

# **ESTUDIO DE LA ADHERENCIA MORTERO - LADRILLO DE CONCRETO VIBRADO EN TRES TÉCNICAS DE CONSTRUCCIÓN**

**Por: Ángel San Bartolomé y Álvaro Morante.  
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ**

## **RESUMEN**

Esta investigación tuvo como objetivo principal analizar la adherencia en la interfase mortero – ladrillo de concreto vibrado y, además, enriquecer nuestra Norma E.070, proporcionando parámetros de diseño y construcción para este tipo de albañilería, construida con ladrillos de reciente fabricación industrial en nuestro medio.

Con los propósitos indicados, se utilizaron dos técnicas de construcción adicionales a la recomendada por el fabricante. Para medir experimentalmente la adherencia mortero-ladrillo, se utilizó la prueba de compresión diagonal en muretes de albañilería. Sin embargo, como las técnicas utilizadas podrían afectar a la resistencia a compresión, también se ensayaron a compresión axial pilas de albañilería.

## **1. INTRODUCCIÓN**

Los ladrillos de concreto vibrado constituyen una gran alternativa para reemplazar a las unidades de arcilla, muy usadas a nivel nacional, pero que deprecian el suelo agrícola. Sin embargo, como los ladrillos de concreto vibrado son de reciente fabricación en el Perú, existen pocas investigaciones relacionadas con este tipo de albañilería a diferencia de la construida con ladrillos de arcilla (Ref.3). De este modo, uno de los objetivos de este trabajo fue enriquecer nuestra Norma Técnica de Diseño y Construcción E.070 (Ref.1), proporcionando parámetros involucrados en el diseño estructural.

Por otro lado, el fabricante de los ladrillos de concreto vibrado especifica una técnica determinada para construir la albañilería. En esta técnica las unidades deben asentarse, previa limpieza, en su estado natural (secas), a diferencia de los ladrillos de arcilla que deben regarse con la debida anticipación para disminuir su elevada succión, de modo que no se endurezca rápidamente el mortero, y también, para que el agua almacenada en el núcleo del ladrillo permita curar en forma natural al mortero.

Los ladrillos de concreto deben asentarse en estado seco, debido a que presentan alta variación volumétrica, por lo que si se regasen antes de asentarlos se expandirían para luego contraerse al secar, lo cual podría producir fisuras en los muros. Lo indicado también se produciría si las unidades de concreto se asentaran estando aún frescas, por lo que deberían tener una edad de por lo menos 28 días, o hasta que se haya alcanzado su estabilidad volumétrica.

Puesto que los ladrillos de concreto se asientan secos, podría reducirse su adherencia con el mortero, de este modo, en esta investigación se planteó dos alternativas adicionales a la especificada por el fabricante, las cuales fueron analizadas mediante ensayos de compresión diagonal en muretes de albañilería. Sin embargo, como estas técnicas podrían afectar a la resistencia a compresión de la albañilería, también se ensayaron a compresión axial pilas de albañilería.

Las tres técnicas utilizadas aparecen en la Tabla 1.

<b>Tabla 1. Técnicas de Construcción Utilizadas.</b>	
Técnica A (patrón)	Especificada por el fabricante. Consiste en la limpieza de los ladrillos para luego asentarlos en seco, utilizando mortero en proporción volumétrica cemento-arena gruesa 1: 4.
Técnica B	Fue similar a la técnica "A", pero curando las juntas. El curado de las juntas se hizo con una brocha con agua (Fig.10) después de 3 horas del asentado, durante 3 días consecutivos.
Técnica C	Fue similar a la técnica "A", pero se usó un mortero con cal en proporción volumétrica cemento-cal-arena gruesa 1: ½: 4.

Por cada técnica de construcción (A, B y C) se ensayaron 4 pilas a compresión axial, para calcular su resistencia característica a compresión ( $f'm$ ), y 4 muretes a compresión diagonal, para determinar su resistencia característica a corte puro ( $v'm$ ).

