

UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL



**Análisis de las propiedades mecánicas de bloques de concreto reforzados
con partículas de vidrio y papel reciclado**

**TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE
BACHILLER EN INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL**

AUTOR

Jordan Stuar Gonzales Saldaña

ASESOR

Carlos Rafael Tafur Jimenez

<https://orcid.org/0000-0003-0119-8234>

Chiclayo, 2023

Análisis de las propiedades mecánicas de bloques de concreto reforzados con partículas de vidrio y papel reciclado

INFORME DE ORIGINALIDAD

22%	21%	5%	10%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	4%
2	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	2%
3	renati.sunedu.gob.pe Fuente de Internet	1%
4	www.hindawi.com Fuente de Internet	1%
5	repositorio.unsaac.edu.pe Fuente de Internet	1%
6	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	1%
7	repositorio.uss.edu.pe Fuente de Internet	1%
8	Submitted to Universidad Tecnológica de los Andes Trabajo del estudiante	<1%

Índice

Resumen	4
Abstract	5
Introducción	6
Bases teóricas	9
Materiales y Métodos	12
Resultados y Discusiones	15
Resultados	15
Discusiones	23
Conclusiones	26
Recomendaciones.....	27
Referencias	28
Anexos.....	30

Resumen

El objetivo de esta investigación científica es evaluar la influencia en las propiedades mecánicas de los bloques de concreto de albañilería elaborados con partículas de vidrio y papel reciclado. Para ello, la muestra fue seleccionada de forma no probabilística por conveniencia, compuesta por 192 bloques de concretos fabricados con adiciones del 0%, 3%, 6%, y 9%. De acuerdo con los resultados obtenidos la absorción disminuyó en 4,94%, 3,398% y 3,52% respectivamente. Sin embargo, el alabeo aumentó entre 1,7mm y 1,8mm, mientras que la resistencia a la compresión (f_c) aumentó a 75kg/cm², 82kg/cm² y 77kg/cm², respectivamente. De manera similar, la resistencia a la compresión axial (f_m) aumentó a 91,22kg/cm², 94,45kg/cm² y 92,80kg/cm², y la resistencia a la compresión diagonal (V_m) aumentó a 8,90kg/cm², 9,70kg/cm² y 9,70kg/cm². Sin embargo, el costo de fabricación de las unidades de albañilería mostró una reducción progresiva con la cantidad de adiciones, alcanzando los 0,57USD, 0,55USD y 0,53USD. También se determinó que la adición óptima de estos materiales en la mezcla de concreto en términos de costo y resistencia es del 9% (vidrio + papel), resultando en resistencias a compresión de 77kg/cm², 92.8kg/cm² y 9.70kg/cm², con un costo de 0.53USD por unidad. En conclusión, se puede afirmar que la adición de partículas de vidrio y papel reciclado en la producción de bloques de concreto influye positivamente en las propiedades físicas y mecánicas de los bloques. Además, permite una reducción de los costes de fabricación, lo que supone un importante ahorro para los constructores.

Palabras clave: Bloques de concreto, albañilería, propiedades mecánicas, vidrio y papel, reciclaje

Abstract

The objective of this scientific research is to evaluate the influence on the mechanical properties of masonry concrete blocks made with recycled glass and paper particles. For this purpose, the sample was non-probabilistically selected for convenience, consisting of 192 concrete blocks manufactured with additions of 0%, 3%, 6%, and 9%. According to the obtained results, the absorption decreased by 4.94%, 3.398%, and 3.52% respectively. However, the warping increased between 1.7mm and 1.8mm, while the compressive strength (f_c) increased to 75kg/cm², 82kg/cm², and 77kg/cm² respectively. Similarly, the axial compressive strength (f_m) increased to 91.22kg/cm², 94.45kg/cm², and 92.80kg/cm², and the diagonal compressive strength (V_m) increased to 8.90kg/cm², 9.70kg/cm², and 9.70kg/cm². However, the manufacturing cost of the masonry units showed a progressive reduction with the amount of additions, reaching 0.57USD, 0.55USD, and 0.53USD. It was also determined that the optimal addition of these materials in the concrete mix in terms of cost and strength is 9% (glass + paper), resulting in compressive strengths of 77kg/cm², 92.8kg/cm², and 9.70kg/cm², with a cost of 0.53USD per unit. In conclusion, it can be stated that the addition of recycled glass and paper particles in the production of concrete blocks positively influences the physical and mechanical properties of the blocks. Moreover, it allows for a reduction in manufacturing costs, resulting in significant savings for builders.

Keywords: Concrete blocks, masonry, mechanical properties, glass and paper, recycling

Introducción

En la actualidad, la humanidad se encuentra en constante evolución y ha surgido un creciente interés por fomentar el crecimiento sostenible y la gestión de residuos con el fin de mitigar o reducir el impacto ambiental causado por la acumulación de desechos en el entorno. Como resultado de esta preocupación, ha surgido el concepto del reciclaje, que consiste en recolectar y procesar materiales que de otro modo serían descartados como basura, para luego transformarlos en nuevos productos con el objetivo de disminuir la contaminación y reducir el volumen de estos residuos [1].

La industria de la construcción es una de las principales generadoras de residuos, debido a la demanda de espacios habitables de calidad para el ser humano. En esta industria, el concreto se destaca como el material predominante debido a su resistencia, durabilidad y por ser lo suficientemente flexible para adaptarse a diversos proyectos, ofreciendo propiedades físicas y mecánicas favorables [1].

Por otro lado, debido al creciente desarrollo de la construcción, se han llevado a cabo estudios con el objetivo de revolucionar el mercado de esta industria. Estos estudios se centran en el uso de materiales que anteriormente se consideraban desperdicios, lo cual ha resultado en mejoras tanto en las propiedades de los materiales de construcción como en la reducción de costos de producción. Además, esta práctica ofrece una alternativa para contribuir a la protección y cuidado del ambiente [2].

Cabe resaltar que en la actualidad hallamos una amplia variedad de materiales para el uso en la construcción civil, siendo algunos de ellos, el vidrio y papel reciclado, los cuales pueden ser utilizados no solo como productos estéticos, sino también como aditivos para mejorar las propiedades de los materiales de construcción existente, esto debido a que tanto el vidrio como el papel son materiales inertes que podrían reciclarse muchas veces sin cambiar sus propiedades químicas.

Así mismo, investigaciones recientes en Panamá han demostrado que el vidrio y el papel se pueden reutilizar como materiales adecuados para su uso en la industria de la construcción. Además, mencionan que los bloques de concretos hechos con agregado de vidrio y papel reciclado son capaces de adquirir propiedades que cumplan con lo establecido según la Comisión Panameña de Normas Industriales y Técnicas COPANIT 48 - 2001 [2].

Sin embargo, el Perú es un país que no ha tenido avances significativos en cuanto a las mejoras en los materiales de construcción, sino que se ha acoplado a los avances y mejoras de países desarrollados, es por esta razón que nos encontramos en una búsqueda constante de

nuevas alternativas, tratando de encontrar materiales sustentables que contribuyan con el cuidado del ambiente pero que a su vez sean resistentes y brinden seguridad en la construcción [3].

De igual forma, en el distrito de Chota, la construcción civil no ha evolucionado en cuanto a procesos y materiales utilizados, a pesar de que se llega a desechar 0.15ton/día de vidrio y 0.6ton/día de papel, siendo esto el 1% y 4% del total de residuos desechados al día, respectivamente [4], dichos materiales no son aprovechados en la innovación de nuevos materiales de construcción, sino que son desechados y acumulados día tras día sin un control ni un adecuado tratamiento.

