

ALTERNATIVAS ECONÓMICAS PARA CONFINAR LOS EXTREMOS DE LOS MUROS DE ALBAÑILERÍA ARMADA

Por: Daniel Quiun, Ángel San Bartolomé y Abel Moscol Broncano
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

RESUMEN

Con el apoyo económico de Firth Industries Perú S.A. se realizó esta investigación, cuyo propósito fue analizar experimentalmente dos alternativas económicas que permitan confinar los extremos de los muros de albañilería armada, sujetos a elevados esfuerzos de compresión por flexión. Para ello se tomó como base de comparación el confinamiento mediante planchas metálicas perforadas, refuerzo que en proyectos pasados proporcionó buenos resultados, aunque esta solución no fue económica.

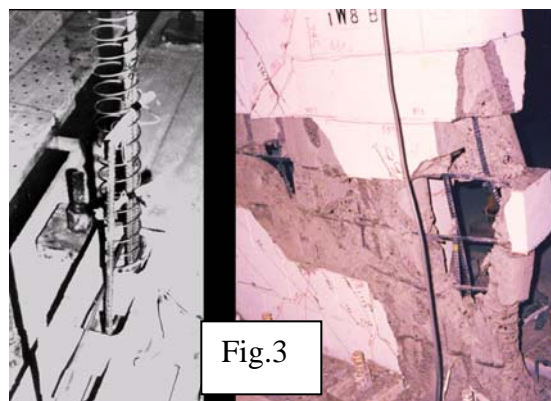
El presente estudio se realizó mediante ensayos de compresión axial en pilas de albañilería, construidas con bloques de concreto vibrado, rellenas con grout y confinadas en las juntas horizontales mediante 4 tipos de refuerzo: Tipo A (plancha continua A-36 perforada); Tipo B (malla de alambre N° 8 soldada); Tipo C (platinas A-36 no perforadas formando una especie de estribos en cada celda del bloque); y, Tipo D (sin refuerzo).

1. INTRODUCCIÓN




En terremotos pasados, así como en ensayos de muros a escala natural (Fig.1), se ha podido apreciar que los bordes libres (sin muros transversales) de los muros de albañilería armada, sujetos a elevados esfuerzos de compresión por flexión, pueden triturarse pandeando el refuerzo vertical, lo cual genera una reducción drástica en la capacidad resistente a carga lateral del muro.



Es por ello que en la Norma E.070 (Ref.1) se obliga a confinar toda la zona del borde libre que presente esfuerzos de compresión por flexión mayores que $0.3f'm$, donde $f'm$ es la resistencia característica a compresión axial de las pilas de albañilería. En un proyecto anterior (Ref.2), se utilizó como confinamiento planchas metálicas perforadas de acero estructural A-36 (Fig.2), de 3mm de espesor, obteniéndose excelentes resultados; sin embargo, por la dificultad en la fabricación de estos confinamientos, esta solución resultó costosa, por lo que en este proyecto se buscó otras alternativas de solución que sean factibles de aplicar, ya que en países como Japón, se utilizan espirales continuas de 4mm de diámetro con pasos de 4cm, que congestionan las celdas pudiendo provocar cangrejas en el grout (Fig.3).



Bajo las premisas indicadas, en esta investigación se analizaron 4 tipos de confinamiento (Tabla 1), mediante ensayos de compresión axial de pilas de albañilería (4 pilas por cada tipo de refuerzo, 16 pilas en total), hechas con bloques de concreto vibrado, rellenos posteriormente con grout. Los resultados de estos ensayos se analizan en el desarrollo de este estudio.

