

EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE MUROS DE
CONCRETO REFORZADO ANTE DIFERENTES VELOCIDADES DE CARGA
CÍCLICA

JORGE ANDRES PARRA AVILA
WILDER ERASMO GONZALEZ PEÑA

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOMENCANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
BUCARAMANGA
2018

EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE MUROS DE
CONCRETO REFORZADO ANTE DIFERENTES VELOCIDADES DE CARGA
CÍCLICA

TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

JORGE ANDRES PARRA AVILA
WILDER ERASMO GONZALEZ PEÑA

DIRECTOR
OSCAR JAVIER BEGAMBRE CARRILLO
DOCTORADO EN INGENIERÍA CIVIL (ESTRUCTURAS)

CODIRECTOR
JAIME ENRIQUE VEGA PEÑA
INGENIERO CIVIL

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOMENCANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
BUCARAMANGA

2018

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	10
1. CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES	13
2. DISEÑO DEL MURO.....	14
3. MODELADO NUMÉRICO	16
4. PROTOCOLOS DE CARGA	19
5. CONSTRUCCIÓN DE LOS DOS MUROS.....	22
6. ANALISIS Y RESULTADOS.....	24
7. CONCLUSIONES Y OBSERVACIONES	32
BIBLIOGRAFIA.....	34
ANEXOS.....	36

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Propiedades de los protocolos de carga.	19
Tabla 2: Resultados de los especímenes de prueba.....	31

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Curva esfuerzo deformación para concreto no confinado.....	13
Figura 2: Curva esfuerzo deformación para acero de refuerzo.....	14
Figura 3: Discretización de muro 9x20 con elementos tipo Shell.....	17
Figura 4: Gráfica de protocolo de carga TW1 (Vel= 0.6 mm/s).....	20
Figura 5: Gráfica de protocolo de carga TW2 (Vel= 1.2 mm/s).....	20
Figura 6: Gráfica de protocolo de carga TW3 (Vel= 2.4 mm/s).....	21
Figura 7: Gráfica de protocolo de carga TW4 (Vel= 3 mm/s).....	21
Figura 8: Gráfica de protocolo de carga TW5 (Vel= 5 mm/s).....	22
Figura 9: Muros (02) experimentales construidos.....	23
Figura 10: Detalle de cuadrícula para medir agrietamientos y deformaciones del muro experimental.	24
Figura 11: Diagrama de Histéresis de TW1 (Vel= 0.6 mm/s).....	25
Figura 12: Diagrama de Histéresis de TW2 (Vel= 1.2 mm/s).....	26
Figura 13: Diagrama de Histéresis de TW3 (Vel= 2.4 mm/s).....	26
Figura 14: Diagrama de Histéresis de TW4 (Vel= 3 mm/s).....	27
Figura 15: Diagrama de Histéresis de TW5 (Vel= 5 mm/s).....	27
Figura 16: Diagrama de esfuerzos normales en el punto de fuerza Cortante Máxima (MPa): (a) TW1, (b) TW2, (c) TW3, (d) TW4, (e) TW5.	28
Figura 17: Energía Disipada por cada velocidad.	29
Figura 18: Fuerza Cortante máxima por cada velocidad.	30
Figura 19: Deriva de falla por cada velocidad.....	30
Figura 20: Ductilidad por cada velocidad Eje horizontal positivo (dirección 1) y negativo (dirección 2).....	31

LISTA DE ANEXOS

Anexo A: Modelos Numéricos (05) en el software SAP2000, Versión 20.1.0	36
Anexo B: Geometría del muro experimental.	36
Anexo C: Detalle aceros del muro experimental.	37
Anexo D: Detalle refuerzo acero (cimentación de vista longitudinal).	37
Anexo E: Detalle refuerzo acero (cimentación de vista transversal).	38

RESUMEN

TITULO: EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE MUROS DE CONCRETO REFORZADO ANTE DIFERENTES VELOCIDADES DE CARGA CÍCLICA.*

AUTOR: JORGE ANDRES PARRA AVILA Y WILDER ERASMO GONZALEZ PEÑA.**

PALABRAS CLAVE: CARGA CÍCLICA, CONCRETO REFORZADO, CURVA DE HISTÉRESIS, MURO, PROTOCOLO DE CARGA.

DESCRIPCION:

Este trabajo contiene los análisis realizados para evaluar la resistencia máxima, el desplazamiento último, la ductilidad y la energía disipada de un muro de concreto reforzado (CR) en voladizo. El programa de prueba consistió en dos escenarios. En el primero se realizó la modelación de cinco ensayos de carga cíclica (sobre el muro de CR), mediante un análisis dinámico no lineal (empleando SAP2000), usando cinco protocolos de carga diferentes (con velocidades variando entre 0,6 mm/s y 5 mm/s y amplitudes en cada una desde 0 mm hasta 9 mm). En el segundo escenario, se efectuó la caracterización de materiales (concreto y acero de acuerdo a las normas ICONTEC que corresponden a la NTC 673 y NTC 2289 respectivamente) y la construcción de dos muros de concreto reforzado (según la NSR10), idénticos al utilizado en la fase numérica, para su posterior ensayo experimental por parte del grupo INME-UIS. Los dos muros tienen materiales y dimensiones iguales (con 2 m de altura, 0,15 m de espesor y 0,9 m de largo, fluencia del acero de 390 MPa y concreto reforzado no confinado de 21 MPa). Se pudo observar en los resultados que la variable que menos sufrió efectos debido a la velocidad de las cargas impuestas fue la deriva falla y la ductilidad aumentó un 14% en la dirección 2.

* Trabajo de grado

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director: Oscar Javier Begambre Carrillo, Doctor en Ingeniería Civil (Estructuras). Codirector: Jaime Enrique Vega Peña, Ingeniero Civil.

ABSTRACT

TITLE: EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE MUROS DE CONCRETO REFORZADO ANTE DIFERENTES VELOCIDADES DE CARGA CÍCLICA.*

AUTHOR: JORGE ANDRES PARRA AVILA Y WILDER ERASMO GONZALEZ PEÑA.**

KEYWORDS: CYCLIC LOADING, REINFORCED CONCRETE, HYSTERESIS CURVE, WALL, LOADING PROTOCOL.

DESCRIPTION:

This work contains the analyzes carried out to evaluate the maximum strength, the ultimate displacement, the ductility and the dissipated energy of a cantilevered reinforced concrete (CR) wall. The test program consisted of two scenarios. In the first one, we performed the modeling of five cyclic loading tests (on the CR wall), using a nonlinear dynamic analysis (using SAP2000), using five different loading protocols (with speeds varying between 0.6 mm / s and 5 mm / s and amplitudes in each from 0 mm to 9 mm). In the second scenario, the characterization of materials (concrete and steel according to ICONTEC standards corresponding to NTC 673 and NTC 2289 respectively) and the construction of two reinforced concrete walls (according to NSR10), identical to the one used in the numerical phase, for further experimental testing by the INME-UIS group. The two walls have the same materials and dimensions (2 m high, 0.15 m thick and 0.9 m long, steel yield of 390 MPa and reinforced non-confined concrete of 21 MPa). It can be observed in the results that the variable that suffered the least effects due to the speed of the imposed loads was the failure and the ductility increased by 14% in direction 2.

