

EVALUACION DEL DESEMPEÑO ESTRUCTURAL DE UN MURO DE ALBAÑILERIA REFORZADO CON MALLA ELECTROSOLDADA

J. Hermosilla Medina¹, C. Oyarzo Vera² & E. Behrens Rincón³

RESUMEN: Este documento presenta un estudio experimental donde un muro de albañilería reforzado con malla electrosoldada (WWM) es sometido a la acción de cargas cíclicas en el plano, con el objetivo de comprobar su efectividad como refuerzo y su efecto en el comportamiento dinámico del muro.

El protocolo de carga estuvo controlado por desplazamientos, partiendo con 3 ciclos de 2 (mm), lo que fueron aumentando progresivamente en 2 (mm) cada 3 ciclos, hasta alcanzar la falla.

En la secuencia de 6 (mm) se logró apreciar la primera grieta en la junta de la primera fila de ladrillos, grieta que finalmente terminaría separando el cuerpo del muro a la fundación a los 20 (mm) de deformación e induciendo una falla por aplastamiento en sus esquinas.

Comparando los resultados de este estudio con uno que se realiza de forma paralela, de similares características, pero con reforzamiento de mortero con una malla textil (TRM) en lugar de WWM, se determina que el reforzamiento con malla electrosoldada es efectivo en cuanto a prevención de fallas frágiles, y aumentando la rigidez del cuerpo de la estructura.

PALABRAS CLAVES: Ensayo cíclico, WWM, albañilería.

ABSTRACT: This document presents an experimental study where a masonry wall reinforced with welded wire mesh (WWM) is subjected to the action of cyclic loads in the plane, with the aim of verifying its effectiveness as reinforcement and its effect on the dynamic behavior of the wall.

The loading protocol was controlled by displacements, starting with 3 cycles of 2 (mm), which progressively increased by 2 (mm) every 3 cycles, until failure was reached. In the 6 (mm) sequence, it was possible to appreciate the first crack in the joint of the first row of bricks, a crack that would finally end up separating the entire wall panel from the foundation at 20 (mm) of deformation and inducing a crushing failure in the corner.

Comparing the results of this study with one that is carried out in parallel, with similar characteristics but with a textile reinforced mortar (TRM) instead of WWM, it is determined that the reinforcement with electro-welded mesh is effective in terms of prevention of brittle failures, and increasing the rigidity of the body of the structure.

KEYWORDS: Cyclic test, WWM, Masonry

¹ Estudiante de Ingeniería Civil, Universidad Católica de la Santísima Concepción, CHILE, jhermosilla@ing.ucsc.cl

² Profesor Guía, Depto. de Ingeniería Civil, Universidad Católica de la Santísima Concepción, CHILE, coyartzov@ucsc.cl

³ Profesor Informante, Depto. de Ingeniería Civil, Universidad Católica de la Santísima Concepción, CHILE, ebehrens@ucsc.cl



1. INTRODUCCIÓN

La albañilería es una técnica de construcción de obras y edificaciones que en su forma tradicional emplea un material estructural compuesto por unidades de ladrillo o piedra ordenados en hiladas y adheridas con mortero, cuyas propiedades dependen tanto de los componentes como del proceso constructivo in situ. El material al que se da lugar es heterogéneo e anisotrópico y cuenta por naturaleza, con una alta resistencia a la compresión, mientras que su resistencia a tracción es bastante reducida y depende de la adherencia entre la unidad y el mortero. (Gallegos *et al.*, 2005).

Otras técnicas de albañilería integran refuerzos extras a las unidades básicas, como la albañilería confinada que añade elementos esbeltos que enmarcan el muro reforzándolo con pilares y cadenas de hormigón armado (NCh 2123 of 2003), y la implementación de unidades con un diseño hueco en lugar de sólido el cual integra la inserción de barras de acero de refuerzo en forma vertical dando lugar a la albañilería armada. (NCh 1928 of 2009).

En Chile, la albañilería fue introducida en la década de 1930, como una técnica que utiliza materiales alternativos al adobe y más barato que el hormigón armado. Las primeras estructuras de este tipo fueron principalmente muros sin ningún tipo de refuerzo debido a la poca experiencia en este tipo de obras y a la falta de códigos de diseño, por lo que en el sismo de Chillan de 1939 de magnitud 8.3 dejó en evidencia la ineficacia de ese método a tracción en un país sísmico generando serios daños en las edificaciones.

Hasta el año 1986 no existió en Chile un código de diseño para este tipo de estructuras, por lo que su comportamiento en los sismos anteriores a ese año fue bastante malo (Moroni *et al.*, 2004). Luego de eso, en 1983, se desarrolló el primer código chileno de diseño en albañilería, la norma NCh 1928 para diseño de edificios de albañilería armada, modificada en 1993 y en 2003 y en segunda instancia se publicó la normativa para diseño de edificios de albañilería confinada NCh 2123 en el año 1997.

Si bien hubo un desarrollo significativo en cuanto a la ciencia y la ingeniería estructural, en sismos recientes como Iquique 2005 magnitud 7.9, y el sismo del Maule de 2010 de magnitud 8.8 se observó un daño significativo en edificios de albañilería. Esto ha motivado a implementar nuevos y diferentes métodos de rehabilitación de estructuras como refuerzos con materiales compuestos de polímeros con fibra de carbono CFRP (Thamboo, J. et al 2021), mortero textil reforzado TRM (Kouris, S et al 2018) o encamisado de muros con malla electrosoldada (WWM).

Varios son los autores que han estudiado la efectividad del método de reforzamiento con malla electrosoldada sobre muros de albañilería. Kadam *et al.* (2013) estudiaron el comportamiento en el plano de muretes de albañilería simples con refuerzo de malla electrosoldada a los que se le realizaron ensayos de compresión diagonal bajo 3 configuraciones: sin refuerzo, con refuerzo unidireccional, dejando 2 bordes libres, y con refuerzo bidireccional, con todos sus bordes reforzados. Se pudo observar fallas por deslizamiento en los muretes sin reforzamiento, mientras que en los muretes reforzados se observaron fallas por aplastamiento local y grietas diagonales, pero la estructura se mantuvo en una pieza. Se concluyó en dicho estudio que el refuerzo con malla electrosoldada otorga un aumento de 7 veces su resistencia a corte con respecto a los muretes sin refuerzo, un aumento de 24 veces la ductilidad, y se observó que los anclajes de la malla tienen efecto en los nodos de falla, generando aplastamiento en los bordes. Shermi *et al.* (2017) realizaron un estudio similar con mallas

sobrepuestas en solo 2 de sus 6 caras, para ensayar a compresión diagonal concluyendo que los muros reforzados con WWM aumentan en un orden de 4 veces su resistencia a corte en comparación a muros URM, mientras que su ductilidad aumenta en un orden de 2 a 5 veces.

Por otro lado, Padalu *et al.* (2018) estudiaron el comportamiento fuera del plano de muretes reforzados con WWM realizando ensayos a flexión con 2 puntos de carga a muretes sin y con reforzamiento de WWM con 2 distancias de espaciamiento de grilla apoyada simplemente. Se concluyó que la malla con menos distancia entre grillas restringe de mejor forma la tensión empleada y las fallas ocurrieron en dirección de la tensión, mientras que en los muretes que contaban con una malla de mayor distancia entre grilla se observó falla por flexión terminando en la ruptura de los alambres de la malla.

El objetivo principal de este estudio es determinar la variación de la resistencia y rigidez de un muro plano de albañilería simple reforzado con malla electrosoldada sometido a un esquema de cargas horizontales cíclicas aplicando en su viga de coronamiento. Los resultados serán comparados con otros 3 muros ensayados bajo las mismas condiciones, pero con diferentes tipos de reforzamiento: bandas superficiales diagonales de CFRP (EB-CFRP), cordones insertos cerca de la superficie de (NSM-CFRP) y reforzamiento mortero y malla textil (TRM).

2. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

2.1 Descripción del espécimen

Para el correcto ensayo del espécimen, se reutilizó una fundación de hormigón armado de 2700 (mm) de largo 600 (mm) de ancho y 400 (mm) de alto (ver Figura 1), el cual posee una armadura confeccionada con barras de 8 (mm) y 10 (mm) de diámetro y el hormigón utilizado fue de calidad G-25. El diseño original de la fundación incluía un surco de 2400 (mm) de largo, 160 (mm) de ancho y 100 (mm) de profundidad para la instalación de los ladrillos, pero al haber sido utilizada la fundación con anterioridad, dicho surco tenía los ladrillos de la base del muro anterior, por lo que se debió remover el material para liberar el espacio (ver Figura 2).



