

TESIS - JOSE ANCHAPURI F..pdf

 Universidad Peruana Union

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::29566:563181596

Fecha de entrega

3 mar 2026, 11:44 a.m. GMT-5

Fecha de descarga

3 mar 2026, 11:46 a.m. GMT-5

Nombre del archivo

TESIS - JOSE ANCHAPURI F..pdf

Tamaño del archivo

497.0 KB

19 páginas

6838 palabras

37.408 caracteres

10% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado
- Texto mencionado
- Coincidencias menores (menos de 8 palabras)

Fuentes principales

- 7%  Fuentes de Internet
- 2%  Publicaciones
- 7%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alerta de integridad para revisión

-  **Texto oculto**
36 caracteres sospechosos en N.º de página
El texto es alterado para mezclarse con el fondo blanco del documento.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

Fuentes principales

- 7% Fuentes de Internet
- 2% Publicaciones
- 7% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Fuentes principales

Las fuentes con el mayor número de coincidencias dentro de la entrega. Las fuentes superpuestas no se mostrarán.

1	Internet	hdl.handle.net	<1%
2	Internet	repositorio.upeu.edu.pe:8080	<1%
3	Trabajos entregados	Universidad Andina del Cusco on 2017-05-03	<1%
4	Internet	docs.bvsalud.org	<1%
5	Trabajos entregados	Universidad Continental on 2025-07-09	<1%
6	Internet	patents.google.com	<1%
7	Internet	repositorio.puce.edu.ec	<1%
8	Internet	www.coursehero.com	<1%
9	Trabajos entregados	Pontificia Universidad Catolica del Ecuador - PUCE on 2023-07-31	<1%
10	Trabajos entregados	Universidad Cesar Vallejo on 2022-05-25	<1%
11	Trabajos entregados	Universidad Nacional de Colombia on 2018-08-22	<1%

12	Internet	repositorio.ufpso.edu.co:8080	<1%
13	Internet	www.inti.gov.ar	<1%
14	Trabajos entregados	Universidad Nacional de Trujillo on 2021-07-12	<1%
15	Trabajos entregados	Pontificia Universidad Catolica del Peru on 2017-04-18	<1%
16	Trabajos entregados	Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez on 2021-01-13	<1%
17	Internet	aifref.uqam.ca	<1%
18	Internet	repositorio.undac.edu.pe	<1%
19	Internet	www.cementwapnobeton.pl	<1%
20	Trabajos entregados	Universidad Católica de Santa María on 2019-12-05	<1%
21	Internet	issuu.com	<1%
22	Internet	jurnal.utu.ac.id	<1%
23	Internet	repository.javeriana.edu.co	<1%
24	Internet	revistabionatura.com	<1%
25	Publicación	Pari Quispe, Sonia Esmeralda. "Análisis experimental de muros de albanilería con..."	<1%

26	Trabajos entregados	Universidad Técnica De Ambato- Direccion de Investigacion y Desarrollo , DIDE o...	<1%
27	Internet	intjmorphol.com	<1%
28	Internet	repositorio-api.animaeducacao.com.br	<1%
29	Internet	upcommons.upc.edu	<1%
30	Publicación	A. Izaguirre, J. Lanas, J. I. Álvarez. "Effect of a biodegradable natural polymer on t...	<1%
31	Trabajos entregados	Consortio CIXUG on 2021-07-05	<1%
32	Trabajos entregados	Pontificia Universidad Catolica del Peru on 2019-07-10	<1%
33	Trabajos entregados	Universidad Católica de Santa María on 2021-09-20	<1%
34	Trabajos entregados	Universidad Católica de Santa María on 2024-10-01	<1%
35	Trabajos entregados	Universidad Tecnologica de los Andes on 2023-11-28	<1%
36	Internet	bibliotecadigital.univalle.edu.co	<1%
37	Internet	es.scribd.com	<1%
38	Internet	repositorio.umariana.edu.co	<1%
39	Internet	tesis.pucp.edu.pe	<1%

40	Trabajos entregados	Universidad Cesar Vallejo on 2025-12-06	<1%
41	Trabajos entregados	Universidad Nacional del Chimborazo on 2024-12-09	<1%
42	Publicación	Yacila Alvarado, Luciano Jhair Salsavilca Pomarcahua, Jhoselyn Junny. "Aplicacion...	<1%
43	Internet	link.springer.com	<1%
44	Internet	repositorio.umsa.bo	<1%
45	Internet	www.slideshare.net	<1%
46	Internet	www.utec.edu.pe	<1%

Comportamiento estructural en muros de albañilería reforzados con polímeros afianzados a fibra de carbono (CFRP) - Juliaca

José Carlos Anchapuri Velasquez¹

Herson Duberly Pari Cusi²

Universidad Peruana Unión, Puno-Perú³

Resumen

En esta investigación se evalúa el reforzamiento de muros de albañilería con CFRP bajo tres diferentes configuraciones. En la actualidad, las estructuras de albañilería son ampliamente utilizadas por su bajo costo, facilidad constructiva y disponibilidad de materiales locales; sin embargo, su comportamiento frente a cargas sísmicas es limitado debido a su naturaleza no homogénea y posibles deficiencias en el proceso constructivo, lo que las hace vulnerables ante eventos sísmicos. Por ello, se plantea implementar técnicas de refuerzo que mejoren su respuesta estructural. Se construyeron 16 muros de albañilería de $65 \times 65 \times 14$ cm con ladrillos industriales Clase IV. Además, se realizaron 11 ensayos de control en 3 prismas de albañilería, 3 dados de mortero y 5 unidades de ladrillo. Los muros fueron reforzados por ambas caras con polímeros reforzados con fibra de carbono (CFRP) en tres configuraciones: C1 (refuerzo diagonal), C2 (franjitas) y C3 (juntas), cada una con un área de refuerzo de 1820 cm^2 , equivalente al 43 % del área del murete. El comportamiento estructural se evaluó mediante ensayos de compresión diagonal, analizando la resistencia al corte. Los resultados mostraron incrementos de resistencia al corte de 82.93 % (C1), 47.44 % (C2) y 48.89 % (C3) respecto a los muros sin refuerzo, cuyo esfuerzo cortante promedio fue de 0.64 MPa. La configuración diagonal presentó el mejor desempeño al interceptar las trayectorias principales de esfuerzo y retrasar la formación de grietas. Se concluye que el refuerzo con CFRP mejora significativamente el comportamiento al corte de muros de albañilería, siendo la configuración diagonal la más efectiva.

Palabras claves: Muros de albañilería, Resistencia al corte, polímero afianzado a fibra de carbono (CFRP), Modernización.

Abstract

In this research, the strengthening of masonry walls with CFRP under three different configurations is evaluated. Masonry structures are widely used due to their low cost and ease of construction; however, they show limited performance under seismic loads because of their non-homogeneous nature and construction deficiencies, which makes them vulnerable during earthquakes. Therefore, it is necessary to apply reinforcement techniques that improve their structural behavior. A total of 16 masonry wall specimens measuring $650 \times 650 \times 140$ mm were

¹ Departamento de Investigación, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Civil, Universidad Peruana Unión, Juliaca, Perú..