* Research work

** Faculty of Physical-Mechanical Engineering. School of Civil Engineering. Director: Oscar Javier Begambre Carrillo, Doctor in Civil Engineering (Structural) Co-director: Jaime Enrique Vega Peña, Civil Engineer.

INTRODUCCIÓN

Los muros de concreto reforzado son utilizados en muchas edificaciones con el fin de soportar cargas sísmicas, siendo de gran importancia conocer el comportamiento de este tipo de elementos estructurales para minimizar la incertidumbre ante situaciones de riesgo inminente.

Como lo describe, los actuales estándares de diseño de estructuras sometidas a fuertes movimientos laterales consisten en llevar a sus elementos a un comportamiento inelástico con el fin de disipar la energía mediante deformaciones permanentes evitando el colapso de la estructura. Por lo tanto se hace sumamente necesario el estudio de dicho comportamiento en el intervalo inelástico.

Por otro lado, según, se hace necesario determinar la ductilidad de las estructuras imponiéndoles cargas cíclicas, multidireccionales, de amplitud variable, en lugar de cargas monotónicas teniendo en cuenta la naturaleza variable de las cargas que el sistema estructural soportara durante su vida útil.

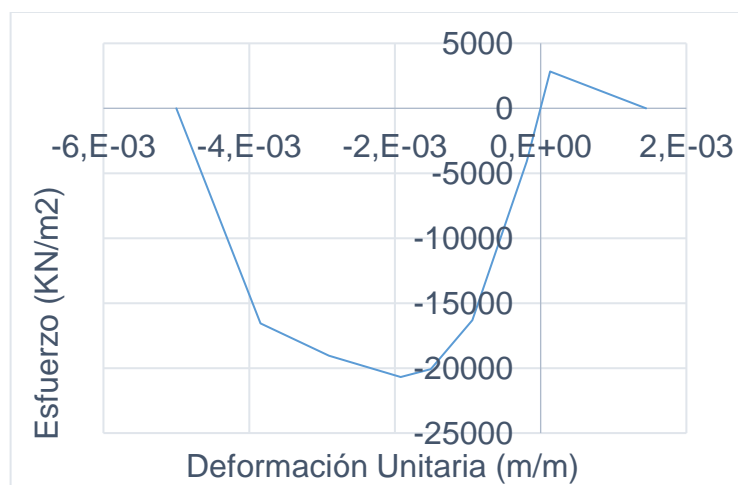
Teniendo en cuenta lo anterior, se plantea en este trabajo de grado evaluar y comparar, mediante análisis dinámicos no lineales (empleando el software SAP2000), la respuesta de un muro ante cinco protocolos de carga cíclica diferentes, en los cuales las velocidades y las amplitudes varían (ver tabla 1). Finalmente, la construcción de dos muros idénticos, posibilitará la realización futura de ensayos de laboratorio cuyos datos se podrán contrastar con los análisis numéricos aquí presentados.

En las siguientes secciones se presenta, de forma detallada la caracterización de materiales (sección 1), el diseño del muro (sección 2), el modelado numérico (sección 3) , los protocolos de carga usados (sección 4), los detalles de la construcción de los muros (sección 5) y finalmente los análisis (curvas de histéresis) y las conclusiones pertinentes (sección 6).

1. CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES

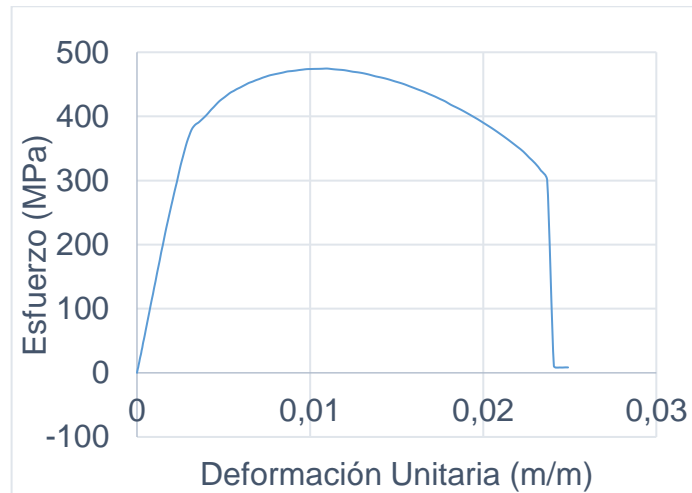
Para la caracterización de los materiales se realizaron ensayos basados en la norma ICONTEC que corresponden a la NTC 673 (Ensayo de resistencia a la compresión de cilindros de concreto) [Figura.1](#) y NTC 2289 (tracción en barras y rollos corrugados de acero de baja aleación y/o termo tratados para concreto reforzado en construcciones de diseño sismo resistente) [Figura.2](#). Estos ensayos arrojaron los siguientes resultados ([ver las Figuras 1 y 2](#)):

Figura 1: Curva esfuerzo deformación para concreto no confinado.



Fuente: Autores

Figura 2: Curva esfuerzo deformación para acero de refuerzo.



Fuente: Autores

Debido a que el muro no tiene elementos de borde ni estribos, no se tuvo en cuenta el concreto confinado. A partir de los resultados de los ensayos de laboratorio [Figura.1](#) y [Figura.2](#) se puede confirmar que el valor de resistencia del concreto es $f'c=21$ MPa y la fluencia del acero es $f_y=390$ MPa.

2. DISEÑO DEL MURO

La caracterización geométrica de los edificios en altura de la ciudad de Bucaramanga, nos muestra una clara tendencia del uso de muros con espesores de 0.15 [m], lo que limita la capacidad de confinamiento de los elementos de borde y junto a malas prácticas constructivas puede generar pérdida del muro.

Este apartado muestra detalles sobre el diseño de los elementos que constituyen un muro de CR que trabaja en voladizo en una edificación y basados en este diseño se construyeron dos especímenes a escala real (para su posterior ensayo experimental en laboratorio), y los modelos de prueba en el software.

Las características de diseño del acero de refuerzo fueron previamente estipuladas por el ingeniero civil de la Universidad Industrial de Santander Jaime Vega, estimando como refuerzo de acero la cuantía mínima establecida por la Norma Sismo Resistente del 2010 (NSR-10), siendo igual a 0.0025.

