



2019 10 al 13 de septiembre - Cartagena de Indias, Colombia

RETOS EN LA FORMACIÓN
DE INGENIEROS EN LA
ERA DIGITAL



EXPERIMENTAL BEHAVIOR OF COMBINED FRAME UNDER LATERAL LOAD

Jaime Xavier Nieto Cárdenas, Caori Patricia Takeuchi Tam

**Universidad Nacional de Colombia
Bogotá, Colombia**

Resumen

Este estudio investigó el modo de falla de un pórtico combinado entre mampostería no estructural que trabaja en conjunto con elementos de acero conformado en frío (CFS). El prototipo probado estaba formado por mampostería horizontal de ladrillo # 5, pegada con mortero tipo S, $f'_{cp} = 7\text{MPa}$. Los perfiles metálicos están formados por elementos tipo "Canal" de $120 * 60 * 15 * 1.5$ mm en tipo Cajón para columnas y tipo "Canal" $100 * 50 * 15 * 1.5$ mm en tipo Cajón para vigas. El pórtico combinado fue construido simulando condiciones de trabajo. Las pruebas se llevaron a cabo con una carga monotónica aplicada en forma horizontal sobre el pórtico CFS. El desplazamiento aplicado fue mayor que los indicados en las normativas NSR-10 y NEC-15. Los resultados experimentales permitieron establecer ventajas y desventajas de la tipología constructiva. Entre las ventajas se encuentra el comportamiento de corte de conectores entre mampostería y elementos de acero, así como la acción del mortero ubicado en juntas verticales entre ladrillos. La principal desventaja es la respuesta del cuadro CFS cuando la carga se aplica directamente en la conexión del pórtico, debido a la deformación local en el punto de contacto. También el proceso SMAW para unir los elementos CFS que genera esfuerzos y lesiones en el elemento armado. Los resultados de las pruebas indicaron que la combinación de trabajo entre la mampostería no estructural y el pórtico de CFS tiene un mayor efecto sobre el rendimiento de resistencia a carga lateral. Por otro lado, los ladrillos de la pared no se volcaron después de exceder en gran medida la deformación lateral permitida en los códigos. A pesar del proceso de soldadura SMAW para vigas y columnas armadas, la soldadura no falló, tampoco en las uniones de columnas y vigas. Pero la soldadura sufrió desgarramiento en la unión columna-base. Estos resultados muestran el aumento de la resistencia de la pared combinada, al mismo tiempo la importancia de reforzar las conexiones entre la viga-columna y la columna-base para garantizar un adecuado rendimiento estructural bajo carga lateral.

Palabras clave: pórtico combinado; pórtico de lámina delgada; carga lateral

Abstract

*This study investigated the failure mode of a combined portal frame between non-structural masonry working together with a Cold-Formed Steel (CFS) elements. The prototype tested was made up of horizontal drill brick # 5 masonry, glued with mortar type S, $f'_{cp} = 7\text{MPa}$. The metal profile is made up of "Channel" type elements 120 * 60 * 15 * 1.5mm in box-shape for columns and type "Channel" 100 * 50 * 15 * 1.5mm in box-shape for beams. The frame and the wall were built simulating working conditions. Testing was carried out at monotonic loading applied in a horizontal form over the CFS frame. Applied displacement was greater than those indicated in the NSR-10 and NEC-15 regulations. Experimental results allowed to establish advantages and disadvantages of the constructive typology. Among the advantages is the behavior that cutting connectors between masonry and steel elements, also the action of mortar located in vertical joints between bricks. The main disadvantage is the CFS frame answer when the load is applied directly on the frame connection, for the due to local buckling in the contact point. Also the SMAW process to weld the CFS elements generate strength and some injuries in the armed element. Test results indicated that combine work has a greater effect on the response of lateral load performance. On the other hand, the wall brick's did not fall down after greatly exceeding the lateral deformation allowed in codes. In spite of the SMAW welding process to armed beam and columns, the welding did not fail and neither of beam-column connections. But the welding failed in joins column-based by tearing. These results show the increase of resistance of the combined wall, at the same time the importance of reinforcing the connections between beam-column and column-base to ensure the structural performance under lateral load.*

