

COMPORTAMIENTO DE ALFÉIZARES CONSTRUIDOS CON LA PLACA P-10 ANTE CARGAS SÍSMICAS PERPENDICULARES A SU PLANO

Por: Ángel San Bartolomé, Alonso Icochea y Alejandro Fernández

Pontificia Universidad Católica del Perú

RESUMEN

Considerándose: 1) que el Perú se encuentra ubicado en una zona altamente sísmica; 2) el gran uso de alféizares hechos con la Placa P-10 en edificios de concreto armado; 3) el peligro que representan para las personas el posible volteo de estos elementos ante movimientos sísmicos; y, 4) que actualmente no se conoce el comportamiento que puedan tener estos alféizares ante sismos severos, se consideró necesario investigar experimentalmente si estos elementos, tal como se construyen actualmente, tendrán o no un buen comportamiento sísmico.

1. INTRODUCCIÓN

La finalidad principal de esta investigación es comprobar mediante ensayos de simulación sísmica, el comportamiento de los alféizares (Fig.1) hechos con la Placa P-10 ante sollicitaciones perpendiculares a su plano. Para este efecto se construyeron 4 muretes, cada uno de ellos con metodología de construcción diferente, de acuerdo a como se construyen en obra y de acuerdo a las recomendaciones del fabricante. Cabe señalar que este sistema no está reglamentado y por ello debería seguirse las especificaciones del fabricante de la Placa P-10, quién en el acápite 9.1, "Alféizares, parapetos y muros con ventana alta", de la Ref.3 especifica:

- a. Debido al mayor coeficiente de seguridad que se requiere en estos casos, cuando se construyan alféizares, parapetos y muros con ventana alta, no podrá hacerse uso de las Placas P-7 debido a la esbeltez que presenta. Como mínimo deberá hacerse uso de la Placa P-10. También podrán ser usadas las Placas P-12 y P-14.
- b. Las varillas verticales de acero corrugado serán de 8mm y deberán ser colocadas empezando por el primer y último alvéolo del muro, distribuyendo las demás hacia el centro del mismo cada 51 cm. Así mismo, la profundidad de la perforación del anclaje deberá ser de 10cm como mínimo. Las Placas deberán ser asentadas con amarre de sogas a mitad al igual que el resto de los muros.
- c. Los alféizares, parapetos y muros con ventana alta, deberán ser aislados mediante una junta de separación de $\frac{1}{2}$ ", la cual deberá ser rellena con una plancha de tecnopor, la que deberá ser colocada antes del asentado de la primera hilada y nunca después.
- d. En muros con ventana alta ubicados entre elementos estructurales de concreto, deberá colocarse una varilla horizontal de acero de 8mm en la última junta de mortero horizontal, con la finalidad de asegurar el alféizar. Para ello, debe taladrarse en cada uno de los elementos estructurales, un agujero de 5 cm de profundidad por $\frac{1}{2}$ " de diámetro, donde quedará simplemente insertada esta varilla. En este caso, la varilla no llevará epóxico.
- e. Cuando la altura del alféizar o muro de ventana alta no es múltiplo exacto de la altura de la Placa incluidas las juntas horizontales, la hilada de piezas no enteras no deberá ser la última.
- f. La altura máxima del parapeto deberá ser de 1.25 m. Para alturas mayores hasta 2.50 m deberá usarse Placa P-10 con canal y el refuerzo de acero de este muro así como sus anclajes deberán ser diseñados por el ingeniero estructural.

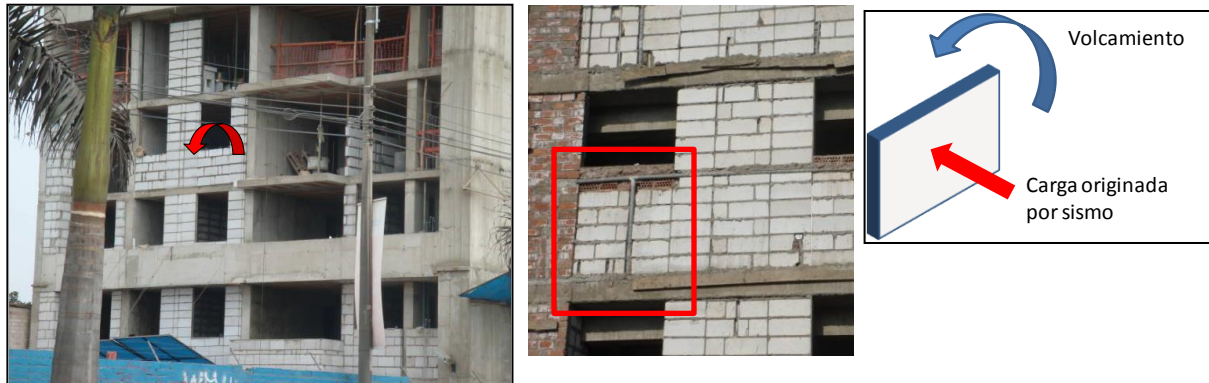


Fig.1. Edificio de concreto armado con alféizares de Placa P-10 sílico-calcárea.

2. CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS ESPECÍMENES

Los 4 alféizares fueron de 1.53 m de largo por 0.90 m de alto. Se utilizaron bloques sílico calcáreos de 10 cm de espesor (Placa P-10). Para la construcción de los muretes y anclajes se necesitaron 1 operario y 1 ayudante, aportados por el fabricante de la Placa P-10, Compañía Minera Luren S.A. LACASA. Los 4 muretes se construyeron sobre un anillo de cimentación de concreto armado.

3. MATERIALES UTILIZADOS

3.1 Unidades de Albañilería

Se usaron bloques de albañilería industrial, denominados Placas P-10. Son unidades sílico-calcáreas diseñadas para la construcción de muros no portantes. Sus dimensiones son: 10x50x25 cm y presentan 4 alveolos. La principal ventaja de los muros construidos con este producto es la posibilidad de ser empastados directamente sin la necesidad de un tarrajeo previo.

3.2 Agregados

En el concreto del anillo de cimentación (Fig.8) se usó agregado fino consistente en arena gruesa natural, mientras que el agregado grueso fue piedra chancada de $\frac{1}{2}$ ". En el mortero el agregado fino proporciona estabilidad volumétrica y atenúa la contracción por secado, para lo cual es importante que haya menos de 5% de polvo (partículas que atraviesan la malla ASTM #200).

3.3 Cemento

Se utilizó cemento normalizado Portland tipo I embolsado.

3.4 Mortero

Se empleó el mortero suministrado por LACASA (Ultra-Pega, grueso), el cual es especial para el asentado de Placas P-10 o cualquier otra unidad de albañilería de arcilla o de concreto.

3.5 Concreto fluido (grout)

El concreto fluido, o "grout", se emplea para rellenar los alvéolos o celdas de las unidades que forman un muro y tiene como función integrar el refuerzo con la albañilería en un solo conjunto estructural, denominado "Albañilería Armada". Este material debe ser preparado mecánicamente en una mezcladora y su revenimiento, medido en el cono de Abrams, ASTM C-1019, debe ser alrededor de 10 pulgadas. Se usó grout embolsado (Ultra-Pega, concreto) proporcionado por LACASA, el cual es especial para rellenar los alvéolos de la placa P-10.

3.6 Acero de refuerzo

Se usaron varillas de acero corrugado, Grado 60, de 8mm de diámetro como refuerzo vertical, y varillas de acero corrugado de 6mm de diámetro a lo largo del murete como refuerzo horizontal.

3.7 Epóxico

Es un material tixotrópico de dos componentes a base de resinas epóxicas y cargas inactivas, exento de solventes. Se usó Sikadur 31 HI-MOD-GEL (Ref.6), el cual cumple con la norma ASTM C-881: Standard Specification for Epoxy-Resin-Base Bonding System for Concrete. La profundidad de la perforación se rige por las indicaciones del fabricante del epóxico, quién especifica que no debe ser menor que 15 veces el diámetro de la barra de anclaje.

3.8 PVC en murete M3

En el murete M3, para simular una instalación sanitaria de acuerdo a como se vio en las visitas a las obras (Fig.1), se usó una tubería de 2" de diámetro de marca PAVCO.

4. ENSAYO DE ANCLAJE DEL REFUERZO VERTICAL

4.1 Generalidades

El ensayo que se utilizó es el de pull-out (Fig.2), que mide la fuerza (tracción directa) necesaria para romper la adherencia de una barra de acero empotrada en el concreto con ayuda de un puente de adherencia (anclaje químico con epóxico).

4.2 Descripción del ensayo e instrumentación

Se anclaron químicamente 3 barras corrugadas de 8mm de diámetro, espaciadas a 90cm sobre el anillo de cimentación (de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$). Siguiéndose las indicaciones del fabricante del epóxico, la profundidad de la perforación fue 12cm (15 veces el diámetro de la barra) y su diámetro fue de 10mm (broca #10). Esta perforación se limpió con aire comprimido. Luego, se aplicó el epóxico en la perforación con ayuda de una bolsa plástica que sirvió como chisqueto hasta rellenar todo el volumen vacío. Una vez terminado este proceso, se insertó la varilla, con la ayuda de un martillo para garantizar que ingrese 12cm.

El ensayo se realizó de manera estática y permitió determinar la resistencia máxima de adherencia (Fig.2). Como resultado se obtuvo que las 3 varillas fallaron por anclaje para una fuerza mayor al límite de fluencia ($F_y = A_s f_y = 0.5 \times 4200 = 2100 \text{ kg}$) de la barra, que es el valor de diseño.