Tabla 1. Tipos de Confinamiento Analizados.		
Confinamiento	Descripción	Fig.4
Tipo A	Plancha metálica perforada de acero estructural A-36. Espesor: 3mm, con 36 perforaciones de 1/2". Cubre de manera continua las dos celdas de la pila. A través de las perforaciones pasa el mortero usado en las juntas horizontales.	
Tipo B	Escalerilla, formada por alambre negro N°8 (4.1mm de diámetro) soldado con electrodo. Tiene la forma de un número ocho, cubriendo la superficie media del bloque. Las piezas (varillas), todas ellas contenidas en el mismo plano, fueron soldadas en sus extremos y en la parte media del elemento.	
Tipo C	Estribos hechos con planchas de acero estructural A-36 de 3mm de espesor, sin perforaciones. Están compuestos por 4 platinas cortadas a la medida de la celda, todas contenidas en el mismo plano, soldadas en sus extremos formando una "[]". A cada bloque le corresponde dos anillos independientes, uno en cada celda. El recubrimiento de la platina es 1cm.	
Tipo D	Sin refuerzo de confinamiento	---

2. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

2.1 Bloque de Concreto Vibrado

Se utilizaron bloques de concreto vibrado, fabricados industrialmente por la empresa Firth, con dimensiones nominales 14x40x20cm, que incluyen 1cm de junta. Estos bloques presentan 2 celdas cuya área ocupa el 48% del área bruta, por lo que de acuerdo a la Norma E.070, la unidad califica como “Hueca”. Luego de las pruebas realizadas, el bloque clasificó (Ref.1) como Clase “P”, apto para ser empleado en la construcción de muros portantes de albañilería armada.

La prueba de variación dimensional sobre una muestra de 10 bloques proporcionó los siguientes resultados: - 0.77% en longitud, - 0.43% en espesor y - 2.1% en altura.

La prueba de compresión (Fig.5) realizada sobre una muestra de 5 bloques enteros, proporcionó (sobre área bruta): una resistencia promedio $f_b = 108 \text{ kg/cm}^2$, con una dispersión de resultados igual a 8.8% y una resistencia característica $f'_b = 98 \text{ kg/cm}^2$.

Sobre una muestra de 10 bloques enteros, se obtuvo en promedio una humedad natural de 2%, una absorción en 24 horas de inmersión igual a 6.1%, y una succión (Fig.5) de $10.1 \text{ gr}/(200\text{cm}^2\text{-min})$; por ello, no se necesitó ningún tipo de tratamiento previo al asentado, excepto la limpieza.

Fig.5

Ensayos de compresión y succión en los bloques.



2.2 Mortero

Se utilizó mortero industrial, fabricado por Firth. Este mortero se denomina comercialmente “Mortero Fácil”, viene en bolsas de 40kg, y su proporción volumétrica cemento-arena gruesa fue 1:5. Durante la construcción de las pilas, se fabricaron 10 probetas cúbicas de mortero, con 5cm de arista. Estas probetas fueron curadas y se ensayaron a compresión (Fig.6) a los 28 días de edad, obteniéndose una resistencia promedio de 200 kg/cm^2 , con una dispersión de resultados igual a 8.9%.



Fig.6

2.3 Concreto Líquido (grout)

Para rellenar las celdas de las pilas, se usó concreto líquido (grout grueso con 10 pulgadas de revenimiento) proporcionado por la empresa Firth. Este material viene en bolsas de 40kg. Antes de vaciar el grout en las pilas, y utilizando como moldes a los bloques forrados internamente con papel filtro, se fabricaron 10 probetas de grout con dimensiones nominales de 10x10x19cm. Estas probetas no fueron curadas y después, que cumplieron 28 días de edad, se ensayaron a compresión axial (Fig.7), obteniéndose una resistencia promedio de 304 kg/cm^2 con una dispersión de resultados de 8.2%.



Fig.7

2.4 Acero de Refuerzo

Se realizaron ensayos de tracción según la Norma ASTM A370 en tres muestras de la plancha A-36 (usada en los confinamientos Tipos A y C, Tabla 1) y en 3 muestras del alambre N°8 (empleado en el confinamiento Tipo B). La forma de falla aparece en la Fig.8, mientras que los resultados promedios y la dispersión de resultados se muestran en la Tabla 2.