Por ello se ha formulado la siguiente pregunta de investigación ¿Cómo influyen las partículas de vidrio y el papel reciclado en las propiedades mecánicas de los bloques de concreto de Albañilería, Chota 2022?

En relación con eso se planteó como objetivo general: evaluar la influencia en las propiedades mecánicas de los bloques de concreto de albañilería elaborados con partículas de vidrio y papel reciclado, Chota 2022, como objetivos específicos se consideró: determinar la influencia de la dosificación de las partículas de vidrio y papel reciclado al 3%, 6% y 9% en las propiedades físicas de la mezcla y los bloques de concreto de albañilería, determinar la influencia de la adición de las partículas de vidrio y papel reciclado al 3%, 6% y 9% en las propiedades mecánicas de los bloques de concreto de albañilería, determinar el costo beneficio de la adición de partículas de vidrio y papel reciclado al 3%, 6% y 9% en la elaboración de bloques de concreto de albañilería y definir el porcentaje óptimo de la adición de partículas de vidrio y papel reciclado (3%, 6% o 9%), con respecto al costo de fabricación y la resistencia.

Por último, este estudio se realizó con la finalidad de mejorar las propiedades mecánicas de los bloques de concreto tradicionales mediante la adición de materiales reciclados (Partículas de vidrio y papel reciclado), reduciendo costos y que a la vez proporcione un rendimiento aceptable que cumpla con los estándares que establece la normativa peruana E070 para el uso de estos bloques de concreto como mampostería en muros estructurales. Por otra parte, al hacer uso de estos materiales reciclados se estaría contribuyendo a la reducción de la contaminación ambiental. Asimismo, los profesionales de la construcción de la ciudad de Chota podrán utilizar los resultados de esta investigación para sustentar en sus proyectos de construcción, los beneficios que genera el utilizar los bloques de concreto elaborados con partículas de vidrio y papel reciclado y el posterior uso en edificaciones.

Revisión de literatura

Por tanto, Manayay, (2021) [3]. En su investigación de tipo aplicada, adicionó fibras de vidrio en 5%, 10% y 15%, y pasó a realizar los ensayos respectivos a los 7, 14 y 28 días. Ante ello, obtuvo que la muestra inicial (sin vidrio añadido) tiene un SLUMP de 10cm, con el 5% un SLUMP de 6cm, con 10% de vidrio un SLUMP de 5cm y con 15% de vidrio añadido un SLUMP de 3cm. Por tal motivo la resistencia a los 28 días con el 5% de vidrio alcanzó una resistencia de 245 kg/cm², con el 10% de vidrio 254 kg/cm² y con 15% de vidrio añadido 240 kg/cm². Por ende, a mayor cantidad de vidrio añadido el SLUMP de la mezcla va disminuyendo al igual que la resistencia a compresión.

Acuña y Quispecondori (2021) [5]. En su análisis, proponen identificar la cantidad óptima de papel que puede ser adicionada al concreto en reemplazo parcial con el fin de mejorar las propiedades mecánicas de los bloques de albañilería utilizados en la construcción de muros portantes. Obtuvieron en términos de resistencia a la compresión indicaron que, para los diseños con adiciones de 15%, 20% y 25%, la resistencia disminuyó significativamente con el aumento de la cantidad de celulosa de papel añadida, mientras que para los diseños con adiciones de 5% y 10% la disminución fue leve. Además, determinaron que la cantidad óptima de papel a añadir en la mezcla es de 5.05% lo que permitió alcanzar una resistencia a la compresión de 75.20 kg/cm².

Por otro lado, Sandoval (2020) [6]. En su estudio fabricó bloques de concreto bajo la norma ASTM C-31, reemplazando el agregado fino por el 25%, 50% y 75% de papel reciclado. Ante ello, obtuvo que la rotura a compresión analizada a los 7,14 y 28 días para el 25% de papel reemplazado fue de 32 kg/cm², 45 kg/cm² y 60 kg/cm² respectivamente, para el 50% de papel reemplazado 10 kg/cm², 17.5 kg/cm² y 20 kg/cm² respectivamente, y para el 75% de papel, 7.5 kg/cm², 12.5 kg/cm² y 17.5 kg/cm² respectivamente. Sin embargo, la resistencia mínima según normativa ecuatoriana, INEN 640, debe ser de 60 Kg/cm². Por otra parte, el precio de fabricación en el mercado ecuatoriano de los bloques macizos de 12cm son de 0.81 USD, y que con la utilización de papel reciclado se disminuye a 0.79 USD.

En la misma línea, Burgos (2020) [7]. En su investigación, determinó que los bloques de concreto con adición parcial de vidrio triturado en porcentajes de 5%, 10%, 15% y 20%, mostraron una reducción en la absorción de agua del 3.27%, 7.39%, 15.40% y 19.89% respectivamente, así mismo, la succión disminuyó en un 11.77%, 22.36%, 27.09% y 36.50%; por otro lado, se observó un aumento en la resistencia a compresión simple del 3.01%, 7.75%, 15.94% y 19.14% respectivamente, así como un incremento en la resistencia a la compresión

axial en pilas del 6.66%, 13.38%, 29.11% y 35.16%. En suma, la resistencia a la compresión diagonal aumentó en un 11.82%, 20.42%, 24.42% y 30.97%, respectivamente.

Por otra parte, Almengor, Gutiérrez, Moreno y Caballero, (2017) [2]. En su estudio analizaron el comportamiento mecánico de los bloques de concreto reemplazando el total de los agregados por vidrio y papel, para ello se fabricaron bloques con dosificación de 14% de agua, 14% de cemento, 24% papel y 48% vidrio, y posteriormente fueron sometidos a ensayos bajo la norma de Panamá COPANIT 48. Obtuvieron una resistencia de 334.0 lb/plg² frente a las 600 lb/plg² exigida por la norma. Por tanto, se puede evidenciar la necesidad de fabricar bloques de concreto con agregados como arena y piedra, y un uso de menos del 48% de vidrio, ello con la finalidad de obtener resultados adecuados.

Por último, Rubio y Toscano (2021) [8]. En su estudio de carácter descriptivo, propusieron mejorar la calidad de los bloques de concreto reemplazando vidrio por agregado fino en proporciones de 0%, 10%, 15%, 20% y 30% logrando bloques con una resistencia a edad de 28 días de 35.38Kg/cm², 46.91Kg/cm², 52.62 Kg/cm², 34.26 kg/cm² y 48.84Kg/cm² respectivamente. Así mismo realizaron una prueba de impacto, obteniendo que los bloques con 10, 15 y 30% de vidrio fueron semejantes en fragilidad con el bloque de concreto patrón.

Bases teóricas

Bloques de concreto

Actualmente el concreto es un material de construcción más común en la tierra, donde esta echo de arena y grava unidas por cemento que reacciona con agua. Asimismo, para producir el cemento se extraen, transforman y transportan materias primas, principalmente calizas y arcillas, lo que genera importantes impactos ambientales [9].

