

ESTUDIO EXPERIMENTAL DE CUATRO ALTERNATIVAS PARA IMPEDIR LA FALLA POR DESLIZAMIENTO EN LOS MUROS DE ALBAÑILERÍA ARMADA

Por: Angel San Bartolomé, Wilson Silva, Eliana Meléndez y Gino Castro
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

RESUMEN

Con el apoyo financiero de la Dirección Académica de Investigación (DAI) de la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP), se efectuó en el Laboratorio de Estructuras de la PUCP, un estudio experimental que tuvo por objeto impedir la falla por deslizamiento en los muros de albañilería armada construidos con bloques de concreto vibrado, cuando ellos se ven sujetos a terremotos. En primer lugar, se analizaron las posibles causas que pueden originar la falla por deslizamiento, para luego plantear soluciones económicas y sencillas de ejecutar en obra. Posteriormente, estas soluciones se aplicaron en la construcción de cinco muros, los que luego fueron ensayados a carga lateral cíclica obteniéndose resultados satisfactorios.

1. INTRODUCCIÓN

En los edificios estructurados con muros de albañilería armada sometidos a terremotos, puede ocurrir, por una serie de razones, una falla por deslizamiento (cizalle o corte-fricción). Esta forma de falla es muy peligrosa, porque la sección transversal del muro se reduce significativamente (Fig.1), debido a la acción simultánea de las cargas sísmicas coplanares y perpendiculares al plano del muro, y también, porque esta falla puede causar incluso la rotura del refuerzo vertical y el disloque del muro por encima del plano de falla, lo que genera una doble excentricidad de la carga vertical. De esta manera, el objetivo del proyecto es tratar de eliminar la falla por deslizamiento, o al menos retardar su aparición hasta que los muros alcancen la distorsión angular inelástica máxima permitida para las construcciones de albañilería armada por nuestra norma sísmica (0.005, Ref.1) cuando ocurren sismos severos, transformando este tipo de falla en otras menos peligrosas, como son: las fallas por flexión o por fuerza cortante.



Fig.1. Falla por deslizamiento.

2. POSIBLES CAUSAS DE LA FALLA POR DESLIZAMIENTO

1. Falta de adherencia bloque-mortero. Los bloques tienen una succión relativamente elevada, lo que conduce a que el mortero colocado sobre él endurezca rápidamente, perdiéndose la adherencia con el bloque de la hilada inmediata superior, originándose de este modo

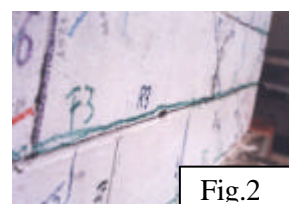


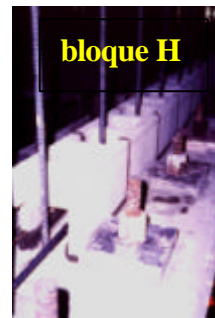
Fig.2

un plano potencial de deslizamiento (Fig.2). Cabe indicar que los bloques se asientan en su estado natural (secos) y el único tratamiento que reciben es la limpieza de partículas sueltas.

2. Traslape del refuerzo vertical. Tradicionalmente, para facilitar el proceso constructivo de la albañilería armada, se acostumbra dejar espigas ancladas en la cimentación, para después de terminar con la construcción de la albañilería, insertar las barras verticales traslapándolas con las espigas, creándose de esta manera un plano de debilidad en la zona donde terminan las espigas, por donde puede ocurrir la falla por deslizamiento (Fig.3).



Para evitar el problema que ocasionan los traslapes, en otros países se fabrica bloques H (Fig.4), que permiten el uso de refuerzo vertical continuo, con lo cual se descongestionan las celdas reduciéndose la posibilidad de que se formen cangrejas en el concreto líquido (“grout” o material con que se rellenan los muros). El emplear refuerzo vertical continuo y bloques convencionales (no en forma de H), retarda el proceso de asentado durante la primera jornada de trabajo, por el tiempo que demora insertar y bajar al bloque a través del refuerzo vertical.



3. Falta de adherencia grout-cimentación. Puede ser causado por una serie de razones: a) tratamiento inadecuado de la superficie del cimiento (rayado poco profundo, presencia de lechada superior, falta de limpieza al iniciar la construcción de la albañilería y también antes de vaciar el grout); b) segregación del grout (Fig.5) producida por: su alto contenido de agua, compactación inadecuada, altura excesiva de vaciado; etc.



4. Contracción de secado del grout. Lo ideal es que quede integrado como una sola unidad la unión bloque-grout-mortero-acero. De separarse el grout del bloque y del acero, el refuerzo perdería efectividad ante las acciones de flexión, cizalle, etc. El polvo de la arena y la cantidad de agua que requiere el grout, incrementan este fenómeno.
5. Distribución uniforme del refuerzo vertical. Tradicionalmente, se distribuye el refuerzo vertical a lo largo del muro. Puesto que el refuerzo en los extremos del muro es pequeño, la base del muro rota con facilidad. Este hecho provoca el aplastamiento de los talones y el corrimiento de las fisuras horizontales por flexión, las que al encontrarse por la acción cíclica de la carga sísmica, terminan transformándose en una falla por deslizamiento (Fig.6).

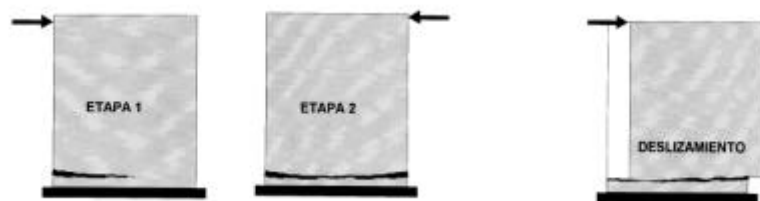


Fig.6. Transformación de la falla por flexión en falla por deslizamiento.

6. Uso de cintas de mortero longitudinales y verticales. El grout no rellena el espacio entre las cintas, lo que debilita la unión bloque-mortero, con la consecuente formación de fisuras.

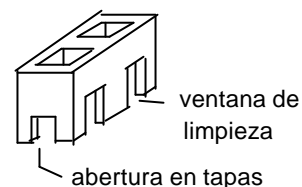
Fig.7
Cintas de mortero en las juntas.