Fig.8

Tabla 2. Resistencia a Tracción del Acero empleado en los Confinamientos.			
Plancha Estructural A-36 (conf. Tipo A y C)		Alambre No 8 (confinamiento Tipo B)	
Fluencia (kg/cm ²)	Máxima (kg/cm ²)	Fluencia (kg/cm ²)	Máxima (kg/cm ²)
3116	4273	2511	3840
Dispersión = 2%	Dispersión = 1%	Dispersión = 0%	Dispersión = 0.07%

3. CARACTERÍSTICAS DE LAS PILAS y CONSTRUCCIÓN

Por cada tipo de confinamiento (A, B, C y D), descrito en la Tabla 1, se construyeron 4 pilas de 4 hiladas cada una (Fig.9), dando un total de 16 pilas con esbeltez 5.6. En todas ellas se utilizó el mismo bloque, el mismo mortero, el mismo grout de relleno y la misma mano de obra, variándose tan solo el tipo de confinamiento.

Todas las pilas tuvieron juntas horizontales de 1cm de grosor y durante la construcción de la albañilería, se instaló el confinamiento respectivo en cada junta (Fig.4). Al día siguiente de haberse construido la albañilería, las celdas fueron rellenas con grout grueso de 10" de slump.

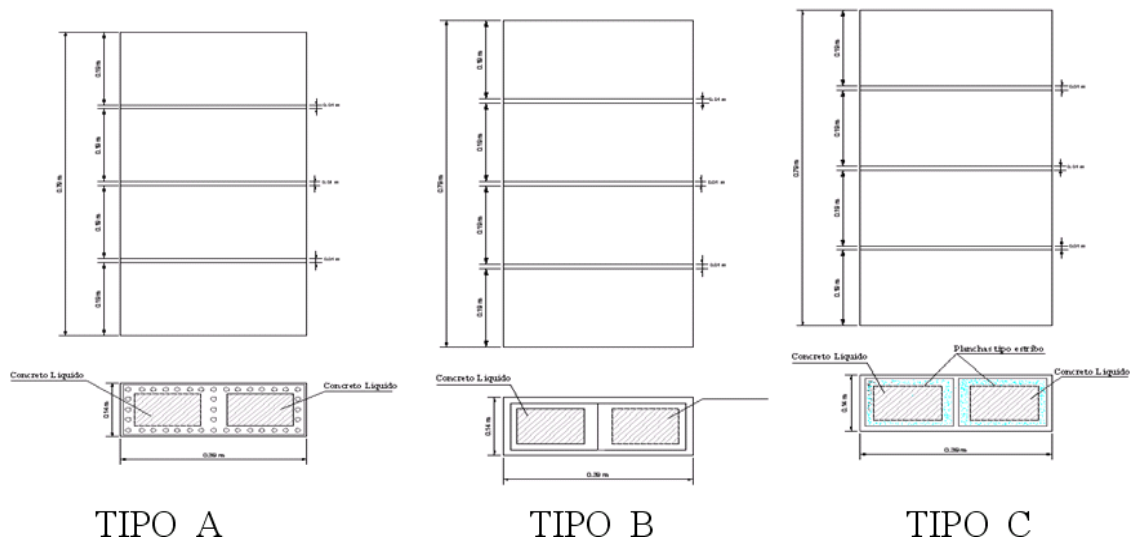


Fig.9. Características de las Pilas y de los Confinamientos.

4. ENSAYO DE COMPRESIÓN AXIAL EN PILAS

Transcurridos 28 días después de haber construido las pilas, se trasladaron desde el patio de construcción a la nave de ensayo del Laboratorio de Estructuras de la PUCP, para su respectivo ensayo de compresión axial. La velocidad de carga aplicada fue de 5ton/min.

4.1 Forma de Falla

La forma de falla (Fig.10) de las pilas confinadas tipo A y B fue bastante parecida, observándose una falla simétrica y controlada por los confinamientos, deslaminándose finalmente los bloques. Para el confinamiento tipo C, la falla fue asimétrica, posiblemente por el hecho de que se usaron planchas discontinuas (una en cada celda), que provocaron un desbalance en las juntas durante su instalación. Para el tipo D (sin confinamiento), la falla fue frágil y explosiva.

