

MODELACIÓN INELÁSTICA DE PÓRTICOS DE CONCRETO CON MAMPOSTERÍA NO REFORZADA

INELASTIC MODELING OF CONCRETE FRAMES WITH NONREINFORCED MASONRY

JULIÁN CARRILLO

Profesor Investigador, Universidad Militar "Nueva Granada". wcarrillo@umng.edu.co

GIOVANNI GONZÁLEZ

Profesor Investigador, Universidad Militar "Nueva Granada". giogon@umng.edu.co

Recibido para revisar 24 de Abril 2006, aceptado 21 de Febrero de 2007, versión final 23 de Febrero de 2007

RESUMEN: En este trabajo se presentan los resultados de una investigación analítica, computacional y experimental, donde se desarrollan métodos inelásticos de modelación (dentro y fuera del plano) de pórticos de concreto rellenos con mampostería no reforzada. Se expone la compleja interacción de este sistema y se propone una metodología que permite tener en cuenta estos elementos en los análisis y diseños convencionales. Las metodologías presentadas incluyen la modelación de pórticos en contacto con los muros de mampostería y los pórticos que se encuentran aislados de estos elementos. Adicionalmente, se realiza la comparación de los resultados experimentales y computacionales con el objeto de calibrar los modelos analíticos teniendo en cuenta las técnicas de construcción convencionales y las características particulares de los materiales utilizados actualmente.

PALABRAS CLAVE: modelación, mampostería, pórtico de concreto, comportamiento inelástico.

ABSTRACT: In this paper, the results of an analytical, computational and experimental investigation are presented, where are developed inelastic methods for modeling (in plane and out plane) concrete frames infilled with nonreinforced masonry. In the paper the complex interaction of this system is exposed and a methodology that allows to considering these elements in the conventional analysis and designs is proposed. The presented methodologies include modeling of frames in contact with the masonry walls and modeling of frames which are isolated from these elements. Additionally, the comparison of the experimental and computational results is made, which allows to calibrating the analytical models with the conventional construction techniques and the particular characteristics of the materials that are currently used.

KEYWORDS: modelling, masonry, concrete frame, inelastic behavior.

1. INTRODUCCIÓN

Con la experiencia obtenida en los sismos precedentes, se ha demostrado que los muros de mampostería no se comportan adecuadamente cuando están sometidos a cargas cíclicas actuando dentro y fuera de su plano. Dicho comportamiento se debe principalmente a su poca capacidad de disipar energía, a que las aceleraciones a que están sometidos fuera del plano no se calculan adecuadamente y debido a que los diseñadores no los tienen en cuenta en el proceso de análisis y diseño estructural. En este trabajo se investiga y se propone una solución a una de estas causas, la cual se genera con la ausencia de técnicas de modelación que puedan

ser utilizadas por los ingenieros estructurales para tener en cuenta la interacción pórtico – mampostería no reforzada dentro de los modelos computacionales, los cuales son utilizados para determinar las solicitaciones que pueden afectar la estructura durante su vida útil.

2. METODOLOGÍAS DE MODELACIÓN

A continuación se proponen tres metodologías para la modelación de pórticos de concreto con muros de mampostería no reforzada, dos de ellas para muros en contacto y una para muros aislados con conectores. En estas metodologías

se define detalladamente el procedimiento para la evaluación de la resistencia del sistema, tanto en el plano como fuera de él.

2.1. Método del puntal diagonal equivalente para muros en contacto

2.1.1. Evaluación de la resistencia en el plano

Esta evaluación se realiza mediante un análisis estático no lineal (pushover) de un pórtico que contiene puntales equivalentes excéntricos, los cuales simulan los muros de mampostería. El método se basa en el desarrollo de rótulas plásticas que capturan las propiedades no lineales del sistema estructural. Las expresiones usadas en este trabajo de investigación han sido adoptadas de Mainstone (1971), Stafford-Smith y Carter (1969), entre otros. Sin embargo, se han realizado algunas modificaciones con el fin de calibrar estos resultados con los obtenidos experimentalmente utilizando mampostería de fabricación Colombiana. El ancho del puntal equivalente, a , depende de la relación de rigidez a flexión del relleno y las columnas del pórtico de confinamiento (λ_1). Esta rigidez relativa debe ser evaluada usando la Ecuación 1.

$$\lambda_1 = \left[\frac{E_m t \operatorname{sen} 2\theta}{4 E_c I_{col} h} \right]^{\frac{1}{4}} \quad (1)$$

donde E_m es el módulo de elasticidad de la mampostería; t es el espesor del muro; θ es el ángulo de inclinación del puntal; E_c es el módulo de elasticidad de las columnas de confinamiento; I_{col} es el momento de inercia de la columna y h es la altura del relleno. Usando esta expresión, Mainstone (1971) consideró la flexibilidad relativa del pórtico respecto al relleno, en la evaluación del ancho del puntal equivalente del panel, tal como se muestra en la Ecuación 2.

$$a = 0.175 D (\lambda_1 H)^{-0.4} \quad (2)$$

donde D es la longitud diagonal del relleno y H es la altura del pórtico de confinamiento. Sin embargo, si hay aberturas presentes y/o daños en el relleno existente, el ancho del puntal equivalente debe ser reducido usando la Ecuación 3.

