

PROCEDIMIENTOS SIMPLES PARA INCREMENTAR LA RESISTENCIA AL CORTE EN LA ALBAÑILERÍA CONSTRUIDA CON BLOQUES DE CONCRETO VIBRADO

Por: Ángel San Bartolomé y Miguel Ángel Torres
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU

RESUMEN

Con el objeto de incrementar la resistencia al corte de la albañilería construida con bloques de concreto vibrado, en el Laboratorio de Estructuras de la Pontificia Universidad Católica del Perú y con el financiamiento parcial de la empresa Firth Industries Perú S.A se realizaron ensayos de compresión diagonal en muretes variando el proceso constructivo tradicional. Las variantes que se introdujeron fueron: el empleo de juntas completas de mortero en reemplazo de las cintas tradicionales; el curado de las juntas; y, el curado de la albañilería. Estas técnicas, económicas y simples de aplicar, proporcionaron resultados satisfactorios.

1. INTRODUCCION

Debido a la alta succión que tienen los ladrillos de arcilla, estas unidades deben regarse durante 25 minutos unas 10 horas antes de ser asentadas (Ref.2), de lo contrario, absorberían el agua del mortero secándolo rápidamente, lo que disminuiría la adherencia entre el mortero y los ladrillos colocados en la hilada inmediata superior. Esta operación no se puede realizar en los bloques de concreto vibrado, debido a que por su alta variación volumétrica se dilatarían al mojarse para luego contraerse al secarse, lo que conduciría a la formación de fisuras en los muros. Por esta razón, los bloques de concreto se asientan en su estado natural, en seco, previa limpieza.

Para reducir el problema de la succión de los bloques de concreto, se añade cal al mortero para mejorar su retentividad, o se utiliza aditivos (Ref.3) que permiten mejorar la adherencia bloque-mortero. Puesto que estos aditivos son costosos, en este proyecto se utilizaron 3 técnicas (2, 3 y 4 en la Tabla 1) que permitieron mejorar en forma simple y económica la adherencia bloque-mortero. Adicionalmente, debido a que la intención del proyecto fue analizar la adherencia bloque-mortero, los especímenes no se rellenaron con concreto líquido (grout).

Técnica 1	Técnica tradicional de asentado: Mortero con cal, aplicado en cintas longitudinales y verticales sobre los bloques secos.
Técnica 2	Juntas de mortero abarcando completamente la superficie horizontal y vertical de asentado de los bloques secos.
Técnica 3	Similar a la Técnica 2, pero curando externamente las juntas con una brocha durante tres días consecutivos. Este proceso se inició dos horas después de haberse asentado los bloques, a razón de un curado cada día.
Técnica 4	Similar a la Técnica 3, pero curando externamente al murete durante tres días consecutivos. Este proceso se inició al día siguiente de haberse terminado el curado de las juntas, a razón de un regado cada día.

2. MATERIALES EMPLEADOS

2.1. Bloque de Concreto Vibrado

Se utilizaron bloques de concreto vibrado Firth, Serie 15, con dimensiones de 39x19x14cm y 50% de área de huecos. Para los ensayos de clasificación (Fig.1) se siguieron las especificaciones del proyecto de Norma de Albañilería E-070 (Ref.1). Los resultados obtenidos aparecen en la Tabla 2.

Tabla 2. Resultados de los ensayos de clasificación del bloque de concreto.			
Variación de dimensiones	Largo	Ancho	Altura
	0.18 %	0.29 %	0.46 %
Resistencia a compresión (f _b)	77 kg/cm ² (sobre área bruta)		
Absorción	6.0 %		
Densidad	2,190 kg/m ³		
Succión	Superficie horizontal sup. de asiento	26 gr /200 cm ² -min	
	Superficie horizontal inf. de asiento	22 gr /200 cm ² -min	
	Superficie vertical	47 gr /200 cm ² -min	
Alabeo en cara de asiento	0.9 mm		

Fig.1
Ensayos de absorción (izq.) y de alabeo (der.) de los bloques.



De acuerdo a los resultados obtenidos, el bloque de concreto vibrado calificó como apto para la construcción de muros portantes de albañilería armada (bloque tipo P), pero al tener una succión elevada, fue necesario añadir cal al mortero.

2.2. Mortero

En esta investigación se utilizó mortero en proporción volumétrica cemento-cal-arena 1: ¼: 3. En realidad pudo emplearse la mezcla 1: ½: 4, sin embargo, se enriqueció la mezcla a fin de comparar resultados con aquellos obtenidos en la Ref.3, donde se utilizó aditivo en polvo (ver 7.0) para mejorar la adherencia bloque-mortero y la proporción volumétrica cemento-arena fue 1: 3.

