

EFFECTOS DE LOS ESTRIBOS SOBRE EL COMPORTAMIENTO A COMPRESION DE LAS COLUMNAS DE CONFINAMIENTO

Por: Ángel San Bartolomé y Luis Labarta

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

RESUMEN

Con el propósito de estudiar el efecto de los estribos sobre el comportamiento a compresión de los talones correspondientes a los muros de albañilería confinada, se construyeron 21 especímenes, utilizando tres tipos de estribos y dos espaciamentos, los cuales fueron ensayados someténdolas a carga axial de compresión.

1. INTRODUCCION

Frente a la presencia de fuerzas sísmicas en muros portantes de albañilería confinada, los elementos de confinamiento tienen la función de proveer una segunda línea resistente que comienza a ser operativa una vez que el paño de albañilería –que provee la primera línea resistente- se agrieta diagonalmente. Hasta el momento del agrietamiento, es posible suponer un comportamiento integrado y elástico del muro confinado. Una vez ocurrido el agrietamiento diagonal, el triángulo superior gira en torno al talón, creándose concentraciones de esfuerzos por flexocompresión que pueden causar la trituración del concreto de la columna de confinamiento y el pandeo del refuerzo vertical (Foto 1). En este instante, se reduce drásticamente la capacidad resistente del muro.

La propuesta de diseño a la rotura, planteada en la Ref.1, contempla el fenómeno descrito mediante un adecuado diseño de las columnas de confinamiento, por lo que en este proyecto se trata de investigar la aplicación de dicha propuesta analizando el espaciamento requerido en los estribos para evitar el pandeo del refuerzo vertical, así como evaluar el comportamiento del confinamiento dado por los estribos proponiendo otras alternativas diferentes al estribo tradicional con gancho a 135°, y analizar de forma comparativa las características de resistencia y ductilidad mediante ensayos de compresión axial

2. CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS ESPECÍMENES

2.1 Características Geométricas

La carga axial producida por los esfuerzos de flexocompresión actuantes en el talón del muro confinado, se transmite hacia la base de la columna como hacia los alrededores de la albañilería que la circunda, sin embargo, debido a que el concreto es más rígido y resistente que la albañilería, se ha supuesto que el concreto absorbe un mayor porcentaje de carga axial, con lo cual, para que falle el talón, será necesario que primeramente falle el concreto. De esta manera, el espécimen a estudiar será de concreto armado con dimensiones de 20x20 cm de sección transversal y 40 cm de altura, con lo cual, al ser la esbeltez 2:1, el espécimen se comportará como una columna sin esbeltez.

2.2 Materiales

Se empleó un concreto con resistencia a la compresión a los 28 días de edad igual a 175 Kg/cm², resistencia mínima requerida por la Ref.1. Por otro lado, debido a las pequeñas dimensiones de la columna y a los ganchos de los estribos, se utilizó piedra chancada con tamaños menores a 3/4", de tal modo de evitar la formación de cangrejas.

El acero de refuerzo utilizado tuvo un escalón de fluencia definido, empleándose para el refuerzo vertical 4 varillas de acero corrugado de 3/8" de diámetro y para los estribos acero liso de 6 mm de diámetro. Se utilizó 3 tipos de estribos (Foto 2): estribos con un gancho de 7.5 cm de longitud a 135°, estribos con 1¾ vueltas y estribos en espiral (zuncho); y dos espaciamientos: 5 cm y 10 cm. Los especímenes tuvieron un recubrimiento de 1 pulgada.

2.3 Casos Analizados

Se analizaron 7 casos, a una razón de 3 especímenes por caso, lo cual hace un total de 21 especímenes. Los casos analizados se presentan a continuación (ver Fotos 2 y 3):

CASO 1: Sin refuerzo (no existió estribos ni refuerzo vertical).

CASO 2: Sólo con refuerzo vertical (sin estribos).

CASO 3: Con refuerzo vertical y estribos con gancho a 135° separados a 10 cm.

CASO 4: Con refuerzo vertical y estribos con gancho a 135° separados a 5 cm.

CASO 5: Con refuerzo vertical y estribos con 1¾ vueltas separados a 10 cm.