Figura 1: Moldaje recién hormigonado
(Fuente: Elaboración propia)

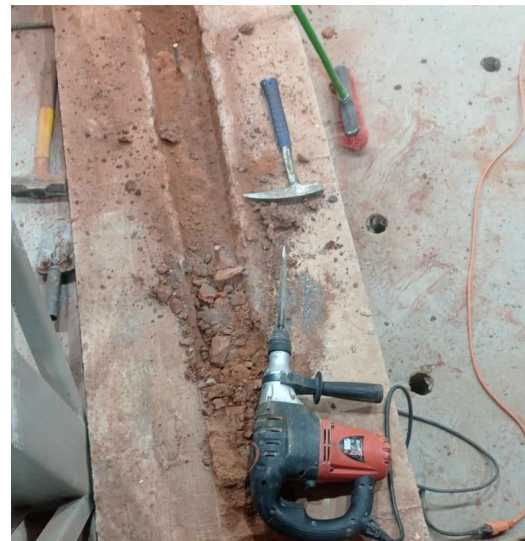


Figura 2: Limpieza surco fundación
(Fuente: Elaboración propia)

Posterior a la limpieza del surco, se realizó la instalación de 5 espigas de acero equidistantes unas de otras fijadas mediante Sika Anchorfix-1 a una profundidad de aprox 100 (mm) dejando a la vista 100 (mm). En el surco de la fundación se agregó puente adherente de junta fría Pegadur 32 Topex para mejorar la unión con el mortero de pega de la albañilería. (ver Figura 3)



Figura 3: Aplicación puente adherente en surco de fundación (Fuente: Elaboración propia)

Inmediatamente después de agregar el puente adherente al surco, se colocaron las 2 primeras corridas de ladrillos, perforando en los lugares que tocaban las espigas para luego dejar secar por un día. Esta acción permitió asegurar la adherencia entre la fundación y la base del muro de albañilería. Luego se construyó el muro, cuyas dimensiones fueron de 2400 (mm) de largo, 1800 (mm) de alto y 140 (mm) de espesor con ladrillos de tipo fiscal, macizos con dimensiones de 290 (mm) de largo, 140 (mm) de alto y 50 (mm) de espesor, disponiéndolos en forma de aparejo a soga, unido con mortero de pega predosificado de la marca Topex con una relación de agua: mortero de 3.7 L/15 Kg de mezcla seca según el fabricante.

Se implementó ganchos confeccionados con trozos de malla electrosoldada (ver Figura 4), los cuales se fueron montando entre el mortero de pega que separa los ladrillos durante la construcción de este. Estos ganchos tienen la tarea de actuar de soporte para posteriormente montar la malla al muro, y su disposición se detalla en la Figura 5.



Figura 4: Ganchos de malla electrosoldada (Fuente: Elaboración)

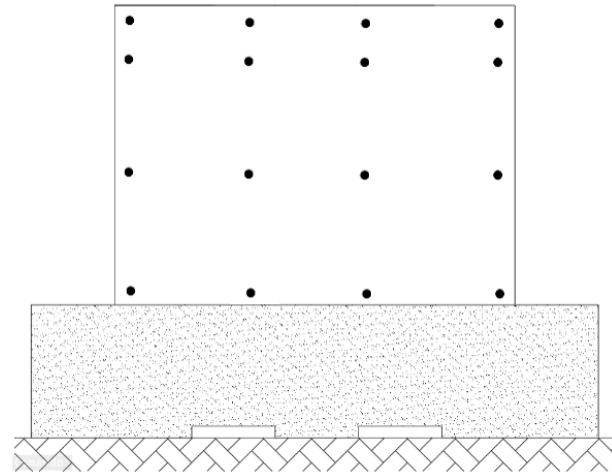


Figura 5: Disposición ganchos de malla electrosoldada para montaje de muro (Fuente: Elaboración propia)

Durante el proceso de construcción del muro, se extrajeron muestras del mortero para construir prismas de albañilería con el objetivo de caracterizar el muro. Dicho muestreo se realizó en 3 momentos de la construcción del muro, con el objetivo de extraer muestras de 3 posiciones del muro, como se ilustra en la Figura 6. Las probetas de mortero fueron fabricadas y ensayadas según lo especificado en la norma NCh2123 (2003), y los prismas de albañilería según las normas NCh167(2001) para adherencia y NCh 2123 para compresión.

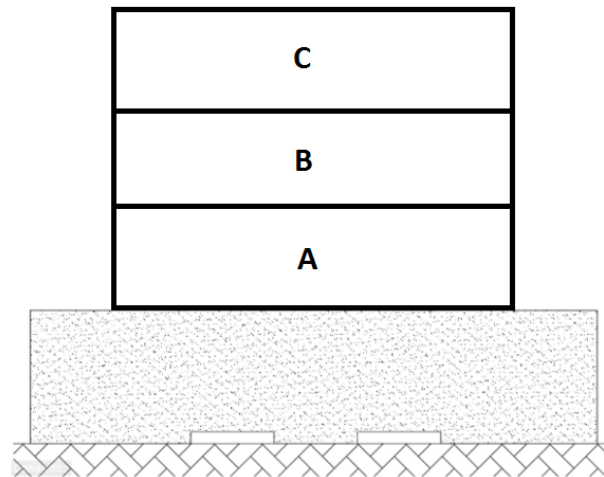


Figura 6: Distribución de muestras de mortero (Fuente: Elaboración propia)

Los ensayos de las probetas determinaron una resistencia a compresión media de 4,44 (MPa) para el mortero (ver Tabla 1), y en el caso de los prismas, una resistencia de 4,78 (MPa) a compresión, (ver Tabla 2) y en adherencia de 1,25 (MPa) (ver Tabla 3). Ambos ensayados a los 28 días a partir de su elaboración.

En el proceso de levantamiento del muro, se instalaron 5 espigas equidistantes las unas de las otras en la parte superior, los cuales indujeron una ruptura accidental en la esquina superior de los ladrillos (ver Figura 7). Afortunadamente fue un daño localizado, el cual se resolvió reforzando la zona con una tira de 250 (mm) de ancho de fibra de carbono CFRP Sika Wrap – 300C y adheridas con Sikadur-300, la cual cubre la zona afectada en ambas caras. (ver Figura 8)



Figura 7: Ruptura en esquina superior del muro debido a espiga (Fuente: Elaboración propia)



Figura 8: Esquina reforzada con CFRP (Fuente: Elaboración propia)

En la parte superior del muro se construyó una viga de hormigón armado de 2400 (mm) de largo, 200 (mm) de ancho y 240 (mm) de alto con la finalidad de transmitir de forma óptima las cargas horizontales y verticales desde el aparejo de carga al muro de albañilería, luego de eso se montó la malla electrosoldada en los ganchos y se soldó dejando 10 (mm) de separación entre el muro y la malla para posteriormente estucar con mortero con dosificación de agua/cemento/arena de 10:25:40 respectivamente y pintar de blanco. (ver Figura 9 y 10) Se obtuvieron muestras del mortero para caracterizarlo según lo especificado en la norma NCh2123 (2003) donde se obtuvo una resistencia a compresión media de 43,44 (MPa). (ver Tabla 4)



Figura 9: Proceso de estucado sobre malla electrosoldada (Fuente: Elaboración propia).



Figura 10: Muro de albañilería simple reforzado con malla electrosoldada (Fuente: Elaboración propia).

Tabla 1: Resistencia máxima a compresión de probetas extraídas del mortero de pega con dosificación de agua/cemento/arena de 3,7:20:5 respectivamente. (Fuente: Elaboración propia).

	Código	N°	Resistencia max. (MPa)
A	C_00	1	3,74
		2	3,97
	C_01	1	4,35
		2	3,94
	C_02	1	4,16
		2	4,11
B	C_03	1	4,75
		2	4,72
	C_04	1	4,55
		2	4,45
	C_05	1	4,74
		2	4,54
C	C_06	1	4,38
		2	4,86
	C_07	1	5,06
		2	4,55
	C_08	1	4,87
		2	4,18
Promedio			4,44



Tabla 2: Resistencia máxima a compresión de prismas de mortero/ladrillo con dosificación de agua/cemento/arena de 3,7:20:5 respectivamente. (Fuente: Elaboración propia).

	Código	Resistencia max (MPa)
A	C_00.	3,93
	C_00	4,70
B	C_01.	4,47
	C_01	4,84
C	C_02	5,96
Promedio		4,78

Tabla 3: Resistencia máxima a compresión de prismas de mortero/ladrillo para ensayo de adherencia con dosificación agua/cemento/arena de 3,7:20:5 respectivamente. (Fuente: Elaboración propia).

	Código	Resistencia max (MPa)
A	Ad_00.	1,33
	Ad_00	1,45
B	Ad_01	1,14
	Ad_02.	1,17
C	Ad_02	1,15
Promedio		1,25

Tabla 4: Resistencia máxima a compresión de probetas extraídas del estuco del muro con dosificación de agua/cemento/arena de 10:25:40 respectivamente. (Fuente: Elaboración propia).

Codigo	Nº	Resistencia max (MPa)
Est_00	1	40,29
	2	44,16
Est_01	1	44,62
	2	43,91
Est_02	1	43,91
	2	46,50
Est_03	1	45,57
	2	41,30
Est_04	1	43,06
	2	42,36
Est_05	1	41,69
	2	43,95
Promedio		43,44

2.2 Descripción de instrumentación y aparejo de carga

Para finalizar el montaje, se instaló sobre el muro un aparejo de carga que comprende un actuador hidráulico marca ENERPAC modelo RD2510 conectado a una celda de carga de 25 (T) y una viga de acero de color naranja el cual transmitirá las cargas, el cual a su vez está conectado a la losa de reacción mediante 4 cadenas, las cuales transmitirán una carga vertical controlada por 4 dinamómetros comprimiendo el muro. (Ver Figura 11).