Ante ello, para lograr una mejora en la construcción de viviendas, almacenes, cercos, y otras edificaciones, el estadounidense Harmon Sylvanus Palmer quien después de tantas pruebas; diseñó el primer bloque de concreto hueco con dimensiones de 8 in (20,3 cm) por 10 in (25, 4 cm) por 30 in (76,2 cm) [10], el cual están hechos de hormigón colado, es decir, cemento Portland y áridos, normalmente y grava de pequeño tamaño con suficiente contenido de agua para producir mezclas secas. Dichos bloques de concreto hueco son conocidos por su bloque de alta densidad, así como por sus conocidas propiedades de resistividad térmica, acústica y eléctrica de bajas a moderadas [11].

Dimensiones de los bloques de concreto

Concreto + vidrio y papel

Actualmente, utilizar material de desecho para aplicaciones de construcción tiene una historia larga y exitosa, el cual estos materiales de desecho que alguna vez fueron problemáticos y se depositaron en vertederos ahora se consideran productos valiosos para su uso en la mejora de ciertas propiedades del concreto. Por tanto, los materiales de desecho que continúa enfrentando desafíos como componente del concreto es el vidrio y el papel reciclado [12].

Ante ello, Karimi menciona que la masa de papel se puede utilizar como agente modificador de la viscosidad en materiales a base de cemento. Asimismo, integrar solo papel desechado a la mezcla de cemento se puede obtener con una densidad reducida ocasionando desventajas, ya que, al agregar la masa de papel es la mayor absorción de agua. Por ello se sugiere utilizar este material como elemento de cubierta con la adición del refuerzo necesario [13]. El refuerzo puede ser: fibras de vidrio, dado que mejora las propiedades mecánicas del concreto final, además el vidrio se compone principalmente de sílice, donde la utilización de residuos de vidrio como reemplazo podría demostrarse como un paso eficiente para el desarrollo de sistemas de infraestructura sostenibles [14].

Cabe mencionar que, el uso de botellas de vidrio para desechos limita la forma y el tamaño de las partículas del agregado grueso, dado que, el tamaño máximo de una dimensión del árido será siempre el espesor de la botella. Por lo tanto, las botellas [12] de desecho trituradas tenderán a formar un agregado grande que es plano y alargado, y puede afectar negativamente la trabajabilidad, y que se ha atribuido a disminuciones observadas en la resistencia a la compresión.

Costo beneficio

El efecto adverso sobre la economía se manifiesta en el aumento del costo de los materiales de construcción como la arena y la piedra caliza debido al uso excesivo de estos materiales [15]. Para ello Zamin (2022), menciona que, la adición de vidrio y papel reciclado puede reducir el costo de producción de cemento hasta en un 14% [14]. Asimismo, los beneficios económicos del uso de materiales alternativos se obtienen mejor en situaciones en las que el costo del material alternativo es menor que el del cemento en polvo y proporciona un rendimiento comparable. Por tanto, este costo debe considerar la fuente del material alternativo, su transporte, procesamiento y debe considerar los ahorros a través del desvío, como las tarifas de vertido y los costos de gestión del vertedero [12].

Partículas de vidrio y papel reciclado

En la actualidad, la creciente preocupación ambiental relacionada con la gestión de diversos materiales desechados ha escalonado a un nivel alarmante. Las industrias nacionales y locales generan grandes volúmenes de residuos cada año [16]. Por ello, la demanda de un desarrollo más sostenible ha intensificado la importancia de la construcción verde. Como respuesta a esta situación, los residuos de vidrio y papel ya no representan una carga para los sistemas de eliminación de residuos en numerosas regiones del mundo [17].

Por este motivo, el vidrio es un material, compuesto principalmente por sílice, óxido de sodio, de calcio y aluminio, el cual, es muy utilizado en la construcción, ya que, al incluir el vidrio a la mezcla de concreto se adquiere bloques más resistentes [17], dado que, tiene alta resistencia a compresión, comúnmente alrededor de los 1000MPa y una resistencia a la flexión por encima de los 5500 N/cm². [8]. Cabe mencionar que, los desechos de vidrio se pueden triturar y clasificar en los tamaños de partículas deseados como agregados o como material puzolánico para aplicaciones en la industria de la construcción.

Según Windsor, el papel implica un proceso en el que las fibras de celulosa húmedas se transforman en pulpa y luego se secan y aplanan para formar láminas delgadas y altamente flexibles. En ocasiones, se pueden agregar materiales sintéticos con el fin de conferir características especiales al papel finalizado, y, además, el papel usado puede ser ampliamente reciclado en la producción de nuevos productos [18]. Asimismo, varios autores afirman que el papel se puede utilizar como agente modificador de la viscosidad en materiales a base de cemento, sin embargo, el uso de desechos de papel el producto final se puede obtener con una densidad reducida, pues al agregar la masa de papel es mayor absorción de agua [13].

Dimensiones

Vidrio

De acuerdo con Lomonov (2022), el vidrio es un material sólido inorgánico que comúnmente presenta transparencia o translucidez, además de ser duro, quebradizo e impermeable. Por lo general, se fabrica a partir de una mezcla de arena, piedra caliza y carbonato de sodio, que se somete a altas temperaturas hasta alcanzar su punto de fusión [19].

Es relevante destacar que el vidrio ha sido utilizado tanto en objetos prácticos como decorativos desde tiempos antiguos, y continúa siendo de gran importancia en diversas aplicaciones, como la construcción de edificios, artículos para el hogar y las telecomunicaciones [19].

Materiales y Métodos

Tipo y diseño de Investigación

Esta investigación es de tipo aplicada, dado que genera nuevos conocimientos en el sector de la construcción que es un aporte para mejorar los materiales de albañería [20]. Asimismo, el diseño de este estudio es cuasi experimental, porque las muestras no son elegidas al azar, sino que, de manera intencional, donde se manipula la variable independiente “partículas de vidrio y papel reciclado” probando su comportamiento en 3 porcentajes distintos; 3%, 6% y 9% de los materiales mencionados. [21]

Hipótesis

Las partículas de vidrio y papel reciclado influirán positivamente en las propiedades mecánicas de los bloques de concreto de Albañería.

Población y muestra

La población de este estudio quedo definida para todos los testigos de bloques de concretos fabricados con y sin la adición de partículas de vidrio y papel reciclado.

Asimismo, la muestra es selecciona de forma no probabilística por conveniencia, de 192 bloques de concretos fabricados con adiciones de 3% (2% partículas de vidrio y 1% papel reciclado), 6% (4% partículas de vidrio y 2% papel reciclado), 9% (6% partículas de vidrio y 3% papel reciclado) y bloques sin adiciones.

Muestreo

La norma NTP 399.604, establece que para realizar los ensayos en bloques de concreto se debe seleccionar 6 muestras por cada 10000 unidades y 12 unidades por un lote mayor a 10000, en este caso por tratarse de una investigación a pequeña escala se optó por tomar 3 unidades por cada edad [22].

Tabla 1: Muestreo para ensayos

Propiedades del bloque de concreto	Ensayos	Muestreo				Número de Muestras
		0%	3%	6%	9%	
Físicas	Variación dimensional	3	3	3	3	12
	Absorción	3	3	3	3	12
	Alabeo	3	3	3	3	12
Mecánicas	R. Compresión por unidad f' b	6	6	6	6	24
	R. Compresión axial f' m	9	9	9	9	36
	R. Compresión diagonal v' m	24	24	24	24	96
Total:					192	

Cuadro de Operacionalización de variables

Tabla 2: Operacionalización de variables

VARIABLES		DIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTOS
Variable Independiente	Partículas de Vidrio Y papel reciclado	Vidrio	Tamaño	Ensayo Granulométrico
		Vidrio + Papel	3% V+P	Fichas de Registro
			6% V+P 9% V+P	
Variable Dependiente	Bloques de concreto	Concreto + Vidrio y papel	Variación Dimensional	Fichas de Registro
			Absorción Alabeo	Ensayos de Laboratorio
		Vidrio + Papel	Resistencia Compresión	
			Costo Beneficio	Rentabilidad

Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Observación.