² Departamento de Investigación, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Civil, Universidad Peruana Unión, Juliaca, Perú.

constructed using industrial Class IV bricks. Additionally, 11 quality control tests were performed on 3 masonry prisms, 3 mortar cubes and 5 brick units. The walls were strengthened on both faces with carbon fiber reinforced polymer (CFRP) in three configurations: C1 (diagonal), C2 (strips) and C3 (bed joints), each covering 1820 cm², equivalent to 43% of the wall surface. Their behavior was evaluated through diagonal compression tests to determine shear strength. The results showed increases of 82.93%, 47.44% and 48.89% in shear resistance for C1, C2 and C3, respectively, compared to unreinforced walls, which reached an average shear stress of 0.53 MPa. The diagonal configuration demonstrated the best performance, as it effectively intercepted principal stress trajectories and delayed crack formation. It is concluded that CFRP significantly improves the shear behavior of masonry walls, with the diagonal configuration being the most efficient for seismic zones.

Keywords: Masonry walls, Shear resistance, carbon fiber bonded polymer (CFRP), Modernization.

1. Introducción

El refuerzo de muros en edificaciones de albañilería frente a movimientos sísmicos representa una línea de investigación actual y prioritaria, especialmente en zonas de alta sismicidad como el Perú. La Norma Técnica E.070 exige que estos elementos resistan tanto cargas verticales como laterales, Sin embargo, en la práctica presentan limitaciones críticas: baja ductilidad, fragilidad ante esfuerzos cortantes y fallas repentinas bajo cargas laterales, debido a su rigidez y peso elevado. Esta vulnerabilidad justifica la necesidad de desarrollar técnicas de reforzamiento eficaces que mejoren su comportamiento sísmico sin comprometer su función portante.

Juliaca se encuentra en una zona de alto riesgo sísmico, donde aproximadamente el 95% de las edificaciones existentes utilizan sistemas de albañilería, según un estudio de vulnerabilidad estructural realizado en la ciudad. (Ccoarite Bellido, 2020). El sistema constructivo predominante a nivel nacional es la albañilería confinada en un 70%, según el análisis (Santos et al., 2021.). Por estas razones, se vuelve fundamental implementar técnicas de refuerzo que mejoren el comportamiento sísmico de estos muros. A lo largo de los años, se han desarrollado diversas soluciones con el fin de incrementar la resistencia al corte, la ductilidad y la capacidad de disipación de energía de los muros de albañilería ante cargas sísmicas. Utilizando materiales compuestos, como los polímeros afianzados a fibra de carbono (CFRP).

Diversas investigaciones recientes han demostrado la eficacia del refuerzo con polímero reforzado con fibra de carbono (CFRP) para mejorar la resistencia, rigidez y ductilidad de muros de mampostería. (Hashemi & Ayoub, 2024) encontraron que los tripletes de mampostería reforzados con CFRP alcanzaron resistencias hasta seis veces mayores que los no reforzados. De forma complementaria, (Sah & Umamaheswari, 2024) concluyeron que la anchura de las tiras de CFRP tiene un impacto significativo en la capacidad de carga, destacando configuraciones combinadas horizontales y verticales como las más eficaces. (Ma et al., 2023) estudiaron el comportamiento de adhesión del CFRP sobre diferentes tipos de ladrillos, proporcionando criterios valiosos para el diseño del refuerzo. (Joyklad et al., 2023) reportaron incrementos superiores al 170% en la capacidad de carga al aplicar CFRP junto con mortero de cemento en muros de ladrillo entrelazado. En muros de bloques AAC, (Kałuża, 2022) encontró que el CFRP mejoró notablemente la rigidez y la resistencia al corte, siendo más efectivo que otros compuestos como el GFRP. Otros estudios,

como los de (Giacomin et al., 2022) y (Elmalyh et al., 2020), demostraron la aplicabilidad del CFRP en edificaciones patrimoniales y su eficiencia como amarre diagonal para rehabilitación sísmica. Finalmente, (Can, 2018) y (Kubica & Galman, 2017) confirmaron mediante ensayos de compresión diagonal que el refuerzo con CFRP mejora sustancialmente el comportamiento ante cargas laterales. Estos antecedentes confirman el potencial del CFRP como solución de refuerzo estructural en muros de mampostería, resaltando la necesidad de validar su eficacia en contextos específicos como el de la región altoandina peruana.

Este estudio tiene como objetivo evaluar el comportamiento estructural de muros de albañilería (ladrillo industrial clase IV) reforzados con CFRP con tres configuraciones distintas manteniendo un área de refuerzo equivalente, en la ciudad de Juliaca Perú. La investigación busca: (1) comparar la eficacia de cada configuración frente a cargas sísmicas mediante ensayos experimentales; (2) identificar los tipos de falla para encontrar soluciones óptimas que equilibren eficiencia técnica y facilidad de ejecución; y (3) contribuir al conocimiento científico-técnico en reforzamiento estructural, abordando vacíos en la literatura nacional e internacional para su aplicación en el reforzamiento de edificaciones vulnerables.

2. Materiales y métodos.

2.1 Elementos y materiales del experimento.

Para el desarrollo experimental de esta investigación, se construyeron un total de 16 muretes de albañilería con dimensiones de 650 mm x 650 mm x 140 mm, utilizando ladrillo industrial Clase IV, como unidad básica y mortero de cemento : arena en proporción 1:3. Los muretes se dividieron en cuatro grupos: tres de ellos fueron reforzados con láminas de polímero reforzado con fibra de carbono (CFRP) aplicadas en distintas configuraciones, diagonales (C1), franjas (C2) y en juntas (C3) como se muestra en la **Tabla 1**, mientras que el primer grupo se mantuvo sin refuerzo como grupo de referencia. Todos los elementos reforzados se ejecutaron bajo condiciones controladas, manteniendo constantes las dimensiones, materiales y métodos de aplicación, sin emplear anclajes mecánicos en ningún caso, con el fin de evaluar únicamente el comportamiento del CFRP adherido superficialmente mediante la resina epóxica. A partir de los ensayos realizados, se analizó el efecto del refuerzo con polímeros reforzados con fibra de carbono (CFRP) sobre el comportamiento estructural global de los elementos, enfocándose en parámetros como la resistencia y la rigidez.

Los muretes fueron contruidos con ladrillo industrial tipo IV mecanizado, clasificado como estructural según la Norma Técnica Peruana E.070, con 18 huecos longitudinales que favorecen la adherencia del mortero. Para su unión se empleó un mortero tipo M, con una dosificación volumétrica de 1:3 (cemento:arena), conforme a lo establecido en la NTP 399.610 y a lo recomendado por la E.070. Los materiales fueron seleccionados por su disponibilidad local y su uso habitual en edificaciones de albañilería portante en zonas urbanas de la región sur del Perú. La elaboración y curado de los muretes se realizaron bajo condiciones controladas para asegurar la homogeneidad del conjunto.

Como parte del control, se fabricaron también 3 prismas de albañilería **Tabla 2**, 3 dados de concreto **Tabla 3** y 5 unidades de albañilería **Tabla 4**, evaluando todos los materiales implementados; el ladrillo industrial Clase IV, el mortero (1:3) (cemento:arena), con el fin de evaluar las condiciones de mínimas de resistencia a compresión de los materiales, siguiendo las recomendaciones de la norma ASTM E447 y la norma técnica Peruana NTP 399.605, que establece el procedimiento para ensayos de compresión en unidades prismáticas de albañilería.