$$a_{red} = a (R_1)_i (R_2)_i \quad (3)$$

donde $(R_1)_i$ y $(R_2)_i$ son factores de reducción debido a la presencia de aberturas y al daño del relleno respectivamente (Al-Chaar, 2002). Teniendo en cuenta los resultados experimentales obtenidos en este trabajo de investigación, el ancho del puntal diagonal equivalente debe ser corregido de acuerdo con la Ecuación 4:

$$a_{puntal} = 3 \times a_{red} \quad (4)$$

Algunos autores realizan esta modificación no al ancho del puntal equivalente, sino a la rigidez inicial y final de la curva inelástica de pushover del sistema (Al-Chaar, 2002). Sin embargo, en este trabajo se modifica el ancho del puntal con el fin de obtener resultados analíticos que se asimilen de la mejor manera al comportamiento real del sistema. El puntal equivalente de mampostería está conectado a los elementos del pórtico, tal como se muestra en la Figura 1. El puntal debe estar simplemente apoyado a la columna a una distancia $l_{columna}$ de la cara de la viga. Esta distancia está definida en las Ecuaciones 5 y 6. Usando esta convención, la fuerza del puntal es aplicada directamente a la columna.

$$l_{columna} = \frac{a}{\cos \theta_{columna}} \quad (5)$$

$$\tan \theta_{columna} = \frac{h - \frac{a}{\cos \theta_{columna}}}{l} \quad (6)$$

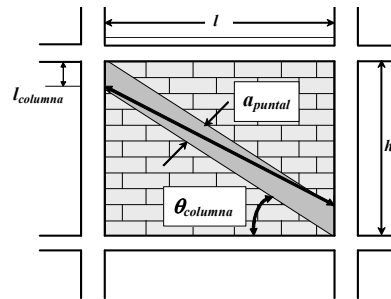


Figura 1. Posición del puntal. Adaptada de Al-Chaar, 2002

Figure 1. Strut position. Adapted from Al-Chaar, 2002

La resistencia del puntal se determina calculando la carga necesaria para alcanzar la resistencia a la compresión (R_{compr}) y al cortante ó a la adherencia del relleno de mampostería (R_{cort}). La componente de estas fuerzas en la dirección del puntal equivalente es usada para asignar la resistencia a la compresión del puntal. Esta resistencia es definida como R_{puntal} (Ecuación 7) y gobierna la resistencia de la rótula plástica en el puntal.

$$R_{puntal} = R_{compr} \leq R_{cort} / \cos \theta_{puntal} \quad (7)$$

$$\tan \theta_{puntal} = \frac{h - 2l_{columna}}{l} \quad (8)$$

donde θ_{puntal} es el ángulo del puntal excéntrico respecto a la horizontal, definido por la Ecuación 8. El puntal equivalente se asume para deflectarse lateralmente con derivas no lineales tal como se muestra en la Figura 2.

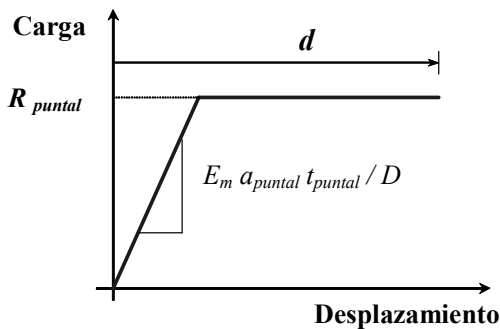


Figura 2. Comportamiento carga-deformación del puntal
Figure 2. Load-deformation strut behavior

El parámetro d , el cual representa la capacidad de deformación no lineal, es expresado en términos de la deriva lateral de piso, y esta definido en la Tabla 7-9 del FEMA 356 (FEMA, 2000). El puntal equivalente sólo necesita rótulas que representen la carga axial. Esta rótula debe estar localizada en la luz media del elemento. En general, el mínimo número y tipo de rótulas plásticas necesarias para la modelación se muestran en la Figura 3.

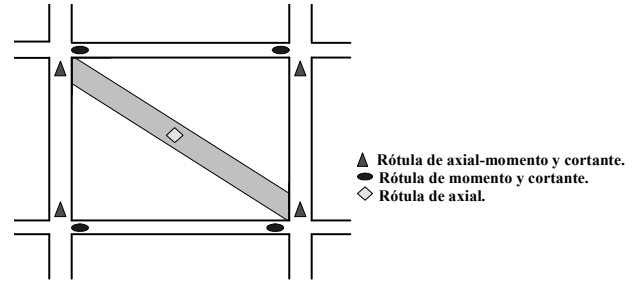


Figura 3. Localización de rótulas plásticas. Adaptada de Al-Chaar, 2002
Figure 3. Plastic hinge placement. Adapted from Al-Chaar, 2002