Keywords: *combined frame; CFS frame; lateral load*

1. Introducción

A nivel mundial, el incremento de la población con necesidades de vivienda, han obligado al mundo de la construcción evolucionar permanentemente, llevando a ingenieros y arquitectos a buscar soluciones de viviendas de bajo costo y tiempos de construcción reducidos (Nieto, 2012). La necesidad de un techo para vivir en países en desarrollo como son los países latinoamericanos, ha generado el crecimiento de la construcción de viviendas sin control técnico, en especial en estratos bajos o pobres, con estructuras informales, con alto grado de vulnerabilidad sísmica, que conlleva luego a pérdidas económicas y humanas (Derakhshan et al., 2018); situación que se reflejó en Pedernales-Ecuador, luego del sismo del 16 de Abril de 2016, donde se pudo observar viviendas tradicionales de hormigón armado colapsadas, viviendas de mampostería simple y confinadas en el suelo, con víctimas afectadas por impacto de piezas o elementos de mamposterías agrietadas y/o fracasadas (Figura 1).

Esta ingrata experiencia revela la importancia de que una mampostería no debe estar suelta, la mampostería debe estar sujeta a un pórtico.

Por situaciones similares la mampostería toma la reputación de material no sismorresistente, aunque investigaciones desarrolladas en América Latina, Europa y Asia demuestran que con un correcto

diseño y construcción responden adecuadamente a sismos (Zúñiga Cuevas et al., 2008), hay que controlar que las mamposterías no se desprendan de las estructuras y ocasionen accidentes y/o muerte, debido al inadecuado confinamiento y la limitada resistencia en los elementos confinantes (Páez Moreno et al., 2009).

Adelantos en la construcción responden a la búsqueda de un mayor control de calidad de la vivienda, que puedan ser prefabricados y de fácil instalación para reducir costos finales y tiempos de ejecución. El sistema de muros livianos con perfiles de acero permite suplir estas necesidades (Gaviria et al., 2012); pero la adaptación de este sistema con la mampostería simple, empata dos materiales, un rígido como los bloques de arcilla cocida y un flexible como los perfiles de acero.



Figura 1.- Edificaciones afectadas en el sismo de Pedernales-Ecuador.
Fuente: El Autor. (2016).

Se tiene investigaciones por separado de estos dos materiales, por ejemplo los pórticos de Cold-formed Steel (CFS) hay limitaciones de los pórticos, por problemas de alabeo de sus aletas por compresión, como sufre el perfil C y su resistencia al arrugamiento del alma por efectos de cargas concentradas (Molina et al., 2006) o el comportamiento general a cargas laterales controlando el pandeo global torsional, para determinar el mayor esfuerzo que soportan novedosas combinaciones de conexiones rígidas (Mojtabaei et al., 2018).

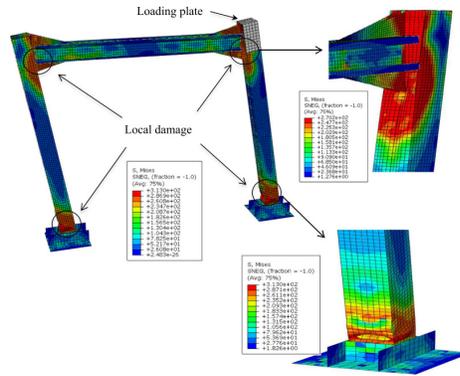


Figura 2.- Modelamiento a carga lateral de un pórtico de CFS.

Fuente: Mojtabaei, Kabir, Hajirasouliha y Kargar. (2018).

Lo que se presenta en este documento es parte de un proyecto global para evaluar el rendimiento sísmico de esta tipología constructiva, básicamente en esta investigación se analiza el modo de falla a carga lateral de un muro mixto. **(Figura 3)**

2. Método

Se realizaron 2 tipos de ensayos monotónicos de carga lateral, donde un actuador hidráulico genera la carga sobre la esquina del marco de CFS, registrando el desplazamiento y carga, hasta llevar al colapso lateral a la estructura.



Figura 3: Edificación multifamiliar de 3 plantas de mampostería simple confinada en CFS. Cuenca-Ecuador.

Fuente: El Autor (2018)

Ensayo 1. Hace referencia al pórtico combinado,

Ensayo 2. Hace referencia al pórtico de CFS actuando solo.

El desplazamiento que se registró sobrepasó la deriva del 1% que el código restringe para este tipo de estructuras.

El montaje se realizó como se muestra en la figura 4.

De manera paralela se realizan ensayos que la NSR-10 recomienda a las unidades de mampostería y morteros.