3. SOLUCIONES PARA EVITAR LA FALLA POR DESLIZAMIENTO

En este proyecto se trata de encontrar soluciones al problema del deslizamiento, que sean económicas y fáciles de ejecutar en obra. Sin embargo, en este acápite se describen todas las posible soluciones, ordenadas en función del costo y de la dificultad constructiva, a fin de tener un panorama amplio que permita eliminar las causas del problema, indicadas en el acápite 2, y seleccionar las soluciones más adecuadas.

1. Profundizar el rayado de la superficie superior de la cimentación (mínimo 6 mm), limpiarla de partículas sueltas y de lechada, para luego humedecerla antes de asentar los bloques y antes de vaciar el grout. El objetivo de esta operación es mejorar la adherencia y la resistencia a corte-fricción en las interfases mortero-cimentación y grout-cimentación. El muro adoptado como patrón de comparación (M1, tradicional) tuvo un rayado convencional.
2. Manteniendo la cuantía total de refuerzo vertical, concentrar la mayor área de acero en los extremos del muro, empleando en la zona central una cuantía mínima igual a 0.001. El objetivo es disminuir el giro por flexión para controlar el corrimiento de las fisuras horizontales. El muro patrón (M1) tuvo una distribución uniforme del refuerzo vertical.
3. Invertir la cara de asentado de los bloques correspondientes a la primera hilada, creando aberturas en las 3 tapas transversales, de manera que el grout al pasar a través de esas aberturas, rellene una mayor área en su zona de contacto con la cimentación.



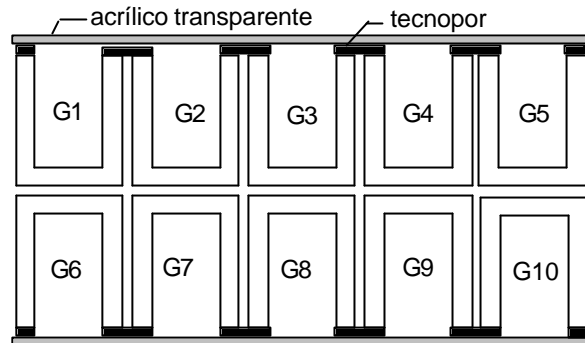
4. Compactar al grout empleando una madera con sección transversal de 1" x 2" en reemplazo de la varilla lisa de 5/8" que se utiliza tradicionalmente. El objetivo es tratar que el grout se expanda lateralmente en mayor grado al apisonarlo con la madera. Esta solución es aplicable sólo cuando se utiliza bloques de 19 cm de espesor, con celdas grandes.
5. Disminuir la cantidad de confitillo en el grout, de una proporción cemento: arena: confitillo 1: 2 ½ : 1 ½ (tradicional) a 1: 3: 1, y tamizar la arena a través de la malla #200 para eliminar el polvo. El objetivo es atenuar el problema de segregación y contracción de secado.
6. Similar a la solución 5, pero empleando cemento puzolánico y reduciendo el slump de 10" (tradicional) a 9". Se tiene conocimiento que el cemento puzolánico atenúa la contracción de secado, mientras que al disminuir la cantidad de agua (al bajar el slump), se reducen los problemas de segregación y contracción de secado.
7. Similar a la solución 5, pero agregando 1/10 de cal para retardar la contracción de secado.

8. Tratamiento con agua para incrementar la adherencia bloque-mortero y atenuar la contracción de secado del grout. Con una brocha, humedecer las juntas 2 horas después de haber asentado los bloques, una vez al día, hasta el día del vaciado del grout. Antes del vaciado, regar internamente las celdas, encofrar las ventanas de limpieza, vaciar y compactar al grout, luego curar al muro regándolo externamente una vez al día durante una semana.
9. Adicionar espigas en las celdas que carecen de refuerzo vertical, ancladas en la cimentación. El objetivo es incrementar la resistencia a corte-fricción en las dos primeras hiladas del muro y en la interfase muro-cimentación, además, que las fisuras por flexión se originen en las partes más altas del muro, de tal manera que la cimentación no estorbe su trayectoria.
10. Dejar orificios en la cimentación, en las zonas ocupadas por las celdas. El objetivo es crear llaves de corte con el grout, para transferir la fuerza cortante hacia la cimentación. Esta solución es menos efectiva que la número 9, debido a que la falla de deslizamiento se puede trasladar a las hiladas superiores. También, es difícil hacer los orificios y limpiarlos.
11. Emplear refuerzo vertical continuo, con bloques recortados en forma de H para facilitar el asentado. El objetivo es tener más espacio en las celdas para poder compactar al grout, evitando la posibilidad que se formen cangrejeras, así como evitar los problemas que causan la discontinuidad del refuerzo vertical. Esta solución mejora al 100% las juntas verticales al quedar llenas de grout, pero debe añadirse otras soluciones para mejorar la unión horizontal bloque-mortero, grout-cimentación y atenuar la contracción y segregación del grout.
12. Usar grout fino (cemento-arena-cal 1: 3: ¼) en la mitad inferior del muro y grout grueso (cemento-arena-confitillo-cal 1: 3: 1: 0.1) en la mitad superior. Con esta solución se evitaría el problema de segregación del grout en la base del muro, pero se incrementaría el problema de contracción de secado en la mitad inferior. Esta solución es de difícil aplicación en obra, por tener que variarse la mezcla en un mismo piso, sin embargo, no se descarta ya que el grout se vacía siempre en dos etapas, con un lapso de ½ hora entre ellas.
13. Uso de aditivo en polvo Wacker (culminal más vinnapas) en el mortero, en reemplazo de la cal. Este aditivo mejora notoriamente la adherencia bloque-mortero (37%, según la Ref.4), pero es costoso (según la Ref.4, el costo de la albañilería se eleva en 18%).
14. Uso de aditivo Intraplast (de Sika) en el grout para mejorar su plasticidad y disminuir su contracción de fragua. En el mercado existen aditivos que permiten reducir la cantidad de agua en el grout, o superplastificantes (Rheobuild 1000 de MBT) para producir grout autocompactado (no necesitan vibradora ni chuzo). Pero, estas soluciones son costosas.
15. Uso de vibradora de aguja de ½” para compactar al grout. Para esto se inserta apagada la vibradora a través de las celdas de los bloques, se vacía el grout, se enciende la vibradora y se la retira lentamente, debiéndose hacer esta operación celda por celda. Esta solución se descarta por ser poco práctica.
16. Low Lift Grouting. Consiste en construir la primera mitad del muro, llenar con grout al día siguiente, al tercer día construir la segunda mitad y al cuarto día volver a llenar con grout. Esta solución atenuaría la posibilidad de segregación del grout, ya que el vaciado se hace desde una altura de 1.2 m, pero no se utiliza por la posibilidad de que se generen juntas frías entre las capas de grout y también porque el proceso constructivo se retarda un día. Cabe indicar que para limpiar los desperdicios de mortero que caen a través de las celdas durante la construcción de la segunda mitad del muro, habría que abrir ventanas en los bloques ubicados a media altura del muro, esto no es posible porque este tipo de muro es caravista.

