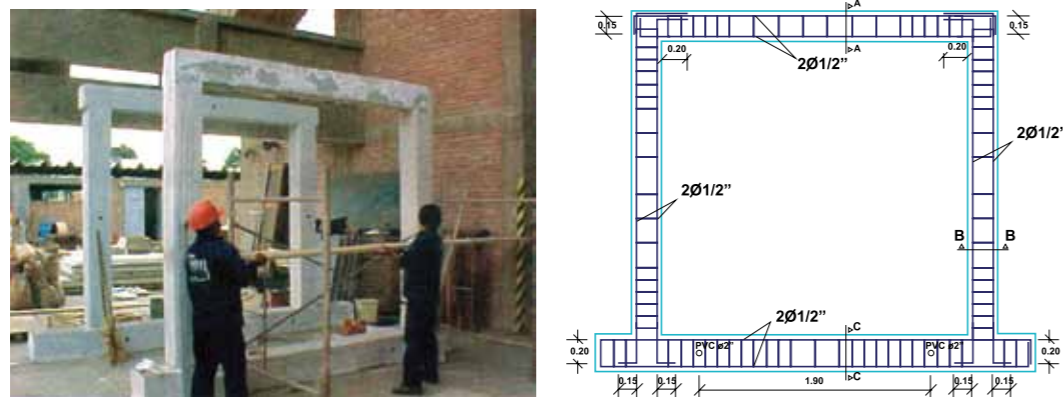


Fig.2 Pórticos de concreto armado.

4. CONSTRUCCIÓN DEL TABIQUE CON PLACA P-7

El tabique P-7, de 7 cm de espesor, quedó ubicado en el eje central del pórtico. Los pasos que se siguieron en la construcción del tabique fueron los siguientes:

- En la base de la viga superior y en la superficie superior de la cimentación se clavaron pernos expansivos (Fig.3) espaciados cada 50 cm, para lo cual, previamente se efectuaron perforaciones en el concreto de 2.5 cm de profundidad con un taladro de broca $\frac{1}{4}$ ".
- Las cuatro varillas de refuerzo vertical de $\frac{1}{4}$ ", fueron conectadas a los pernos expansivos con un punto de soldadura.
- Las placas P-7, previamente limpiadas, fueron asentadas en su estado natural (secas) utilizando mortero 1:4. Las juntas horizontales tuvieron 1 cm de grosor (Fig.4).
- Culminada la construcción de cada hilada, se procedió a rellenar los alvéolos con grout, formándose de esta manera las juntas verticales, las mismas que estuvieron alineadas. Incluso el alvéolo semicircular de la Placa P-7 en contacto con la columna, fue relleno con grout.



Fig.3. Perno expansivo y soldadura con las varillas del tabique.



Fig.4. Construcción del tabique con Placa P-7.

5. ENSAYO DE CARGA LATERAL COPLANAR AL TABIQUE

Con la finalidad de determinar la influencia del tabique P-7 sobre la rigidez lateral del pórtico, el ensayo fue dividido en 2 partes. El primer ensayo se realizó sobre el pórtico antes de construir al tabique y el segundo sobre el conjunto completo.

5.1. Ensayo del Pórtico de Concreto Armado sin el Tabique P-7

Este ensayo se realizó aplicando con un actuador dinámico una carga lateral, monotónicamente creciente, sobre la viga hasta alcanzar un desplazamiento horizontal de 0.5 mm (medido con un LVDT). Este desplazamiento fue pequeño de modo que el pórtico se comporte en el régimen elástico, sin que se produzcan fisuras. La curva cortante-desplazamiento (Fig.5) fue prácticamente lineal, con una pendiente (rigidez lateral del pórtico) igual a $K_p = 596 \text{ ton/m}$.