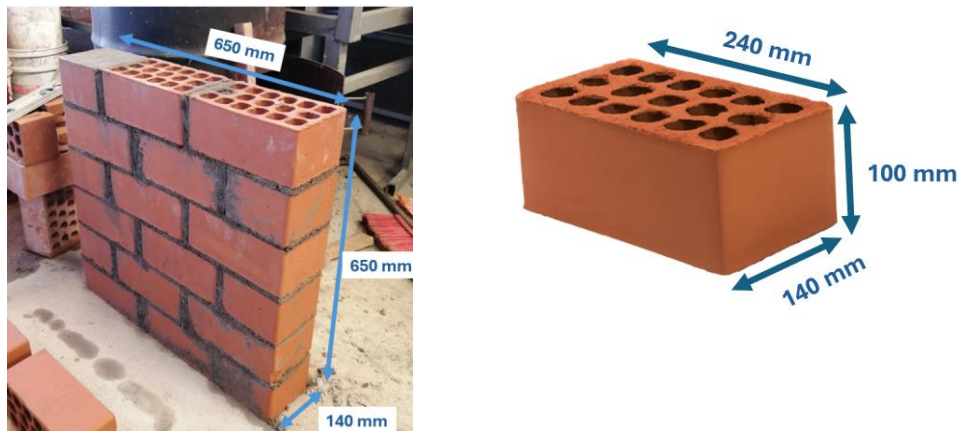


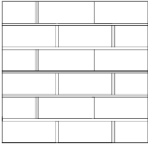
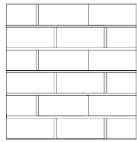
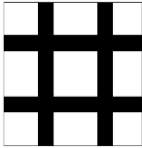
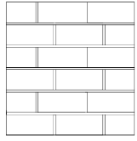
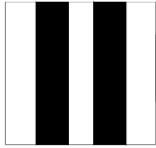
Figura 1: Dimensiones de los muros de albañilería y unidades de ladrillo.

El dimensionamiento de los muretes de ensayo se estableció siguiendo los lineamientos de la Norma Técnica Peruana NTP 399.621:2020, la cual regula el procedimiento de ensayo de compresión diagonal en muretes de albañilería. Para esta investigación, se construyeron muretes cuadrados de 650 mm por lado, considerando las dimensiones reales de los ladrillos tipo industrial Clase IV empleados y la representatividad adecuada del comportamiento estructural en plano. El espesor de cada experimento fue de 140 mm, correspondiente al espesor de los ladrillos utilizados, con el propósito de evitar variaciones que pudieran afectar los resultados del ensayo. Este criterio permitió mantener condiciones homogéneas entre los diferentes grupos de muestreo. Las dimensiones detalladas de cada tipo de ladrillo se encuentran en la **Figura 1**

El proceso de colocación del CFRP se realizó siguiendo tres configuraciones distintas de refuerzo, las cuales fueron seleccionadas para evaluar su influencia en la resistencia de los muros de albañilería. Cabe señalar que, en todas las configuraciones, se mantuvo constante el área total de refuerzo aplicada, con el propósito de asegurar condiciones de comparación equitativas. Las especificaciones detalladas de cada configuración se presentan en la **Tabla 1**.

Tabla 1

Ilustración comparativa de los muretes no reforzados y los muretes reforzados en las diferentes configuraciones.

Muros de Albañilería,		Tipos de configuración de refuerzo	Área de refuerzo igualitaria (C1,C2,C3)
SR (Sin refuerzo)		C1 (Configuración 1)	
SR (Sin refuerzo)		C2 (Configuración 2)	
SR (Sin refuerzo)		C3 (Configuración 3)	

Los refuerzos con CFRP fueron adheridos directamente sobre la superficie de los muretes, previa limpieza y preparación de las caras mediante aire comprimido. Se utilizó una resina epóxica bicomponente compatible con el tejido de fibra de carbono, aplicada de forma manual con rodillo. El CFRP se dispuso según tres configuraciones distintas, sin emplear perforaciones ni sistemas de anclaje mecánico, para evaluar su efectividad estructural únicamente a través del sistema de adherencia química. Los datos técnicos del CFRP y de la resina epóxica utilizada se basaron en las especificaciones proporcionadas por el fabricante y están detalladas en la **Tabla 5**, adicionalmente se hizo un análisis de costos del material CFRP por metro cuadrado en la **Tabla 6**.

2.2 Metodología de análisis y recolección de datos

Los ensayos de compresión diagonal se realizaron luego de un período de 28 días de curado, garantizando que tanto el mortero como el conjunto del murete alcanzaran propiedades mecánicas estables. Cada murete fue colocado en posición inclinada a 45° con respecto a la horizontal, siguiendo lo indicado por la NTP 399.621 **Figura 2**, de manera que la aplicación de la carga generara esfuerzos de corte puro en el plano del muro.

Para la aplicación de la carga, se utilizó un marco de reacción de acero cerrado y un gato hidráulico de doble acción con capacidad de hasta 30 000 kN, operado mediante una bomba hidráulica manual, lo que permitió aplicar la carga de manera controlada y progresiva. De acuerdo con lo establecido por la Norma Técnica Peruana NTP 399.621, la aplicación de la carga se realizó de forma continua, sin pausas ni impactos, manteniendo un control preciso sobre la velocidad de carga. En el tramo final del ensayo, la carga se aplicó a una velocidad uniforme aproximada de 1 tonelada por minuto (≈ 9.8 kN/min), garantizando que la carga máxima no se alcanzara en menos de un minuto ni en más de dos minutos. Durante el ensayo, se registraron la carga vertical aplicada y las deformaciones diagonales en ambos extremos del murete mediante instrumentos de medición

calibrados, a fin de determinar con exactitud la resistencia última al corte para cada tipo de refuerzo evaluado (Instituto Nacional de la Calidad (INACAL), 2004).

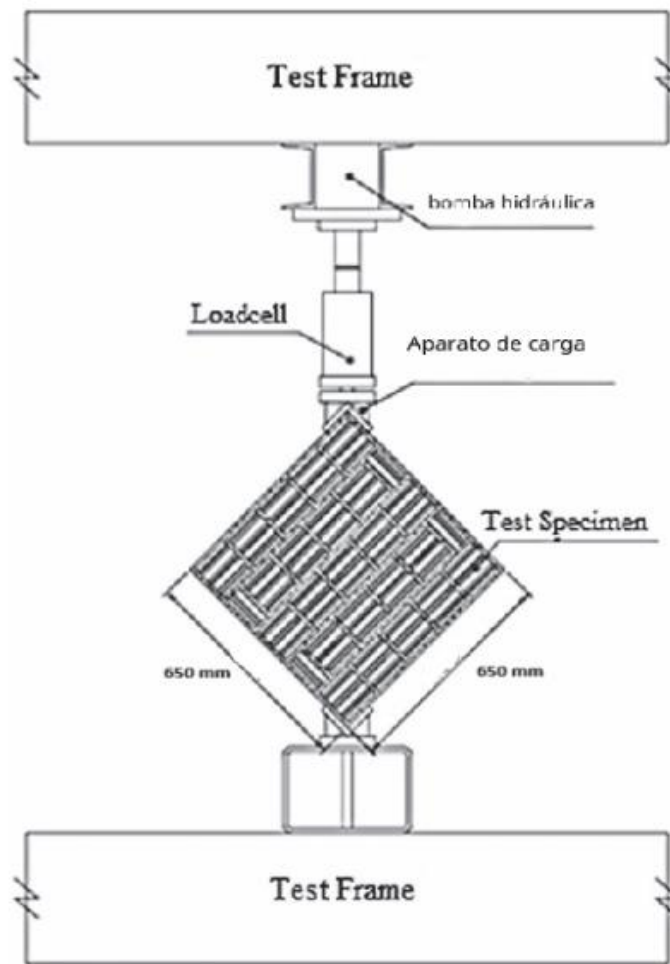


Figura 2: Vista esquemática de la configuración de prueba y la instrumentación.