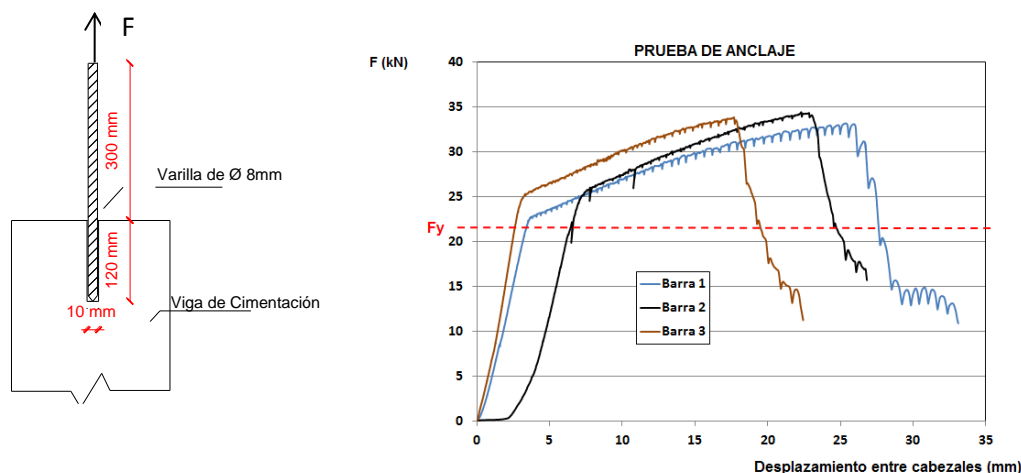


Fig.2. Prueba de anclaje de la barra vertical y resultados.

5. CONSTRUCCIÓN DE LOS MURETES

Sobre el anillo de cimentación se construyeron 4 muretes (Fig.8), representativos de alféizares de 1.53m de largo y 0.9m de alto. Los muretes constaron de 4 hiladas y en la tercera hilada se usaron bloques recortados con 9cm de altura. En el murete M1 (patrón de comparación) se aplicaron las especificaciones tanto del fabricante de la Placa P-10 como del epóxico. En los 3 muretes siguientes se aplicaron técnicas constructivas vistas en obra, siendo la de menor calidad en M2 y la de mejor calidad en M4, adicionándose en M3 una tubería PVC de 2" de diámetro.

En la Tabla 1 se hace un resumen de las principales variantes que tuvieron los alféizares M1 a M4, mientras que en las figuras 3 a 6 se muestra algunos detalles del proceso constructivo.

Tabla 1. Características de la construcción de muretes.

Parámetro	Murete M1	Murete M2	Murete M3	Murete M4
Profundidad de la perforación	12 cm	5 cm	10 cm	10 cm
Diámetro de la perforación	10 mm hecha con broca #10			
Limpieza de la perforación	Con compresora	Con soplador eléctrico	Con compresora	Con compresora
Aplicación del epóxico	Con bolsa (chisguete)	Con el dedo	Con bolsa (chisguete)	Con ayuda de una varilla
Zonas de aplicación del epóxico	Agujero libre y extremo del refuerzo vertical	Agujero libre	Agujero libre	Agujero libre y extremo del refuerzo vertical
Espaciador del refuerzo vertical	Ninguno	Tacos	Ninguno	Ninguno
Juntas horizontales	Mortero	Grout, colocado en cintas	Mortero	Mortero
Juntas verticales	Mortero	Grout	Grout	Grout
Compactación y vaciado del grout en alveolos	Con una varilla lisa. Vaciado cada hilada.	Se sacude el refuerzo vertical. Vaciado cada 2 hiladas.	Se sacude el refuerzo vertical. Vaciado cada hilada.	Ninguno. Vaciado cada hilada.
Acero horizontal	1 ϕ 6mm @ 2 hiladas, sin anclaje en alveolos	2 ϕ 6 mm en la segunda junta horizontal, sin anclaje	1 ϕ 6mm @ 2 hiladas, doble anclaje en alveolos extremos	1 ϕ 6mm @ 2 hiladas, un anclaje en alveolo extremo
Acero vertical	1 ϕ 8mm @ 51 y 37cm (total 4 ϕ 8mm)			
Tipo de albañilería	Totalmente rellena	Parcialmente rellena	Totalmente rellena	Totalmente rellena
Observaciones	Caso ideal según especificaciones técnicas	Método constructivo de menor calidad	Hay un tubo de 2" de PVC empotrado verticalmente	Mejor método constructivo visto en obra

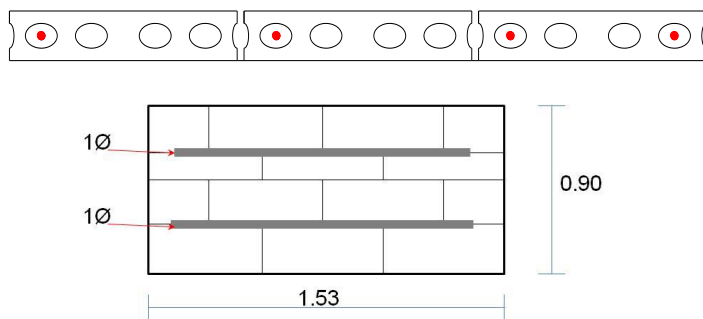


Fig.3. Murete M1. Secciones, compresora de aire, chisquete (bolsa de plástico) con epóxico, asentado de bloques y relleno de alveolos con grout.