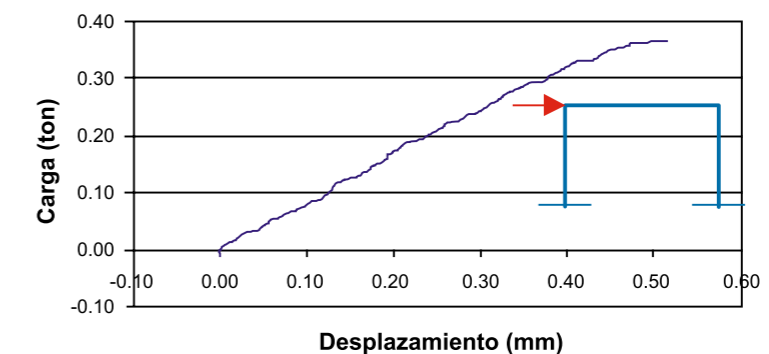


Fig.5 Ensayo monotónico del pórtico en el rango elástico.

5.2. Ensayo de Carga Lateral Cíclica del Conjunto Pórtico-Tabique P-7

Este ensayo fue realizado en doce fases de desplazamiento horizontal controlado (D en la Tabla I), hasta alcanzar una distorsión angular ligeramente mayor que el límite máximo especificado por la norma sismorresistente para edificaciones aporricadas (0.7%, equivalente a $D = 17.7 \text{ mm}$, Ref.1). Este ensayo se ejecutó a una velocidad de 1 ciclo cada 4 minutos y el estado final en que quedó el espécimen, así como la gráfica cortante-desplazamiento, aparecen en la Fig.5.

Tabla I. Fases del Ensayo de Carga Lateral Cíclica y Número de Ciclos Aplicados.

Fase	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
D (mm)	0.25	0.5	1.0	2.0	3.0	5.0	7.5	10.0	12.5	15.0	17.5	20.0
Ciclos	1	1	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3

Cabe destacar que el tabique P-7 falló por corte, presentándose fisuras muy finas. Asimismo, no se presentaron separaciones entre los elementos de concreto armado y el tabique, ni fallas en los puntos de soldadura perno-refuerzo vertical del tabique, comportándose el conjunto en forma integral, como si se tratase de una albañilería confinada (Ref.2). Tampoco se presentaron grietas de importancia en las juntas verticales de las placas P-7 (adheridas por el grout). Además, los lazos histeréticos cortante-desplazamiento fueron estables y la resistencia máxima alcanzada por el conjunto fue 10.5 ton, degradando a 9 ton en las 4 últimas fases del ensayo.

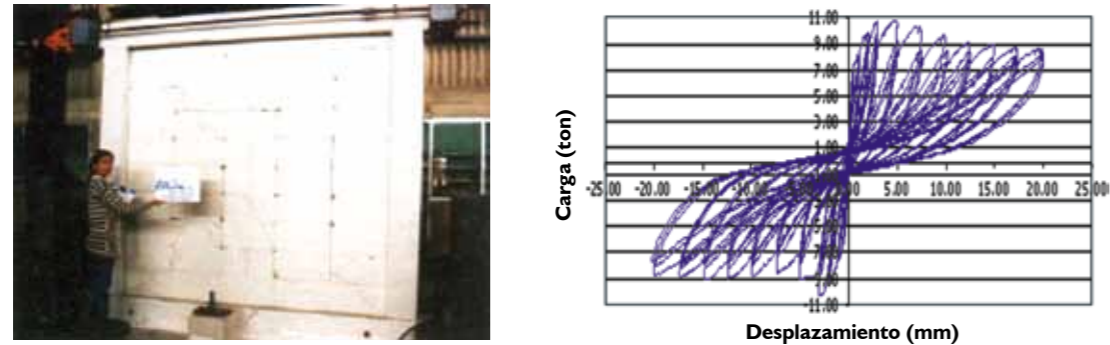


Fig.6. Estado final del conjunto y gráfica cortante-desplazamiento lateral.