Figura 11: Muro de albañilería simple reforzado con malla electrosoldada montado para ensayo con aparejo de carga (Fuente: Elaboración propia).

El actuador hidráulico fue conectado a la viga de acero y por el otro extremo a un muro de reacción mediante un soporte anclado con pernos generándose un ángulo de inclinación de 0° para la aplicación de carga horizontal. Se instalaron 4 sensores de desplazamiento, sobre el actuador, con el objetivo de medir el desplazamiento experimentado por el muro, y 2 en la base del muro, para registrar potenciales levantamientos de la base (Ver Figura 12 y 13).

Se instalaron 4 dinamómetros con capacidad de lectura de 3 (T) en las cadenas que conectan la viga de acero con la losa de reacción, lo que permitió aplicar una carga de 500 (Kg) por cadena, comprimiendo el muro en un total de 2 (T) al inicio de cada carga cíclica.

En la ejecución del ensayo se utilizó una secuencia de cargas de 3 ciclos de extensión y contracción controladas por desplazamientos de 2 (mm), los cuales se fueron incrementando en 2 (mm) para los 3 ciclos posteriores y sucesivamente (ver Figura 14) lo que se repitió hasta llegar a la falla del muro reforzado. Al terminar cada secuencia de 3 ciclos, el ensayo se detenía para analizar el muro, detectar grietas y ejecutar ensayos modales.

Adicionalmente, el espécimen se instrumentó con 12 acelerómetros distribuidos equidistantes los unos de los otros como se corresponde en la Figura 15 generando una grilla con el objetivo de captar adecuadamente formas modales traslacionales y torsionales posterior al ensayo modal.



Figura 12: LVIT Omega y LVDT ktr instalados sobre el actuador (Fuente: Elaboración propia).

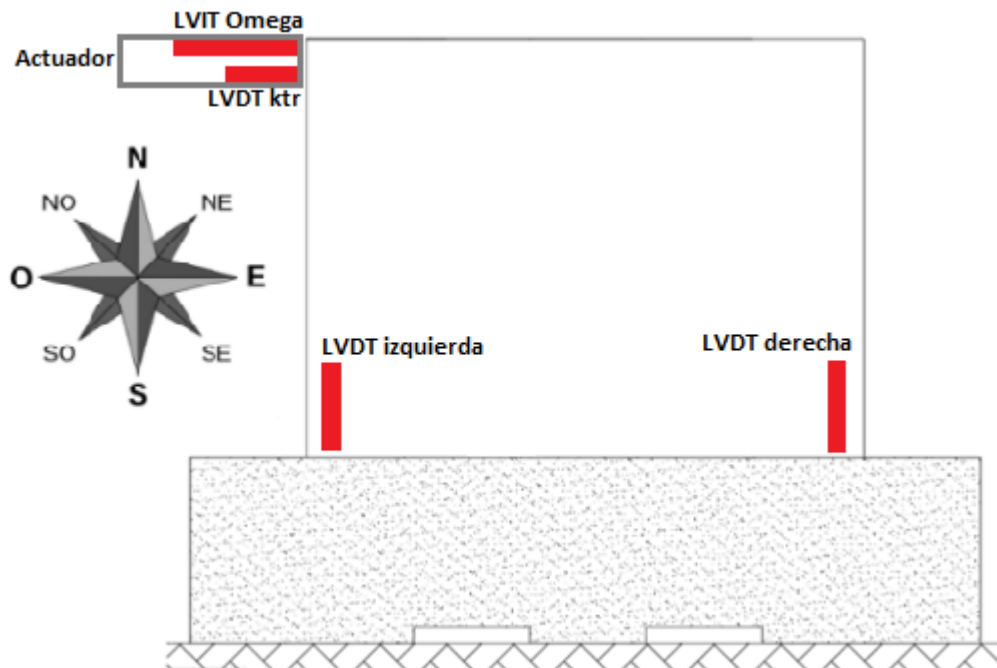


Figura 13: Disposición de sensores de desplazamiento en el espécimen (Fuente: Elaboración propia).

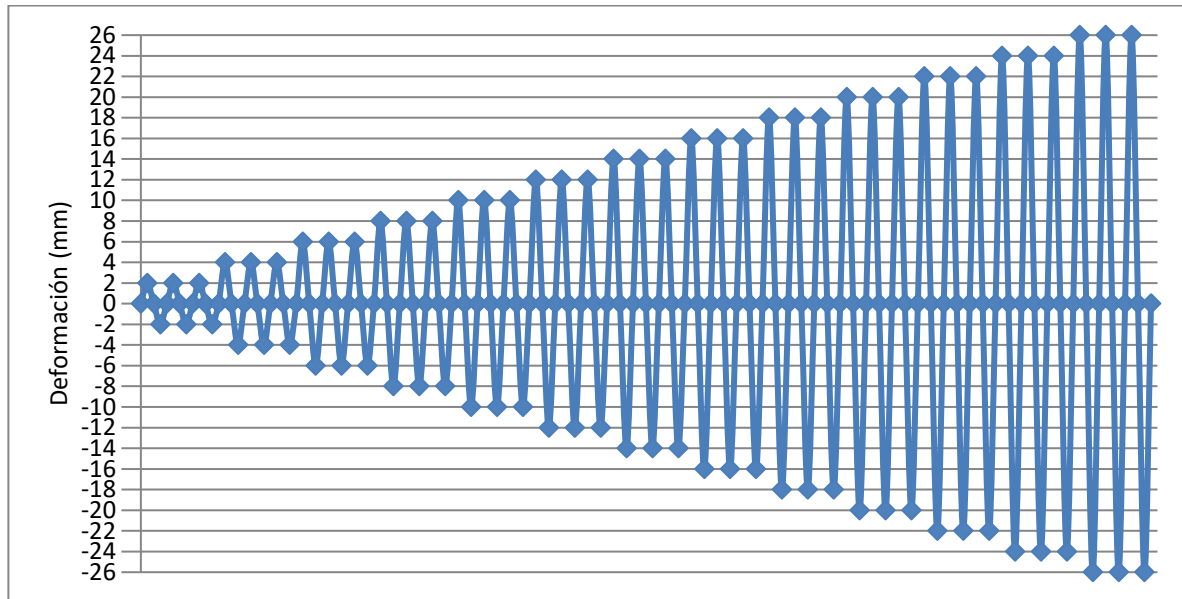


Figura 14: Secuencia de desplazamiento aplicada al muro (Fuente: Elaboración propia).

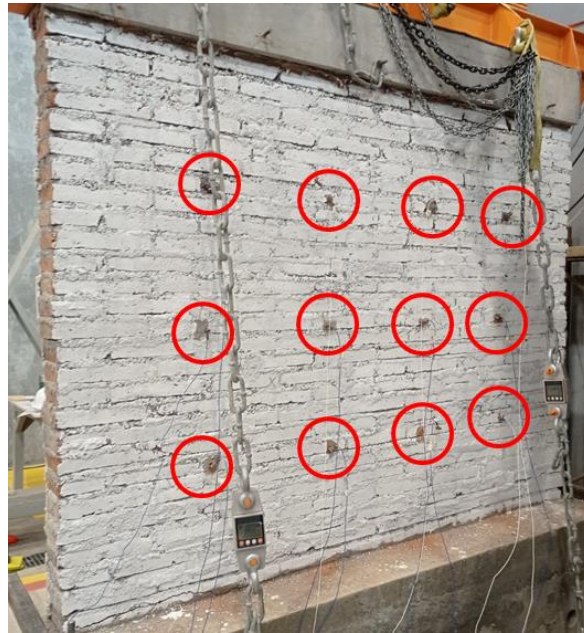


Figura 15: Distribución de acelerómetros en el muro reforzado (Fuente: Elaboración propia).



3. RESULTADOS

El ensayo comenzó con la aplicación de 3 ciclos de 2 (mm) de deformación en ambas direcciones, siguiendo la secuencia de cargas de la Figura 14. En la Figura 16, se presenta el gráfico carga/desplazamiento de la secuencia de 2 (mm), donde el valor máximo con el cilindro hidráulico en extensión es de 5,432 (T) con un desplazamiento que llegó a los 3,485 (mm). En contracción se llega a un valor máximo de 4,911 (T) en un desplazamiento de -5,496 (mm). Cabe destacar que la deformación en extensión y contracción se excedió, ya que el actuador se estaba controlando a mano, de todas formas, ambas fases se completaron sin registros de grietas en el espécimen, y sin alteraciones del estuco por encima del refuerzo. En ambos procesos el muro se comporta de forma elástica, volviendo a su posición original luego de la descarga de las cargas aplicadas posterior a cada ciclo.

Para la ejecución de la siguiente secuencia de carga, se deben ajustar las cadenas para llevar a la carga de 2000 (kg) nuevamente, ya que la ejecución del ensayo distribuye las cargas verticales de forma no homogénea, este proceso se repetirá al comienzo de cada secuencia de carga.

En la Figura 17 el valor máximo registrado en extensión es de 6,987 (T) correspondiente a un desplazamiento de 6,939 (mm). En contracción se registra un valor máximo de tensión de 4,845 (T) correspondiente a -3,858 (mm). En esta secuencia de carga tampoco se registraron grietas en el espécimen ni se ve alterado el refuerzo.