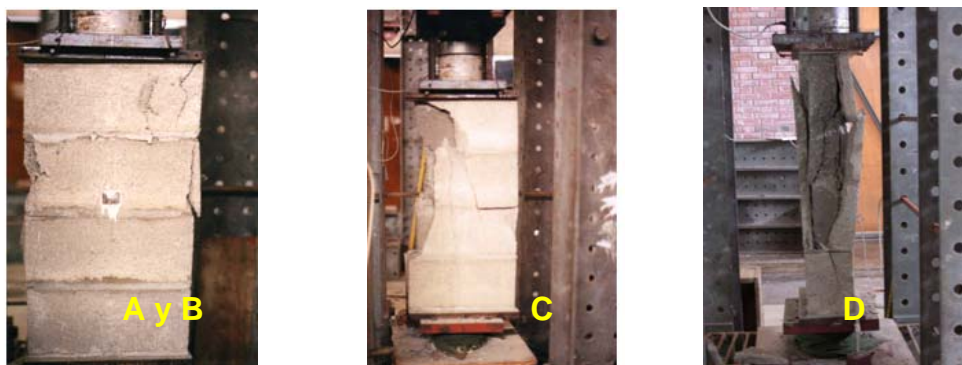


Fig.10. Fallas típicas para los 4 tipos de confinamiento.

4.2 Gráficas Carga-Desplazamiento

En el procesamiento de resultados se utilizaron los desplazamientos verticales relativos entre los cabezales del equipo de ensayo. Estos desplazamientos incluyen el reacomodo inicial del equipo, la deformación axial del pórtico metálico de reacción y la deformación del capping (mezcla yeso-cemento de unos 3mm de espesor) aplicado en las superficies superior e inferior de las pilas. No se pudo emplear los LVDT locales, colocados entre la segunda y cuarta hilada de las pilas, porque fueron retirados cuando se alcanzó el 50% de la carga máxima, para protegerlos ante la eventualidad de que se produzca una falla explosiva.

En la Fig.11 aparece la gráfica carga axial – desplazamiento, trazadas a la misma escala con fines comparativos. Allí puede apreciarse que luego de haberse alcanzado la carga máxima, los confinamientos tipo A y B controlaron la degradación súbita de resistencia, a diferencia del caso D (sin confinamiento) y del caso C (por el problema explicado en el acápite 4.1).

Cabe mencionar que los confinamientos A y B controlaron la trituración del grout, pero no evitaron la deslaminación de los bloques, causado por la expansión lateral del grout, ello produjo una pérdida paulatina de la sección transversal que dio lugar a la degradación de resistencia.

En la Fig.11 la curva roja corresponde al promedio de las 4 pilas ensayadas por cada tipo de confinamiento. En la Fig.12 se hace una comparación de los 4 tipos de confinamiento, usando la curva promedio de la Fig.11.