Por otro lado, un muro se puede clasificar como esbelto si tiene una relación de esbeltez mayor a dos y como robusto en caso contrario. Pueden ser llamados muros bajos cuando la relación de esbeltez es menor a dos, muros intermedios cuando la relación está entre dos y cinco, y altos cuando la relación de esbeltez es mayor a cinco. En el muro experimental y en el modelo numérico la altura es $H=2082$ mm y la longitud del muro es $L=900$ mm. [ANEXO B](#), la relación de aspecto que poseen los muros es de $H/L= 2,31$. Por lo cual tenemos un muro de esbeltez intermedia.

Se realizó una cimentación adecuada para simular el empotramiento de la parte inferior del muro al suelo, así mismo, se construyó una viga en la parte superior del muro, para garantizar que los desplazamientos aplicados fueran uniformes a lo largo de la parte superior del espécimen [ANEXO B](#) y [ANEXO C](#)

Las dimensiones de los dos muros son iguales, con una cimentación prismática rectangular de altura 350 mm, ancho 400 mm y largo 2000 mm [ANEXO D](#) y [ANEXO E](#); el cuerpo del muro tiene una altura de 1900 mm, ancho 900 mm y espesor 150 mm y una viga de amarre en la parte superior de ancho y alto 350 mm [ANEXO B](#).

Los detalles de diseño del muro se encuentran al final del documento en los anexos.

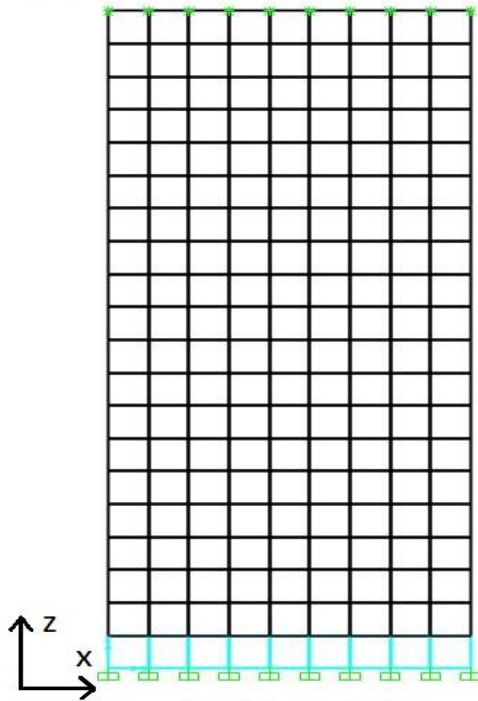
3. MODELADO NUMÉRICO

En general la capacidad de una estructura depende de la resistencia y la capacidad de deformación de cada uno de sus componentes individuales. Para determinar las capacidades después del límite elástico es necesario realizar un análisis no lineal. Entre estos procedimientos, el análisis dinámico no lineal, aplicado en este trabajo, permite obtener las curvas de histéresis de fuerza vs deformación, entre otras informaciones relevantes.

El modelado numérico consistió en la simulación del muro de concreto reforzado diseñado en la sección anterior [ANEXO B](#), en el software SAP2000 Versión 20.1.0 con el fin, de aplicarles cinco (05) diferentes protocolos de carga cíclica, que tendrá como única variable la velocidad ([Capítulo 4](#)). La aplicación de la carga fue ubicada en la parte superior del muro, en dirección horizontal y paralela al eje X, para estudiar su efecto en el plano principal X-Z [Ver Figura. 3](#).

En búsqueda de una réplica similar del muro en escala real, se colocaron apoyos simples con restricción en la dirección de aplicación de la carga (eje x), en toda la parte superior del modelo [Figura.3](#).

Figura 3: Discretización de muro 9x20 con elementos tipo Shell.



Fuente: Autores

El elemento tipo Shell utilizado para la discretización del muro es un cuadrilátero plano isoparamétrico de 4 nodos que soporta deformación plana y cargas de flexión y cortantes. Con base a los protocolos numéricos se hace una discretización del muro de 9x20 (nueve elementos finitos en sentido horizontal y veinte en dirección vertical), para un total de 180 elementos tipo Shell [Figura. 3](#).

“El análisis de la historia del tiempo de integración directa es un método de análisis dinámico no lineal en el que las ecuaciones de equilibrio del movimiento (1) se integran completamente a medida que una estructura se somete a una carga dinámica. El análisis implica la integración de propiedades y comportamientos estructurales en una serie de pasos de tiempo que son pequeños en relación con la duración de la carga”.

Se realizó un análisis no lineal, la solución se estableció con integración directa, por el método de Newton-Raphson, el amortiguamiento usado fue del 5% determinado con la NSR-10. Con un modelo de masa distribuida en toda la estructura, utilizamos la ecuación de movimiento de una estructura (1) para sistema de varios grados de libertad:

$$M\ddot{u}(t) + C\dot{u}(t) + Ku(t) = F(t) \quad (1)$$

Dónde:

u: es el desplazamiento

M: la matriz de masa

C: la matriz de amortiguamiento

K: la matriz de rigidez

f (t): la fuerza sísmica.

Para representar de una forma adecuada el ensayo, se designó la elección del "Time History" en sap2000, porque es la más adecuada para incorporar el comportamiento del muro de prueba. Ya que cumple parámetros dinámicos y no lineales que se quieren en el protocolo de carga.

4. PROTOCOLOS DE CARGA

Se aplicó carga cíclica lateral con base en, de tal forma que el muro trabaje en voladizo y en su plano principal, además, la velocidad de ejecución de la carga será diferente para cada espécimen [Ver Tabla 1.](#)

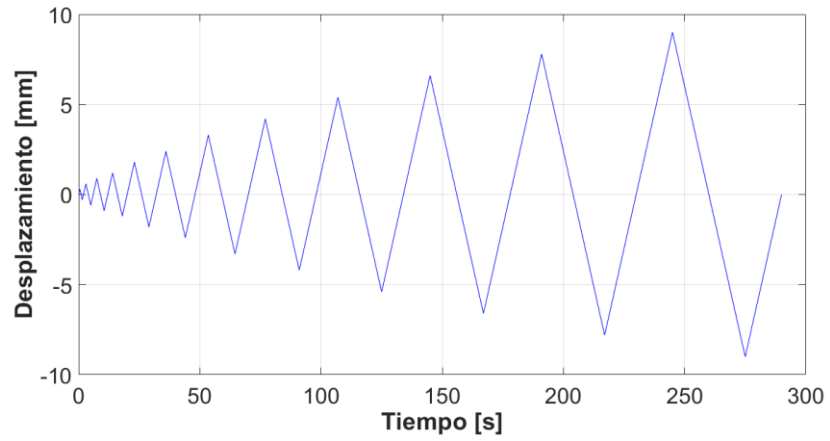
Tabla 1: Propiedades de los protocolos de carga.