CASO 6: Con refuerzo vertical y estribos con 1¾ vueltas separados a 5 cm.

CASO 7: Con refuerzo vertical y zuncho con paso a 5 cm.

2.4 Proceso Constructivo

El concreto se elaboró en una mezcladora, tomándose testigos para el control de calidad. El concreto fue vibrado para evitar la formación de cangrejas (Foto 5). Al día siguiente, se procedió a desencofrar; posteriormente, los especímenes fueron curados durante 7 días cubriéndolos con sacos de yute húmedos (Foto 6).

3. DISEÑO A LA ROTURA

Según el diseño a la rotura (Ref.1), los estribos a emplear podrán ser: con 1¾ de vuelta, con ganchos a 135° o zunchos. En los extremos de las columnas, en una altura no menor de 45 cm o 1.5d (por debajo o encima de la viga, solera o sobrecimiento), deberá colocarse el menor de los siguientes espaciamientos (s) entre estribos:

$$s1 = A_v f_y / [0.3 t_n f'_c (A_c / A_n - 1)]$$

$$s3 = d / 4$$

$$s2 = A_v f_y / (0.12 t_n f'_c)$$

$$s4 = 10 \text{ cm}$$

Donde:

s: separación entre estribos

A_v: área de estribos

Ac: área bruta de la sección transversal de una columna

An: área del núcleo confinado de una columna (descontando el recubrimiento)

fy: esfuerzo de fluencia del acero

f'c: resistencia a la compresión del concreto

tn: espesor del núcleo confinado de una columna

d: peralte de la columna (en la dirección del sismo)

Asumiendo:

$A_v = 0.57 \text{ cm}^2$ (estribos de 6 mm de diámetro)

$A_c = 20 \times 20 = 400 \text{ cm}^2$

$f_y = 4200 \text{ Kg/cm}^2$

$t_n = 15 \text{ cm}$

$A_n = 225 \text{ cm}^2$ (el recubrimiento utilizado fue 2.5 cm)

$f'_c = 175 \text{ Kg/cm}^2$

$d = 20 \text{ cm}$

Se obtiene:

$s_1 = 4.0 \text{ cm},$

$s_2 = 7.5 \text{ cm},$

$s_3 = 5.0 \text{ cm},$

$s_4 = 10.0 \text{ cm}$

El diseño manda como separación entre estribos: 4 cm. En el presente proyecto se ha trabajado con dos espaciamientos: 5 cm y 10 cm.

4. MÉTODO DE ENSAYO

4.1 Equipo de Ensayo e Instrumentación

Los ensayos de los especímenes se realizaron con una gata hidráulica de 200 toneladas de capacidad, acoplada a un marco de reacción compuesta por dispositivos metálicos (Foto 7). La aplicación de la carga se hizo mediante una bomba hidráulica eléctrica. La instrumentación consistió de LVDT que permitieron medir los desplazamientos axial y lateral, para así analizar el comportamiento de los especímenes en el rango elástico.

4.2 Técnica de Ensayo

El ensayo de los especímenes se realizó a una velocidad de carga de 10 ton/min, en el Laboratorio de Estructuras de la Universidad Católica. Los especímenes tuvieron 28 días de edad y su superficie fue recubierta previamente con un capping de yeso. El ensayo se interrumpió cuando se llegó a una carga de 50 toneladas para retirar la instrumentación, para evitar que ésta se vea afectada por la rotura del espécimen. Luego de pasar la carga máxima, el ensayo culminó cuando se produjo una caída del 70% en la resistencia.

5. PROCESAMIENTO DE RESULTADOS

5.1 Descripción del Comportamiento

El comportamiento de los especímenes estuvo dentro de lo esperado, observándose una falla explosiva en los casos 1 (Foto 8) y 2, especímenes que no tuvieron confinamiento transversal, y una falla relativamente dúctil en el resto de casos (Fotos 9, 10 y 11).

En los especímenes con confinamiento se observó, luego de alcanzar la carga máxima, el desprendimiento del recubrimiento por la fluencia del refuerzo transversal. En todos estos casos, el núcleo se mantuvo intacto hasta el final del ensayo, cumpliendo el objetivo del diseño a la rotura (Ref.1). Los especímenes con estribos con gancho a 135° separados a 10 cm tuvieron un desconchamiento prematuro (al 30% de caída de su resistencia).