El ensayo de compresión de 5 probetas cúbicas, de 5 cm de lado, proporcionó una resistencia promedio de 347 Kg/cm², a los 28 días de edad, con una dispersión de resultados de 6%.

En todos los casos, las juntas horizontales y verticales (de 1 cm de grosor) fueron bruñadas.

3. CONSTRUCCION DE LOS MURETES

Se construyeron 4 muretes de 80x80x14 cm (Fig.2), para cada una de las 4 técnicas descritas en la Tabla 1 (ver además las figuras 3, 4, 5 y 6). Los 16 muretes no contaron con refuerzo interno ni grout (concreto líquido) en el interior, pues la intención del proyecto fue estudiar en forma específica la adherencia bloque–mortero. Cabe indicar que sólo los bloques que iban a estar en contacto con los cabezales metálicos del equipo de ensayo, fueron rellenados con grout días antes de asentarlos; el objetivo de esta operación fue evitar fallas locales por trituración de esas unidades.

Fig.2
Características
geométricas de
los 16 muretes.

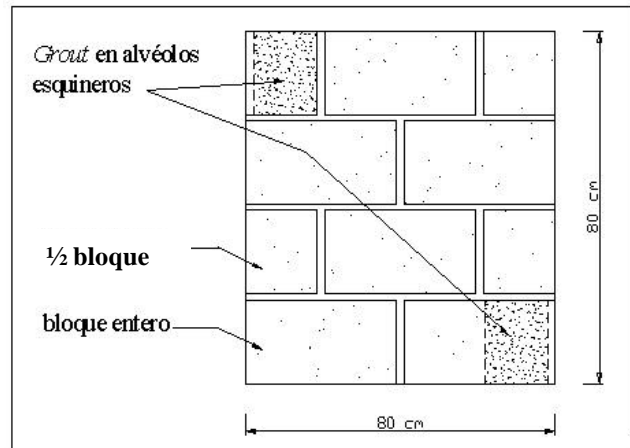


Fig.3. Técnica 1. Juntas de mortero en cintas.



Fig.4. Técnica 2. Juntas de mortero en toda la superficie de asentado.



Fig.5. Técnica 3. Curado externo de las juntas.



Fig.6. Técnica 4. Curado externo de la albañilería.

4. ENSAYOS DE COMPRESION DIAGONAL

Los muretes fueron ensayados a los 28 días de edad, previa colocación de un capping de yeso-cemento en las esquinas cargadas. La máquina de ensayos (Fig.7) se preparó con perfiles de acero, donde se instalaron los dispositivos necesarios. La velocidad de carga fue de 1 tonelada por minuto, y la carga de rotura fue adoptada como la máxima soportada por el murete.

Fig.7

Vista global de los dispositivos mecánicos (equipo de transporte, gata, celda de carga y marco de reacción).



La resistencia a corte de cada murete (v_m) se calculó como el cociente de la carga de rotura y el área bruta de la diagonal cargada (1584 cm^2). La resistencia característica (v'_m) fue evaluada restando una desviación estándar al valor promedio (Ref.1). Estas resistencias aparecen en la Tabla 3.

Tabla 3. Resistencia Característica de los Muretes.				
Técnica	1	2	3	4
Murete	Resistencia última v_m (Kg/cm^2)			
1	8.13	9.72	9.44	9.80
2	7.57	8.05	10.68	11.46
3	5.89	10.75	8.69	9.45
4	7.34	9.73	9.30	9.71
Promedio (Kg/cm^2)	7.23	9.56	9.53	10.11
Desv. Estándar (Kg/cm^2)	0.96	1.12	0.84	0.91
Dispersión porcentual de resultados	13%	12%	9%	9%
Resist. Característica v'_m (Kg/cm^2)	6.28	8.44	8.69	9.19

4.1. Formas de Falla

Los muretes que presentaron fallas escalonadas o por deslizamiento en una de las hiladas, alcanzaron las menores resistencias por la reducida adherencia bloque-mortero; mientras que los muretes que presentaron fallas por tracción diagonal, cortando por igual al mortero como a los bloques, producto de la mejor adherencia bloque-mortero, alcanzaron resistencias relativamente altas. En la Fig.8 se puede apreciar las formas de falla que presentaron los 16 muretes ensayados.