En la Figura 18 se observa como tensión máxima en extensión 5,587 (T) con un desplazamiento de 5,492 (mm). En contracción se llega a un valor de 6,614 (T) con un desplazamiento de -6,673 (mm). Durante el primer ciclo de la secuencia de extensión se pudo observar el desprendimiento por falla de adherencia en los ladrillos de la base del espécimen, llegando esta falla hasta casi un cuarto de la longitud del muro, aproximadamente 1 metro longitudinal, repitiéndose este fenómeno en la siguiente secuencia de contracción en el lado opuesto del muro. (Ver Figura 19,20 y 21)

Para la secuencia de 8 (mm), se puede observar en la Figura 22 una tensión máxima en extensión de 7,449 (T), con 9,184 (mm) de desplazamiento, mientras que en contracción de 7,926 (T), tensión dada con -8,475 (mm) de desplazamiento. En el segundo ciclo de la secuencia se pudo observar en la esquina inferior derecha, por el este del eje del espécimen, una grieta ubicada 5 (cm) encima de la falla de la base descrita en la secuencia anterior, con una longitud de aproximadamente 20 (cm). (Ver Figura 23).

En la Figura 24 se puede apreciar el valor máximo de extensión de 8,761 (T) y un desplazamiento de 11,38 (mm) mientras que en contracción se llega a un valor de 8,439 (T) y un desplazamiento de -10,17 (mm). No se observaron cambios en las fallas y grietas ya existentes, ni hubo rastro de nuevas.

En la secuencia correspondiente a 12 (mm) de deformación se registró en la Figura 25 un valor máximo en extensión de 9,04 (T) y un desplazamiento de 12,47 (mm), y en contracción un valor máximo de 10,19 (T) y un desplazamiento de -12,5 (mm). Al momento de llegar a la carga máxima se pudo apreciar que la grieta mencionada en la secuencia de 8 (mm) se unió con la falla por adherencia de la base, lo que provocó que el ladrillo de dicha esquina se desprendiera, además de algunas grietas en el estuco que recubría la malla electrosoldada, que no excedían una longitud de más de 15 (cm). (Ver Figura 26 y 27)



En la Figura 28 se puede observar el valor máximo de extensión de 10,02 (T) con un desplazamiento de 14,91 (mm) mientras que en contracción se llegó a una tensión de 10,64 (T) con un desplazamiento de -13,49 (mm). No se observaron cambios en las fallas y grietas ya existentes, ni hubo rastro de nuevas.

En la Figura 29 se observa un valor máximo de extensión de 11,05 (T) con un desplazamiento de 16,5 (mm) mientras que para contracción se obtuvo un valor máximo de 11,81 (T) con un desplazamiento de -15,42 (mm). No se observaron cambios en las fallas y grietas ya existentes, ni hubo rastro de nuevas.

En la Figura 30 correspondiente a la secuencia de 18 (mm) se observa un valor máximo de extensión de 11,92 (T) con un desplazamiento de 18,44 (mm), y en contracción de 13,08 (T) con un desplazamiento de -17,54 (mm). Para este punto, ya se hace evidente que la falla por adherencia ubicada en la base produjo que el muro se despegara completamente de la fundación, además de pequeñas evidencias de que las esquinas se comienzan a triturar, y a inducir una falla de compresión por flexión. (Ver Figura 31)

A partir de este punto se procede a los siguientes ciclos solo con extensión debido a la capacidad del actuador de 15 (T) en contracción, además se quitan los dinamómetros más cercanos al actuador, debido también a que su capacidad de lectura de 3 (T) fue sobrepasada.

En la Figura 32 se obtiene la gráfica carga/desplazamiento para la secuencia de 20 (mm) donde se puede observar un valor máximo de extensión de 12,48 (T) correspondiente a un desplazamiento de 19,84 (mm).

En la Figura 33 se observa una carga máxima en extensión de 15,19 (T) con un desplazamiento de 21,42 (mm).

Para la secuencia de 24 (mm) se observa en la Figura 34 una carga máxima en extensión de 18,31 (T) con un desplazamiento de 23,87 (mm).

Finalmente, para la secuencia de 26 (mm) se observa en la Figura 35 el valor máximo de extensión de 19,53 (T) y un desplazamiento de 26,54 (mm).

Para las 4 últimas secuencias de carga no se registraron nuevas grietas ni fallas, se pudo observar mayor apertura en la falla por adherencia de la base llegando a los 24 (mm), además en este punto se hace evidente la tendencia del muro a volcar hacia el oeste en el proceso de extensión del actuador, además de mostrar aplastamiento de dicha esquina, no se apreciaron fallas o grietas por sobre los 10 cm de la base del muro en la fundación. Se decide terminar el ensayo debido a la capacidad en extensión del actuador está siendo alcanzada, y no se evidenciaba cambio en el tipo de falla que se observa en el muro.

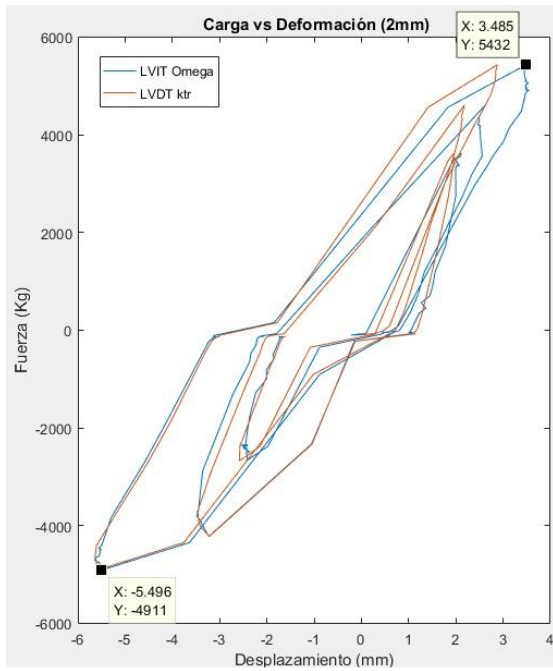


Figura 16: Fuerza v/s Desplazamiento correspondiente a la secuencia de 2 (mm)
(Fuente: Elaboración propia).

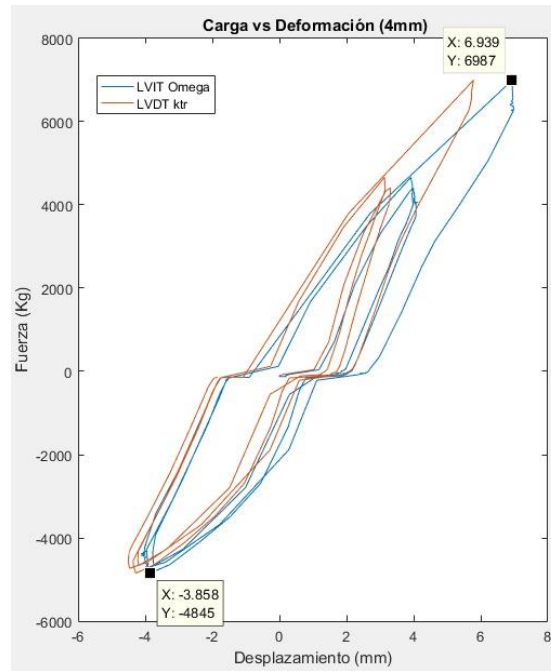


Figura 17: Fuerza v/s Desplazamiento correspondiente a la secuencia de 4 (mm)
(Fuente: Elaboración propia).

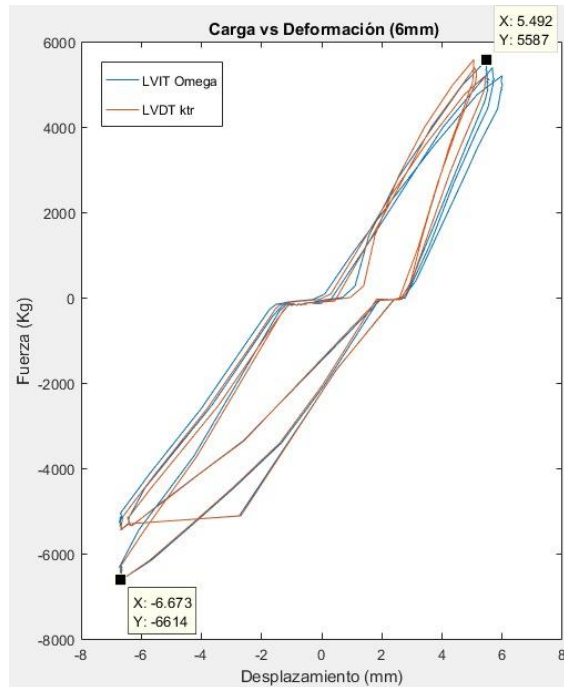


Figura 18: Fuerza v/s Desplazamiento correspondiente a la secuencia de 6 (mm)
(Fuente: Elaboración propia).



Figura 19: Grieta en junta de la base del muro registrada a los 6 (mm)
(Fuente: Elaboración propia).



Figura 20: Grieta en junta de la base en contracción a los 6 (mm) (Fuente: Elaboración propia).



