

Willy Adrian Anchapuri Anchapuri

Diseño de mortero con vidrio reciclado molido como reemplazo del agregado fino y su influencia en las propiedades mecánicas

 My Files My Files Universidad Peruana Union

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::29566:534919480

Fecha de entrega

1 dic 2025, 4:46 p.m. GMT-5

Fecha de descarga

1 dic 2025, 6:39 p.m. GMT-5

Nombre del archivo

Willy articulo final.docx

Tamaño del archivo

1.2 MB

27 páginas

7115 palabras

38.485 caracteres

9% 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)

Exclusiones

- N.º de coincidencias excluidas

Fuentes principales

- 6%  Fuentes de Internet
- 1%  Publicaciones
- 8%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

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

- 6%  Fuentes de Internet
- 1%  Publicaciones
- 8%  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		2%
2	Trabajos entregados	
Universidad Tecnologica del Peru on 2024-12-01		<1%
3	Trabajos entregados	
Webster University on 2022-11-14		<1%
4	Trabajos entregados	
Universidad Cesar Vallejo on 2025-01-18		<1%
5	Internet	
www.coursehero.com		<1%
6	Internet	
repositorio.upeu.edu.pe		<1%
7	Trabajos entregados	
Universidad Andina del Cusco on 2018-03-22		<1%
8	Internet	
repositorio.ucv.edu.pe		<1%
9	Trabajos entregados	
Universidad Cesar Vallejo on 2024-07-09		<1%
10	Trabajos entregados	
Universidad Cesar Vallejo on 2023-12-05		<1%
11	Trabajos entregados	
Universidad Cesar Vallejo on 2025-10-31		<1%

12	Internet	zagan.unizar.es	<1%
13	Trabajos entregados	Universidad Autónoma de Nuevo León on 2016-09-13	<1%
14	Internet	dspace.ugal.cl	<1%
15	Trabajos entregados	Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez on 2024-07-03	<1%
16	Trabajos entregados	Universidad Andina del Cusco on 2024-05-23	<1%
17	Trabajos entregados	Universidad Católica de Santa María on 2021-01-07	<1%
18	Trabajos entregados	Universidad Cesar Vallejo on 2024-12-17	<1%
19	Trabajos entregados	Universidad Cesar Vallejo on 2025-08-04	<1%
20	Trabajos entregados	Universidad Privada Antenor Orrego 2025 on 2025-11-21	<1%
21	Trabajos entregados	Universidad Andina del Cusco on 2017-05-03	<1%
22	Trabajos entregados	Universidad Cesar Vallejo on 2024-07-12	<1%
23	Internet	sciencedirect.com	<1%
24	Internet	1library.co	<1%
25	Trabajos entregados	Universidad Cesar Vallejo on 2023-06-15	<1%

26	Trabajos entregados	Universidad Cesar Vallejo on 2024-06-13	<1%
27	Trabajos entregados	Universidad Cesar Vallejo on 2024-07-10	<1%
28	Trabajos entregados	Universidad Cesar Vallejo on 2025-07-22	<1%
29	Trabajos entregados	Universidad Cesar Vallejo on 2025-07-22	<1%
30	Publicación	Urlish Marroquin, Nemias Saboya, A. Angel Sullon. "Machine Learning-based pred...	<1%
31	Internet	pdfcoffee.com	<1%
32	Trabajos entregados	Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez on 2024-09-09	<1%
33	Trabajos entregados	Universidad Andina del Cusco on 2017-09-06	<1%
34	Trabajos entregados	Universidad Católica San Pablo on 2023-04-17	<1%
35	Trabajos entregados	Universidad Cesar Vallejo on 2017-03-07	<1%
36	Trabajos entregados	Universidad Cesar Vallejo on 2023-01-16	<1%
37	Trabajos entregados	Universidad Cesar Vallejo on 2025-08-20	<1%
38	Internet	repositorio.uss.edu.pe	<1%

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
Escuela Profesional de Ingeniería Civil



**Diseño de mortero con vidrio reciclado molido como
reemplazo del agregado fino y su influencia en las propiedades
mecánicas**

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Civil

AUTOR:

Willy Adrian Anchapuri Anchapuri

Asesor:

Mg. Ecler Mamani Chambi

Juliaca, noviembre del 2025

223

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En Puno, Juliaca, Villa Chulitunquiani, a 12 día(s) del mes de noviembre del año 2020 en las 8:30 horas, se reunieron los miembros del jurado en la Universidad Peruana Unión Campus Juliaca, bajo la dirección de (de la) presidente(a):

Mtro. Leonel Chahuares Pascari, el (la) secretario(a): Dr. Leonel Suresca Páez

y los demás miembros: Dr. José Páez Páez

y el (la) asesor(a) Msc. Eder Mamani Chambi

con el propósito de administrar el acto académico de sustentación de la tesis titulado:

Disenio de mortero con vidrio reciclado molido como reemplazo del agregado fino y su influencia en las propiedades mecánicas

del(los) bachiller(es): a) Willy Adrian Anchoyuri Anchoyuri

b) _____

c) _____

conducente a la obtención del título profesional de: Ingeniero Civil

(Denominación del Título Profesional)

El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando al (a la) / a (los) (las) candidato(a)s hacer uso del tiempo determinado para su exposición. Concluida la exposición, el Presidente invitó a los demás miembros del jurado a efectuar las preguntas, y aclaraciones pertinentes, las cuales fueron absueltas por al (a la) / a (los) (las) candidato(a)s. Luego, se produjo un receso para las deliberaciones y la emisión del dictamen del jurado.

Posteriormente, el jurado procedió a dejar constancia escrita sobre la evaluación en la presente acta, con el dictamen siguiente:

Bachiller (a): Willy Adrian Anchoyuri Anchoyuri

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
<u>Aprobado</u>	<u>16</u>	<u>B</u>	<u>Buena</u>	<u>Muy Bueno</u>

Bachiller (b): _____

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	

Bachiller (c): _____

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	

(*) Ver parte posterior

Finalmente, el Presidente del jurado invitó al (a la) / a (los) (las) candidato(a)s a ponerse de pie, para recibir la evaluación final y concluir el acto académico de sustentación procediéndose a registrar las firmas respectivas.



Presidente/a



Asesor/a



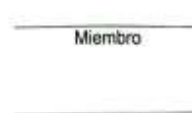
Secretario/a



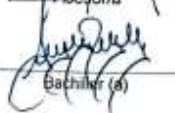
Miembro



Miembro



Miembro



Bachiller (a)



Bachiller (b)



Bachiller (c)

INDICE GENERAL

1. Introducción.....	8
2. Materiales y métodos	8
2.1. Materiales.....	8
2.2. Proporciones de diseño de mezcla.....	9
2.3. Preparación de la mezcla.....	10
2.4. Métodos de prueba.....	10
2.4.1. Resistencia la comprensión en dados de concreto	10
2.4.2. Ensayo de compresión axial de pilas.....	10
2.4.3. Ensayo de compresión diagonal en muretes	11
2.5. Método de análisis estadístico	11
2.5.1. ANOVA de un factor.....	11
2.5.2 Prueba t de Student.....	11
3. RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	11
3.1. Caracterizaciones físicas del agregado fino y el vidrio reciclado molido	11
3.1.1. Caracterización del agregado fino natural	11
3.1.1. Caracterización del vidrio reciclado molido	12
3.2. Porcentaje óptimo de VRM en la resistencia a la compresión	13
3.2. Resistencia a Compresión Axial y Compresión diagonal	13
3.1. Resistencia a compresión Axial en Pilas.....	16
3.1. Resistencia a compresión Diagonal en muretes	16
3.3. Análisis estadístico	18
3.3.1. Análisis ANOVA para resistencia a la compresión en dados de mortero	19
3.3.2. Análisis t-Student para pilas y muretes de albañilería	20
3.3.2.1. Pilas de albañilería (compresión axial).....	20
3.3.2.2. Muretes de albañilería (compresión diagonal)	21
3.4. Discusión	22
4. CONCLUSIONES.....	23
Agradecimientos.....	23
Fuentes de financiación.....	24
Declaration de contribution de la autoría	24
REFERENCIAS	24
5. ANEXOS.	26
A. EVIDENCIA DE LA SUMISIÓN DEL ARTICULO EN UNA REVISTA	26
B. RESOLUCIÓN DE INSCRIPCIÓN DEL PERFIL DE PROYECTO DE TESIS EN FORMATO ARTICULO APROBADO POR EL CONSEJO DE FACULTAD CORRESPONDIENTE	27

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Curva granulométrica agregado fino natural.....	12
Figura 2. Curva granulométrica vidrio reciclado molido.....	13
Figura 3. Resistencia a compresión muestra patrón.....	13
Figura 4. Resistencia a compresión muestra + 5% de VRM.....	14
Figura 5. Resistencia a compresión muestra + 10% de VRM.....	14
Figura 6. Resistencia a compresión muestra + 15% de VRM.....	15
Figura 7. Resistencia a compresión muestra + 20% de VRM.....	15
Figura 8. Resumen resistencia a compresión.....	16
Figura 9. Resistencia a compresión axial en pilas-Muestra patrón.....	16
Figura 10. Resistencia a compresión axial en pilas - MP + 15 % VR.....	17
Figura 11. Resumen resistencia a compresión axial en pilas.....	17
Figura 12. Resistencia a compresión diagonal – Muestra patrón.....	18
Figura 13. Resistencia a compresión diagonal – MP + 15% VRM.....	18
Figura 14. Resumen de resistencia a compresión diagonal.....	19
Figura 15 Distribución del t Studen con el t critico: 2.1318	20
Figura 16 Distribución del t Studen con el t critico: 2.92	21

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Constituyentes y propiedades físicas.	9
Tabla 2. Caracterización del ladrillo King Kong Hércules.	9
Tabla 3. Proporciones del diseño de mezcla.....	9
Tabla 4. Caracterización del agregado fino natural	12
Tabla 5. Caracterización del vidrio reciclado molido.	12
Tabla 6. Estadísticos descriptivos de la resistencia a compresión (28 días).....	19
Tabla 7. ANOVA – resistencia a compresión (28 días, probetas cubicas).....	20
Tabla 8. Estadísticos descriptivos de la resistencia a axial en pilas	20
Tabla 9. Resultados de la prueba t de Student en pilas	20
Tabla 10. Estadísticos descriptivos de la resistencia diagonal en muretes	21
Tabla 11 resultados de la prueba t de Student en muretes.....	21

Mortar design with ground recycled glass as a replacement for fine aggregate and its influence on mechanical properties

Diseño de mortero con vidrio reciclado molido como reemplazo del agregado fino y su influencia en las propiedades mecánicas

Willy Adrian Anchapuri Anchapuri ✉
Universidad Peruana Union (Juliaca, Perú)

✉: willy.aa@upeu.edu.pe

ABSTRACT: This study evaluates the use of ground recycled glass (GRG) as a partial replacement for natural fine aggregate in masonry mortars, with the aim of improving mechanical performance and promoting sustainability in construction. Mixtures were prepared with 0%, 5%, 10%, 15%, and 20% GRG, keeping the cement-to-sand ratio constant and adjusting the water-to-cement ratio to ensure workability. Physical testing of the materials and mechanical compression tests were performed on cube probes, piers, and low walls. The 15% GRG generated a maximum strength of 363.71 kg/cm² at 28 days, exceeding conventional mortar by 27.6%. In structural elements, axial and diagonal strength also improved by more than 10%, confirming the efficiency of GRG. The results demonstrate that the use of GRG as an alternative fine aggregate is technically and environmentally viable, promoting the reuse of glass waste and reducing the impact on natural resources.