4. PROBETAS PRELIMINARES DE GROUT

El objetivo que se busca en este acápite es definir el grout a utilizar en los muros mejorados, tratando de reducir los problemas de contracción de secado y de segregación. Para esto se fabricaron 10 mezclas distintas (Gi en la Fig.8), empleando como molde un pilar de bloques U (medios bloques), con una altura de 2.4 m (Fig.10). Estos moldes permitieron la transferencia natural de agua desde el grout hacia los bloques. Por otro lado, se utilizó encofrados transparentes con el objeto de observar lo que ocurría con el grout durante su vaciado y compactación. Al retirar el encofrado, pudo observarse si existían los problemas mencionados.

Fig.8
Moldes con
Bloques U.



Las mezclas (Gi) utilizadas fueron:

- G1. Grout tradicional, cemento normal-arena normal-confitillo: 1: 2 ½ : 1 ½ , slump 10”.
- G2. Cemento normal-arena tamizada-confitillo: 1: 3: 1, slump 10”.
- G3. Similar a G2, pero con 0.1 de cal aérea normalizada.
- G4. Similar a G2, pero con aditivo Intraplast.
- G5. Similar a G2, pero con cemento puzolánico IP.
- G6. Similar a G5, pero con 9” de slump.
- G7. Similar a G6, pero con 0.1 de cal.
- G8. Similar a G6, pero sin confitillo (cemento-arena 1: 3) en la mitad inferior y con confitillo (cemento-arena-confitillo 1: 3: 1) en la mitad superior. Slump 9”, sin cal.
- G9. Similar a G8, pero con ¼ de cal en la mitad inferior y 0.1 de cal en la mitad superior.
- G10. Similar a G5, pero con tratamiento con agua (regado interno de celdas antes del vaciado).

Externamente se pudo observar que el grout tradicional (G1) tuvo los mayores problemas de segregación y contracción de secado, mientras que estos problemas se redujeron en las mezclas G5, G6, G7 y G10 (con cemento puzolánico y arena tamizada), pero, las mezclas G6 y G7 (con 9” de slump), se notaron muy secas, lo que podría provocar cangrejas internas en los muros, por lo que es conveniente utilizar 10” de slump. Para revisar internamente al grout, el pilar fue izado y volcado con un puente grúa, para luego cortar su base con una amoladora a la altura de la primera hilada. De la base del pilar se extrajeron muestras de grout, con el objetivo de observar su estructura interna, cabe destacar que la mayor concentración de piedras (segregación en la base) se encontró en la probeta G1 (Fig.10). Como conclusión de estos ensayos preliminares, se utilizó en los muros mejorados: G2 para M2, G5 para M3, y G10 para M4 y M5.

Fig.9
Preparación
del grout y
construcción
del pilar.





Fig.10. Extracción de muestra de grout de la base del pilar y muestras G5 y G1.

5. CONSTRUCCIÓN DE LOS MUROS

En total se construyeron cinco muros a escala natural (ver las figuras 11 a 15), empleándose la técnica constructiva tradicional para el muro M1 y manteniéndose constante los siguientes parámetros (la mayor parte de ellos se emplean tradicionalmente en obras reales):

- Geometría del muro. Las dimensiones fueron 2.4 x 2.4 x 0.14 m.
- Aparejo. Se utilizó un aparejo de soga (14 cm de espesor).
- Calidad del bloque. Se utilizó bloque tipo BIII, serie 15.14, procedente de la fábrica FIRTH, con ranuras en las tapas transversales que permitieron el paso del refuerzo horizontal.
- Tratamiento de los bloques. Las superficies de asentado fueron limpiadas con una brocha de las partículas sueltas antes de asentarlos en su estado natural (secos).
- Calidad del mortero. Cemento-cal-arena 1: ½ : 4. Se usó arena gruesa tamizada entre las mallas ASTM #4 y #200. El cemento fue Pórtland tipo 1, no se usó cemento puzolánico porque proporcionaría un color marrón a las juntas.
- Calidad de la cal. Se utilizó cal aérea hidratada y normalizada de Agregados Calcáreos.
- Grosor de las juntas. Las juntas horizontales y verticales (bruñadas) tuvieron 1 cm de grosor.
- Calidad del acero de refuerzo. Se utilizó acero corrugado de grado 60 de SIDERPERÚ.
- Batido del grout. Se utilizó una mezcladora. El slump medido en el cono de Abrams fue 10”.
- Construcción de la albañilería. Se construyó en 2 jornadas con una mano de obra calificada.
- Técnica de limpieza de las celdas. Los bloques de la primera hilada tuvieron ventanas de limpieza de 3”x4” en cada celda. Terminada cada jornada de trabajo, se limpió internamente las celdas con una varilla, sin tocar al muro. Antes del vaciado del grout, la base se rasquetó con un tortol, las celdas se limpiaron con aire comprimido y se humedeció la cimentación.
- Técnica de vaciado del grout. Fue vaciado en dos capas, cada una fue compactada con una varilla lisa de 5/8”, transcurrido 5 minutos, cada capa fue recompatada. El intervalo de vaciado entre capas fue ½ hora. El borde superior de cada capa quedó aproximadamente a 10 cm por debajo de la superficie superior correspondiente a la última hilada de cada jornada.
- Cuantía de refuerzo. El refuerzo horizontal tuvo una cuantía de 0.0025 (1 ϕ 3/8” @ 20 cm) y la cuantía de refuerzo vertical total fue 0.0024.
- Vigas. Las vigas de cimentación y las vigas soleras tuvieron la misma sección transversal, la misma calidad de concreto y el mismo refuerzo.