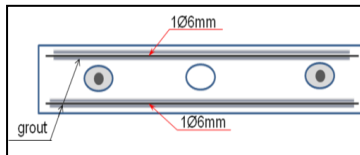


Fig.4. Murete M2. Sección, relleno del epóxico con el dedo, cintas de grout en refuerzo horizontal, taponado con papel en alveolos libres, la albañilería fue parcialmente rellena.

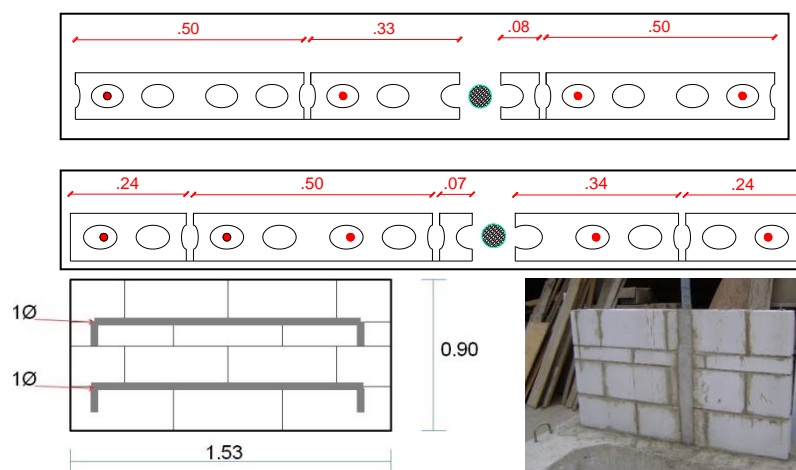


Fig.5. Murete M3 con tubo PVC de 2". Secciones horizontales y vertical. El espacio entre el tubo y los bloques se rellenó con grout.

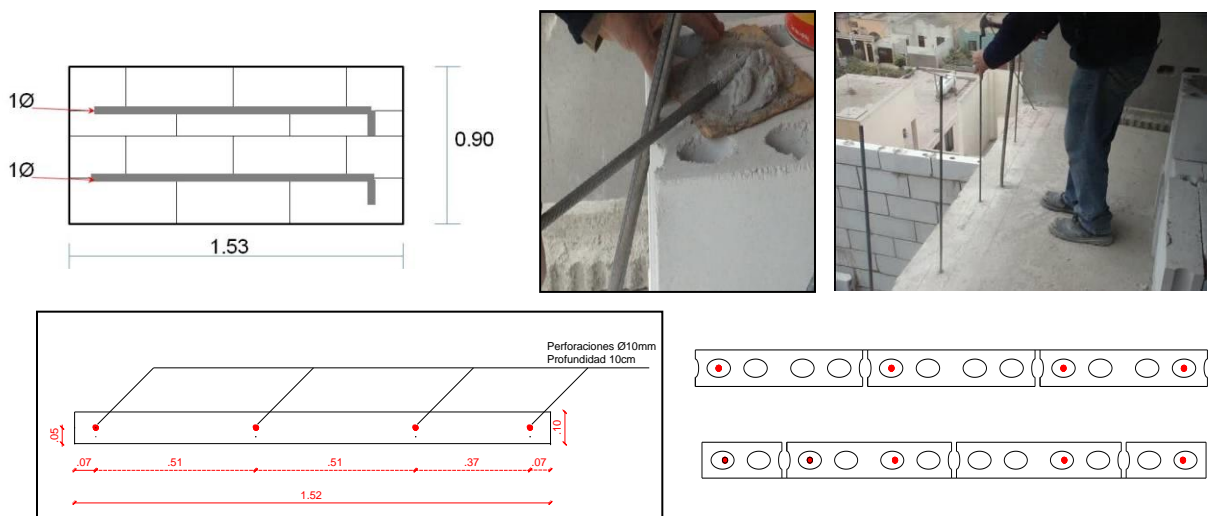


Fig.6. Murete M4. Secciones, aplicación de epóxido en extremo de barra vertical y anclaje.

6. ENSAYOS DE CARGA SÍSMICA

6.1 Descripción del ensayo, fases del ensayo e instrumentación

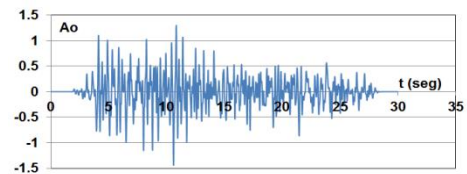
Para el ensayo de simulación sísmica se utilizó la señal correspondiente a la componente L del terremoto del 31 de mayo de 1970 (Fig.7), ocurrido en Chimbote. La aceleración máxima del movimiento fue variable (fases del ensayo), de tal modo de representar sismos moderados y severos. Las aceleraciones máximas en la mesa vibradora (A_o) fueron:

Fase 1: $A_o = +0.72g$ y $-0.93g$

Fase 2: $A_o = +0.89g$ y $-1.13g$

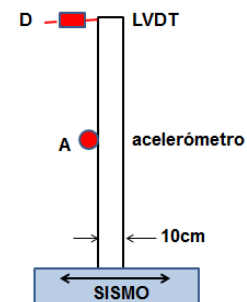
Fase 3: $A_o = +1.30g$ y $-1.44g$

Fig.7. Variación de A_o en el tiempo.