KEY WORDS: Sustainable construction, Contraction, Mortar, Mechanical properties, Recycled glass

RESUMEN: Este estudio evalúa el uso de vidrio reciclado molido (VRM) como reemplazo parcial del agregado fino natural en morteros para albañilería, con el objetivo de mejorar su desempeño mecánico y fomentar la sostenibilidad en la construcción. Se elaboraron mezclas con 0%, 5%, 10%, 15% y 20% de VRM, manteniendo constante la relación cemento/arena y ajustando la relación agua/cemento para garantizar la trabajabilidad. Se realizaron ensayos físicos de los materiales y pruebas mecánicas de compresión en probetas cúbicas, pilas y muretes. El 15% de VRM generó una resistencia máxima de 363.71 kg/cm² a los 28 días, superando en 27.6% al mortero convencional. En elementos estructurales, la resistencia axial y diagonal también mejoró más del 10%, confirmando la eficiencia del VRM. Los resultados demuestran que el uso de VRM como agregado fino alternativo es viable técnica y ambientalmente, promoviendo la reutilización de residuos de vidrio y reduciendo el impacto sobre los recursos naturales.

PALABRAS CLAVE: Construcción sostenible, Contracción, Mortero, Propiedades mecánicas, Vidrio reciclado

ORCID ID: W. Anchapuri (<https://orcid.org/0009-0001-2999-5676>).

1. Introducción

El uso de materiales reciclados en la construcción es una estrategia clave para fomentar el desarrollo sostenible y minimizar el impacto ambiental [1]. En el contexto actual, el manejo inadecuado de residuos sólidos urbanos representa uno de los principales desafíos ambientales a nivel global [2]. Entre estos, el vidrio posconsumo destaca por su alta generación y baja biodegradabilidad, en Hong Kong se gestionan más de 100.000 toneladas anuales de envases de vidrio, sin embargo, su baja valorización comercial y los altos costos de recolección han derivado en índices de reciclaje deficientes [3].

A nivel global, el vidrio representa aproximadamente el 5% de los residuos sólidos urbanos, siendo en su mayoría producto de envases de un solo uso, como botellas. Las tasas de reciclaje son variables: mientras que Europa alcanzó un 71,48% en 2017, países como Bélgica y Eslovenia superan el 95%, pero otros como Turquía apenas llegan al 9%. Esta realidad evidencia un problema estructural en la gestión de residuos, agravado por el hecho de que el vidrio, al no ser biodegradable, permanece indefinidamente en los vertederos y contribuye al agotamiento de los recursos naturales, como la arena utilizada para fabricar nuevos productos [4]. Desde el enfoque de la construcción, se ha explorado la reutilización del vidrio triturado como agregado en morteros y concretos, tanto como sustituto parcial del cemento como del agregado fino o grueso [5].

La arena natural ha sido durante mucho tiempo el agregado fino estándar en la producción de mortero y concreto, pero su explotación indiscriminada está provocando impactos ambientales negativos, como la erosión de riberas, alteración de ecosistemas y agotamiento de fuentes locales [6]. Frente a esta situación, diversas investigaciones han demostrado que el vidrio molido puede actuar como reemplazo parcial de la arena, generando un material con propiedades mecánicas competitivas, especialmente en proporciones entre el 5% y el 15%, donde se observan mejoras en la densidad, trabajabilidad y resistencia a compresión, debido al efecto de micro relleno y a la forma angular del vidrio triturado [7].

El mortero de albañilería, por ser uno de los materiales más utilizados y económicos en la industria de la construcción, se convierte en un campo ideal para implementar este tipo de innovaciones [8]. La posibilidad de utilizar vidrio reciclado como parte del diseño del mortero representa una solución técnica, económica y ambiental que responde a la necesidad de gestionar residuos y promover prácticas sostenibles. Además, su uso en elementos como pilas o muretes de albañilería permitiría validar no solo su resistencia a compresión axial o diagonal, sino también su aplicabilidad estructural en obras reales [9].

En ese sentido, esta investigación se plantea como una propuesta innovadora y pertinente, orientada al diseño de morteros ecológicos utilizando vidrio reciclado **molido como sustituto del agregado fino**, evaluando su influencia **en las propiedades físicas y mecánicas del material**. Este enfoque integra el aprovechamiento de residuos industriales con el desarrollo de materiales sostenibles en la construcción civil, la eficiencia de recursos y los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), especialmente en lo referente al consumo y producción responsables.

2. Materiales y métodos

2.1. Materiales

Los materiales empleados para la fabricación del mortero fueron: cemento Portland, agregado fino natural (AN), vidrio reciclado molido (VRM) como reemplazo parcial del agregado fino, y ladrillo King Kong, utilizado en la elaboración de pilas y muretes para los ensayos mecánicos. El cemento utilizado fue cemento Portland tipo IP, con una resistencia a compresión de 31.79 MPa, cumpliendo con los requisitos establecidos por la norma ASTM C595/C595M-20 y la Norma

Técnica Peruana NTP 334.090:2020. A continuación, se detallan la composición química y las propiedades físicas del cemento en la Tabla 1.

Tabla 1. Constituyentes y propiedades físicas.

Constituyentes %		Propiedades físicas			
MgO %	SO ₃ %	Tipo de fraguado (inicial)(min)	Tiempo de fraguado (final)(min)	Contenido de aire del mortero (%)	Peso específico (g/cm ³)
2.07	2.02	232	293	3.73	2.81

El ladrillo mecanizado King Kong Hércules 10, fue el material utilizado en la construcción de pilas y muretes de albañilería para los ensayos mecánicos de esta investigación. Este ladrillo cumple con los requerimientos de la norma técnica E.070 – Albañilería, clasificándose como Tipo IV, adecuado para construcciones estructurales con esfuerzos moderados. Según la Tabla 2, presenta dimensiones estandarizadas de 10 cm de altura, 14 cm de ancho y 24 cm de largo, con un peso que varía entre 3.080 kg y 3.330 kg, lo que garantiza una manipulación eficiente en obra. Su máxima absorción de agua es del 22%, cumpliendo los límites establecidos por la normativa para garantizar una adecuada adherencia con el mortero. Asimismo, el alabeo máximo permitido es de 3 mm, asegurando su regularidad geométrica para una correcta alineación. De este modo, la resistencia a la compresión promedio del ladrillo alcanza los 130 kg/cm², valor que lo convierte en un elemento apto para evaluaciones estructurales en muros confinados o no confinados.

Tabla 2. Caracterización del ladrillo King Kong Hércules.

Ladrillo King Kong Hércules 10 (Diamante)						
Altura (cm)	Ancho (cm)	Largo (cm)	Peso (kg)	Absorción máxima (%)	Alabeo máximo (mm)	Resistencia a la compresión (kg/cm ²)
10.00	14.00	24.00	3.080-3.330	22.00	3.00	130.00

2.2. Proporciones de diseño de mezcla

Las proporciones de mezcla en peso utilizadas para la preparación de los morteros con agregado fino natural (AF) y vidrio reciclado molido (VRM) se detallan en la Tabla 3. En todas las dosificaciones, se mantuvo constante el contenido de cemento en 500 gramos, así como la relación cemento : agregado fino (C/AF) de 1:2.75, lo cual asegura uniformidad en la base de comparación. Para el mortero de control elaborado únicamente con AF, se empleó una relación agua/cemento (A/C) de 0.45. En el caso de los morteros con sustitución parcial de agregado fino por VRM, la relación A/C fue ajustada a 0.425 con el fin de mantener una trabajabilidad equivalente a la del mortero de control, considerando la menor absorción de agua del vidrio molido en comparación con la arena natural.

Tabla 3. Proporciones del diseño de mezcla.

% Contenido de VRM	Cemento (gr)	Agua (ml)	Agregado fino (gr)	Vidrio reciclado molido (gr)
0%	500	0.45	1,375.00	0
5%	500	0.425-0.45	1,306.25	68.75
10%	500	0.425-0.45	1,237.50	137.50
15%	500	0.425-0.45	1,168.75	206.25
20%	500	0.425-0.45	1,100.00	275.00

2.3. Preparación de la mezcla

Se adoptó una secuencia de mezclado estandarizada para asegurar la consistencia en la preparación de todas las muestras de mortero. Las mezclas fueron elaboradas en una mezcladora de tambor rotatorio estándar con capacidad de 8 kg. En primer lugar, se mezclaron el cemento y los agregados finos (AF y VRM) durante aproximadamente 120 segundos a baja velocidad, con el objetivo de obtener una mezcla seca y homogénea. A continuación, se incorporó de forma gradual la cantidad de agua correspondiente, completando el proceso con un mezclado adicional hasta lograr una pasta uniforme y trabajable.

Para cada dosificación de mortero, se moldearon veintiún (21) prismas de 50×50×50 mm utilizando moldes de acero. Las probetas fueron desmoldadas a las 24 horas de colado y posteriormente curadas en agua a temperatura ambiente. Se evaluó la resistencia a la compresión de los especímenes a los 7, 14 y 28 días de curado, siguiendo el protocolo correspondiente a ensayos de mortero.