2.1.2. Evaluación de la resistencia fuera del plano

Los paneles de mampostería no reforzada deberán resistir las fuerzas laterales como resultado de las presiones del viento, aceleraciones sísmicas, presiones de tierra, etc. Estas presiones o cargas laterales son resistidas por 2 mecanismos diferentes: (a) resistencia a la tensión de la mampostería (después de la fisuración) y (b) el mecanismo de arco. Para que el mecanismo de arco sea considerado como un mecanismo de resistencia de fuerzas fuera del plano, se deben reunir los siguientes 3 criterios (Al-Chaar, 2002):

- El panel de relleno está en contacto con el pórtico circundante
- La relación de esbeltez (h/t) ≤ 25
- Todos los elementos viga y columna de confinamiento tienen $E_c I_{viga}$ y $E_c J_{columna}$ mayores que $5.85 \times 10^6 \text{ N}\cdot\text{m}^2$

Para los paneles que reúnan estos criterios, la resistencia lateral fuera del plano del panel se evalúa de acuerdo con la Ecuación 9.

$$w = \frac{0.5 f'_m \lambda_o}{h/t} (R_1)_0 (R_2)_0 (R_3)_0 \quad (9)$$

donde f'_m es la resistencia a la compresión de la mampostería; λ_o corresponde al parámetro de esbeltez; $(R_1)_0$, $(R_2)_0$, $(R_3)_0$ son los factores de reducción de resistencia que consideran en el panel la presencia de aberturas, el daño y la flexibilidad del pórtico de confinamiento respectivamente (Carrillo, 2004).

2.2. Método simplificado para muros en contacto

2.2.1. Modelación en el plano

Este método consiste en obtener la curva carga-desplazamiento inelástica de cada uno de los materiales que están involucrados en el comportamiento del muro en el plano y en combinar estas curvas adecuadamente para obtener la respuesta del sistema. En la Figura 4 se presentan las variables que intervienen en el modelo (M representa el muro de mampostería, P el pórtico, Δ el desplazamiento y F la fuerza externa).

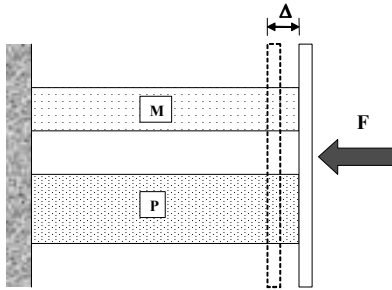


Figura 4. Método simplificado en el plano para el muro en contacto

Figure 4. Simplified method in the plane for in contact wall

2.2.2. Modelación fuera del plano

Consiste en obtener la carga máxima que resiste el muro teniendo en cuenta el esfuerzo máximo resistente a flexión en juntas paralelas (σ'_{tp}) y el momento máximo actuante según las condiciones de apoyo. Este modelo es válido cuando no se cumplen las condiciones para que se desarrolle el mecanismo de arco (ver Figura 5).

Tomando conservativamente la rigidez del resorte ($K_{resorte}$) igual a cero, condición simplemente apoyada, la máxima carga distribuida que soportará el muro fuera del plano está dada por:

$$w_{\max fp} = \frac{8 \sigma'_{tp} I}{c l^2} \quad (10)$$

donde I corresponde al momento de inercia del muro en la dirección de estudio; c es la distancia desde el eje neutro hasta la fibra más alejada en

tensión y l es la longitud del muro en la dirección en estudio.

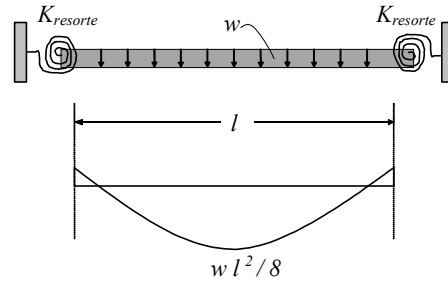


Figura 5. Modelo simplificado fuera del plano para el muro en contacto

Figure 5. Simplified model out the plane for in contact wall

2.3. Método simplificado para muros aislados con conectores

Con este sistema el muro queda aislado de la estructura ante fuerzas sísmicas (F_p) actuando en el plano y anclado contra el volcamiento generado por estas fuerzas actuando en el sentido perpendicular a su plano. La dilatación entre el muro y el pórtico circundante se rellena con poliestireno expandido (ver Figura 6).

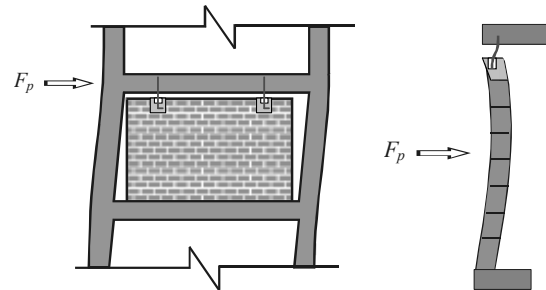


Figura 6. Fuerzas sísmicas (F_p) actuando en el muro aislado. Adaptada de Gallego & Mera, 2001

Figure 6. Seismic forces acting in the isolated wall. Adapted from Gallego & Mera, 2001

2.3.1. Modelación en el plano

Esta metodología es similar a la modelación simplificada planteada para muros en contacto. Sin embargo se debe plantear el mecanismo de transferencia de carga y/o desplazamiento que se puede presentar en el modelo real. En la Figura 7 se presentan las variables que intervienen en el modelo (I = poliestireno expandido, C = conectores, M = muro de mampostería, P =

pórtico de concreto, Δ = desplazamiento y F = fuerza externa).