Matriz de Variantes: En la Tabla 1, se indica las variantes que tuvieron los 5 muros, indicándose que el muro M1, construido con la técnica tradicional, corresponde al patrón de comparación, asimismo, las mejoras varían progresivamente, desde M2 hasta M5.

Tabla 1. Matriz de Variantes.					
VARIANTE	M1	M2	M3	M4	M5
Rayado de la cimentación	normal	profundo	profundo	profundo	profundo
Distribución del refuerzo vertical	distribuido	concentrado	concentrado	concentrado	concentrado
Tamizado de la arena del grout por mallas #4 y #200	no	sí	sí	sí	sí
Tipo de junta vertical	cintas	llena	llena	llena	cintas
Traslape del refuerzo vertical	100% en la misma sección	alterno h = 70 cm y 95 cm	alterno h = 70 cm y 95 cm	alterno h = 70 cm y 95 cm	continuo, sin traslapes
Grout cemento-arena-confitillo	1: 2 ½: 1 ½	1: 3: 1	1: 3: 1	1: 3: 1	1: 3: 1
Tipo de cemento en el grout	pórtland	pórtland	puzolánico	puzolánico	puzolánico
Tratamiento con agua en las juntas, celdas internas y muro	no	no	no	sí	sí
Espigas adicionales	no	no	no	sí	sí
Bloque de hilada 1	normal	normal	invertido	invertido	H

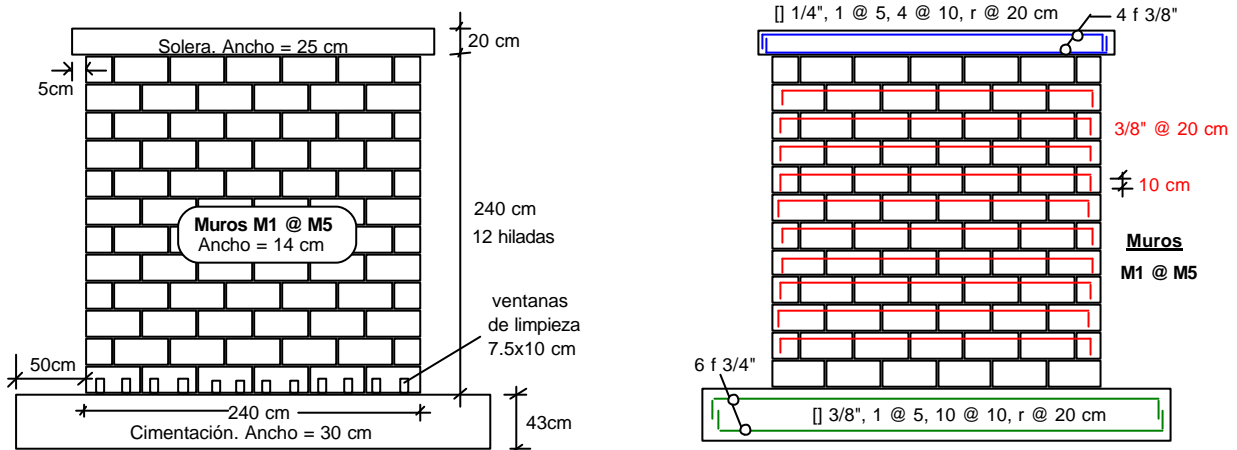


Fig.11. Características comunes de los 5 muros.

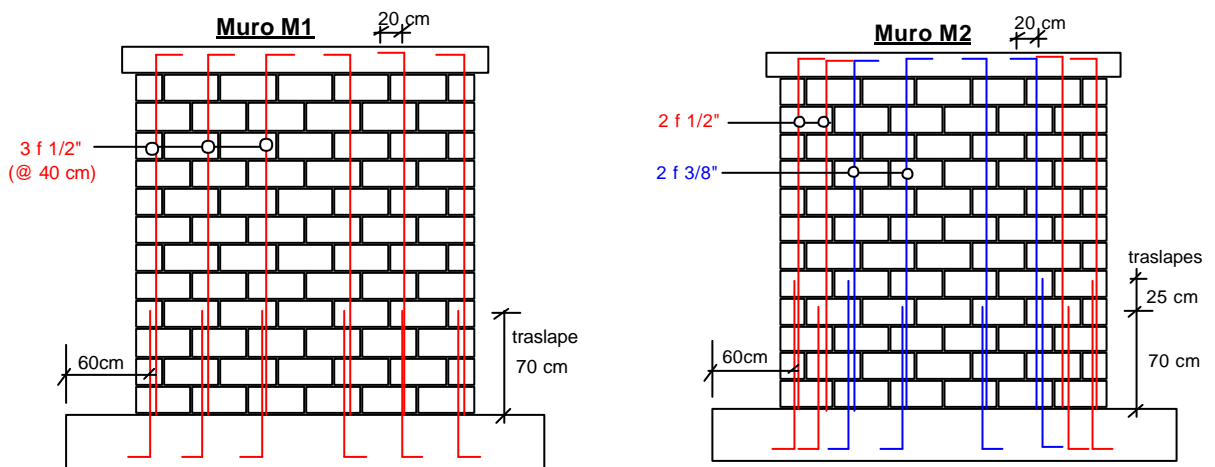


Fig.12. Refuerzo vertical en M1 y M2.