Se observó el comportamiento de la mezcla para la elaboración de los bloques de concreto, en función a la trabajabilidad y contenido de aire de este.

Los instrumentos de recolección de datos usados en esta investigación son:

Fichas de registro.

Se ha recopilado datos de la medición de absorción, variación dimensional y alabeo para los bloques de concretos fabricados con 3%, 6% y 9% de partículas de vidrio y papel reciclado y bloques sin adiciones. Las fichas de registros para esta investigación se obtuvieron por medio del laboratorio donde se realizó los ensayos correspondientes.

Ensayos de laboratorio.

Se realizó ensayos en laboratorio para las propiedades mecánicas de los bloques de concreto tales como la resistencia a compresión f'_b , compresión axial o en pilas f'_m y compresión diagonal v'_m de los bloques fabricados. Por último, se realizó una comparación del costo beneficio de los bloques de concretos fabricados de forma tradicional y fabricados con la adición de partículas de vidrio y papel reciclados.

Procedimiento para recolección de datos

Se llevó a cabo la recolección de vidrio y papel, los cuales posteriormente fueron sometidos a un lavado, ventilación y secado. A continuación, se procedió a la trituración de estos. Tas ello, se realizaron ensayos en los agregados y se elaboró un diseño de mezcla para la producción de bloques de concreto con adiciones de 0%, 3%, 6% y 9% de partículas de vidrio y papel reciclado.

Seguidamente, se procedió a la fabricación y curado de los bloques de albañilería, así como a la creación de testigos (bloques dispuestos en pilas y muretes) con el fin de medir la resistencia a compresión axial y diagonal. Posteriormente, se llevaron a cabo ensayos de Variación Dimensional, absorción y alabeo utilizando 3 bloques de cada adición (0%, 3%, 6% y 9%), así como también ensayos de resistencia a compresión de los bloques a las edades de 7 y 28 días para cada porcentaje utilizado. Además, se evaluó la resistencia a compresión de los bloques dispuestos en pilas y muretes con los mismos porcentajes de partículas de vidrio y papel reciclados, pero a una edad de 28 días.

Cabe resaltar que, todos estos ensayos fueron realizados bajo la normativa que corresponde, el cual se detalla en la Tabla 3.

Tabla 3:Normativa

Propiedades	Ensayos	Norma
Físicas	Variación dimensional	NTP-399.604
	Absorción del bloque	NTP-399.604
	Alabeo de los bloques	NTP-399.604
Mecánicas	R. Compresión por unidad f [’] b	NTP-399.613
	R. Compresión axial f [’] m	NTP-399.613
	R. Compresión diagonal v [’] m	NTP-399.621

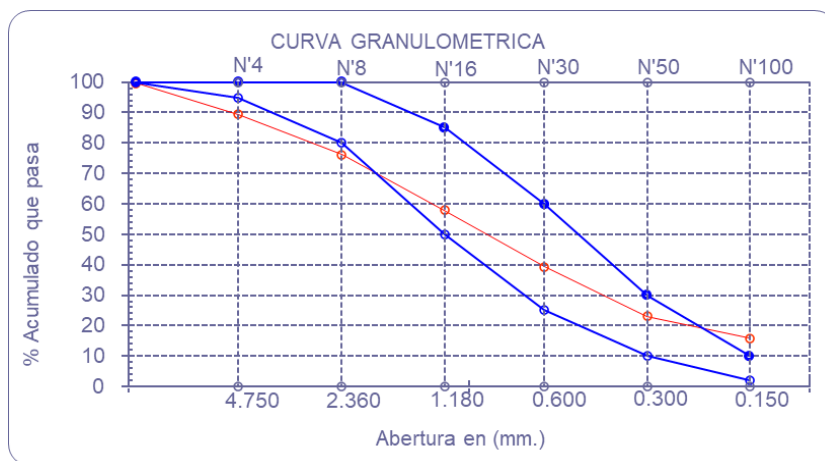
Resultados y Discusiones

Resultados

Propiedades físicas de los bloques de concreto de albañilería

Granulometría de los agregados

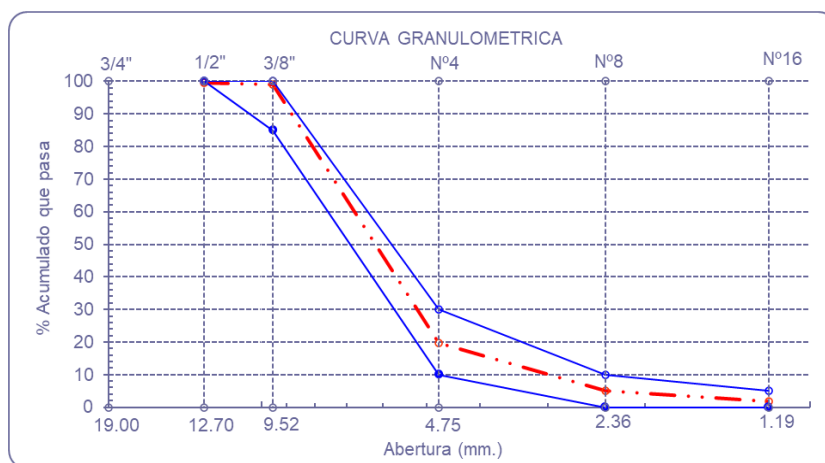
Figura 1. Curva Granulométrica del Agregado Fino



Interpretación:

Del ensayo granulométrico de agregado fino, se obtiene un módulo de fineza de 2.739. Así mismo, en la figura 1 se observa que la curva granulométrica se encuentra fuera de los límites establecidos desde el tamiz 3/8" hasta N°100. No obstante, esto no impide la fabricación de los bloques de concreto, siempre y cuando se logre alcanzar la resistencia de diseño deseada a los 28 días.

Figura 2. Curva Granulométrica del Agregado Grueso

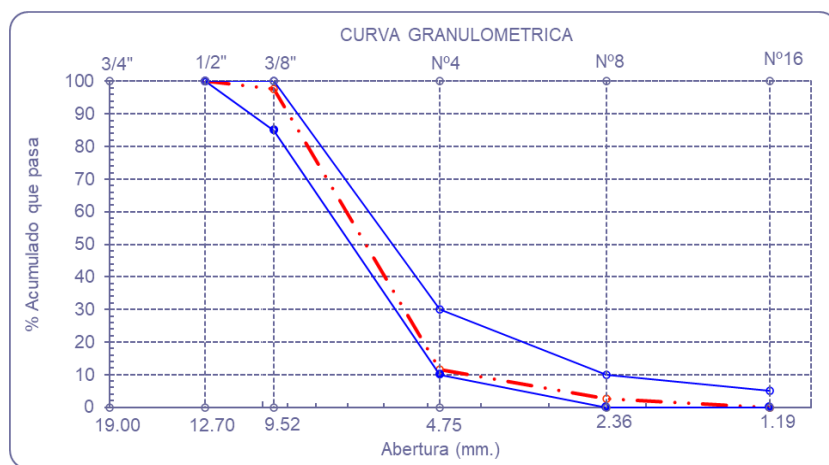


Interpretación:

El ensayo de granulometría de confitillo realizado con la serie de tamices (1/2", 3/8", N°4, N°8 y N°16) establecidos en la tabla N°17 de la norma E070, dio como resultado que es

apto para su uso en esta investigación, así mismo, se obtuvo que; el tamaño máximo es de 1/2" mientras que el tamaño máximo nominal es 3/8".