Una vez identificado el porcentaje óptimo de reemplazo con VRM, se fabricaron nueve (30) pilas de albañilería con dimensiones de 14×24×33 cm. Estas pilas fueron curadas mediante humedecimiento continuo en un ambiente techado y ventilado, a temperatura ambiente. La resistencia a la compresión axial se evaluó también a los 7, 14 y 28 días. Adicionalmente, se construyeron doce (12) muretes de albañilería con dimensiones de 14×67.5×67.5 cm, los cuales fueron curados bajo las mismas condiciones ambientales. La resistencia a la compresión diagonal de estos muretes fue determinada a los 7 y 28 días de curado, permitiendo analizar el comportamiento estructural del mortero con VRM en elementos constructivos reales

2.4. Métodos de prueba

2.4.1. Resistencia la compresión en dados de concreto

El ensayo de resistencia a la compresión en dados de mortero se realizó conforme a los lineamientos establecidos por la Norma Técnica Peruana NTP 334.051 [10] La resistencia se determinó utilizando una prensa hidráulica de 3000 kN de capacidad, aplicada sobre especímenes cúbicos de 50×50×50 mm. Las probetas fueron ensayadas a los 7, 14 y 28 días de curado, bajo condiciones estándar de laboratorio. Para cada edad de curado, los resultados corresponden al promedio de siete (7) mediciones, lo que permite garantizar una mayor precisión estadística en la evaluación de los datos. Las muestras correspondieron a distintas dosificaciones con reemplazos de agregado fino por vidrio reciclado molido (VRM) en proporciones del 5%, 10%, 15% y 20%. A partir de los valores obtenidos en estos ensayos, se identificó el porcentaje óptimo de sustitución de agregado fino natural, el cual fue seleccionado para ser utilizado en los ensayos posteriores en pilas y muretes de albañilería.

2.4.2. Ensayo de compresión axial de pilas

El ensayo de resistencia a la compresión axial de pilas de albañilería se realizó siguiendo los procedimientos establecidos en la Norma Técnica Peruana NTP 399.605 y la norma ASTM C1314 [11]. Las pilas fueron construidas con ladrillos King Kong y mortero elaborado con el porcentaje óptimo de reemplazo de agregado fino por vidrio reciclado molido (VRM), determinado previamente a través del ensayo en dados. La carga fue aplicada mediante una prensa hidráulica con capacidad de 3000 kN, asegurando una distribución uniforme del esfuerzo sobre la pila. Las pilas se construyeron con un espesor de junta de mortero de 1.5 cm, conforme a los criterios técnicos de albañilería estructural. El ensayo se realizó a los 7, 14 y 28 días de curado, y los resultados corresponden al promedio de tres (5) muestras por cada edad, permitiendo evaluar

el comportamiento estructural del mortero modificado con VRM en condiciones reales de carga axial vertical.

2.4.3. Ensayo de compresión diagonal en muretes

El ensayo de resistencia a la compresión diagonal en muretes de albañilería se realizó conforme a los lineamientos establecidos en la Norma Técnica Peruana NTP 399.621 –Unidades de albañilería [12]. Este procedimiento tiene como finalidad determinar la resistencia al corte diagonal (V_m) del conjunto ladrillo-mortero bajo cargas aplicadas en dirección diagonal.

Para ello, se elaboraron tres (3) muretes con dimensiones de 67.5 cm × 67.5 cm, todos construidos con ladrillos King Kong y el mortero con el porcentaje óptimo de reemplazo de agregado fino por vidrio reciclado molido (VRM). Las unidades fueron curadas en condiciones controladas de humedad y temperatura hasta el momento del ensayo.

La carga diagonal fue aplicada a través de una prensa hidráulica, a una velocidad controlada que permitió alcanzar la carga máxima en un intervalo de 1 a 2 minutos, tal como establece la normativa. Este ensayo permite analizar la capacidad de resistencia al esfuerzo cortante del sistema constructivo, evaluando el comportamiento del mortero modificado con vidrio reciclado en condiciones de carga diagonal representativas de esfuerzos sísmicos o deformaciones laterales

2.5. Método de análisis estadístico

Para determinar la significancia estadística de las diferencias en los resultados experimentales se aplicaron dos métodos estadísticos Análisis de varianza (ANOVA) y prueba t de Student

2.5.1. ANOVA de un factor

El ANOVA de un factor se utilizó para comparar las medidas de resistencia a compresión obtenidas en probetas elaboradas con diferentes porcentajes de reemplazo de agregado fino por vidrio reciclado molido (VRM). Este análisis permite evaluar si las diferencias observadas entre los grupos son estadísticamente significativas o si pueden atribuirse al azar. La prueba se realizó bajo la hipótesis nula de que todas las medidas son iguales frente a la hipótesis alternativa de que al menos una medida diferente. Se estableció un nivel de significancia del 5% y se calculó el estadístico F y p-valor correspondiente

2.5.2 Prueba t de Student

Una vez identificado el porcentaje de (VRM) con mejor desempeño, se empleó la prueba t de Student para comparar las resistencias obtenidas entre dos grupos específicos: el mortero patrón y el mortero con el porcentaje óptimo de remplazo. Esta prueba se aplicó tanto para los resultados de resistencia a compresión axial de pilas como para los resultados de compresión diagonal de muretes, se fijó un nivel de significancia del 5% para determinar si las diferencias observadas son estadísticamente significativas

3. RESULTADOS Y DISCUSIONES

3.1. Caracterizaciones físicas del agregado fino y el vidrio reciclado molido

3.1.1. Caracterización del agregado fino natural

El agregado fino natural procedente de la cantera Cabanillas presenta un peso específico seco (P.E masa) de 2.50, mientras que su peso específico saturado y superficialmente seco (P.E masa sss) es de 2.59 y el peso específico aparente es de 2.71, lo cual indica una estructura densa con porosidad moderada. La absorción de agua del material fue de 3.59%, lo que refleja una capacidad media de retención de humedad, mientras que su contenido de humedad natural fue de 1.61%. En

cuanto a su densidad compacta, el peso unitario suelto fue de 1695.679 kg/m³, el peso unitario compactado alcanzó los 1787.006 kg/m³ y un módulo de finura de 4.317, valores que evidencian una buena trabajabilidad y estabilidad volumétrica del agregado, adecuados para la fabricación de morteros.

Tabla 4. Caracterización del agregado fino natural.

Agregado fino natural							
P.E masa	P.E masa sss	P.E aparente	% absorción	% humedad	P.U suelto (kg/m ³)	P.U compacto (kg/m ³)	Módulo de Finura
2.50	2.59	2.71	3.59	1.61	1695.679	1787.006	4.317

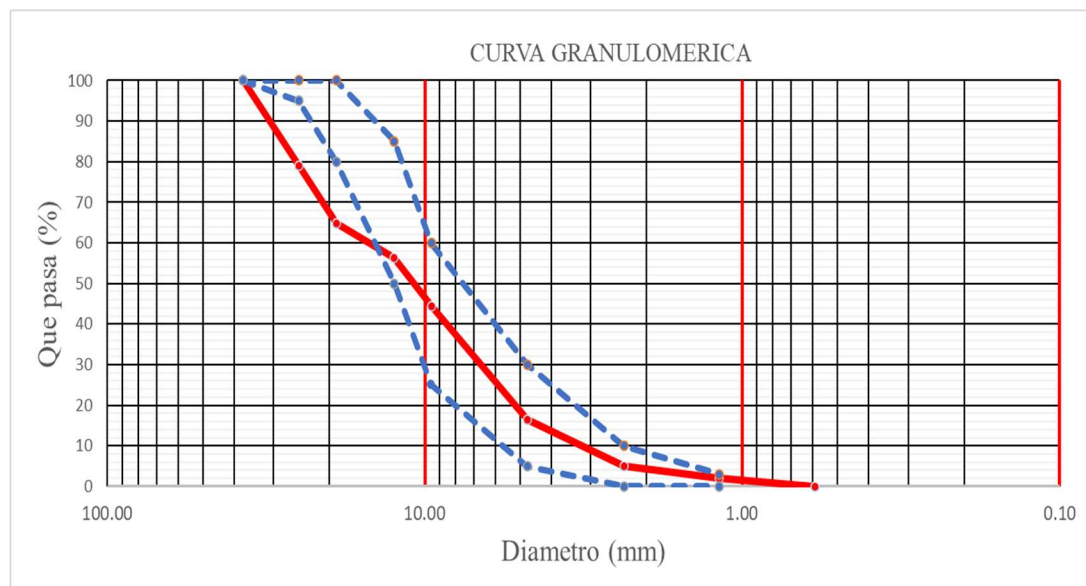


Figura 1. Curva granulométrica agregado fino natural

3.1.1. Caracterización del vidrio reciclado molido

El vidrio reciclado molido (VRM) utilizado en esta investigación provino principalmente de botellas posconsumo recolectadas por recicladores locales, las cuales fueron previamente lavadas y trituradas mediante un equipo de tipo Abrams. El material consistía en una mezcla de colores (transparente, verde y marrón), y fue incorporado como reemplazo parcial del agregado fino natural en proporciones de 5%, 10%, 15% y 20%, en masa. En cuanto a sus propiedades físicas, el VRM presentó un peso específico seco y saturado (P.E masa y P.E masa sss) de 2.58, y un peso específico aparente de 2.71, valores que evidencian una densidad levemente superior a la del agregado natural. Su baja absorción de agua (0.06%) y contenido de humedad (0.32%) indican una mínima porosidad, lo cual mejora su estabilidad dimensional dentro de la mezcla. En términos de densidad suelta, compactada, el vidrio reciclado mostró un peso unitario suelto de 1482.47 kg/m³ y compactado de 1734.160 kg/m³ y un módulo de finura de 3.678, valores adecuados para su uso como agregado fino alternativo en morteros, sin comprometer su trabajabilidad.

Tabla 5. Caracterización del vidrio reciclado molido.

Vidrio Reciclado Molido							
P.E masa	P.E masa sss	P.E aparente	% absorción	% humedad	P.U suelto (kg/m ³)	P.U compacto (kg/m ³)	Módulo de Finura
2.58	2.58	2.71	0.06	0.32	1482.47	1734.160	3.678

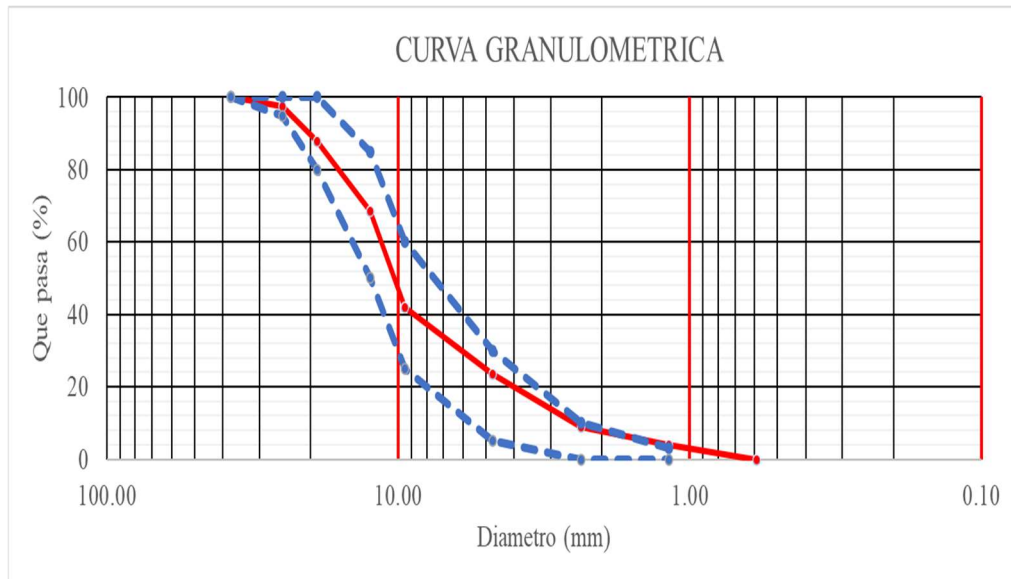


Figura 2. Curva granulométrica vidrio reciclado molido

3.2. Porcentaje óptimo de VRM en la resistencia a la compresión

Los resultados obtenidos para la muestra patrón (elaborada con 100% de agregado fino natural) muestran una evolución progresiva de la resistencia a la compresión en función del tiempo de curado. A los 7 días, se alcanzó una resistencia promedio de 165.54 kg/cm², aumentando a 181.29 kg/cm² a los 14 días, y alcanzando una resistencia máxima de 285.11 kg/cm² a los 28 días. Este comportamiento refleja una adecuada ganancia de resistencia con el tiempo, característica esperada en morteros con cemento Portland tipo IP.