Figura 21: Grieta en junta de la base en extensión a los 6 (mm) (Fuente: Elaboración propia).

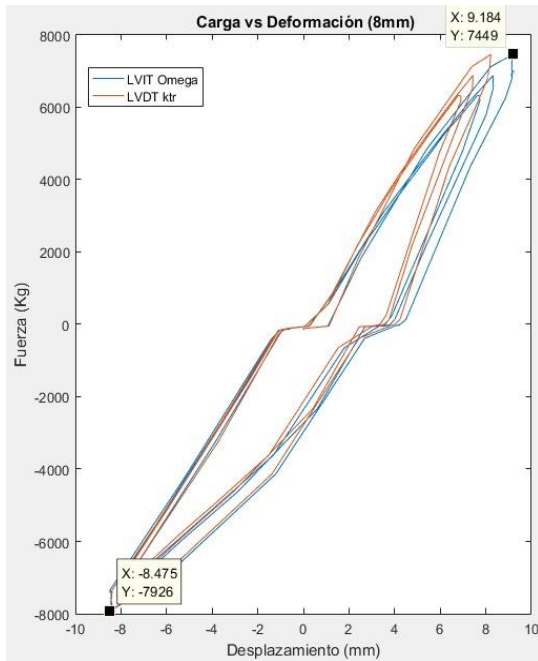


Figura 22: Fuerza v/s Desplazamiento correspondiente a la secuencia de 8 (mm) (Fuente: Elaboración propia).

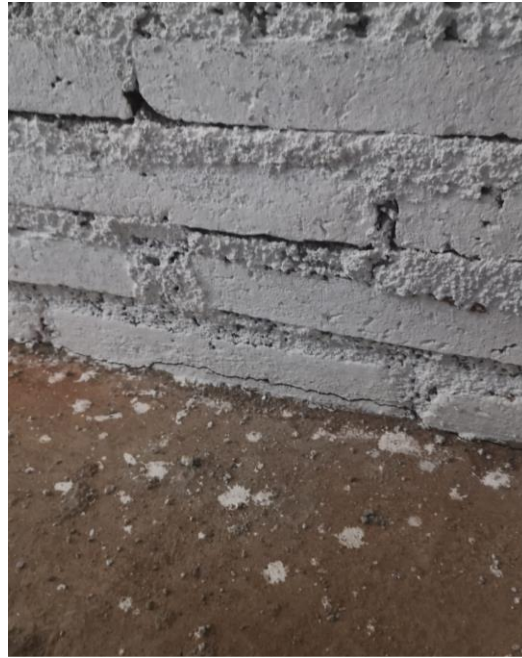


Figura 23: Grieta registrada a los 8 (mm) (Fuente: Elaboración propia).

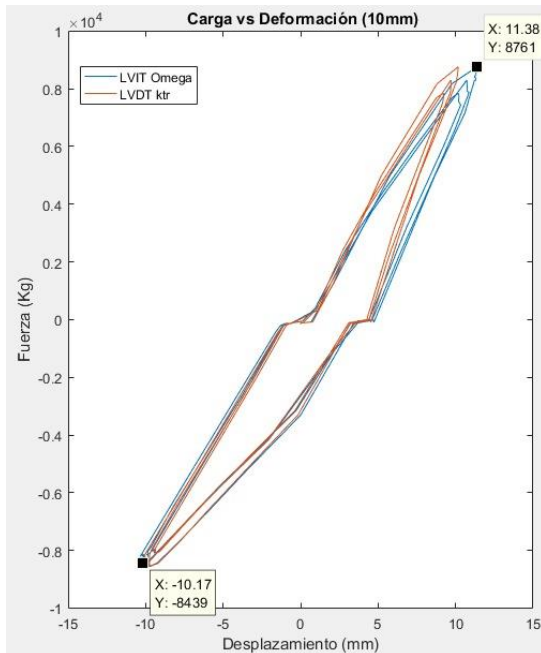


Figura 24: Fuerza v/s Desplazamiento correspondiente a la secuencia de 10 (mm) (Fuente: Elaboración propia).

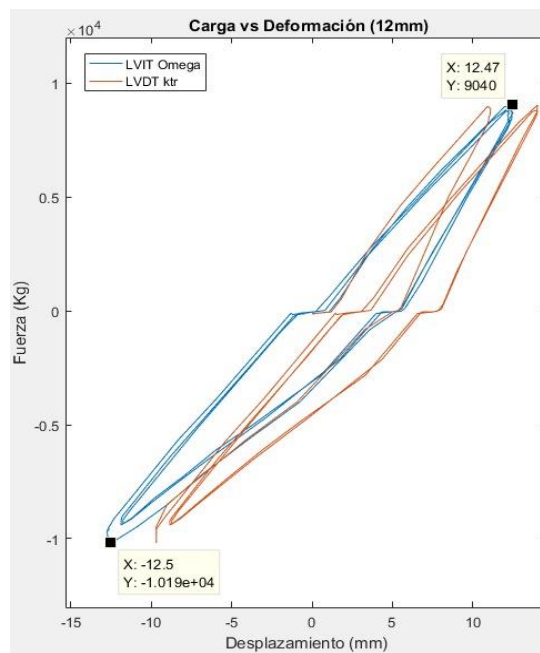


Figura 25: Fuerza v/s Desplazamiento correspondiente a la secuencia de 12 (mm) (Fuente: Elaboración propia).

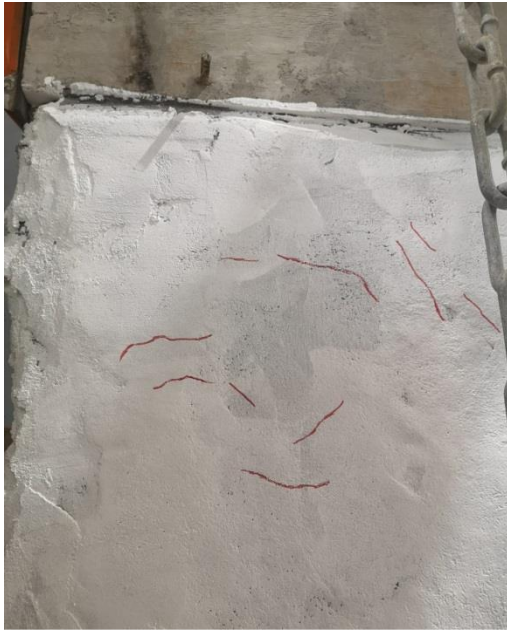


Figura 26: Grietas en zona de estuco en secuencia de 12 (mm) (Fuente: Elaboración propia).



Figura 27: Unión de grietas anteriores y desprendimiento de ladrillo en 12 (mm) (Fuente: Elaboración propia).

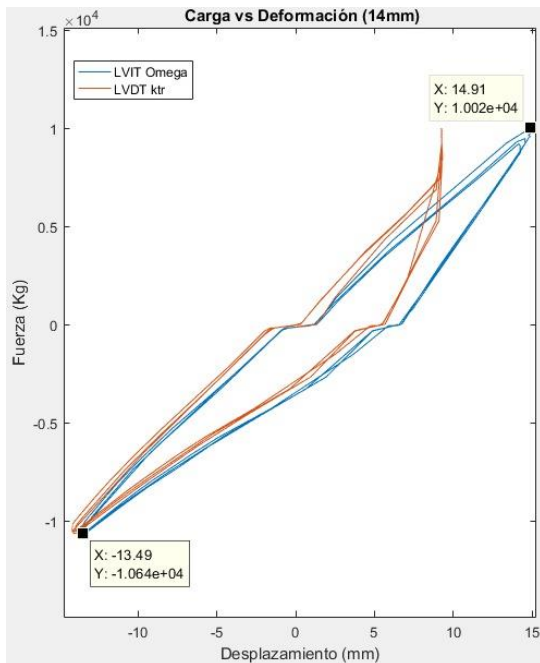


Figura 28: Fuerza v/s Desplazamiento correspondiente a la secuencia de 14 (mm) (Fuente: Elaboración propia).

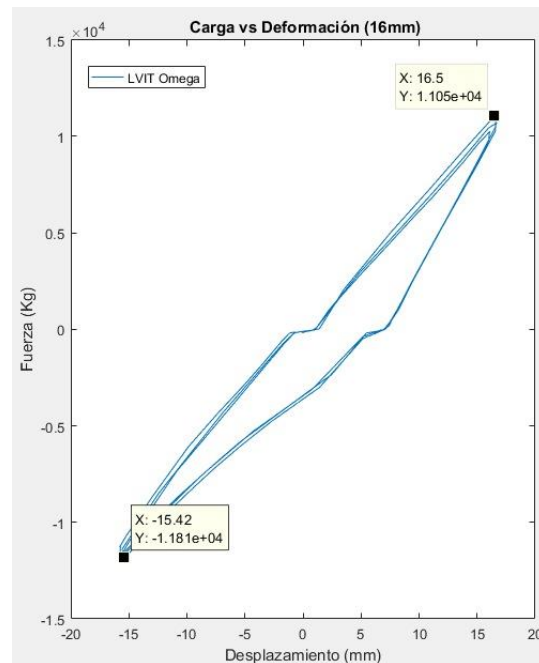


Figura 29: Fuerza v/s Desplazamiento correspondiente a la secuencia de 16 (mm) (Fuente: Elaboración propia).