Los 4 muretes (Fig.8) fueron ensayados en simultáneo y cada uno tuvo un acelerómetro (para medir la aceleración "A") colocado en el centro de masa del murete, y un LVDT (para medir el desplazamiento "D") colocado en el borde superior central del murete. Aparte se usaron el acelerómetro "A_o" y el LVDT "D_o" de la mesa vibradora del Laboratorio de Estructuras PUCP.

Fig.8. Ensayo sísmico e instrumentación.



6.2 Comportamiento cualitativo de los alféizares

En las tres fases del ensayo el comportamiento fue elástico y sólo se presentaron fisuras muy finas durante las fases 2 y 3 en el murete M3, paralelas al eje de la tubería instalada.

6.3 Comportamiento cuantitativo de los alféizares

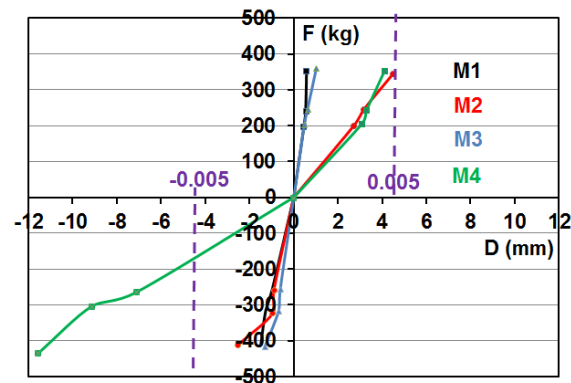
La fuerza sísmica total perpendicular al plano del murete (F) fue calculada en forma aproximada, multiplicando la masa (peso volumétrico: $\gamma = 2000 \text{ kg/m}^3$, peso total: $2000 \times 1.53 \times 0.9 \times 0.1 = 275 \text{ kg}$) del murete por la aceleración existente en su centro de gravedad (A). Para hallar la fuerza repartida por unidad de área (w), se dividió “F” entre el área del murete ($1.53 \times 0.9 \text{ m}$).

El desplazamiento relativo a la mesa (“D” o deformación por flexión del murete) se calculó restando al desplazamiento absoluto captado por el LVDT el desplazamiento de la mesa vibradora (Do).

En la Tabla 2 se presenta los valores máximos de “F” y “D” para las 3 fases del ensayo, mientras que en la Fig.9 se han graficado estos valores.

Tabla 2. Valores máximos de “F” (kg) y “D” (mm)								
Murete	M1		M2		M3		M4	
	F	D	F	D	F	D	F	D
Fase 1	198	0.46	200	2.72	202	0.48	205	3.08
Fase 2	241	0.54	246	3.18	245	0.62	243	3.30
Fase 3	353	0.58	344	4.49	360	1.02	352	4.10
Fase 1	-253	-0.96	-259	-0.90	-256	-0.61	-264	-7.11
Fase 2	-317	-1.27	-323	-0.95	-316	-0.68	-304	-9.14
Fase 3	-411	-1.49	-412	-2.54	-417	-1.31	-435	-11.56

Fig.9. Resultados del ensayo sísmico en sus 3 fases y deriva permitida (0.005).



Observando la Fig.9 y la Tabla 2, se nota que para una fase determinada la fuerza “F” se mantiene prácticamente igual para los 4 muretes y crece conforme se incrementa el nivel de aceleración en la base (Ao), lo cual indica un comportamiento elástico de los 4 muretes. Sin embargo, esto no ocurre con los desplazamientos “D”, donde se presenta coincidencia en 2 muretes (M1 con M3 y M2 con M4) en la rama positiva, y en 3 muretes en la rama negativa (M1, M2 y M3), mientras que en M4 los desplazamientos crecen desmedidamente, incluso superando a la deriva máxima inelástica indicada por la Norma sísmica E.030 (Ref.2), pese a que M4 no tuvo fisuras (se comportó elásticamente). En adición, los desplazamientos de M1 y M3 son muy pequeños, por lo que podrían presentar errores debido a la precisión de los LVDT utilizados (200 mm de capacidad). Por lo indicado, en este acápite del artículo se prefiere trabajar con las fuerzas dejando de lado a los desplazamientos.