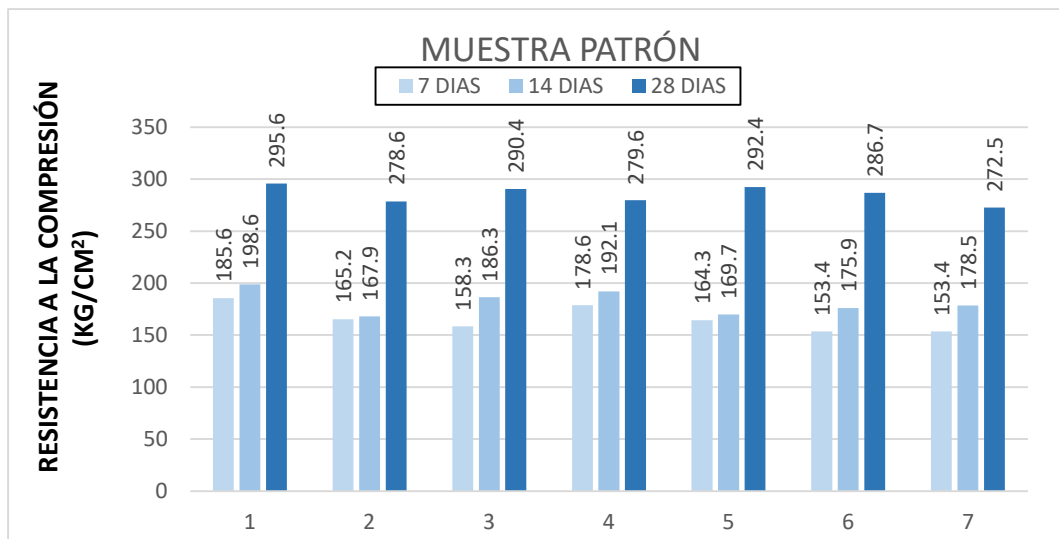


Figura 3. Resistencia a compresión muestra patrón

La mezcla de mortero con un 5% de reemplazo de agregado fino por vidrio reciclado molido (VRM) evidenció un mejor comportamiento mecánico en comparación con la muestra patrón. A los 7 días de curado, se alcanzó una resistencia promedio de 186.70 kg/cm², superando en más de 20 kg/cm² al mortero convencional. A los 14 días, la resistencia continuó incrementándose hasta 199.84 kg/cm², y finalmente, a los 28 días, se obtuvo un valor de 305.93 kg/cm², lo que representa

un aumento significativo respecto a la muestra patrón (285.11 kg/cm²). Estos resultados indican que la incorporación de un 5% de VRM mejora la resistencia a la compresión del mortero, posiblemente debido al efecto de microrrelleno y la forma angular del vidrio, lo cual favorece una mejor compactación y adherencia en la matriz cementante.

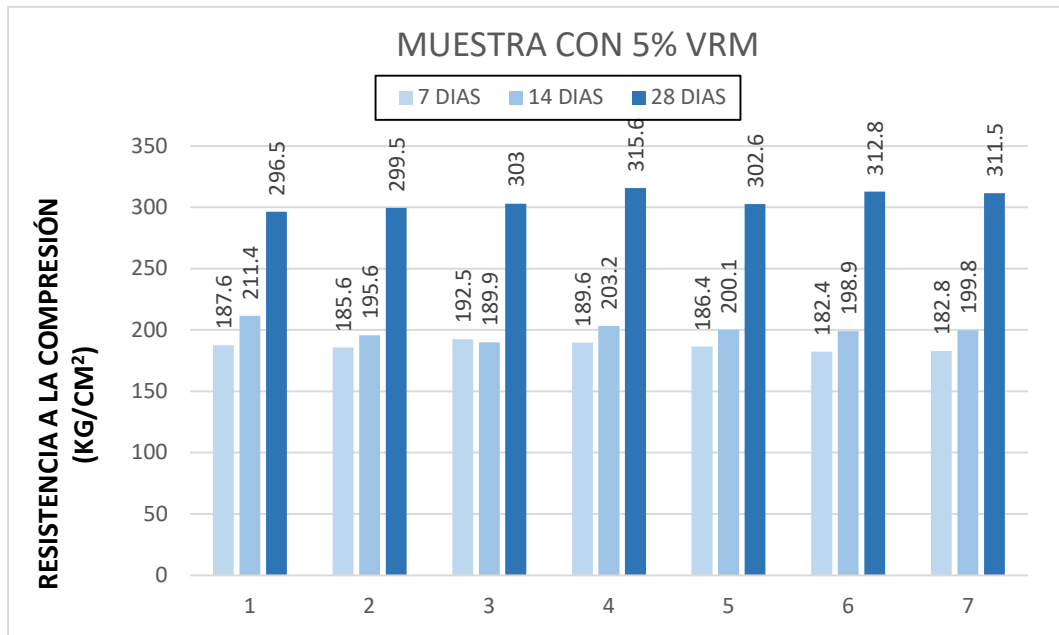


Figura 4. Resistencia a compresión muestra + 5% de VRM

La mezcla de mortero con un 10% de reemplazo de agregado fino por vidrio reciclado molido (VRM) mostró una mejora continua en la resistencia a la compresión respecto tanto al mortero patrón como a la mezcla con 5% de VRM. A los 7 días, se obtuvo una resistencia promedio de 191.69 kg/cm², reflejando una mayor ganancia temprana. A los 14 días, la resistencia se incrementó a 206.34 kg/cm², y a los 28 días, alcanzó un valor máximo de 323.09 kg/cm², siendo el más alto registrado hasta el momento. Este comportamiento sugiere que un 10% de VRM podría representar un contenido óptimo de sustitución, ya que mejora significativamente la resistencia mecánica, posiblemente debido a un mejor empaque de partículas y reducción de vacíos en la matriz del mortero.

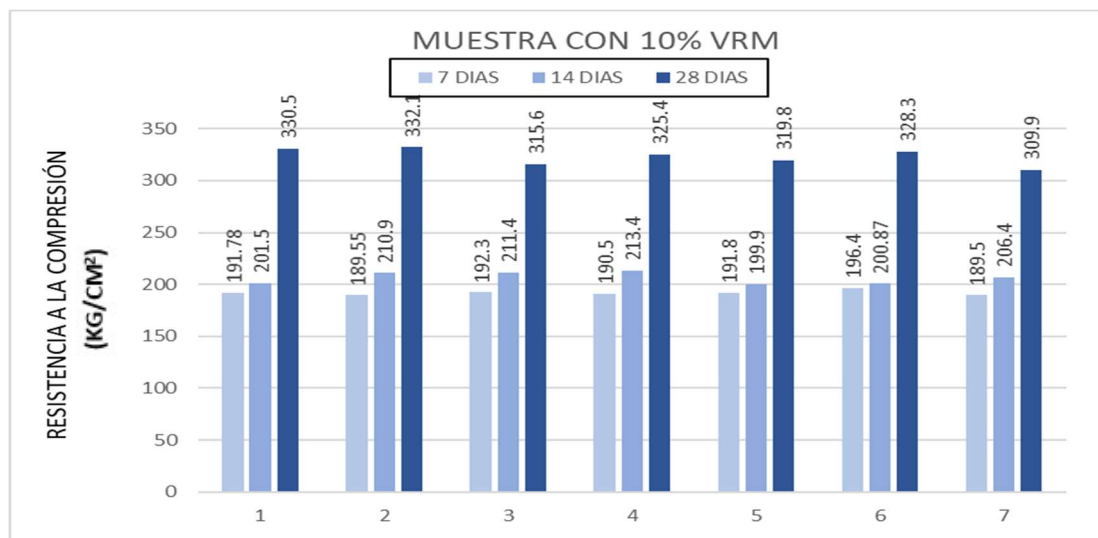


Figura 5. Resistencia a compresión muestra + 10% de VRM

La mezcla de mortero con un 15% de **reemplazo de agregado fino por vidrio reciclado molido (VRM)** presentó un desempeño mecánico notablemente superior al de todas las mezclas anteriores. A los 7 días, alcanzó una resistencia promedio de 239.70 kg/cm², lo que representa un incremento de más del 44% respecto a la muestra patrón. A **los 14 días, se obtuvo una resistencia de 234.17 kg/cm²**, manteniéndose en niveles elevados, **y a los 28 días se logró una resistencia máxima de 363.71 kg/cm²**, la más alta entre todas las dosificaciones evaluadas.