Figura 3. Curva Granulométrica del Vidrio



Interpretación:

Del ensayo de granulometría realizado en el vidrio triturado que se utilizará en la investigación, se ha determinado que su tamaño máximo es de 1/2", mientras que su tamaño máximo nominal es de 3/8". Por lo tanto, podemos concluir que dicho vidrio triturado es adecuado para su uso en la investigación.

Contenido de humedad, peso específico, absorción, peso unitario suelto y compactado.

Tabla 4: Resumen de Ensayos de agregados

ENSAYO	MATERIAL		UND
Contenido de Humedad	Agregado Fino	1.54	%
	Agregado Grueso	0.37	%
Peso Especifico	Agregado Fino	2622	kg/m3
	Agregado Grueso	2718	kg/m3
Absorción	Agregado Fino	0.92	%
	Agregado Grueso	0.69	%
Peso Unitario Suelto	Agregado Fino	1578	kg/m3
	Agregado Grueso	1366	kg/m3
Peso Unitario Compactado	Agregado Fino	1782	kg/m3
	Agregado Grueso	1537	kg/m3

Diseño de mezcla

Para la elaboración del diseño de mezcla se utilizó el método ACI-211 con una relación Agua - Cemento de 0.813 por resistencia.

Se usó cemento Tipo I con un peso específico de 3150 Kg/cm³

Tabla 5: Diseño de mezcla bloque de concreto patrón

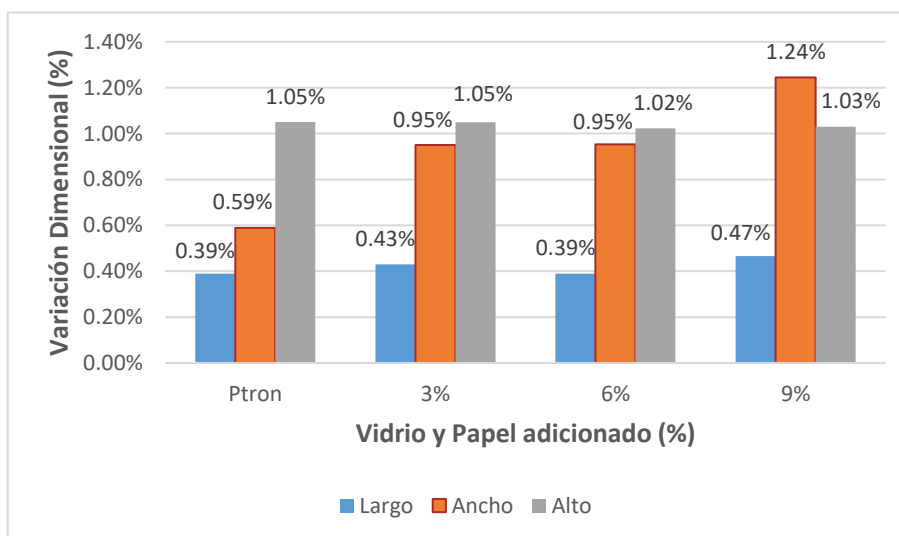
Materiales	Cantidad	Unidades
Cemento	323	Kg/m ³
Agregado Fino	708	Kg/m ³
Agregado Grueso	1067	Kg/m ³
Agua	263	Lts/m ³

Tabla 6: Adiciones de vidrio y papel a la mezcla de concreto

Adiciones	Materiales	Cantidad	Unidades
1% papel + 2% vidrio	Partículas de Vidrio	49	Kg/m ³
	Papel Reciclado	8	Kg/m ³
2% papel + 4% vidrio	Partículas de Vidrio	95	Kg/m ³
	Papel Reciclado	11	Kg/m ³
3% papel + 6% vidrio	Partículas de Vidrio	141	Kg/m ³
	Papel Reciclado	13	Kg/m ³

Ensayo de variación dimensional

Gráfico 1: Ensayo de variación dimensional

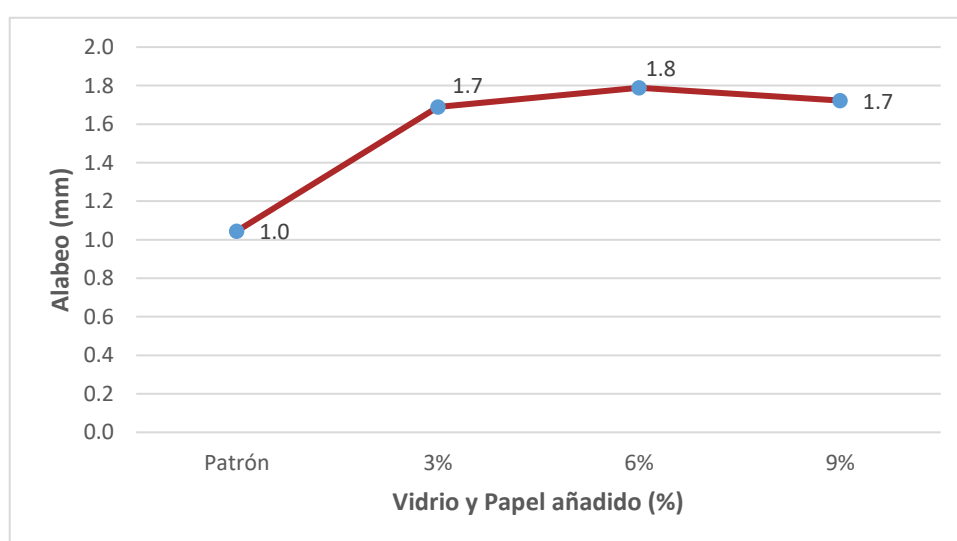


Interpretación.

De acuerdo con la norma E070, un bloque de concreto no debe superar los porcentajes máximos establecidos de ± 4 en altura, ± 3 en ancho y ± 2 en largo. Así mismo los valores de variación presentados en la Gráfica 1, no superan a los porcentajes de la norma mencionada anteriormente. Por otro lado, se puede observar que las dimensiones del ancho de los bloques van aumentando a medida que se utilizan las adiciones de 3%, 6% y 9% de partículas de vidrio y papel, siendo la adición de 9% la que tiene mayor variación (1.24%).