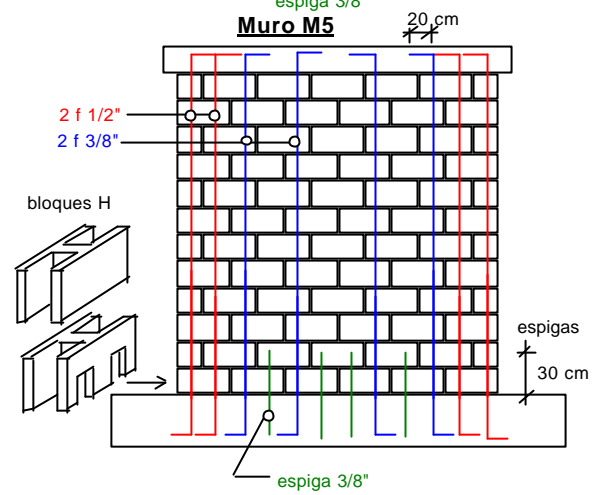
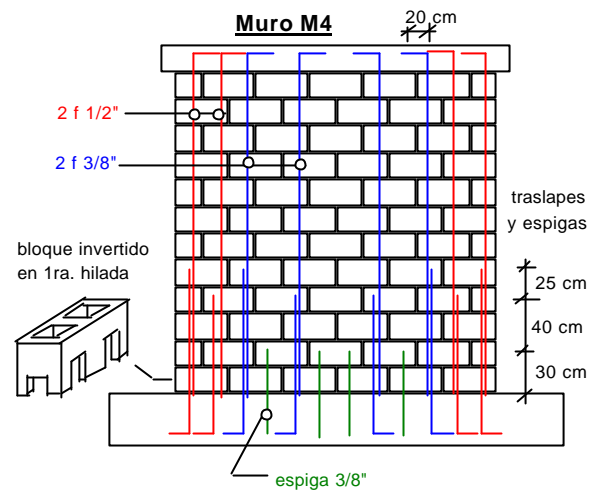
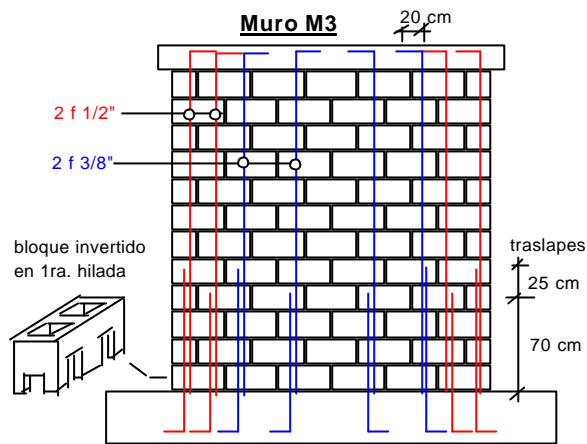


Fig.13
 Refuerzo vertical,
 bloque de la primera
 hilada y espigas
 adicionales en M3,
 M4 y M5.



Fig.14. Construcción de muros M1 (izquierda), M3 (centro) y M5 (derecha).



Fig.15. Tratamiento con agua en M4 y M5. Ver el párrafo 3.8.

6. ENSAYOS DE CONTROL

6.1. Grout

Empleando como moldes a los bloques forrados con papel filtro (Fig.16), para permitir la transferencia de agua del grout hacia los bloques, se fabricaron 9 probetas de 10x10x19 cm, tres provinieron del muro M1 (tradicional), las otras tres de M2, mientras que las tres restantes fueron hechas con el grout de M3, M4 y M5. Estas probetas no fueron curadas, y luego de 28 días fueron ensayadas a compresión, obteniéndose los siguientes resultados promedios:



Fig.16

- Grout 1: 2 ½ : 1 ½ (cemento Pórtland tipo I- muro M1): $f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$
- Grout 1: 3 : 1 (cemento Pórtland tipo I – muro M2): $f'c = 193 \text{ kg/cm}^2$
- Grout 1: 3: 1 (cemento puzolánico tipo IP- muros M3, M4 y M5): $f'c = 197 \text{ kg/cm}^2$

Para los tres casos, la resistencia superó al valor mínimo especificado por la Ref.2 (140 kg/cm^2).

6.2. Prismas de Albañilería Simple (no reforzada)

Se construyeron un total de 6 pilas y 6 muretes, los cuales fueron ensayados a compresión axial y a compresión diagonal, respectivamente. Las pilas (14x39x60 cm) estuvieron compuestas por 3 hiladas y los muretes por 4 hiladas (14x80x80 cm). Tres pilas y tres muretes fueron rellenados con el grout tradicional de M1 (1: 2 ½: 1 ½), mientras que el resto de prismas fueron rellenados con grout similar al empleado en M4 y M5 (1: 3: 1, con cemento puzolánico), además de recibir el tratamiento húmedo especificado en 3.8 para M4 y M5. En la Tabla 2 se indica los resultados, mientras que en la Fig.17 se aprecia que los muretes rellenos con grout tradicional, tuvieron una falla escalonada a través de las juntas, en tanto que los rellenos con grout 1:3:1, tuvieron algunas grietas que atravesaron los bloques, lo que implica una mejora en la adherencia mortero-bloque, producto del tratamiento que tuvieron esos prismas, sin embargo, el grout de esos prismas se notó que aún estaba húmedo, pese a que tenía 28 días de edad, lo que debe haber repercutido en los resultados, principalmente en la resistencia a compresión de las pilas.

Tabla 2. Resistencia de los Prismas de Albañilería Simple			
Prisma	Resistencia	Grout 1: 2 ½ : 1 ½ Cemento I	Grout 1: 3: 1 Cemento IP
Pilas	Promedio f_m	104 kg/cm^2	84 kg/cm^2
	Dispersión	3.0 %	6.0 %
	Característica f'_m	101 kg/cm^2	79 kg/cm^2
Muretes	Promedio v_m	13.1 kg/cm^2	12.5 kg/cm^2
	Dispersión	8.6 %	3.5 %
	Característica v'_m	12.0 kg/cm^2	12.1 kg/cm^2

Fig.17. Falla escalonada en muretes rellenos con grout 1: 2 ½ : 1 ½ (cemento tipo I, izquierda) y falla mixta en muretes rellenos con grout 1: 3: 1 (cemento IP, derecha).



7. TÉCNICA DE ENSAYO DE CARGA LATERAL CÍCLICA

Los cinco muros fueron ensayados a carga lateral cíclica (Fig.18), controlando el desplazamiento horizontal de la viga solera en 10 fases de distinta amplitud (Tabla 3 y Fig.19). La carga lateral (V) se aplicó mediante un actuador dinámico, mientras que los desplazamientos fueron medidos con LVDT (D en la Fig.18). Las fisuras de cada fase se pintaron de distinto color.