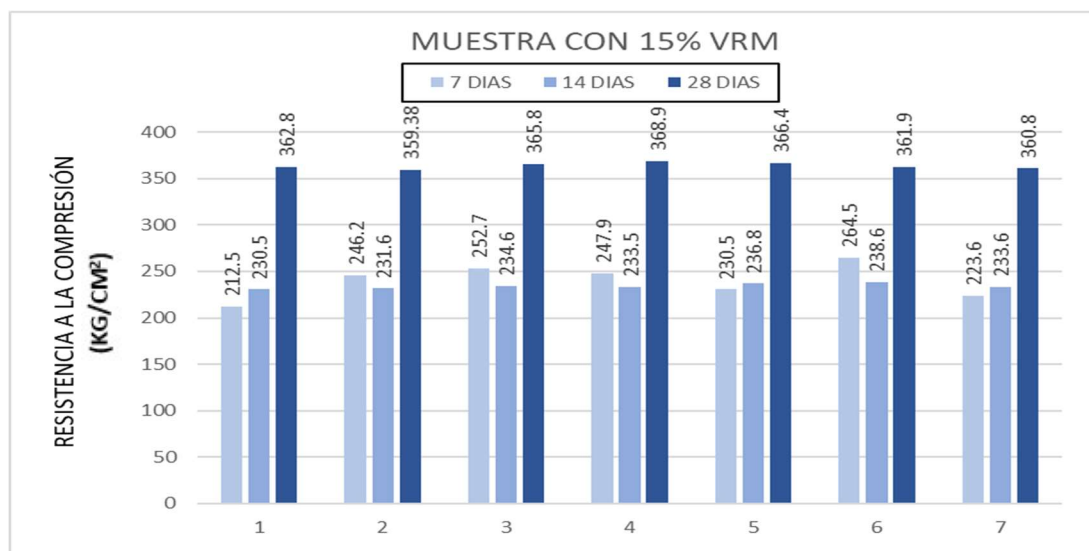


Figura 6. Resistencia a compresión muestra + 15% de VRM

La mezcla de mortero con un 20% de **reemplazo del agregado fino natural por vidrio reciclado molido (VRM)** mostró **una resistencia a la compresión** superior a la muestra patrón, pero con una tendencia a estabilizarse en comparación con las dosificaciones óptimas previas. A los 7 días, se registró una resistencia promedio de 203.36 kg/cm², aumentando a 214.70 kg/cm² a los 14 días y **alcanzando un máximo de 329.01 kg/cm² a los 28 días**. Si bien estos valores representan una mejora respecto a la mezcla convencional sin VRM (285.11 kg/cm² a los 28 días), el incremento es menor que el alcanzado con el 15% y el 10% de reemplazo, lo que indica que una mayor proporción de vidrio podría afectar negativamente la compacidad o adherencia del mortero. Por tanto, aunque el 20% de VRM aún mejora la resistencia frente al patrón, no se considera la dosificación óptima, debido a su rendimiento ligeramente inferior en comparación con porcentajes menores.

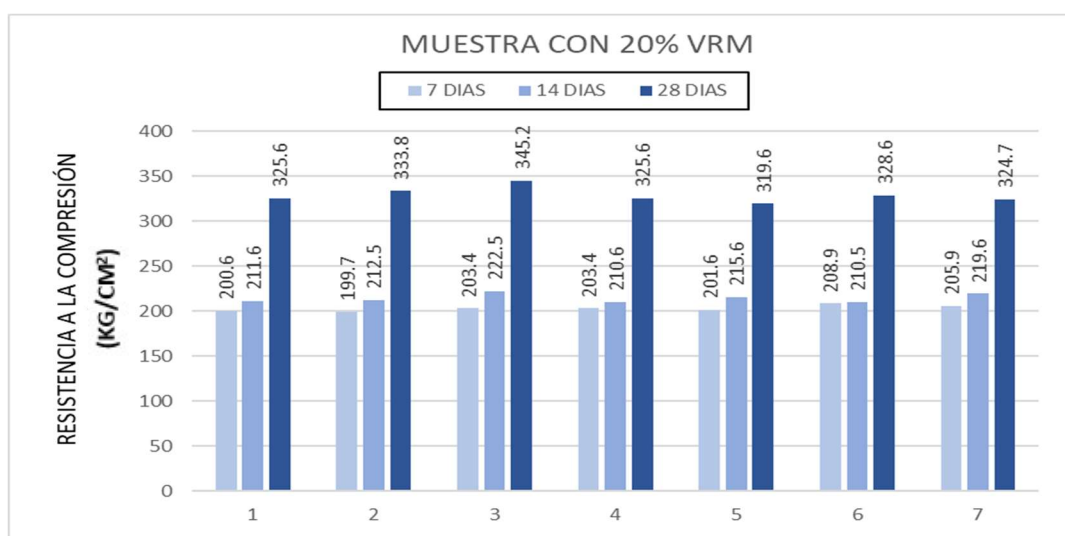


Figura 7. Resistencia a compresión muestra + 20% de VRM

Con base en los resultados obtenidos, se observa que la incorporación de vidrio reciclado molido (VRM) como reemplazo parcial del agregado fino mejora progresivamente la resistencia a compresión del mortero en comparación con la muestra patrón. A los 28 días, las resistencias alcanzadas fueron de 305.93 kg/cm² con 5% de VRM, 323.09 kg/cm² con 10%, y 363.71 kg/cm² con 15%, mientras que con 20% se registró una ligera disminución a 329.01 kg/cm². Estos valores evidencian que el porcentaje de 15% de VRM representa el contenido óptimo, al lograr la mayor resistencia mecánica sin comprometer la calidad del mortero, superando en más de un 27% la resistencia obtenida con el mortero convencional.

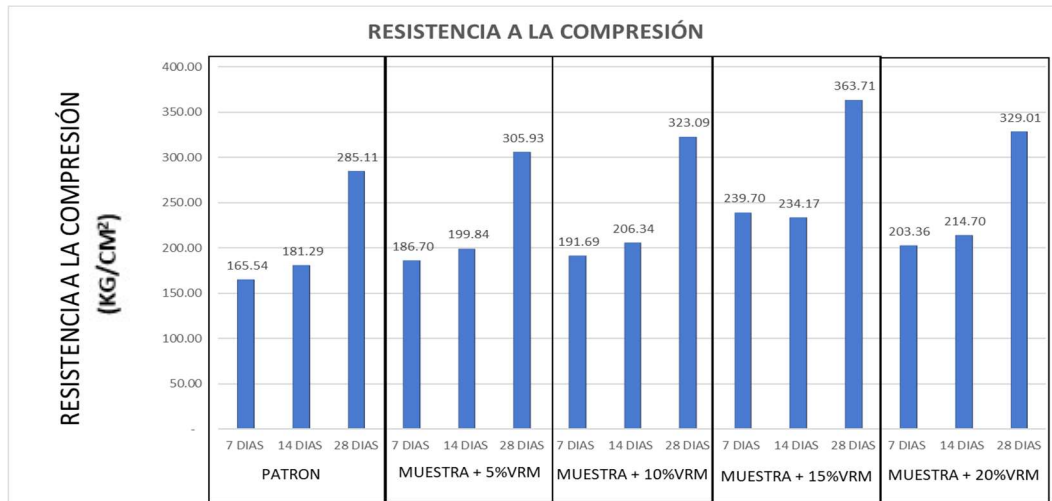


Figura 8. Resumen resistencia a compresión

3.2. Resistencia a Compresión Axial y Compresión diagonal

3.1. Resistencia a compresión Axial en Pilas

La muestra patrón, elaborada con mortero convencional sin incorporación de vidrio reciclado molido (VRM), presentó un incremento progresivo en la resistencia a la compresión axial de las pilas de albañilería conforme avanzó el tiempo de curado. A los 7 días, se alcanzó una resistencia promedio de 45.84 kg/cm², que aumentó a 60.15 kg/cm² a los 14 días, y finalmente alcanzó los 68.25 kg/cm² a los 28 días. Estos resultados reflejan el comportamiento esperado de una pila construida con mortero tradicional, donde la ganancia de resistencia es gradual con el paso de los días, sirviendo como referente comparativo para evaluar la influencia del mortero modificado con VRM en términos estructurales.

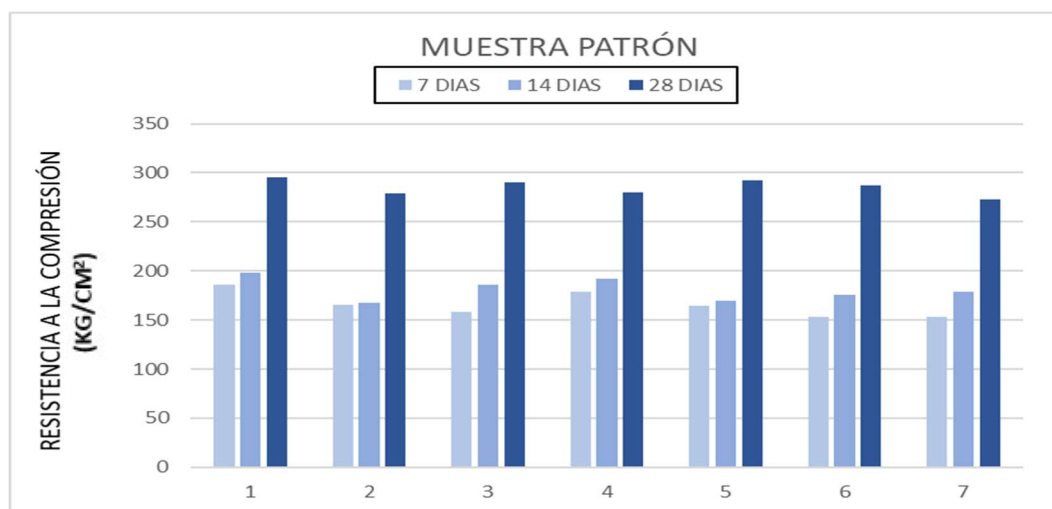


Figura 9. Resistencia a compresión axial en pilas-Muestra patrón

Las pilas elaboradas con mortero que incluye un 15% de reemplazo de agregado fino por vidrio reciclado molido (VRM) mostraron un mejor desempeño estructural en comparación con las pilas construidas con mortero convencional. A los 7 días, se obtuvo una resistencia promedio de 56.18 kg/cm², superior en más de 10 kg/cm² a la muestra patrón. Esta tendencia se mantuvo a los 14 días con una resistencia de 66.28 kg/cm², y alcanzó su punto máximo a los 28 días con 75.43 kg/cm², lo que representa un incremento de aproximadamente 10.5% respecto a la muestra tradicional. Estos resultados confirman que el uso de VRM en mortero mejora significativamente la capacidad de carga axial de las pilas de albañilería, lo cual puede estar asociado a una mayor compacidad, mejor adherencia ladrillo-mortero y menor porosidad en la mezcla.