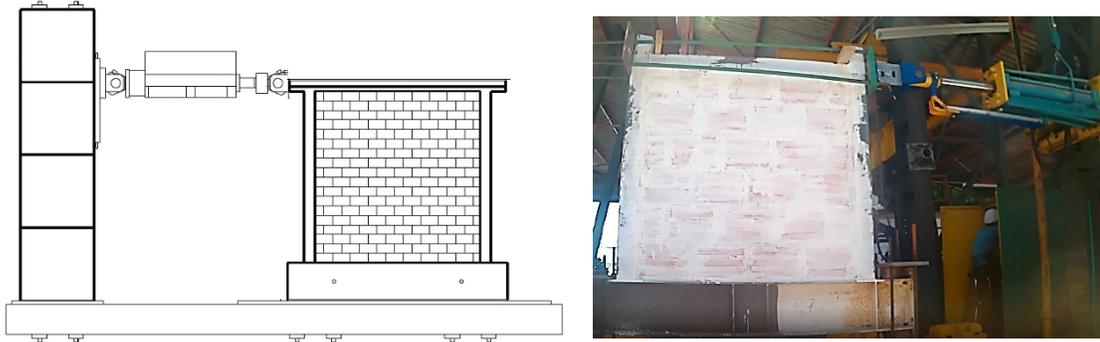


Figura 4: Esquema del montaje para carga lateral. Fotografía del prototipo en el laboratorio previo al ensayo 2.
Fuente: Modificado de Gavilán (2013), foto del Autor (2019)

3. Materiales: Figura 5.

- Mampostería con bloque de arcilla No 5 de perforación horizontal, de medidas: 29cm*10cm*20cm de largo, espesor y alto respectivamente.
- Marco CFS con perfiles de lámina delgada de perfil "C" 120*60*15*1.5 mm en forma de caja para columnas, perfil "C" 100*50*1.5 mm en forma de caja para vigas.
- Arena fina de cantera y Cemento puzolánico tipo portland.
- Conector columna-mampostería con varilla de 4.5 mm de diámetro, doblada y soldada.



Figura 5.- Materiales utilizados para la fabricación del prototipo para ensayo preliminar.
Fuente: Laboratorio de Estructuras – Universidad Nacional de Colombia. El Autor. (2018)

Observaciones generales de la construcción

Respecto a la construcción de la mampostería se tiene: (figura 6)

- El mortero de pega horizontal fue colocado de manera normal, cubriendo la superficie total horizontal del bloque de arcilla, en un espesor aproximado de 1 cm.
- El mortero de pega vertical se colocó de manera que un pequeño porcentaje ingrese en las perforaciones horizontales de los bloques de arcilla.
- La unión de los perfiles tipo "C" de CFS fue realizado con dos tipos de electrodos, puesto que se utilizó la técnica SMAW para soldar, siendo el electrodo E6011 el que mejor generó unión de estos perfiles. Perfiles que por su espesor de 1.5mm son difíciles de soldar con electrodo, para siguientes prototipos se trabajará con proceso GMAW.
- Las soldaduras entre elementos vigas y columnas, además de columnas al perfil IPE300 usado como base, fueron mediante proceso SMAW de Soldadura.
- Ambos pórtico de CFS tienen como medida, 1.50m de ancho por 1.48m de alto; el Ensayo 1 con 24 bloques #5 confinados; el Ensayo 2 solo el pórtico de CFS.

4. Resultados y discusión

Luego de realizar el Ensayo 1 y el Ensayo 2, se tienen las siguientes observaciones.

Ensayo 1 (Figura 7)

Como se observa en la fotografía de la figura 4, el actuador hidráulico aplica la carga de manera directa al pórtico de acero, de la manera similar que se ensayan pórticos de concreto o mampostería.

Esta manera normal de transmitir la carga al pórtico no es válida para el pórtico combinado, puesto que la resistencia que aporta la mampostería confinada con respecto a la resistencia del nudo donde está el actuador es mayor, generando deformación (aplastamiento) en el nudo, luego de la deformación total la mampostería empieza a tomar carga.