Ensayo de alabeo

Gráfico 2: Ensayo de alabeo

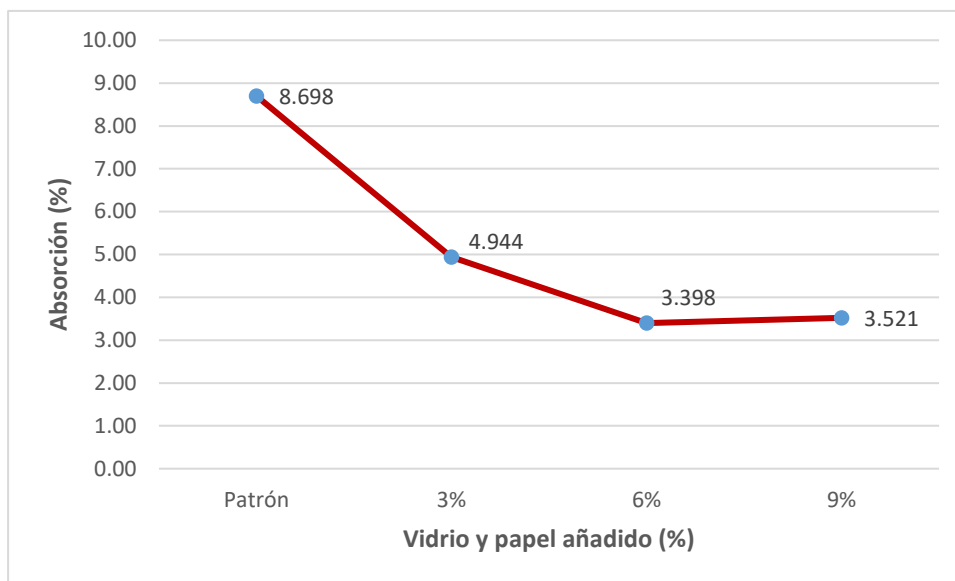


Interpretación:

De acuerdo con el Reglamento Nacional de Edificación E070, tenemos por conocimiento que el valor del alabeo máximo es de 4mm, por tanto, según el gráfico 2, la muestra patrón tiene un alabeo de 1.0 mm, del mismo modo, las muestras con adiciones de 3%, 6% y 9% de vidrio y papel reciclado presentan alabeo de 1.7mm, 1.8mm y 1.7mm respectivamente, siendo todos inferiores al valor máximo establecido en la normativa peruana. A partir de esto, se puede afirmar que el valor del alabeo aumenta al adicionar vidrio y papel, siendo la muestra de 6% la que tiene la mayor dimensión.

Ensayo de absorción

Gráfico 3: Ensayo de absorción



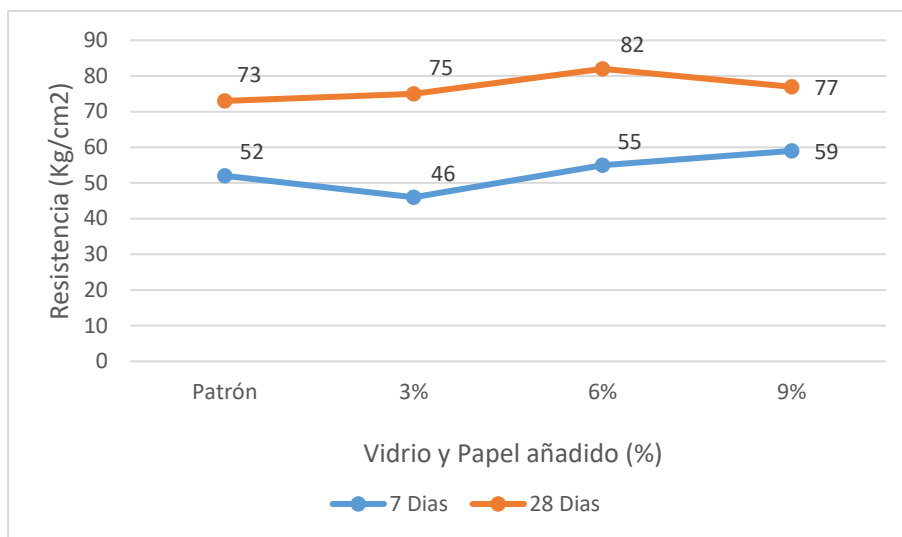
Interpretación:

La norma E070 menciona que, el valor máximo de absorción en bloques de concreto de albañilería es de 12%, como resultado, la gráfica 3 muestra que ninguno de los valores presentados excede el límite mencionado, siendo el valor máximo obtenido 8.698%, mientras que las muestras con adiciones de 3%, 6% y 9% obtuvieron valores de 4.94%, 3.398% y 3.52% respectivamente. Esto nos da a entender que, al adicionar vidrio y papel, la absorción disminuye a valores entre 3% y 5 %.

Propiedades mecánicas de los bloques de concreto de albañilería

Resistencia a la compresión por unidades de albañilería (f' b)

Gráfico 4: Ensayo de resistencia a la compresión simple

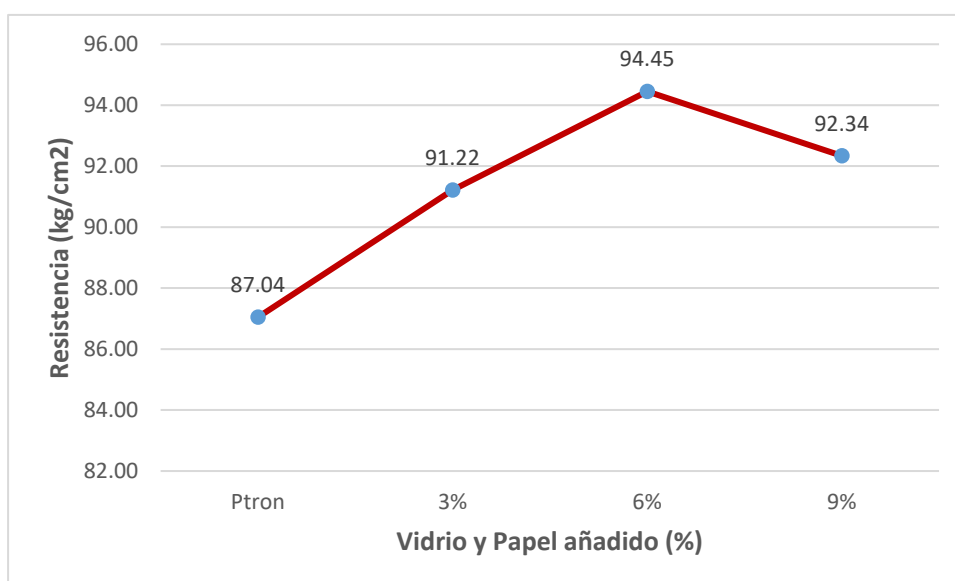


Interpretación:

La Norma Peruana E070 manifiesta que las unidades de albañilería de concreto deben resistir una presión mínima de 50Kg/cm². Para ello en la gráfica 4 se evidencia que tanto la muestra patrón (73 kg/cm²) como las muestras con adiciones de 3%, 6% y 9% (75kg/cm², 82kg/cm², 77kg/cm²) superan significativamente dicho valor, siendo la muestra con adición de 3% es la que obtuvo el mayor valor, superando con 64% al valor mínimo y un 12.33% respecto a la muestra patrón.