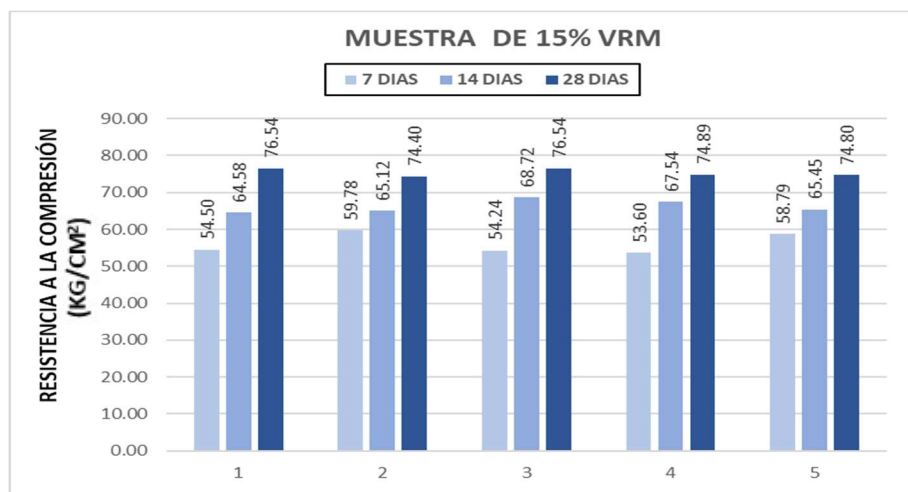


Figura 10. Resistencia a compresión axial en pilas - MP + 15 % VR

La comparación entre las pilas construidas con mortero convencional (muestra patrón) y aquellas con mortero modificado al 15% de VRM revela una mejora sustancial en la resistencia a la compresión axial al incorporar vidrio reciclado molido como sustituto parcial del agregado fino. A los 7 días, la resistencia aumentó de 45.84 kg/cm² (patrón) a 56.18 kg/cm² (15% VRM), lo que representa un incremento del 22.5%. A los 14 días, la resistencia pasó de 60.15 kg/cm² a 66.28 kg/cm², con una mejora del 10.2%, y finalmente, a los 28 días, se alcanzó una resistencia de 75.43 kg/cm² frente a los 68.25 kg/cm² del mortero tradicional, reflejando un incremento del 10.5%. Estos resultados confirman que el uso de VRM no solo es viable desde el punto de vista ambiental, sino que también potencia el comportamiento mecánico de las pilas de albañilería, consolidando al 15% como un porcentaje óptimo para aplicaciones estructurales.

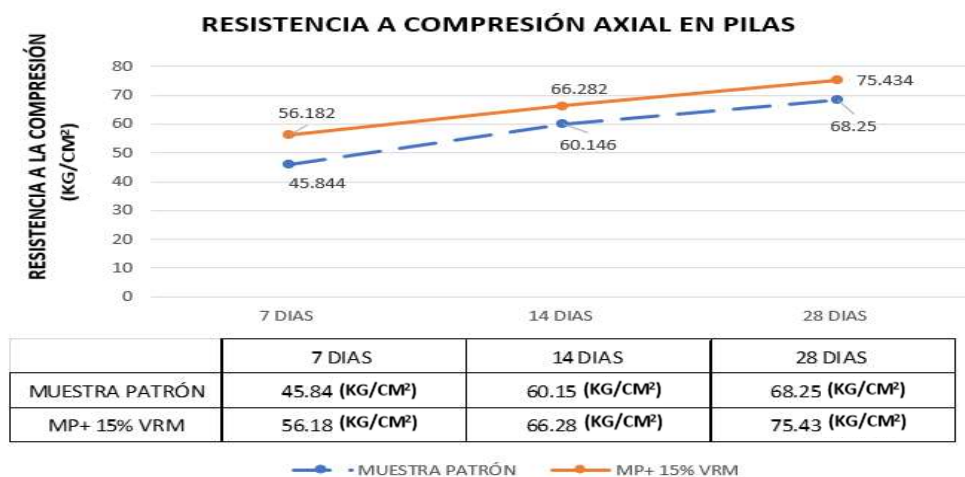


Figura 11. Resumen resistencia a compresión axial en pilas

3.1. Resistencia a compresión Diagonal en muretes

Los muretes elaborados con mortero convencional (muestra patrón) evidenciaron una resistencia a la compresión diagonal moderada y consistente, reflejando el comportamiento típico de una unión ladrillo-mortero bajo esfuerzos cortantes. A los 7 días de curado, se obtuvo una resistencia promedio de 75.56 kg/cm², mientras que a los 28 días esta aumentó ligeramente a 79.98 kg/cm², lo que representa un incremento del 5.9%. Este comportamiento es esperable en muretes construidos con materiales convencionales, sirviendo como base comparativa para evaluar el impacto estructural del mortero modificado con vidrio reciclado molido (VRM) frente a esfuerzos de corte diagonal en elementos de albañilería.

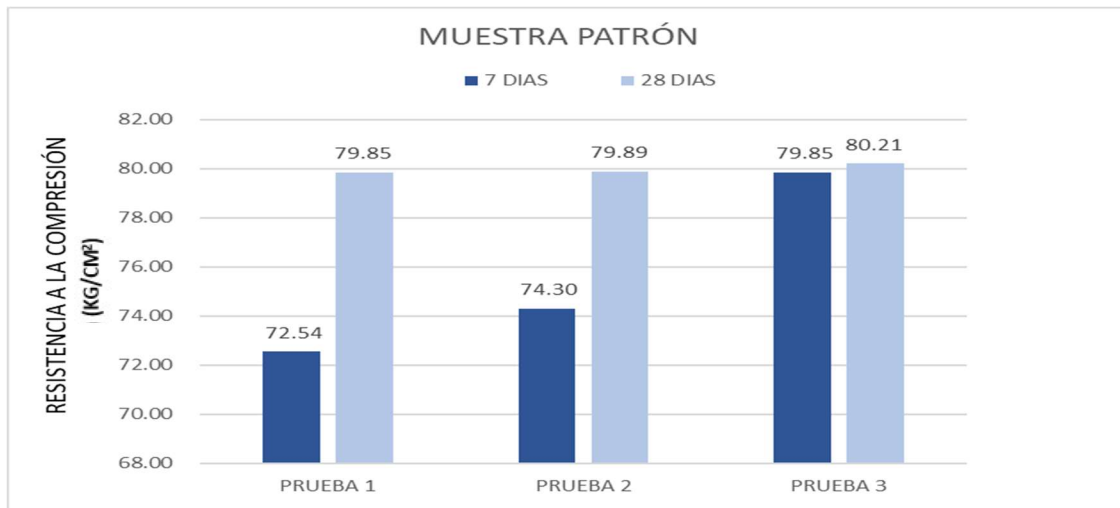


Figura 12. Resistencia a compresión diagonal – Muestra patrón

Los muretes elaborados con mortero modificado con 15% de vidrio reciclado molido (VRM) mostraron una mejora significativa en la resistencia a la compresión diagonal, lo que evidencia un mejor comportamiento estructural ante esfuerzos cortantes. A los 7 días de curado, se registró una resistencia promedio de 80.50 kg/cm², superior a los 75.56 kg/cm² obtenidos en la muestra patrón. A los 28 días, la resistencia aumentó a 87.67 kg/cm², superando en más de 9.6% a la del mortero convencional. Este incremento sugiere que el uso de VRM favorece la adherencia entre el ladrillo y el mortero, así como la cohesión interna de la mezcla, contribuyendo a una mayor capacidad de absorción de esfuerzos diagonales en elementos de albañilería.

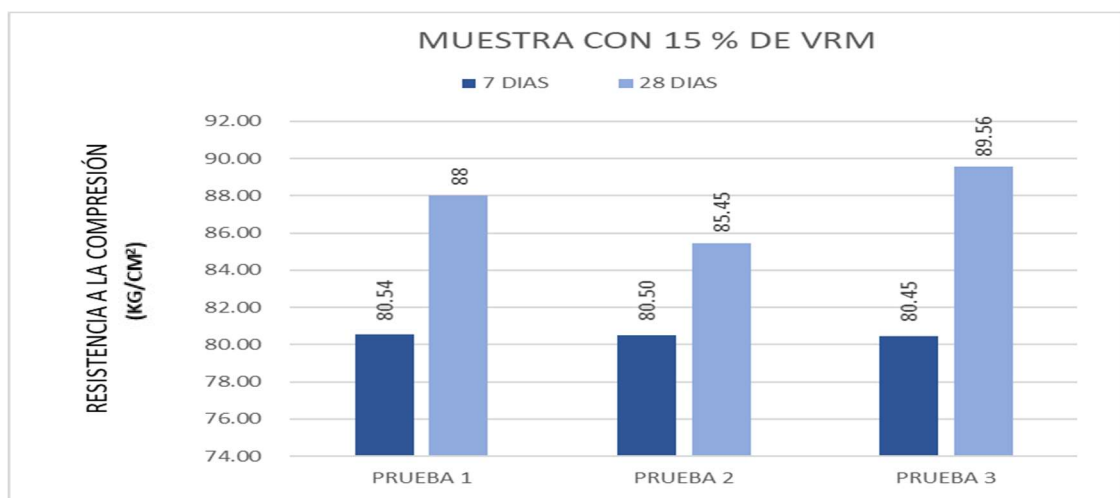


Figura 13. Resistencia a compresión diagonal – MP + 15% VRM

La comparación de los resultados del ensayo de compresión diagonal en muretes evidencia que la incorporación de 15% de vidrio reciclado molido (VRM) en el mortero mejora significativamente el comportamiento del sistema ladrillo-mortero frente a esfuerzos cortantes. A los 7 días, la resistencia aumentó de 75.56 kg/cm² en la muestra patrón a 80.50 kg/cm² con VRM, representando un incremento del 6.5%. A los 28 días, el valor pasó de 79.98 kg/cm² a 87.67 kg/cm², es decir, un aumento del 9.6%. Este comportamiento confirma que el uso de VRM no solo mejora la compresión axial, sino que también refuerza la resistencia al corte diagonal, posiblemente gracias a una mayor adherencia y cohesión interna del mortero, consolidando al 15% de VRM como una alternativa eficiente y sostenible en elementos de albañilería estructural

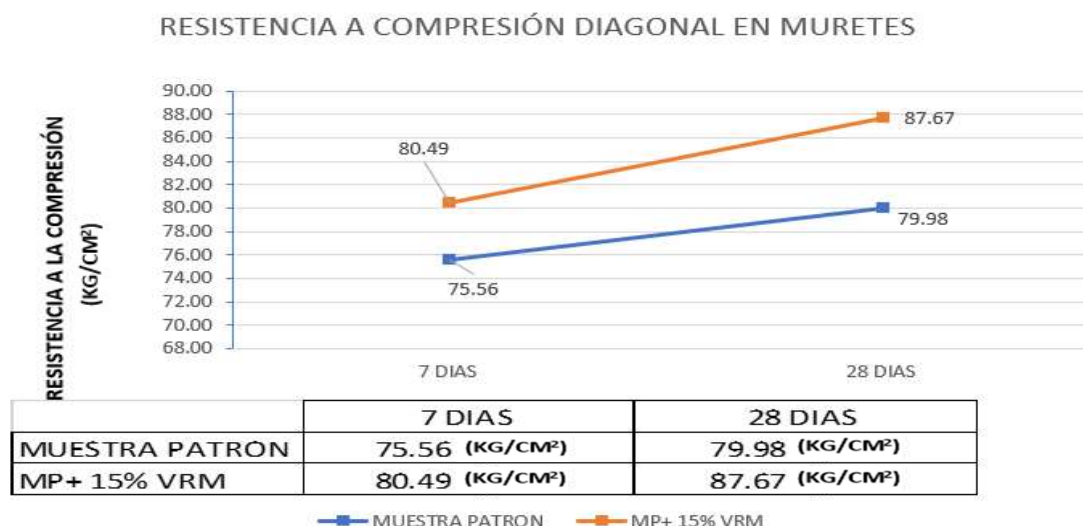


Figura 14. Resumen de resistencia a compresión diagonal

3.3. Análisis estadístico

Con el fin de validar si las diferencias en la resistencia a compresión entre los distintos porcentajes de reemplazo de agregado fino por vidrio reciclado molido (VRM) son estadísticamente significativas, se aplicó un Análisis de Varianza (ANOVA) de un factor y la prueba t de Student.

