

**DETERMINACIÓN DE LA SEPARACIÓN MURO COLUMNA Y EVALUACIÓN
DE SUS DAÑOS AL SER SOMETIDOS A FUERZAS HORIZONTALES.**

**SERGIO DIAZ PADILLA
HERMAN DAVID SILVA LEÓN**



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA**

2016

**DETERMINACIÓN DE LA SEPARACIÓN MURO COLUMNA Y EVALUACIÓN
DE SUS DAÑOS AL SER SOMETIDOS A FUERZAS HORIZONTALES.**

**SERGIO DIAZ PADILLA
HERMAN DAVID SILVA LEÓN**

**Trabajo de Grado presentado como requisito para optar al título de:
Ingeniero de Civil**

**Director
OSCAR JAVIER BEGAMBRE CARILLO
Ingeniero civil, PhD, M.Sc**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA
2016**

DEDICATORIA

A DIOS padre todopoderoso que sin el nada existe.

*A mis padres María Lucila y Benedicto quienes siempre me han
brindado afecto, comprensión y sabios consejos en todos los momentos
de mi vida.*

A mi hermano QDEP que me ve desde un mejor lugar.

*A Gloria E. Quintero quien siempre me apoyo en los momentos más
dificiles, por su amor, comprensión y ayuda durante este proceso.*

*A mi familia que siempre me brindo acompañamiento durante este
ciclo de mi vida.*

*A mis amigos y compañeros que han estado presentes en el
desarrollo de mi carrera.*

SERGIO DÍAZ PADILLA.

DEDICATORIA

Este triunfo lo dedico a la persona que más admiro, mi madre, esencia e impulso en mi vida para salir adelante. La mujer que día a día lucha por ayudarme en mis proyectos y se sacrifica para verlos realizados, mi hermana Angélica. A mi padre que siempre ha sabido orientarme y aconsejarme para obrar bien y con rectitud.

A mi tía Elcida y mi abuela Rosa que siempre se han preocupado por darme su apoyo y ayuda en el cumplimiento de esta meta.

A Juleicy Camargo que ha estado a mi lado en todo momento, incluso los más complicados hasta ahora vividos. A todos aquellos que de una u otra forma me contribuyeron y ayudaron para llegar hasta acá.

A Dios por permitirme vivir esta experiencia al lado de las personas que amo y admiro.

Herman David Silva León

AGRADECIMIENTOS

A Dios por todas sus bendiciones en nuestra vida, por colocarnos en el lugar adecuado y con las personas idóneas para poder cumplir nuestras metas.

A la Universidad Industrial de Santander y la escuela de ingeniería civil por ayudarnos en la realización de nuestro proyecto de vida.

Al cuerpo docente y administrativo que siempre nos brindó orientación y apoyo cuando lo requerimos.

Al ingeniero Oscar Javier Begambre Carrillo, nuestro director y guía, por su orientación, paciencia y entrega en nuestro proyecto.

A los laboratoristas Jaime Cadena Pardo, Jairo Hernández Salazar y Álvaro Novoa Duarte por la colaboración prestada en el laboratorio.

A nuestros compañeros los cuales han sido parte de este proceso.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	16
1. OBJETIVOS.....	17
1.1 OBJETIVO GENERAL.	17
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
2. PLANTEAMIENTO Y JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.....	18
3. EQUIPOS Y MATERIALES	20
3.1. EQUIPOS.....	20
3.2. MATERIALES.....	20
4. PROCESO CONSTRUCTIVO	21
5. ENSAYO REALIZADO A LOS MUROS.....	26
5.1. PROTOCOLO DE CARGAS.	26
5.1.1 IDEALIZACIÓN DEL SISTEMA.	26
5.1.2. CALCULO DE LAS PROPIEDADES GEOMÉTRICAS Y PROPIEDADES DE LOS MATERIALES.	27
5.2. DESCRIPCIÓN DE LOS ENSAYOS	30
6. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	32
6.1 ENSAYO EM1	32
6.2 ENSAYO EM2	34
6.3 ENSAYO EM3	36
6.4 ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LOS MUROS EM1 VS EM2 Y EM1 VS EM3.....	39

6.5 ENSAYO EM4	40
7. CONCLUSIONES	42
RESEÑA BIBLIOGRÁFICA.....	44
BIBLIOGRAFÍA.....	45

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: Actuador Hidráulico MTS.	20
FIGURA 2: Columna desencofrada.	22
FIGURA 3: Recubrimiento de barras de acero.	23
FIGURA 4: Muro convencional terminado en ladrillo H-10	23
FIGURA 5: Construcción del muro con varilla anclada	24
FIGURA 6: Muro frisado completamente.	24
FIGURA 7: Muro con espuma de poliuretano cubriendo la totalidad de la dilatación.	25
FIGURA 8: Muro Pintado.	25
FIGURA 9: Idealización del sistema (muro-columna) 1G.	26
FIGURA 10: Montaje de muros para ensayo	30
FIGURA 11: Falla por deslizamiento.	34
FIGURA 12: Falla por deslizamiento.	34
FIGURA 13: Falla por deslizamiento.	36
FIGURA 14: Falla por cortante.	38
FIGURA 15: Falla por Cortante.....	41

LISTA DE TABLAS

TABLA 1: Comportamiento de la rigidez en EM1 cada 5 mm de desplazamiento del actuador hidráulico.....	32
TABLA 2: Comportamiento de la rigidez en EM2 cada 5 mm de desplazamiento del actuador hidráulico.....	35
TABLA 3: Comportamiento de la rigidez en EM3 cada 5 mm de desplazamiento del actuador hidráulico.....	37
TABLA 4: Comparación de rigidez EM1 vs EM2.....	39
TABLA 5: Comparación de rigidez EM1 vs EM3.....	39
TABLA 6: Comparación de falla entre muros.....	43

LISTA DE GRÁFICAS

GRÁFICA 1: Desplazamiento versus tiempo (la pendiente representa la velocidad).	29
GRÁFICA 2: Relación fuerza vs desplazamiento EM1.....	32
GRÁFICA 3: Detalle de relación fuerza vs desplazamiento EM1 en 5 mm.	33
GRÁFICA 4: Detalle de relación fuerza vs desplazamiento EM1 en 10 mm.	33
GRÁFICA 5: Detalle de relación fuerza vs desplazamiento EM1 en 20 mm.	33
GRÁFICA 6: Relación fuerza vs desplazamiento EM2.....	35
GRÁFICA 7: Detalle de relación fuerza vs desplazamiento EM2 en 5 mm.	35
GRÁFICA 8: Detalle de relación fuerza vs desplazamiento EM2 en 10 mm.	36
GRÁFICA 9: Relación fuerza vs desplazamiento EM3.....	37
GRÁFICA 10: Detalle de relación fuerza vs desplazamiento EM3 en 10 mm.	38
GRÁFICA 11: Detalle de relación fuerza vs desplazamiento EM3 en 20 mm.	38
GRÁFICA 12: Relación fuerza vs desplazamiento EM1, EM2 Y EM3.....	40
GRÁFICA 13: Relación fuerza vs desplazamiento EM4.....	41

RESUMEN

TITULO: DETERMINACIÓN DE LA SEPARACIÓN MURO COLUMNA Y EVALUACIÓN DE SUS DAÑOS AL SER SOMETIDOS A FUERZAS HORIZONTALES.*

AUTORES: SERGIO DIAZ PADILLA
HERMAN DAVID SILVA LEÓN **

PALABRAS CLAVES: mampostería no estructural, fuerza horizontal, monotónica, sistema de fijación.