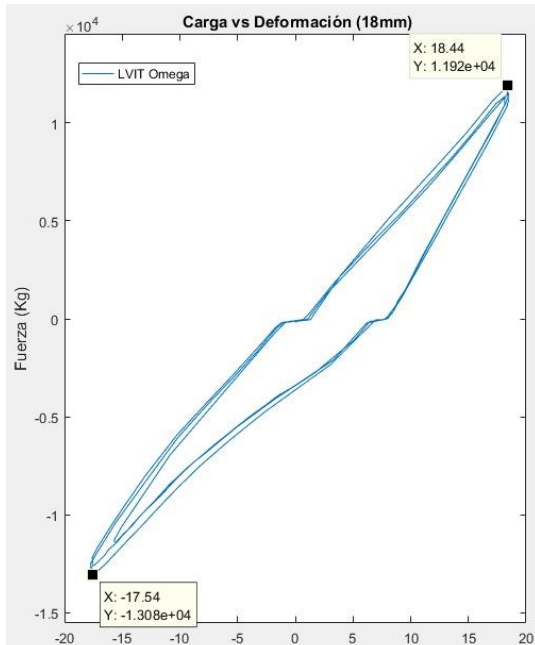


Figura 30: Fuerza v/s Desplazamiento correspondiente a la secuencia de 18 (mm) (Fuente: Elaboración propia).



Figura 31: Separación total del cuerpo del muro a los 18 (mm) (Fuente: Elaboración propia).

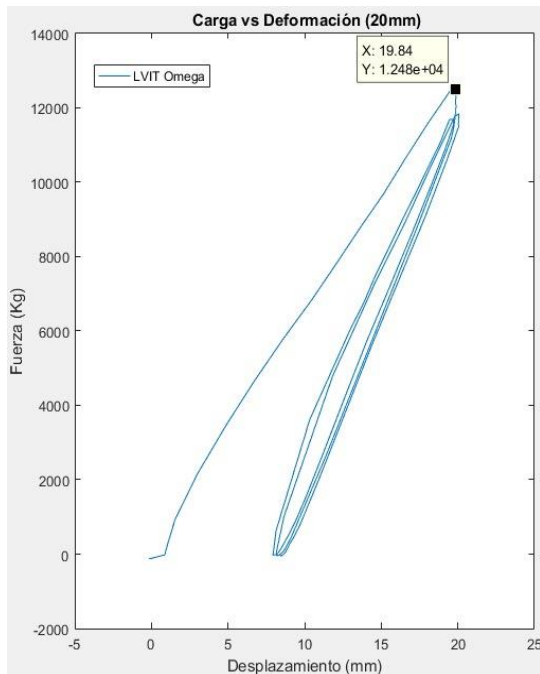


Figura 32: Fuerza v/s Desplazamiento correspondiente a la secuencia de 20(mm) (Fuente: Elaboración propia).

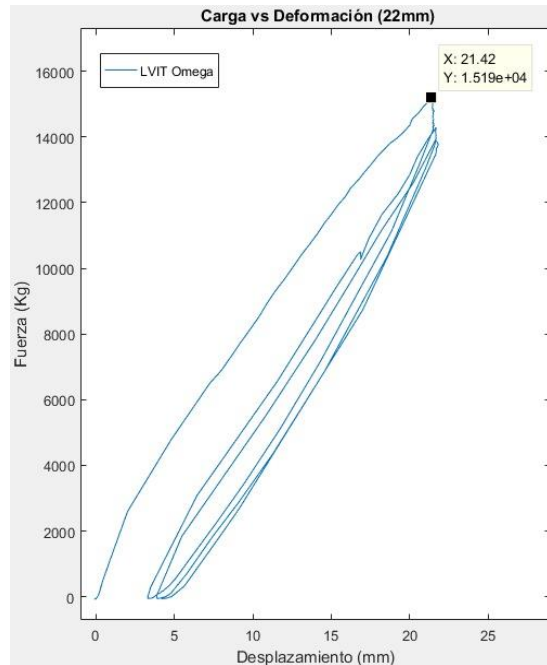


Figura 33: Fuerza v/s Desplazamiento correspondiente a la secuencia de 22 (mm) (Fuente: Elaboración propia).

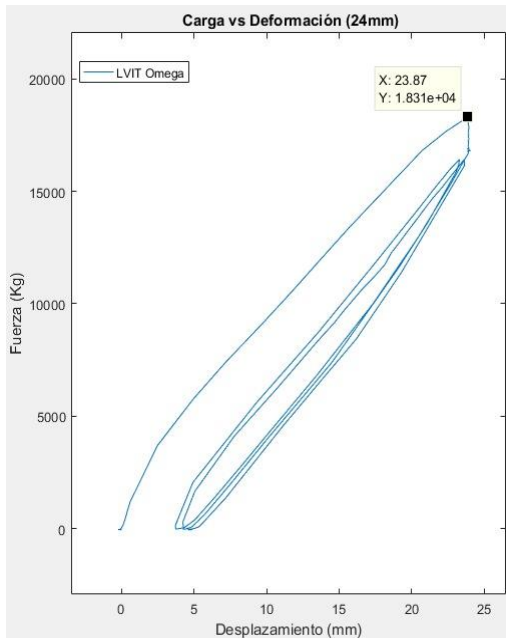


Figura 34: Fuerza v/s Desplazamiento correspondiente a la secuencia de 24 (mm) (Fuente: Elaboración propia).

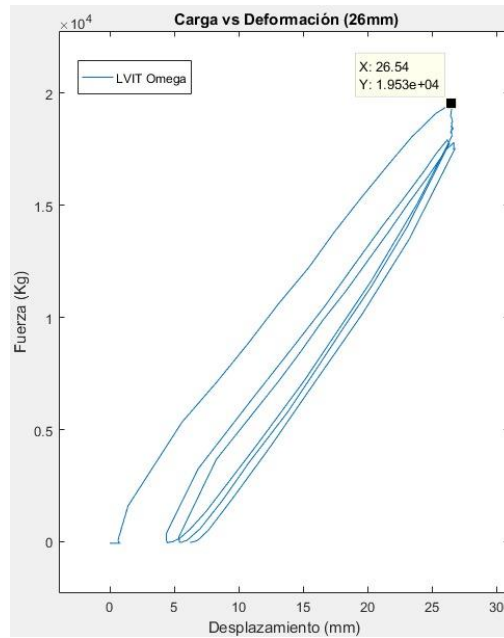


Figura 35: Fuerza v/s Desplazamiento correspondiente a la secuencia de 26 (mm) (Fuente: Elaboración propia).

Los picos máximos en extensión y contracción de cada secuencia se presentan en la Figura 36, donde se muestran los ciclos de histéresis registrados por el LVIT Omega en toda la historia del ensayo evidenciando la degradación de la resistencia y rigidez, mientras que los valores máximos alcanzados en el ensayo se presentan en la Tabla 5, con la que es posible elaborar el gráfico de la Figura 37 donde se aprecia el comportamiento general del muro durante el transcurso de las secuencias de carga, y describe el comportamiento elástico del espécimen ensayado.

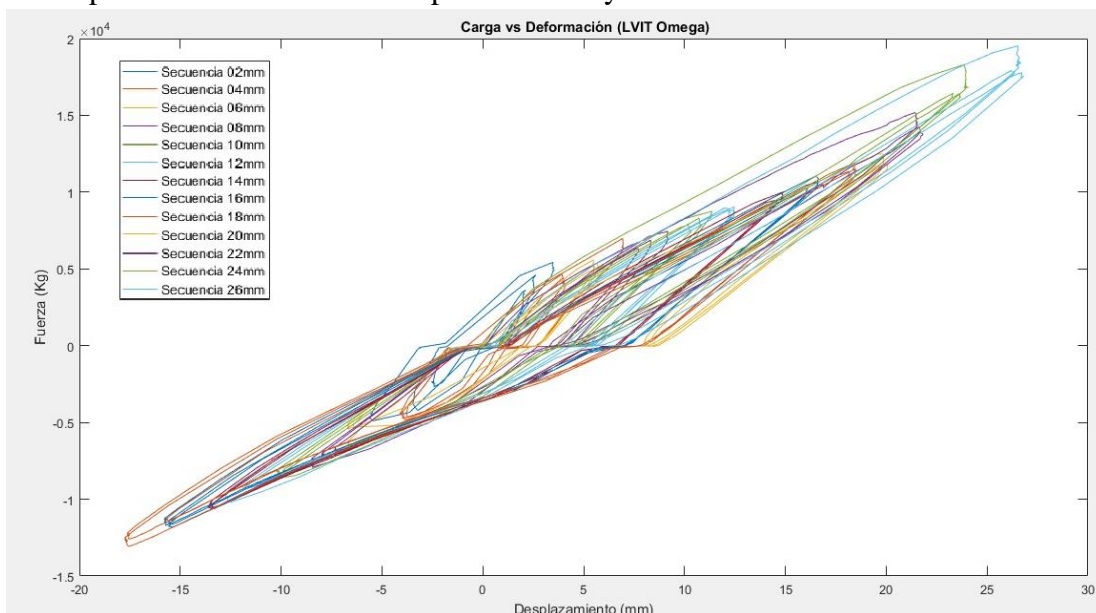


Figura 36: Gráfica Carga v/s Deformación secuencia completa LVIT Omega (Fuente: Elaboración propia).