3.3.1. Análisis ANOVA para resistencia a la compresión en dados de mortero

en la Tabla 6 se presentan los valores descriptivos de la resistencia a compresión de las probetas de mortero a los 28 días. Se observa un incremento progresivo de la resistencia a medida que aumenta el porcentaje de VRM, alcanzando el valor máximo con la dosificación de 15%.

Tabla 6. Estadísticos descriptivos de la resistencia a compresión (28 días)

Grupo	Media (kg/cm ²)	Desviación estándar	n
Patrón	285.11	8.42	7
5% VRM	305.93	7.32	7
10% VRM	323.09	8.26	7
15% VRM	363.71	3.41	7
20% VRM	329.01	8.32	7

El ANOVA (Tabla 7) mostró un valor de $F = 108.95$ y un $p < 0.001$, lo que confirma que las diferencias entre los grupos no son atribuibles al azar. Por tanto, el porcentaje de VRM influye significativamente en la resistencia a compresión del mortero.

Tabla 7. ANOVA – resistencia a compresión (28 días, probetas cubicas)

Fuente de variación	SC	gl	CM	F	F crítico ($\alpha=0.05$)	p-valor
Entre grupos	23851.32	4	5962.83	108.95	2.69	<0.001
Dentro de grupos	1641.89	30	54.73			
Total	25493.21	34				

Nota: $p < 0.05$ indica diferencias estadísticamente significativas entre los grupos

Interpretación: Los resultados del ANOVA permiten afirmar que las resistencias medias de los morteros con diferentes porcentajes de VRM son significativamente distintas, identificándose al 15% como la dosificación más eficiente.

3.3.2. Análisis t-Student para pilas y muretes de albañilería

Una vez identificado el 15% como porcentaje óptimo, se realizaron comparaciones directas con el mortero patrón en pilas y muretes de albañilería.

3.3.2.1. Pilas de albañilería (compresión axial)

Tabla 8. Estadísticos descriptivos de la resistencia a axial en pilas

Grupo	Media (kg/cm ²)	Desviación estándar	n
patrón	68.25	1.37	5
20% VRM	75.43	1.03	5

La prueba t (Tabla 9) arrojó un valor de $t = -12.09$, con $gl \approx 4$ y $p = 2.7 \times 10^{-4} < 0.05$, el cual rechaza la hipótesis nula; lo que indica que la diferencia entre las medias es altamente significativa.

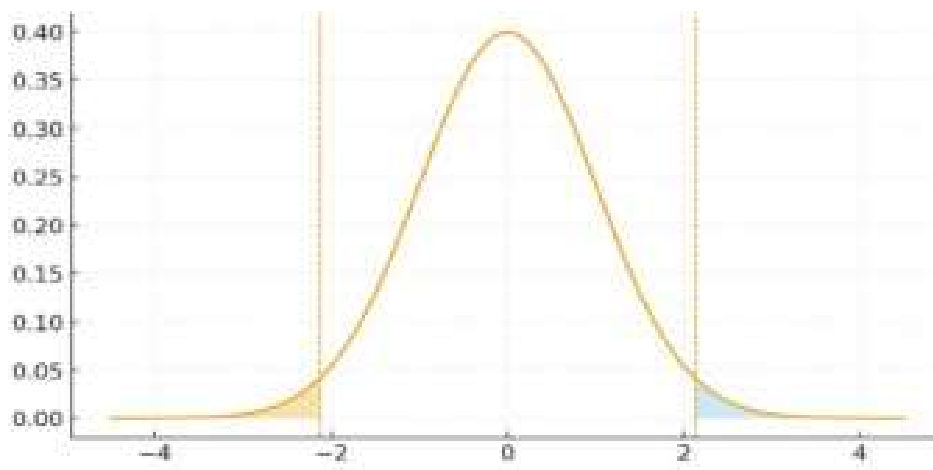


Figura 15 Distribución del t Studen con el t crítico: 2.1318

Tabla 9. Resultados de la prueba t de Student en pilas

Comparación	t calculado	gl	t crítico ($\alpha=0.05$)	p-valor	Conclusión
Pilas (patrón vs 15% VRM)	-12.09	4	2.1318	2.7×10^{-4}	Diferencia significativa

3.3.2.2. Muretes de albañilería (compresión diagonal)

Tabla 10. Estadísticos descriptivos de la resistencia diagonal en muretes

Grupo	Media (kg/cm ²)	Desviación estándar	n
patrón	79.98	0.19	3
15% VRM	87.67	2.07	3

La prueba t (Tabla 11) indicó un valor de $t = -6.87$, con $gl \approx 2$ y $p < 0.0205$, el cual rechaza la hipótesis nula; confirmando una diferencia significativa entre el patrón y el mortero con 15% VRM.

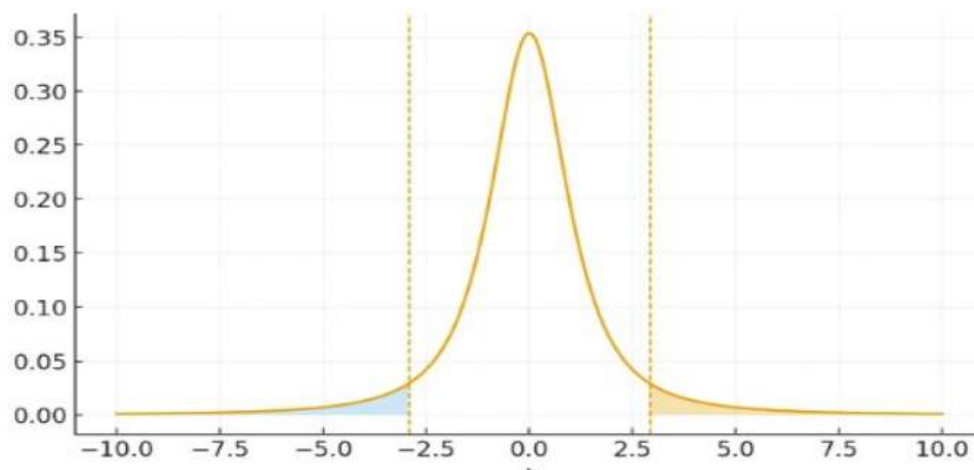


Figura 16 Distribución del t Studen con el t critico: 2.92

Tabla 11 resultados de la prueba t de Student en muretes

Comparación	t calculado	gl	t critico ($\alpha=0.05$)	p-valor	Conclusión
Murete (patrón vs 15% VRM)	-6.87	2	2.92	<0.0205	Diferencia significativa

3.4. Discusión

De acuerdo con los resultados obtenidos a lo largo de esta investigación experimental, los efectos del uso de vidrio reciclado molido (VRM) como reemplazo parcial del agregado fino en el mortero para albañilería, así como su influencia en las propiedades físicas de los materiales y en el comportamiento mecánico de elementos constructivos como pilas y muretes, se pueden contrastar y comparar los resultados con investigaciones similares en las siguientes discusiones:

Discusión 01: En esta investigación, el agregado fino natural de la cantera Cabanillas presentó un peso específico seco de 2.50, una absorción de 3.59% y un peso unitario suelto de 1695.68 kg/m³, mientras que el vidrio reciclado molido (VRM) mostró un peso específico de 2.58, una absorción de 0.06%, y un peso unitario suelto de 1482.47 kg/m³. Estos resultados son consistentes con los reportados por Mendoza [13], quien determinó un peso específico de 2.51 para el agregado fino natural de la cantera La Victoria y 2.44 para el vidrio triturado, con una absorción similar de 0.06% para este último, y pesos unitarios sueltos de 1484 kg/m³. La comparación evidencia que, si bien existen ligeras variaciones entre canteras, ambos estudios confirman que el vidrio reciclado presenta una menor absorción y adecuada densidad para ser usado como agregado fino, manteniendo condiciones similares de trabajabilidad y cumplimiento normativo, lo que valida la confiabilidad y consistencia de los resultados obtenidos en esta investigación.

Discusión 02: Los resultados experimentales mostraron que la incorporación de vidrio reciclado molido (VRM) como reemplazo parcial del agregado fino en el mortero genera un incremento progresivo en la resistencia a compresión hasta un contenido del 15%, alcanzando a los 28 días una resistencia de 363.71 kg/cm², superando en más de un 27% a la muestra patrón. Con porcentajes de 5%, 10% y 20%, se obtuvieron resistencias de 305.93, 323.09 y 329.01 kg/cm², respectivamente, lo que permitió identificar el 15% como porcentaje óptimo. Estos hallazgos son consistentes con el estudio de Ahmad et al. [14], quienes reportaron mejoras significativas en la resistencia a compresión y flexión del mortero al reemplazar la arena con vidrio blanco o verde en proporciones entre el 10% y 20%, con un aumento de hasta 9.25% en compresión con 10% de vidrio verde y 27.88% en flexión con 15% de vidrio blanco. Por tanto, se confirma que nuestros resultados son coherentes con los antecedentes, y respaldan que el vidrio reciclado puede ser utilizado óptimamente en un 15% como sustituto del agregado fino, mejorando el desempeño mecánico del mortero sin afectar su calidad ni trabajabilidad.

Discusión 03: Los resultados obtenidos en esta investigación evidencian que la incorporación de 15% de vidrio reciclado molido (VRM) como reemplazo parcial del agregado fino en el mortero mejora tanto la resistencia a la compresión axial de pilas como la compresión diagonal de muretes. En pilas, la resistencia pasó de 45.84 kg/cm² a 56.18 kg/cm² a los 7 días, y de 68.25 kg/cm² a 75.43 kg/cm² a los 28 días, lo que representa un incremento del 10.5% frente al mortero convencional. En muretes, la resistencia diagonal aumentó de 75.56 kg/cm² a 80.50 kg/cm² a los 7 días, y de 79.98 kg/cm² a 87.67 kg/cm² a los 14 días, con un crecimiento del 9.6%. Estos resultados coinciden con los hallazgos de Muñoz & Mendoza [15], quienes observaron una mejora en la resistencia axial de prismas de hasta 134.19 kg/cm² con la inclusión de vidrio triturado, en comparación con 128.79 kg/cm² en la mezcla patrón, y un incremento en la resistencia diagonal de muretes de 24.22 kg/cm² a 30.63 kg/cm² con vidrio reciclado. En ambos casos, los autores también concluyen que las mejores resistencias se logran con dosificaciones controladas. Por tanto, nuestros resultados son consistentes con los antecedentes, confirmando que el uso de VRM no solo es viable ambientalmente, sino también estructuralmente funcional en elementos de albañilería.

4. CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos a lo largo de esta investigación experimental, los efectos del uso de vidrio reciclado molido (VRM) como reemplazo parcial del agregado fino en el mortero para albañilería, así como su influencia en las propiedades físicas de los materiales y en el comportamiento mecánico de elementos constructivos como pilas y muretes, se pueden resumir en las siguientes conclusiones:

1. En primer lugar, el análisis físico reveló que el VRM presenta una baja absorción de agua (0.06%) y una densidad adecuada (2.58), ligeramente superior a la del agregado natural, lo que favorece la estabilidad dimensional y reduce la demanda de agua en la mezcla. Estos resultados validan su uso como material alternativo sin afectar negativamente la trabajabilidad del mortero.
2. Respecto a la resistencia a compresión simple en probetas cúbicas de 5×5×5 cm, se comprobó que el reemplazo progresivo del agregado fino con VRM mejora los resultados hasta alcanzar un máximo con el 15% de sustitución, logrando una resistencia de 363.71 kg/cm² a los 28 días, lo que representa un incremento del 27.6% respecto a la muestra patrón (285.11 kg/cm²). Esta mejora se atribuye al efecto de microrrelleno y al comportamiento más compacto del material.
3. En condiciones estructurales, los morteros con 15% de VRM mostraron también un mejor desempeño. En pilas de albañilería, la resistencia a compresión axial alcanzó 75.43 kg/cm², frente a los 68.25 kg/cm² de la muestra patrón, mientras que en muretes, la resistencia a compresión diagonal fue de 87.67 kg/cm², superando en un 9.6% a los 79.98 kg/cm² del control. Esto sugiere una mejor adherencia y cohesión en la matriz ladrillo-mortero, favoreciendo el desempeño estructural frente a cargas de compresión y corte.

En conclusión, el uso del vidrio reciclado molido en un 15% de reemplazo del agregado fino no solo mejora la resistencia mecánica del mortero, sino que además promueve la sostenibilidad mediante la reutilización de residuos sólidos, disminuyendo la presión sobre los recursos naturales como la arena y reduciendo la acumulación de desechos en vertederos. Por tanto, esta solución representa un aporte técnico y ecológico importante para la construcción sostenible, siendo aplicable en obras de albañilería estructural y no estructural con eficiencia y bajo impacto ambiental.

El análisis estadístico demostró que el reemplazo parcial del agregado fino por vidrio reciclado molido tiene un efecto significativo en la resistencia del mortero. El ANOVA confirmó que las diferencias entre los porcentajes de VRM son estadísticamente significativas, mientras que las pruebas t verificaron que el 15% de VRM mejora de manera significativa la resistencia de pilas y muretes en comparación con el mortero patrón. Estos resultados consolidan al 15% de VRM como la dosificación óptima para mejorar el desempeño mecánico del mortero y de los elementos de albañilería.

Agradecimientos

El autor expresa su agradecimiento a la Universidad Peruana Unión, sede Juliaca, por el respaldo institucional brindado durante el desarrollo de este estudio. Asimismo, se agradece el apoyo de todos los que participaron en la ejecución de los ensayos en el laboratorio, contribuyendo de manera significativa a la realización de esta investigación.

Fuentes de financiación

El autor de este artículo declara que no existe ningún conflicto de intereses financiero, profesional ni personal que pudiera haber influido inapropiadamente en la realización o los resultados de esta investigación.

Declaration de contribution de la autoría

Willy Adrian Anchapuri Anchapuri: Conceptualización; Limpieza de datos; Análisis formal; Recaudación de fondos; Investigación; Metodología; Administración de proyectos; Recursos; Software; Supervisión; Validación; Visualización; Redacción – borrador original; Redacción – revisión y edición.

REFERENCIAS

- [1] C. Chi Hung, W. Chien and H. Yung, "Engineering properties and durability of cement mortar with environmental cement and waste liquid crystal glass," *Construction and Building Materials*, 2023.
- [2] T. Wang, R. San Nicolás and A. Kashani, "Sustainable utilisation of low-grade and contaminated waste glassfines as a partial sand replacement in structural concrete," *Case Studies in Construction Materials*, 2022.
- [3] P. Guo, W. Meng and H. Nassif, "New perspectives on recycling waste glass in manufacturing concrete for sustainable civil infrastructure," *Construction and Building Materials*, 2020.
- [4] P. Kechagia, D. Koutroumpi and G. Bartzas, "Waste marble dust and recycled glass valorization in the production of ternary blended cements," *Science of The Total Environment*, vol. 761, 2021.
- [5] E. Harrison, A. Berenjian and M. Seifan, "Recycling of waste glass as aggregate in cement-based materials," *Environmental Science and Ecotechnology*, vol. 4, 2020.
- [6] S. Dilkhez, J. Haido and G. Wardeh, "The behavior of UHPC containing recycled glass waste in place of cementitious materials: A comprehensive review," *Case Studies in Construction Materials*, vol. 17, 2022.
- [7] K. Silpa, L. Yao and P. Bhada, "What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050," *Urban Development*, 2019.
- [8] S. Salahaddin and J. Haido, "Investigación del papel de los residuos de vidrio puzolánico en el refuerzo de vigas de hormigón de ultra alto rendimiento para una mayor sostenibilidad," *Revista de ingeniería Ain Shams*, vol. 15, no. 3, 2024.
- [9] L. Iábil, B. Florent and C. Theodore, "Utilización de aparatos eléctricos y electrónicos de desecho en la fabricación de morteros: El caso de los vidrios," *Cerámica abierta*, vol. 18, 2024.

- [10] NTP 334.051 2022, "NTP 334.051-2022 Método de Ensayo - Resistencia a la Compresión," Dirección de Normalización - INACAL, 2022.
- [11] ASTM C1314-21, "Standard Test Method for Compressive Strength of Masonry Prisms," Advancing Standards Transforming Marketing.
- [12] NTP 399.621, "NORMAS PARA MURETES DE ALBAÑILERIA NTP 399.621," 2021.
- [13] S. Mendoza, "Diseño de mortero para albañilería incorporando vidrio reciclado triturado," 2021.
- [14] S. Ahmad, S. Rafiq and R. Faraj , "Evaluating the effect of waste glass granules on the fresh, mechanical properties and shear bond strength of sustainable cement mortar," *Clean Technologies and Environmental Policy*, 2023.
- [15] S. Muñoz and S. Mendoza, "Masonry mortar design incorporating crushed recycled glass," *Revista ingeniería de construcción*, vol. 37, no. 3, 2021.

5. ANEXOS.

A. EVIDENCIA DE LA SUMISIÓN DEL ARTICULO EN UNA REVISTA

Mar Alonso López via Materiales de la Construcción<administrador.revistas@csic.es>

Para: Willy Adrian Anchapuri Anchapuri; Ecler Mamani Chambi

Mar 07/10/2025 15:49

Este mensaje está en Inglés
Traducir a Español
No traducir nunca de Inglés

Hello,

Yesenia Apaza Pinto has submitted the manuscript, "**Diseño de mortero con vidrio reciclado molido como reemplazo del agregado fino y su influencia en las propiedades mecánicas**" to Materiales de Construcción.

The assigned reference is **4319**.

If you have any questions, please contact me. Thank you for considering this journal as a venue for your work.

Mar Alonso López

Eduardo Torroja Institute for Construction Sciences (IETcc-CSIC)
Editor-In-Chief of "Materiales de Construcción" Journal (JCR- 2022; I.F.: 2.100)

<https://materconstrucc.revistas.csic.es>
<https://www.ietcc.csic.es>

Follow us in Twitter at @MaterialesdeCo3

B. RESOLUCIÓN DE INSCRIPCIÓN DEL PERFIL DE PROYECTO DE TESIS EN FORMATO ARTICULO APROBADO POR EL CONSEJO DE FACULTAD CORRESPONDIENTE



"AÑO DE LA RECUPERACIÓN Y CONSOLIDACIÓN DE LA ECONOMÍA PERUANA"

RESOLUCIÓN N° 0701-2025/UPeU-FIA-CF-T

Lima, Ñaña, 14 de octubre de 2025

VISTO:

El expediente del (de la) bachiller **Willy Adrian Anchapuri Anchapuri** identificado(a) con código universitario N° **201321486**, de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión;

CONSIDERANDO:

Que la Universidad Peruana Unión tiene autonomía académica, administrativa y normativa, dentro del ámbito establecido por la Ley Universitaria N° 30220 y el Estatuto de la Universidad;

Que la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión, mediante sus reglamentos académicos y administrativos, ha establecido las formas y procedimientos para la sustentación de la tesis en formato artículo;

Que el Comité Dictaminador ha emitido su dictamen aprobando el informe de tesis titulado "Diseño de mortero con vidrio reciclado molido como reemplazo del agregado fino y su influencia en las propiedades mecánicas", presentado por el (la) bachiller **Willy Adrian Anchapuri Anchapuri**, reuniendo de esta manera las condiciones previas para la declaratoria de expedito para la programación de la sustentación;

Estando a lo acordado en la sesión del Consejo de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión, celebrada el 14 de octubre de 2025, y en aplicación del Estatuto y el Reglamento General de investigación de la Universidad;

SE RESUELVE:

1. Declarar expedito al (a la) bachiller **Willy Adrian Anchapuri Anchapuri**, para que sustente la tesis en formato artículo titulada "Diseño de mortero con vidrio reciclado molido como reemplazo del agregado fino y su influencia en las propiedades mecánicas", conducente a la obtención del título profesional de Ingeniero Civil, el 12 de noviembre a las 08:30 horas, en la modalidad presencial, en el Salón de Actos Wellesley Muir.
2. Designar el Jurado de Sustentación, encargado de gestionar la sustentación respectiva, el mismo que queda constituido por los siguientes miembros:
 Presidente: Mtro. Leonel Chahuares Paucar
 Secretario: Dr. Leonel Suasaca Pelinco
 Asesor: MSc. Ecler Mamani Chambi
 Vocal I: Dr. Jose Pacori Pacori

Regístrese, comuníquese y archívese.



Erika Inés Acuña Salinas
Dra. Erika Inés Acuña Salinas
DECANA

cc:
 • Archivo
 • Unidad G01
 • Decanato General
 • Archivista



Gina Marita Tito Tolentino
Lic. Gina Marita Tito Tolentino
SECRETARIA ACADÉMICA