Modelo ID	Velocidad (mm/s)	Amplitud Máxima (mm)	Duración del ensayo (s)
TW1	0.6	9	290
TW2	1.2	9	145
TW3	2.4	9	72.5
TW4	3	9	58
TW5	5	9	34.8

Fuente: Autores

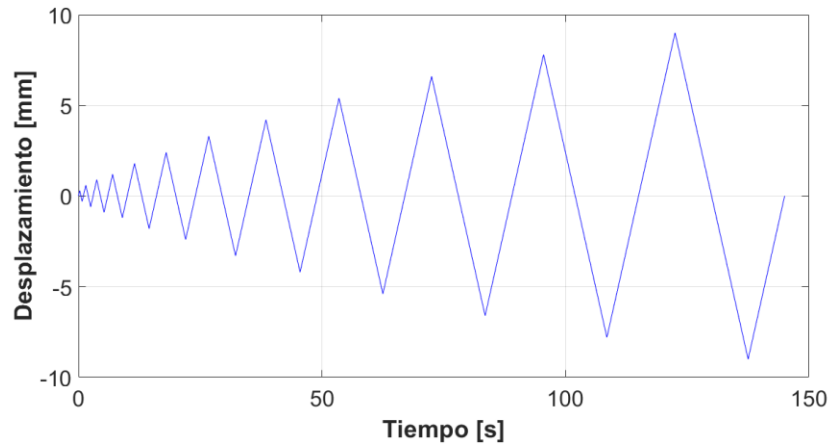
A continuación se encuentran las cinco (05) gráficas de los protocolos de carga que fueron ingresados para el análisis:

Figura 4: Gráfica de protocolo de carga TW1 (Vel= 0.6 mm/s).



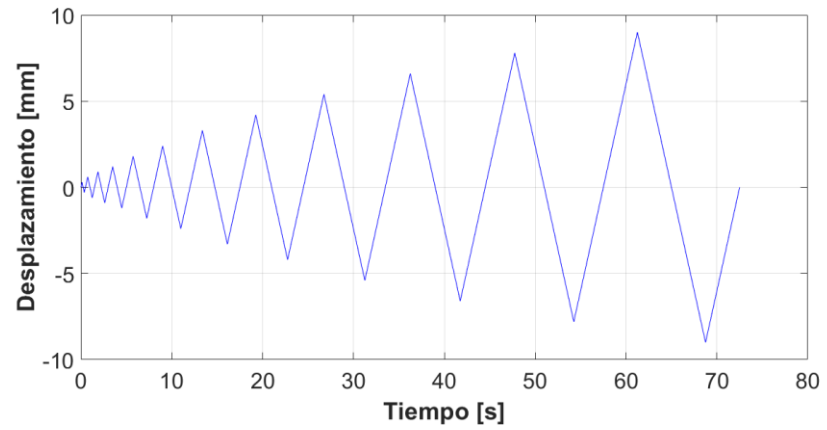
Fuente: Autores

Figura 5: Gráfica de protocolo de carga TW2 (Vel= 1.2 mm/s).



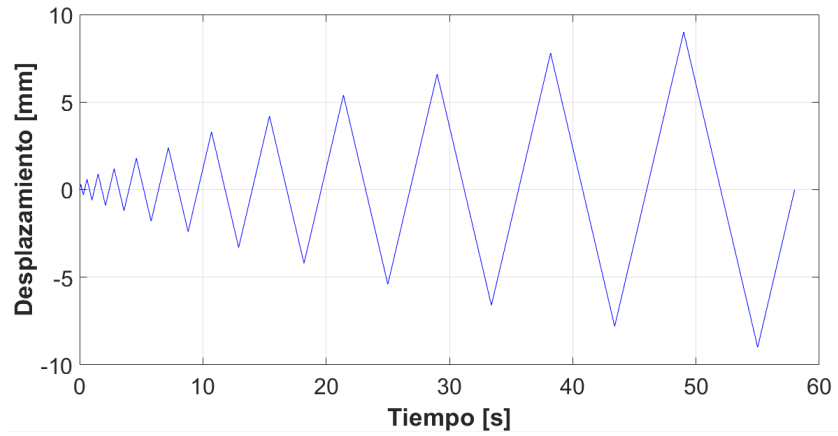
Fuente: Autores

Figura 6: Gráfica de protocolo de carga TW3 (Vel= 2.4 mm/s).



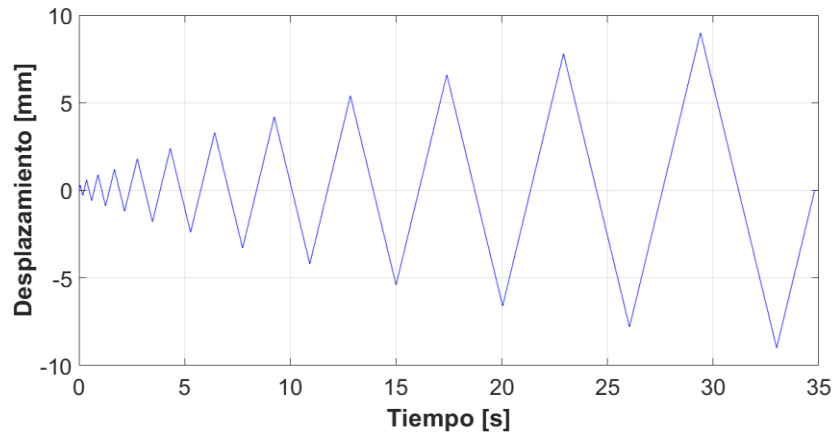
Fuente: Autores

Figura 7: Gráfica de protocolo de carga TW4 (Vel= 3 mm/s).



Fuente: Autores

Figura 8: Gráfica de protocolo de carga TW5 (Vel= 5 mm/s).



Fuente: Autores

5. CONSTRUCCIÓN DE LOS DOS MUROS

La construcción de muros de prueba se inició con todo el amarre de aceros y mallas correspondientes a la adecuación estipulada en los planos de diseño, otorgados por el ingeniero civil Jaime Vega, como se describió previamente en el [capítulo 3](#).

Se realizó la adecuación de la formaleta metálica de cada muro, amarrando cada panel con pines de seguridad, niveles y teniendo apoyos transversales para evitar el volcamiento de los muros mientras el vaciado del concreto. Para tener una mezcla homogénea, utilizamos vibrador de alta intensidad, logrando la distribución en cada una de las partes del espécimen.

El diseño de mezcla que se estipulo fue 2:2:1 (dos cantidades de agregados correspondientes a la arena, la grava y el cemento).

Se construyó cada uno de los espécimen (02) en tres fases constructivas, correspondiente a: la cimentación, el muro de prueba y una viga de amarre al actuador.

Figura 9: Muros (02) experimentales construidos.



Fuente: Autores

Se esbozó una cuadrícula en el plano del muro, para medir agrietamientos y deformaciones en tiempo real mediante cámaras de video instaladas en el laboratorio. Se espera que en un tiempo futuro sean fallados por parte del grupo INME [Figura 10](#).

Figura 10: Detalle de cuadrícula para medir agrietamientos y deformaciones del muro experimental.



