

RESEARCH ARTICLE

# Contribución De Las Grapas De Refuerzo De Mampostería De Ladrillo Artesanal

Javier Francisco Mendoza Salazar <sup>1</sup>  Lincoln Javier García Vinces <sup>2</sup> 

<sup>1</sup> Departamento de Posgrado, Universidad Técnica de Manabí, Ecuador,

<sup>2</sup> Departamento de Arquitectura y Construcciones civiles, Universidad Técnica de Manabí, Ecuador

✉ Correspondencia: javiet23@gmail.com  + 593 994438988

DOI/URL: <https://doi.org/10.53313/gwj73181>

**Resumen:** Este estudio se enfocó en evaluar la resistencia a la compresión y corte de la mampostería de ladrillo de barro cocido, utilizando grapas de acero de refuerzo como método de reparación. La investigación se realizó a través de ensayos experimentales en muretes y prismas, empleando ladrillos de producción artesanal y mortero compuesto por cemento Portland, arena y agua en proporción de 1:2:0,5. El análisis cuantitativo se centró en la contribución de las grapas a la mejora de la resistencia de la mampostería. El área de estudio fue la localidad de Colinas del Porvenir, en Montecristi, Ecuador, donde se fabricaron los ladrillos. Los resultados demostraron que las grapas de acero permiten recuperar gran parte de la capacidad estructural de las paredes afectadas por grietas, representando una solución eficiente y de fácil aplicación. Este método de reforzamiento es especialmente relevante en zonas sísmicas, donde la integridad de las construcciones de ladrillo puede verse comprometida. Se concluye que, aunque la mampostería sufre daños durante eventos sísmicos, las grapas permiten evitar el colapso y prolongar la vida útil de las estructuras. El estudio aporta una práctica alternativa para la reparación de mampostería agrietada, contribuyendo a la resiliencia de edificaciones en contextos de alto riesgo sísmico.

**Palabras claves:** Mampostería; Ladrillo Artesanal; Reforzamiento de Mampostería; Grapas de Refuerzo.

## Contribution of Artisanal Brick Mansory Reinforcement Staples

**Abstract:** This study focused on evaluating the compressive and shear strength of baked clay brick masonry, using steel reinforcing clips as a repair method. The research was carried out through experimental tests on walls and prisms, using handmade bricks and mortar composed of Portland cement, sand and water in a ratio of 1:2:0.5. The quantitative analysis focused on the contribution of the staples to the improvement of the masonry strength. The study area was the locality of Colinas del Porvenir, in Montecristi, Ecuador, where the bricks were manufactured. The results showed that steel clips allow the recovery of a large part of the structural capacity of the walls affected by cracks, representing an efficient and



Check for updates

**Cita:** Mendoza Salazar, J. F., & García Vinces, L. J. (2024). Contribución De Las Grapas De Refuerzo De Mampostería De Ladrillo Artesanal. Green World Journal, 07(03), 181.

<https://doi.org/10.53313/gwj73181>

**Received:** 30/September/2024

**Accepted:** 21/October/2024

**Published:** 22/October/2024

Prof. Carlos Mestanza-Ramón, PhD.  
Editor-in-Chief / CaMeRa Editorial  
[editor@greenworldjournal.com](mailto:editor@greenworldjournal.com)

**Editor's note:** CaMeRa remains neutral with respect to legal claims resulting from published content. The responsibility for published information rests entirely with the authors.



© 2024 CaMeRa license, Green World Journal. This article is an open access document distributed under the terms and conditions of the license.

Creative Commons Attribution (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>

easy-to-apply solution. This method of reinforcement is particularly relevant in seismic zones, where the integrity of brick constructions can be compromised. It is concluded that, although masonry is damaged during seismic events, clamps can prevent collapse and prolong the life of structures. The study provides a practical alternative for the repair of cracked masonry, contributing to the resilience of buildings in high seismic risk contexts.

**Keywords:** Masonry; Artisanal Brick; Masonry Reinforcement; Reinforcement Staples

## 1. Introducción

La mampostería ha tenido un uso fundamental durante siglos en el campo de la construcción debido a su durabilidad y disponibilidad de sus materiales, sin embargo, durante los últimos siglos se ha requerido de un análisis minucioso de este tipo de construcción con el objetivo de cumplir con las condiciones y requerimientos necesarios para su utilización, en la mampostería de ladrillo artesanal, se presentan fallas típicas debido a la influencia de tensiones diagonales como se muestra en la **Figura 1**, las cuales tienen causas variadas, entre las cuales se pueden destacar:

- a) movimientos telúricos (por lo general a 45°)
- b) asentamientos de las estructuras
- c) incremento de las cargas de las edificaciones

Para el control de este tipo de fallas se pueden aplicar varias técnicas de reforzamiento, siendo una de las alternativas el uso de grapas de acero de refuerzo, lo que supone una solución oportuna y eficiente en muros o paredes parcialmente afectados.



Figura 1: Fisuras en mampostería de ladrillo artesanal. Fuente: (Archivo personal, bloque de aula (UTM 2022)).

El terremoto del 16 de abril del 2016 provocó muchas afectaciones en la mayoría de estructuras que no cumplían con los requerimientos mínimos (normas), o que no contaban con una buena calidad de materiales, fallando la mampostería en su totalidad o incluso llegando al colapso de muros o paredes, [1] ocasionando pérdidas materiales o incluso muertes debido a la falla de dichos elementos; lo que sucede a menudo desde el diseño y la edificación de una obra ingenieril es que se realiza un tratamiento cuidadoso a elementos estructurales como columnas y vigas, sin embargo, no se presta atención a elementos no estructurales como paredes divisorias o muros de mampostería, las cuales terminan siendo las más afectadas, es por ello que el requerimiento de un

método adecuado para su tratamiento, mantenimiento y rehabilitación resulta necesario, ya que debe brindar características de resistencia estructural.

En el estudio de vulnerabilidad de escuelas en países en vías de desarrollo, se encontró que estas edificaciones se construyen con materiales poco dúctiles, con salas muy amplias y con grandes ventanas, por ejemplo, en Haití, Nepal, Mongolia e Indonesia. Estos son factores que contribuyen a la vulnerabilidad sísmica, por lo cual es importante el analizar técnicas metodológica para alcanzar la mejor disyuntiva de reparación considerando costo-beneficios, para el refuerzo de estas edificaciones. [2]

En países de la región, las edificaciones suelen estar construidas con muros de mampostería de arcilla, un ejemplo de esto es Colombia, país en el que la gran mayoría de edificaciones presentan bajas resistencias, estas edificaciones expuestas a eventos sísmicos, llegan a la falla o incluso el colapso total como consecuencia de la baja capacidad para disipar energía y su comportamiento poco dúctil. [3], las unidades de mampostería junto al espesor de las juntas de mortero inciden en el comportamiento de la mampostería no reforzada cuando esta se ve sometida a esfuerzos cortantes o eventos sísmicos, se encontró que la resistencia al corte se ve influenciada por la rugosidad de los ladrillos pues afecta a la adherencia entre la pieza y el mortero. En la mayoría de la ciudades o regiones del país no se siguen normas técnicas propias para el diseño y construcción de estructuras de mampostería. [4]

En el Ecuador, el déficit de vivienda sumado a la difícil situación económica recae en edificaciones de bajo presupuesto con materiales artesanales que hacen que las viviendas no cumplan los niveles adecuados, por lo tanto, las nuevas edificaciones deben cumplir los estándares de la NEC. [5]

Esta preocupación se fundamenta en que Ecuador es un país de alto peligro sísmico, pues durante los últimos 740 años se han registrado numerosos sismos que han devastado ciudades enteras como Ambato, Riobamba, Ibarra y más recientemente Portoviejo, Pedernales y Esmeraldas en el terremoto de 7,8 grados que ocurrió el 16 de abril del 2016, movimiento telúrico que ocasiono la destrucción de edificios y una afectación parcial en otras estructuras más, observando la influencia de la mampostería de relleno en el comportamiento inelástico en estructuras, tomando en cuenta su repuesta ante la patología atribuida a la interacción pórtico -mampostería "para ello la estructura enmarcada se diseña de forma que cumpla los requisitos NEC-SE" [6]