En esta investigación, el punto de colapso fue definido como el instante en que la capacidad de carga del murete descendía al 50 % del valor máximo alcanzado, criterio establecido conforme a lo indicado en la norma peruana NTP 399.621:2004 – Mampostería: Método de ensayo de compresión diagonal en muretes, y que también es adoptado por la norma internacional ASTM E519/E519M-21. Este criterio permite identificar de manera uniforme la pérdida significativa de la capacidad esfuerzo cortante, durante los ensayos de compresión diagonal. Asimismo, se registraron con precisión los desplazamientos correspondientes a cada etapa de carga, lo que permitió comparar cuantitativamente el desempeño estructural entre las distintas configuraciones de refuerzo analizadas (NTP 399.621:2004; ASTM E519/E519M-21, 2021).

Los resultados de los ensayos de control de materiales, presentados en las Tablas 2, 3, demuestran que los valores promedio de resistencia a compresión cumplen satisfactoriamente con los requisitos normativos en el caso de los prismas de albañilería $f'_m = 7.09 \text{ MPa}$ vs. 6.4 MPa mínimo E.070 y los dados de mortero ($f'_c = 20.23 \text{ MPa}$) cumpliendo con el valor normativo de la norma NTP 399.610 ($f'_c = 17.2 \text{ MPa}$). Posteriormente, se identifica una discrepancia específica en

las unidades de ladrillo, cuyo valor promedio ($f'b = 12.49$ MPa) no alcanza el mínimo normativo de 12.70 MPa para ladrillos Tipo IV. Esta situación se atribuye a la inconsistencia en el proceso productivo de la marca «King Kong Industrial» utilizada en el estudio, donde factores como la heterogeneidad de la materia prima, fluctuaciones en la temperatura de cocción y el curado artesanal generan dispersiones en sus propiedades mecánicas.

Al aplicar el criterio estadístico de resistencia característica ($f' = f'_{\text{prom}} - 1.645\sigma$), esta resulta en una variabilidad en valores característicos inferiores a los normativos tanto para prismas ($f'm = 6.08$ MPa) como para unidades de ladrillo ($f'b = 12.02$ MPa), con discrepancias del 5.0% y 5.4% respectivamente. Este patrón, donde los promedios son adecuados pero la dispersión estadística es alta, es altamente representativo de las condiciones reales de construcción en la ciudad de Juliaca (3,825 m s.n.m.). Diversas investigaciones (Cabrera, 2020; Huamán, 2019) atribuyen esta heterogeneidad a las adversidades ambientales altoandinas, donde las bajas temperaturas y la menor presión atmosférica alteran los procesos de cocción y fraguado de manera irregular, agravadas por la frecuente falta de control técnico en obra. Por lo tanto, el sistema estructural evaluado, cuya calidad está dominada por la inconsistencia y no por la deficiencia generalizada, refleja de manera fidedigna el contexto constructivo local. Esto permite cuantificar con mayor pertinencia la efectividad del refuerzo con CFRP en condiciones reales de vulnerabilidad sísmica, donde la variabilidad de las propiedades mecánicas es la norma.

Asimismo, el mortero utilizado en la investigación tuvo una dosificación en volumen de 1:3 (Cemento: Arena). Aunque esta proporción no se encuentra expresamente tabulada en la NTP 399.610, debido a que la norma incluye principalmente morteros con cal, su utilización es permitida según el apartado 6.1.1. De acuerdo con el enfoque de “Especificación por Propiedades” de la misma normativa, este mortero puede clasificarse dentro del tipo M, ya que supera el valor mínimo de resistencia a la compresión exigido de 17.2 MPa (2 500 psi). Experimentalmente, el promedio corregido de resistencia obtenido en probetas cúbicas de 50 mm fue de $f'_c = 20.23$ MPa, con una desviación estándar de 1.56 MPa, lo cual confirma su clasificación funcional como mortero Tipo M y respalda la representatividad de los resultados experimentales respecto a la práctica constructiva local.

Tabla 2

Ensayos de control, 3 prismas de albañilería.

03 Prismas de Mampostería - Control - 28 DÍAS

Nombre	Espécimen	Dimensiones			Esbeltez	P _{máx}	Área		Factor de corrección	f _m corregido	f _m mínimo E 070
		L	H	t(mm)			Ad	f _m			
		(mm)	(mm)	(mm)	(H/t)	K _f	cm ²	MPa		MPa	(MPa)
P1	SR1	238.50	136.65	237.69	1.74	25440.30	325.91	7.66	0.91	6.97	
P2	SR2	237.80	136.83	237.67	1.74	29709.90	325.38	8.95	0.91	8.15	6.40
P3	SR3	239.19	136.85	237.78	1.74	22564.30	327.33	6.76	0.91	6.15	
										f _m =	7.09
										σ=	1.01
										f' _m =	6.08

Tabla 3

Ensayos de control 3, dados de mortero.

03 Datos de mortero - Control - 28 Días

Nombre	Espécimen	Largo (cm)	Ancho (cm)	Área (cm ²)	Carga máx. (kg)	f'_c (kg/cm ²)	f'_c (MPa)	f'_c (MPa) mínimo NTP 334.051
Dado 1	D1	5.01	4.98	24.95	5631.17	225.7	22.13	
Dado 2	D2	4.91	5.01	24.6	5079.71	206.5	20.25	17.2
Dado 3	D3	5.05	5.09	25.7	4799.03	186.7	18.31	

$f_c = 20.23$

$\sigma = 1.56$

$f'_c = 18.67$

Tabla 4

Ensayos de control 5 unidades de ladrillo.

05 unidades de Ladrillo - Control

Espécimen	Dimensiones (cm)		Dimensiones (cm)		Promedio		Área Ad cm ²	Carga máxima kg	f'_b (kg/cm ²)	f'_b (MPa)	f'_b (MPa) mínimo E070
	Largo	Ancho	Largo	Ancho	Largo	Ancho					
L1	13.76	23.91	13.75	23.87	13.75	23.89	328.51	38862.26	118.30	11.60	
L2	13.69	23.75	13.66	23.77	13.67	23.76	324.87	42525.55	130.90	12.84	
L3	13.71	23.85	13.65	23.80	13.68	23.82	325.81	41018.86	125.90	12.35	12.70
L4	13.79	23.92	13.74	23.92	13.76	23.92	329.26	48368.38	146.90	14.41	
L5	13.79	23.95	13.75	23.90	13.77	23.92	329.43	37884.06	115.00	11.28	

$f_b = 12.49$

$\sigma = 0.47$

$f'_b = 12.02$



Figura 3: Ensayos de control en prismas de albañilería, dados de concreto y unidades de ladrillo.

Tabla 5
Propiedades del CFRP y la resina epóxica de 2 componentes.