Fuente: Autores

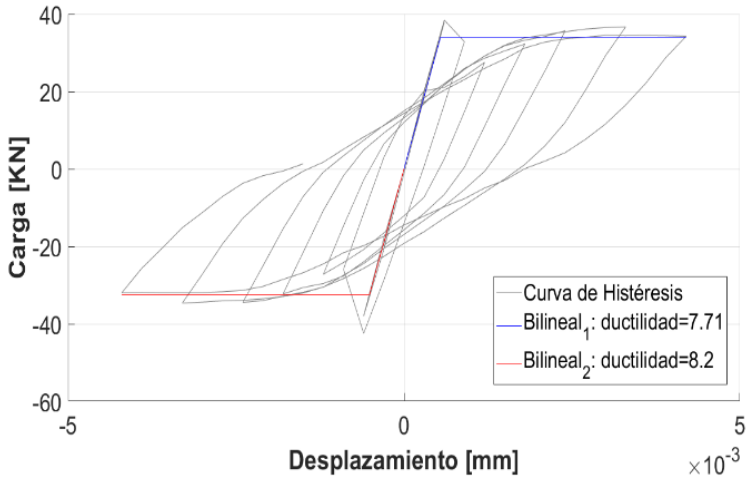
6. ANALISIS Y RESULTADOS

La ductilidad se deriva de la bilinealización de la envolvente experimental de cada espécimen, asumiendo una curva bilineal equivalente (elástico perfectamente plástico), donde la pendiente inicial de la curva bilineal se define de manera que intersecte la curva real en el punto correspondiente al 75% del punto de rendimiento

calculado, el desplazamiento final corresponde a una pérdida del 20% de la carga máxima medida, donde, convencionalmente, se supone que se produce la falla.

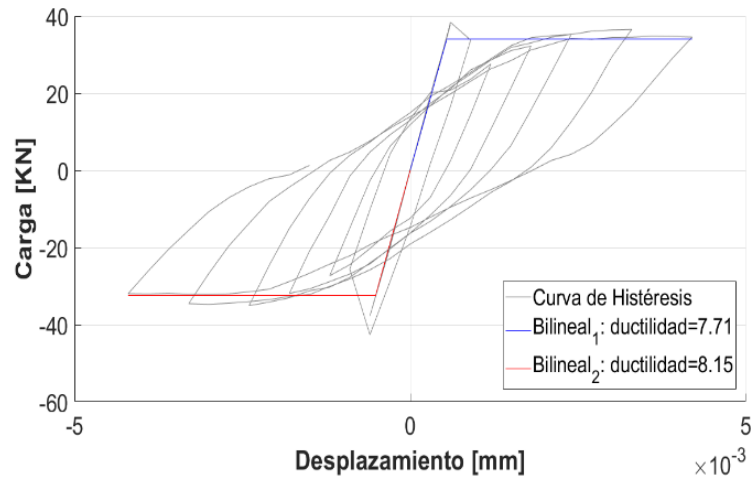
A continuación se muestran los resultados de ductilidad obtenidos mediante las curvas de histéresis [Figura. 11](#), [12](#), [13](#), [14](#), [15](#) y los diagramas de distribución de esfuerzos normales para cada uno de los especímenes en el punto donde se produce la capacidad de carga máxima del muro [Figura. 16](#):

Figura 11: Diagrama de Histéresis de TW1 (Vel= 0.6 mm/s).



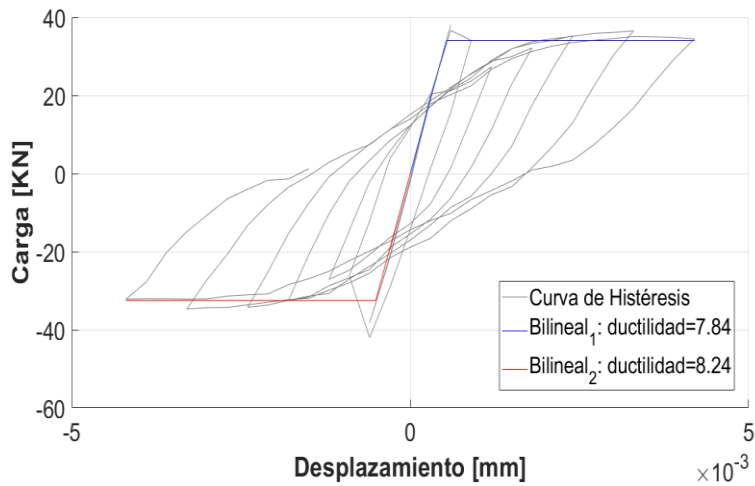
Fuente: Autores

Figura 12: Diagrama de Histéresis de TW2 (Vel= 1.2 mm/s).



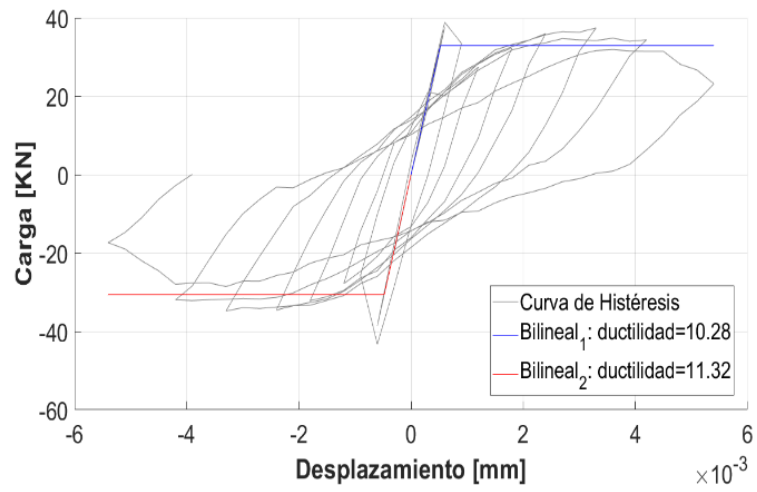
Fuente: Autores

Figura 13: Diagrama de Histéresis de TW3 (Vel= 2.4 mm/s).



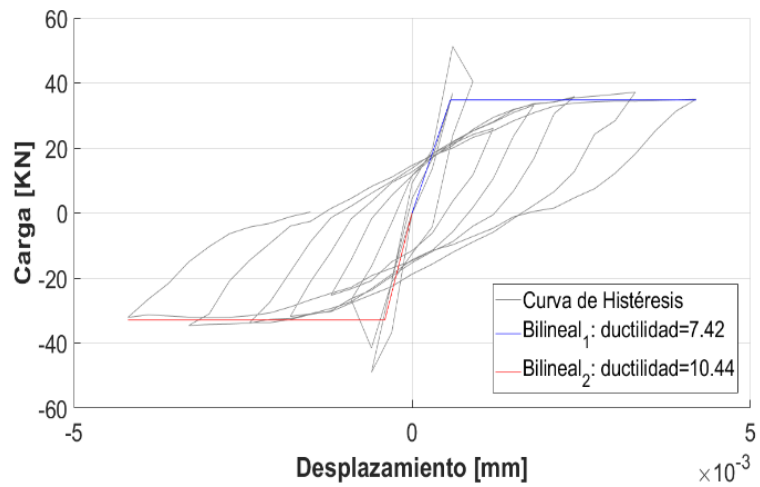
Fuente: Autores

Figura 14: Diagrama de Histéresis de TW4 (Vel= 3 mm/s).