## 2. UNIDAD DE ALBAÑILERÍA

Se utilizó el ladrillo industrial de concreto vibrado denominado comercialmente como "King Koncreto", que tiene por dimensiones nominales: 24cm de largo, 13cm de espesor y 9cm de altura. Este ladrillo presenta 5 ranuras (Fig.1) que atraviesan las caras de asiento, una de las cuales es lisa y la opuesta es rugosa.

Con fines de clasificación, el ladrillo fue sometido a los siguientes ensayos: variación dimensional, alabeo, succión, absorción, compresión (figuras 2 a 6, respectivamente) y porcentaje de huecos dado por las ranuras. Los resultados promedios de la muestra compuesta por 10 unidades, aparecen en la Tabla 2.



*Fig.1. Ladrillo de concreto vibrado.*



*Fig.2. Variación dimensional.*



*Fig.3. Alabeo.*



*Fig.4. Succión.*



Fig.5 Absorción.



Fig.6. Ensayo de compresión.

<b>Tabla 2. Propiedades del Ladrillo de Concreto Vibrado.</b>		
<b>Ensayo</b>	<b>Observación</b>	<b>Resultado</b>
Variación Dimensional	Largo	-0.03 %
	Espesor	-0.33%
	Altura	+0.45%
Alabeo	Concavidad	0 mm
	Convexidad	0 mm
Succión	Cara lisa	18 gr/ (200cm <sup>2</sup> x min)
	Cara rugosa	15 gr/ (200cm <sup>2</sup> x min)
Absorción	24 horas de inmersión	5%
Compresión (f' b)	sobre área bruta	162 kg/cm <sup>2</sup>
Porcentaje de huecos	sólo de ranuras	29%

En base a los resultados de la Tabla 2, el ladrillo clasificó como clase IV según la Norma E.070. Puesto que la succión está comprendida entre 10 y 20 gr / (200cm<sup>2</sup> x min) el ladrillo no necesita de ningún tratamiento, excepto su limpieza antes de asentarlo.

Debido a que el porcentaje de huecos (ranuras) es menor que el 30% del área bruta, la unidad clasificó como sólida según la Norma E.070, por lo tanto, puede ser utilizada en la construcción de muros portantes confinados.

### 3. MORTERO

De acuerdo a la técnica de construcción indicada en la Tabla 1, se usaron dos tipos de mortero en las juntas horizontales y verticales:

- Técnicas A y B. Mortero sin cal, con proporción volumétrica cemento-arena 1: 4.
- Técnica C. Mortero con cal, con proporción volumétrica cemento-cal-arena 1: ½: 4. La cal empleada fue del tipo hidratada y normalizada.

Para determinar la resistencia a compresión del mortero, se fabricaron 5 probetas cúbicas de 5cm de lado (Fig.7) por cada tipo de mortero (con cal y sin cal), utilizando la mezcla empleada durante la construcción de los prismas de albañilería. Luego del curado respectivo, las probetas fueron ensayadas a compresión (Fig.8) a los 28 días de edad. Los resultados aparecen en la Tabla 3.



Fig.7. Cubos de mortero.



Fig.8. Ensayo de compresión.

<b>Tabla 3. Resistencia Promedio a Compresión del Mortero.</b>			
Técnica	Mortero	Resistencia	Dispersión
<b>A y B</b>	1 : 4 (sin cal)	174 kg/cm <sup>2</sup>	21.2 %
<b>C</b>	1: ½ : 4 (con cal)	182 kg/cm <sup>2</sup>	10.6 %

En la Tabla 3 se puede apreciar que el mortero con cal (Técnica C) tuvo una ligera mayor resistencia a compresión (5%) que el mortero sin cal y menor dispersión de resultados. Ambos morteros tuvieron una resistencia a compresión ligeramente mayor que la del ladrillo de concreto vibrado ( $f^{\prime}b = 162 \text{ kg/cm}^2$ , Tabla 1).

#### 4. ENSAYOS DE COMPRESIÓN AXIAL EN PILAS

Se construyeron 4 pilas por cada técnica de construcción (12 pilas en total). Cada pila estuvo compuesta por 6 ladrillos de concreto vibrado y se usó una junta horizontal de 1cm de espesor, lo que dio una altura total de 59cm y una esbeltez de 4.54.