Técnica 1



T1-1: $vm = 8.13$



T1-2: $vm = 7.57$



T1-3: $vm = 5.89$



T1-4: $vm = 7.34$

Técnica 2



T2-1: $vm = 9.72$



T2-2: $vm = 8.05$



T2-3: $vm = 10.75$



T2-4: $vm = 9.73$

Técnica 3



T3-1: $vm = 9.44$



T3-2: $vm = 10.68$



T3-3: $vm = 8.69$



T3-4: $vm = 9.30$

Técnica 4



T4-1: $vm = 9.80$



T4-2: $vm = 11.46$



T4-3: $vm = 9.45$



T4-4: $vm = 9.71$

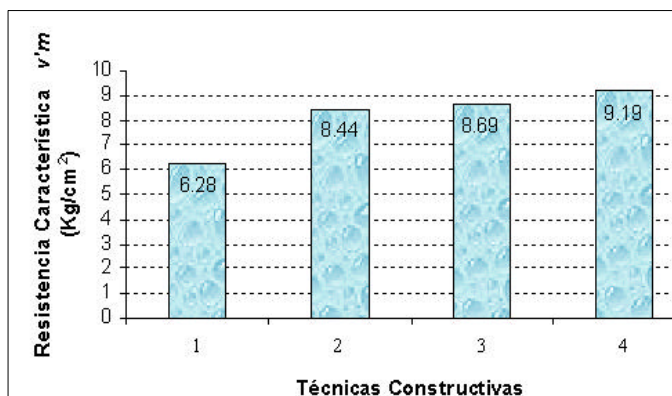
Fig.8. Formas de falla de los 16 muretes y resistencia a corte (vm) en Kg/cm^2 .

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En la Fig.9 se muestra las resistencias características $v'm$ obtenidas para cada técnica de construcción, estas resistencias provienen de la Tabla 3. Comparando resultados respecto al proceso constructivo tradicional (Técnica 1), se puede afirmar que colocando el mortero en toda la superficie de asentado (Técnica 2), la resistencia característica se eleva en 34%, y, en adición, con el curado de las juntas (Técnica 3) y de la albañilería (Técnica 4), se consiguió elevar aún más la resistencia en 38% y 46%, respectivamente. Por otro lado, conforme se fue mejorando la técnica constructiva, la dispersión de resultados disminuyó desde 13% (Técnica 1) a 9% (Técnicas 3 y 4).

Fig. 9

Incremento de la resistencia $v'm$ con la mejora de la técnica de construcción.



6. ANALISIS COSTO-BENEFICIO

Con la finalidad de determinar la viabilidad de aplicar en nuestro medio las alternativas de construcción propuestas, se hizo un análisis de costo-beneficio. Para esto, se calculó el costo de la construcción de un m^2 de muro para los procedimientos planteados en este proyecto (técnicas 2, 3 y 4), normalizándolo respecto al costo del procedimiento constructivo tradicional (Técnica 1), y se comparó con el incremento de resistencia al corte.

Los rendimientos utilizados por día de trabajo fueron: 1) construcción en las 4 técnicas: 12 m^2 de muro; 2) curado de las juntas en las técnicas 3 y 4: 185 m^2 de muro; y, 3) curado de la albañilería en la Técnica 4: 550 m^2 de muro. En los materiales se consideró por m^2 de muro: 12.5 bloques en las 4 técnicas, 0.42 bolsas de mortero en la Técnica 1, y 0.55 bolsas de mortero en las técnicas 2, 3 y 4. Adicionalmente, se consideró el mayor tiempo que demandó la mano de obra en las técnicas 2, 3 y 4, respecto a la Técnica 1 para la construcción de 1 m^2 de muro. Los resultados normalizados tanto de la resistencia característica $v'm$ como del costo respectivo, aparecen en la Tabla 4.

Técnica	1	2	3	4
Resistencia $v'm$ normalizada	1.00	1.34	1.38	1.46
Costo normalizado	1.00	1.04	1.04	1.05

Como se aprecia en el Tabla 4, bajo la Técnica 2 se consiguió mejorar considerablemente la resistencia $v'm$ (34%), con un pequeño incremento en el costo (4%); mientras que con la Técnica 4 la mejora en la resistencia fue hasta de 46%, con un incremento de apenas 5% en el costo. Por lo que las técnicas propuestas son viables económicamente, aparte de ser sencillas de aplicar.

7. USO DE ADITIVO EN POLVO (Ref.3)

Con el mismo objetivo de este proyecto, en la Ref.3 se hizo uso de un aditivo en polvo agregado al mortero para incrementar la adherencia bloque–mortero. A fin de comparar aquellos resultados con los obtenidos en este proyecto, a continuación se presenta parte de esa investigación.