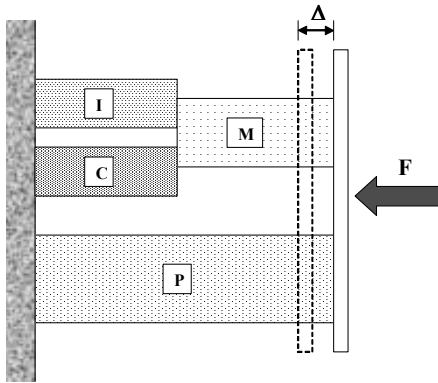


Figura 7. Método simplificado en el plano para el muro aislado

Figure 7. Simplified method in the plane for isolated wall

2.3.2. Modelación fuera del plano

Se propone un método simplificado similar al propuesto para el muro en contacto (ver Figura 8).

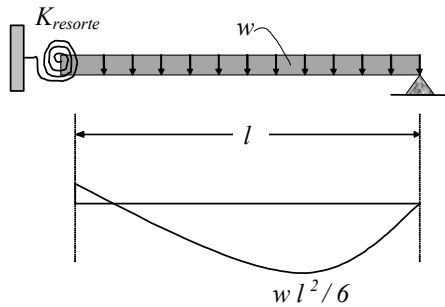


Figura 8. Modelo simplificado fuera del plano para el muro aislado

Figure 8. Simplified model out the plane for isolated wall

Tomando conservativamente la rigidez del resorte ($K_{resorte}$) un poco mayor a la condición simplemente apoyada y teniendo en cuenta los resultados experimentales, la máxima carga distribuida que soportará el muro fuera del plano está dada por la Ecuación 11, donde I , c y l se definen de forma similar que en 2.1.2.

$$w_{\max fp} = \frac{6 \sigma'_{tp} I}{c l^2} \quad (11)$$

3. VALIDACIÓN EXPERIMENTAL DE LOS MODELOS

3.1. Resultados y discusión para muros en contacto

En las Figuras 9 y 10 se muestran los modelos construidos a escala real, los cuales fueron utilizados para obtener los resultados experimentales de muros en pleno contacto. Para el ensayo de los muros en el plano, se somete el sistema a una carga con desplazamiento controlado, obteniendo una gráfica de fuerza contra desplazamiento tanto en el sentido positivo como negativo. Los resultados que se muestran corresponden a la envolvente positiva de la gráfica, ya que el comportamiento del sistema es similar en los dos sentidos (ver Figura 9).

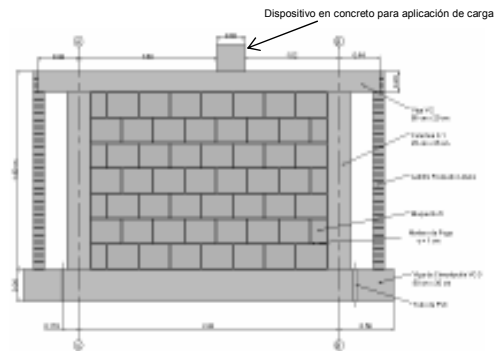


Figura 9. Geometría general del modelo (m) para ensayo en el plano del muro en contacto. Adaptada de UNIANDÉS-CITEC, 2004

Figure 9. General geometry of the model (m) for testing in the plane of in contact wall. Adapted from UNIANDÉS-CITEC, 2004

Para obtener la resistencia del sistema fuera del plano, se mide la máxima inclinación que puede tener el muro en el instante de la falla, correlacionando el ángulo de falla con la aceleración de la gravedad, es decir, si el muro falla con un ángulo de 90° , la resistencia del sistema fuera del plano es $1.0 g$ (g = aceleración de la gravedad, 9.81 m/s^2), ya que el elemento es capaz de resistir su peso propio en la dirección fuera del plano. Sin embargo, si el muro permanece estable después de tener una inclinación de 90° , se adicionan cargas uniformemente distribuidas hasta que el

elemento alcance la falla. En este caso, la resistencia fuera del plano en términos de la aceleración de la gravedad es mayor a 1.0 g, ya que la sobrecarga adicional también es

expresada en proporción al peso del muro (ver Figura 10).

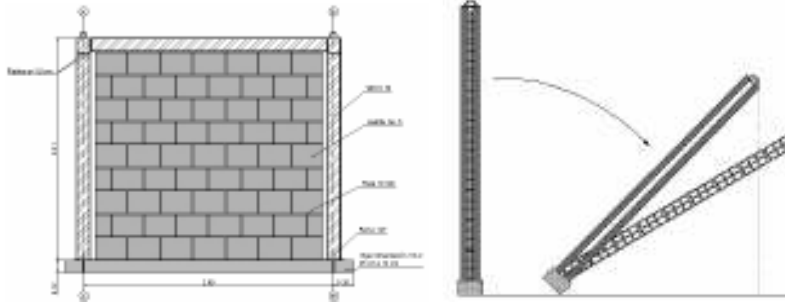
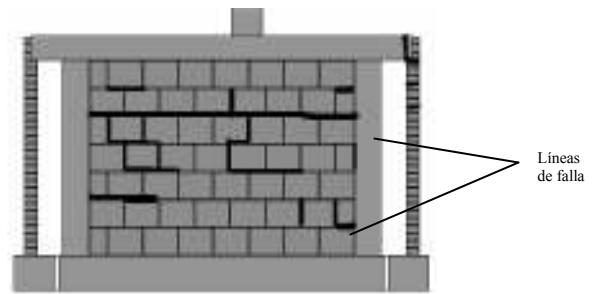