Componente	Propiedades Mecánicas	Propiedades Físicas	Condiciones de Aplicación
Sikawrap-600 C (Fibra de Carbono)	- Resistencia a tracción: 3,800 MPa (ASTM D3039) - Módulo elástico: 230 GPa - Alargamiento a rotura: 1.7% - Resistencia a corte capa: 45 MPa	- Espesor: 0.166 mm - Peso areal: 300 g/m² - Ancho estándar: 500 mm/rollo - Densidad: 1.80 g/cm³	- Temperatura de aplicación: 10°C a 35°C - Humedad relativa máxima: 85% - Preparación superficial: SA 2.5 (ISO 8501-1)
Sikadur-301 (Resina Epóxica)	- Resistencia a compresión: 85 MPa (ISO 604) - Resistencia a tracción: 30 MPa - Módulo elástico: 11,500 MPa - Adherencia a concreto: ≥ 2.5 MPa (pull-off)	- Viscosidad (23°C): 16,000 mPa·s (A) / 400 mPa·s (B) - Densidad: 1.65 g/cm³ (A) / 0.94 g/cm³ (B) - Proporción mezcla: 3:1 (A:B) en peso - Vida útil: 40 min (23°C)	- Tiempo de curado: 7 días (20°C) - Máximo espesor por capa: 5 mm - Limpieza herramientas: Sikaclean-205

Tabla 6
Costo del refuerzo con CFRP por murete (0.364 m² = 3640 cm²)

Concepto	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (S/.)	Subtotal (S/.)
SikaWrap-600 C (fibra de carbono)	m ²	0.364	532	193.65
Sikadur-301 (resina epóxica)	m ²	0.364	228	82.99
Mano de obra especializada	jornada	0.1	180	18
Preparación superficial	m ²	0.364	25	9.1
Costo total por murete				303.74

El área de refuerzo empleada en cada una de las configuraciones fue equivalente, utilizándose 1820 cm² por cada lado del muro, lo que representa un área total de 3640 cm² por murete. Asimismo, la cantidad de resina epóxica aplicada fue similar en todas las configuraciones, manteniéndose constante la dosificación conforme a las especificaciones técnicas del fabricante.

3. Resultados y discusión

3.1 Capacidad de esfuerzo cortante y comportamiento

Los ensayos de compresión diagonal realizados en los 16 muretes de albañilería, divididos en cuatro grupos experimentales (SR: sin refuerzo; C1, C2 y C3: diferentes configuraciones de refuerzo con CFRP) demostraron diferencias significativas en su capacidad resistente denotado por un análisis estadístico (ANOVA, $p=0.0007$). El análisis reveló incrementos notables en la resistencia al corte de los muros reforzados respecto al grupo control: 82.93% para C1, 47.44% para C2 y 48.89% para C3. **Tabla 7**

Tabla 7

Resultados del ensayo de resistencia a compresión diagonal en los muretes no reforzados (SR) y los muretes reforzados con las configuraciones C1,C2,C3

Muretes - Sin refuerzo SR - Reforzados C1,C2,C3 - 28 DÍAS

Espécimen	Dimesiones			Pmáx	Área Bruta	Vm	Prom. Vm MPa	σ=	V'm	Δ (%)	V'm
	L (mm)	t(mm)	H (mm)	kN	mm	Mpa			MPa	respecto a SR	(MPa) mínimo E070
SR	650.00	140.00	650.00	96.78	91000	0.75	0.64	0.089	0.55	-	0.79
	650.00	140.00	650.00	82.58	91000	0.64					
	650.00	140.00	650.00	64.65	91000	0.50					
	650.00	140.00	650.00	84.00	91000	0.65					
C1	650.00	140.00	650.00	133.65	91000	1.04	1.05	0.045	1.00	82.93%	
	650.00	140.00	650.00	132.62	91000	1.03					
	650.00	140.00	650.00	144.70	91000	1.12					
	650.00	140.00	650.00	128.41	91000	1.00					
C2	650.00	140.00	650.00	109.20	91000	0.85	0.91	0.101	0.81	47.44%	
	650.00	140.00	650.00	124.39	91000	0.97					
	650.00	140.00	650.00	133.48	91000	1.04					
	650.00	140.00	650.00	101.00	91000	0.78					
C3	650.00	140.00	650.00	119.20	91000	0.93	0.92	0.103	0.82	48.89%	
	650.00	140.00	650.00	125.87	91000	0.98					
	650.00	140.00	650.00	96.36	91000	0.75					
	650.00	140.00	650.00	131.76	91000	1.02					

El análisis post hoc de Tukey ($\alpha = 0.05$) reveló que, todos los refuerzos con CFRP (C1, C2 y C3) presentaron una capacidad resistente significativamente mayor que el grupo sin refuerzo (SR) ($p < 0.01$). Posteriormente no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre las distintas configuraciones de refuerzo ($p > 0.05$). No obstante, la configuración C1 demostró el mejor desempeño global, alcanzando un incremento del

(82.93%) en resistencia última respecto al grupo control, seguido por C3 (48.89%) y C2 (47.44%), lo que sugiere que, a pesar de la equivalencia estadística, C1 podría representar la alternativa más eficiente para aplicaciones prácticas de reforzamiento estructural.

Los ensayos de control de calidad, realizados bajo los protocolos de la Norma Técnica Peruana (NTP), comprendieron compresión axial en 3 prismas de albañilería, 3 dados de mortero y 5 unidades de ladrillo **Figura 3**. Al analizar los valores promedio, los prismas de albañilería (7.09 MPa) y los dados de mortero (20.23 MPa) cumplen con los mínimos establecidos en la Norma E.070 (6.4 MPa) y NTP (17.2 MPa) respectivamente, mientras que las unidades de ladrillo (12.49 MPa) tienen un déficit de un 1.68% con respecto al mínimo normativo de 12.70 MPa para ladrillos Tipo IV. Esta situación se atribuye a la inconsistencia en el proceso productivo de la marca «King Kong Industrial» utilizada en el estudio, donde factores como la heterogeneidad de la materia prima, fluctuaciones en la temperatura de cocción y el curado artesanal generan dispersiones en sus propiedades mecánicas.

Al aplicar el criterio estadístico de resistencia característica ($f' = f_{prom} - 1.645\sigma$), tanto los prismas ($f'_m = 6.08$ MPa) como las unidades de ladrillo ($f'_b = 12.02$ MPa) presentan valores inferiores a los normativos, con déficits del 5.0% y 5.4% respectivamente. Solo el mortero mantiene su cumplimiento bajo este criterio más riguroso. Este incumplimiento marginal estadístico, es atribuible a la variabilidad de resultados, natural de los materiales y a las condiciones de producción local. Por el contrario, define un escenario realista que permite evaluar la efectividad del refuerzo con CFRP en condiciones de vulnerabilidad estructural representativas. Esta situación define un escenario realista que permite evaluar la efectividad del refuerzo con CFRP en condiciones de vulnerabilidad estructural representativas.

3.2 Resultados experimentales

Los resultados experimentales se basan en la resistencia última al corte diagonal promedio de cada grupo. La clasificación de modos de falla se realizó según los mecanismos establecidos en la norma ASTM E519 para ensayos de compresión diagonal (*E519 Standard Test Method for Diagonal Tension (Shear) in Masonry Assemblages*, n.d.), identificando cuatro tipos principales: Tipo A - Falla por Tracción Diagonal (fisura principal a 45° atravesando unidades y mortero), Tipo B - Falla por Deslizamiento (fisura horizontal en juntas de mortero), Tipo C - Falla por Aplastamiento en Esquinas (crushing en zonas de carga), y Tipo D - Falla Mixta (combinación de mecanismos anteriores).

Los muros de referencia, sin refuerzo (SR) alcanzaron una resistencia última al corte diagonal promedio de 0.64 MPa. Todos presentaron falla Tipo A (Tracción Diagonal), caracterizada por una fisura diagonal continua que dividió el murete a través de unidades y mortero. Este comportamiento es típico de albañilería no reforzada bajo esfuerzo cortante, donde la capacidad está gobernada por la resistencia a tracción de los componentes.