DESCRIPCION:

En este trabajo se analiza el efecto de la separación entre columnas y muros de mampostería no estructural, al ser sometidos a una fuerza horizontal monotónica que fue simulada experimentalmente por un actuador hidráulico. El principal objetivo de este trabajo de investigación fue determinar la separación mínima entre muro y columna para evaluar los daños y poner a prueba el sistema de anclaje propuesto.

Para cumplir este objetivo se simuló en laboratorio la aplicación de una fuerza horizontal-lateral por medio de un actuador hidráulico, a cuatro propuestas de muros de mampostería no estructural a escala reducida (Hace referencia a un muro de mampostería no estructural de dimensiones 1.5 m de ancho y 1.0 m de alto; es aproximadamente $\frac{1}{4}$ de área de un muro divisorio de mampostería no estructural de dimensiones 3.0 m de ancho y 2.0 m de alto) con ladrillo H-10, a tres de estos muros se les implementó una propuesta de un sistema de fijación, también se les aplicó una separación delta (separaciones entre el muro y las columnas) entre ellos y las columnas adyacentes. La propuesta de fijación consistió en el aseguramiento lateral del muro con barras de acero a las columnas.

Inicialmente encontrará el planteamiento y justificación del problema, posterior a esto se hará referencia a los equipos y materiales utilizados para el desarrollo de este proyecto; después se encontrarán el proceso constructivo, el ensayo realizado a los muros, la descripción de los ensayos, el análisis y comportamiento observado y finalmente las conclusiones a las que se llegó en esta investigación.

* Trabajo de grado

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director: Oscar Javier Begambre Carrillo PhD.

ABSTRACT

TITLE: DETERMINATION OF A SYSTEM SEPARATION OF WALL COLUMNS AND THEIR DAMAGE ASSESSMENT UNDER HORIZONTAL FORCES. **

AUTHOR: SERGIO DIAZ PADILLA
HERMAN DAVID SILVA LEÓN **

KEYWORDS: non-structural masonry, force horizontal, monotonic, fixing system

DESCRIPTION:

This work analyzes the effect of the separation between columns and non-structural masonry walls, to be subjected to a horizontal force monotonic that was simulated experimentally by a hydraulic actuator. The main objective of this research work was to determine the minimum spacing between wall and column to assess the damage and to test the anchoring system proposed.

To meet this objective is how simulate in the laboratory the implementation of a horizontal force-side by means of a hydraulic actuator, to four proposals for non-structural masonry walls on a reduced scale (refers to a masonry wall not structural dimensions 1.5 m wide and 1.0 m high; is approximately $\frac{1}{4}$ area of a wall of non-structural masonry of dimensions 3.0 m wide and 2.0 m high) with brick H-10 three of these walls they implement a proposal of a clamping system, they are also applied a separation delta (separations between the wall and the columns) between them and the adjacent columns. The proposal consisted in fixing the assurance side of the wall with steel bars to columns.

Initially you will find the approach and justification of the problem, back to this reference will be made to the equipment and materials used for the development of this project; after you will find the constructive process, the test conducted on the walls, the description of the tests, the analysis and behavior observed and finally the conclusions reached in this research.

* Bachelor Thesis

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director: Oscar Javier Begambre Carrillo PhD.

INTRODUCCIÓN

Debido a que Colombia tiene zonas de alto riesgo sísmico, tal como se muestra en el capítulo A de la NSR-10, es muy probable que se presenten sismos, los cuales frecuentemente afectan las edificaciones; para disminuir el impacto de estos eventos existe el Reglamento colombiano de construcción sismo resistente NSR-10; en el cual se definen los aspectos de diseño estructural.

Sin embargo, no se conoce un modelo a seguir para el diseño de elementos no estructurales (muros divisorios). Dichos elementos en presencia de fuerzas sísmicas se ven afectados de diferentes formas, ya sea deterioro, fisuras, agrietamiento o volcamiento. Estos daños representan costos en su reparación y una desvalorización del inmueble donde fallan estos elementos no estructurales.

El principal objetivo de este trabajo de investigación es determinar la separación mínima entre muro columna para evaluar los daños y poner a prueba el sistema de anclaje propuesto. Para dar cumplimiento a este objetivo se simuló en laboratorio la aplicación de una fuerza horizontal-lateral de tipo monotónica por medio de un actuador hidráulico, a cuatro propuestas de muros no estructurales; un muro construido convencionalmente y tres muros construidos con una separación (δ) de las columnas. Adicionalmente, se propuso el anclaje de estos tres muros a las columnas para evitar el volcamiento. Una vez construidos y fallados estos muros, se realizó un análisis de los beneficios y desventajas que presentan al ser comparados con el muro no estructural convencional. Finalmente se presentan los resultados obtenidos.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL.

- Determinar la separación mínima que se puede dar entre un muro y las columnas, para evaluar los daños al ser sometido a fuerzas horizontales en un ensayo de laboratorio.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- . Construir un muro de mampostería (hecho con ladrillo de arcilla cocida H10) no estructural reducido convencional para uso residencial; someterlo a fuerzas horizontales hasta observar la(s) falla(s) y daños.
- Proponer un sistema de fijación para un muro de mampostería no estructural reducido. Este consistirá en anclar lateralmente el muro con barras de acero a las columnas.
- Construir tres muros de mampostería (hechos con ladrillo de arcilla cocida H10) no estructural reducido, aplicándole el sistema de fijación y separaciones delta para evaluar los daños al ser sometido a fuerzas horizontales en un ensayo de laboratorio.
- Comparar los resultados de los dos sistemas (muro con separación de las columnas y muro sin separación de las columnas), analizando los beneficios y desventajas respecto a los daños causados.