Fuente: Autores

Figura 15: Diagrama de Histéresis de TW5 (Vel= 5 mm/s).

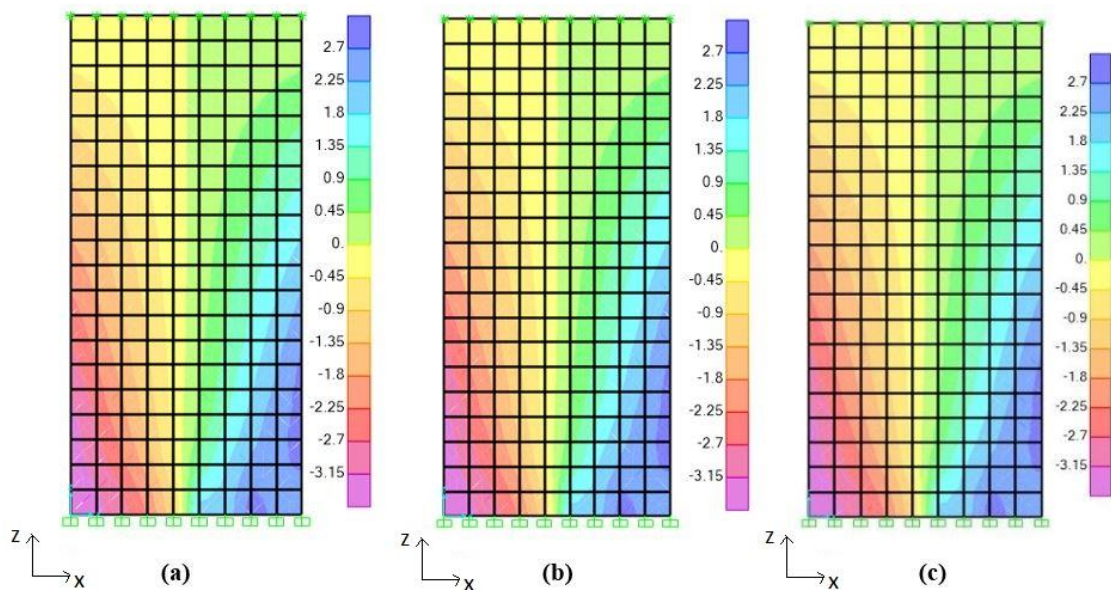


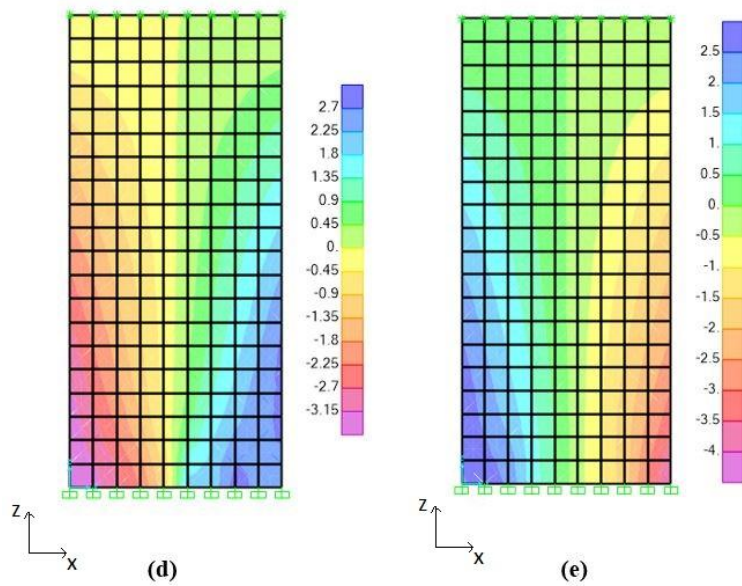
Fuente: Autores

En diagramas de histéresis podemos observar un comportamiento similar en la [Figura. 11, 12, 13, 14, 15](#), debido a que corresponden a ocho (08) ciclos de carga antes de su falla. Mientras que en la [Figura. 14](#) observamos que para alcanzar el 20% de pérdida de capacidad tuvo que emplear un ciclo más de carga.

Los diagramas [Figura. 16](#) representan los esfuerzos normales del muro en el instante de fuerza Cortante Máxima (MPa), de los cuales [Figura. 16 \(a\), \(b\), \(c\), y \(d\)](#), su carga poseía una dirección 2 (X negativa) y tan solo la [Figura. 16 \(e\)](#) tiene una dirección 1 (X positiva).

Figura 16: Diagrama de esfuerzos normales en el punto de fuerza Cortante Máxima (MPa): (a) TW1, (b) TW2, (c) TW3, (d) TW4, (e) TW5.

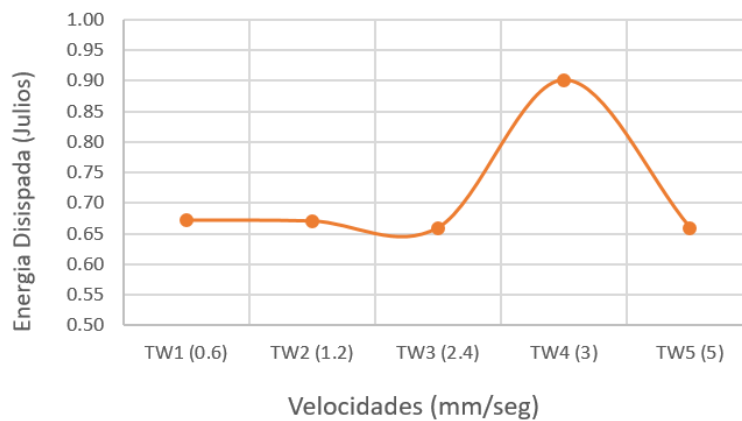




Fuente: Autores

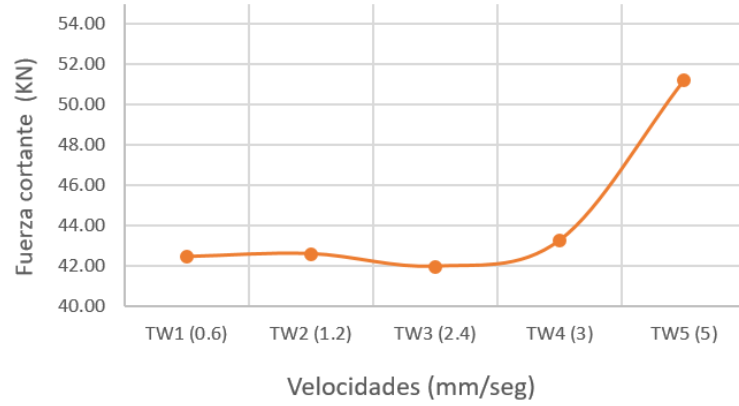
La máxima disipación de energía para cada velocidad de carga cíclica se muestra en la [Figura. 17](#).