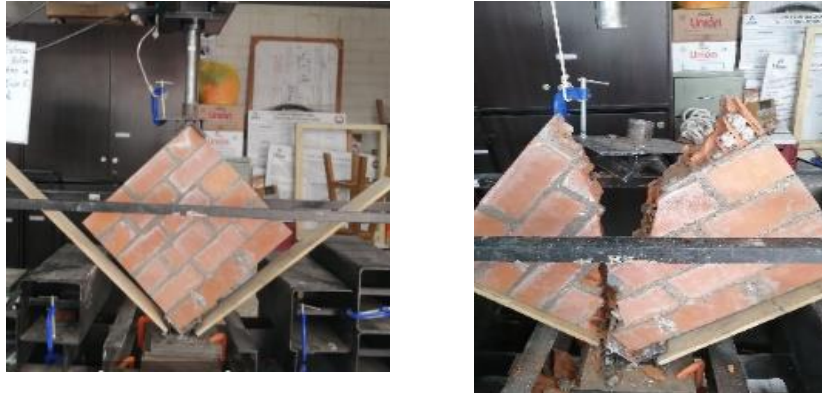


Figura 4: Ensayo de compresión diagonal en muretes patron SR.

Se determino en base a un análisis estadístico en la **Tabla 7** que existe diferencia significativa entre los muros reforzados y los muros sin refuerzo. Esto demuestra que el reforzamiento con CFRP en muros, aumenta la resistencia al corte diagonal. La resistencia ultima al corte diagonal en los muros reforzados con las configuraciones C1, C2, C3 incremento en un 82.93%, 47.44% y 48.89% respecto a los muros de albañilería sin refuerzo SR. Esto comprueba que el reforzamiento con CFRP en muros de albañilería aumenta la capacidad de corte y carga sísmica. Cada grupo de configuración generó modos de falla distintos, evidenciando diferentes mecanismos de transferencia de esfuerzos.

El análisis estadístico de los resultados obtenidos del ensayo de compresión diagonal evidenció diferencias claras entre los cuatro grupos evaluados. En la **Tabla 4**, se muestran los valores de resistencia al corte (en MPa) obtenidos para cada murete según su grupo: SR, correspondiente a los muretes sin refuerzo; C1, con refuerzo en X; C2, con refuerzo en franjas; y C3, con refuerzo en juntas.

Los muros reforzados con la Configuración C1, alcanzaron una resistencia ultima al corte diagonal promedio de 1.05 Mpa, incrementando el valor del esfuerzo cortante en un 83.93% con respecto a los muros no reforzados. Siendo este tipo de refuerzo el que alcanzó los esfuerzos máximos mayores. Las muestras tuvieron una falla Tipo D (Mixta) debido a la fisuración diagonal a 45°, siguiendo la trayectoria de las fibras de CFRP. No se presentaron desprendimientos del refuerzo ni fallas en la interfaz. Esta configuración evidenció una interacción eficaz entre el refuerzo y la albañilería, favoreciendo la redistribución de tensiones y un colapso progresivo y no explosivo.



Figura 5: Ensayo de compresión diagonal muretes reforzados con la configuración C1.

Los muros reforzados con la Configuración C2, alcanzaron una resistencia ultima al corte diagonal un esfuerzo promedio de 0.91 Mpa. La configuración C2 incrementó en un 47.44% el esfuerzo cortante con respecto al grupo patrón SR. Tres de los cuatro muretes presentaron una falla Tipo C (Aplastamiento en Esquinas), con deformaciones concentradas en la zona de compresión y limitada participación del refuerzo. Solo uno presentó fisura diagonal activa (Tipo A), indicando que esta configuración de refuerzo no optimizó la transferencia de esfuerzos en la diagonal principal.



Figura 6: Ensayo de compresión diagonal muretes reforzados con la configuración C2.

Los muros reforzados con la configuración C3 alcanzaron un esfuerzo máximo de compresión diagonal promedio de 0.92 Mpa. Incrementando un 48.89% el esfuerzo cortante respecto a los muros de referencia. Siendo esta configuración más eficiente que la configuración C2 con una diferencia de un 1.45% en esfuerzo cortante. Sin embargo, el modo de falla fue más crítico: tres especímenes presentaron una falla Tipo D (Mixta) con desprendimiento parcial del CFRP y fractura súbita del muro, indicativo de una baja eficiencia en el anclaje del refuerzo. En uno de los casos, la falla fue Tipo C (Aplastamiento en Esquinas), sin propagación de grietas diagonales. Esta configuración, aunque más localizada, mostró limitaciones para garantizar una respuesta ductilizada.



Figura 7: Ensayo de compresión diagonal muretes reforzados con la configuración C3.

Estas observaciones son consistentes con la literatura técnica, que indica que los refuerzos de la configuración C1 en forma de X permiten alinear el refuerzo con las trayectorias de tensión diagonal (aproximadamente a 45°), optimizando la eficiencia del material compuesto. En cambio, refuerzos más distribuidos (C2) o mal anclados (C3) pueden generar mecanismos de falla prematuros, como aplastamiento localizado (Tipo C) o desprendimiento del composite en fallas mixtas (Tipo D), respectivamente.

3.4 Análisis estadístico de la evaluación de resistencia al corte: ANOVA y post prueba de Tukey

La variable de respuesta principal fue la resistencia al corte en plano, obtenida mediante el método de compresión diagonal conforme a la NTP 399.621:2020.

Se verificó inicialmente la normalidad de los datos mediante estadísticas, el test de Shapiro-Wilk, confirmando la validez de los supuestos del análisis paramétrico.

Tabla 7

Tipo de distribución Shapiro Wilk.

Variable\Prueba	P-valor Shapiro- Wilk	Conclusión
SR	0.718	Distribución Normal
C1	0.377	Distribución Normal
C2	0.779	Distribución Normal
C3	0.426	Distribución Normal

Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) de un factor en la **Tabla 8** para evaluar si las diferencias entre los grupos eran estadísticamente significativas. El resultado del ANOVA arrojó un valor de $p < 0.05$ ($p=0.0007$), lo que permite rechazar la hipótesis nula de igualdad de medias, confirmando la existencia de diferencias significativas entre al menos dos grupos experimentales. Diferencias las cuales analizaremos en una prueba Post Tukey.

Tabla 8
Resultados análisis estadístico paramétrico ANOVA.

Fuente	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	Pr > F	p-values signification codes
Modelo	3.000	0.358	0.119	12.494	0.0007	***
Error	11.000	0.105	0.010			
Total						
corregido	14.000	0.463				