2. PLANTEAMIENTO Y JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

La mampostería es uno de los materiales más utilizados en la construcción de edificaciones a nivel mundial. Existen dos tipos de mampostería, la estructural y la no estructural; en Colombia la construcción de cualquiera de ellas se rige por la norma sismo resistente de 2010 (NSR 10)

La mampostería estructural o también llamada mampostería reforzada se caracteriza porque sus muros son construidos con piezas de mampostería de perforación vertical, unidas por medio de mortero y reforzados internamente con barras (varillas) y alambres de acero, dicho refuerzo interno les da más resistencia a las construcciones de mampostería estructural. Por el contrario, la mampostería no estructural no tiene refuerzos internos, de tal manera que al no poseerlos es más propensa a sufrir daños en presencia de fuerzas externas.

Debido a que Colombia tiene zonas de alto riesgo sísmico, como se observa en el capítulo A de la NSR-10, es muy probable que se presenten sismos, los cuales frecuentemente terminan afectando las edificaciones. Para disminuir el impacto de estos eventos se desarrolló el Reglamento colombiano de construcción sismo resistente NSR-10, en el cual se definen los aspectos de diseño estructural; sin embargo, no se detalla un modelo a seguir para el diseño de elementos no estructurales (muros divisorios), como consta en el título D cuyos capítulos D.2.1.4, D.9.2.1, D.9.3.1, de la NSR-10 se presentan a continuación para detallar los aspectos en muros de mampostería no reforzada

“CAPÍTULO D.9 NSR-10

MUROS DE MAMPOSTERÍA NO REFORZADA

D.2.1.4 — MAMPOSTERÍA NO REFORZADA — Es la construcción con base en piezas de mampostería unidas por medio de mortero que no cumple las cuantías mínimas de refuerzo establecidas para la mampostería parcialmente reforzada.

Debe cumplir los requisitos del capítulo D.9. Este sistema estructural se clasifica, para efectos de diseño sismo resistente, como uno de los sistemas con capacidad mínima de disipación de energía en el rango inelástico (*DMI*).

D.9.2 — USOS DE LA MAMPOSTERÍA NO REFORZADA

D.9.2.1 — Las restricciones al uso de la mampostería no reforzada se deben basar en lo establecido al respecto en el Capítulo A.3 de este Reglamento. La mampostería no reforzada sólo puede utilizarse como sistema de resistencia sísmica en aquellas regiones de las zonas de amenaza sísmica baja donde el valor de **Aa** sea menor o igual a 0.05. Este sistema estructural se clasifica, para efectos de diseño sismo resistente, como uno de los sistemas con capacidad mínima de disipación de energía en el rango inelástico (*DMI*).

D.9.3 — DISEÑO DE LA MAMPOSTERÍA NO REFORZADA

D.9.3.1 — Los muros de mampostería no reforzada deben diseñarse por el método de los esfuerzos admisibles de trabajo, de acuerdo con lo dispuesto en el Apéndice D-1 de este Título.”

Según lo anterior se puede constatar en el capítulo D de la NSR 10, que los muros de mampostería no estructural no tienen especificación alguna para su construcción, y debido a que generalmente en presencia de fuerzas externas este tipo de construcción sufre daños como fisuras y grietas que terminan afectando la estética de la construcción además de generar un costo adicional en su adecuación; este trabajo está enfocado en analizar el efecto de la separación entre columnas y muros de mampostería no estructural, al ser sometidos a una fuerza horizontal monofónica y plantear una posible solución ante el problema planteado.

3. EQUIPOS Y MATERIALES

3.1. EQUIPOS.

En la ejecución del ensayo se usaron los siguientes equipos:

- Actuador hidráulico MTS serie 243.35 fuerza máxima a compresión 365 KN y fuerza máxima a tensión de 240 KN longitud de embolo de empuje 254 mm.
- Deformímetro
- Manómetro
- Gato Hidráulico de 25 Ton.



FIGURA 1: Actuador Hidráulico MTS.

3.2. MATERIALES.

- Acero de refuerzo $f_y=420$ MPa $E=200$ GPa.
- Cemento portland tipo I.
- Agregado grueso tamaño máximo 19 mm.
- Agregado fino arena lavada de rio tamaño promedio de 0.5 mm a 3 mm.
- Espuma de poliuretano, espuma expansiva con módulo de elasticidad de 1.2 MPa y resistencia a flexión de 0.25 MPa.
- Ladrillo de arcilla cocida H-10 peso 5.9 kg.

Las unidades de Mampostería empleadas fueron ladrillo H.10, módulo de elasticidad $E_m = 1939$ (MPa), resistencia de la mampostería $f'_m=2.77$ (MPa).

4. PROCESO CONSTRUCTIVO

A continuación, se presenta el desarrollo del proceso constructivo y el paso a paso del ensayo de laboratorio cuyo objetivo fue determinar la separación mínima (separación delta) que se puede dar entre un muro de mampostería no estructural y las columnas evaluando los daños causados cuando dicho muro fue sometido a fuerzas horizontales.

Las fuerzas horizontales fueron simuladas mediante un actuador hidráulico cuya función fue aplicar carga a una de las columnas que componen el sistema; Dicha carga se aplicó en sentido horizontal-lateral a cada muro evaluado y se fue aumentando hasta observar la presencia de daños.

Se construyeron 4 muros con sus respectivas columnas y placas que soportasen el peso de cada muro; uno de estos muros fue construido de manera convencional, los otros tres se separaron de sus columnas a una distancia de 0.5 cm, 1.0 cm y 1.5 cm. Las medidas de los muros fueron 1.5 m de largo y 1.0 m de alto, y las medidas de las columnas fueron de 1 m de alto y su sección de 0.2X0.2 m.

Para la construcción de los muros se llevó a cabo el siguiente proceso constructivo:

1. Colocar el acero figurado y armado dentro de la formaleta que contendrá la placa de dimensiones 2.2X0.4 m con un espesor de 0.8 m. Con zapatas de 0.4X0.35 m y espesor de 0.4 m.

2. Verter el concreto de 21 MPa dentro de las formaletas de las placas y zapatas; las cuales ya tienen adentro las barras de acero figuradas y armadas según lo correspondiente al diseño.
3. Después de fraguado el concreto de las placas se procede a colocar las formaletas de las columnas (estas tienen una dimensión de 1 m de altura y 0.2X0.2 m de sección) para vaciar en ellas el concreto, se debe tener en cuenta dejar fijadas las barras de acero (del sistema de fijación propuesto) en las columnas, para evitar volcamiento del muro en caso que este sufra una carga o fuerza en su cara frontal (estas barras no se colocaron en las columnas del muro convencional); vaciado el concreto se debe golpear con un mazo de madera la formaleta para evitar hormiguo del concreto y con una barra de acero se vibró el concreto en sentido vertical de la formaleta, aplicando capas de concreto de 15 cm.



FIGURA 2: Columna desencofrada.

4. Las barras de acero que van fijadas en las columnas se recubren con una manguera, dejándole un espacio vacío de 3 cm en el plano horizontal para

asegurar que no transmitan energía al muro al momento de ejercer fuerza sobre la columna.