Las paredes de mampostería brindan rigidez en su plano a los pórticos, pero no aporta a la resistencia de la estructura, el análisis de los edificios sin y con mampostería y la patología que están sufren durante las sollicitaciones sísmicas [7]. La mampostería es un material o elemento heterogéneo muy utilizado en América Latina y el Mundo, empleándose de manera estructural, decorativa o divisoria etc. Usando está en el Ecuador como parte del sistema constructivo de edificaciones de forma común, determinando a este material como un elemento secundario en la estructura, "funcionando como cerramientos o detalles arquitectónicos, es decir, que no está diseñado para soportar cargas sísmicas". [8]

La importancia del presente estudio corresponde a que en materia de ingeniería civil a nivel estructural se presta mayor atención a elementos calificados como "principales" como son las columnas, vigas y elementos de cimentación; pero poco se considera a las paredes. La mayoría de

las técnicas de reparación y refuerzos existentes, son costosas y en la práctica se aplican a edificaciones históricas o de especial importancia, [9]

Se evidencia que las paredes de mampostería, se encuentran constituidas en los edificios con un mayor volumen en relación a edificaciones unifamiliares, ya que en edificios tienen una relación mayor al 50% y llegan a tener más afectación debido a eventos sísmicos, y a su poca flexibilidad o por asentamientos diferenciales, causando daños económicos.

Existen múltiples beneficios en la presente investigación puesto que en la contratación de obra ya sea de índole pública o privada, el constructor debe ser capaz de sostener una mínima garantía sobre la edificación, de al menos un año, por ello la aplicación de este proceso beneficia la calidad y garantía de la obra entregada, además disminuye los gastos de mantenimiento preventivo y correctivo de las edificaciones, otro de los beneficios es la capacidad de las estructuras de los elementos de pared de ofrecer mayor seguridad a sus ocupantes.

Con los antecedentes expuestos podríamos cuestionarnos ¿Cuál es la contribución a la resistencia a corte que provee el uso de grapas de acero como refuerzo en la mampostería de ladrillo artesanal? De lo cual podríamos pensar que proveer de grapas de acero en paredes de mampostería de ladrillo artesanal, proporcionara un aumento en la resistencia al corte la cual puede verse afectada por agrietamientos.

Basándonos en lo indicado en NEC-SE-DS Las deformaciones generadas por la fuerza sísmica se calcularán de acuerdo al tipo de material y estructura, esta misma no deben exceder el 1% si se quiere evitar daños en mampostería, conociendo esto sabemos que el ensayo deberá realizarse por encima de este límite, para llegar al límite de falla y determinar si las grapas aportan a la resistencia a corte [10]. Cuando la estructura está sometida a una fuerza lateral, el muro de relleno tiende a conectarse con el pórtico que lo rodea, lo que puede dar lugar a diferentes formas de fallo dentro y fuera del plano del pórtico e inclusive se puede observar un aumento en la rigidez lateral de la estructura que puede provocar un cambio significativo en su respuesta sísmica, Por lo tanto, la mampostería no debe ser ignorada en el análisis y diseño de estructuras sometidas a cargas laterales [11]. El comportamiento de un muro frente a las cargas impuestas está determinado por las propiedades físicas y mecánicas de los materiales que se emplean en su construcción y la capacidad de estos para resistir las fuerzas internas generadas.

Cuando los muros de mampostería no encuentran un adecuado confinamiento, una cantidad suficiente o detallado adecuado del refuerzo en los elementos confinantes, o no presentan ningún tipo de refuerzo, detectando 4 tipos de patrones de agrietamiento, que dan origen a fallas en los muros, que son: falla de corte por deslizamiento, falla de corte, falla de flexión, falla de aplastamiento por compresión diagonal como se observa en la Figura 2 [12]

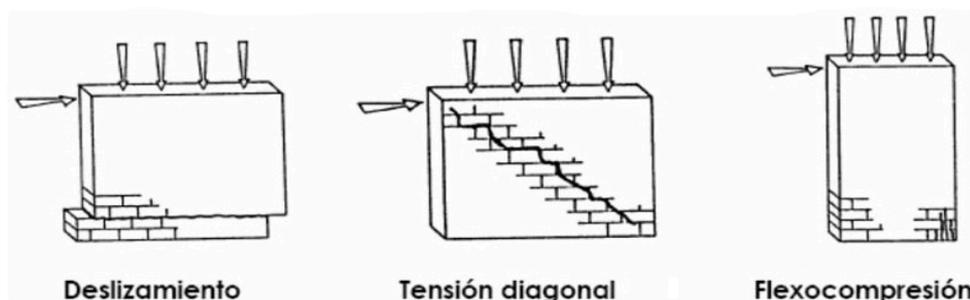


Figura 2: Revista Ingenierías Universidad de Medellín.

## 2. Materiales y métodos

### 2.1. Área de estudio

Para realizar esta investigación de carácter experimental para los ensayos de muretes y prisma, se adquirió el material ladrillo de fabricación artesanal con medida de molde de 27 cm de base altura de 11 cm y espesor de 7cm, su fabricación está ubicado en el sector de colinas del porvenir del Cantón Montecristi, propiedad de Sr Klever Quiroz, fundada en el año 2014, su ubicación georreferenciado es ( $1^{\circ}03'19.9''S-80^{\circ}38'53.3''W$ ), como se observa en la figura 3.

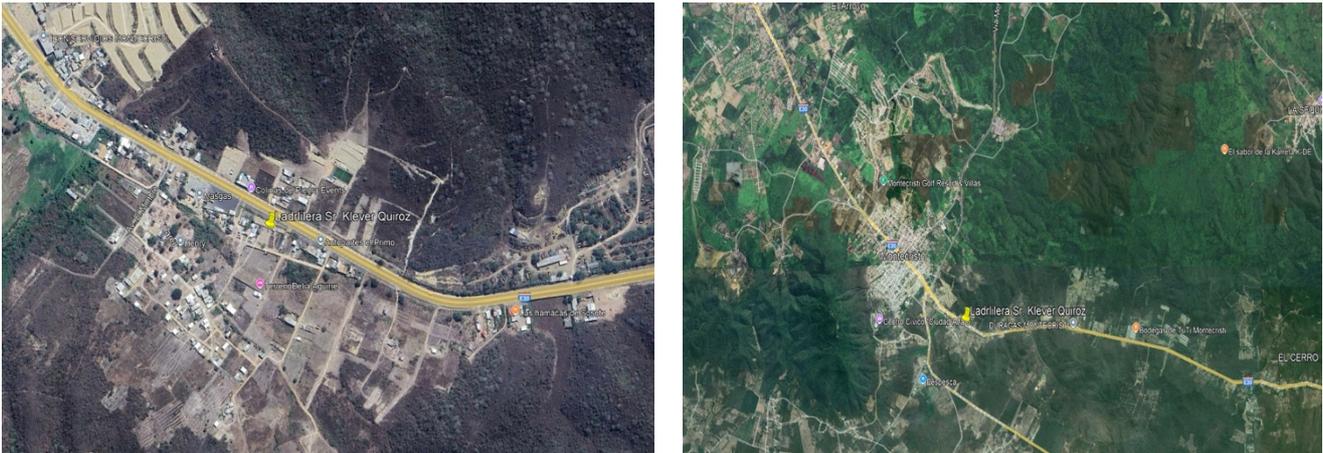


Figura 3. Ubicación geográfica.

### 2.2. Metodología

El presente estudio se realizó con el objetivo de evaluar la resistencia a compresión y corte de la mampostería de ladrillo de barro cocido reparada con grapas de acero de refuerzo, este estudio se realizó de manera experimental a través de ensayos de muretes y prismas bajo condiciones controladas, empleando ladrillos de barro cocido de producción artesanal, además de mortero de pega pala unión de las unidades de mampostería, el cual estaba compuesto de Cemento Portland, arena y agua en una dosificación correspondiente a 1:2:0,5; el enfoque será cuantitativo puesto que el análisis de los datos corresponde a aspectos totalmente medibles que sirvan para hacer una estimación real de la contribución de las grapas de refuerzo a la mampostería de ladrillo artesanal [13].

El método empleado es experimental de campo y documental con el fin de establecer criterio que nos permitan generar un muestreo esperado para relacionar el comportamiento de las grapas de refuerzos en muros o paredes parcialmente afectadas, en relación al comportamiento de las grapas de refuerzo en paredes agrietadas.

El instrumento se consolida como una ficha para establecer aspectos fundamentales a ser observados y determinados en paredes reforzadas con grapas de refuerzo con la finalidad de conocer el nivel de eficiencia de este proceso en el mejoramiento de la resistencia a la presencia de fisuras y grietas en las paredes. Cada uno de los materiales utilizados en el desarrollo de este estudio son descritos a continuación:

## Ladrillo

Los ladrillos fueron obtenidos en fábricas de producción artesanal, donde la principal materia prima es la arcilla, cada uno de estos elementos consta de una forma rectangular cocida a altas temperaturas, este material ha sido un pilar fundamental en la construcción de muchas obras ingenieriles, las dimensiones de las unidades de mampostería corresponde a 27cm x 11cm x 7cm correspondientemente a su base, altura y espesor, su sitio de fabricación es el sector ubicado en colinas del porvenir Cantón Montecristi Provincia de Manabí.

Se realizaron ensayos en los ladrillos para determinar la resistencia a compresión de estos elementos basándose en la ASTM C-67-05 correspondiente a la sección 7 [14], ensayando un total de 4 muestras, las cuales se extrajeron de las unidades de mampostería.

Para determinar la resistencia a compresión de las unidades de mampostería se calcula de la siguiente manera:

$$C = W/A$$

Donde  $C$  corresponde a la resistencia a compresión del espécimen medido en  $kg/cm^2$  o  $MPa$ ,  $W$  corresponde a la carga aplicada en  $N$  o lo que indique la maquina de ensayo, mientras que  $A$  corresponde al área neta de la sección bruta a ensayar. Los resultados de los ensayos realizados se presentan en la Tabla 1

Denominación	Dimensiones			Área $cm^2$	Carga		Esfuerzo $MPa$
	Altura	Base	Espesor		Carga Total	Carga Aplicada	
	$cm$	$cm$	$cm$		$kN$	$kN/cm^2$	
<b>1A</b>	5,5	4,9	5,0	27	7,06	26,71	2,62
<b>2A</b>	5,7	4,8	5,0	27,4	7,14	26,61	2,61
<b>3A</b>	4,5	5,7	5,0	25,7	7,86	31,25	3,06
<b>4A</b>	4,6	5,8	5,0	26,7	9,87	37,72	3,70

Tabla 1: Resultados obtenidos correspondiente a la prueba a compresión en unidades de mampostería.

## Mortero

El mortero es un material ligante compuesto por cemento portland, áridos finos y agua, mezclados en diferentes proporciones para obtener morteros de alta o baja resistencia, siendo esta mezcla comúnmente usada en funciones de pega o reparación de elementos estructurales o no estructurales.

Se realizaron ensayos para determinar la resistencia a compresión del mortero, cumpliendo la normativa establecida por la NTE INEN 488-09 [15], la cual establece parámetros para cumplir con los requerimientos generales en ensayos a 7, 14 y 28 días según su edad de ensayo en cubos de mortero de 50 mm de aristas, la cual se determina de la siguiente manera:

$$f'm = P/A$$

Donde  $f'm$  corresponde a la resistencia a compresión del mortero medido en  $MPa$ ,  $P$  corresponde a la carga aplicada por la máquina de ensayo medida generalmente en  $N$  o  $kN$ , mientras que  $A$  se refiere al área de la sección transversal del cubo sobre la cual se aplica la carga en  $mm^2$ .

## Acero de refuerzo

Certificado de calidad INEN del acero de refuerzo, como se demuestra en la figura 4.



Figura 4: certificado de calidad INEN

## Muretes

La elaboración de los muretes se la realizó tomando en cuenta especificaciones normativas ASTM C67-05, capítulo 1 y 2 [14]; ASTM E519, [16]; NTE INEN 1573, en sus apartados 4 [17] además de lo indicado en la NEC-SE-MP, Cap. 8 construcción con base en pieza de mampostería por medio de mortero que no cumplen la cuantía mínima de refuerzo establecido, Cap. 10.1 Y Cap. 10.2 [18] todo esto con el fin de obtener los mejores resultados de ensayo en laboratorio y que estos resultados sean confiables para la cantidad de muestras que se realizan.

Los muretes fueron construidos con las unidades de mampostería obtenidos del sitio de fabricación y el mortero preparado en sitio con una proporción 1:2, los cuales tienen una dimensión de 66cm x 66cm con juntas de mortero de 15 mm tanto en el sentido horizontal como vertical, como se observa en la figura 5 y 6.



Figura 5. Proceso de Elaboración de muretes y prismas.



Figura 6. Almacenaje de los muretes y prismas.

### Metodología de Ensayo

#### Construcción de Muretes para Ensayos de Resistencia a Compresión Diagonal y Procedimiento de Ensayo

Estos elementos o especímenes se deben construir guardando las mismas condiciones que tendrán los materiales durante su elaboración y aplicando la misma mano de obra empleado en su proceso, con el objetivo de que se pueda tener datos más cercanos a los que se vayan a ejecutar en planta

Según la NEC (2015) [18] los muretes de mampostería deben cumplir con ciertas condiciones, entre las que destacan la longitud de las aristas, las cuales deben tener como mínimo un total de 60 cm por cada lado, se determina el espesor de las juntas verticales y horizontal previo a su construcción, una vez concluida su proseo de elaboración, estos se deben hidratar como parte de su tratamiento de curado correspondiente, con el fin de que se generen las condiciones óptimas para las unidades de mampostería como el mortero de pega, teniendo de esta forma el mismo

procedimiento que en los prismas, siendo cubiertos durante 14 días con polietileno de baja densidad, concluido su tiempo de curado estos se someten a las condiciones normales de laboratorio previo a su ensayo en el referente de 28 días, con al menos 24 horas antes de su ensayo se deben aplicar un refrentado en las zonas de los cabezales de apoyo, con una pasta de yeso la cual no debe ser mayor que 4 mm, para la aplicación de carga los muretes deben colocarse en un ángulo de 45 grados sobre la prensa de ensayo y se debe aplicar carga de forma gradual hasta alcanzar su falla.

### Construcción de Prismas para Ensayos de Resistencia a Compresión y Procedimiento de Ensayo

Al realizarse la elaboración de un total de 4 prismas, constituidos por cinco hileras de unidades de mampostería y adheridos mediante juntas de mortero de aproximadamente 15 mm en ambos sentidos tanto vertical, como horizontal.

Concluida el proceso de construcción de los prismas se realizar el tratamiento de curado correspondiente transcurridas las 24 primeras horas desde su elaboración, asegurando las condiciones óptimas de resistencia del mortero y proporcionándole la correcta hidratación a cada uno de los elementos elaborados, posterior a su hidratación se realiza el siguiente paso de su tratamiento, se procede a cubrir cada uno de los elementos durante 14 días con polietileno de baja densidad, semanas previas a la realización de los ensayos se deben dejar descubiertos los elementos para que se sometan a las condiciones normales del laboratorio, los cuales serán ensayados cuando cumplan la edad de 28 días.

Es preciso la realización de un refrentado en las caras de apoyo de los prismas para que entre en contacto con los cabezales de carga, este refrentado se lo ejecuta con una pasta de yeso

Durante el proceso de ensayo, se limpian las placas de apoyo para evitar que algún agente externo modifique la superficie donde se va a asentar el elemento, se realiza una respectiva medición de cada una de las aristas que conformas el prisma, así como también de su base y espesor, la colocación de los transductores (LVDT) se debe realizar de manera adecuada, permitiendo que se obtengan los desplazamientos en la cara interna del prisma, para posteriormente ya chequeado las condiciones de montaje del espécimen, dar inicio al ensayo donde se aplicará carga de manera constante y de forma gradual hasta que llegue al punto de rotura.

### 2. 3. Métodos

Los ensayos de resistencia a compresión y compresión diagonal se realizaron siguiendo la norma ASTM E-519 [16] para muretes y la norma ASTM C-1314, en su capítulo 10 y 11 [19] para prismas.

#### □ Ensayos de Compresión Diagonal en Muretes

El esfuerzo a compresión diagonal se determina a partir de la siguiente formula:

$$S_s = \frac{0,707 * P}{A_n}$$

Donde:

⇒  $S_s$  = Esfuerzo de corte de la mampostería

⇒  $P$  = Carga aplicada en kN durante el ensayo

⇒  $A_n$  = Área neta expresada en  $mm^2$  de los elementos a ensayar

El área neta de la de los muretes de mampostería se calcula como:

$$A_n = \left( \frac{w + h}{2} \right) * t * n$$

Donde:

⇒  $w$  = Base del elemento expresado en mm

⇒  $h$  = Altura del elemento expresado en mm

⇒  $t$  = Espesor total del elemento expresado en mm

⇒  $n$  = porcentaje de la superficie bruta que es sólida, expresando en decimales

A partir de los valores obtenidos durante el ensayo se calcula la deformación a corte de los elementos ensayados

$$\gamma = \frac{\Delta_x + \Delta_y}{g}$$

Donde:

⇒  $\gamma$  = Deformación a corte expresada en mm/mm

⇒  $\Delta_x$  = Acortamiento del elemento en dirección paralela a la carga, expresado en mm

⇒  $\Delta_y$  = Acortamiento del elemento en la dirección perpendicular a la carga, expresado en mm

⇒  $g$  = Longitud calibrada del elemento en la dirección paralela a la carga, expresado en mm

De tal modo que se calcule el módulo de rigidez del elemento en base:

$$G = \frac{S_s}{\gamma}$$

#### □ Ensayos de Compresión en Prismas

La resistencia a compresión de la mampostería se determinará de la siguiente manera.

$$f'm = \frac{P}{A_n} * h_p/t_p$$

Donde:

- ⇒  $f'm$  = Resistencia a compresión de la mampostería.
- ⇒  $P$  = Carga aplicada en N
- ⇒  $A_n$  = Área transversal neta
- ⇒  $h_p/t_p$  = Factor de corrección de esbeltez

Se determina el área transversal neta de los prismas de la siguiente manera

$$A_n = b * t$$

Donde:

- ⇒  $A_n$  = Área transversal neta
- ⇒  $b$  = Base
- ⇒  $t$  = Espesor

Ensayos de resistencia a compresión y compresión diagonal se realizaron en el laboratorio de estructura, como se demuestra en la figura 7



Figura 7. Marco de reacciones del Laboratorio de Estructura de la Universidad Técnica de Manabí.

#### □ Cálculos de Grapas

El acero requerido para rehabilitar los muretes se calculó igualando la capacidad a corte del murete con el límite de fluencia del acero utilizado como grapas, de la siguiente manera:

$$F_y * A_s = F_m * A_m$$

$$As = Fm * \frac{Am}{Fy}$$

Donde:

- ⇒ Fy: Punto de fluencia del acero
- ⇒ As: Área total de acero
- ⇒ Fm: Esfuerzo a corte de la mampostería
- ⇒ Am: Área de la mampostería

Una vez calculado el acero requerido y elegido el diámetro de acero a utilizar, se determinó la cantidad de grapas de la siguiente manera:

$$n = \frac{As}{Av}$$

Donde:

- ⇒ n: Cantidad de grapas requeridas
- ⇒ Av: Área de la varilla escogida

Con estos cálculos se llegó a la distribución de grapas requeridas para el ensayo la cual se demuestra en la figura 8

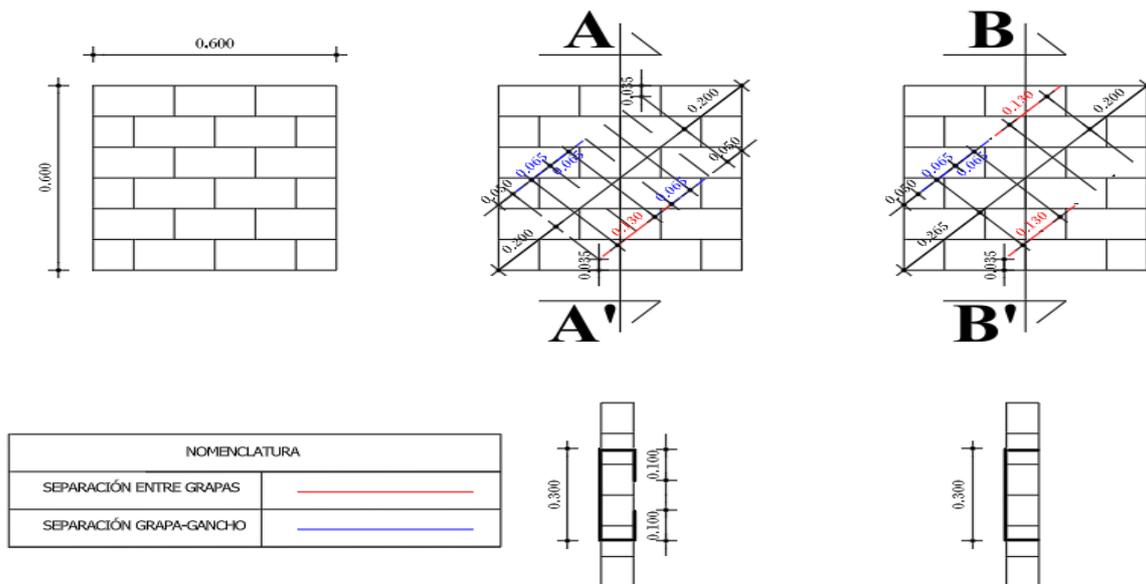


Figura 8. Configuración de grapas de reforzamiento

### 3. Resultados

Los ensayos fueron realizados en el Marco de Reacción del Laboratorio de Estructuras de la Universidad Técnica de Manabí, para analizar los resultados se ensayaron distintas configuraciones de muretes, las cuales fueron las siguientes como se demuestra en la tabla 2:

Configuración de Murete	Códigos
Ensayos de muretes sin reforzamientos	M1MC1, M7, M8, M9
Ensayos de muretes con grapas de refuerzo con anclajes	M1CA1, M2CA2, M3CA3
Ensayos de muretes con grapas de refuerzo sin anclajes sin resina	M1SASR1, M2SASR2

Ensayos de muretes con grapas de refuerzo sin anclajes con resina	M1SACR1, M2SACR2
Ensayos de muretes ensayado y reparado en sitio con grapas de refuerzo sin anclajes	M2RES1, M3RES2, M2RESCG1, M3RESCG2

Tabla 2. Configuración de muretes con su respectivo código.

### Ensayos de muretes sin reforzamientos

Para los ensayos de muretes, los cuales fueron construidos sin ninguna modificación de características, es decir sin ningún tipo de reforzamiento para obtener datos referenciales.

Se realizó los ensayos de los muretes donde contamos con 4 especímenes para determinar su capacidad de esfuerzo con su respectiva codificación, como se demuestra en la fig. 9 y 10, tab.3.



Figura 9: Ensayo de muretes sin reforzamiento

Denominación	Carga Max	Esfuerzo Max	Desplazamientos		Deformación Max	Módulo de rigidez
			Vertical	Horizontal		
	kN	MPa	mm	mm	%	MPa
<b>M1MC1</b>	65,260	0,636	0,562	1,044	0,265	239,409
<b>M7</b>	92,460	0,900	0,830	0,231	0,174	517,668
<b>M8</b>	67,370	0,656	0,452	0,669	0,185	354,078
<b>M9</b>	59,670	0,581	0,592	0,505	0,181	320,470
<b>PROMEDIO</b>	<b>71,190</b>	<b>0,693</b>			<b>0,202</b>	<b>357,906</b>

Tabla 3. Cuadro de resultados obtenidos de muretes ensayados sin reforzamiento.

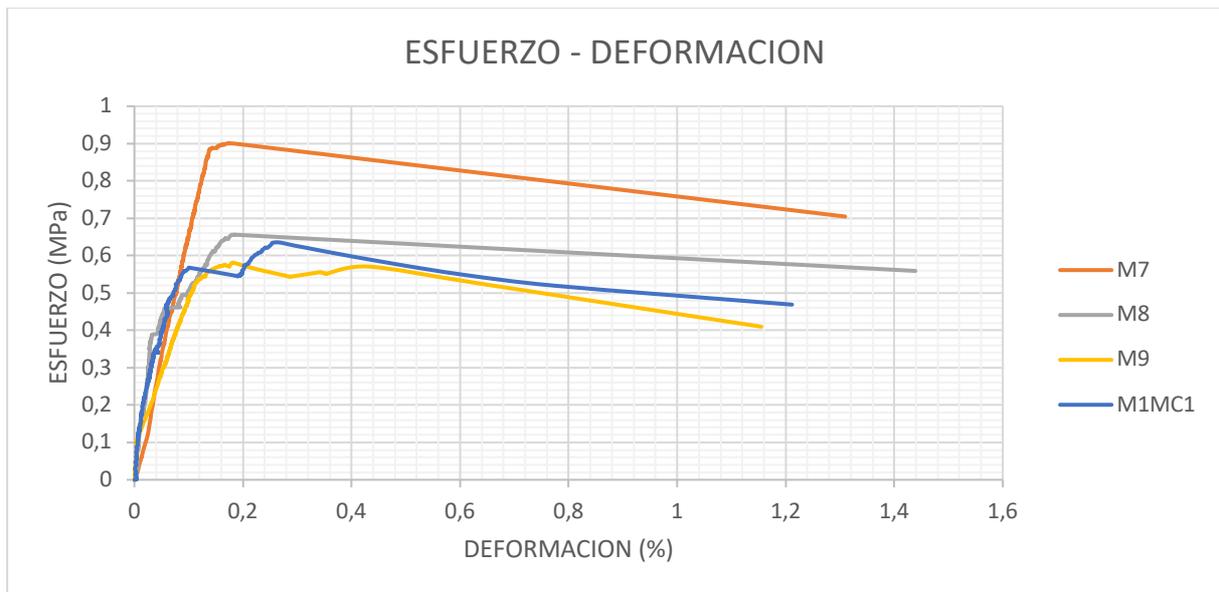


Figura 10: Gráfico Esfuerzo - Deformación de muretes sin reforzamiento

### Ensayos de muretes con grapas de refuerzo con anclajes

Se realiza los ensayos simulando una fisura a 45° en los muretes, ejecutando un corte controlado para simular dicha falla y así se procede a realizar el reforzamiento con grapa de varilla de 5.5 mm con anclaje, dicho reforzamiento se lo realizo en ambas caras del murete colocando 4 grapas por cara de 30 cm y por el espesor del murete a 90° y un anclaje de 10 cm, mediante este método de reforzamiento se procede a realizar tres ensayos dando como resultado. como se demuestra en la fig. 11 y 12, tab.4.



Figura 11: Ensayo de muretes con grapas con anclaje de reforzamiento

Denominación	Carga Max kN	Esfuerzo Max MPa	Desplazamientos		Deformación Max %	Módulo de rigidez MPa
			Vertical mm	Horizontal mm		
<b>M1CA1</b>	68,460	0,667	9,190	10,750	3,310	20,144
<b>M2CA2</b>	77,960	0,759	1,372	1,074	0,404	187,782

<b>M3CA3</b>	67,980	0,662	4,408	12,413	2,804	23,614
<b>PROMEDIO</b>	71,467	0,696			2,172	77,180

Tabla 4: Cuadro de resultados obtenidos de muretes con grapas con anclaje de reforzamiento



Figura 12: Gráfico Esfuerzo - Deformación de muretes con grapas con anclajes de reforzamiento

### Ensayos de muretes con grapas de refuerzo sin anclajes sin resina

Se realiza los ensayos simulando una fisura a  $45^{\circ}$  en los muretes, ejecutando un corte controlado para simular dicha falla y así se procede a realizar el reforzamiento con grapa de varilla de 5.5 mm sin anclaje, dicho reforzamiento se lo realizo en ambas caras del murete colocando 4 grapas por cara de 30 cm y por el espesor del murete a  $90^{\circ}$ , para estos ensayos solo se colocó las grapas únicamente, mediante este método de reforzamiento se procede a realizar dos ensayos dando como resultado, como se demuestra en la fig. 13 y 14, tab.5.



Figura 13: Ensayo de muretes con grapas sin anclaje sin resina

Denominación	Carga Max kN	Esfuerzo Max MPa	Desplazamientos		Deformación Max %	Módulo de rigidez MPa
			Vertical mm	Horizontal mm		
<b>M1SASR1</b>	75,300	0,733	4,729	11,884	2,735	26,815
<b>M2SASR2</b>	76,480	0,745	16,041	16,466	5,373	13,861
<b>PROMEDIO</b>	75,890	0,739			4,054	20,338

Tabla 5: Resultados obtenidos de los muretes con grapas, sin anclajes y sin resina.

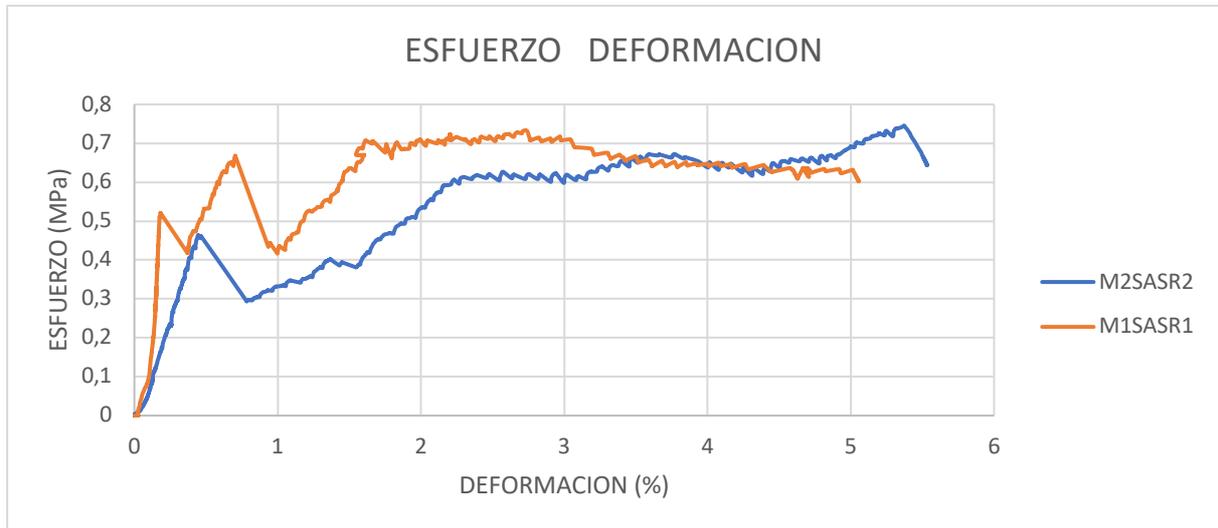


Figura 14: Gráfico esfuerzo - deformación de muretes con grapas sin anclaje sin resina de reforzamiento

### Ensayos de muretes con grapas de reforzamiento sin anclajes con resina

Se realiza los ensayos simulando una fisura a  $45^\circ$  en los muretes, ejecutando un corte controlado para simular dicha falla y así se procede a realizar el reforzamiento con grapa de varilla de 5.5 mm sin anclaje, dicho reforzamiento se lo realizo en ambas caras del murete colocando 4 grapas por cara de 30 cm y por el espesor del murete a  $90^\circ$ , para estos ensayos solo se colocó las grapas agregando resina al reforzamiento o grapa, procediendo a realizar dos ensayos dando como resultado, como se demuestra en la fig. 15 y 16, tab.6.



Figura 15: Ensayo de muretes con grapas sin anclaje con resina

Denominación	Carga Max kN	Esfuerzo Max MPa	Desplazamientos		Deformación Max %	Módulo de rigidez MPa
			Vertical mm	Horizontal mm		
<b>M1SACR1</b>	86,490	0,842	3,444	4,431	1,302	64,707
<b>M2SACR2</b>	52,180	0,508	7,915	8,879	2,776	18,306
<b>PROMEDIO</b>	69,335	0,675			2,039	41,507

Tabla 6: cuadro de especificación de muretes con grapas sin anclaje con resina

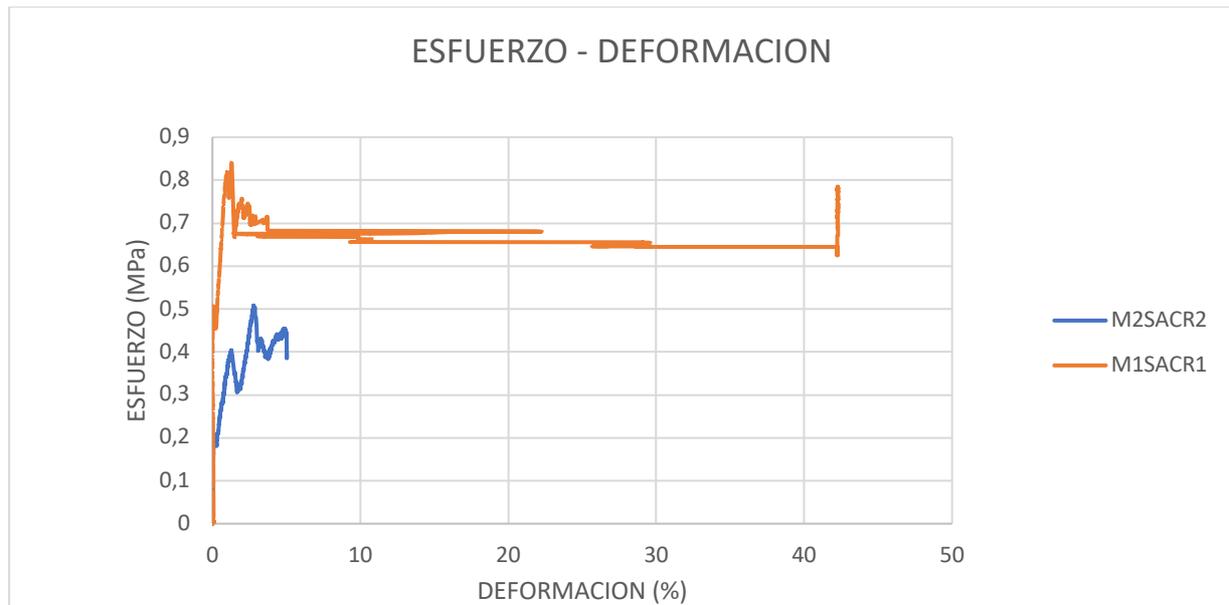


Figura 16: Gráfico esfuerzo - deformación de muretes con grapas sin anclaje con resina de reforzamiento

### Ensayos de muretes sin reforzamiento y reparado en sitio con grapas de refuerzo sin anclajes

Para estos ensayos se utilizó dos especímenes, en el cual se ejecutó los ensayos dando con una resistencia inicial de los muretes sin reforzamiento quedando practicante fisurado en su totalidad, se procede a reparar en sitio para volver a someter a cargas, mediante el reforzamiento con grapa de varilla de 5.5 mm sin anclaje, dicho reforzamiento se lo realizo en ambas caras del murete colocando 4 grapas por cara de 30 cm y por el espesor del murete a 90°, para estos ensayos solo se colocó las grapas únicamente, mediante este método de reforzamiento, se los volvió a ensayar dando los siguientes resultados, como se demuestra en la fig. 17 y 18, tab.7 Y 8.



Figura 17: Ensayo de muretes rotos en sitio y reparados con grapas

Denominación	Carga Max	Esfuerzo Max	Desplazamientos		Deformación Max	Módulo de rigidez
	kN		MPa	Vertical		
M2RES1	61,490	0,599	0,696	0,167	0,141	423,259
M3RES2	85,700	0,835	0,482	0,167	0,107	777,990
<b>PROMEDIO</b>	73,595	0,717			0,124	600,625

Tabla 7: Resultados obtenidos de los muretes rotos en sitio

Denominación	Carga Max	Esfuerzo Max	Desplazamientos		Deformación Max	Módulo de rigidez
	kN		MPa	Vertical		
M2RESCG1	78,030	0,760	7,202	6,406	2,249	33,784
M3RESCG2	62,780	0,611	7,808	2,450	1,696	36,058
<b>PROMEDIO</b>	70,405	0,686			1,972	34,921

Tabla 8: Resultados obtenidos de los muretes reparados con grapas sin anclajes.

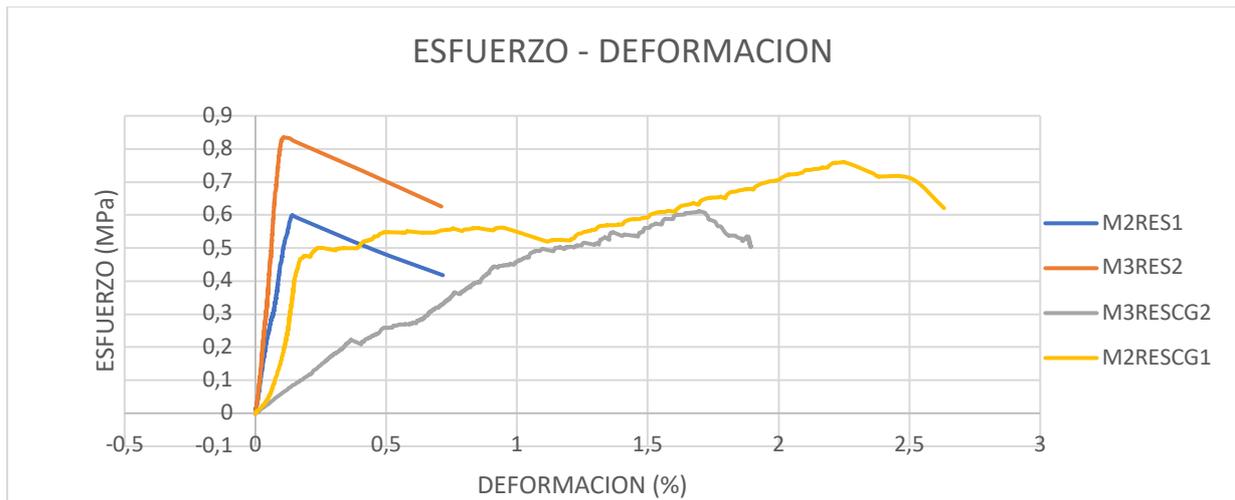


Figura 18: Gráfico esfuerzo - deformación de muretes roto en sitio y reparado con grapas

### Ensayo de prismas

Para la realización de este ensayo se utilizaron un total de 4 prismas los cuales muestran un comportamiento típico bastante similar, de los elementos ensayados se obtienen mediante el dato de carga que el prisma PM1 es el que cuenta con una mayor capacidad de soporte de carga con un valor de 97,60 kN y un esfuerzo máximo de 3,2175 MPa y una deformación elástica de 0,63% siendo uno de los elementos más rígidos de los ensayados, el prisma PM2 continua en esta serie con un valor de carga de 96,06 kN y un esfuerzo de 3,15 MPa, sin embargo respecto a su deformación esta aumento a 1,57 % cerca de 2,5 veces más en relación al primer elemento, de los elementos ensayados el que presento una menor resistencia corresponde al prisma PM3 con una carga soportada de 91,05 kN y un esfuerzo máximo de 2,99 MPa, como se demuestra en la fig. 19 y 20, tab.9.



Figura 19: Ensayo de prismas

Denominación	Carga Max	Esfuerzo Max	Desplazamiento	Deformación Max	Módulo de elasticidad
	kN	MPa	mm	%	MPa
PM1	97,960	3,218	2,607	0,636	244,156
PM2	96,060	3,155	6,463	1,576	117,379
PM3	91,050	2,991	5,884	1,435	113,076
PM4	95,490	3,136	5,981	1,459	88,222

Tabla 9: Resultados obtenidos correspondiente a los prismas ensayados

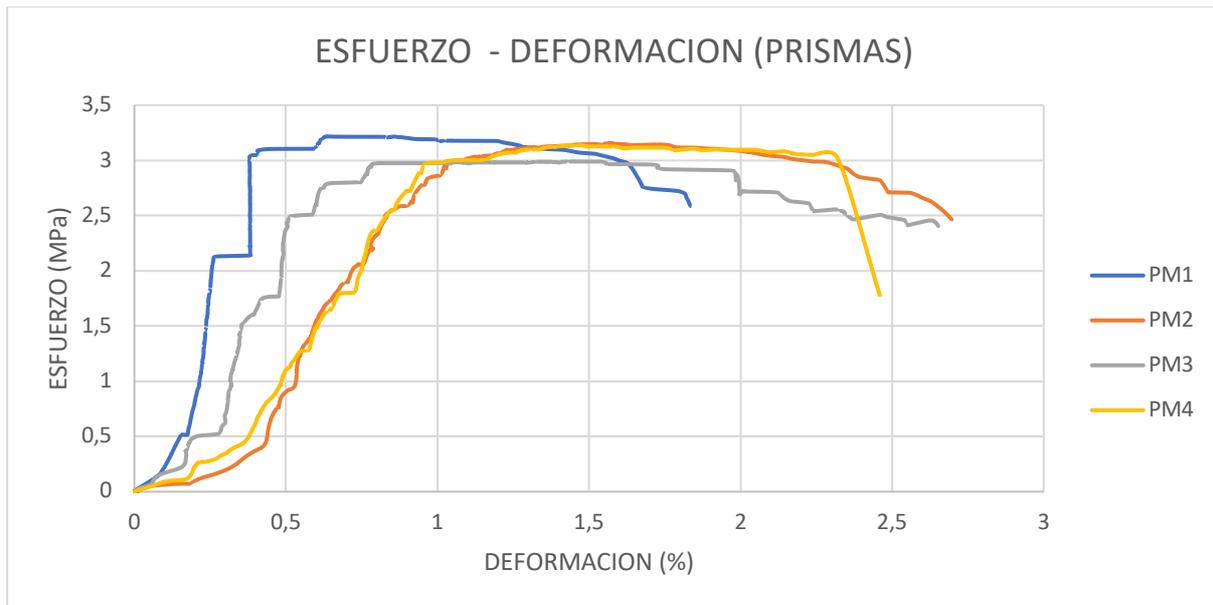


Figura 20: Gráfico esfuerzo – deformación correspondientes a los prismas ensayados

Tablas con código y grafico de ensayos unificado

En la tabla 10 y la figura 21, exponemos los ensayos de manera unificadas.

Configuración de Murete	Códigos
Ensayos de muretes sin reforzamientos	M1MC1, M7, M8, M9
Ensayos de muretes con grapas de refuerzo con anclajes	M1CA1, M2CA2, M3CA3
Ensayos de muretes con grapas de refuerzo sin anclajes sin resina	M1SASR1, M2SASR2
Ensayos de muretes con grapas de refuerzo sin anclajes con resina	M1SACR1, M2SACR2
Ensayos de muretes ensayado y reparado en sitio con grapas de refuerzo sin anclajes	M2RES1, M3RES2, M2RESCG1, M3RESCG2

Tabla 10: Códigos de elementos ensayados.

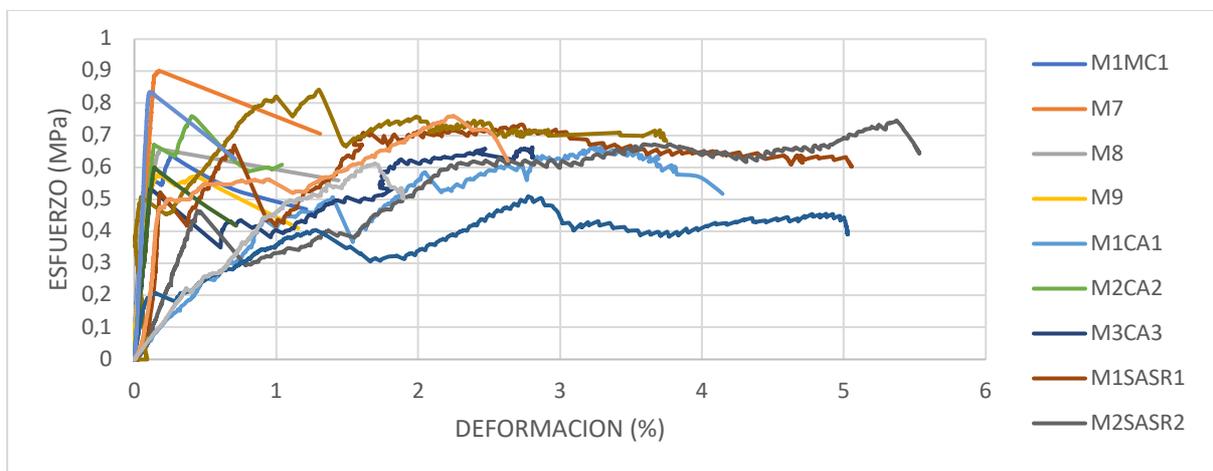


Figura 21: Gráfico esfuerzo – deformación de los elementos ensayados.

#### 4. Discusión

Los muretes ensayados sin reforzamiento muestran un comportamiento típico correspondiente a la mampostería, observados en la Tabla 3 donde los resultados obtenidos indican que se obtuvo una carga promedio de **71,19 kN** entre las muestras M1MC1, M7, M8 y M9, de las cuales el murete M7 es el que presenta una mayor carga y por ende un mayor esfuerzo, admitiendo más carga para llegar al punto de rotura, lo que implica que es un elemento más rígido en comparación a los demás elementos ensayados sin reforzamiento, con una deformación de **0,174%**, en la Figura 10 se puede apreciar las curvas esfuerzo –deformación correspondiente a los elementos sin reforzamiento.

En la Tabla 4 se presentan los resultados obtenidos de los elementos ensayados a los cuales se les agregó grapas con anclajes después de simular la falla, en los que se puede evidenciar que el elemento M2CA2 es el que presenta una mayor resistencia, mientras que la Figura 12 muestra las curvas esfuerzo – deformación que corresponde al comportamiento de los elementos ensayados, en los cuales se puede notar que las muestras M1CA1 y M3CA3 tienen una curva más prolongada determinada por varios picos de carga en los cuales por acción de las grapas el elemento aumentó su esfuerzo una vez que se llega a la fatigación del elemento de mampostería, sin embargo, la muestra M2CA2 es la que presenta un mayor esfuerzo y una menor deformación lo que sugiere una mejora notable en la forma en que trabajan las grapas formando un área de confinamiento en el lugar donde están fueron ubicadas.

La Tabla 5 presenta los resultados obtenidos de los elementos ensayados con grapas a los cuales no se les aplicó un anclaje en dirección paralela al espesor del elemento y que fueron ensayados sin resina poliéster, los resultados de carga muestran que estos elementos tuvieron un comportamiento similar a la hora de llevar a cabo el ensayo, lo que se puede evidenciar en la Figura 14 donde estos elementos tienen una curva compuesta por aumentos y descensos de carga correspondientes al funcionamiento de las grapas en el área de confinamiento donde se ubicaron, siendo el elemento M1SASR1 el que presenta un mayor esfuerzo.

La Tabla 6 muestra los resultados de los elementos ensayados con grapas a los cuales no se les aplicó resina entre sus reforzamiento el cual tenía la función de actuar como un ligante entre el acero de refuerzo y las unidades de mampostería, siendo la muestra M1SACR1 el que presenta una mayor carga, lo que genera un mayor esfuerzo, que se puede evidenciar en la Figura 16 donde este elemento tiene una mayor curvatura con relación al segundo elemento sin embargo, el uso de la resina poliéster sugiere una mayor rigidez entre las grapas y la mampostería de modo que el elemento presenta una mayor rigidez ya que el elemento consigue disminuir significativamente sus deformaciones angulares.

Los muretes ensayados en sitio y que fueron reparados con grapas sin usar anclajes presentaron resultados satisfactorios que indican que el elemento puede recuperar hasta un **90%** de la carga necesaria para llevar el elemento a la rotura, con la diferencia de que una vez implementadas las grapas el elemento admite mayores deformaciones que corresponden al funcionamiento de los elementos de acero que se usan para la reparación del mismo, la Figura 18 muestra el comportamiento de estos elementos a través de las curvas de esfuerzo deformación obtenidas del procesamiento de datos.

Con respecto al ensayo de compresión realizados a los prismas, estas muestras buenos resultados como se observa en la Tabla 9 obteniendo valores similares correspondientes a la capacidad de

carga que admite el elemento, el comportamiento de los mismos se puede observar en la Figura 20 donde el elemento denominado como PM1 es el presenta el mayor esfuerzo y la menor deformación unitaria, clasificándolo como el elemento más rígido.

## 5. Conclusión

El estudio realizado determinó que la implementación de grapas de acero como parte de un reforzamiento inmediato en elementos de mampostería funciona de manera correcta y permite que los elementos ensayados recuperen cierta capacidad de carga, además de aumentar su deformación unitaria ante la acción de carga de corte y compresión lo que resulta beneficioso a nivel constructivo para elementos donde se requiere una intervención inmediata.

Al haberse realizado los ensayos de los muretes con sus diferentes configuraciones podemos determinar las siguientes observaciones.

En todas las configuraciones de armado de los muretes que se ensayó, se pudo recuperar más del 60% de su capacidad de carga inicial, con esto se determina que las grapas cumplen su función de proveer una recuperación considerable de la capacidad de la mampostería, además de admitir mayores deformaciones a los elementos ensayados.

Los muretes modelados con grapas con anclaje posterior no presentan una mayor resistencia con relación a la configuración de grapas sin anclajes, siendo similar su capacidad de carga en comparación a las a los otros modelos de grapas, en contraparte su armado y colocado es mucho más compleja y tiene mayor costo, por lo cual no es recomendable la utilización de anclajes posteriores en los reforzamientos con grapas.

Los muretes armados con grapas con resina generan la mayor recuperación de resistencia con respecto a las otras configuraciones ensayadas siendo que utilizar la resina es beneficioso para obtener mejores resultados, además de funcionar como un sellador entre las grietas donde se aplica la resina como ligante entre la mampostería y el acero de refuerzo.

**Contribución de autores:** Todos los autores han contribuido sustancialmente al trabajo.

**Financiamiento:** Los autores financiaron a integridad el estudio.

**Conflictos de interés:** Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

## Referencias

- [1] R. Aguiar y Y. Mieles, «Análisis de los edificios que colapsaron en portoviejo durante el terremoto del 16 de abril del 2016,» Revista internacional de ingeniería de estructuras, Vols. %1 de %221,3,257–282, pp. 1–28, 2016.
- [2] J. García y D. De Leon, «Reparación óptima de escuelas con muro de mampostería y marco de concreto con daños sísmico basada en confiabilidad,» Revista de ingeniería sísmica, n<sup>o</sup> 106, pp. 45–75, 2021.

- [3] C. Vega y N. Torres, «Reforzamiento externo de muros de mampostería no reforzada mediante polímeros reforzados con fibra de carbono,» *Ingeniería E Investigación*, vol. 38, nº 3, pp. 15–23, 2018.
- [4] D. F. Paez-M, «Comportamiento de la Mampostería Bajo Esfuerzos Cortantes Debido a Efectos Sísmicos,» *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, vol. 5, nº 8, pp. 91–104, 2006.
- [5] R. Brito-Peña, D. Villa-Enderica y E. Zalamea-Leon, «Análisis comparativo de confort térmico de vivienda unifamiliar en Isf frente a mampostería,» *Ingenius. revista de ciencia y tecnología*, nº 28, pp. 100–124, 2022.
- [6] C. Medina y P. Placencia, «Reducción de la Vulnerabilidad en Estructuras Esenciales de Hormigón Armado: Hospitales, Situadas en Zonas de Alto Peligro Sísmico en el Ecuador,» *Revista Politécnica*, vol. 40, nº 1, 2017.
- [7] F. Miranda Villegas, «Análisis de Vulnerabilidad Sísmica con la Medición de Vibraciones y Reforzamiento Dinámico del Edificio de la Facultad de Contabilidad y Auditoría Bloque 2 de la Universidad Técnica de Ambato,» Ambato, 2021.
- [8] D. Paez Cornejo, «Influencia de muros de mampostería en el comportamiento de edificios de mampostería durante el terremoto de 16 abril del 2016, Pedernales-Ecuador,» *Third Annual State-of-The-Art in Civil Engineering Structure and Materials*, 2017.
- [9] H. Ramirez de Alba y B. Carreon Guardado, «REPARACION Y REFUERZO POR MEDIO DE FLEJES DE MUROS DE MAMPOSTERIA PARA VIVIENDA DE BAJO COSTOS: ESTUDIO EXPERIMENTAL,» *Revista Internacional de Desastres Naturales, Accidentes e Infraestructura Civil*, vol. 3, nº 2, pp. 1–14, 2003.
- [10] MINISTERIO DE DESARROLLO URBANO Y VIVIENDA, Norma Ecuatoriana de la Construcción-Peligro Sísmico Diseño Sismo Resistente - COD: NEC-SE-DS, Quito: Dirección de Comunicación Social, MIDUVI, 2014.
- [11] J. Jativa, I. Torres, L. Hernandez y D. Arevalo, «Estudio del Reforzamiento de Mampostería de Bloque de Hormigón Mediante Ensayos Destructivos Aplicados a Porticos de Acero con Juntas Apertadas,» *Revista Politécnica*, vol. 51, nº 2, 2023.
- [12] D. F. Paez Moreno, S. X. Parra Rojas y C. A. Montaña Gutierrez, «ALTERNATIVA ESTRUCTURAL DE REFUERZO HORIZONTAL EN MUROS DE MAMPOSTERIA,» *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, vol. 8, nº 14, pp. 51–69, 2009.
- [13] M. Gomez M, «Introducción a la metodología de la investigación científica,» Editorial Brujas, 2009.
- [14] American Association State Highway and Transportation, ASTM - C67 - 05, 2012.
- [15] Instituto Ecuatoriano de Normalización, Norma Técnica Ecuatoriana, vol. INEN 488, Quito, 2009.
- [16] A. A. S. H. a. Transportation, ASTM-E519/E519M-22, 2022.
- [17] Servicio Ecuatoriano de Normalización, Norma Técnica Ecuatoriana, vol. INEN 3153, Quito, 2020.
- [18] MINISTERIO DE DESARROLLO URBANO Y VIVIENDA, Norma Ecuatoriana de la Construcción-Mampostería Estructural - COD: NEC-SE-MP, Quito: Dirección de Comunicación Social, MIDUVI, 2014.
- [19] American Association State Highway and Transportation, ASTM - C 1314 - 07, 2012.



© 2024 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>