6.4 Comparación de la carga reglamentaria de diseño (Fr) y la carga experimental (F)

Según la norma de diseño en albañilería E.070 (Ref.1) la carga elástica reglamentaria (la carga última se obtiene amplificándola por 1.25) viene dada por la siguiente expresión:

$$w = 0.8 Z U C_1 \gamma t \left(\frac{kg}{m^2} \right)$$

Dónde:

Z = factor de zona sísmica (Zona 3, Costa $\rightarrow Z = 0.4$)

U = factor de uso o importancia ($U = 1$, para viviendas)

$C1$ = coeficiente sísmico (parapetos externos que se pueden precipitar $\rightarrow C1 = 1.3$)

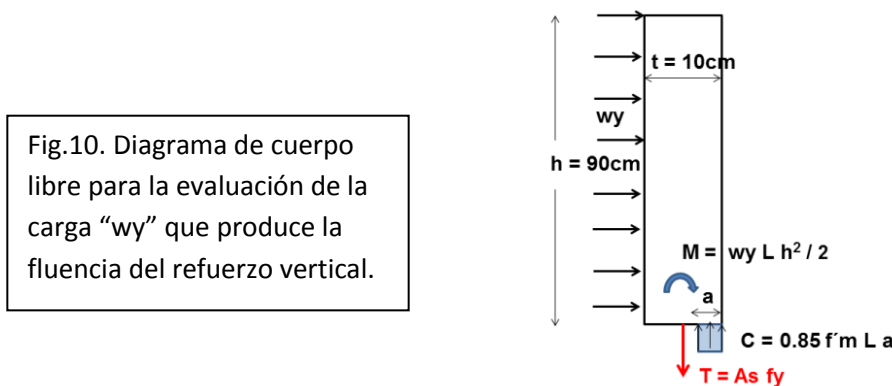
γ = Peso volumétrico de la albañilería ($\gamma = 2000 \text{ kg/m}^3$)

t = espesor del alféizar = 0.1m

Remplazando valores se obtiene: $w = 83.2 \text{ kg/m}^2$, que multiplicada por el área del murete resulta una fuerza sísmica total reglamentaria igual a: $Fr = w L h = 83.2 \times 1.53 \times 0.9 = 115 \text{ kg}$. Este resultado está muy por debajo de las cargas máximas obtenidas para la fase 3 del ensayo (del orden de 410 kg, Tabla 2), por lo que los muretes estuvieron sobre diseñados.

6.5 Comparación de la carga experimental (F) y la resistencia a fluencia del acero (Fy)

A continuación se calcula la carga distribuida (w_y) para la cual se produce la fluencia del refuerzo vertical (Fig.10).



Despreciando el peso propio, del equilibrio de fuerzas verticales se obtiene “ a ”:

$$T = A_s f_y = C = 0.85 f'_m L a$$

Dónde:

A_s = área total del refuerzo vertical ($4 \phi 8\text{mm} \rightarrow A_s = 2.0 \text{ cm}^2$)

f_y = esfuerzo de fluencia del acero = 4200 kg/cm^2

f'_m = resistencia a compresión de la albañilería = 110 kg/cm^2

L = longitud del murete = 153 cm

t = espesor del murete = 10 cm

h = altura del murete = 90 cm

a = profundidad de la franja en compresión.

Reemplazando valores resulta **$a = 0.59\text{cm}$**

Por equilibrio de momentos se calcula “ w_y ”:

$$A_s f_y \left(\frac{t}{2} - \frac{a}{2} \right) = M = w_y L h \frac{h}{2}$$

Reemplazando valores se obtiene $w_y = 641 \text{ kg/m}^2$, luego la fuerza total para producir la fluencia del refuerzo vertical es: $F_y = w_y L h = 883 \text{ kg}$, valor que está muy por encima de las cargas máximas obtenidas para la fase 3 del ensayo (del orden de 410 kg, Tabla 2), por lo que los muretes estuvieron sobre diseñados y el comportamiento sísmico fue elástico aún en la fase más severa del ensayo.

7. ENSAYOS DE CARGA ESTÁTICA

Puesto que en el ensayo dinámico los 4 muretes se comportaron elásticamente, se efectuó un ensayo estático hasta alcanzar la falla de cada murete.

7.1 Descripción del ensayo e instrumentación

El ensayo consistió en someter a cada murete a la aplicación de una carga lateral monotónicamente creciente ("P" en la Fig.11), midiéndose con un LVDT el desplazamiento lateral del punto central superior del murete y con una celda de carga, la carga concentrada aplicada en el borde superior con una gata hidráulica.

Fig.11. Ensayo estático.



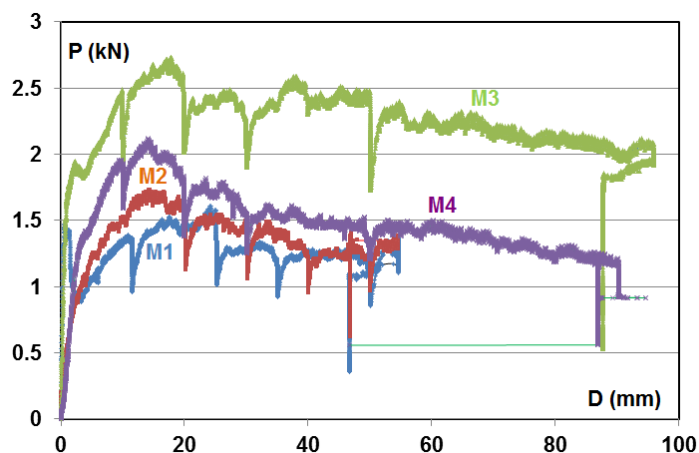
7.2 Comportamiento de los alféizares y resultados

Los 4 muretes fallaron por flexión a través de su base, presentándose además al término del ensayo una falla por anclaje del refuerzo vertical (Fig.11). En la Tabla 3 se presenta la máxima carga concentrada (P) localizada en el borde superior del murete, después se obtendrá la carga distribuida equivalente, y el desplazamiento lateral asociado a esta carga máxima (D). En la Fig.12 se presenta la historia completa de la gráfica P-D para los 4 muretes.