FIGURA 3: Recubrimiento de barras de acero.

5. Construir los muros en ladrillo H-10.



FIGURA 4: Muro convencional terminado en ladrillo H-10

6. Para asegurar la separación entre los muros y las columnas se coloca una tabla de madera con el grosor necesario para cerciorar que cumpla con el distanciamiento requerido (0.5 cm, 1.0 cm, 1.5 cm).



FIGURA 5: Construcción del muro con varilla anclada

7. Al terminar de colocar los ladrillos y ya construidos todos los muros se continúa con el friso de cada uno de estos.



FIGURA 6: Muro frisado completamente.

8. Al terminar el friso en todos los muros se midieron las separaciones entre columnas y muros para corroborar que estas no se han alterado.
9. Las dilataciones entre el muro y las columnas se rellenan con espuma de poliuretano (SIKA BOOM) ya que esta cuenta con un módulo de elasticidad bajo (1.2 MPa) en comparación al del concreto (21 MPa), también para poder dar acabados uniformes.



FIGURA 7: Muro con espuma de poliuretano cubriendo la totalidad de la dilatación.

10. Después de que la espuma de poliuretano ha secado por completo se retira el exceso de esta con un bisturí.
11. Se continúa con la aplicación de estuco a los muros.
12. Se pintan los muros con pintura blanca tipo 1.



FIGURA 8: Muro Pintado.

5. ENSAYO REALIZADO A LOS MUROS

5.1. PROTOCOLO DE CARGAS.

Para la elaboración del protocolo de cargas se supuso de forma preliminar que el sistema (muro-columna) estaba idealizado como un sistema de un grado de libertad (figura 9) y que está sometido a una excitación armónica, lo anterior se hace basados en la referencia [1]. Al analizar la gráfica de deformación Rd (*factor de amplificación dinámica de deformación*) versus la relación de frecuencias se puede encontrar un comportamiento estático en Rd cercano a 1 [1].

Teniendo en cuenta lo anterior se procedió así para calcular el protocolo de carga:

5.1.1 IDEALIZACIÓN DEL SISTEMA.

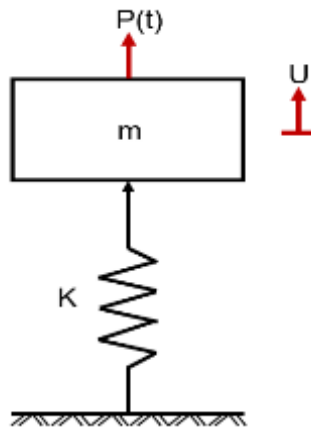


FIGURA 9: Idealización del sistema (muro-columna) 1G.

5.1.2. CALCULO DE LAS PROPIEDADES GEOMÉTRICAS Y PROPIEDADES DE LOS MATERIALES.

- ✓ Calculo de la Inercia (I) de la columna en la que el actuador aplica la fuerza:

$$I = \frac{b \cdot h^3}{12} \quad (1)$$
$$I = \frac{1}{7500} \text{ (m}^4\text{)}$$

- ✓ Calculo de la rigidez (k) de la columna en la que el actuador aplica la fuerza:

$$k = \frac{3EI}{h^3} \quad (2)$$
$$k = 8615.242 \text{ (KN/m)}$$

- ✓ Calculo de la frecuencia natural (ω) del sistema:

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (3)$$
$$\omega = 126.41 \text{ (rad/s)}$$

- ✓ Calculo del periodo (T) de la estructura:

$$T = \frac{2\pi}{\omega} \quad (4)$$
$$T = 0.049 \text{ (s)}$$

Se tomaron dos valores β (0.03 y 0.3); para los que se calculó ω y T (Ecuación 3 y 4 respectivamente).

✓ Para $\beta=0.03$:

$$\omega = 3.7923 \left(\frac{rad}{s}\right)$$

$$T = 1.656 (s)$$

✓ Para $\beta=0.3$:

$$\omega = 37923 \left(\frac{rad}{s}\right)$$

$$T = 0.1656 (s)$$

Lo anterior se hace para estimar la velocidad de aplicación de la carga del sistema muro-columna.

La separación máxima que se tiene en uno de los muros es de 0.15 cm entonces para los cálculos del ensayo y suponiendo que el actuador recorrerá 20 mm, se halló la razón de velocidad máxima en la cual se podría hacer el ensayo:

✓ Estimación de velocidad de amplificación de la carga cuando $\beta = 0.03$:

$$V = \frac{x}{t} \quad (5)$$

$$V = \frac{20 (mm)}{1.655 (s)}$$

$$V = 12.077 (mm/s)$$

✓ Estimación de velocidad de amplificación de la carga cuando $\beta = 0.3$:

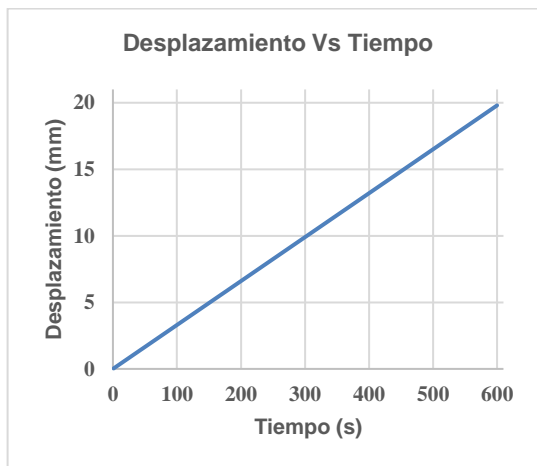
$$V = 121.077 (mm/s)$$

Entre las dos velocidades calculadas se eligió la de menor valor 12.077 mm/s, ya que esto permite que el ensayo sea más lento y casi estático, por tal razón se toma este dato como el valor máximo de velocidad en el cual el actuador podrá desplazarse para ejercer fuerza sobre el muro.

Suponiendo que el ensayo podría durar 10 minutos (600 segundos), se calcula la velocidad a la que podría realizarse el ensayo teniendo en cuenta que la razón de velocidad no debe sobrepasar la velocidad máxima de recorrido del actuador (12,077 mm/s).

$$V = \frac{x}{t}$$
$$V = \frac{20 \text{ (mm)}}{600 \text{ (s)}}$$
$$V = 0.033 \left(\frac{\text{mm}}{\text{s}}\right)$$

Basados en el análisis anterior y en el análisis realizado en la referencia [2]; podemos tomar como velocidad de aplicación de carga al sistema muro-columna el valor de 0.033 mm/s.



GRÁFICA 1: Desplazamiento versus tiempo (la pendiente representa la velocidad).