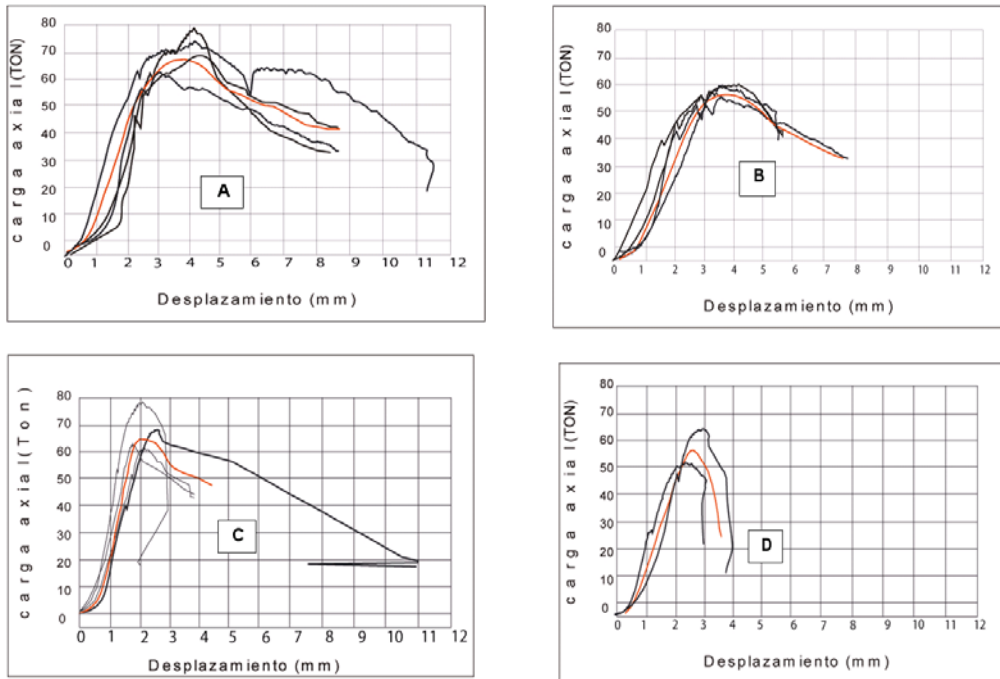
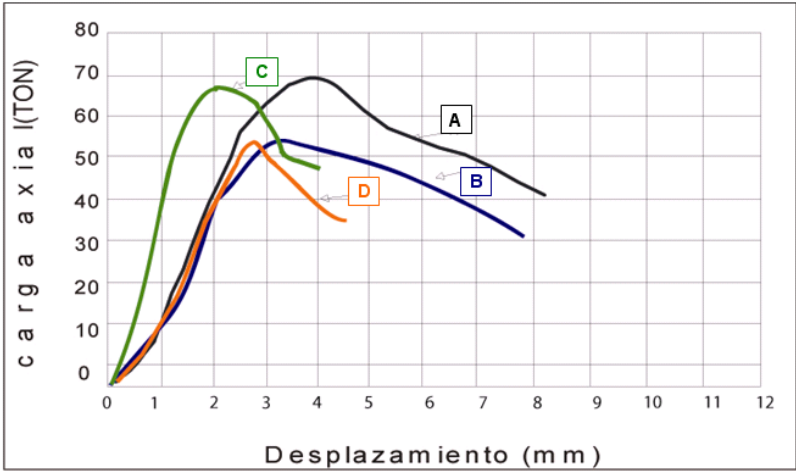


Fig.11. Gráfica Carga (ton) – Desplazamiento (mm) relativo entre cabezales. La escala es la misma para cada tipo de confinamiento.

Fig.12
Gráfica carga axial (ton) versus desplazamiento entre cabezales (mm), correspondiente a las gráficas promedios de la Fig.11.



4.3 Resistencia a Compresión Axial

La resistencia a compresión axial de la pila ensayada, se obtuvo de la relación carga máxima aplicada dividida entre el área bruta promedio del espécimen. No se efectuó corrección por esbeltez, debido a que todas las pilas tuvieron una esbeltez (5.6) cercana a la estándar de la Norma E.070 (5, Ref.1), en todo caso, por extrapolación, el factor de corrección sería 1.02 para las 16 pilas ensayadas. La resistencia característica a compresión axial (f'_m), se obtuvo restando al valor promedio una desviación estándar. Los resultados aparecen en la Tabla 3.

En la Tabla 3 se aprecia que el tipo de confinamiento utilizado influye en la resistencia máxima de la pila y en la dispersión de resultados.