Figura 17: Energía Disipada por cada velocidad.



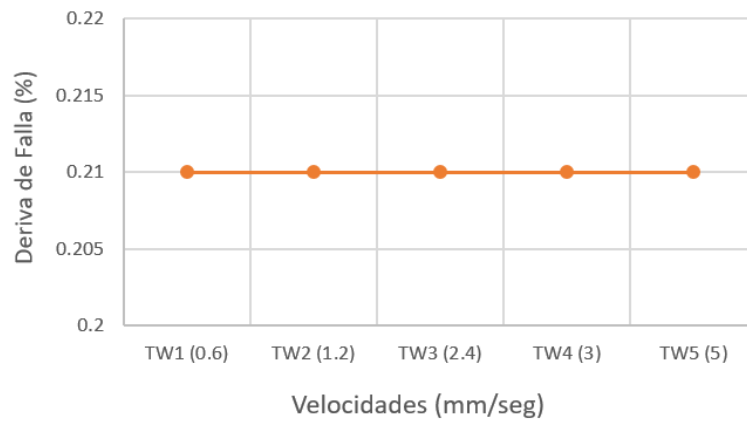
Fuente: Autores

Figura 18: Fuerza Cortante máxima por cada velocidad.



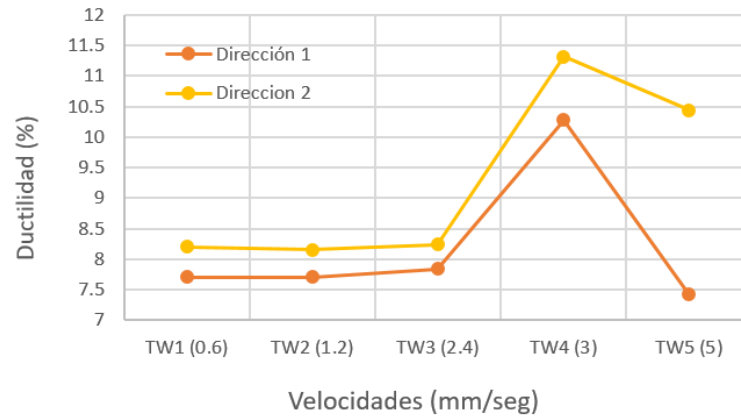
Fuente: Autores

Figura 19: Deriva de falla por cada velocidad.



Fuente: Autores

Figura 20: Ductilidad por cada velocidad Eje horizontal positivo (dirección 1) y negativo (dirección 2).



Fuente: Autores

Tabla 2: Resultados de los especímenes de prueba.

ID	Energía Max Disipada (Julios)	Ductilidad (%)		Fuerza Cte (KN)	Deriva de Falla (%)
		dirección 1 (x+)	dirección 2 (x-)		
TW1	0.67	7.71	8.2	42.46	0.21
TW2	0.67	7.71	8.15	42.60	0.21
TW3	0.66	7.84	8.24	41.98	0.21
TW4	0.90	10.28	11.32	43.28	0.21
TW5	0.66	7.42	10.44	51.24	0.21

Fuente: Autores

7. CONCLUSIONES Y OBSERVACIONES

- Basados en la literatura se estipularon los protocolos de carga cíclica correspondientes a cada velocidad de aplicación mostrada en el capítulo 5, correspondiente al objetivo específico 1.
- Las Figuras 17, 18, 19 y 20 muestran la tendencia del comportamiento mecánico de cada uno de los modelos de prueba sometidos a su respectiva velocidad de carga, cabe resaltar que no se usó ninguna correlación en las gráficas.
- Los modelos de prueba TW1, TW2, TW3, TW5 mostraron valores similares de disipación de energía Figura. 17 en comparación con el TW4, el cual aumento en un 34% su disipación de energía antes de producirse su falla, debido a que el muro soporto un ciclo de carga adicional a los demás Figura. 14.
- Solo el muro TW5 con velocidad 5mm/s Figura. 16 (e) obtuvo esfuerzos normales en el punto de fuerza cortante máxima en dirección 1 (X positivo), siendo la más alta de todas en un 20% Figura. 16 (e) y 18.
- Se puede evidenciar en los resultados obtenidos que la velocidad no tuvo incidencia en la deriva de falla ya que tiende a ser constante en cada prueba. Figura. 19.
- El Análisis numérico de los modelos mediante el software SAP2000 Versión 20.1.0 dio como resultado que las curvas histeréticas Figura. 11, 12, 13, 15, correspondiente a los muros TW1, TW2, TW3, y TW5, asumen un comportamiento similar de ductilidad entre rangos del 7 al 8 % en la dirección 1 (X positivo), mientras que en la dirección 2 (X negativo), hay un aumento en la ductilidad de un 14% con respecto a la dirección 1, Tabla 2.

Por otra parte la [Figura. 14](#), que corresponde al muro TW4 (vel=3 mm/s) posee un incremento del 34% de ductilidad con respecto a los demás valores ([Figura. 11, 12, 13, 14, 15](#)) en la dirección 1 (X positivo) y un aumento del 29% de la ductilidad con relación a los resultados de las [Figura. 11, 12, 13, 15](#), en la dirección 2 (X negativo), [Tabla 2](#). (Las 5 anteriores conclusiones correspondientes al objetivo específico 3).

- En las instalaciones del laboratorio de estructuras ALVARO BELTRAN PINZON se encuentran los muros construidos a escala real de acuerdo con las especificaciones de diseño planteadas en el capítulo 3, para su posterior ensayo experimental por parte del grupo de investigación en materiales y estructuras de construcción (INME) de la Universidad Industrial de Santander y con esto contribuir al acervo de los datos obtenidos en la simulación [Figura. 9](#) y [Figura. 10](#). Correspondiente al objetivo específico 3.

BIBLIOGRAFIA

ABELL, Mike. “Direct-integration time-history analysis”. <https://wiki.csiamerica.com/display/kb/Direct-integration+time-history+analysis> [Citado 17 Octubre 2018].

ALARCON, C; HUBE M. A y DE LA LLERA J.C. Effect of axial loads in the seismic behavior of reinforced concrete walls with unconfined wall boundaries. ELSEVIER Vol. Engineering Structures. 2014.