Tabla 5: Cargas maximas y desplazamientos obtenidos en cada ciclo experimental
(Fuente: Elaboración propia).

Desplazamiento teórico (mm)	Extensión		Contracción	
	Carga máxima (Kg)	Desplazamiento experimental (mm)	Carga máxima (Kg)	Desplazamiento experimental (mm)
2	5432	3,485	4911	5,496
4	6987	6,939	4845	3,858
6	5587	5,492	6614	6,673
8	7449	9,184	7926	8,475
10	8761	11,38	8439	10,17
12	9040	12,47	10190	12,5
14	10020	14,91	10640	13,49
16	11050	16,5	11810	15,42
18	11920	18,44	13080	17,54
20	12480	19,84	-	-
22	15190	21,42	-	-
24	18310	23,87	-	-
26	19530	26,54	-	-

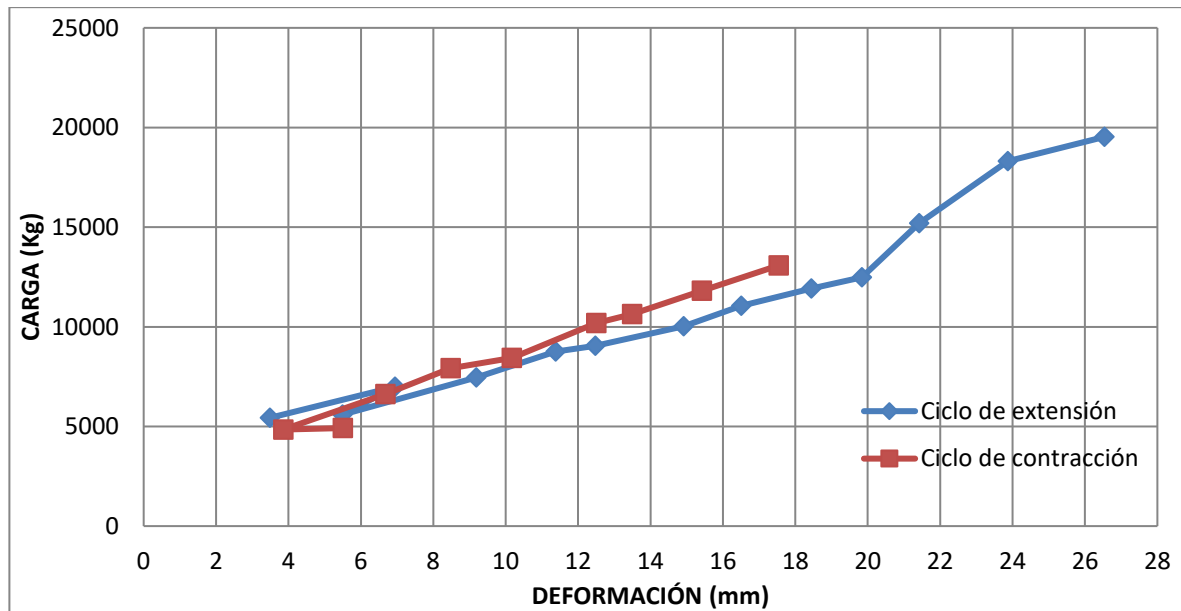


Figura 37: Gráfica Carga v/s Deformación (Fuente: Elaboración propia).

4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Analizando el comportamiento del espécimen durante las secuencias de carga, se observa que a partir de la primera grieta mostrada a los 6 (mm), se presenta el indicio de una falla por adherencia parcial en la primera fila de ladrillos donde se encuentra el muro y la fundación en el exterior del surco.

En la secuencia de carga de 12 (mm) se presenta el desprendimiento de un ladrillo en la esquina del espécimen, esto se puede deber a un aplastamiento de esta zona debido a que el muro tiende a volcarse en el plano hacia el oeste en extensión y hacia el este en contracción.

En la secuencia de carga de 18 (mm) a simple vista el muro se separa completamente de la fundación en la falla de la base, pero este fenómeno se produjo en secuencias anteriores, solo se hizo evidente en esta secuencia.

El hecho de que el paño del espécimen no haya sufrido daño significativo indica de manera preliminar que el reforzamiento fue efectivo en el sentido de prevenir una falla de tipo frágil, esto en base a estudio anteriores de Kadam et al (2013) y Shermi et al (2017) donde se ensayan muretes reforzados con malla electrosoldada junto muretes sin reforzamiento, en los cuales se presenta que es el tipo de falla más común en ensayos en el plano para muros de albañilería sin reforzamiento es la diagonal frágil.

La falla por aplastamiento que tiene lugar en las esquinas del muro se produce debido a que el cuerpo del muro se separó de la fundación, generando grandes tensiones de compresión en las esquinas del muro, donde posiblemente la mano de obra y el tipo de material empleado hayan provocado este tipo de falla.

De forma paralela a este estudio se analizó un muro reforzado mediante la técnica de TRM (Textile reinforced mortar), bajo exactamente las mismas condiciones del presente estudio en términos de ejecución, construcción y aplicación de secuencia de cargas, por lo que se puede comparar algunos valores obtenidos de las cargas de extensión y contracción junto con las deformaciones admitidas por la estructura, determinando que ambas estructuras tienen un comportamiento similar, ambas fallaron por adherencia en su base, y no presentaron grietas en el cuerpo del muro.

En la Figura 38 se observa una comparativa entre las cargas en extensión del ensayo con muro reforzado con TRM y con WWM, en las primeras secuencias de carga, desde los 2 (mm) hasta los 20 (mm) aproximadamente, se observa que el TRM tiene una mayor rigidez puesto que con mayores cargas en tracción, se deforma menos que el reforzamiento WWM.

Se puede observar también que esta tendencia cambia en las últimas 2 secuencia de carga, ya que el reforzamiento de malla electrosoldada admite una carga en extensión de 19,530 (T) mientras que el refuerzo de TRM admite una carga de 17,740 (T), ambas con una deformación de 26,5 (mm) aproximadamente, por lo que se desprende que la malla electrosoldada a cargas mayores tiene una mejor resistencia a la deformación.

En la Figura 39 se presenta la rigidez en los ciclos de extensión y contracción de los ensayos de ambos reforzamientos, para observar de forma gráfica el comportamiento de uno respecto del otro, en particular, el reforzamiento WWM presenta rigideces inferiores en el ciclo de contracción en comparación con el TRM, mientras que en extensión el comportamiento es similar, lo que se corrobora también con el comportamiento in situ de los especímenes, y su tipo de falla.

Anterior a estos 2 ensayos, se realizaron 2 ensayos más de similares características, pero con reforzamiento de CFRP (Carbon Fiber Reinforced Polymer), en específico el método EB-CFRP y NSM-CFRP. En la Figura 40 se presenta una comparativa en las rigideces de los 4 especímenes estudiados, se observa que el método EB-CFRP presenta una mayor rigidez en todo momento, al igual que NSM-CFRP, la diferencia radica en que ambos especímenes llegaron a su falla en la secuencia en que terminan los ensayos, y al fallar las tiras de CFRP, el muro presenta un comportamiento frágil, fallando diagonalmente.

Los métodos WWM y TRM llegaron hasta la secuencia de carga de 26 (mm) en una pieza, sin presentar grietas en el cuerpo del muro, y al estar estucado, se otorga una adherencia extra a las mallas, por lo que actúan como un cuerpo completo luego de separarse de la fundación, disipando la energía en las zonas no reforzadas con la malla.

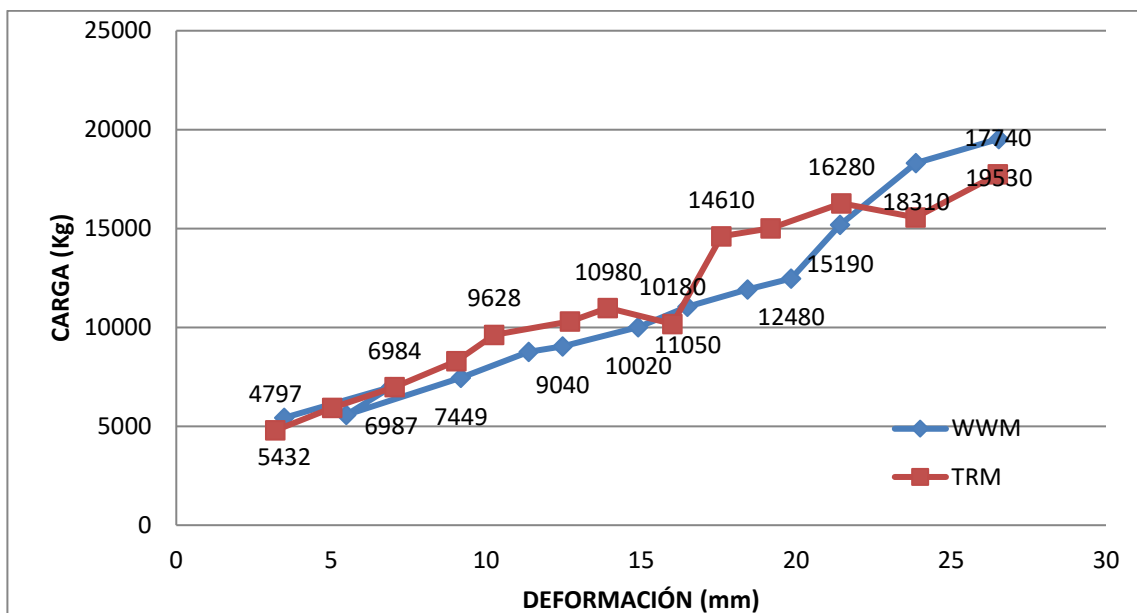


Figura 38: Grafica Carga v/s Deformación de técnicas de reforzamiento WWM y TRM (Fuente: Elaboración propia).