Calculado contra el modelo $Y = \text{Media}(Y)$

Signification codes: $0 < *** < 0.001 < ** < 0.01 < * < 0.05 < . < 0.1 < ^ < 1$

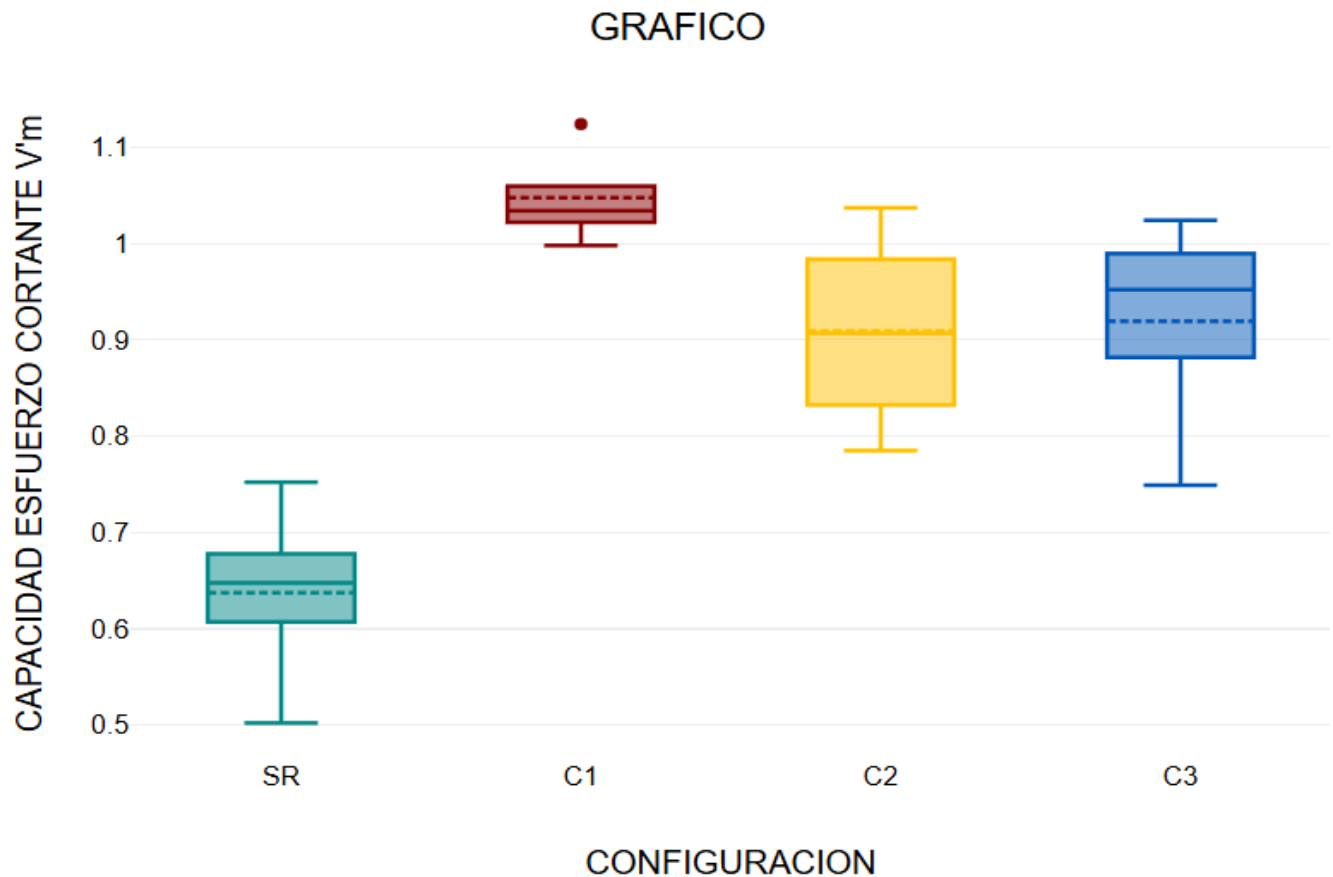


Figura 8: Grafico comparativo del grupo sin refuerzo (SR), con las diferentes configuraciones de refuerzo.

En la prueba post-hoc de Tukey se identificaron los pares de grupos con diferencias estadísticamente significativas. El grupo SR mostró diferencias significativas frente a C1, C2 y C3 ($p < 0.05$), mientras que no se encontraron diferencias significativas entre C1, C2 y C3.

Tabla 9
Prueba post Tukey, nivel de significancia.

4	Contraste	Diferencia	Diferencia estandarizada	Valor crítico	Pr > Dif	Significativo	Límite inferior (95%)	Límite superior (95%)	Límite inferior (95%)	Límite superior (95%)
31	SR vs C1	-0.449	-6.009	3.010	0.000	Sí	-0.673	-0.224		
	SR vs C3	-0.320	-4.291	3.010	0.006	Sí	-0.545	-0.096		
	SR vs C2	-0.310	-4.153	3.010	0.007	Sí	-0.535	-0.085		
	C2 vs C1	-0.139	-2.004	3.010	0.244	No	-0.346	0.069		
	C2 vs C3	-0.010	-0.148	3.010	0.999	No	-0.218	0.198		
	C3 vs C1	-0.128	-1.856	3.010	0.300	No	-0.336	0.080		
q studentized range statistic:				4.256						
Minimum significant difference:				0.24						

Este análisis respalda la superioridad del esquema de refuerzo diagonal tipo X, no solo en términos de valores absolutos, sino también desde un enfoque estadístico riguroso.

Se observa que el refuerzo tipo C1 (diagonal en forma de X) produjo el mayor incremento de resistencia, seguido por los refuerzos C3 y C2. Estos resultados evidencian el efecto positivo del CFRP en la mejora del comportamiento mecánico de muros de albañilería, siendo más efectivo cuando el patrón de colocación coincide con la trayectoria principal de las tensiones de tracción diagonal.

3.5 Limitaciones

Este estudio presenta limitaciones metodológicas y contextuales que deben considerarse en la interpretación de los resultados. En primer lugar, la evaluación del comportamiento esfuerzo-deformación se vio limitada por la ausencia de deformímetros o extensómetros de alta precisión. Esta carencia impidió caracterizar con exactitud el módulo de elasticidad, los puntos de fluencia y la ductilidad real del sistema, parámetros fundamentales para un análisis estructural completo. En consecuencia, el análisis se centró predominantemente en parámetros de resistencia máxima, lo que representa una simplificación del comportamiento mecánico real.

En segundo lugar, los resultados de resistencia deben contextualizarse en las características de los materiales empleados. El análisis mediante resistencia característica reveló que las unidades de ladrillo ($f'_b = 12.02$ MPa) no alcanzaron el mínimo normativo de 12.7 MPa para ladrillos Tipo IV, mientras que los prismas ($f'_m = 6.08$ MPa) tampoco

cumplieron el requerimiento de 6.4 MPa. Es crucial señalar que este desempeño es coherente con la ficha técnica del material de la marca «King Kong Industrial», que reporta una resistencia menor a 130 kg/cm² (12.75 MPa), y con la amplia evidencia sobre los efectos de la altitud en materiales de construcción (Cabrera, 2020; Huamán, 2019). Las condiciones climáticas de Juliaca (3,825 m s.n.m.), caracterizadas por bajas temperaturas y presión atmosférica reducida, afectan adversamente los procesos de fraguado del mortero y el curado final de las unidades, generando una disminución sistemática de las resistencias en comparación con valores obtenidos a nivel del mar.

Finalmente, si bien el tamaño de muestra (n=4) cumple con los requisitos mínimos de normas como la ASTM E519 y C1314, una mayor cantidad de especímenes por configuración hubiera permitido una caracterización estadística más robusta. Además, es imperativo reconocer limitaciones críticas para la transferencia tecnológica de esta solución. Inicialmente el alto costo del sistema CFRP entre 3 a 5 veces superior por metro cuadrado a métodos tradicionales como el shotcrete o enfoscados de malla representa una barrera económica determinante para su adopción masiva en contextos de autoconstrucción o proyectos de vivienda social. Posteriormente la instalación del refuerzo requiere mano de obra especializada, no solo para garantizar la adhesión óptima del composite, sino también por los protocolos de seguridad necesarios para manipular resinas epóxicas de alto riesgo (vapores orgánicos, irritación dérmica). Esta dependencia de especialistas limita severamente su aplicabilidad en entornos rurales o de bajos recursos donde escasea este tipo de capacitación. Por lo tanto, la viabilidad técnica demostrada en este estudio debe ser ponderada frente a estas significativas restricciones prácticas y económicas.