En el proceso de construcción, primero se seleccionaron los ladrillos eliminando los que tenían rajaduras y esquinas defectuosas, luego se limpiaron con una escobilla. Para el asentado se colocó una capa de mortero que cubrió toda la superficie de asiento (incluyendo las ranuras) y luego se asentó el ladrillo. Con una plomada se controló la verticalidad y con un escantillón se controló la altura de cada hilada (Fig.9).

Las pilas se ensayaron a compresión axial a los 28 días de edad (Fig.11), a una velocidad de carga de 5 ton/min. La falla típica fue por tracción lateral, manifestada a través de grietas verticales (figuras 12 a 14) que circularon por los bordes extremos de las ranuras de los ladrillos (zona con poca área).



Fig.9. Control de la altura de las hiladas.



Fig.10. Curado de juntas en Técnica B.





Fig.11. Ensayo de compresión de pilas.



Fig.12. Falla en una pila de la Técnica A.



Fig.13. Falla en una pila de la Técnica B.



Fig.14. Falla en una pila de la Técnica C.

En el ensayo se utilizaron 2 LVDT (Fig.11) colocados en los bordes extremos de cada pila, con el objeto de medir el módulo de elasticidad de la albañilería ( $E_m$ ). La resistencia característica a compresión axial ( $f_m$ ) fue obtenida restando una desviación estándar al valor promedio ( $\bar{f}_m$ ), según se especifica en la Norma E.070 (Ref.1). Esta resistencia se calculó trabajando con el área bruta de la pila, efectuándose además la corrección por esbeltez reglamentaria. Los resultados aparecen en la Tabla 4.

<b>Tabla 4. Ensayo de Compresión Axial en Pilas.</b>				
Técnica	$\bar{f}_m$ (promedio) (kg/cm <sup>2</sup> )	Dispersión de resultados	$f_m$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$E_m$ (promedio) (kg/cm <sup>2</sup> )
<b>A</b>	129	4.7 %	123	126153
<b>B</b>	129	6.3 %	121	134063
<b>C</b>	137	9.7 %	124	124800

En la Tabla 4 se observa que la diferencia de resistencias características ( $f_m$ ) entre las tres técnicas fue mínima, lo que era de esperarse, ya que el objetivo de las técnicas utilizadas era variar el grado de adherencia mortero-ladrillo y ver su repercusión en la resistencia a fuerza cortante.

En cuanto al módulo de elasticidad ( $E_m$ ), también puede decirse que no existe mayor influencia de la técnica de construcción. Debe indicarse que en la Norma E.070 se especifica emplear para unidades de concreto  $E_m = 700 f_m$ , valor que resultó distinto al hallado en este proyecto ( $E_m \approx 1000 f_m$ ). Sin embargo, el resultado obtenido podría ser cuestionable, debido a que los desplazamientos axiales registrados fueron muy pequeños, fuera del rango de precisión de los LVDT (retirados al alcanzarse el 50% de la carga de rotura), por lo que es aconsejable evaluar “ $E_m$ ” en muros a escala natural.

## 5. ENSAYOS DE COMPRESIÓN DIAGONAL EN MURETES

Se construyeron 4 muretes por cada técnica de construcción (12 muretes en total). Cada murete estuvo compuesto por 6 hiladas de  $2\frac{1}{2}$  ladrillos cada una. Se usó una junta vertical y horizontal de 1cm de espesor, lo que proporcionó muretes de 62cm de largo por 59cm de alto.

Puesto que los muretes no fueron cuadrados, se hizo una corrección con el capping yeso-cemento utilizado en las esquinas en contacto con los cabezales angulares del equipo de ensayo (Fig.17), dando como resultado muretes de 63cm x 63cm. El proceso de construcción (figuras 15 y 16) fue el mismo que el descrito para las pilas (acápite 4).