5.3. Rigidez Lateral del Conjunto Pórtico-Tabique P-7

La pendiente de la gráfica carga-desplazamiento en el rango elástico (fase 2), corresponde a la rigidez lateral experimental del conjunto pórtico-tabique: $K_{pt} = 16,867 \text{ ton/m}$. Esta rigidez fue 28 veces mayor que la proporcionada por el pórtico ($K_p = 596 \text{ ton/m}$, ver 5.1), por lo que el tabique aportó una rigidez considerable al sistema.

Para evaluar la rigidez lateral del conjunto podría emplearse 2 modelos matemáticos (Ref.2):

a. Sección Transformada. Corresponde a los muros de albañilería confinada, donde las columnas de concreto deben reemplazarse por áreas equivalentes de albañilería. En este caso se admite que la albañilería y el concreto están integrados.

b. Puntal Equivalente. Corresponde a los tabiques no aislados de los pórticos, donde para reflejar la interacción tabique-pórtico el tabique es reemplazado por un puntal diagonal equivalente de albañilería que siempre trabaja en compresión. En este caso se admite separaciones en la unión concreto-albañilería, en las zonas donde no se presenta interacción.

Durante el ensayo del pórtico con tabique P-7, no se detectaron separaciones entre el pórtico y el tabique, sino que ambos elementos actuaron en forma integral, por lo que empleando el criterio de la Sección Transformada y conociéndose la rigidez del conjunto ($K_{pt} = 16,867 \text{ ton/m}$), se obtuvo para la albañilería P-7 un módulo de elasticidad $E = 600,000 \text{ ton/m}^2$, para lo cual se supuso $G = 0.4E$. Cabe indicar que cuando se aplicó la técnica del Puntal Equivalente, con un ancho efectivo igual a la cuarta parte de la longitud de la diagonal del tabique, se obtuvo un módulo de elasticidad "E" superior al del concreto, resultado que se consideró incongruente.

6. ENSAYO SÍSMICO ORTOGONAL AL PLANO DEL TABIQUE

Antes de realizar la prueba sísmica, el espécimen fue pesado colgándolo de una celda de carga sostenida por un puente grúa. Primero se pesó al pórtico antes de construir el tabique, obteniéndose 2188 kg, luego se pesó al conjunto completo, registrándose 2983 kg, con lo cual el peso del tabique P-7 resultó: $P_t = 795 \text{ kg}$, lo que proporciona un peso volumétrico $g = 1892 \text{ kg/m}^3$, ligeramente mayor al que se utiliza para la albañilería tradicional (1800 kg/m^3).

6.1. Técnica de Ensayo

Para tratar de simular el arriostramiento que proporcionan los elementos estructurales perpendiculares a la dirección en estudio, conectados en un edificio real a través de la losa de techo al sistema en análisis, se recurrió a perfiles metálicos anclados en la mesa vibradora. Estos perfiles limitaron el movimiento de la viga superior, dejando en libertad de desplazarse lateralmente tanto a las columnas como al tabique (Fig.7).

Para obtener las fuerzas actuantes en la dirección perpendicular al plano del tabique, se reticuló al tabique colocando en el centro de cada retícula un acelerómetro. Luego, multiplicando la masa tributaria de la retícula por la aceleración captada por el acelerómetro, se determinó la fuerza de inercia F_i en la retícula "i" respectiva. La suma de todas las fuerzas F_i , proporcionó la fuerza total F , la misma que dividida entre el área total del tabique ($2.5 \times 2.4 \text{ m}$), proporciona la carga distribuida "w" que se reporta en este artículo.

La señal sísmica utilizada en este ensayo, corresponde a la componente L del terremoto ocurrido el 31 de mayo del año 1970, variando la aceleración máxima de la plataforma (A_0) del simulador de sismos en 5 fases ($A_0 = 0.2 \text{ g}$, 0.4 g , 0.6 g , 1.0 g y 1.2 g), de tal modo de representar la acción de sismos leves, moderados y severos. Previo a cada fase, se aplicaron pulsos en la mesa vibradora con el objeto de determinar el período natural de vibrar del tabique.



Fig.7. Instrumentación utilizada y vista global del ensayo sísmico.