Se construyeron 4 muretes de 80x80x14 cm por cada parámetro definido en la Tabla 5. En todos los casos las celdas no se rellenaron con grout y las juntas (de 1 cm de espesor) fueron bruñadas.

Tabla 5. Parámetros analizados en la Ref.3.	
PI	Método tradicional de construcción. Bloques secos y mortero con cal.
PIV	Bloques secos y mortero con aditivo en polvo (mezcla de Vinnapas 5010 con Culminal 8564) en sustitución de la cal.

El bloque de concreto utilizado, fue de la Serie 15-Firth y presentó una resistencia a compresión sobre área bruta $f'b = 67 \text{ Kg/cm}^2$.

El mortero utilizado para el análisis del parámetro PI, tuvo una proporción volumétrica cemento-cal-arena 1: ¼: 3, mientras que para el parámetro PIV, la cal fue reemplazada por el aditivo en polvo; la resistencia a compresión de las probetas de mortero fueron 318 y 155 Kg/cm^2 , respectivamente.

El aditivo en polvo empleado, estuvo compuesto por dos componentes: Vinnapas (polímero) y Culminal (celulosa). La mezcla del aditivo con el cemento y la arena primeramente se realizó en seco en una mezcladora, con la siguiente dosificación en peso: 22.9% de cemento, 75% de arena, 0.1% de Culminal y 2% de Vinnapas, para luego agregar agua.

La técnica de ensayo de compresión diagonal, fue similar a la empleada en este proyecto (ver 4.0), y las resistencias características a fuerza cortante ($v'm$) de los muretes fueron: 5.85 y 8.04 Kg/cm^2 para los parámetros PI y PIV, respectivamente.

En este caso, el análisis costo-beneficio indicó que se lograba un incremento de 37% en la resistencia a corte con un incremento en el costo de la albañilería de 18%.

8. CONCLUSIONES

- El bloque de concreto vibrado clasificó como tipo P, según la Ref.1, con lo cual, puede ser utilizado en la construcción de muros portantes de albañilería armada.
- La succión que presentó el bloque, superó al límite máximo especificado por la Ref.1 (20 $\text{gr}/200\text{cm}^2\text{-min}$). Por esta razón, y además porque los bloques de concreto deben asentarse en seco, se utilizó cal en el mortero para proporcionarle retentividad.
- El empleo de juntas completas de mortero abarcando toda la superficie de asentado de los bloques (Técnica 2), más el curado de las juntas de mortero (Técnica 3) y más el curado de la albañilería (Técnica 4), incrementó la resistencia característica a fuerza cortante de los muretes ($v'm$) en 34%, 38% y 46%, respectivamente, en relación al uso de cintas de mortero en la albañilería sin curar (Técnica 1, empleada tradicionalmente). Esto elevó el costo del m^2

de la albañilería entre 4% a 5%, por lo que se logró el objetivo de la investigación, que era incrementar la resistencia al corte a bajo costo y en forma sencilla.

- En el análisis de costos no se contempló el refuerzo interno ni el grout con que se rellenan las celdas de los bloques, por lo que el incremento porcentual del costo citado en el párrafo anterior, debe ser más reducido.
- Ensayos similares realizados en la Ref.3, indicaron que con el uso de aditivo en polvo en el mortero la resistencia al corte se incrementaba en 37%, pero el costo de la albañilería aumentaba en 18%, por lo que resulta mejor el empleo de la Técnica 4 de este proyecto, donde la resistencia al corte se incrementó en 46% con una elevación del costo en 5%.
- El curado de los muros de albañilería armada no solo incrementa la resistencia al corte, sino que debe disminuir la contracción de secado del concreto líquido (grout), generando en consecuencia una mayor integración bloque-grout y grout-refuerzo. Este curado debe realizarse después que las juntas de mortero se hayan integrado con los bloques formando una sola unidad e inmediatamente antes y después de vaciar el grout, a razón de una vez al día, por lo menos durante 3 días consecutivos.

9. REFERENCIAS

1. SENCICO. 2004. Proyecto de Norma Técnica E.070 “Albañilería”. Documento elaborado por el Comité Especializado de la NTE E.070, actualmente en etapa de aprobación oficial.
2. San Bartolomé A. 1994. Construcciones de Albañilería, Comportamiento Sísmico y Diseño Estructural. Pontificia Universidad Católica del Perú. Fondo Editorial PUCP.
3. San Bartolomé A., Romero C. y Torres J. 2003. Mejora de la Adherencia Bloque–Mortero. Artículo EM-58. XIV Congreso Nacional de Ingeniería Civil. Colegio de Ingenieros del Perú. Consejo Departamental de Loreto. Iquitos.