Fase	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
D1 (mm)	0.25	1.00	2.50	5.00	7.50	10.00	12.50	15.00	17.50	20.00
No. Ciclos	1	2	3	3	3	3	4	4	4	4
Color	--	rosa.	lila	negro	rojo	azul	marrón	verde	naran.	celeste

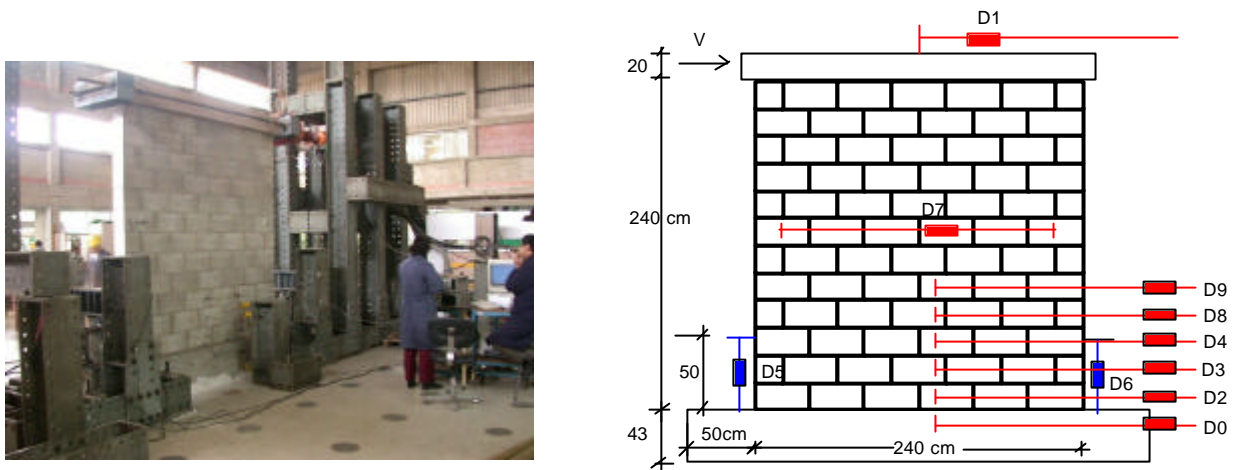


Fig.18. Vista global de los dispositivos utilizados en el ensayo de carga lateral cíclica.