Tabla 3. Resistencia a Compresión Axial de las Pilas.				
Tipo de Confinamiento	A	B	C	D
Resistencia de cada pila (fm) en kg/cm ²	133 128 127 140	107 112 105 105	132 119 120 149	97 116 89 83
Resistencia promedio(kg/cm ²)	132	107	130	96
Desviación estándar (kg/cm ²)	5.9	3.3	14	14.4
Dispersión de resultados (%)	4.5%	3.1%	10.8%	14.9%
Resistencia Característica (f'm) en kg/cm ² .	126	104	116	82
Incremento de resistencia f'm respecto a "D" (sin confinamiento)	54%	27%	41%	---

4.4 Índice de Ductilidad

Para determinar la influencia del tipo de confinamiento utilizado sobre la capacidad de mantener la resistencia a compresión en la etapa pos agrietamiento de la albañilería, se definió un índice de ductilidad como la relación entre los desplazamientos verticales (ϵ_2 / ϵ_1), cuando se alcanza un 25% de degradación de resistencia máxima (Fig.13). Para ello se utilizaron las gráficas que aparecen en la Fig.12.

En la Tabla 4 se muestran los resultados, allí se aprecia que los confinamientos tipos A y B fueron los más efectivos para controlar la degradación de resistencia, aunque cabe remarcar que los índices de ductilidad están afectados por la deformación del capping, del marco de reacción y el reacomodo inicial del equipo.

Fig.13
Índice de ductilidad.

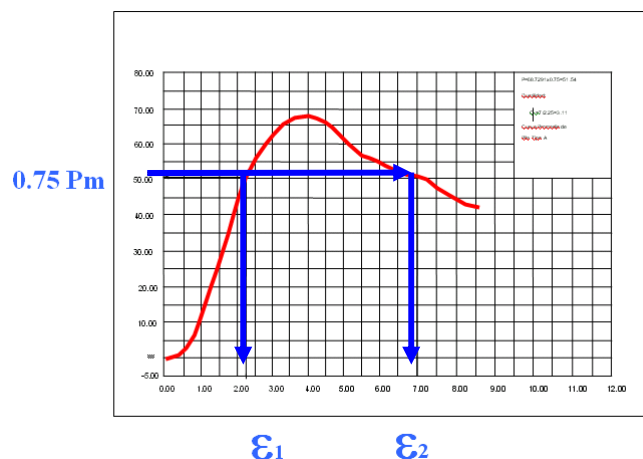


Tabla 4. Índice de Ductilidad (ϵ_2 / ϵ_1).				
Confinamiento	A	B	C	D (*)
Índice de Ductilidad	$7/2.25 = 3.11$	$6.78/2.22 = 3.05$	$4.26/1.50 = 2.83$	$3.25/1.85 = 1.76$

(*) Por el carácter de falla frágil en el caso D, el índice de ductilidad indicado debe tomarse con cuidado.

5. ESTUDIO ECONÓMICO DE LOS TRES TIPOS DE CONFINAMIENTO

5.1 Componentes y Costos de cada Alternativa

Los componentes de cada alternativa de confinamiento (Tabla 5) comprenden: los materiales utilizados, los equipos empleados y la mano de obra especializada. El alquiler de equipos se tomó como el 5% del costo total correspondiente.

Componente	Usado en confinamientos:	Unidad de medida	Costo en Soles
Plancha de acero estructural A-36	A y C	2.40m x 1.20m	250.00
Electrodo punto azul	A, B y C	1kg (36 varillas)	7.00
Alambre N° 8	B	kg	4.00
Jornal de operario	A, B y C	día	50.00

5.2 Fabricación de los Confinamientos

En la Fig.14 se ilustra la manera de cómo se fabricaron los confinamientos tipos A, B y C, mientras que en la Tabla 6 aparecen los costos respectivos, allí se aprecia una fuerte diferencia entre los costos de los tres tipos de confinamiento utilizados.