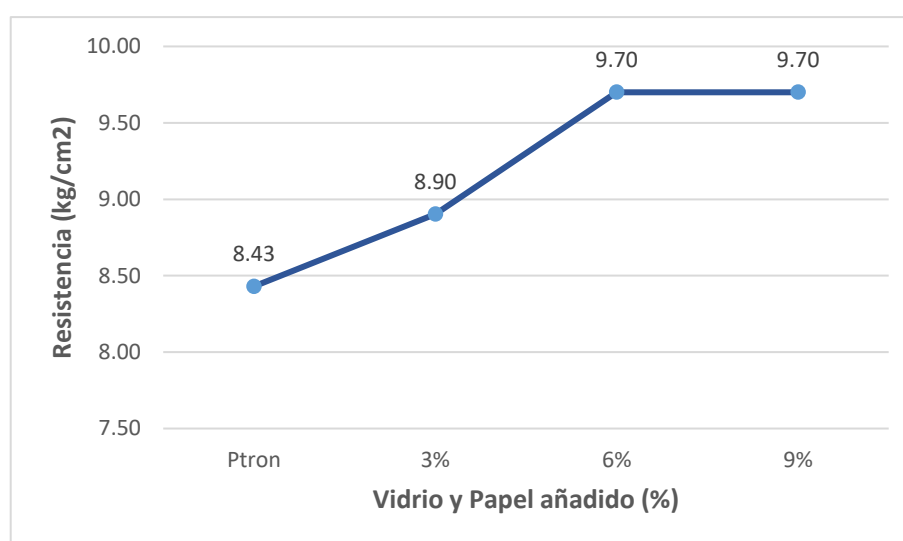
Resistencia a la compresión axial en pilas (f' m)

Gráfico 5: Ensayo de resistencia a la compresión axial (pilas)



Interpretación:

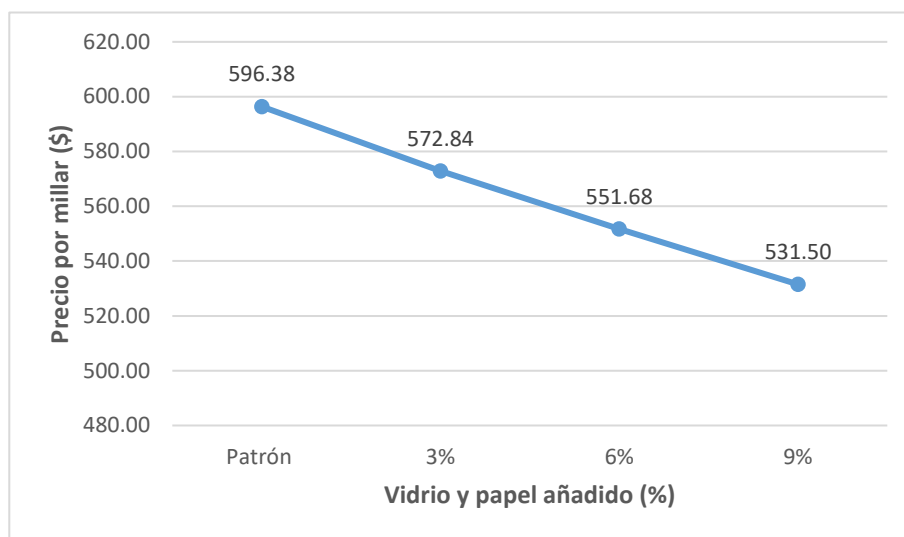
La Norma Peruana E070 indica que los prismas de albañilería (pilas) elaborados de concreto deben resistir una presión mínima de 74Kg/cm². Para ello en la gráfica 5 se evidencia que tanto la muestra patrón (87.04 kg/cm²) como las muestras con adiciones de 3%, 6% y 9% (91.22kg/cm², 94.45kg/cm², 92.80kg/cm²) superan dicho valor, siendo la muestra con adición de 6% la que obtuvo el mayor valor, superando con 27.63% al valor mínimo y un 8.51% en comparación con muestra patrón.

Resistencia a la compresión diagonal en muretes de albañilería (V'm)*Gráfico 6: Ensayo de resistencia a compresión diagonal**Interpretación:*

La Norma Peruana E070 indica que los muretes de albañilería elaborados de concreto deben resistir una presión mínima de 8.6 kg/cm². Para ello en la gráfica 6 se evidencia que las muestras con adiciones de 3%, 6% y 9% (8.90kg/cm², 9.70kg/cm², 9.70kg/cm²) superan dicho valor, siendo las muestras con adición de 6% y 9% las que obtuvieron el mayor valor, superando con 12.79 % al valor mínimo.

Costo – beneficio

Gráfico 7: Costo de fabricación de bloques de concreto en dólares



Interpretación:

Como se observa en el gráfico 7, el costo de fabricación de los bloques de concreto con las diferentes adiciones va disminuyendo a medida que el porcentaje de adición es mayor, no obstante, la adición con 9% de vidrio + papel es la que ha obtenido el valor más bajo, siendo esta de \$ 64.88 menos que la muestra patrón.

Porcentaje óptimo de adición con respecto al costo de fabricación y la resistencia

Tabla 7: Porcentaje óptimo

		Adiciones			
		Patrón	3%	6%	9%
Resistencia	F'b	73.00	75.00	82.00	77.00
	F'm	87.04	91.22	94.45	92.34
	V'm	8.43	8.90	9.70	9.70
Costo	USD	596.38	572.84	551.68	531.50

Interpretación:

Las 3 diferentes adiciones utilizadas en esta investigación superan satisfactoriamente la normativa peruana establecida para bloques de concreto de albañilería, sin embargo, se puede evidenciar que el mejor porcentaje de adición con respecto a la resistencia es la de 9%

de vidrio + papel reciclado, puesto que satisface los parámetros de la norma y disminuye de manera considerable el costo de fabricación.

Discusiones

Se presenta la comparación de los resultados obtenidos de la investigación realizada con los datos de los antecedentes.

Propiedades físicas de la mezcla y los bloques de concreto de albañilería

Tabla 8: Comparación propiedades físicas

Autor	Material	Adiciones (%)	Datos de investigación
Investigación Propia	Vidrio + Papel	0%, 3%, 6% y 9%	Variación dimensional (%)
			L.A.H: 0.39, 0.59, 1.05
			L.A.H: 0.43, 0.95, 1.05
			L.A.H: 0.39, 0.95, 1.02
			L.A.H: 0.47, 1.24, 1.03
			Alabeo (mm)
			1.0, 1.7, 1.8, 1.7
			Absorción (%)
			8.7, 4.95, 3.4, 3.52
			(Burgos, 2020)
L.A.H: 0.15, 0.56, 0.61			
L.A.H: 0.11, 0.75, 1.31			
L.A.H: 0.11, 0.73, 1.46			
L.A.H: 0.10, 0.75, 1.30			
L.A.H: 0.11, 0.75, 1.44			
Alabeo (mm)			
1.30, 1.43, 1.33, 1.43, 1.58			
Absorción (%)			
8.66, 8.37, 8.02, 7.32, 6.49			

En la Tabla 8, los resultados de variación dimensional de Burgos, 2020 [7] presenta valores similares a los resultados de la presente investigación.

Por otra parte, el alabeo aumenta cuando se le adiciona material reciclado, pero dicho aumento no es considerablemente alto, lo cual es coincidente con los resultados como se muestran en la Tabla 8.

Los resultados presentados por Burgos, 2020 [7] en el Tabla 8, revelan una tendencia decreciente en los valores de absorción a medida que se aumenta la cantidad de vidrio y papel reciclado. Sin embargo, es importante resaltar que las reducciones observadas son relativamente pequeñas. Los resultados de esta investigación concuerdan con la disminución de la absorción, pero de manera significativa, pasando de 8.7% en la muestra patrón a un valor de 3.52% cuando se añade una combinación de 9% vidrio y papel.