ALMEIDA João, et al. Tests on Thin Reinforced Concrete Walls Subjected to In-plane and Out-of-plane Cyclic Loading. Revista “Earthquake Spectra”. Earthquake Spectra 33.1 (2017)

BRICEÑO Z, Adriana P; CARRERAS G y H. Nelson. Análisis y diseño de muros estructurales de concreto, considerando las experiencias de los terremotos de Chile 2010 y Nueva Zelanda 2011. (Tesis Pregrado) Universidad Católica Andres Bello. Venezuela 2013.

CHRISTIDIS; KONSTANTINOS I. y TREZOS KONSTANTINOS G. Experimental investigation of existing non-conforming RC shear walls. Engineering Structures, 2017.

GUTIÉRREZ, A. MÉTODO DE ANÁLISIS NO LINEAL (Pushover). Recopilación de notas. Diciembre 2015.

Iberisa, Consideraciones sobre Elementos Shell en FEMAP & NX NASTRAN. <http://www.iberisa.com/soporte/femap/shell.htm> [Citado 17 Octubre 2018].

LOPEZ PEÑALOZA, Jordy Leonardo y MORENO SÁNCHEZ, Jorge Andrés. Evaluación experimental del comportamiento biaxial de muros en concreto reforzado. (Tesis Pregrado) Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga 2017.

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo territorial. Reglamento Colombiano de construcción sismo resistente NSR-10, Bogotá, 2010.

PARK, R. Ductility evaluation from laboratory and analytical testing. In Proceedings of the 9th world conference on earthquake engineering, Japan (Vol. 8, pp. 605-616). 1988

PAULAY, T. y PRIESTLEY M. J. N. Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings. Wiley-Blackwell. INC. 1992.

ROMOALDO, Víctor Cecilio y ESCOBAR SÁNCHEZ, José Alberto. Comportamiento inelástico de estructuras de mampostería confinada diseñadas empleando un requisito complementario de diseño por torsión sísmica. Artículo XIX Congreso Nacional de Ingeniería Estructural. Puerto Vallarta, Jalisco-México. 2014.

SAP2000 Versión 20.1.0 Ultimate International Academic Perpetual – Network. Licenciado al Grupo INME Universidad Industrial de Santander. 2018.

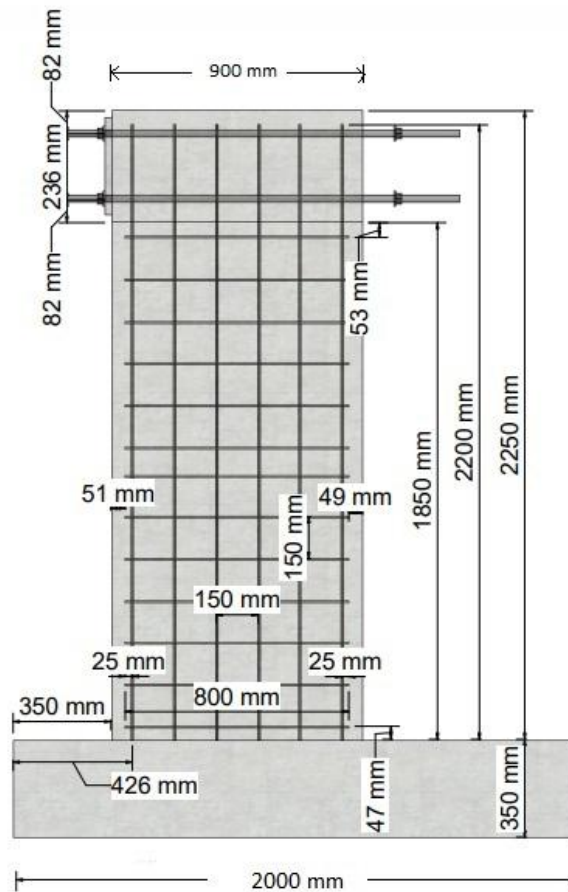
VELEZ, Juan Carlos, et al. Ensayos cuasi-estáticos cíclicos de muros delgados de concreto reforzado en edificios colombianos. VIII Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica. Universidad del Norte. (No. CONF). 2017.

ANEXOS

Anexo A: Modelos Numéricos (05) en el software SAP2000, Versión 20.1.0

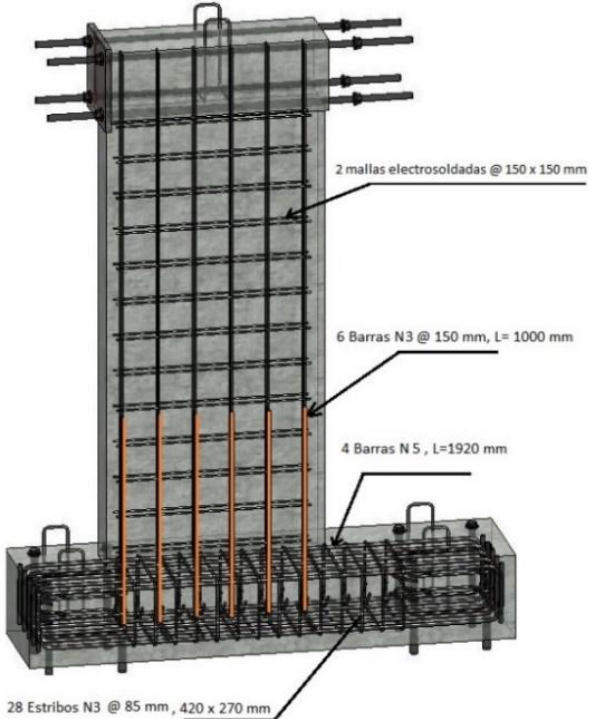
Para el complemento de los datos se anexa un Cd con cada uno de los cinco (05) modelos numéricos en el software SAP2000, Versión 20.1.0 listos para correr que pueden visualizarlos en base de datos de la Biblioteca UIS.

Anexo B: Geometría del muro experimental.



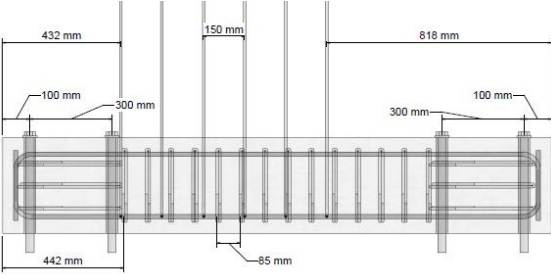
Fuente: Autores

Anexo C: Detalle aceros del muro experimental.



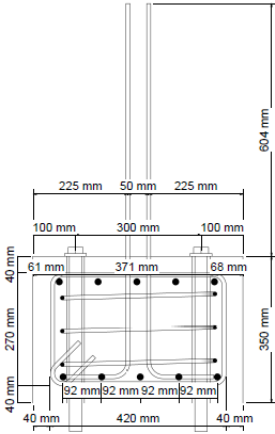
Fuente: Autores

Anexo D: Detalle refuerzo acero (cimentación de vista longitudinal).



Fuente: Autores

Anexo E: Detalle refuerzo acero (cimentación de vista transversal).



Fuente: Autores