Figura 10. Geometría general del modelo (m) y metodología de ensayo fuera del plano del muro en contacto. Tomada de UNIANDES-CITEC, 2004

Figure 10. General geometry of the model (m) and out the plane test methodology for in contact wall. Taken from UNIANDES-CITEC, 2004

3.1.1. Comportamiento en el plano

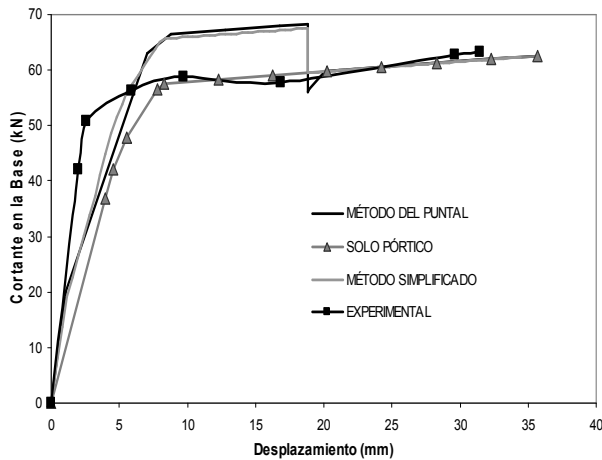
Como se observa en la Figura 11-a, todos los resultados de los modelos analíticos del sistema pórtico-mampostería siguen una misma tendencia y son coherentes respecto a la curva del pórtico solo. Sin embargo, cuando se comparan los resultados experimentales y analíticos, se presentan algunas diferencias causadas por la falla simultánea a compresión y cortante de la mampostería, la cuál no es una falla contemplada dentro de la modelación analítica. Por lo tanto, el aporte de la mampostería tiene efecto en rigidez pero no en resistencia.



(b) Nivel de daño del muro para $\Delta = 31.4$ mm
(b) Damage level of the wall for $\Delta = 31.4$ mm

Figura 11. Resultados analíticos y experimentales en el plano del muro en contacto

Figure 11. Analytical and experimental results in the plane for in contact wall



(a) Curvas carga-desplazamiento del muro
(a) Load-deformation curves of the wall

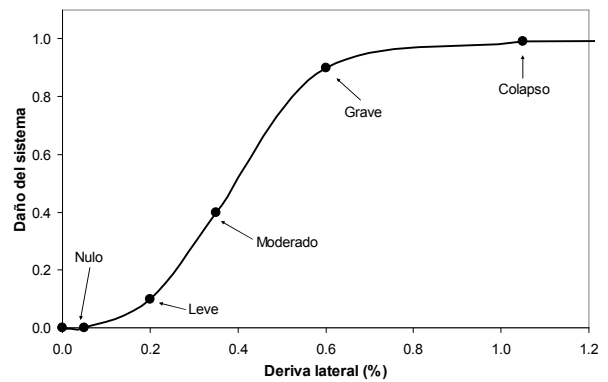


Figura 12. Curva de daño en el plano para muros en contacto

Figure 12. Damage curve in the plane for in contact wall

Una medida del daño estructural esperado como respuesta sísmica en edificaciones de mampostería con confinamiento está dada por las derivas laterales. En la Figura 12 se muestra la curva de daño del sistema en el plano en función del porcentaje de deriva lateral, la cual fue obtenida a partir del nivel de daño observado en determinados puntos de desplazamiento (ver Figura 11-b). Adicionalmente, en la Tabla 1 se observa la comparación de estos resultados con estudios publicados en la literatura.

Tabla 1. Nivel de daño en el plano para muros en contacto

Table 1. In contact walls damage level in the plane

Nivel de daño	Deriva lateral (%)		
	Autor	FEMA 356	CISMID
Nulo 0%	0.05	-----	0.06
Leve 10%	0.20	0.10	0.13
Moder. 40%	0.35	0.60	0.50
Grave 90%	0.60	0.80	1.00
Colapso 100%	1.05	-----	-----

3.1.2. Comportamiento fuera del plano

En la Tabla 2 se muestran los resultados analíticos y experimentales del comportamiento fuera del plano de muros en pleno contacto, en términos de la aceleración de la gravedad.

Tabla 2. Falla de muros en contacto fuera del plano
Table 2. In contact walls failure out the plane

Nivel de daño	Aceleración analítica		Aceleración experimental (Sin mec. arco)
	Con mec. arco	Sin mec. arco	
Nulo	-----	-----	0.20 g
Colapso	2.03 g	1.00 g	1.15 g

3.2. Resultados y discusión para muros aislados con conectores

En las Figuras 13 y 14 se muestran los modelos construidos a escala real, los cuales fueron utilizados para obtener los resultados experimentales de muros aislados. Para obtener los resultados experimentales de los muros aislados, se utilizó el mismo procedimiento utilizado en los muros en contacto.