De acuerdo a los resultados analizados anteriormente y basados en la referencia [2], se puede concluir que en el ensayo el protocolo de cargas se comporta de manera monofónica.

5.2. DESCRIPCIÓN DE LOS ENSAYOS

Después de definido el protocolo de cargas se procedió a hacer el montaje de los muros para ensayar cada uno aplicándoles una fuerza horizontal por medio del actuador hidráulico MTS.

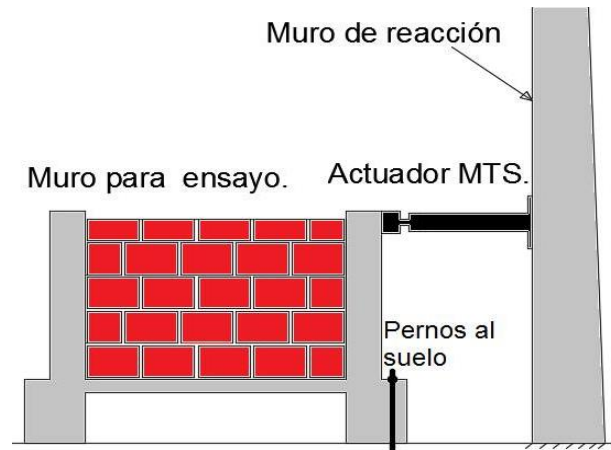


FIGURA 10: Montaje de muros para ensayo

Como ya se mencionó, se construyeron 4 muros, a los cuales se les asignó la siguiente nomenclatura:

EM1: Muro de mampostería no estructural, reducido; construido de manera convencional y sin sistema de anclaje propuesto.

EM2: Muro de mampostería no estructural, reducido; construido con una separación entre muro y columna de 5 mm y con el sistema de anclaje propuesto.

EM3: Muro de mampostería no estructural, reducido; construido con una separación entre muro y columna de 10 mm y con el sistema de anclaje propuesto.

EM4: Muro de mampostería no estructural, reducido; construido con una separación entre muro y columna de 15 mm y con el sistema de anclaje propuesto.

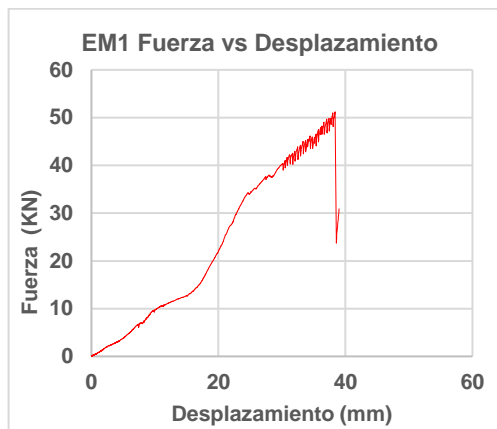
Los muros fueron anclados mediante pernos a placas ubicadas en el suelo del laboratorio con la finalidad de dar condiciones de empotramiento.

Ninguno de los cuatro muros (EM1, EM2, EM3 y EM4) conto con carga en sentido vertical.

6. ANÁLISIS DE RESULTADOS

6.1 ENSAYO EM1

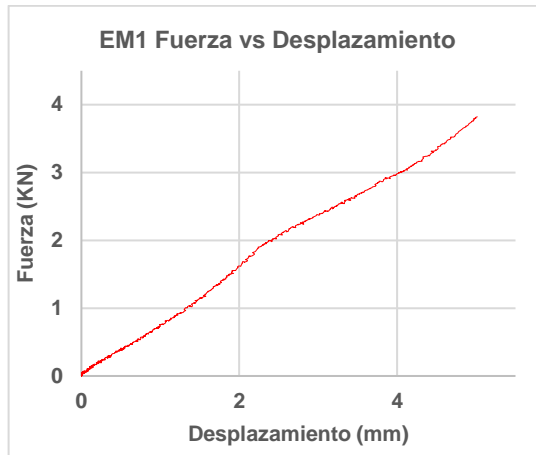
Se observa en la gráfica 2 el comportamiento de la rigidez, esta tiende a disminuir cada vez que aparecen daños en el muro, pero él vuelve a disipar la energía, haciendo que la rigidez de nuevo aumente; este ciclo se repite hasta que falla el muro a los 38.5 mm de desplazamiento del actuador y con una rigidez final de 1325 (KN/m) como se ve en la Tabla 1. Este ensayo tomo un tiempo de 24 minutos con 1 segundo.



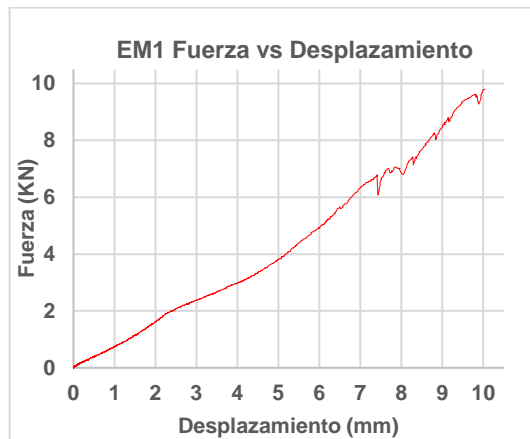
GRÁFICA 2: Relación fuerza vs desplazamiento EM1.

<i>Rigidez (KN/m)</i>	0	800	1000	867	1100	1360	1333	1286	1325
<i>Desplazamiento (mm)</i>	0	5	10	15	20	25	30	35	38.5

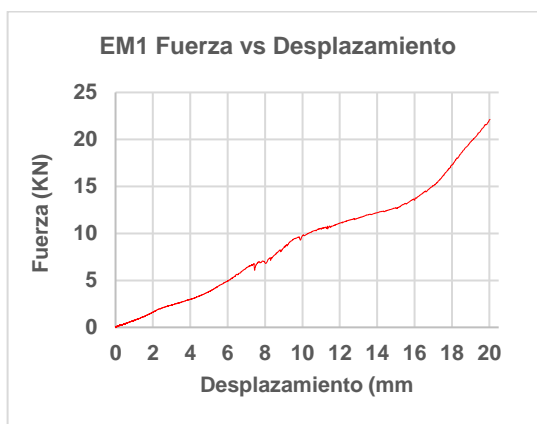
TABLA 1: Comportamiento de la rigidez en EM1 cada 5 mm de desplazamiento del actuador hidráulico.