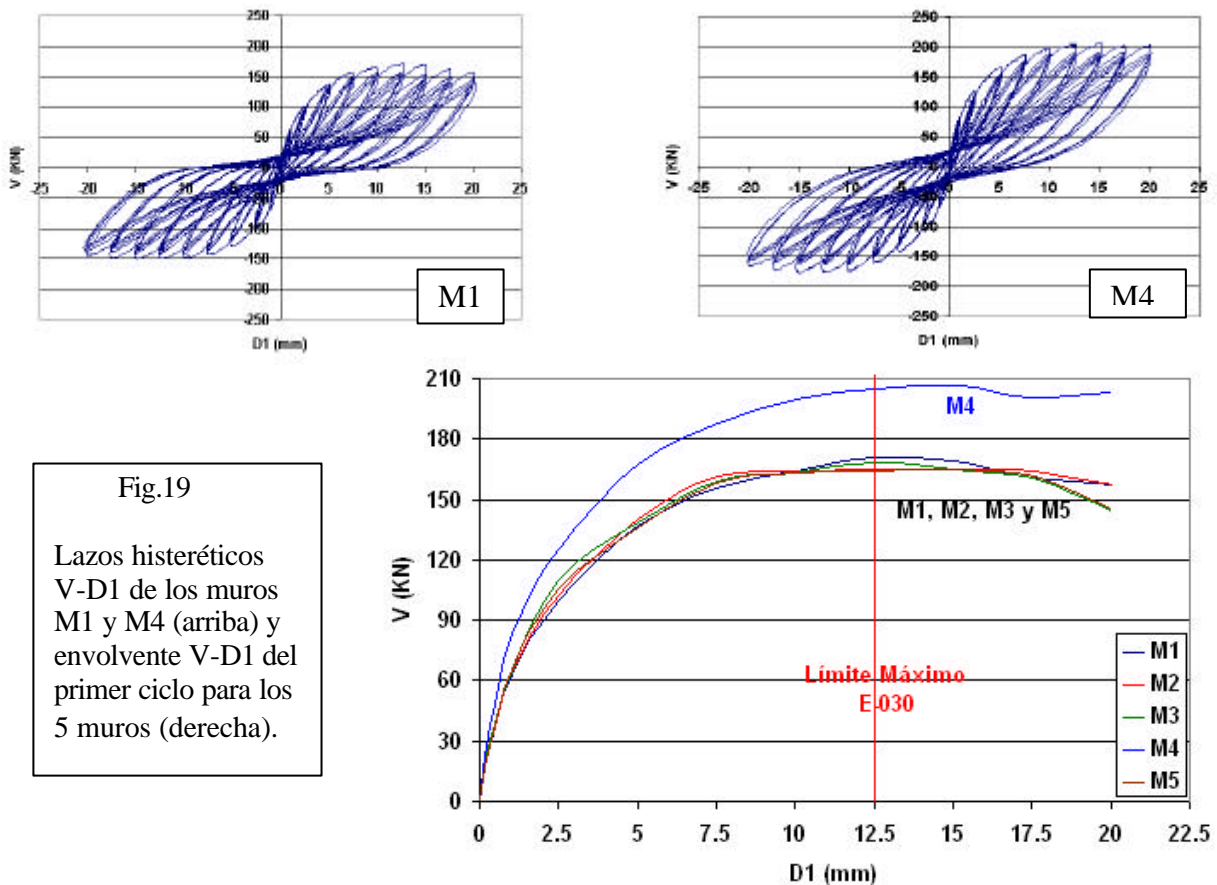


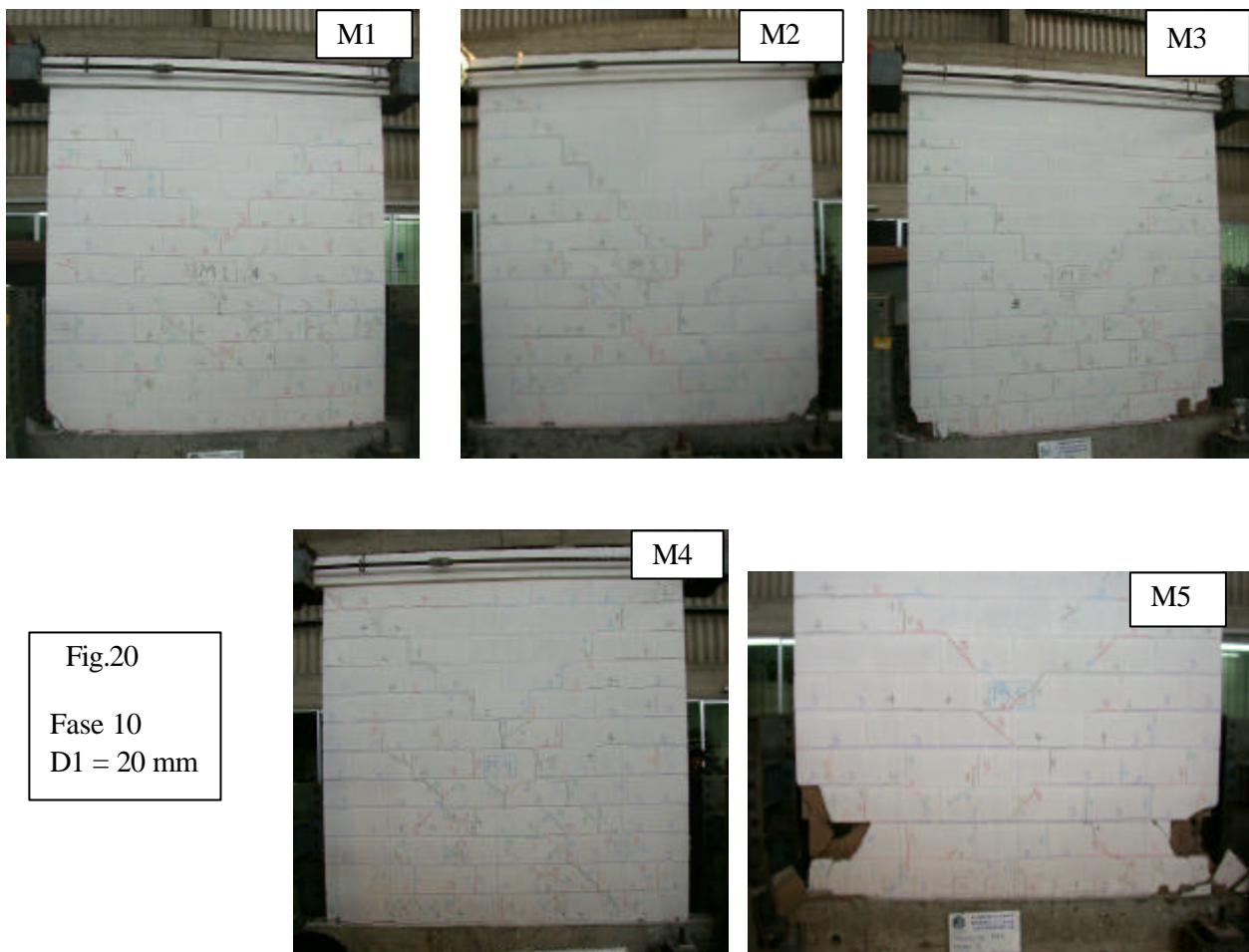
Fig.19

Lazos histeréticos V-D1 de los muros M1 y M4 (arriba) y envolvente V-D1 del primer ciclo para los 5 muros (derecha).

8. COMPORTAMIENTO DE LOS MUROS

A continuación se describe el comportamiento que tuvieron los muros durante el ensayo de carga lateral cíclica (Fig.20), poniendo énfasis en el problema de deslizamiento. Cabe indicar que la norma sísmica (Ref.1) permite una distorsión inelástica máxima de 0.005 para los entresijos de los edificios de albañilería armada, que en este caso se produce en la fase 7 del ensayo (distorsión = $D1/h = 12.5 \text{ mm} / 2500 \text{ mm} = 0.005$, Fig.19-derecha), por lo que si la falla por deslizamiento se produjera en una fase mayor, carecería de importancia; sin embargo, debido a que en el experimento no se contempló una serie de factores reales, como la acción dinámica con una gran cantidad de ciclos que imprime un sismo real, se consideró prudente tomar como límite máximo un desplazamiento $D1 = 15 \text{ mm}$ (fase 8), asociado a una distorsión de 0.006.

En el muro M1 se presentaron 2 planos de deslizamiento, el primero estuvo ubicado en la base y se produjo en la fase 5, mientras que el segundo se ubicó en la base de la quinta hilada, donde terminaban las espigas, esta falla se presentó en la fase 7. En M2, el deslizamiento se produjo a través de la base durante la fase 5. En M3, la falla por deslizamiento en la base se inició en la fase 7, en tanto que M4 no tuvo problemas de deslizamiento. En M5, la falla por deslizamiento se produjo durante la fase 9 en la base de la tercera hilada, donde terminaban las espigas.



8.1. Observaciones Post-Ensayo

Terminado el experimento, se procedió a inspeccionar internamente el estado de cada muro (Figs. 21 y 22). Esta operación se hizo con el objetivo de detectar cangrejeras, segregación del grout, el grado de adherencia mortero-bloque-grout-acero, el estado del refuerzo, etc.

Fig.21

Muro M1. Falta de adherencia bloque-grout y juntas verticales vacías.



Fig.22

Pandeo del refuerzo vertical por deslizamiento en la base de M3 y eliminación del pandeo al evitarse el deslizamiento en M4.



M3



M4

9. CONCLUSIONES

El objetivo principal de este proyecto, que fue controlar o eliminar la falla por deslizamiento transformándola en otra menos peligrosa como es la falla por flexión o por corte, pudo lograrse. Para ello es imprescindible el uso de espigas de 3/8", colocándolas en aquellas celdas donde no exista el refuerzo vertical calculado por flexión, y que estas espigas tengan distintas longitudes por encima de la cimentación (se propone 30 y 50 cm), intercalándolas cada 20 cm, que es el espaciamiento entre las celdas del bloque, y anclándolas 30 cm en la cimentación.

Cabe destacar que ninguna mejora que se haga en este tipo de muro será efectiva o se traducirá en incrementos de resistencia, si es que no se evita la falla por deslizamiento; por ejemplo, de nada servirá incrementar el refuerzo horizontal, o la adherencia bloque-grout-acero, o la eliminación de cangrejas internas (como en M5), si no se elimina la falla por deslizamiento.

9.1. Proceso Constructivo

1. El rayado profundo de la superficie de la cimentación (M2 a M5), mejoró la unión mortero-cimentación. Sin embargo, en la base del muro las fisuras horizontales se trasladaron a la unión bloque-mortero, por la baja adherencia que presentaron esos materiales en todas las hiladas. De requerirse mayor resistencia sísmica, el problema de adherencia bloque-mortero puede solucionarse (Ref.4) agregando al mortero el aditivo en polvo Wacker.