Los muretes fueron ensayados a compresión diagonal (Fig.17) a los 28 días de edad a una velocidad de carga de 1 ton/min. El tipo de falla predominante fue mixta, es decir, una grieta diagonal que atravesó ladrillos y juntas (figuras 18 a 20).



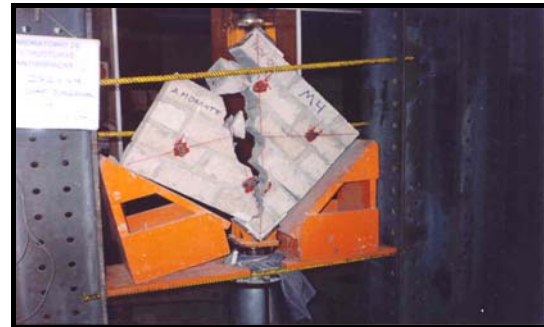
*Fig.15. Asentado del ladrillo.*



*Fig.16. Control de la altura de las hiladas.*



*Fig.17. Ensayo de compresión diagonal.*



*Fig.18. Murete de la Técnica A.*



*Fig.19. Murete de la Técnica B.*



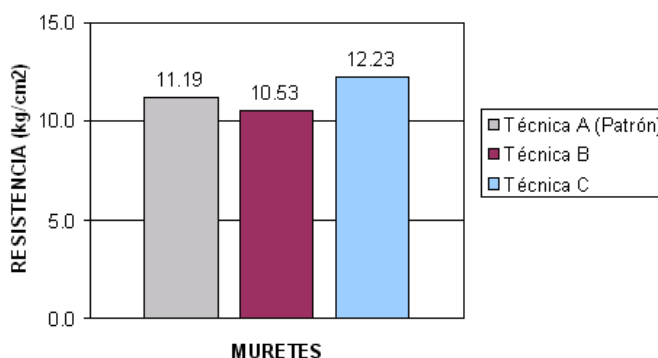
*Fig.20. Murete de la Técnica C.*

En el ensayo se utilizaron 2 LVDT colocados en las diagonales del murete (Fig.17), con el objeto de medir la deformación angular y con ella calcular el módulo de corte (Gm).

La resistencia característica a corte puro ( $v'm$ ) fue obtenida restando una desviación estándar al valor promedio ( $vm$ ), según se especifica en la Norma E.070. Esta resistencia se calculó dividiendo la carga de rotura entre el área bruta de la diagonal cargada. Los resultados aparecen en la Tabla 5 y en la Fig.21.

Técnica	$vm$ (promedio) (kg/cm <sup>2</sup> )	Dispersión de resultados	$v'm$ (kg/cm <sup>2</sup> )	Gm (promedio) (kg/cm <sup>2</sup> )
<b>A</b>	12.37	9.5 %	11.19	32630
<b>B</b>	11.99	12.2 %	10.53	29340
<b>C</b>	12.76	4.2 %	12.23	26476

*Fig.21. Resistencia característica a corte puro ( $v'm$ ) en las tres técnicas.*



En la tabla 5 y en la Fig.21, se aprecia un pequeño incremento (9%) de la resistencia característica a corte puro cuando se añade cal al mortero (Técnica C) en comparación al caso en que se utilizó mortero sin cal (Técnica A). Esta diferencia se atribuye a la menor dispersión de resultados obtenida para la Técnica C (4.2%) en relación con la hallada en la Técnica A (9.5%), ya que la resistencia promedio “ $vm$ ” de ambas técnicas fue similar; es decir, la cal redujo la dispersión de resultados.

Sin embargo, con fines de diseño estructural, la Norma E.070 obliga a que se adopte “ $v'm$ ” menor o igual que  $\sqrt{f'm} = \sqrt{120} = 11 \text{ kg/cm}^2$ , con lo cual daría lo mismo emplear cualquiera de las tres técnicas.

Con relación a la Técnica B, podría decirse que el curado de las juntas elevó la dispersión de resultados, haciendo que la resistencia característica “ $v'm$ ” sea ligeramente menor que la hallada con las técnicas A y C, sin embargo, no se puede dar una conclusión definitiva, por cuanto habría que ensayar una mayor cantidad de muretes, ya que la técnica de curar las juntas resultó efectiva para el caso de la albañilería construida con bloques de concreto vibrado (Ref.2).