GRÁFICA 3: *Detalle de relación fuerza vs desplazamiento EM1 en 5 mm.*



GRÁFICA 4: *Detalle de relación fuerza vs desplazamiento EM1 en 10 mm.*



GRÁFICA 5: *Detalle de relación fuerza vs desplazamiento EM1 en 20 mm.*

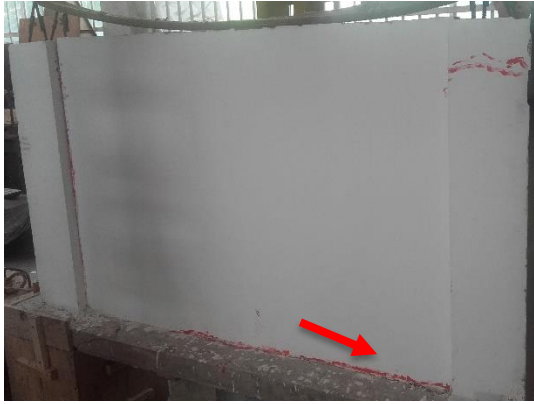


FIGURA 11: Falla por deslizamiento.

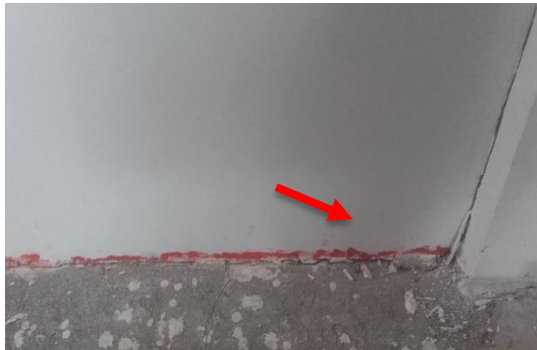
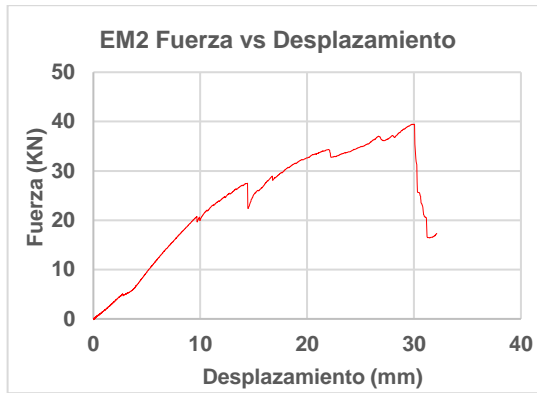


FIGURA 12: Falla por deslizamiento.

6.2 ENSAYO EM2

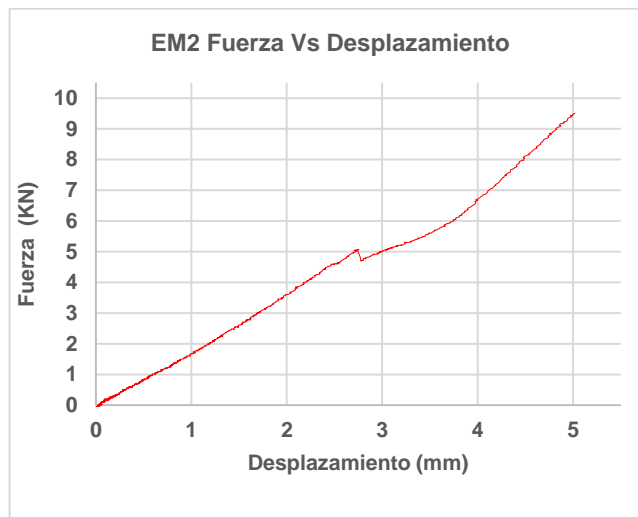
En las gráficas 7 y 8 se observa para los desplazamientos de 5 y 10 mm la influencia de la separación entre muro-columna, afectando la rigidez y causando una disminución y posterior aumento de ella; debido al choque entre la columna y el muro. En la gráfica 6 se puede observar como después de los 10 mm de desplazamiento, la rigidez tiene pequeños intervalos disminuyendo y aumentando a causa de la aparición de fallas en el muro. El comportamiento de la rigidez fue disminuir con el transcurrir del ensayo tal como se observa en la Tabla 2. Finalmente, el muro falla con una rigidez de 1300 KN/m a los 21 minutos con 7 segundos.



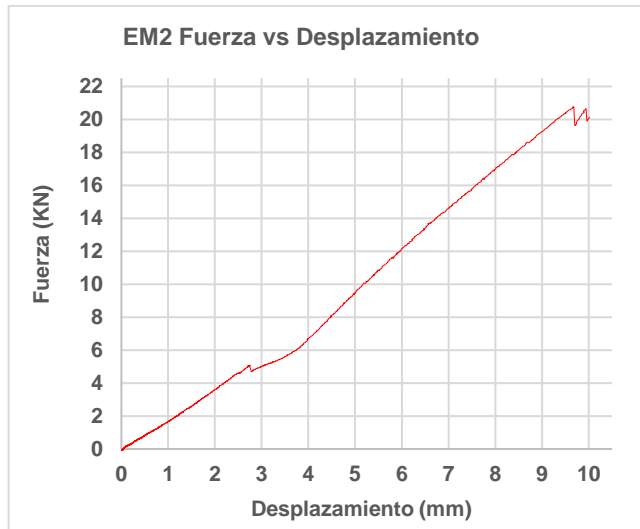
GRÁFICA 6: Relación fuerza vs desplazamiento EM2.

Rigidez (KN/m)	0	1900	2050	1666	1650	1400	1300
Desplazamiento (mm)	0	5	10	15	20	25	30

TABLA 2: Comportamiento de la rigidez en EM2 cada 5 mm de desplazamiento del actuador hidráulico.



GRÁFICA 7: Detalle de relación fuerza vs desplazamiento EM2 en 5 mm.



GRÁFICA 8: Detalle de relación fuerza vs desplazamiento EM2 en 10 mm.



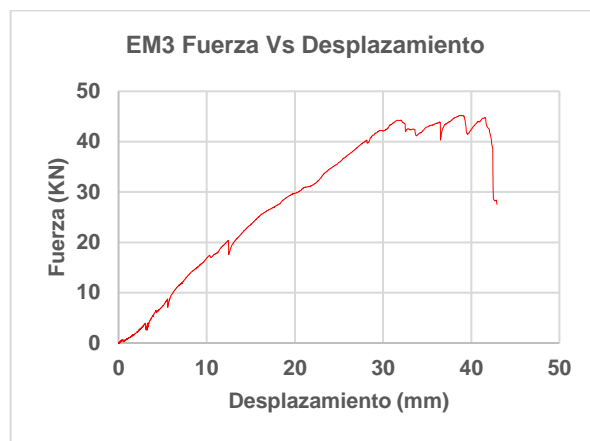
FIGURA 13: Falla por deslizamiento.

6.3 ENSAYO EM3

Al realizar el análisis de las gráficas 10 y 11 se evidencia la influencia de la separación entre el muro-columna en la rigidez, permitiendo que el sistema pierda y gane rigidez varias veces de 0 a 20 mm. Entre los 30 y 40 mm la rigidez descende

y asciende varias veces por causa de la aparición de fisuras, esto se puede observar en la gráfica 9.