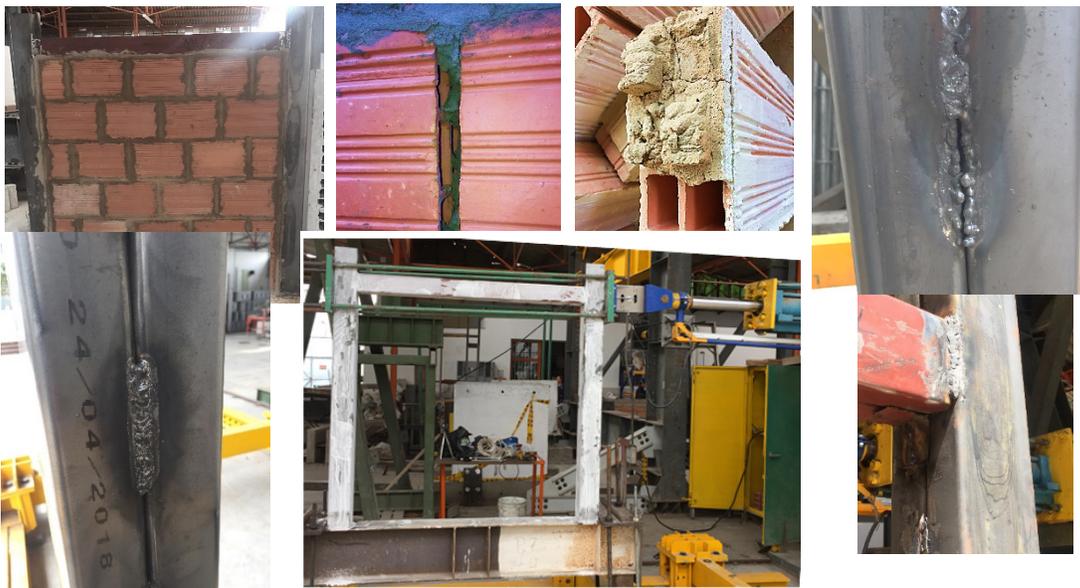


Figura 6.- Fotografías de los detalles constructivos de prototipos ensayados.
Fuente: Laboratorio de Estructuras – Universidad Nacional de Colombia. El Autor. (2018)

Cuando se logra transmitir la carga y la deformación a la mampostería, se observa que fracasa por cortante, presentándose en el plano de la pared fisuración y grietas aproximadamente a 45 grados, siguiendo las juntas de mortero.

Se llegó a la deformación de 6.8 cm aproximadamente, medido en la mampostería, en el punto de contacto de la carga. No se mide en el otro extremo debido que la mampostería desplaza una cara de la columna de CFS, observándose una arista casi vertical, debido a como se acomoda la mampostería dentro del cuadro metálico.

Una vez que se registró el colapso y deformación total para un extremo, sin registrar la deformación ni la carga, se procedió a realizar el mismo ensayo en el sentido contrario, generándose de igual manera las fisuras a 45 grados por las juntas del mortero.

Como la pared se apoya sobre un perfil metálico IPE 300, no tiene resistencia a desplazarse por el patín, al generarse el ensayo en el otro sentido, se observa que el triángulo inferior de la pared se mueve lateralmente sin sufrir daño, como se observa en las fotos de la figura 7. Estos ladrillos fueron ensayados a compresión, obteniendo las mismas resistencias de ladrillos sin usar.

Este desplazamiento afecto la conexión entre las columnas y la viga IPE 300 del apoyo, generando desgarramiento como se observa en las fotos de la figura 8.

Al generarse este colapso en el nudo, es falso analizar el comportamiento de ambas estructuras con los datos registrados por el actuador hidráulico, pero en la figura 10 se muestran ambas graficas de carga vs. desplazamiento, para conocer la carga y deformación lateral máximas registradas por cada ensayo.



Figura 7.- Ensayo 1. Pórtico CFS con mampostería no estructural confinada.
Fuente: Laboratorio de Estructuras – Universidad Nacional de Colombia. El Autor. (2018)



Figura 8.- Cordones de soldadura antes y después del ensayo en elementos CFS y pórtico.
Fuente: Laboratorio de Estructuras – Universidad Nacional de Colombia. El Autor. (2018)

Ensayo 2. (Figura 9)

Al igual que el ensayo 1, se arma de la misma manera el Ensayo 2.

Este pórtico no tiene restricción de deformación lateral. El nudo de contacto no sufre ninguna deformación ni aplastamiento.

Como se logra transmitir la carga y la deformación al pórtico sin problema, se observa una deformación de 21.1 cm medidos en el bode interno del nudo donde se aplica la carga.

Una vez que se registró el colapso y deformación total para un extremo, sin registrar la deformación ni la carga, se procedió a realizar el mismo ensayo en el sentido contrario. Donde se observa que el marco se comporta con conexiones semi-rígidas en sus bases. Los nodos de viga-columna no sufrieron daño plástico.