En cuanto al módulo de corte (Gm), se podría decir que no hubo mayor variación entre usar cualquiera de las tres técnicas, por lo que se podría trabajar con el módulo de corte promedio de las 3 técnicas  $Gm = 29500 \text{ kg/cm}^2$ .

Relacionando los valores de  $E_m$  y  $G_m$  se obtendría  $E_m/G_m \approx 4$ . Debiéndose cumplir  $E_m/G_m = 2(1 + \nu)$ , se obtendría un módulo de Poisson  $\nu = 1$ , lo que es incoherente. Si se usaran los valores de la Norma E.070 (Ref.1):  $E_m = 700f'm = 700 \times 120 = 84000 \text{ kg/cm}^2$  y  $\nu = 0.25$ , se obtendría  $G_m = 33600 \text{ kg/cm}^2$ , valor que resulta mas consistente, pues solo hay una diferencia de 14% entre el módulo de corte obtenido experimentalmente y el módulo de corte obtenido mediante la Norma E.070.

Cabe destacar que la resistencia promedio a corte puro ( $\nu_m$ ) obtenida en las tres técnicas fue muy parecida, con apenas 3% de dispersión, por lo que podría decirse que las técnicas empleadas no influyeron en la resistencia a corte puro, debido a que la mayor parte de esta resistencia fue proporcionada por el mortero que penetró en las ranuras del ladrillo, proporcionando llaves de corte en la interfase ladrillo-mortero, en tanto que la adherencia se manifiesta por la penetración del material cementante en los poros del ladrillo. De esta forma, hubiese sido conveniente taponar las ranuras del ladrillo antes de asentarlos, para analizar exclusivamente la adherencia ladrillo-mortero.

## 6. ANÁLISIS DE COSTOS

El análisis de costos para cada técnica de construcción, se realizó tomando como unidad de medida el área de un murete.

La cuadrilla utilizada para la construcción de cada grupo de muretes fue: 1 operario y 1 oficial, quienes en 4 horas construyeron 4 muretes. Para la técnica de construcción "B" además se usó 1 oficial para el curado de las juntas, con un rendimiento de 1 murete en 4 minutos por 3 días de curado. El costo de las herramientas se tomó como un porcentaje de la mano de obra (3%).

En el análisis de costos no se consideró el recorte de los ladrillos (mano de obra y maquinaria), ni tampoco el costo de la limpieza de los ladrillos, ya que fueron parámetros comunes para las tres técnicas. Los resultados del análisis de costos se muestran en la Tabla 6 en conjunto con las resistencias características.

<b>Tabla 6. Resumen de Resistencias Características y Costo de cada Técnica.</b>			
Técnica	$f'm \text{ (kg/cm}^2\text{)}$	$\nu'm \text{ (kg/cm}^2\text{)}$	Costo (Soles/m <sup>2</sup> )
<b>A</b>	123	11.19	178.01
<b>B</b>	121	10.53	184.51
<b>C</b>	124	12.23	178.25

## 7. CONCLUSIONES

- El ladrillo de concreto vibrado clasificó como sólido clase IV según la Norma E.070, con  $f'b = 162 \text{ kg/cm}^2$ , apto para ser empleado en la construcción de muros portantes confinados.
- La succión del ladrillo estuvo comprendida entre 10 y 20 gr / (200cm<sup>2</sup> x min), por lo tanto, no necesitó de ningún tratamiento, excepto su limpieza antes de asentarlo. Cabe remarcar que las unidades de concreto deben asentarse en su estado natural, previa limpieza, incluso si tuviesen una succión por encima del límite indicado.