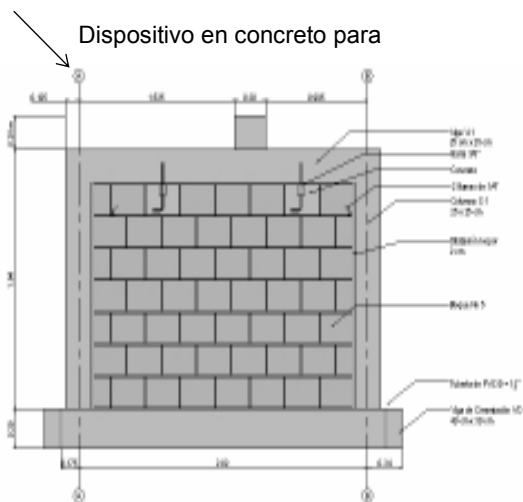


Figura 13. Geometría general del modelo (m) para ensayo en el plano del muro aislado. Adaptada de UNIANDES-CITEC, 2004

Figure 13. General geometry of the model (m) for testing in the plane of isolated wall. Adapted from UNIANDES-CITEC, 2004

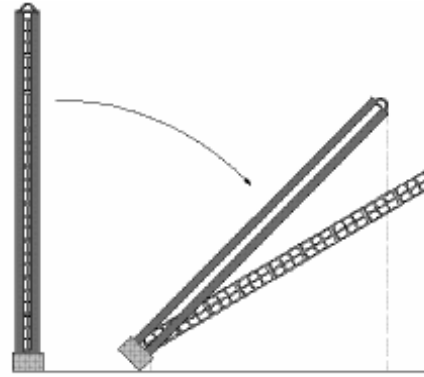
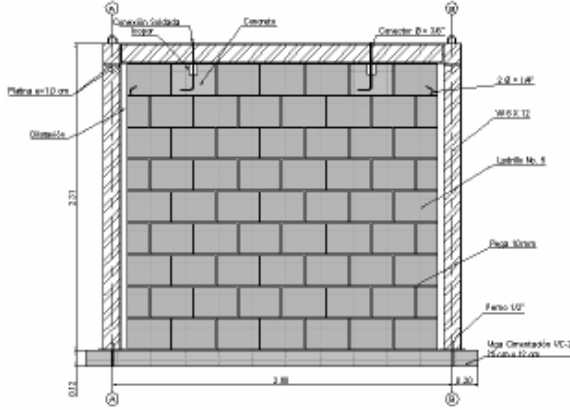


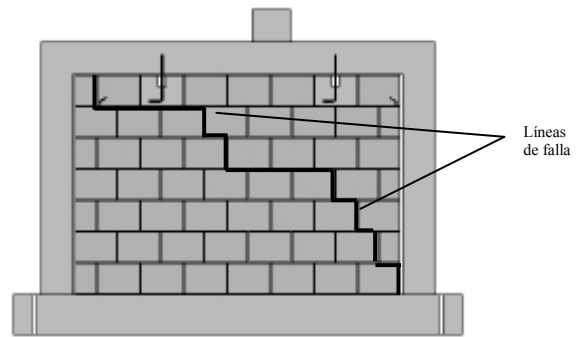
Figura 14. Geometría general del modelo (m) y metodología de ensayo fuera del plano del muro aislado. Tomada de UNIANDES-CITEC, 2004

Figure 14. General geometry of the model (m) and out the plane test methodology for isolated wall. Taken from UNIANDES-CITEC, 2004

3.2.1. Comportamiento en el plano

Como se puede observar en la Figura 15, los resultados analíticos y experimentales no siguen una misma tendencia. Esto se debe a que existen fallas en la construcción del sistema que modifican sustancialmente el comportamiento carga-desplazamiento. Una de estas fallas ocurre cuando la dilatación entre el pórtico y el muro no

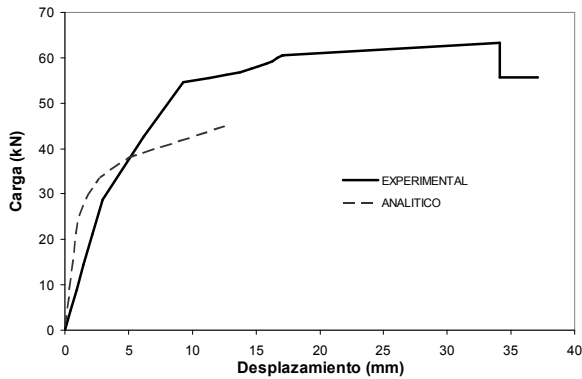
se deja con precisión o cuando ésta se rellena con otro material de mayor rigidez, como puede ser el mortero de pega tradicional. Otra falla se genera cuando los conectores no tienen suficiente libertad de movimiento, lo cual puede aumentar significativamente la rigidez de los mismos iniciando la ocurrencia de fallas locales.