La rigidez del muro hasta los 5 mm tuvo un comportamiento ascendente, después de esto empezó a descender hasta llegar a la falla con una rigidez de 1084 KN/m como se observa en la Tabla 3. Este ensayo tomo un tiempo de 26 minutos con 1 segundo.



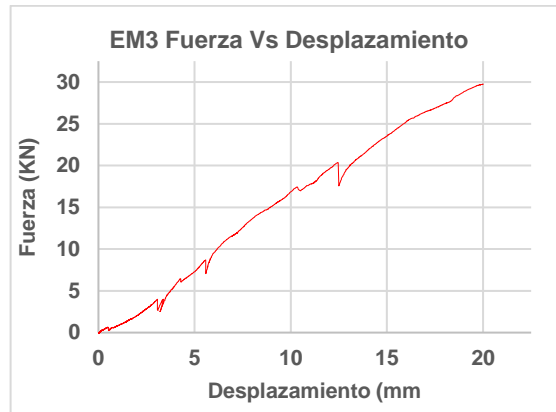
GRÁFICA 9: Relación fuerza vs desplazamiento EM3.

Rigidez (KN/m)	0	1800	1700	1533	1500	1440	1400	1228	1075	1084
Desplazamiento (mm)	0	5	10	15	20	25	30	35	40	41.5

TABLA 3: Comportamiento de la rigidez en EM3 cada 5 mm de desplazamiento del actuador hidráulico.



GRÁFICA 10: Detalle de relación fuerza vs desplazamiento EM3 en 10 mm.



GRÁFICA 11: Detalle de relación fuerza vs desplazamiento EM3 en 20 mm.



FIGURA 14: Falla por cortante.

6.4 ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LOS MUROS EM1 VS EM2 Y EM1 VS EM3.

En la Tabla 4 se observa como la rigidez de EM2 es aproximadamente el doble del valor de EM1 para los desplazamientos de 5 y 10 (mm) (Tabla 4), lo cual indica que EM2 absorbió más energía que EM1 hasta los 10 (mm) de desplazamiento. EM2 falla más rápido que el EM1, además soporta menos desplazamiento; la rigidez con la que EM1 Falla es mayor que la rigidez con la que falla EM2 (Tabla 4).

	EM1	EM2
K [KN/m] (5 mm)	800	1900
K [KN/m] (10 mm)	1000	2050
K= F/Δ [KN/m] De Falla	1325	1300
Tiempo de Falla (Segundos)	1441	1267

TABLA 4: Comparación de rigidez EM1 vs EM2.

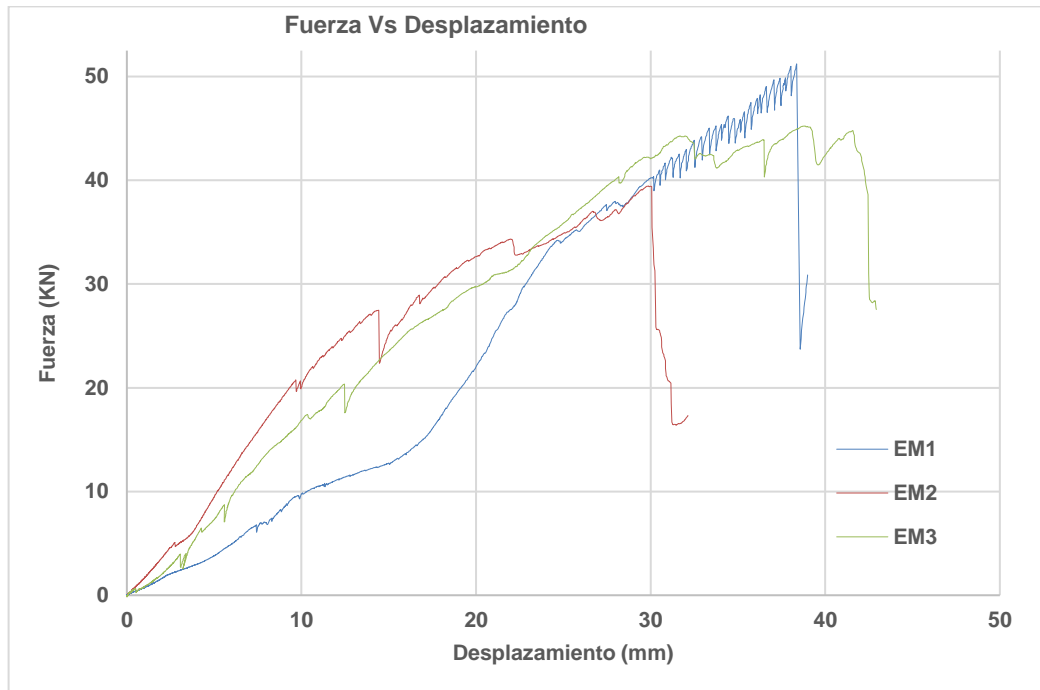
- ✓ EM3 tuvo más área bajo la curva comparado con EM1 (gráfica 12). La rigidez de EM3 fue mayor en los desplazamientos de 10 y 20 mm, pero la rigidez de falla fue mayor en EM1 (Tabla 5).

	EM1	EM3
K [KN/m] (10 mm)	1000	1700
K [KN/m] (20 mm)	1100	1500
K= F/Δ [KN/m] De Falla	1325	1084
Tiempo de Falla (Segundos)	1441	1561

TABLA 5: Comparación de rigidez EM1 vs EM3

- ✓ EM3 absorbió más energía que EM1 hasta los 10 (mm) de desplazamiento.

- ✓ EM3 fallo más rápido que el EM1
- ✓ EM3 soportó mayor desplazamiento que EM1
- ✓ La rigidez con la que EM3 fallo fue menor que la rigidez con la que fallo EM1



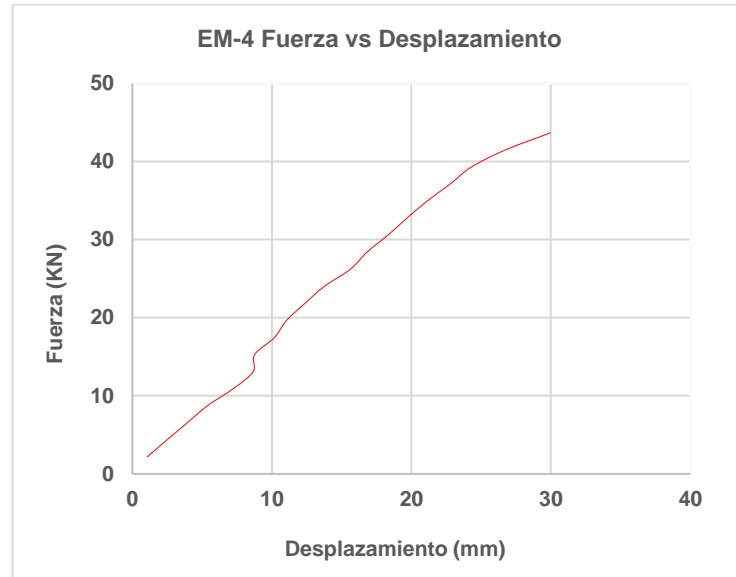
GRÁFICA 12: Relación fuerza vs desplazamiento EM1, EM2 Y EM3.