Tabla 3. Carga estática máxima (P) y desplazamiento lateral asociado (D)

Murete M1		Murete M2		Murete M3		Murete M4	
P (kg)	D (mm)	P (kg)	D (mm)	P (kg)	D (mm)	P (kg)	D (mm)
164	24.20	176	14.38	278	17.84	216	14.10

Fig.12. Ensayo estático.
Gráfica P-D de los 4 muretes.



En la Fig.12 debe indicarse que el ensayo de M1 y M2 culminó a los 50mm, porque se superó la carrera del LVDT, mientras que en M3 y M4 se utilizaron LVDT de mayor capacidad. En esta figura se nota con claridad el mejor desempeño del murete M3, pese a la existencia de una tubería.

7.3 Fuerza equivalente “Fe” o resistencia total en el ensayo estático

La carga sísmica real actúa de manera uniformemente distribuida sobre todo el plano del murete (w), mientras que en el ensayo estático se aplicó una carga concentrada a lo largo del borde superior (P). Es por ello que para hallar la equivalencia en el rango elástico, hasta su límite máximo, se igualan los desplazamientos laterales asociados a cada tipo de carga (Dp y Dw), que para una barra en voladizo, con módulo de elasticidad “E” y momento de inercia “I”, resulta:

$$Dp = \frac{P h^3}{3 E I} = Dw = \frac{W h^4}{8 E I}$$

Con lo cual:

$$W = \frac{8 P}{3 h}$$

Dónde:

W = carga distribuida equivalente por unidad de altura (kg/m)

P = carga concentrada total aplicada en el ensayo (kg)

h = 0.90 m (altura del murete)

L = 1.53 m (longitud del murete)

Entonces, la carga equivalente distribuida por unidad de área es: $w = W / L$, mientras que la fuerza total equivalente aplicada en el centro de gravedad del murete (Fe), resulta: **Fe = w L h = 8/3 P**.

7.4 Comparación de fuerzas y resistencias

Con fines comparativos, en la Tabla 4 se muestran los valores máximos de la resistencia estática equivalente (Fe), la fuerza sísmica de la fase 3 (F), la más severa, la fuerza de diseño elástico reglamentario (Fr) y la resistencia asociada a la fluencia del refuerzo vertical (Fy).

Tabla 4. Comparación de fuerzas y resistencias			
Murete M1	Murete M2	Murete M3	Murete M4
Resistencia estática equivalente total “Fe” en kg (Fe = 8/3 P, ver P en la Tabla 3)			
438	470	742	576
Fuerza sísmica máxima en la fase 3 del ensayo “F” en kg (Tabla 2)			
411	412	417	435
Fuerza sísmica de diseño elástico reglamentario Fr = 115 kg (acápite 6.4)			
Resistencia asociada a la fluencia del refuerzo vertical Fy = 883 kg (acápite 6.5)			

De la Tabla 4 se puede decir:

- En ninguno de los dos ensayos (dinámico y estático) se llegó a alcanzar la resistencia a la fluencia del refuerzo vertical (Fy), por lo que los muretes estuvieron sobre diseñados, sobrepasándose largamente a la fuerza de diseño elástico reglamentario Fr (para un diseño a la rotura se amplifica Fr por 1.25, Ref.1).
- La falla que tuvieron los muretes en el ensayo estático fue por anclaje del refuerzo vertical y no por fluencia de este refuerzo (“Fe” es menor que “Fy”). Cabe señalar que en el ensayo de anclaje (Fig.2) se aplicó una tracción directa a la barra, incurriendo ella en la fluencia, mientras que en la simulación sísmica la tracción es por flexión.

- Los muretes M1 y M4 hubiesen fallado por anclaje para un sismo ligeramente mayor al de la fase 3, ya que los valores de “Fe” son ligeramente mayores que “F”, en cambio, los muretes M3 y M4 tendrían mayor reserva.
- El murete M3 tuvo una resistencia mayor que los otros muretes, esto podría deberse a que en un murete de poca altura, el tubo PVC trató de comportarse como un refuerzo vertical adicional, hay que recordar que este tubo estuvo empotrado en la cimentación.
- El murete mejor construido (M4), tuvo mejor comportamiento que los muretes M1 y M2.

8. CONCLUSIONES

Las conclusiones que se vierten a continuación se encuentran limitadas principalmente por la altura de los alféizares analizados (90cm), por lo que se recomienda investigar otras alturas.