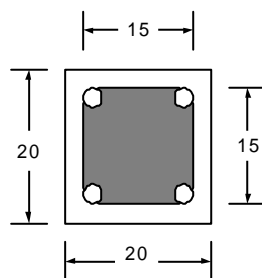
Debido a que se sobre esforzó a los especímenes, llegándose a detener el ensayo cuando se produjo una caída de resistencia del 70%, se pudo observar un notorio pandeo tanto del espécimen como del refuerzo vertical, mostrándose más pronunciado en el refuerzo vertical de las probetas con estribos espaciados a 10 cm (ver Fotos 9, 10 y 11).

Las deformaciones obtenidas resultaron independientes del refuerzo transversal que tuvieron los especímenes, debido a que en el rango elástico la deformación de los estribos es casi nula, ya que éstos sólo trabajan cuando el concreto se agrieta internamente.

5.2. Análisis de Resultados en el Rango Inelástico. Parámetro “D”.

El comportamiento inelástico fue evaluado utilizando la variación de la carga a través del tiempo que duró el ensayo, ya que no se tuvo información de las deformaciones por haberse retirado los LVDT por lo que no se pudo calcular la ductilidad del espécimen. Sin embargo, se definió un parámetro “D” que simulaba la ductilidad, para esto, cabe mencionar que después de haberse retirado los LVDT, la velocidad de carga fue la misma en todas los especímenes, por lo que el tiempo que duró el ensayo constituye una medida de la capacidad que tuvo el espécimen para mantener la carga hasta que ésta degradó en 70%.

Por otro lado, según la propuesta de diseño a la rotura (Ref.1), el núcleo de concreto confinado por los estribos es el elemento que se diseña a compresión, por lo tanto, eliminando el recubrimiento, se espera una degradación de carga hasta del 44%:



$$\sigma = P_{\max} / (20 * 20) = P / (15 * 15)$$

$$P = (15 * 15) / (20 * 20) P_{\max}$$

$$P = 0.56 P_{\max}$$

Aceptando en condiciones últimas hasta un 50% de degradación de carga, se define al parámetro “D” como un factor indicativo de la capacidad de retención de carga que tenía cada espécimen:

$$D = t_{50} / t_{\max}$$

Donde: t_{50} = tiempo en el cual la carga degradó 50%

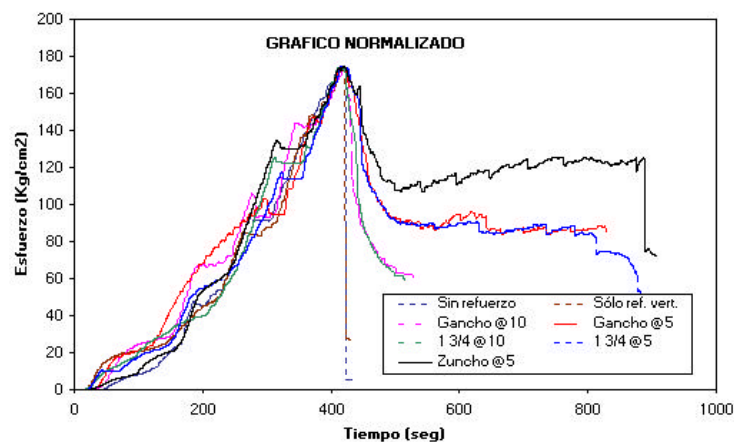
t_{\max} = tiempo en el cual ocurre la carga máxima

5.3. Comparación del Comportamiento Inelástico

Con el propósito de analizar el comportamiento inelástico de cada caso, se seleccionó un espécimen representativo, normalizando los resultados a una misma resistencia máxima y a un mismo tiempo en alcanzarla. La normalización de resultados se realizó debido a que cada espécimen alcanzó su carga máxima en distintas magnitudes y tiempo, por lo que se adoptó como patrón de normalización a la resistencia característica a compresión axial (175 Kg/cm^2) y un tiempo de 420 seg en alcanzarla a una velocidad de 10 ton/min.