- El ladrillo presentó una cara de asentado lisa y la otra rugosa, observándose en los ensayos de compresión diagonal una menor adherencia en la cara lisa.
- El mortero con cal de la Técnica C (1: ½: 4), tuvo una ligera mayor resistencia a compresión (5%) y menor dispersión de resultados que el mortero sin cal (1: 4), usado en las Técnicas A y B, notándose que la cal proporcionó mayor trabajabilidad y retentividad a la mezcla.
- La resistencia a compresión axial de la albañilería ( $f'm$ ), no se vio afectada por la técnica empleada. Se propone utilizar para fines de diseño  $f'm = 120 \text{ kg/cm}^2$ .
- La resistencia a corte puro promedio fue prácticamente independiente de la técnica de construcción utilizada; sin embargo, en la Técnica C (mortero con cal) se logró la menor dispersión de resultados, lo cual hizo que la resistencia característica ( $v'm$ ) para la Técnica C sea 9% mayor que la correspondiente a la Técnica A.
- De acuerdo a la Norma E.070, para fines de diseño estructural debe emplearse una resistencia característica fuerza cortante  $v'm \leq \sqrt{f'm} = \sqrt{120} \approx 11 \text{ kg/cm}^2$ , este resultado es menor que los hallados en los ensayos de compresión diagonal para las técnicas A y C, por lo tanto, mandaría  $v'm = 11 \text{ kg/cm}^2$ , con lo cual, daría lo mismo utilizar cualquiera de las 3 técnicas.
- El hecho de que las tres técnicas hayan proporcionado prácticamente la misma resistencia a corte puro, se atribuye a que esta resistencia fue proporcionada mayormente por la penetración del mortero en las ranuras de los ladrillos, formando llaves de corte en la interfase ladrillo-mortero, mientras que la adherencia se manifiesta por la penetración del material cementante en los poros del ladrillo. De esta forma, hubiese sido conveniente taponar las ranuras del ladrillo antes de asentarlos, para analizar exclusivamente la adherencia ladrillo-mortero.
- Los valores del módulo de elasticidad “Em” hallados experimentalmente en las pilas salieron bastante elevados, porque los desplazamientos registrados fueron muy pequeños, fuera del rango de precisión de los LVDT. Cuando los valores “Em” fueron relacionados con el módulo de corte “Gm”, hallados experimentalmente en los muretes, se obtuvo un módulo de Poisson incoherente ( $\nu = 1$ ), por lo que es necesario determinar “Em” en muros a escala natural.
- Cuando se trabajó con la formulación de la Norma E.070 para unidades de concreto:  $E_m = 700f'm$  y  $G_m = E_m/2.5$ , se obtuvo un valor de “Gm” cercano al hallado experimentalmente en los muretes. De esta manera, se propone para fines de análisis estructural, trabajar con los valores especificados por la Norma E.070, con cargo a revisarlos en ensayos de carga vertical y lateral en muros a escala natural.
- Las técnicas A y C, tuvieron prácticamente el mismo costo unitario (0.13% de diferencia a favor del caso mortero sin cal), por lo que es recomendable añadir cal al mortero, teniendo en cuenta la mayor área de asentado que tienen los muros reales en relación a los muretes ensayados en este proyecto, volviéndose a remarcar que la cal proporcionó mayor plasticidad y retentividad (retardo del fraguado) a la mezcla.

## REFERENCIAS

1. Norma E.070 "Albañilería". Reglamento Nacional de Construcción. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. SENCICO, 2006.
2. Procedimientos Simples para Incrementar la Resistencia al Corte en la Albañilería Construida con Bloques de Concreto Vibrado. Ángel San Bartolomé y Miguel Ángel Torres. Revista Costos. No.142, Enero del 2006, y blog de Investigaciones en Albañilería. 2007 <http://blog.pucp.edu.pe/albanileria>
3. Construcciones de Albañilería. Comportamiento Sísmico y Diseño Estructural. Ángel San Bartolomé. Pontificia Universidad Católica del Perú. Fondo Editorial 2001.
4. Mejora de la Adherencia Bloque-Mortero. Ángel San Bartolomé, César Romero y Juan Carlos Torres. Revista Costos, Edición 112, Julio 2003, y blog de Investigaciones en Albañilería. 2007 <http://blog.pucp.edu.pe/albanileria>