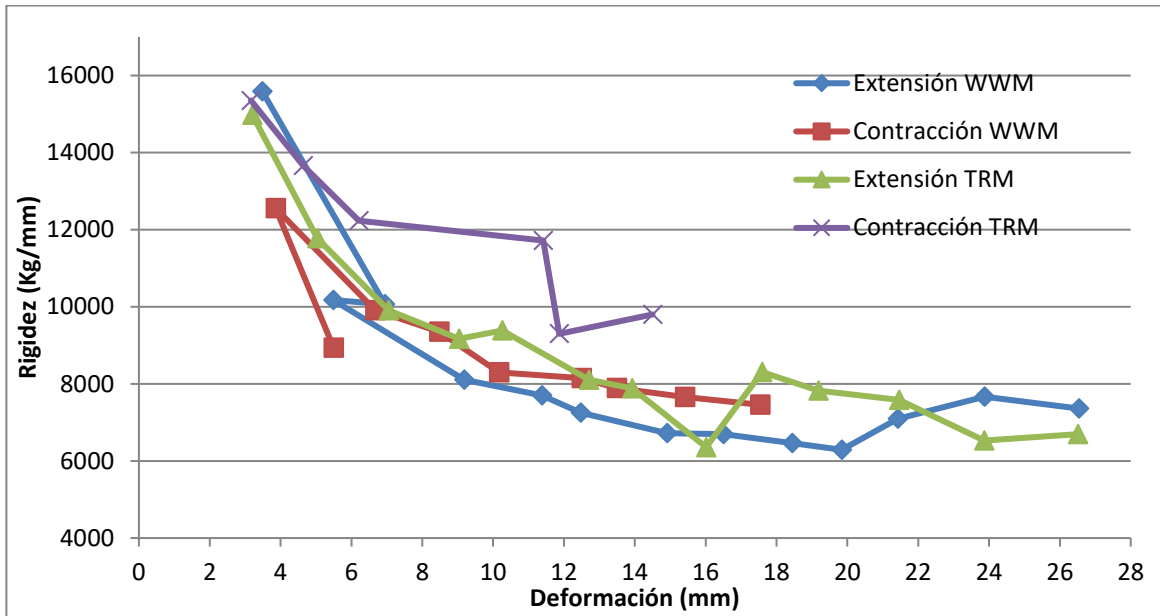


Figura 39: Grafica Rigidez v/s Deformación de técnicas de reforzamiento WWM y TRM (Fuente: Elaboración propia).

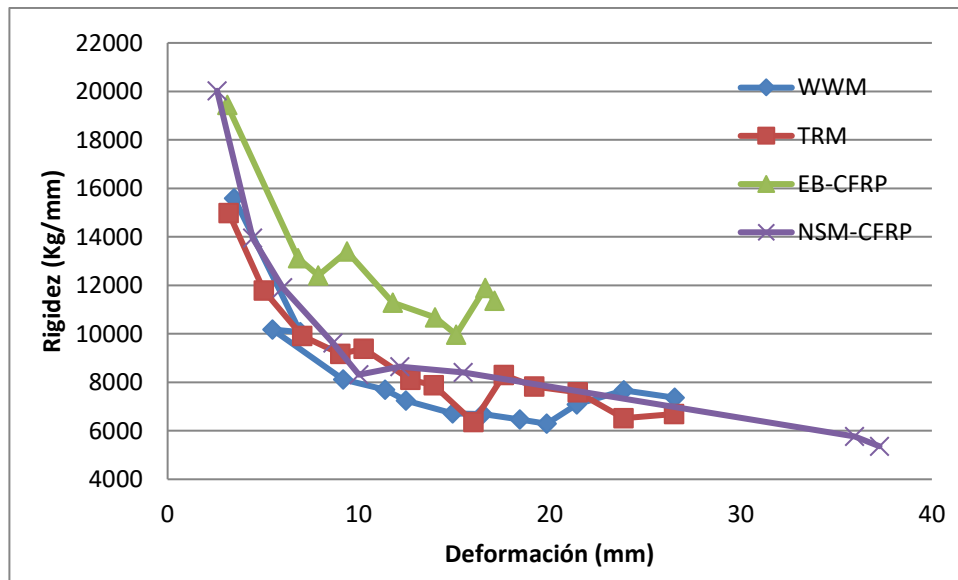


Figura 40: Grafica Rigidez v/s Deformación de técnicas de reforzamiento EB-CFRP, NSM-CFRP, WWM y TRM (Fuente: Elaboración propia).



5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El refuerzo con malla electrosoldada aporta rigidez al muro, el cual va disminuyendo progresivamente en lo que se incrementa el daño del espécimen. A pesar de la disminución de rigidez, la malla y el muro actúan como un cuerpo sólido, disipando la energía de las cargas con grietas en zonas sin el reforzamiento, el cual fue en este caso la junta de la primera fila de ladrillos.

Se recomienda que este tipo de reforzamiento sea ejecutado por personal calificado, ya que la instalación de ganchos para la malla y la conexión mediante soldadura puede ser inestable si se realiza mal, al igual que el trabajo de estucado, pues es muy importante que no queden espacios de aire entre el muro y la malla al momento de estucar.

Comparando la técnica de este informe con el estudio realizado en paralelo, se puede indicar que según los resultados se comportan de forma similar, diferenciando la facilidad de instalación del método TRM y la estética.

En cuanto al comportamiento de los muros reforzados con malla en comparación con los estudios de CFRP, el primer grupo otorga mayor rigidez a mayores tensiones, sin riesgo de falla frágil debido a que la malla está sobre estuco, a diferencia de los muros con tiras de CFRP que su capacidad depende de la capacidad de la tira de textil, puesto que si la adherencia falla el muro se comportará como si no tuviera ningún tipo de reforzamiento, fallando frágilmente.

En términos de seguridad, la falla por adherencia en la base debe tenerse en cuenta al momento de implementarse este tipo de reforzamiento, puesto que una fuerza fuera del plano podría fácilmente inducir el volcamiento, por lo que se recomienda también que el reforzamiento sea anclado en la fundación, tal como el caso del ensayo de EB-CFRP, que realizó un anclaje mecánico el cual otorgo rigidez en esa zona crítica.

6. AGRADECIMIENTOS

Esta investigación fue financiada por ANID/CONICYT en el marco del proyecto FONDECYT Iniciación 11200117. Además, se contó con el apoyo de la empresa Sika Chile quienes donaron el material para el reforzamiento de los muros ensayados.

7. REFERENCIAS

Casabonne, C., & Héctor, G. (2005). Albañilería Estructural. *Lima: Corporacion Gráfica Noceda SAC.*

Instituto Nacional de Normalización. (2003). “Albañilería confinada - Requisitos de diseño y cálculo”. Norma Chilena Oficial. NCh 2123 of 2003.

Instituto Nacional de Normalización. (2009). “Albañilería Armada - Requisitos de diseño y cálculo”. Norma Chilena Oficial. NCh 1928 of 2009.



- Alcaíno, P., Ruiz, T., & Rivera, R. (2010).** Análisis de daños y comportamiento de edificios de albañilería producto del sismo del 27 de febrero de 2010. In *Memoria Congreso Iberomet XI, X CONAMET/SAM*.
- Moroni, M. O., Astroza, M., & Acevedo, C. (2004).** Performance and seismic vulnerability of masonry housing types used in Chile. *Journal of performance of constructed facilities*, 18(3), 173-179.
- Thamboo, J., Navaratnam, S., Poologanathan, K., & Corradi, M. (2021).** Characteristics of CFRP strengthened masonry wallettes under concentric and eccentric compression. *Case Studies in Construction Materials*, 14, e00472.
- Kadam, S. B., Singh, Y., & Li, B. (2014).** Strengthening of unreinforced masonry using welded wire mesh and micro-concrete—Behaviour under in-plane action. *Construction and building materials*, 54, 247-257.
- Shermi, C., & Dubey, R. N. (2018).** In-plane behaviour of unreinforced masonry panel strengthened with welded wire mesh and mortar. *Construction and building materials*, 178, 195-203.
- Padalu, P. K. V. R., Singh, Y., & Das, S. (2018).** Experimental investigation of out-of-plane behaviour of URM wallettes strengthened using welded wire mesh. *Construction and Building Materials*, 190, 1133-1153.
- Instituto Nacional de Normalización. (2001).** “Construcción - Ladrillos cerámicos – Ensayos”. Norma Chilena Oficial. NCh 167 of 2001.