Los valores “D” de las probetas seleccionadas se resumen en el cuadro siguiente, además se presenta el gráfico normalizado esfuerzo vs.tiempo de los 7 casos estudiados.

CASO ANALIZADO	D
1) Probeta sin refuerzo	0.00
2) Probeta sólo con refuerzo vertical	0.00
3) Probeta con estribos con gancho @ 10cm	1.07
4) Probeta con estribos con gancho @ 5cm	1.97
5) Probeta con estribos de 1 ¾ vueltas @ 10cm	1.07
6) Probeta con estribos de 1 ¾ vueltas @ 5cm	1.85
7) Probeta con zuncho @ 5cm	2.11



6. CONCLUSIONES Y COMENTARIOS

Comportamiento en el rango elástico:

- No pudo registrarse variaciones significativas en el control de las deformaciones transversales ejercida por los estribos, debido a que los LVDT fueron retirados cuando aún las probetas se encontraban en el rango elástico. Es decir, mientras que el concreto no falle, puede emplearse cualquier tipo de estribo.

Respecto al comportamiento inelástico de las probetas se concluye:

- Los elementos de confinamiento con espaciamiento a 5 cm cumplieron con la propuesta de diseño a la rotura (que mandaba un espaciamiento a 4 cm) de mantener la resistencia. Los tres casos que presentaron el espaciamiento a 5 cm, retuvieron la resistencia permitiendo una degradación de hasta 50% de su carga máxima, porcentaje que se considera aceptable ya que contempla el desprendimiento del recubrimiento. Dicha degradación se mantuvo hasta momentos previos a la finalización de los ensayos.
- El zuncho constituyó el mejor confinamiento. Esta alternativa mostró una buena retención de la carga, no excediendo el 40% de degradación hasta momentos previos al final del ensayo. Además mostró una recuperación en la carga, la cual llegó hasta un 70% de la carga máxima. Para una caída de carga del 50% tuvo un "D" igual a 2.11, valor notoriamente mayor al alcanzado por los otros estribos.
- Los estribos con gancho y los estribos $1\frac{3}{4}$ de vuelta mostraron un comportamiento similar, tanto con separación de 10 cm como con separación de 5 cm.
- Los estribos separados a 10 cm tuvieron una degradación rápida de resistencia, observándose para una degradación del 50% un 'D' extremadamente menor (1.07) respecto a los otros casos.
- En cuanto a los estribos separados a 5 cm, se observó un mejor comportamiento. Aunque no se notó una recuperación notoria de la carga, esta se mantuvo constante al 50% de la carga máxima hasta momentos antes de finalizar el ensayo, en que ya mostró una caída pronunciada. Los valores "D" fueron 1.97 para el caso estribo con gancho y 1.85 para el caso estribo con $1\frac{3}{4}$ de vuelta.
- Los casos que no tuvieron estribos tuvieron un comportamiento esperado, observándose en éstos una falla explosiva.
- En todos los especímenes analizados se presentó pandeo del refuerzo vertical. Esto se debió a que dicho refuerzo estuvo afectado por altos esfuerzos transversales que proporciónó el concreto al tratar de expandirse. La diferencia estuvo que para un espaciamiento excesivo (10 cm) el pandeo se presentó prematuramente.

De lo expuesto se tiene los siguientes comentarios:

- Los estribos $1\frac{3}{4}$ se presentan como una buena alternativa para reemplazar a los estribos con gancho en el caso de columnas de confinamiento con pequeñas dimensiones (utilizadas en los muros de albañilería en aparejo de soga), generando la misma efectividad, con lo cual quedaría resuelto el problema que presentan los estribos cuyos ganchos estorban el paso del concreto formando cangrejas.
- Para mejorar el comportamiento sísmico, es recomendable el uso de zunchos, ya que estos proveen una menor degradación de resistencia en el rango inelástico.

- Los estribos deben colocarse al espaciamiento estipulado por el diseño a la rotura (Ref.1), ya que se ha observado que los estribos colocados a gran espaciamiento pierden su capacidad de retención de carga y por ende el núcleo de concreto confinado por dichos estribos fallaría por la degradación de su resistencia a compresión.
- La cantidad de acero que se necesitó para los especímenes (de 40 cm de altura) con un espaciamiento de 5 cm fue de:

Estribos con gancho:	1.08 Kg
Estribos 1 ¾:	1.62 Kg
Zuncho:	0.88 Kg

Por lo tanto, el zuncho además resulta ser la alternativa más económica (20% más barato que el estribo con gancho), lo cual no sucede con el estribo 1 ¾ que resulta 65% más caro que el estribo con gancho.