M2

2. El rayado profundo de la superficie de la cimentación y el empleo en la primera hilada de bloques recortados en sus tapas transversales para que circule el grout ocupando una mayor área, no incrementó la resistencia a corte-fricción en la base del muro, debido a que la base del grout fue cubierta por una capa lisa de lechada de cemento proveniente del mismo grout.

3. La disminución del confitillo en el grout, manteniendo el slump en 10", de una proporción tradicional cemento-arena-confitillo 1: 2½: 1½ (usada en M1), a una dosificación 1: 3: 1, disminuyó el problema de segregación del confitillo en la base del grout.



4. El tratamiento con agua hecho a los muros M4 y M5 (curado de juntas con brocha, así como el regado interno antes de vaciar el grout y regado externo después del vaciado) mejoró ligeramente la adherencia bloque-grout, al atenuar la contracción de secado del grout.
5. El empleo de cemento puzolánico IP en el grout del muro M3, redujo ligeramente el problema de contracción de secado del grout, observándose una mejor adherencia bloque-grout que la existente en los muros M1 y M2, donde se utilizó cemento Pórtland tipo I. Esta mejora no se reflejó en incrementos de resistencia porque M3 falló por deslizamiento.
6. En este proyecto no se presentaron cangrejeras en el grout en la zona de traslapes de las barras verticales, debido a que esas barras tuvieron poco diámetro (½"), por lo que no causaron mayor congestión en las celdas de los bloques.

7. Todas las barras horizontales quedaron desplazadas hacia uno de los lados del muro, debido a que se instalaron sueltas y se movieron durante el vaciado y compactación del grout. Esto podría causar con el tiempo problemas de corrosión y falta de adherencia con el grout. Para solucionar este problema se sugiere utilizar barras verticales continuas, con lo cual, las barras horizontales pueden amarrarse con la verticales, esta solución exigiría el empleo de bloques H para facilitar el asentado, o que las fábricas produzcan bloques con menor separación entre las ranuras existentes en sus tapas transversales (lugar donde se aloja el refuerzo horizontal).



8. El espacio existente entre las cintas verticales de mortero, empleadas en el muro M1 (tradicional), no fue relleno por el grout, lo que dio lugar a una zona de debilidad. En el resto de muros, se utilizó junta vertical llena, pero esta mejora no se reflejó en la resistencia de los muros (excepto en M4), debido a que fallaron por deslizamiento.
9. El empleo de arena seca colocada en la base del muro durante su construcción, para evitar que los desperdicios de mortero queden pegados sobre la cimentación formando juntas frías en la interfase grout-cimentación, debería descartarse, debido a que la arena seca absorbe el agua del mortero debilitando en la base del muro las uniones bloque-mortero y mortero-cimentación. En reemplazo de la arena, es conveniente utilizar retazos de plásticos.

9.2. Espigas Verticales

En este proyecto se utilizaron dos tipos de espigas verticales ancladas en la cimentación: 1) las necesarias para traslapar las barras verticales requeridas por flexión (tipo A); y, 2) las adicionales para incrementar la resistencia a corte-fricción en la base del muro (tipo B, de 3/8" de diámetro y 30 cm de longitud), obteniéndose las siguientes conclusiones:

1. El empleo de espigas tradicionales tipo A de la misma longitud (barras traslapadas en la misma sección transversal), causó en el muro M1 dos planos de deslizamiento: en la base y donde terminan las espigas, lo que resulta muy peligroso, especialmente cuando el muro esté sujeto a cargas sísmicas perpendiculares a su plano, en vista que se comportaría como una

barra triarticulada (inestable). Incluso, los bloques ubicados en los extremos de M1 llegaron a cizallarse horizontalmente en su parte intermedia, en la zona donde terminaban las espigas.

2. El empleo de espigas tipo A con distintas longitudes (barras traslapadas en distintas secciones transversales) ubicadas alternadamente, evitó en los muros M2 y M3 el segundo plano de deslizamiento; en estos muros la falla por deslizamiento se concentró en la base. Cabe destacar que en M3 la falla por deslizamiento se inició a partir de la fase 7 del ensayo ($D1 = 12.5$ mm), coincidente con la distorsión máxima permitida por la norma E-030 para sismos severos, mientras que en M1 el deslizamiento se inició en una etapa temprana del ensayo (fase 5, $D1 = 7.5$ mm), es decir, en muros reales como el M1, la falla por deslizamiento podría presentarse ante la acción de sismos moderados.
3. En el muro M4, donde se utilizó espigas tipo A con distintas longitudes y se adicionó espigas tipo B en aquellas celdas que carecían de refuerzo vertical, el comportamiento sísmico mejoró notablemente. En este muro no se produjo la falla por deslizamiento, sino más bien una falla mixta por flexión y corte, elevándose la resistencia máxima en 21% con relación a la alcanzada por M1. Cabe destacar que en M4, no se produjo el pandeo de las barras verticales extremas, a diferencia del resto de muros que tuvieron falla por deslizamiento.
4. En el muro M5, donde se utilizó barras verticales continuas y espigas tipo B en aquellas celdas que carecían de refuerzo vertical, se evitó la falla por deslizamiento en la base, pero ésta se trasladó a la base de la tercera hilada, donde terminaban las espigas, por lo que es necesario que estas espigas tengan distintas longitudes. Cabe destacar que a diferencia de M4, el muro M5 careció de las espigas tipo A, por lo que en la zona de traslape de las barras verticales, M5 tuvo la mitad de refuerzo vertical que es el elemento que controla la falla por deslizamiento. Adicionalmente, el deslizamiento se inició después que los talones se trituraron durante la fase 9, y la trituración se debió a que el grout aún estaba húmedo producto del tratamiento con agua que tuvo M5, pese a que habían transcurrido 28 días hasta el instante del ensayo.



10. REFERENCIAS

1. Diseño Sismorresistente. Reglamento Nacional de Construcciones. Norma Técnica de Edificación E.030. SENCICO. Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento. 2003.
2. Albañilería. Proyecto de Norma Técnica de Edificación E.070. Documento actualmente en revisión por el Comité de Normas Técnicas E.070-SENCICO. 2003.
3. Albañilería. Normas Técnicas de Edificación E-070. ININVI. Ministerio de Vivienda. 1982.
4. Mejora de la Adherencia Bloque-Mortero. A. San Bartolomé, C. Romero y J. C. Torres. XIV Congreso Nacional de Ingeniería Civil. Colegio de Ingenieros del Perú. Iquitos. 2003.