- Conforme se incrementó la potencia del sismo de ensayo (Ao), también se incrementaron los valores máximos de las cargas registradas en los 4 muretes (F), lo que es propio de un comportamiento elástico (Fig.13).
- En promedio, las fuerzas “F” del ensayo dinámico son mayores en un 265% a la fuerza de diseño elástico indicada por la norma E.070, estos resultados permiten concluir que el comportamiento mostrado por los muretes debía ser elástico y que se encuentran sobredimensionados.
- Las resistencias máximas de cada murete obtenidas del ensayo estático están muy por encima de la carga reglamentaria de diseño de la norma E.070 y superan a los valores experimentales de la fase más potente del ensayo dinámico, pero no llegan a alcanzar la carga de fluencia del refuerzo vertical, por tanto, el refuerzo especificado por el fabricante está sobredimensionado.
- El murete M3 tuvo la mayor resistencia en los ensayos estáticos debido al refuerzo adicional que generó la tubería empotrada en la cimentación y de poca altura. Seguidamente, el murete M4 superó en resistencia a M1 y M2, debido a su mejor proceso constructivo.
- La disposición del refuerzo horizontal no tuvo mayor trascendencia ya que ante los sismos el refuerzo que soporta la flexión por carga perpendicular al plano de muros en voladizo es el vertical, el horizontal solo sirve para contrarrestar la contracción de fragua, los efectos de temperatura y proporcionar un mejor amarre entre las placas P-10.
- En el ensayo de anclaje la fuerza de tracción aplicada fue directa y el refuerzo vertical entró en fluencia para fallar finalmente por anclaje. Esto no ocurrió en el ensayo estático de los muretes, que fallaron por anclaje del refuerzo vertical sin que éste llegue a fluir, esto se debió a que en el ensayo de simulación sísmica el refuerzo vertical trabaja a tracción por flexión. Lo indicado dificulta el diseño por flexión de las barras verticales de los alféizares, ya que usualmente se utiliza para el diseño el esfuerzo de fluencia de la barra.
- Aparentemente dio lo mismo usar una profundidad de anclaje del refuerzo vertical especificada por el fabricante del epóxico (15 veces el diámetro de la barra, o 12cm para M1), que usar 10cm (para M3 y M4) o 5cm para M2, ya que la forma de falla final en el ensayo estático fue la misma (Fig.14). De este modo, debe hacerse mayores estudios al respecto.
- En cuanto a los desplazamientos, derivas y rigideces laterales, no puede afirmarse nada debido a que los desplazamientos dinámicos fueron muy pequeños y aparentemente estuvieron fuera del rango de precisión de los LVDT utilizados.

Fig.13. Ensayo dinámico.
Gráfica F-Ao de los 4 muretes.

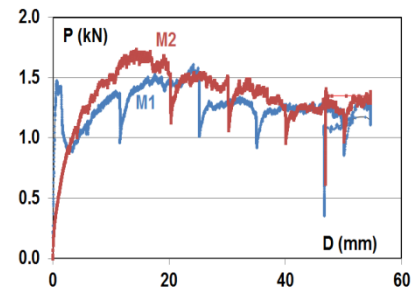
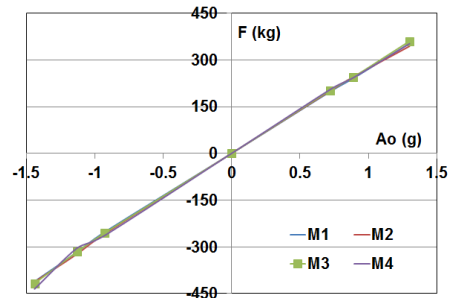


Fig.14. Ensayo estático, D = 50mm. Falla final por anclaje del refuerzo vertical en muretes M1 (anclaje 12cm) y M2 (anclaje 5cm).

REFERENCIAS

1. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, y SENCICO. Norma Técnica de Edificaciones E.070 "Albañilería". Reglamento Nacional de Edificaciones. Lima, 2006.
2. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, y SENCICO. Norma Técnica de Edificaciones E.030 "Diseño Sismorresistente". Reglamento Nacional de Edificaciones. Lima, 2006.
3. CML LACASA. Compañía Minera Luren S.A. Manual de instalación para muros no portantes con placas P-7, P-10, P-12 y P-14 en Albañilería – Décimo tercera edición – Lima, 2011.
4. San Bartolomé, A., Quiun, D. y Silva, W. Diseño y construcción de estructuras sismorresistentes de albañilería. Fondo Editorial de la Pontificia Universidad Católica del Perú. Febrero, 2011.
5. San Bartolomé, A. Blog de Investigaciones en Albañilería <http://blog.pucp.edu.pe/blog/albanileria> Lima, 2007.
6. Sika. Hoja Técnica, Edición 4, 15/03/2007, LC Sikadur® 31 Hi-Mod-Gel

AGRADECIMIENTO

Los autores desean expresar su agradecimiento a los alumnos PUCP Miklail Rivera y Aldo Díaz, por su colaboración prestada en la primera parte del proyecto, a CML LACASA por la donación de los materiales de construcción y el suministro de la mano de obra, así como al Laboratorio de Estructuras Antisísmica de la PUCP por la prestación de personal técnico y equipos de ensayos.