Figura 9.- Ensayo 2. Pórtico CFS.

Fuente: Laboratorio de Estructuras – Universidad Nacional de Colombia. El Autor. (2018)

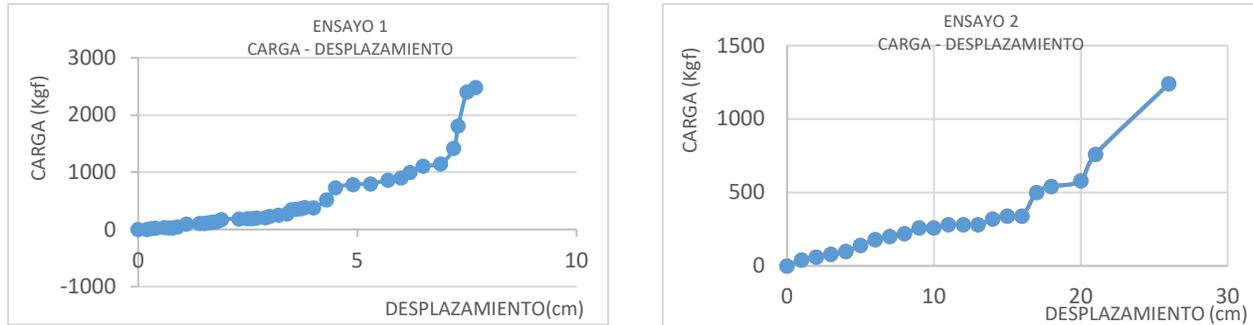


Figura 10.- Gráficas de Carga – Desplazamiento de los ensayos realizados.

Fuente: El Autor. (2019)

5. Referencias

- Derakhshan, H., Lucas, W. D., Griffith, M. C., Derakhshan, H., Lucas, W. D., & In-situ, M. C. G. (2018). In-situ seismic verification of non-structural components of unreinforced masonry buildings. AUSTRALIAN JOURNAL OF STRUCTURAL ENGINEERING, 19. <https://doi.org/10.1080/13287982.2017.1370963>
- Gaviria, C., & Guerrero, P. (2012). Comportamiento Experimental de Muros con Perfiles de Acero de Lámina Delgada y Placas de Ferrocemento Autores: Gaviria Mendoza, Carlos Andrés 1. Estudiante Doctoral. Universidad de Puerto Rico, Mayaguez, Puerto Rico. In International Symposium on Ferrocement and Thin Reinforced Cement composite - FERRO10

- (pp. 223–236). La Habana.
- Mojtabaei, S. M., Kabir, M. Z., Hajirasouliha, I., & Kargar, M. (2018). Analytical and experimental study on the seismic performance of cold-formed steel frames. *Journal of Constructional Steel Research*, 143, 18–31. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2017.12.013>
 - Molina Herrera, M., & Ortiz Porras, J. (2006). Determinación del comportamiento bajo cargas concentradas de perfiles de lámina delgada (MM). *Revista Ingeniería E Investigación* 2248-8723 0120-5609, 26(3), 12–25. Retrieved from <http://www.bdigital.unal.edu.co/18815/>
 - Nieto, J. X. (2012). *Diseño De Una Vivienda De Dos Plantas Con Soluciones Prefabricadas*. Universidad de Cuenca.
 - Páez Moreno, D. F., Parra Rojas, S. X., & Gutiérrez, C. A. (2009). Alternativa Estructural de Refuerzo Horizontal en Muros de Mampostería. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 8(14), 51–69. <https://doi.org/10.5944/educxx1.17.1.10708>
 - Zúñiga Cuevas, O., & Terán Gilmore, A. (2008). Evaluación basada en desplazamientos de edificaciones de mampostería confinada. *Revista de Ingeniería Sísmica*, 48(79), 25–48. <https://doi.org/10.5944/educxx1.17.1.10708>

Sobre los autores

- **Jaime Xavier Nieto Cárdenas:** Ingeniero Civil, Magister en Construcciones, Estudiante de Doctorado – Universidad Nacional de Colombia. jnietoc@unal.edu.co
- **Caori Patricia Takeuchi Tam:** Ingeniero Civil, Master en Estructuras, Doctor en Ciencia y Tecnología de Materiales. Profesor Titular - Universidad Nacional de Colombia. cptakeuchit@unal.edu.co

Los puntos de vista expresados en este artículo no reflejan necesariamente la opinión de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería.

Copyright © 2019 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI)