

# 1

*Trabajo de Investigación*

## *Resistencia A Cortante De Mampostería Reforzada Externamente Con Fibra De Yute*

*Shear Resistance Of Masonry Externally  
Reinforced With Jute Fiber*

### **Autores**

**Carlos Alfredo Cedeño Cedeño**

Ing. Civil ,MSc. Universidad Técnica de Manabí, Portoviejo, Ecuador

[ccedeno7879@utm.edu.ec](mailto:ccedeno7879@utm.edu.ec)

<https://orcid.org/0009-0001-3795-9712>

**Stalin Alcívar**

Ing. Civil , Universidad Técnica de Manabí, Portoviejo, Ecuador

[william.alcivar@utm.edu.ec](mailto:william.alcivar@utm.edu.ec)

<https://orcid.org/0000-0001-8430-0534>

# *Resistencia A Cortante De Mampostería Reforzada Externamente Con Fibra De Yute*

## **Resumen**

El presente estudio tuvo como propósito evaluar la resistencia a corte de la mampostería reforzada externamente con fibras de yute, con el fin de determinar su efectividad como técnica de refuerzo estructural en edificaciones existentes. La investigación respondió a la necesidad de contar con métodos de rehabilitación sostenibles, económicos y técnicamente viables para aumentar la seguridad de estructuras de mampostería tradicionales. Se adoptó una metodología experimental y cuantitativa, en la que se construyeron prismas y muretes utilizando ladrillos artesanales y mortero tradicional, algunos sin refuerzo y otros reforzados aplicando recubrimientos con fibra de yute de dos densidades diferentes: 82 g/m<sup>2</sup> y 105 g/m<sup>2</sup>. Los prismas se sometieron a ensayos de compresión uniaxial para determinar el comportamiento axial y el módulo de elasticidad, de acuerdo con la norma ASTM C-1314, mientras que los muretes se evaluaron mediante ensayos de compresión diagonal, siguiendo la norma ASTM E-519, con el fin de cuantificar la resistencia a corte, deformaciones y modos de falla. Se midieron las deformaciones utilizando transductores de desplazamientos (LVDTs) y además, se empleó fotogrametría para analizar deformaciones superficiales y complementar los datos obtenidos con LVDTs. Los resultados evidenciaron que el refuerzo con fibra de yute incrementa de manera significativa la resistencia a corte y la rigidez de la mampostería, además de mejorar el control de fisuras y la ductilidad en comparación con los especímenes sin refuerzo. Se observó que la densidad del refuerzo influye directamente en la magnitud de los incrementos, destacando que la fibra más densa proporcionó mayor rigidez, mientras que la de menor densidad favoreció la ductilidad y disipación de energía. En conclusión, el estudio confirma que el refuerzo externo con fibra de yute constituye una estrategia efectiva y sostenible para la rehabilitación de mampostería, y confirma la hipótesis de que la densidad y la orientación de las fibras influyen de forma sustancial en la capacidad de resistir esfuerzos cortantes.

**Palabras Clave:** albañilería, comportamiento estructural, ductilidad, mampostería reforzada, yute.

## **Abstract**

The purpose of this study was to evaluate the shear strength of masonry reinforced externally with jute fibers in order to determine its effectiveness as a structural reinforcement technique in existing buildings. The research responded to the need for sustainable, economical, and technically viable rehabilitation methods to increase the safety of traditional masonry structures. An experimental and quantitative methodology was adopted, in which prisms and low walls were constructed using handmade bricks and traditional mortar, some without reinforcement and others reinforced by applying jute fiber coatings of two different densities: 82 g/m<sup>2</sup> and 105 g/m<sup>2</sup>. The prisms were subjected to uniaxial compression tests to determine axial behavior and modulus of elasticity, in accordance with ASTM C-1314, while the low walls were evaluated using diagonal compression tests, following ASTM E-519, in order to quantify shear strength, deformations, and failure modes. Deformations were measured using displacement transducers (LVDTs) and photogrammetry was also used to analyze surface deformations and supplement the data obtained with LVDTs. The results showed that jute fiber reinforcement significantly increases the shear strength and stiffness of masonry, as well as improving crack control and ductility compared to unreinforced specimens. It was observed that the density of the reinforcement directly influences the magnitude of the increases, noting that denser fiber provided greater stiffness, while lower density fiber favored ductility and energy dissipation. In conclusion, the study confirms that external reinforcement with jute fiber is an effective and sustainable strategy for masonry rehabilitation and confirms the hypothesis that fiber density and orientation substantially influence shear resistance capacity.

**Keywords:** masonry, structural behavior, ductility, reinforced masonry, jute.

**Nota Editorial: Recibido: 1 diciembre 2025 Aceptado: 28 de enero 2026**

## 1. INTRODUCCIÓN

La construcción de edificaciones seguras y sostenibles constituye un desafío constante en el ámbito de la ingeniería civil, particularmente en regiones vulnerables a fenómenos naturales como los terremotos [1]. En este contexto, la mampostería se mantiene como uno de los sistemas más utilizados en el sector de la construcción debido a su economía y facilidad constructiva. No obstante, pese a presentar una alta resistencia a compresión, su limitada resistencia a corte compromete la estabilidad estructural bajo cargas sísmicas o de viento, lo que ha sido documentado en diversos estudios [2, 3].

Para enfrentar estas limitaciones, la investigación en ingeniería estructural ha explorado diferentes técnicas de refuerzo externo de mampostería. Estas intervenciones buscan incrementar la capacidad de carga, la ductilidad y la resistencia a corte de los muros mediante la incorporación de materiales adicionales como polímeros, fibras o mallas electrosoldadas de acero [4, 5]. Dentro de este campo, el uso de sistemas compuestos de mortero reforzado con textiles (TRM, por sus siglas en inglés) ha emergido como una alternativa eficiente y más sostenible frente a técnicas tradicionales como los polímeros reforzados con fibra (FRP) [6]. El TRM combina mortero cementicio con refuerzos textiles o mallas, y ha mostrado un buen desempeño en la mejora de la resistencia a corte y en la rehabilitación de estructuras de mampostería [7].

En la búsqueda de materiales amigables con el ambiente, el uso de fibras vegetales como refuerzo en elementos estructurales ha cobrado especial interés en la comunidad científica. Estas fibras, por ser biodegradables, renovables y de bajo costo, ofrecen ventajas frente a materiales sintéticos, aportando tanto a la sostenibilidad como a la reducción de la huella de carbono en la construcción [8]. Investigaciones recientes han mostrado que la incorporación de mallas vegetales en muros de tierra y mampostería [9, 10] incrementa de manera significativa la disipación de energía y la resistencia estructural, alcanzando mejoras de hasta un 204 % en muros de tapia y un 127 % en muros de mampostería [5].

Entre las fibras vegetales, la fibra de yute ha sido objeto de estudio por sus propiedades mecánicas favorables y su disponibilidad en mercados locales. Se trata de un material ligero, con buena resistencia específica y capacidad de adherencia al mortero, lo que lo convierte en un candidato adecuado para el refuerzo de mampostería [11, 12]. Investigaciones experimentales previas han evidenciado que su uso en TRM mejora el desempeño a corte de la mampostería y que puede ser comparable, e incluso superior, a refuerzos convencionales como las mallas metálicas [13]. Además, estudios como el de Radhika et al. [14], han desarrollado materiales biodegradables a base de fibras vegetales y resinas, alcanzando módulos de elasticidad y resistencia a la tracción adecuados para aplicaciones estructurales. Estos antecedentes refuerzan el potencial de las fibras naturales en el refuerzo de sistemas constructivos.

Numerosos estudios han explorado el uso de morteros reforzados con fibras de yute en mampostería. Por ejemplo, Farias et al. [15] investigaron morteros reforzados con fibras cortas de yute (2 % y 3 %) aplicados sobre mampostería de ladrillo hueco, observando mejoras en el comportamiento a corte mediante ensayos de compresión diagonal. En un contexto similar, Nascimento et al. [16] analizaron morteros con fibras de yute de 20 mm y 40 mm (en porcentajes del 2 % al 4 %), aplicados en revestimientos externos de prismas de ladrillo; sus resultados señalaron un aumento de hasta 6 a 9 veces en rigidez a compresión y hasta 42 veces en tenacidad a flexión, aunque con reducción en resistencia a compresión y módulo de elasticidad.

En un ámbito más integrado y sostenible, Majumder et al. [17] evaluaron sistemas NFTRM (Textile-Reinforced Mortar con fibras naturales como yute), y hallaron un aumento de más del 500 % en capacidad portante y una reducción del 36 % en transmitancia térmica, destacando su potencial para reforzar estructuralmente y mejorar el aislamiento térmico simultáneamente. Pepe et al. [18] caracterizaron sistemas TRM con bases de cal y tejidos de yute o lino, destacando su capacidad como sistemas sostenibles y reversibles de refuerzo para mampostería histórica. En un marco más amplio, un trabajo de revisión de Raouf et al. [19] se comparó TRM con fibras naturales frente a sistemas FRP, destacando que los TRM ofrecen mayor compatibilidad material, resistencia al fuego y menor impacto ambiental. Finalmente, el proyecto NaTeRM (Europa) [20] desarrolló y validó tres sistemas TRM con fibras naturales (lino, cáñamo, híbridos), aumentando la resistencia al corte hasta un 210 % y triplicando la ductilidad en pruebas piloto sobre mampostería.

En este marco, surge la necesidad de profundizar en el estudio del uso de fibras de yute como refuerzo externo de mampostería a corte, considerando tanto sus beneficios estructurales como ambientales. De manera particular, resulta pertinente evaluar cómo diferentes configuraciones de refuerzo con yute influyen en el comportamiento mecánico de los muros, comparándolos con sistemas sin reforzamiento.

Con base en lo anterior, el presente estudio se planteó como objetivo general evaluar la resistencia a corte de la mampostería reforzada externamente con fibras de yute, a fin de determinar su efectividad como técnica de mejora estructural en edificaciones existentes. De forma específica, se propuso identificar la influencia del refuerzo de yute en la respuesta a compresión uniaxial de prismas, cuantificar el efecto del refuerzo de yute en la resistencia a corte diagonal de muretes, además de caracterizar y comparar los modos de daño y las deformaciones superficiales inducidas por el refuerzo.

La importancia de esta investigación radica en su potencial de aportar soluciones prácticas, económicas y sostenibles para la rehabilitación de edificaciones en zonas sísmicas. Asimismo, pretende sentar las bases para la aplicación de fibras de yute en futuros proyectos de refuerzo estructural, contribuyendo al diseño y construcción de infraestructuras más seguras, resilientes y alineadas con los principios de sostenibilidad en la ingeniería civil.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

La metodología adoptada fue de carácter experimental y cuantitativo, dado que el estudio se centró en la observación directa y controlada del comportamiento de elementos de mampostería bajo cargas específicas. El enfoque experimental se eligió porque permitió reproducir condiciones controladas en laboratorio, aplicando cargas de compresión uniaxial y diagonal sobre prismas y muretes, con el fin de medir de manera precisa la respuesta estructural frente al refuerzo con fibras de yute. Esto incluyó la construcción de especímenes representativos de la mampostería existente, la aplicación de recubrimientos con distintas densidades de fibra, y la utilización de instrumentos de medición como celdas de carga y transductores de desplazamiento (LVDT), asegurando la repetibilidad y confiabilidad de los resultados.

Por otra parte, el enfoque cuantitativo se adoptó porque el estudio buscó obtener datos numéricos objetivos, tales como esfuerzos máximos, deformaciones, módulos de elasticidad y ductilidad, que pudieran analizarse estadísticamente para comparar los efectos del refuerzo entre distintos especímenes y condiciones. Este enfoque permitió establecer relaciones claras entre variables, evaluar diferencias significativas y generar conclusiones fundamentadas en evidencia medible, lo que aporta rigor científico al estudio.

En conjunto, la metodología experimental y cuantitativa proporcionó un control riguroso de las variables, permitió analizar el efecto de la densidad y aplicación del refuerzo, y ofreció resultados precisos que son representativos de la efectividad del refuerzo con fibra de yute como técnica de mejora estructural en mampostería existente.

Los ensayos se realizaron en los laboratorios de la Universidad Técnica de Manabí, Manabí, Ecuador, en el área destinada a pruebas estructurales, donde se dispuso de un marco de reacción adecuado para la aplicación de cargas mediante sistemas hidráulicos.

Los especímenes se construyeron con materiales de uso común en provincia de Manabí, región costa de Ecuador, y con el refuerzo de fibra de yute. El ladrillo artesanal se definió como una unidad de mampostería elaborada de manera tradicional, con cocción en hornos locales y características propias de la producción de Montecristi. Estos ladrillos se emplearon como unidades básicas en la construcción de los prismas y muretes, con una dimensión de 0,27 x 0,11 x 0,06 m tal como se observa en la figura 1. En un estudio experimental previo, se determinó que las unidades de mampostería producidas por esta ladrillera presentan un esfuerzo a compresión de 5,06 MPa [21], valor que, si bien es inferior al establecido en las normas técnicas para unidades de mampostería cerámicas estructurales, resulta representativo de la resistencia característica de los ladrillos artesanales fabricados a mano comúnmente utilizados en la provincia de Manabí, los cuales no están sujetos a procesos de normalización industrial, pero confirman su uso extendido en la práctica constructiva local.



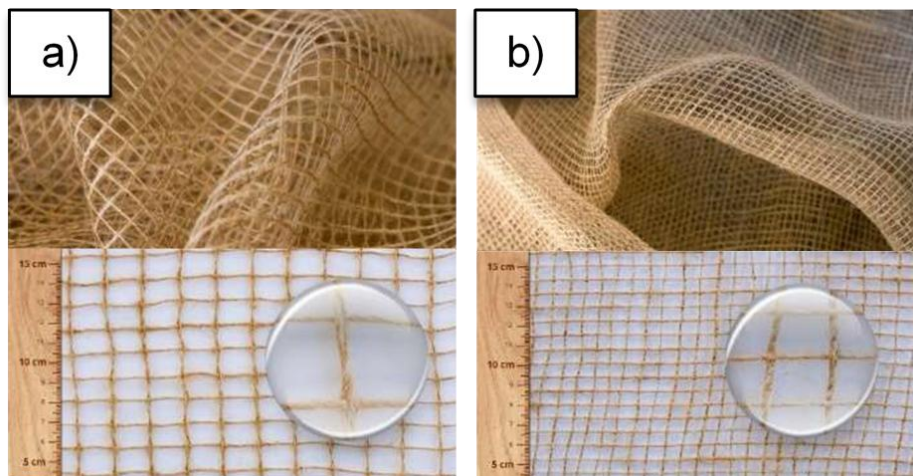
*Fig. 1- Dimensiones de ladrillo macizo*

El mortero se definió como una mezcla de cemento, arena y agua, utilizada para la unión de elementos de mampostería. En este estudio se emplearon dos tipos: el mortero para pega de ladrillos, que presentó una resistencia promedio de 14,8 MPa, valor representativo de los morteros típicos utilizados en la construcción ecuatoriana para mampostería convencional y un mortero de recubrimiento exterior, utilizado en el reforzamiento de TRM de fibras de yute, con una resistencia promedio de 20,2 MPa. Esta mayor resistencia se justifica debido a que el mortero de recubrimiento corresponde a un mortero de reparación y refuerzo, diseñado para mejorar el desempeño mecánico de la mampostería, garantizar una adecuada transferencia de esfuerzos hacia el refuerzo y proporcionar mayor rigidez y adherencia al sistema. La resistencia a compresión del mortero de pega se determinó mediante ensayos de laboratorio. Para ello se fabricaron nueve cubos de mortero, los cuales fueron ensayados a edades de 7, 14 y 28 días (tres cubos para cada edad). En el caso del mortero de refuerzo, se elaboraron seis cubos, que fueron ensayados en los mismos intervalos de tiempo (dos cubos para cada edad). Ambos morteros se prepararon y aplicaron siguiendo procedimientos constructivos convencionales, garantizando la homogeneidad de las probetas. La figura 2 muestra algunas probetas durante el ensayo.



**Fig. 2-** Rotura de cubos de mortero

En la Figura 3 se muestra la fibra de yute utilizada, la cual corresponde a un material textil natural de origen vegetal, renovable y biodegradable, ampliamente utilizado en aplicaciones industriales y de construcción por su resistencia mecánica y ligereza. Se empleó en forma de malla importada desde España, con dos variantes de densidad: 82 g/m<sup>2</sup> y 105 g/m<sup>2</sup>. Las fibras se aplicaron externamente sobre la superficie de los muretes y prismas, fijadas mediante mortero de recubrimiento. El objetivo de su uso fue evaluar el efecto de la densidad del refuerzo sobre la respuesta estructural de la mampostería frente a cargas de compresión y corte.



**Fig. 3-** a) Fibra de yute 82 g/m<sup>2</sup>; b) Fibra de yute de 105 g/m<sup>2</sup>.

Se fabricaron dos tipos de especímenes: prismas y muretes, elaborados con los materiales descritos y preparados para las diferentes configuraciones de ensayo. En la tabla 1 se muestra la nomenclatura de los especímenes.

Tabla 1- Nomenclatura de prismas y muretes

PRISMAS				MURETES			
Código de prisma	Refuerzo mortero	Fibra de yute 82g/m2	Fibra de yute 105g/m2	Código de murete	Refuerzo mortero	Fibra de yute 82 g/m2	Fibra de yute 105 g/m2
P001-SE-SF	X	X	X	M001-SE-SF	X	X	X
P002-SE-SF	X	X	X	M003-SE-SF	X	X	X
P003-CE-CF(F)	✓	✓		M004-SE-SF	X	X	X
P004-CE-CF(F)	✓	✓		M001-CE-CF(F)	✓	✓	
Código de prisma	Refuerzo mortero	Fibra de yute 82g/m2	Fibra de yute 105g/m2	Código de murete	Refuerzo mortero	Fibra de yute 82 g/m2	Fibra de yute 105 g/m2
P005-CE-CF(G)	✓		✓	M002-CE-CF(F)	✓	✓	
P006-CE-CF(G)	✓		✓	M003-CE-CF(F)	✓	✓	
				M004-CE-CF(F)	✓	✓	
				M005-CE-CF(G)	✓		✓
				M006-CE-CF(G)	✓		✓
<b>Simbología: X</b>	No se usa		✓ Se usa	M007-CE-CF(G)	✓		✓
				M008-CE-CF(G)	✓		✓

## 2.1. MÉTODOS EMPLEADOS EN ENSAYO DE COMPRESIÓN DE PRISMAS DE MAMPOSTERÍA

Los prismas fueron concebidos como modelos reducidos de mampostería conformados por 5 hiladas de ladrillos, con el propósito de analizar su desempeño bajo cargas verticales. Estos especímenes, con dimensiones de 37 cm de altura, 27 cm de base y 11 cm de espesor, se emplearon para determinar la resistencia a compresión uniaxial, trazar curvas esfuerzo-deformación y calcular el módulo de elasticidad. Se elaboraron seis unidades: dos sin recubrimiento ni refuerzo, dos con recubrimiento y yute de 82 g/m<sup>2</sup>, y dos con recubrimiento y yute de 105 g/m<sup>2</sup>.

Una vez construidos los prismas, estos pasan por un proceso de curado en el que se hidratan durante un día. Posteriormente, se cubren con una capa de plástico de polietileno durante 14 días para preservar su humedad. Luego de este período, se dejan al aire libre hasta completar los 28 días de curado. Al finalizar este tiempo, se procede a aplicar el refuerzo con fibra natural de yute, previamente tratada con resina poliéster. Antes de aplicar la fibra, se coloca una capa delgada de mortero para asegurar que la malla de fibra tratada quede firmemente adherida al prisma. Finalmente, se cubre con una capa de mortero de refuerzo, logrando un espesor de 15 mm por cara.

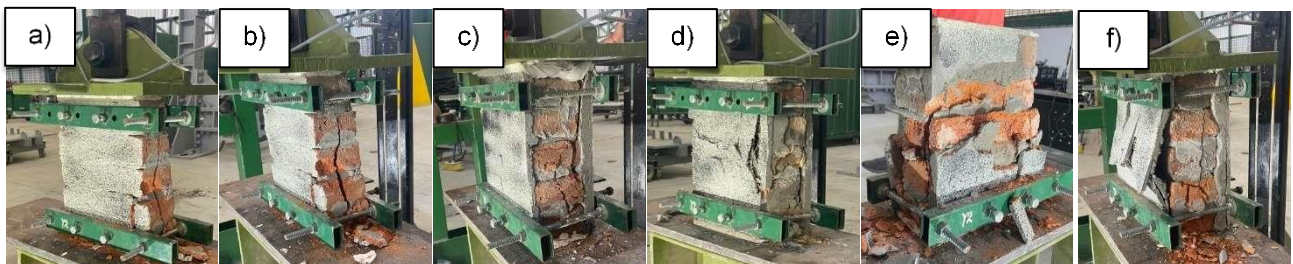
Una vez finalizado el proceso de curado, los prismas están listos para ser sometidos a ensayo. En el procedimiento de ensayo se siguieron las especificaciones de la norma ASTM C1314-22, que establece los lineamientos para determinar la resistencia a compresión de prismas de mampostería.

La figura 4 muestra el prisma colocado en el marco de reacción de 2,05 m de altura y 1,90 m de ancho, donde se sometieron a cargas verticales crecientes aplicadas mediante un actuador hidráulico de hasta 500 kN de capacidad de carga, acoplado a una celda de carga, de 300 kN de lectura de carga, donde un adquisidor de datos (GEODATALOG8) hace el registro en tiempo real de la carga aplicada y deformaciones lineales del prisma. Las deformaciones fueron registradas con transductores de desplazamiento lineal (LVDT) instalados en las caras de los prismas, con lecturas de hasta 50mm de desplazamiento, debido a la escala del espécimen. La aplicación de la carga fue mediante el uso de una bomba manual a una velocidad constante de 12 kN/min, aproximadamente, hasta la falla de los prismas.



**Fig. 4-** Prisma listo para ensayar en marco de reacción.

En la figura 5, se presentan los prismas de mampostería ya ensayados. Las figuras 5a y 5b muestran los prismas sin refuerzo. Las figuras 5c y 5d corresponden a los prismas reforzados con fibra de yute de 82 g/m<sup>2</sup>, mientras que las figuras 5e y 5f ilustran los prismas reforzados con fibra de yute de 105 g/m<sup>2</sup>. Estas imágenes permiten visualizar la falla que presentan los prismas con las distintas configuraciones, tanto sin refuerzo como con los refuerzos de diferentes densidades de fibra de yute.



**Fig. 5-** Prismas ensayados. a) P001-SE-SF, b) P002-SE-SF, c) P003-CE-CF (F), d) P004-CE-CF (F), e) P005-CE-CF (G), f) P006-CE-CF (G)

En el caso de los prismas, la resistencia a compresión de la mampostería se obtuvo aplicando la ecuación (1), que relaciona la carga máxima alcanzada en el ensayo  $P$  en Newton (N) con el área transversal neta  $A$  en milímetros cuadrados (mm<sup>2</sup>), incorporando además un coeficiente de corrección por esbeltez  $h_p/t_p$ , este factor relaciona la altura y el espesor del prisma, con el fin de considerar los efectos geométricos asociados a la altura del espécimen y evitar la sobreestimación o subestimación de la resistencia real de la mampostería. Este procedimiento permitió establecer la resistencia característica a compresión uniaxial, así como derivar curvas esfuerzo-deformación que sirven de base para el cálculo del módulo de elasticidad. Con ello se garantizó un análisis integral de las propiedades mecánicas de la mampostería, diferenciando entre el desempeño de elementos sin refuerzo y aquellos con refuerzo externo de fibras de yute.

$$f'c = \frac{P}{A} * \frac{h_p}{t_p} \quad (1)$$

## 2.2. MÉTODOS EMPLEADOS EN ENSAYO DE COMPRESIÓN DIAGONAL EN MURETES DE MAMPOSTERÍA

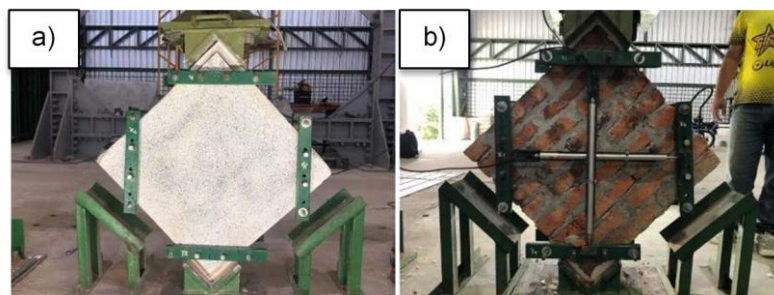
Por su parte, los muretes representaron a pequeña escala un paño de mampostería, lo que permitió estudiar de manera directa el comportamiento ante esfuerzos de corte diagonal y evaluar la influencia del refuerzo con yute. Las dimensiones de los muretes fueron 65 cm × 65 cm × 11 cm, y el objetivo principal de los ensayos fue determinar la resistencia al corte y caracterizar la respuesta mecánica frente al refuerzo externo. En total se fabricaron once muretes el número de especímenes fabricados fue superior al empleado en los prismas, debido a que el comportamiento a cortante diagonal de la mampostería constituye el eje principal del presente estudio. Adicionalmente, el ensayo de compresión diagonal presenta una mayor variabilidad experimental en comparación con los ensayos de compresión uniaxial, por lo que se consideró necesario incrementar el número de muretes ensayados, con el fin de garantizar la confiabilidad de los resultados, reducir la influencia de posibles errores asociados a la ejecución del ensayo y obtener valores representativos a partir de un mayor tamaño muestral, los especímenes fabricados se dividen en 3 tipos: tres sin recubrimiento ni refuerzo, cuatro con recubrimiento y yute de 82 g/m<sup>2</sup>, y cuatro con recubrimiento y yute de 105 g/m<sup>2</sup>. Los muretes cuentan con 9 hiladas de ladrillo tradicional, el espesor de la junta entre unidades de mampostería es de 15 mm, así mismo, el mortero de refuerzo también posee un espesor de 15 mm.

En la figura 6 se ilustra el proceso de elaboración y curado de los muretes, los cuales se sometieron a un proceso de curado durante 28 días utilizando la misma metodología que en los prismas. Una vez transcurrido el proceso de curado se aplica la fibra natural de yute en forma de malla, tal como se hizo con los prismas, primero se aplica una capa fina de mortero, se adhiere la fibra de yute y finalmente se aplica otra capa de mortero hasta alcanzar un espesor de 15 mm. Un día antes del ensayo se realizó el proceso de refrentado en los vértices de apoyo, con la finalidad de que la aplicación de la carga en los muretes sea de manera uniforme y no esté en contacto directamente con el refuerzo de la probeta. Además, como técnica de apoyo, se implementó fotogrametría para el análisis visual de deformaciones. Los especímenes fueron pintados de color blanco y sobre ellos se aplicaron patrones de puntos negros aleatorios, tal como se observa en la figura 6c. Los muretes se ensayaron bajo la norma ASTM E519.



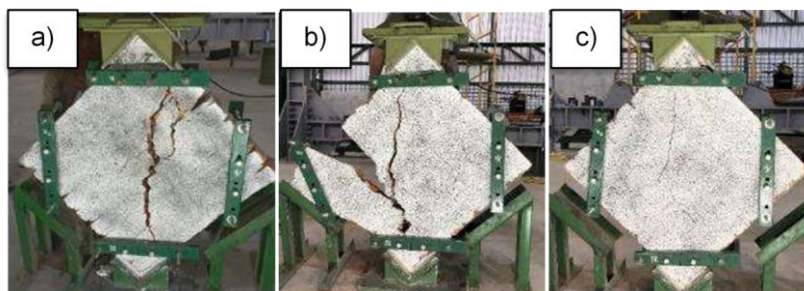
**Fig. 6-** Proceso constructivo de muretes. a) Construcción, b) Curado, c) Pintado para fotogrametría.

En la figura 7a, se observa la ubicación del murete en el marco de reacción, antes de aplicar la carga, se ubica el murete de forma diagonal sobre el cabezal inferior de manera que quede alineado con el superior del marco de reacción, una vez asegurado el espécimen se ubican los LVDT en ambas direcciones tal como se muestra en la figura 7b. Posterior a esto, se preparó la cámara que captaría las imágenes para la fotogrametría a una distancia de 1 m alejada del murete, dicho dispositivo fotográfico que sería capaz de tomar fotografías cada 2 segundos.

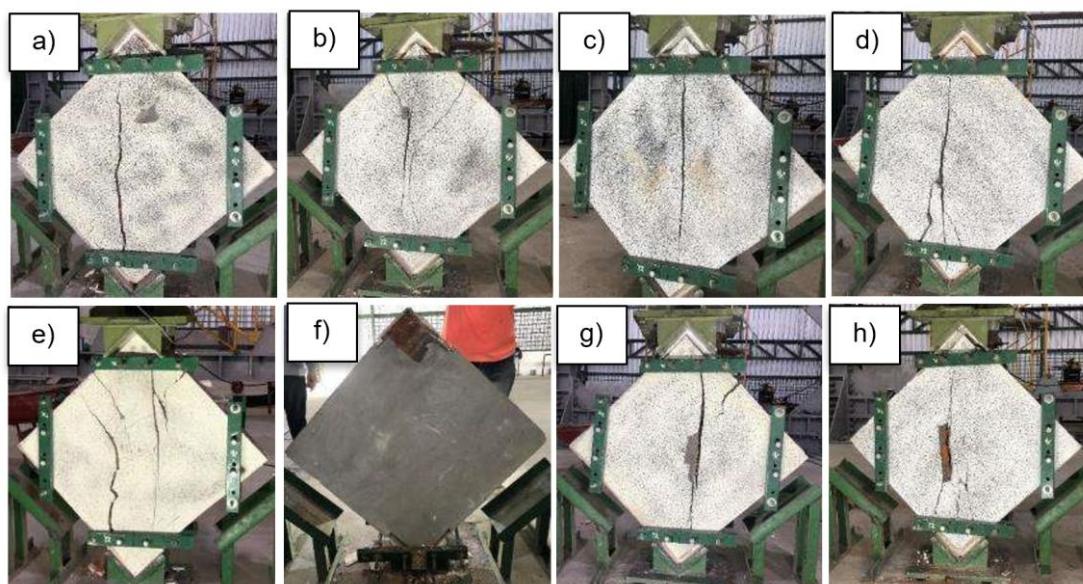


**Fig. 7-** Muretes. a) Colocación en marco de reacción, b) Instalación de LVDT.

Se aplicaron cargas diagonales mediante un sistema hidráulico manual, al igual que los prismas, se iba aplicando carga a una velocidad constante de aproximadamente 12 kN/min, una vez alcanzado la resistencia máxima del murete, se sigue aplicando carga hasta obtener un decrecimiento del 80% de la carga máxima, esto para simular la disipación de energía del murete. Durante el ensayo se registró la deformación y el desplazamiento en los planos principales para calcular parámetros como: esfuerzo cortante, módulo de corte, módulo de rigidez y deformaciones unitarias. Con esta información se construyeron curvas esfuerzo-deformación cortante para cada muestra. Además, se tomaron secuencias fotográficas que luego fueron procesadas digitalmente para generar mapas de deformación superficial. Esta técnica permitió complementar y validar los datos obtenidos mediante LVDT y sensores de carga. En la figura 8 se aprecian los muretes ensayados sin recubrimiento, ni refuerzo de fibra de yute, así mismo en la figura 9 se observan los especímenes ensayados que tienen refuerzo con fibra de yute.



**Fig. 8-** Muretes. a) M001-SE-SF, b) M003-SE-SF, c) M004-SE-SF



**Fig. 9-** Muretes; a) M001-CE-CF (F), b) M002-CE-CF (F), c) M003-CE-CF (F), d) M004-CE-CF (F), e) M005-CE-CF (G), f) M006-CE-CF (G), g) M007-CE-CF (G), h) M008-CE-CF (G)

En el procesamiento de resultados se determinaron varios parámetros fundamentales. En primer lugar, se calculó el área neta ( $A_n$ ) de cada elemento, empleando la ecuación (2), que considera las dimensiones geométricas (base, altura y espesor) y el porcentaje de área sólida. Con este valor se procedió a calcular el esfuerzo de corte ( $S_s$ ) a partir de la ecuación (3), relacionando la carga aplicada durante el ensayo con el área neta.

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

$$S_s = \left( \frac{0,707 * P}{A_n} \right) \quad (3)$$

Posteriormente, se determinó el módulo de corte (G) en MPa mediante la ecuación (4), el cual resulta de dividir el esfuerzo de corte entre la deformación unitaria a corte ( $\gamma$ ). Esta deformación se calculó con la ecuación (5), a partir de la relación entre la suma de los desplazamientos registrados en direcciones paralela y perpendicular a la carga ( $\Delta\chi + \Delta\gamma$ ), para la longitud de base vertical (g). De esta manera, se pudo caracterizar el comportamiento mecánico de los muretes frente a cargas diagonales, analizando tanto su resistencia como su rigidez y respuesta a deformaciones.

$$G = \left( \frac{S_s}{\gamma} \right) \quad (4)$$

$$\gamma = \frac{\Delta\chi + \Delta\gamma}{g} \quad (5)$$

Todos los resultados obtenidos se registraron en hojas de cálculo y fueron procesados en archivos de Excel para su análisis numérico. El procedimiento desarrollado permitió establecer comparaciones entre la mampostería sin refuerzo y aquella reforzada con fibras de yute de diferentes densidades, evaluando su resistencia tanto a compresión axial como a corte diagonal. Esta metodología proporcionó información experimental relevante sobre la aplicabilidad del yute como material sostenible en reforzamiento estructural de edificaciones en zonas sísmicas.

### 3. RESULTADOS

#### 3.1. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE PRISMAS DE MAMPOSTERÍA

La tabla 2 presenta un resumen de los ensayos de compresión realizados sobre prismas de mampostería en tres condiciones: sin recubrimiento ni refuerzo, con refuerzo y fibra de yute de 82 g/m<sup>2</sup>, y con refuerzo y fibra de yute de 105 g/m<sup>2</sup>. En ella se reportan valores de carga máxima aplicada, deformaciones (máxima y rotacional), esfuerzos alcanzados, tipo de falla, deformación unitaria y módulo de elasticidad, lo que permite comparar el comportamiento mecánico de los diferentes grupos de especímenes.

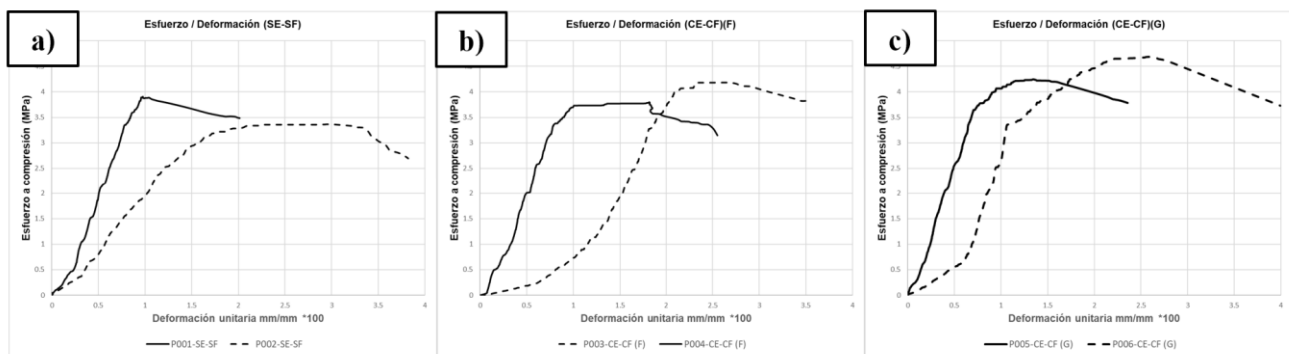
Los resultados muestran que los prismas sin refuerzo alcanzaron una resistencia promedio de 3,64 MPa, con un módulo de elasticidad de 313,36 MPa, presentando fallas frágiles por compresión. Al incorporar la fibra de yute de 82 g/m<sup>2</sup>, la resistencia aumentó a 3,99 MPa, con una mayor deformación unitaria (0,0225 mm/mm), lo que indica un incremento en ductilidad, aunque acompañado de una disminución en la rigidez (241,29 MPa). Por su parte, los prismas con yute de 105 g/m<sup>2</sup> alcanzaron el mejor desempeño en resistencia (4,47 MPa) y rigidez (395,0 MPa), aunque con una ductilidad intermedia frente al refuerzo de menor densidad.

**Tabla 2-** Resumen de ensayo de prismas

Material	Especímen	P	Def max	Def rot	Esfuerzo	Def unitaria máx	Def unitaria rot	Mod Elasticidad
		kN	mm	mm	MPa	mm/mm	mm/mm	MPa
Ladrillo sin recubrimiento ni refuerzo	P001-SE-SF	105,63	3,618	7,459	3,91	0,0103	0,0201	409,85
	P002-SE-SF	90,96	11,063	13,279	3,37	0,0300	0,0358	216,86
	Promedio	98,295	7,3405	10,369	3,64	0,0202	0,0280	313,36
Ladrillo con recubrimiento y yute de 82 g/m <sup>2</sup>	P003-CE-CF (F)	113,2	9,908	12,73	4,19	0,0268	0,0344	153,53
	P004-CE-CF (F)	102,76	6,71	6,861	3,80	0,0181	0,0185	329,04
	Promedio	107,98	8,309	9,7955	3,99	0,0225	0,0264	241,29
Ladrillo con recubrimiento y yute de 105 g/m <sup>2</sup>	P005-CE-CF (G)	114,83	4,981	8,728	4,25	0,0134	0,0235	551,12
	P006-CE-CF (G)	126,75	9,521	14,77	4,69	0,0260	0,0399	238,88
	Promedio	120,79	7,251	11,749	4,47	0,0197	0,0317	395,00

Estas variaciones implican que la densidad de la fibra influye directamente en la respuesta estructural: la fibra de 82 g/m<sup>2</sup> resulta más efectiva para incrementar la ductilidad y la capacidad de disipar energía, lo que es favorable frente a cargas dinámicas como las sísmicas; mientras que la de 105 g/m<sup>2</sup> aporta mayor resistencia y rigidez, siendo más adecuada para mejorar la capacidad portante de la mampostería. En conjunto, los resultados confirman que la incorporación de fibras de yute es una técnica de refuerzo sostenible que contribuye a retrasar la falla frágil y a mejorar la seguridad estructural.

La Figura 10 presenta las curvas esfuerzo–deformación de los prismas ensayados, evidenciando la influencia del refuerzo con fibras de yute en el comportamiento mecánico de la mampostería. Los especímenes sin refuerzo muestran una mayor dispersión en sus respuestas, atribuible a la variabilidad inherente del ladrillo artesanal, a diferencias locales en la adherencia mortero–ladrillo y a posibles excentricidades mínimas durante la aplicación de la carga, aun cuando presentan propiedades nominales similares. En contraste, los prismas reforzados con fibra de yute de 82 g/m<sup>2</sup> exhiben una respuesta más uniforme y mayor capacidad de disipación de energía, mientras que los reforzados con 105 g/m<sup>2</sup> alcanzan mayores niveles de resistencia y rigidez, aunque con una ductilidad global menor. En conjunto, estos resultados confirman que el refuerzo externo con fibras de yute incrementa la resistencia a compresión y regulariza la respuesta mecánica de los prismas, reduciendo la dispersión y retrasando la aparición de fallas frágiles.



**Fig. 10- Curva de esfuerzo / deformación de prismas. a) SE-SF; b) CE-CF (F); c) CE-CF (G)**

### 3.2. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN DIAGONAL DE MURETES DE MAMPOSTERÍA

La Tabla 3, presenta los resultados de las pruebas de corte aplicadas a tres grupos de especímenes: muretes sin refuerzo, muretes con refuerzo de fibras de yute de 82 g/m<sup>2</sup> y muretes con refuerzo de 105 g/m<sup>2</sup>. La tabla incluye variables clave como la carga máxima soportada, los desplazamientos verticales y horizontales, el esfuerzo a corte, deformaciones unitarias, módulo de corte, rigidez y ductilidad tanto horizontal como vertical. Estos indicadores permiten comprender cómo el refuerzo con fibras naturales influye en el comportamiento estructural de los muretes frente a esfuerzos cortantes.

En cuanto a los resultados, los muretes sin refuerzo alcanzaron una carga promedio de 77,43 kN y un esfuerzo a corte de 0,77 MPa, con rigidez de 561,49 MPa, evidenciando un comportamiento relativamente frágil con ductilidad vertical de 1,37. Por su parte, los muretes reforzados con yute de 82 g/m<sup>2</sup> incrementaron notablemente la capacidad resistente, con un esfuerzo a corte promedio de 1,01 MPa y una rigidez de 2514,28 MPa, mostrando además un aumento sustancial en la ductilidad vertical (2,80), lo que indica una mejora significativa en la capacidad de deformarse sin colapsar súbitamente.

Finalmente, los muretes reforzados con fibras de 105 g/m<sup>2</sup> alcanzaron un esfuerzo a corte promedio de 1,021 MPa, con una rigidez todavía superior (3268,32 MPa), lo que confirma un refuerzo más rígido y resistente. Sin embargo, su ductilidad vertical (2,24) fue menor en comparación con los reforzados con 82 g/m<sup>2</sup>, lo que evidencia que, aunque el refuerzo más denso incrementa la resistencia y la rigidez, también limita la capacidad de deformación. Estos resultados implican que la densidad de las fibras de yute permite ajustar el equilibrio entre resistencia y ductilidad, siendo el refuerzo de 82 g/m<sup>2</sup> más adecuado cuando se prioriza la disipación de energía y el de 105 g/m<sup>2</sup> cuando se busca mayor rigidez y capacidad portante.

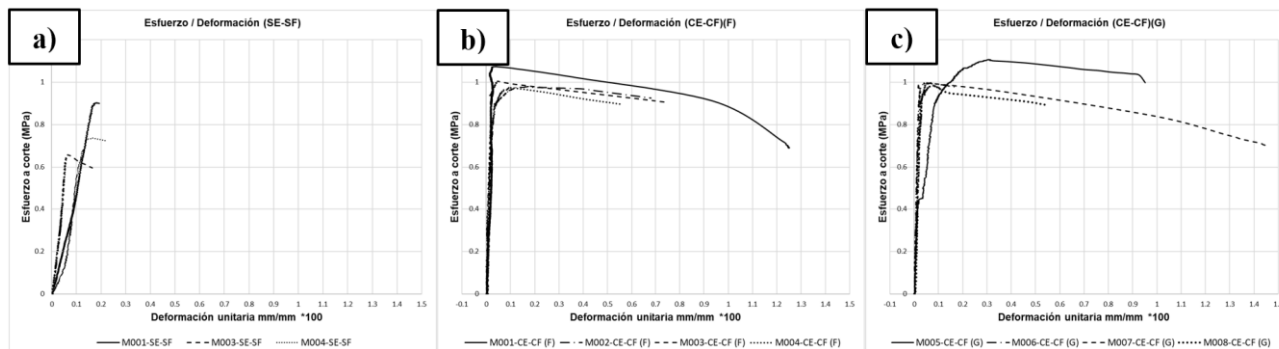
**Tabla 3-** Resumen de ensayo de muretes

Material	Espécimen	P	Des V Máx	Des V Rot	Des H Máx	Des H Rot	Esfue rzo a corte	Def unitaria máx	Def unitaria rot	Rigidez (K)	Ductilid ad vertical
		kN	mm	mm	mm	mm	MPa	mm/mm m	mm/mm m	MPa	mm/mm m
Muretes sin recubrimi ento ni refuerzo	M001-SE- SF	91,2	0,93	0,69	0,22	3,43	0,90	0,0018	0,0065	465,54	1,02
	M003-SE- SF	66,45	0,21	0,71	0,19	1,40	0,66	0,0006	0,0033	841,95	1,98
	M004-SE- SF	74,64	0,81	2,55	0,21	2,80	0,74	0,0016	0,0084	376,99	1,10
	Promedio	77,43	0,65	1,32	0,21	2,54	0,77	0,0013	0,0061	561,49	1,37
Muretes con recubrimi ento y yute de 82 g/m <sup>2</sup>	M001-CE- CF (F)	108,43	0,15	0,19	0,11	7,69	1,07	0,0004	0,0125	2077,20	1,26
	M002-CE- CF (F)	99,27	0,94	1,59	0,19	2,69	0,98	0,0017	0,0067	2537,14	1,70
	M003-CE- CF (F)	101,47	0,14	1,03	0,15	3,67	1,00	0,0004	0,0074	2697,01	7,16
	M004-CE- CF (F)	98,56	0,54	0,58	0,05	2,97	0,98	0,0009	0,0056	2745,78	1,07
	Promedio	101,93	0,44	0,85	0,13	4,25	1,01	0,0009	0,0081	2514,28	2,80
Muretes con recubrimi ento y yute de 105 g/m <sup>2</sup>	M005-CE- CF (G)	111,88	1,68	1,83	0,25	3,79	1,11	0,0030	0,0089	3330,32	1,09
	M006-CE- CF (G)	100,83	0,32	0,94	0,11	0,11	0,99	0,0006	0,0016	3171,39	2,96
	M007-CE- CF (G)	100,94	0,07	0,24	0,21	8,87	0,99	0,0004	0,0144	2446,24	3,22
	M008-CE- CF (G)	99,49	0,32	0,55	0,22	2,88	0,98	0,0008	0,0054	4125,33	1,69
	Promedio	103,28	0,60	0,89	0,20	3,91	1,02	0,001	0,0076	3268,32	2,24

La Figura 11, que muestra las curvas esfuerzo–deformación de los muretes, evidencia cómo el refuerzo con fibras de yute modifica significativamente el comportamiento frente a cargas de corte. Los muretes sin refuerzo presentaron deformaciones unitarias máximas promedio bajas (0,001359 mm/mm) y deformaciones de rotura de 0,006125 mm/mm, obteniendo una ductilidad de 1,37 mm/mm, reflejando un mecanismo de falla dominado por fisuración localizada y pérdida de adherencia en las juntas de mortero, característico de un comportamiento frágil. En contraste, los muretes reforzados con yute de 82 g/m<sup>2</sup> mostraron deformaciones unitarias máximas ligeramente menores (0,000904 mm/mm) y deformaciones de rotura más elevadas (0,0081 mm/mm), lo que permitió absorber deformaciones localizadas sin colapso inmediato, aumentando la ductilidad vertical a 2,80 mm/mm. Los muretes con yute de 105 g/m<sup>2</sup> presentaron deformaciones unitarias promedio de 0,001263 mm/mm y deformaciones de rotura de 0,007622 mm/mm, mostrando una capacidad inferior a los muretes con yute de 82 g/m<sup>2</sup> para disipar energía a través de deformaciones localizadas; su ductilidad vertical promedio fue de 2,23 mm/mm, destacando especialmente el espécimen M007, que alcanzó 3,21 mm/mm en ductilidad.

Así mismo se puede apreciar en la figura 11a que los muretes sin refuerzo M001-SE-SF, M003-SE-SF, y M004-SE-SF logran alcanzar una resistencia a corte de 0,90, 0,66 y 0,74 MPa respectivamente, también se puede evidenciar una baja ductilidad en los especímenes, por consiguiente, luego de alcanzar su resistencia máxima a corte no es capaz de disipar energía con facilidad. En la figura 11b se visualizan las curvas de esfuerzo/deformación de los muretes con refuerzo de yute de 82 g/m<sup>2</sup>, con curvas sin mucha dispersión entre ellas, dando como resultado un esfuerzo a corte aproximado de 1,01 MPa, aumentando en un 44% su resistencia ante los muretes sin refuerzo, además cuenta con una buena disipación de energía, que se evidencia con la deformación unitaria de los mismos, teniendo una ductilidad vertical de 2.80 mm/mm en el espécimen M003-CE-CF (F).

Por consiguiente, los muretes con la fibra de yute de mayor densidad (105 g/m<sup>2</sup>), presentan una mejora minúscula en relación a los especímenes reforzados con yute de menor densidad (82 g/m<sup>2</sup>), mostrando un esfuerzo a corte promedio de 1,02 MPa, y una menor capacidad para disipar energía (2,23 mm/mm). Sin embargo, la rigidez del murete aumenta considerablemente (3268 MPa) en comparación con la probeta reforzada con fibra de yute de 82 g/m<sup>2</sup>, que presenta una rigidez de 2514 MPa.

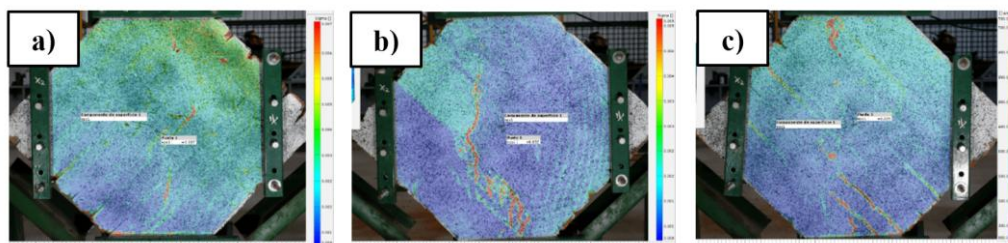


**Fig. 11-** Curva de esfuerzo / deformación de muretes. a) SE-SF; b) CE-CF (F); 3) CE-CF (G)

### 3.2.1. ANÁLISIS DE FALLA EN MURETES DE MAMPOSTERÍA MEDIANTE FOTOGRAMETRÍA

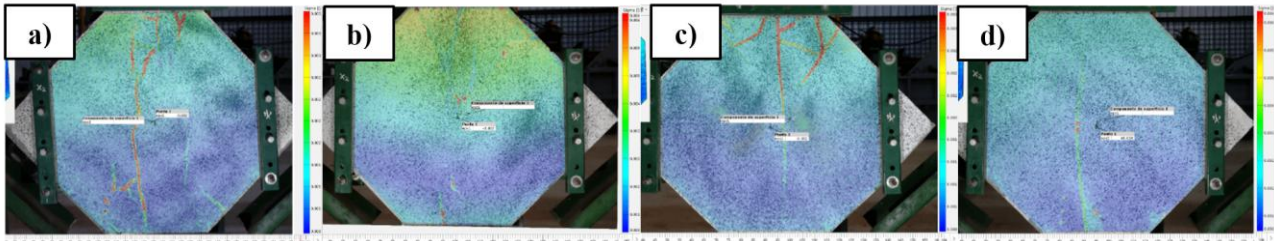
La fotogrametría es una metodología importante para determinar los mecanismos de falla de los muretes de mampostería ensayados, es por ello que mediante una técnica de correlación de imágenes digitales (DIC) en el programa Gom Correlate, se puede determinar el modo de falla de las probetas ensayadas y comparar desplazamientos y deformaciones.

En la figura 12a, el murete presenta una falla controlada por el desplazamiento y deslizamiento entre unidades, donde las juntas de mortero pierden cohesión y permiten el movimiento relativo que conduce a la separación del elemento. La rotura se concentra en la zona derecha, evidenciando un mecanismo frágil típico de muretes sin refuerzo. En la figura 12b, el murete falla por tracción diagonal, iniciando desde el cabezal de carga y propagándose a lo largo de la diagonal principal. La ausencia de refuerzo hace que la fisura avance sin contención, resultando en una rotura diagonal limpia y dominante en el comportamiento del ensayo. En la figura 12c, el murete desarrolla una falla combinada entre tracción diagonal y deslizamiento de juntas, con la grieta siguiendo la diagonal larga mientras algunas juntas ceden por pérdida de adherencia. El mecanismo final refleja la debilidad conjunta de las unidades y el mortero ante cargas diagonales sin ningún tipo de refuerzo.



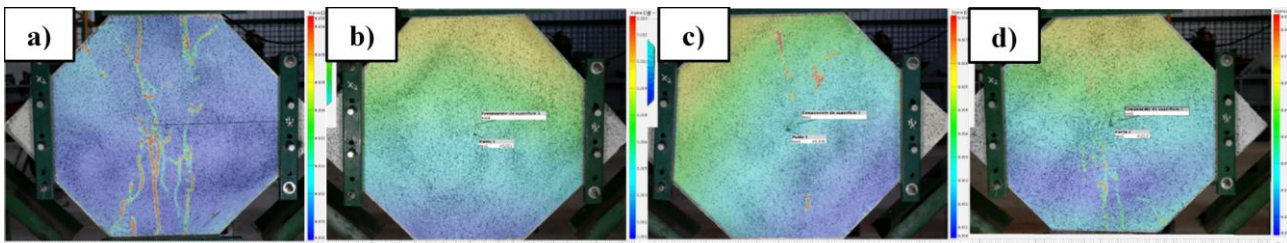
**Fig. 12-** Correlación de imágenes digitales en muretes sin refuerzo. a) M001-SE-SF, b) M003-SE-SF, c) M004-SE-SF

En la figura 13a, el murete muestra una falla por tracción diagonal, acompañada de un leve aplastamiento bajo el cabezal, donde la malla de yute incrementa la rigidez, pero finalmente cede. Antes de la rotura se registra una deformación cercana al 0.002%, y los desplazamientos se concentran justamente en la zona donde inicia la fisura, separando progresivamente el murete. En la figura 13b, el murete desarrolla una falla en el centro del elemento, donde se concentra la mayor parte de esfuerzos, generando una fisura diagonal asociada al agotamiento local de la malla. La deformación previa al colapso alcanza aproximadamente 0.007%, y los desplazamientos evidencian deslizamiento de unidades y del refuerzo desde la zona de carga hacia el centro del murete. En la figura 13c, el murete presenta una línea clara de falla diagonal donde la malla de yute comienza a fatigarse, permitiendo la propagación de la fisura hacia la zona de aplicación de carga. La deformación antes de la rotura es del orden de 0.002%, y los desplazamientos se concentran principalmente hacia la izquierda del elemento, siguiendo la forma de trabazón de las unidades. En la figura 13d, el murete falla por tracción diagonal combinada con un agotamiento evidente de la malla de refuerzo, especialmente en la diagonal donde actúa la carga.



**Fig. 13-** Correlación de imágenes digitales en muretes con refuerzo de yute 82g/m<sup>2</sup>. a) M001-CE-CF (F), b) M002-CE-CF (F), c) M003-CE-CF (F), d) M004-CE-CF (F)

En la figura 14a, el murete alcanza deformaciones de hasta 0.02%, donde el refuerzo comienza a fatigarse y aparecen grietas asociadas a tensión diagonal en el entramado. La rotura final se produce con una deformación cercana a 0.004%, acompañada de mayores desplazamientos bajo el cabezal, coherentes con la zona donde se inicia la fisura. En la figura 14b, el murete concentra esfuerzos cerca del cabezal de carga, donde se registra una deformación aproximada de 0.021%. La falla corresponde a agotamiento de la malla de yute, que se abre bruscamente, generando desplazamientos marcados hacia la derecha, justo en la zona donde el refuerzo pierde continuidad. En la figura 14c, el murete desarrolla una falla combinada por tracción diagonal y fatiga del refuerzo, con una deformación previa al colapso cercana al 0.008% en la zona central. La rotura progresa desde el punto de aplicación de carga hacia la diagonal principal, desprendiendo la malla y generando desplazamientos significativos hacia la derecha. En la figura 14d, el murete presenta múltiples fisuras a lo largo de la diagonal de carga, configurando una falla por tracción diagonal junto con el agotamiento de la malla.



Los resultados evidencian que el refuerzo con fibra de yute mejora significativamente el desempeño de la mampostería frente a cargas laterales. En particular, la fibra de 82 g/m<sup>2</sup> favorece una mayor ductilidad y capacidad de disipación de energía, generando fisuración más difusa y retardada; mientras que la de 105 g/m<sup>2</sup> aumenta la rigidez y resistencia, controlando de manera uniforme la fisuración, aunque con una ductilidad ligeramente menor. En todos los casos, la incorporación del yute retrasó la aparición de fallas frágiles, promovió una distribución más homogénea de los esfuerzos y elevó la seguridad estructural, lo que confirma su efectividad como alternativa de refuerzo sostenible.

#### 4. DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en este estudio muestran que el refuerzo externo con fibra de yute tiene un impacto directo en la manera en que la mampostería responde ante esfuerzos de compresión y, sobre todo, de corte diagonal. Más allá de los valores numéricos, lo primero que llamó la atención durante los ensayos fue el cambio en la forma de fallar, los muretes sin refuerzo presentaron fisuras diagonales que se propagaron rápidamente, mientras que en los elementos reforzados las fisuras aparecieron de manera más gradual y se distribuyeron mejor en la superficie. Este tipo de comportamiento ha sido señalado también por Farias et al. [15], quienes observaron que los morteros con fibras de yute mejoran el control de grietas y reducen la fragilidad del colapso en muros de ladrillo.

En términos cuantitativos, los incrementos en resistencia a corte fueron consistentes y significativos (+42–45 %), confirmando que el yute actúa como un elemento de puenteo que contiene la apertura de la fisura diagonal. Aunque el refuerzo de mayor gramaje (105 g/m<sup>2</sup>) produjo muretes más rígidos, la diferencia en resistencia última respecto al refuerzo de 82 g/m<sup>2</sup> fue mínima. Esto sugiere que, una vez que la mampostería base alcanza su límite, añadir más densidad de fibra no incrementa de manera proporcional la resistencia, sino que modifica principalmente la rigidez del sistema. Observaciones similares fueron reportadas por Majumder et al. [17], quienes indican que la capacidad última de los sistemas TRM con fibras naturales depende tanto del textil como de la adherencia y de las propiedades intrínsecas de la mampostería.

En los prismas, los comportamientos también mostraron matices interesantes. El refuerzo de 82 g/m<sup>2</sup> aumentó la deformación admisible antes de la falla, lo que indica un aporte claro a la ductilidad. En cambio, el refuerzo de 105 g/m<sup>2</sup> elevó la resistencia y la rigidez, lo que es coherente con lo planteado por Nascimento et al. [16], quienes concluyen que los refuerzos con fibras naturales pueden mejorar tanto la resistencia como la estabilidad post-pico, aunque la magnitud de la mejora depende de la interacción entre el mortero y la malla.

Finalmente, las imágenes de fotogrametría respaldaron estos hallazgos al mostrar cómo la presencia del yute redistribuye las tensiones y retarda la aparición de la fisura principal. En conjunto, los resultados permiten afirmar que el yute no solo incrementa la resistencia, sino que transforma el proceso de daño en uno más controlado y menos frágil. Esto es especialmente valioso en zonas sísmicas, donde la capacidad de disipar energía y evitar colapsos súbitos es tan importante como la resistencia última.

En síntesis, esta investigación valida la hipótesis inicial, al comprobar que el refuerzo externo con fibra de yute mejoró de manera significativa la resistencia a corte de la mampostería frente a cargas laterales. Además, se confirmó que las diferentes configuraciones de aplicación, en función de la densidad y orientación de las fibras, influyeron de forma sustancial en su capacidad de resistir esfuerzos cortantes, aportando evidencia empírica que respalda el uso de fibras naturales como una alternativa técnica y sostenible en la rehabilitación y refuerzo estructural. En el contexto de rehabilitación de albañilerías existentes, el yute se perfila como alternativa sostenible y viable, condicionada a un cuidadoso diseño de la solución constructiva y a la validación en condiciones cíclicas y ambientales antes de su adopción normativa.

## 5. CONCLUSIONES

La evaluación de la mampostería reforzada externamente con fibras de yute confirmó que esta técnica es una alternativa efectiva, sostenible y técnicamente viable para aplicaciones de rehabilitación estructural en edificaciones existentes con ladrillo artesanal y mortero tradicional. Los especímenes reforzados presentaron incrementos claros en resistencia, rigidez y ductilidad frente a los elementos sin refuerzo, lo que se traduce en una mayor capacidad para soportar cargas laterales y en menor vulnerabilidad estructural.

En los ensayos de compresión uniaxial de prismas, el refuerzo con fibras de yute incrementó su resistencia a compresión entre aproximadamente un 10 % (82 g/m<sup>2</sup>) y un 23 % (105 g/m<sup>2</sup>) respecto a los especímenes sin refuerzo, además de retrasar la aparición de fallas frágiles. El refuerzo de mayor gramaje mostró el mejor desempeño en resistencia y rigidez, mientras que el de menor densidad favoreció una mayor capacidad de deformación, confirmando que la densidad y correcta aplicación del refuerzo condicionan la eficacia del confinamiento y la estabilidad post-pico de la mampostería.

En los muretes sometidos a compresión diagonal, el refuerzo con yute produjo incrementos entre 31–33 % en la resistencia a corte, junto con aumentos significativos de rigidez lateral. La ductilidad vertical pasó de 1,37 mm/mm en los especímenes sin refuerzo a valores promedio de 2,80 mm/mm con yute de 82 g/m<sup>2</sup> y 2,24 mm/mm con yute de 105 g/m<sup>2</sup>, evidenciando una mayor capacidad de deformación y disipación de energía y la posibilidad de ajustar el balance entre resistencia y ductilidad mediante la selección del gramaje de la fibra.

El análisis de los modos de daño y de las deformaciones superficiales mostró que el refuerzo con yute modifica el patrón de falla, pasando de mecanismos frágiles con fisuración abrupta a un comportamiento más gradual y controlado, con fisuras distribuidas y confinadas por el recubrimiento. En conjunto, estos resultados confirman que el yute mejora la resistencia, la rigidez y el desempeño global de la mampostería frente a acciones dinámicas o sísmicas, consolidándolo como opción viable dentro de estrategias de fortalecimiento estructural sostenible.

1. F. Cunalata y P. Caiza, «Estado del Arte de Estudios de Vulnerabilidad Sísmica en Ecuador,» Revista Politécnica, vol. 50, nº 1, pp. 55-64, 2022. <https://doi.org/10.33333/rp.vol50n1.06>
2. A. Almssad, A. Almusaed y R. Homod, «La mampostería en el contexto de la edificación sostenible: una revisión del papel del ladrillo en la arquitectura,» Sostenibilidad, vol. 14, nº 22, p. 14734, 2024. <https://doi.org/10.3390/su142214734>
3. J. Quinde, J. Jiménez y E. Ortega, «Revisión de Normas de Diseño para Mampostería Confinada en Latinoamérica: Propuestas para la Norma Ecuatoriana de Construcción,» Revista Politécnica, vol. 51, nº 1, pp. 77-92, 2023. <https://doi.org/10.33333/rp.vol51n1.07>
4. M. Miranda, C. González, H. Zambrano and C. Arteta, "Caracterización de la microestructura y comportamiento mecánico de mallas de alambre electrosoldadas: Un estudio de caso en Colombia," Estudios de caso en materiales de construcción, vol. 20, p. 2886, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2024.e02886>
5. G. P. Lignola y A. Prota, «Deformabilidad de las uniones de base en muros portantes perforados de hormigón proyectado tipo sándwich,» Estructuras de ingeniería, vol. 268, p. 114720, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2022.114720>
6. O. Agossou, O. Homoro y S. Amziane, «A review of the applications of natural FRCM composites,» Journal of Composite Materials, vol. 59, nº 15, pp. 1881-1915, 2025. <https://doi.org/10.1177/00219983251318829>
7. L. Kouris y T. Triantafyllou, «State-of-the-art on strengthening of masonry structures with textile reinforced mortar (TRM),» Construction and Building Materials, vol. 188, nº 10, pp. 1221-1233, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.08.039>
8. O. Hurtado, A. Cobo y J. Gallardo, «Influencia de la fibra de lana de oveja en las unidades de adobe para mejorar las propiedades mecánicas de la mampostería [Tesis de Ingeniería Civil],» EIEI ACOFI, vol. 1, nº 1, p. 25, 2020. <https://doi.org/10.26507/paper.4260>
9. E. Martinelli, A. Majumder, F. Stochino, M. Valdes, G. Concu y M. Pepe, «Sustainable Masonry Retrofitting and Upgrading Techniques: A Review,» Fibers, vol. 13, nº 6, p. 68, 2025. <https://doi.org/10.3390/fib13060068>
10. A. Majumder, S. Flavio, A. Frattolillo, M. Valdes, G. Mancusi y G. Martinelli, «Jute fiber-reinforced mortars: mechanical response and thermal performance,» Journal of Building Engineering, vol. 66, p. 10588, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2023.105888>
11. H. Burrola, J. Herrera, H. Soto, E. Rodríguez, R. Meléndrez, I. Cauich, J. Carrillo y J. Madera, «Aprovechamiento de fibras tejidas de yute como material de refuerzo en biocompuestos de ácido poliláctico,» Biotecnia, vol. 22, nº 1, pp. 67-73, 2020. <https://doi.org/10.18633/biotecnia.v22i1.1126>
12. P. Luna y J. Lizarazo, «Fibras naturales como refuerzo en materiales compuestos de matriz polimérica,» Revista Momento, nº 65, pp. 65-79, 2022. <https://doi.org/10.15446/mo.n65.103151>
13. M. Nasir, W. Ahmad, K. Khan and A. Ahmad, "Una revisión completa de los tipos, propiedades, métodos de tratamiento y aplicaciones de las fibras vegetales en la construcción y los materiales de edificación," Materiales, vol. 15, no. 12, p. 4362, 2022. <https://doi.org/10.3390/ma1512436>
14. A. Radhika, B. Saleh, A. Kishna, N. Noble and L. Rajeshkumar, "Una revisión exhaustiva sobre compuestos poliméricos reforzados con fibras naturales de origen vegetal: fabricación, propiedades y aplicaciones," Compuestos poliméricos, vol. 44, no. 5, pp. 2598-2633, 2023. <https://doi.org/10.1002/pc.27274>
15. L. Farias, P. Lima y R. Toledo, «Shear behavior of hollow clay brick masonry wallet coated with short jute fiber reinforced mortar,» Materiales de Construcción, vol. 74, nº 354, p. 10, 2024. <https://doi.org/10.3989/mc.2024.374624>
16. L. Nascimento, P. Lopes y R. Toledo, «Short Jute Fiber Reinforced Cement Mortar for Out-of-Plane Strengthening of Masonry Prisms,» Sustainability, vol. 16, nº 13, p. 5675, 2024. <https://doi.org/10.3390/su16135675>
17. A. Majumder, F. Stochino, A. Frattolillo, M. Valdes y E. Martinelli, «Natural Fiber Textile Reinforced Mortar (NFTRM) for Integrated Masonry Upgrading,» Procedia Structural Integrity, vol. 64, pp. 1880-1887, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2024.09.246>
18. M. Pepe, R. Lombardi, G. Ferrara y E. Martinelli, «Experimental Characterisation of Lime-Based Textile-Reinforced Mortar Systems Made of Either Jute or Flax Fabrics,» Materials, vol. 16, nº 2, p. 709, 2023. <https://doi.org/10.3390/ma16020709>
19. S. Raoof, L. Koutas y D. Bournas, «Textile-reinforced mortar (TRM) versus fibre-reinforced polymers (FRP) in flexural strengthening of RC beams,» Construction and Building Materials, vol. 151, nº 1, pp. 279-291, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.05.023>
20. CORDIS, «Development and corroboration of a novel Natural Textile Reinforced Mortar System for masonry retrofitting,» Comisión Europea. Universidad Do Minho Portugal, 2024.
21. M. Vélez, M. Álava y W. Ruiz, «Cenizas de hornos artesanales utilizadas como adición en la elaboración de ladrillos,» Polo del Conocimiento, vol. 7, nº 11, pp. 2-10, 2022. <https://polodelconocimiento.com/ojs/index.php/es/article/view/4957/html>