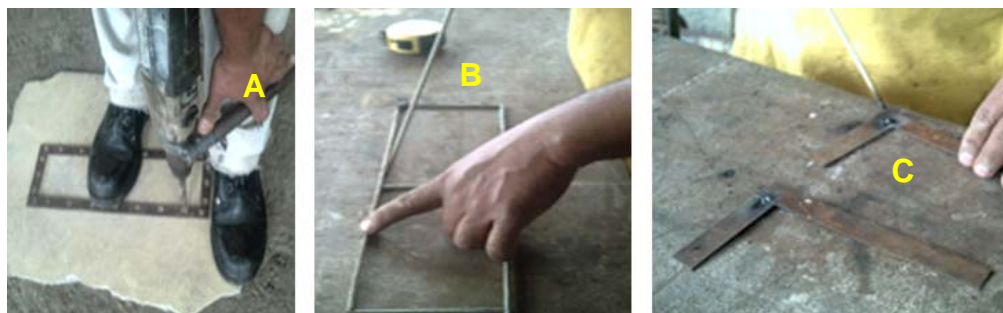


Fig.14. Elaboración de los confinamientos A, B y C.

Confinamiento	1	2	3	4	5 (*)	Costo Total
	Jornal diario de Operario	Tiempo empleado para la elaboración	Costo del elemento por Operario	Costo de materiales por elemento	Costo por alquiler de equipo	
A	50	120 min.	12.50	3.85	0.81	17.16
B	50	20 min.	2.10	0.80	0.14	3.04
C	50	50 min.	5.21	1.65	0.34	7.20

(*) 5% de las partidas 3 y 4.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- De acuerdo a la Norma E.070 (Ref.1), el bloque de concreto vibrado empleado clasificó como Bloque Tipo “P”, apto para ser empleado en la construcción de muros portantes de albañilería armada rellena con grout.
- Las pilas sin elementos de confinamiento (tipo “D”), tuvieron una falla frágil y con menor resistencia a compresión que las pilas confinadas.
- El confinamiento tipo “C” (platinas formando estribos independientes en cada celda), no tuvo un comportamiento adecuado. Esto se atribuye a la falta de conectividad entre los anillos de confinamiento que dificultó el proceso de instalación durante la etapa de asentado, creándose desniveles que dieron lugar a una forma de falla asimétrica con poca ductilidad.
- Los confinamientos “A” (plancha continua perforada) y “B” (escalera de alambre N° 8), fueron los más eficientes para evitar la falla frágil. Ambos confinamientos controlaron la trituración del grout, pero no evitaron la deslaminación de los bloques, causado por la expansión lateral del grout, ello produjo una pérdida paulatina de la sección transversal que dio lugar a la degradación de resistencia.
- Los confinamientos “A” y “B” proporcionaron prácticamente el mismo índice de ductilidad; sin embargo, en el tipo “A” la resistencia máxima fue 21% mayor, pero su costo fue 464% mayor que el del tipo “B”. En consecuencia, si no interesara aumentar sustancialmente la resistencia a compresión, se propone usar confinamientos del tipo “B”, debiéndose destacar que este confinamiento incrementó la resistencia f_m en 27% respecto al caso “D” (sin confinamiento), y que fue la alternativa más simple de fabricar e instalar.
- Se recomienda continuar con los estudios experimentales, buscando que las estructuras no sólo sean resistentes a las cargas, sino que, además, sean dúctiles y económicas. En ese sentido, los anillos tipo estribos (confinamiento “C”) colocados en las juntas de las pilas, si bien proporcionaron una resistencia muy similar a la ideal (tipo “A”), fueron menos dúctiles. Se sugiere ensayar pilas con estos anillos, pero soldándolos para darles continuidad, transformándolos en una sola pieza. Esta operación no implica una elevación de costos sustancial y, aún así, resulta más económica que la plancha perforada tipo “A”.

REFERENCIAS

1. Norma Técnica E.070 “Albañilería”. Reglamento Nacional de Edificaciones. SENCICO. Edición 2007.
2. Comportamiento a Carga Lateral Cíclica de Muros de Albañilería Armada Construidos con Bloques de Concreto Vibrado. Ángel San Bartolomé, Erika Vicente, Rafael Mendoza y Pedro Solano. Capítulo “Albañilería Armada” del Blog de Investigaciones en Albañilería <http://blog.pucp.edu.pe/albanileria> 2007.