(b) Nivel de daño del muro para $\Delta = 37.1$ mm
(b) Damage level of the wall for $\Delta = 37.1$ mm

Figura 15. Resultados analíticos y experimentales en el plano del muro aislado

Figure 15. Analytical and experimental results in the plane for isolated wall



(a) Curvas carga-desplazamiento del muro
(a) Load-deformation curves of the wall

En la Figura 16 se ilustra la curva de daño tanto del muro aislado como del muro en contacto en función del porcentaje de deriva lateral teniendo en cuenta los resultados analíticos.

Para una determinada demanda de desplazamiento, el muro aislado presenta menor daño que el muro que está en contacto (ver Figura 16). Esta afirmación sólo tiene validez cuando el sistema de aislamiento funciona adecuadamente, es decir, permite que el muro este sometido a esfuerzos solo cuando se alcanza la capacidad de deformación del poliestireno expandido.

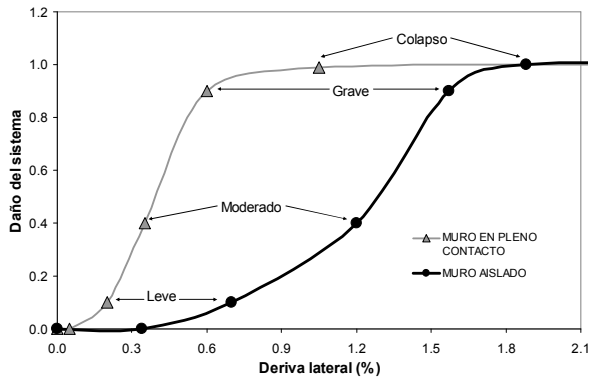


Figura 16. Curvas de daño en el plano para muros aislados y en contacto

Figure 16. Damage curves in the plane for isolated and in contact walls

3.2.2. Comportamiento fuera del plano

En la Tabla 3 se muestran los resultados analíticos y experimentales del comportamiento fuera del plano de muros aislados, en términos de la aceleración de la gravedad.

Tabla 3. Falla de muros aislados fuera del plano
Table 3. Isolated walls failure out the plane

Nivel de daño	Aceleración (g)	
	Experimental	Analítica
Nulo	-----	0.15
Colapso	0.75	0.83

4. CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS

Aunque tener en cuenta los rellenos de mampostería dentro del análisis y diseño de las estructuras no es un procedimiento convencional, debido a las variaciones de las propiedades de los rellenos a lo largo de las juntas de pega y de la compleja interacción pieza-mortero; en este trabajo se establece un procedimiento detallado que predice resultados analíticos confiables comparados con los resultados experimentales. Las diferencias que se presentan con los resultados analíticos y experimentales, posiblemente son originadas por la calidad del sistema constructivo de los prototipos, por ejemplo, en los muros aislados que se analizan, el sistema de aislamiento y de

conexión del pórtico con el muro no concordaba con las especificaciones del sistema constructivo, las cuales si fueron utilizadas en los criterios de la modelación analítica.

Además del método del puntal diagonal equivalente, se desarrollan dos métodos de modelación simplificada de pórticos de concreto rellenos con mampostería no reforzada, con el fin de evaluar la capacidad dentro y fuera del plano del sistema. El método para evaluar la capacidad en el plano está basado en el comportamiento inelástico de cada uno de los materiales y en el mecanismo de transferencia de carga que se desarrolla entre los mismos. Para llevar a cabo esta metodología se requiere verificar el sistema constructivo con exactitud, ya que de su comportamiento depende la transferencia de carga de los materiales y por consiguiente la exactitud de los resultados. El método para evaluar la capacidad fuera del plano está basado en el análisis estructural de vigas de una luz, donde sus restricciones (apoyos) dependen del sistema constructivo del muro (aislado ó en contacto). Los momentos resultantes son comparados con los momentos resistentes del muro, teniendo en cuenta la resistencia a la flexión paralela a la juntas del muro. Los resultados que se obtienen en los dos métodos son satisfactorios comparados con los resultados experimentales.

El nivel de daño esperado en los rellenos de mampostería en el plano está dado por las derivas laterales (desplazamiento relativo entre pisos) a que están sometidas las edificaciones durante un evento sísmico. La Norma NSR-98 (AIS, 1998) especifica un límite de deriva lateral para estructuras de mampostería de 0.5% bajo un criterio de diseño que admite la posibilidad de daño y cuya filosofía es el evitar las pérdidas de vidas, asegurando servicios básicos y tendiendo a minimizar el daño estructural. Teniendo en cuenta los resultados experimentales y analíticos para muros en contacto y aislados en el plano, se establece que los muros en pleno contacto tendrán un daño leve para un deriva de 0.20%, moderado para 0.35% y colapsarán para el 1.05 % de deriva; y los muros aislados tendrán un daño leve para un deriva de 0.70%, moderado para 1.20% y el 1.88 % de deriva. Estos

resultados nos indican que el sistema de muros aislados puede resultar eficiente ante cargas sísmica actuando en el plano, siempre que se cumplan todas las especificaciones constructivas del sistema; algo que en la práctica convencional no se cumple a cabalidad. Con los niveles de daño obtenidos, se determina que la normativa vigente esta cumpliendo el criterio de diseño (para una deriva de 0.5%) de admitir la posibilidad de daño, evitando las pérdidas de vidas y minimizando el daño estructural.