- ✓ EM1 soportó la mayor fuerza en el momento de fallar (gráfica 12).
- ✓ EM3 tuvo mayor desplazamiento que EM1 y EM2 (gráfica 12).

6.5 ENSAYO EM4

En la realización de este ensayo los datos no fueron tomados del actuador hidráulico MTS, dado que se tomaron de manera manual con un deformímetro y un manómetro que midió la presión en un gato hidráulico. De tal forma no hubo control de desplazamientos.

- ✓ El comportamiento de la pendiente en la relación de fuerza versus desplazamiento es muy similar a EM3 así mismo su falla fue por cortante.



GRÁFICA 13: Relación *fuerza vs desplazamiento EM4.*



FIGURA 15: Falla por Cortante

7. CONCLUSIONES

Según los objetivos y a partir de los resultados obtenidos en el proyecto de investigación se presentan las siguientes conclusiones:

1. En todos los muros construidos se observaron daños, en especial en el muro EM1 en el cual los daños causados por las fuerzas horizontales causaron desprendimiento total del muro en las juntas (laterales e inferior) a pesar de que este fue el que más fuerza soportó. También se observó que el muro EM3 fue el que más desplazamiento soportó y por lo tanto fue el que mejor comportamiento presentó en el ensayo al lograr mantenerse estable.
2. El muro convencional se construyó con dimensiones de 1 m de altura y 1.5 m de ancho, con sus respectivas columnas y placa que sostuvieron todo el sistema. El muro presentó falla por deslizamiento.
3. El sistema de fijación propuesto consistió en anclar a cada columna, 3 barras de acero de 3/8 de pulgada, con longitud de 0.4 m en sentido horizontal, las cuales estaban amarradas al acero de las columnas; las barras fueron cubiertas con una manguera que dejaba un espacio libre de 0,03 m en sentido horizontal (esto con el fin de evitar que las barras de acero quedaran en contacto con el muro y transmitieran fuerza en sentido horizontal) y posteriormente se embebieron en el muro. Se observó en los muros EM2, EM3 y EM4 después de cada ensayo que al aplicarse una carga manual en su plano estos no permitieron el movimiento, lo que significa que se salvaguardaron de un volcamiento; de igual forma en el muro EM1 se realizó el mismo procedimiento de inspección manual, pero al no existir la fijación propuesta este muro se desprendió totalmente de sus juntas, lo cual dejó el muro vulnerable ante la presencia de una fuerza en su cara frontal que podría derribarlo.

4. Los muros EM2, EM3 y EM4 fueron construidos y presentaron falla por Cortante lo cual puede indicar que su comportamiento fue similar debido a la separación delta entre muro-columna y al sistema de fijación propuesto.

Ensayo muro	Tipo de falla	Presencia de fisuras
EM1	Deslizamiento	No
EM2	Cortante	Si
EM3	Cortante	Si
EM4	Cortante	Si

TABLA 6: Comparación de falla entre muros.

5. La relación de rigidez que se presentaba en el análisis preliminar de este trabajo en el que se modeló el sistema dista de la rigidez hallada mediante el ensayo de laboratorio; esto debido a que los materiales usados no son homogéneos y que en el laboratorio no se pudo llegar a tener la forma de un empotramiento perfecto.

RESEÑA BIBLIOGRÁFICA.

[1] **CHOPRA, ANIL K.** *Dinámica de estructuras*. Cuarta edición, México, Pearson educación. 2014. 752p.

[2] **MIHA TOMAZEVIC; MARJANA LUTMAN; LJUBO PETKOVIE.** "Seismic behavior of masonry walls: experimental simulation". *Journal of structural engineering* September 1996 vol. 122 núm.9 p.1040-1047.

BIBLIOGRAFÍA.

ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERÍA SÍSMICA, Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente NSR-10.

CARRILLO, Julián; GONZÁLES, Giovanni. “Modelación inelástica de pórticos de concreto con mampostería no reforzada”. *Dyna*. Medellín, Julio de 2017 núm.152 pp. 229-239.

CHOPRA, Anil k. Dinámica de estructuras. 4 ed. México, Pearson educación. 2014. 752 p.

FLÓREZ AGUILAR, C.A; LÓPEZ HERNÁNDEZ, O.A; “*Propuesta de reforzamiento de muros de adobe modificado con confinamiento de madera rolliza*”. Bucaramanga,2010. Trabajo de Grado (Ingeniero Civil) Universidad Industrial de Santander.

HERNÁNDEZ, Euclides; URZÚA PINEDA, David Alejandro. “Pruebas dinámicas de resistencia sísmica de muros de mampostería confinada construido con materiales pumíticos”. *Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural, A.C.* vol.063. p.337-348.

LÓPEZ MORANTES, E. M. “Determinación de la incidencia de irregularidades en la configuración estructural en la respuesta resistente de las edificaciones de mampostería estructurada”. Bucaramanga, 2015. Trabajo de Grado (Ingeniero Civil) Universidad Industrial de Santander.

MIHA TOMAZEVIC; MARJANA LUTMAN; LJUBO PETKOVIE. “Seismic behavior of masonry walls: experimental simulation”. *Journal of structural engineering* September 1996 vol. 122 núm.9 p.1040-1047.

NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 405, Ingeniería Civil y Arquitectura Unidades de Mampostería de Arcilla Cocida. Ladrillos y Bloque Cerámicos. Bogotá D.C.

TENA COLUNGA, Arturo; JUÁREZ ÁNGELES, Artemio y SALINAS VALLEJO, Víctor Hugo. RESISTENCIA Y DEFORMACIÓN DE MUROS DE MAMPOSTERÍA COMBINADA Y CONFINADA SUJETOS A CARGAS LATERALES. *Revista de Ingeniería Sísmica. México.* Enero-junio 2007 núm.76 pp. 29-60.

VEGA VARGAS, C. J. “*Comportamiento dinámico de muros de mampostería no estructural reforzados mediante polímeros reforzados con fibra de carbono, CFRP*”. Bogotá D. C. 19 de mayo de 2015. p. 11- 13 Tesis de Maestría (Magister en Ingeniería Civil con énfasis en Ingeniería Estructural) Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.