6.2. Comportamiento Sísmico del Tabique

El tabique P-7 y los elementos del pórtico actuaron en forma integral. En las dos primeras fases no se presentaron fisuras. A partir de la tercera fase se presentaron pequeñas trituraciones del mortero en la zona de unión entre las juntas horizontales y verticales. En la fase 4 se presentaron fisuras horizontales y verticales muy finas en las juntas de la zona central del tabique (Fig.8), las mismas que se prolongaron ligeramente en la fase 5.



Fig.8 Fisuras en la parte central del tabique, en las fases 3 y 4.

6.3. Período Natural de Vibrar

El período natural de vibración (T) del tabique P-7, fue obtenido utilizando la respuesta del acelerómetro A5, ubicado en la parte central del tabique, luego de someterlo a ensayos de vibración libre antes de cada fase. Este período se incrementó desde 0.05 seg (previo a la fase 1) hasta 0.055 seg (previo a la fase 5), producto de las pequeñas fisuras formadas en el ensayo.

Admitiéndose que el tabique se comporta como una losa arriostrada por el pórtico, que la albañilería tiene un peso volumétrico $g = 1892 \text{ kg/m}^3$ y un módulo de Poisson $\nu = 0.25$ ($G = 0.4E$), y que su período de vibrar es $T = 0.05 \text{ seg}$, se obtuvo mediante la Ref. 4 un módulo de elasticidad para el tabique P-7: $E = 650,000 \text{ ton/m}^2$, muy parecido al indicado en 5.3.

6.4. Resultados Máximos

En la Tabla 2, se indica los valores máximos registrados por los acelerómetros y LVDT (ver la notación en la Fig.7) en las 5 fases del ensayo; asimismo, aparece la carga “w”, evaluada tal como se indicó en 6.1. Con relación a los desplazamientos que aparecen en la Tabla 2, fueron obtenidos restando al desplazamiento absoluto el desplazamiento de la plataforma.

Tabla 2. Resultados del Ensayo de Simulación Sísmica.

Aceleración (g)	A0	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9
Fase 1	0.21	0.27	0.26	0.27	0.26	0.25	0.24	0.23	0.23	0.23
Fase 2	0.42	0.56	0.54	0.56	0.54	0.51	0.49	0.48	0.45	0.45
Fase 3	0.60	0.85	0.82	0.85	0.81	0.77	0.71	0.70	0.65	0.65
Fase 4	0.93	1.50	1.37	1.50	1.41	1.29	1.17	1.16	0.98	1.00
Fase 5	1.20	1.90	1.69	1.85	1.76	1.62	1.45	1.47	1.26	1.30
Desplazam. (mm)	D1	D2	D3	D4	D5	Carga “w” (kg/m ²)				
Fase 1	(*)	0.52	3.74	0.68	0.49	29.65				
Fase 2	(*)	0.89	7.34	1.04	1.11	59.59				
Fase 3	(*)	1.32	10.80	1.43	1.68	86.37				
Fase 4	(*)	2.06	18.14	2.26	2.14	144.05				
Fase 5	(*)	2.58	24.15	3.33	2.97	180.32				

(*) Se descalibró el LVDT.

En cuanto a los desplazamientos, puede observarse en la Tabla 2 que D4 y D5 son parecidos en todas las fases del ensayo, por lo que se puede afirmar que no hubo separación entre el tabique y la columna, sino que mas bien hubo compatibilidad de desplazamientos entre ambos elementos. Asimismo, los mayores desplazamientos en la parte intermedia de la altura se produjeron en el punto central del muro (D3), lo que era previsible.

En relación a las aceleraciones, puede notarse en la Tabla 2 que guardan una forma trapezoidal, con valores mayores en la parte alta del muro (A1, A2), y con un promedio con la existente en la parte baja (A8, A9) que es parecido a la aceleración del punto central (A5).