4. Conclusiones

Este estudio experimental demostró que el refuerzo con Polímeros Reforzados con Fibra de Carbono (CFRP) es una técnica efectiva para mejorar significativamente la resistencia al corte de los muros de albañilería, representando una solución adecuada para reforzar edificaciones en zonas de alta sismicidad como la ciudad de Juliaca.

Los ensayos de compresión diagonal evidenciaron aumentos considerables en la capacidad esfuerzo cortante resistente de los muros reforzados en comparación con los muros sin refuerzo. El análisis de las medias mostró que el refuerzo con CFRP en configuración diagonal (C1) presentó un incremento del 82.93% respecto al muro sin refuerzo, mientras que el refuerzo en franjas verticales (C2) logró un aumento del 47.44% y el refuerzo en juntas (C3) alcanzó un incremento del 48.89%. Estos valores reflejan el efecto positivo de cada configuración en el comportamiento estructural de los muros. Se observó que los muros reforzados presentaron un mejor desempeño en cuanto al patrón de fisuración y ductilidad, mostrando fisuras más distribuidas, menor concentración de daños y mayor capacidad de deformación antes de la falla final, lo que es altamente beneficioso en condiciones sísmicas.

El análisis estadístico ANOVA de un factor mostró que existen diferencias estadísticamente significativas entre los grupos evaluados ($F = 12.494$, $p = 0.0007$). Posteriormente, la prueba de comparaciones múltiples de Tukey reveló que todas las configuraciones de refuerzo mejoraron significativamente en comparación con el muro sin refuerzo. No se detectaron diferencias significativas entre las configuraciones reforzadas C1, C2 y

C3 entre sí. Esto sugiere que, aunque todos los refuerzos tienen un comportamiento estadísticamente similar, el refuerzo diagonal (C1) ofrece el mayor incremento promedio de resistencia al corte.

El análisis de los materiales de control revela un escenario diferenciado: mientras los valores promedio de resistencia de prismas (7.09 MPa) y mortero (20.23 MPa) cumplen con los mínimos normativos, las unidades de ladrillo (12.49 MPa) presentan un déficit del 1.68% respecto al requerimiento de 12.70 MPa para Tipo IV.

Al aplicar el criterio estadístico de resistencia característica, tanto prismas ($f'_m = 6.08$ MPa) como unidades de ladrillo ($f'_c = 12.02$ MPa) muestran discrepancias del 5.0% y 5.4% respectivamente con la Norma E.070. Esta condición, atribuible a la variabilidad del material «King Kong Industrial» y a las condiciones ambientales de Juliaca, no invalida el estudio sino que establece el escenario real necesario para evaluar la efectividad del refuerzo con CFRP en condiciones de vulnerabilidad estructural representativas.

El refuerzo de muros de albañilería con CFRP representa una técnica eficaz, práctica y aplicable en edificaciones existentes. Su implementación es recomendable en proyectos de rehabilitación estructural, destacándose especialmente el refuerzo en diagonal (C1) por su mayor efectividad en términos de resistencia. Estos resultados contribuyen con evidencia experimental sólida para la adopción del CFRP como solución de refuerzo estructural en contextos similares y sirven de base para futuras investigaciones y desarrollos normativos.

Se presentaron tres limitaciones principales en este estudio. Primero, no se caracterizaron parámetros deformacionales por limitaciones de instrumentación. Segundo, las unidades de ladrillo tipo IV incumplieron los requisitos normativos, siendo esta una condición inherente del material suministrado por el fabricante y no una deficiencia del diseño experimental. Tercero, la solución con CFRP presenta limitaciones de transferibilidad debido a su alto costo y necesidad de mano de obra especializada. Estas consideraciones delimitan el alcance de los resultados y destacan la necesidad de desarrollar soluciones de refuerzo más accesibles.

Referencias

- Cabrera, L. V. R. L. J. (2020). Estabilización de suelos arcillosos con fibras sintéticas en zonas altoandinas. *Revista de Ingeniería Geotécnica Del Perú*, 25, 45–59.
- Can, Ö. (2018). Investigation of seismic performance of in-plane aligned masonry panels strengthened with Carbon Fiber Reinforced Polymer. *Construction and Building Materials*, 186, 854–862. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.08.028>
- Ccoarite Bellido, K. E. (2020). Influencia de la configuración estructural, en la vulnerabilidad sísmica de viviendas informales . Juliaca (Tesis de Pregrado). In *Universidad Peruana Unión. E519 Standard Test Method for Diagonal Tension (Shear) in Masonry Assemblages*. (n.d.). Retrieved November 20, 2025, from <https://store.astm.org/e0519-07.html>
- Elmalyh, S., Bouyahyaoui, A., Cherradi, T., Rotaru, A., & Mihai, P. (2020). Shear strength of unreinforced masonry walls retrofitted with CFRP. *Advances in Science, Technology and Engineering Systems*, 5(2), 351–359. <https://doi.org/10.25046/AJ050246>

- Giacomin, G., Bressan, M., de Martino, V., & Tomaro, F. (2022). Case study of structural reinforcement of a masonry building. *Procedia Structural Integrity*, 44, 610–617. <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2023.01.080>
- Hashemi, S. M., & Ayoub, A. (2024). Improved Bond Stress-Slip Relationships for Carbon Fibre-Reinforced Polymer-Strengthened Masonry Triplets. *Buildings*, 14(1). <https://doi.org/10.3390/buildings14010257>
- Huamán, R. A. M. (2019). Evaluación experimental del refuerzo con fibras de carbono en muros de albañilería confinada para mejorar su resistencia al corte. *Revista de Ingeniería Civil - Universidad Nacional de Ingeniería*, 26(1), 15–28.
- Instituto Nacional de la Calidad (INACAL). (2004). *NTP 399.621*.
- Joyklad, P., Waqas, H. A., Hafeez, A., Ali, N., Ejaz, A., Hussain, Q., Khan, K., Sangthongtong, A., & Saingam, P. (2023). Experimental Investigations of Cement Clay Interlocking Brick Masonry Structures Strengthened with CFRP and Cement-Sand Mortar. *Infrastructures*, 8(3). <https://doi.org/10.3390/infrastructures8030059>
- Kałuża, M. (2022). Experimental Analysis of Surface Application of Fiber-Reinforced Polymer Composite on Shear Behavior of Masonry Walls Made of Autoclaved Concrete Blocks. *Buildings*, 12(12). <https://doi.org/10.3390/buildings12122208>
- Kubica, J., & Galman, I. (2017). Comparison of Two Ways of AAC Block Masonry Strengthening Using CFRP Strips - Diagonal Compression Test. *Procedia Engineering*, 193, 42–49. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.06.184>
- Ma, P., Xin, R., & Yao, J. (2023). An investigation of bond behavior between composite materials (CFRP, GWMM, KPGC) and substrates (Brick and Concrete) for strengthening existing masonry structures. *Construction and Building Materials*, 409. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.134019>
- Sah, S., & Umamaheswari, N. (2024). Numerical Study on Strengthening of Brick Masonry Walls Using CFRP Strips. In *Lecture Notes in Civil Engineering* (Vol. 398). https://doi.org/10.1007/978-981-99-6229-7_60
- Santos, M., Andres, A., & Alvarado, D. (n.d.). *Análisis comparativo del diseño de una edificación aplicando los criterios de la norma vigente E.070 Albañilería y su propuesta de actualización 2022*. Retrieved July 7, 2025, from <http://hdl.handle.net/10757/670252>