El nivel de daño o el colapso de los muros fuera del plano, depende sustancialmente de las aceleraciones a que estarán sometidos durante un evento sísmico y naturalmente, a su calidad de diseño y de construcción. Aunque los muros aislados pueden comportarse mejor y sufrir menos daño durante un sismo a causa de fuerzas actuando en su plano, estos muros son más vulnerables a presentar falla fuera del plano; más aun cuando no cuentan con sistemas de conexión que disminuyan esta posibilidad de colapso.

En las recomendaciones de algunas cartillas de diseño de estructuras de mampostería no reforzada se especifica, que los muros se deben aislar del pórtico de confinamiento una distancia igual a 2.0 cm. Esta dilatación debe llenarse con un elemento que impida la transmisión de fuerzas del pórtico al elemento no estructural, lo cual se hace convencionalmente con poliestireno expandido. Teniendo en cuenta este sistema, para una altura típica de piso de 2.4 m y con una deriva lateral máxima permitida de 1.43% (para secciones fisuradas), la dilatación debe ser del orden de 3.5 cm para que el sistema recomendado pueda causar un efecto positivo al comportamiento del elemento no estructural. Sin embargo, se ha venido recomendando solo una dilatación de 2.0 cm, lo que originará que el pórtico transfiera directamente las fuerzas al muro de mampostería y posteriormente este elemento colapse parcial o totalmente. Otro gran problema que se presenta en la construcción de este sistema, es el inadecuado manejo del mortero de pega, ya que en las esquinas del pórtico con el muro se dejan trozos de mortero que impiden el aislamiento, originando la falla de estos elementos.

REFERENCIAS

- [1] AIS, Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. Normas Colombianas de diseño y construcción sismo resistente – NSR-98. Bogotá D.C., Colombia. 1998.
- [2] AL-CHAAR, G. Evaluating strength and stiffness of unreinforced masonry infill structures. Washington DC: US Army Corps of Engineers. 2002.
- [3] ATC-40, Applied Technology Council. Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings – Volume 1. California, USA. 1996.
- [4] BAZÁN, E. & MELI, R. Diseño Sísmico de Edificios. Balderas, Mexico. Editorial Limusa S.A. Grupo Noriega Editores. 2003.
- [5] CARRILLO, W. J. Modelación del comportamiento inelástico de pórticos de concreto con mampostería no reforzada. Tesis Magíster en Ingeniería Civil. Bogotá DC: Universidad de Los Andes. 2004.
- [6] CARRILLO, W. J. & GONZÁLEZ, N. G. Evaluación de la demanda sísmica fuera del plano en edificios. Revista Ciencia e Ingeniería Neogranadina. No. 15. Bogotá D.C., Noviembre de 2005. ISSN 0124-8170. 2005.
- [7] CITEC, Universidad de los Andes. Nuevos sistemas y materiales para el diseño y construcción de muros divisorios y de fachadas en edificaciones. Contrato Colciencias 572/2002 – Uniandes – Ladrillera Santafé – Sika Andina de Colombia. Bogotá D.C., Colombia. 2004.
- [8] COMPUTERS AND STRUCTURES, SAP 2000 v8.16. “Integrated Finite Elements Analysis and Design of Structures”, Berkeley, CA, 2003.
- [9] FEMA. Guidelines for the seismic rehabilitation of buildings. Publicación 273. Washington DC: Federal Emergency Management Agency. 1997.

- [10] FEMA. Commentary on the guidelines for the seismic rehabilitation of buildings. Publicación 274. Washington DC: Federal Emergency Management Agency. 1997.
- [11] FEMA. Prestandard and commentary for the seismic rehabilitation of buildings. Publicación 356. Washington DC: Federal Emergency Management Agency. 2000.
- [12] GALLEGO, C. & MERA, N. Sistemas de aislamiento sísmico para muros no estructurales. Tesis Magíster en Ingeniería Civil. Bogotá DC: Universidad de Los Andes. 2001.
- [13] LADRILLERA SANTAFÉ. Manual de diseño: Muros divisorios y de fachada en mampostería. Bogotá DC: Ladrillera Santafé. 2000.
- [14] REYES, J. C. Modelamiento sísmico no lineal de estructuras de concreto con disipadores de energía. Tesis Magíster en Ingeniería Civil. Bogotá DC: Universidad de Los Andes. 2001.
- [15] SARRIA, A. Ingeniería Sísmica. Ediciones Universidad de los Andes - UNIANDES. Bogotá D.C., Colombia. 1995.
- [16] SASANI, M.; BERTERO, V. & ANDERSON, J. Rehabilitation of nonductile RC frame building using encasement plates and energy-dissipating devices. Report 1999/12. Berkeley: Pacific Earthquake Engineering Research Center – PEER, University of California. 1999.
- [17] ZAVALA, C. & HOMMA, C. Reconocimiento del daño estructural en estructuras de mampostería. Lima: CISMID - Universidad Nacional de Ingeniería (UNI). 2003.