En la Fig.9 se aprecia que la relación carga w – desplazamiento D3 es prácticamente lineal, lo cual hace notar que la rigidez varió muy poco durante todo el ensayo. Este comportamiento es propio de sistemas elásticos y se debió a las pocas y finas fisuras formadas durante el ensayo.

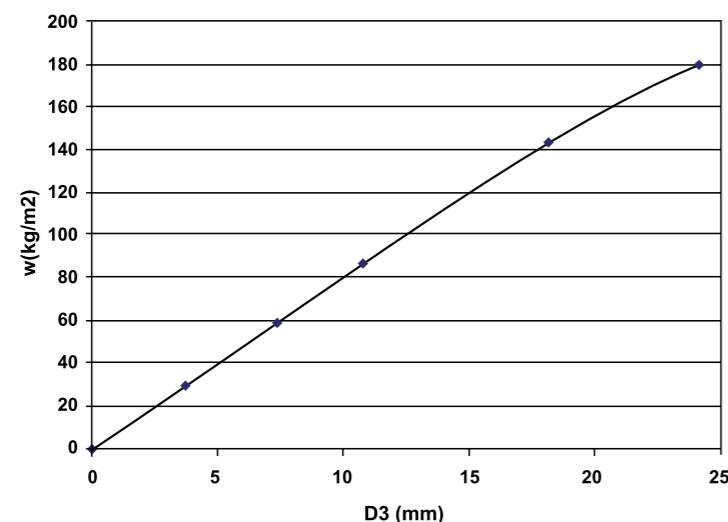


Fig.9 Curva w-D3 en las 5 fases del ensayo sísmico.

6.5. Ensayo Estático Adicional

Puesto que en el ensayo sísmico el espécimen no pudo llevarse a condición de rotura, hubo que realizar un ensayo adicional. Este ensayo consistió en rotar 90° al espécimen, apoyando a una de las caras laterales de la viga y la cimentación sobre perfiles metálicos, de tal modo que las columnas y el tabique queden en libertad de desplazarse verticalmente, para luego cargar paulatinamente al tabique con bolsas de arena (Fig.10).

En este ensayo pudo apreciarse la formación de grietas diagonales en el tabique, propias de una losa sujeta a cargas perpendiculares al plano, así como el agrietamiento por flexión de las columnas, esto último conlleva a la conclusión de que hubo una adecuada transmisión de cargas desde el tabique hacia las columnas, puesto que no se aplicó cargas sobre las columnas. Estas fisuras ocurrieron para una carga $w = 762 \text{ kg/m}^2$, que incluye el peso del tabique.

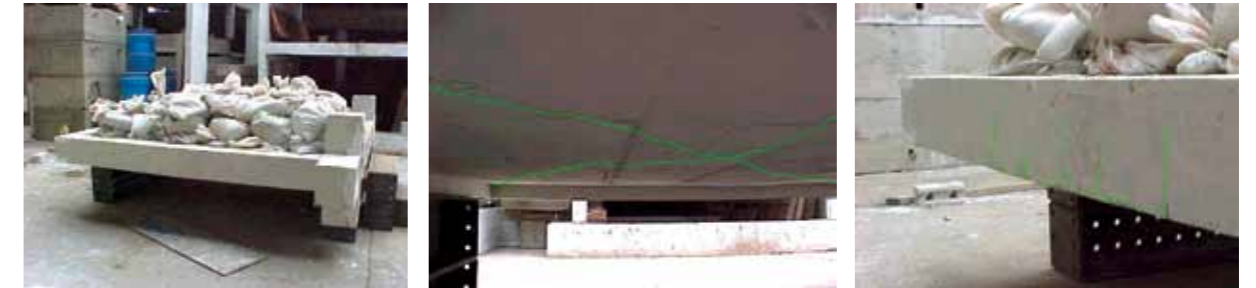


Fig.10. Ensayo estático (izq.), fisuras en el tabique (centro) y fisuras en la columna (der.).

El colapso que se obtuvo (Fig.11) fue frágil, presentándose roturas en el punto de soldadura perno-refuerzo del tabique y falla por anclaje del perno expansivo, ello ocurrió para una carga un tanto mayor que la de agrietamiento (762 kg/m^2).