- El único punto en contra que tiene el zuncho es su fabricación, debido a que es más difícil su elaboración y además se necesita tener un espacio amplio para poder doblar una longitud continua considerable.

REFERENCIAS

1. CONSTRUCCIONES DE ALBAÑILERIA. Comportamiento Sísmico y Diseño Estructural. Ángel San Bartolomé. Fondo Editorial PUCP, 1998.
2. ALBAÑILERIA ESTRUCTURAL
Héctor Gallegos. Fondo Editorial PUCP, 1991
3. ESTRUCTURAS DE CONCRETO ARMADO
Park y Paulay. 1978
4. ESTRUCTURACION Y DISEÑO DE EDIFICACIONES DE CONCRETO ARMADO
Antonio Blanco. Libro 2. CIP, 1997
5. NORMA DE ALBAÑILERIA E-070, NORMA DE CONCRETO ARMADO E-060,
NORMAS ASTM.

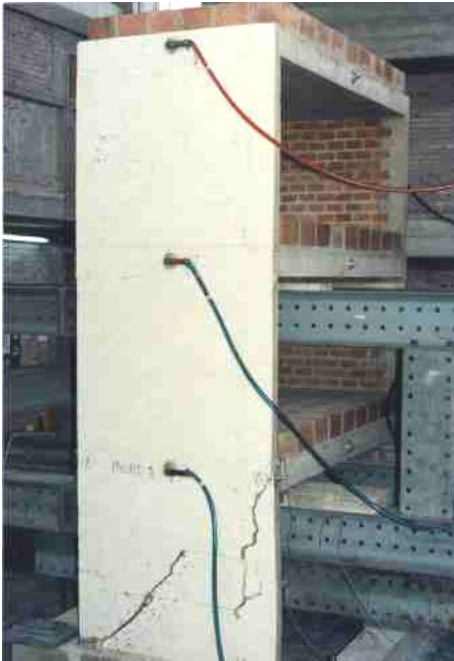


Foto 1 Detalle de la falla por flexocompresión en el talón de un espécimen de 3 pisos compuesto por muros confinados, ensayado en mesa vibradora.

Foto 2. Estribos tipo zuncho, con $1\frac{3}{4}$ de vuelta y con gancho.



Foto 3. Refuerzo vertical y transversal utilizado en los casos 4, 6 y 7.





Foto 4. Molde de los especímenes



Foto 5. Vaciado y vibrado del concreto

Foto 6. Curado con sacos de yute húmedo sobre los especímenes.



Foto 7. Vista global del ensayo de compresión axial.





Foto 8. Estado final del espécimen no reforzado (caso 1).



Foto 9. Estado final del espécimen con estribos 1 3/4 vuelta @ 10 cm.

Foto 10. Estado final del espécimen con estribos 1 3/4 vuelta @ 5 cm.

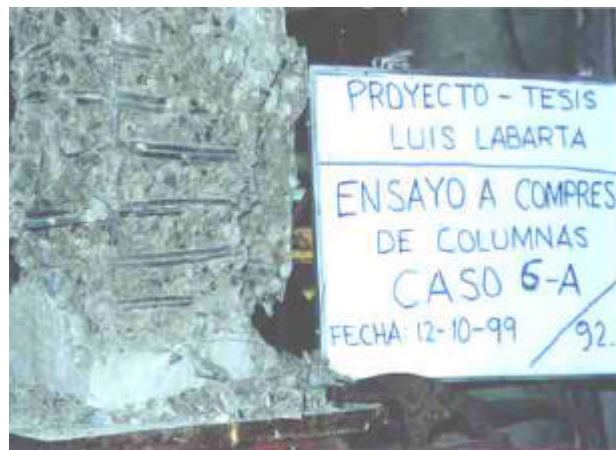


Foto 11. Estado final del espécimen zunchado.