Fig.11. Colapso del tabique (izq.), falla por anclaje del perno expansivo (centro) y falla en el punto de soldadura perno-refuerzo vertical del tabique (der.).

6.6. Comparación con las Cargas del Reglamento Sísmico

La carga sísmica reglamentaria de rotura (Ref.1), actuando en la dirección perpendicular al plano del tabique, se determina mediante la expresión $V = Z U C I P$, donde Z es el factor de zona, U es el factor de importancia, C I es el coeficiente sísmico y P es el peso del tabique ($P = g t = 1892 \times 0.07 = 132 \text{ kg/m}^2$). Para efectos comparativos, se supone que el edificio se encuentra ubicado en la costa ($Z = 0.4$, la peor de las zonas sísmicas) y se analizan 2 situaciones:

Caso 1: tabique ubicado en la parte interna ($C I = 0.9$) de un edificio común ($U = 1$).

Caso 2: tabique ubicado en el perímetro ($C I = 1.3$) de un edificio esencial ($U = 1.5$). Este caso corresponde a un tabique que puede precipitarse fuera de la edificación.

Bajo estas condiciones se obtiene:

$$V1 (\text{caso 1}) = 0.4 \times 1 \times 0.9 \times 132 = 48 \text{ kg/m}^2.$$

$$V2 (\text{caso 2, el peor}) = 0.4 \times 1.5 \times 1.3 \times 132 = 103 \text{ kg/m}^2.$$

Habiéndose obtenido que las primeras fisuras (muy finas) se produjeron en la Fase 4 del ensayo sísmico para una carga $w = 144 \text{ kg/m}^2$ (Tabla 2) y que las grietas estructurales se presentaron para una carga de 762 kg/m^2 (acápite 6.5), se llega a la conclusión de que el tabique P-7 podría soportar la carga reglamentaria más adversa (caso 2) en el rango elástico y que presenta un margen de seguridad contra el colapso de 15.9 para las situaciones comunes (caso 1) y de 7.4 para las situaciones más adversas (caso 2), con lo cual, el tabique P-7 analizado estuvo sobredimensionado ante las acciones sísmicas transversales a su plano.

6.7. Resistencia a la Primera Fisura de Tracción por Flexión

Las primeras fisuras de tracción por flexión se presentaron en la Fase 4 del ensayo sísmico para una carga $w = 144 \text{ kg/m}^2$ (Tabla 2). Suponiendo que el tabique actúa como una losa simplemente apoyada sobre el pórtico, es posible determinar, de acuerdo con la Ref. 3, el momento sísmico (M) en la parte central del tabique como: $M = m h^2 w = 0.051 \times 2.42 \times 144 = 42.3 \text{ kg-m/m}$, con lo cual la resistencia a tracción por flexión de la albañilería P-7 puede calcularse como:

$$\sigma = M y / I = 6 M / (B t^2) = 6 \times 42.3 / (1 \times 0.07^2) = 51,796 \text{ kg/m}^2 \cong 5 \text{ kg/cm}^2$$

7. CONCLUSIONES

Las conclusiones que se vierten en este artículo son válidas para el tabique P-7 de 2.4 m de altura, conectado al pórtico de concreto armado mediante pernos expansivos y soldadura en la unión con el refuerzo vertical del tabique. Casos donde se ancla el refuerzo vertical en perforaciones hechas en el concreto taponándolas luego con mortero o con epóxico, o donde la altura sea mayor que 2.4 m, deben ser materia de futuras investigaciones.

7.1. Ventajas del Tabique P-7

El tabique P-7 presenta las siguientes ventajas sobre la tabiquería de albañilería tradicional:

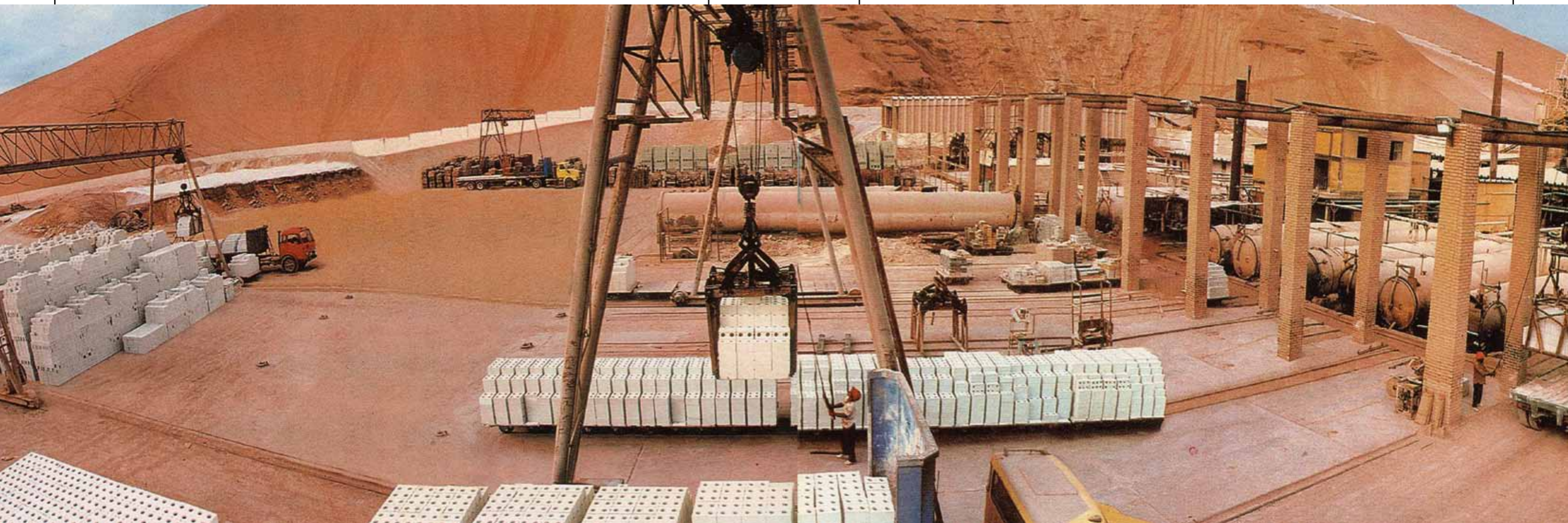
- Su menor espesor (7 cm vs. 12 cm) permite que los ambientes tengan una mayor área libre.

- Su menor espesor y la ausencia de tarrajeos (el tabique P-7 requiere empaste) permiten reducir sustancialmente el peso del edificio, con lo cual, disminuye la fuerza sísmica, así como el refuerzo de los elementos estructurales, lo que incide en la disminución de costos.
- Su construcción en una sola jornada de trabajo, hasta una altura de 2.4 m, y las grandes dimensiones de la Placa P-7, reducen en forma significativa el costo de la mano de obra.
- Su refuerzo vertical interno le permite un comportamiento dúctil después de haberse producido el agrietamiento diagonal del muro por acciones sísmicas coplanares; mientras que para acciones sísmicas perpendiculares al plano, este refuerzo impide la falla por volcamiento, en tanto que los tabiques tradicionales requieren de arriostramientos.

7.2. Integración del Tabique P-7 a la Estructura

Por la forma como se construye y refuerza al tabique P-7, éste se integra totalmente al pórtico que lo enmarca, incrementando su resistencia y rigidez, lo cual puede favorecer o desfavorecer al comportamiento sísmico del edificio (podría causarle problemas de torsión o de piso blando). De esta manera, considerándose que el tabique P-7 no puede aislarse de la estructura principal, debe incluirse su participación en el análisis sísmico estructural contemplando lo siguiente:

- Es posible aplicar el criterio de la sección transformada para el cálculo de la rigidez lateral.
- El reemplazo del tabique por puntales diagonales no es efectivo, debido a que el tabique no llega a separarse del pórtico (observación proveniente de los experimentos).
- Las deformaciones diferidas de las vigas de concreto armado harían con el tiempo que el tabique porte una fracción de la carga vertical, aunque ello debe ser de poca importancia. Más relevante se considera la mejora que producirían estas deformaciones diferidas en la transmisión de las fuerzas sísmicas desde la losa del techo hacia los tabiques P-7.



7.3. Propiedades Estructurales del Tabique P-7

Para fines estructurales puede emplearse las siguientes propiedades para el tabique P-7:

- Peso volumétrico: $\gamma = 1,890 \text{ kg/m}^3$, 5% mayor que el de la albañilería tradicional.
- Módulo de elasticidad: $E = 600,000 \text{ ton/m}^2$.
- Módulo de corte: $G = 0.4 E$ (o módulo de Poisson = 0.25).
- Resistencia a fuerza cortante: 2.5 ton/m de longitud (o 3.6 kg/cm²), en condición de rotura. Esta resistencia fue evaluada restando a la resistencia del conjunto la resistencia que aportaba el pórtico, asumiendo que éste tenía un mecanismo de falla por flexión.
- Capacidad de distorsión inelástica: 0.007. El tabique P-7 ensayado a carga lateral cíclica pudo soportar la distorsión angular máxima permitida por la Norma Sísmica E.030 (0.007, Ref. 1) para edificaciones aporricadas, formándose en esta etapa fisuras finas y una pequeña disminución de la resistencia a fuerza cortante.
- Resistencia a la primera fisura de tracción por flexión de la albañilería ante acciones sísmicas perpendiculares al plano: 5 kg/cm².

7.4. Comportamiento del Tabique P-7 ante Acciones Sísmicas Transversales

- El tabique P-7 ensayado en mesa vibradora a carga sísmica perpendicular a su plano, se comportó como una losa apoyada sobre el pórtico, con un período natural de vibrar de 0.05 seg muy distante del período predominante del sismo de ensayo (0.4 seg), por lo cual no entró en condición de resonancia, comportándose prácticamente en el régimen elástico, incluso para aceleraciones en la base de hasta 1.2 g correspondiente a sismos muy severos.
- Cuando el conjunto pórtico-tabique se giró 90° para someterlo a cargas estáticas, se produjeron fisuras en el tabique en forma de aspa, propias de una losa arriostrada en sus 4 bordes, y fisuras de flexión en las columnas, lo cual indicó que las cargas se transmitieron en forma adecuada desde el tabique hacia las columnas. Bajo esta condición, se alcanzó una carga 7.4 veces superior a la carga de rotura reglamentaria para la condición más adversa (tabique ubicado en el perímetro de un edificio esencial localizado en la costa), por lo que se considera que el tabique P-7 se encuentra sobredimensionado para este tipo de acción, pero, para acciones sísmicas coplanares se considera que el refuerzo utilizado es adecuado.

8. REFERENCIAS

1. SENCICO, 2003. Reglamento Nacional de Construcciones. Norma Técnica de Edificación E.030, Diseño Sismorresistente.
2. San Bartolomé A., 1998. Construcciones de Albañilería, Comportamiento Sísmico y Diseño Estructural. Fondo Editorial de la Pontificia Universidad Católica del Perú.
3. SENCICO, 2005. Reglamento Nacional de Construcciones. Norma Técnica de Edificación E.070, Albañilería.
4. Timoshenko S., Young D. and Weaver W., 1974. Vibration Problems in Engineering. Fourth Edition. John Wiley & sons.

9. AGRADECIMIENTO

Los autores desean expresar su profundo agradecimiento al personal de la Compañía Minera Luren S.A., en especial a su presidente, Ing. Alejandro Garland Melián, por su valiosa contribución en este proyecto, consistente en la donación de materiales y la proporción de la mano de obra que permitió la construcción de los tabiques utilizando la Placa P-7.