Propiedades mecánicas de los bloques de concreto de albañilería

Tabla 9: Comparación de la resistencia a compresión con las investigaciones

Autor	Material	Adiciones (%)	Datos de investigación
Investigación Propia	Vidrio + Papel	0%, 3%, 6% y 9%	73.00, 75.00, 82.00, 77.00 Kg/cm ²
(Almengor, Gutiérrez, Moreno & Caballero, 2017)	Vidrio + Papel	100%	23.53 Kg/cm ²
(Burgos, 2020)	Vidrio Triturado	0%, 5%, 10%, 15% y 20%	60.15, 71.23, 74.50, 80.17, 82.39 Kg/cm ²
(Rubio y Toscano, 2021)	Vidrio Triturado	10%, 15%, 20% y 30%	35.38, 46.91, 52.62, 34.26 y 48.84 Kg/cm ²
(Acuña & Quispecondori 2021).	Papel Reciclado	0%, 5%, 10%, 15%, 20% y 25%	72.88, 71.03, 58.25, 7.81, 6.39, 5.22 Kg/cm ²

Burgos, 2020 [7] y Rubio & Toscano, 2021 [8], indican que, a mayor adición de vidrio triturado, mayor es la resistencia que se obtiene, lo cual concuerda con los resultados de esta investigación. Por otra parte, Acuña & Quispecondori, 2021 [5], manifiestan que al utilizar solo papel reciclado la resistencia va disminuyendo, pues esta no llegaría a cumplir con los requisitos mínimos establecidos en su normativa. Por ende, al utilizar dichos materiales a la vez en proporciones de 3%, 6% y 9%, la resistencia aumenta.

En el estudio llevado a cabo por Almengor, Gutiérrez, Moreno & Caballero, 2017 [2], reemplaza totalmente los agregados tradicionales por vidrio + papel en la mezcla. Sin embargo, se obtuvo únicamente 55.6% de la resistencia mínima requerida. No obstante, la adición de vidrio + papel en proporciones de 3%, 6% y 9% con relación al volumen total, se cumplieron los parámetros mínimos necesarios para ser usados en muros portantes, alcanzando una resistencia.

Costo – beneficio

Tabla 10: Comparación Costo-beneficio con las investigaciones

Autor	Material	Datos de investigación	
		(Costo unitario)	
		CU. Sin Adición (Bloque)	CU. Investigación (Bloque)
Investigación Propia	Vidrio + Papel	0.68 Usd/und	0.53 Usd/und
(Sandoval, 2020)	Papel Reciclado	0.81 Usd/und	0.79 Usd/und
(Acuña & Quispecondori 2021).	Papel Reciclado	0.71 Usd/und	0.62 Usd/und
(Rubio & Toscano, 2021)	Vidrio Triturado	0.35 Usd/und	0.64 Usd/und

Sandoval, 2020 [6], Acuña & Quispecondori, 2021 [5] en la Tabla 10, indican que, al adicionar material reciclado a la mezcla de bloques de concreto, el costo de fabricación disminuye en comparación a un bloque sin adiciones, lo cual es concordante con los resultados de esta investigación.

Además, en relación con la información presentada en la Tabla 10, el estudio realizado por Rubio & Toscano, 2021 [8] indica que el costo de fabricación de bloques de concreto con adición de vidrio triturado aumenta en un 82.68% en comparación con la muestra de referencia. Este incremento se atribuye al uso de maquinaria especializada para la trituración del vidrio. Por ende, esta investigación difiere significativamente con este hallazgo teniendo una disminución del costo de fabricación del 22.05% respecto a la muestra sin adiciones, resaltando que no se utilizó maquinaria especializada para la trituración del vidrio.

Conclusiones

Tras analizar las propiedades físicas de los bloques de concreto, se registró una variación dimensional máxima del 0.47%, 1.24% y 1.05% para las dimensiones longitud, ancho y altura, respectivamente. Además, el alabeo presentó un valor de 1.0 mm para la muestra patrón y aumentó ligeramente en 0.7mm, 0.8mm para las muestras con adiciones de partículas de vidrio y papel reciclado del 3%, 6% y 9%, respectivamente. En cuanto a la capacidad de absorción se observó un valor de 8.7% para la muestra sin adiciones, disminuyendo progresivamente a valores de 4.95%, 3.4% y 3.52% respectivamente. En resumen, se concluye que la adición de partículas de vidrio y papel reciclado ha tenido un efecto positivo en las propiedades físicas de los bloques de concreto, ya que todos los valores obtenidos se encuentran dentro de los límites aceptables.

En cuanto a las propiedades mecánicas, se observó que la resistencia a la compresión por unidad de albañilería varió significativamente en función de la cantidad de partículas de vidrio y papel reciclado añadidas. En particular, se encontró que la muestra sin adiciones presentó un valor de resistencia de 73Kg/cm², mientras que las muestras con adiciones de 3%, 6% y 9% experimentaron un aumento de 2.74%, 12.33% y 5.48%, con relación a la resistencia de las muestras sin adiciones, respectivamente. En el caso de las pilas de albañilería, la muestra sin adiciones presentó un valor de 87.04Kg/cm², mientras que las muestras con adiciones experimentaron un aumento del 4.80%, 8.51% y 6.09%, respectivamente. Por último, la resistencia a la compresión diagonal presentó un valor en la muestra patrón de 8.43Kg/cm², mientras que las muestras con adiciones registraron un aumento de 5.58%, 15.07% y 15.07%, con relación a la resistencia de las muestras sin adiciones, respectivamente. En conclusión, se puede afirmar que la inclusión de partículas de vidrio y papel reciclado en la mezcla de concreto para la fabricación de unidades de albañilería tiene un impacto positivo en las propiedades mecánicas de las mismas.

En relación con el análisis económico efectuado, se determinó que el costo de fabricación de un bloque de concreto sin adiciones asciende a 0.60 USD. En cambio, en el caso de los bloques que incorporan partículas de vidrio y papel reciclado en la mezcla de concreto en proporciones de 3%, 6% y 9%, evidenciaron una disminución en los costos de producción del 5%, 8.33% y 11.67%, respectivamente. De esta manera, se puede concluir que la incorporación de estos materiales reciclados en la elaboración de bloques de concreto resulta económicamente viable y beneficioso para el sector de la construcción.

Al analizar la resistencia a compresión y el costo de producción de los bloques de concreto con distintas cantidades de partículas de vidrio y papel reciclado, se ha llegado a la

conclusión de que la adición óptima es del 9% (6% de vidrio y 3% de papel). Esta relación proporciona una resistencia a la compresión simple, en pilas de albañilería y en diagonal de 77Kg/cm², 92.34Kg/cm² y 9.70 Kg/cm², respectivamente. Además, el costo de fabricación de los bloques es de 0.53USD, lo que supone un ahorro del 11.67% en comparación con la muestra sin adiciones.

Como conclusión general, se puede afirmar que adicionar partículas de vidrio y papel reciclado, en la fabricación de bloques de concreto para uso en muros portantes de albañilería influye positivamente en las propiedades físicas y mecánicas de los bloques, así mismo permite la reducción de costo de fabricación lo que conlleva a un ahorro significativo para los constructores.

Recomendaciones

En lo que respecta a la trituración del vidrio, se recomienda el empleo de una máquina de trituración con la finalidad de ahorrar tiempo y obtener una gradación más uniforme.

En futuras investigaciones, se recomienda utilizar adiciones superiores a 9% (6% vidrio+3% papel) para encontrar un porcentaje con un costo bajo de fabricación, pero que cumpla con los estándares de la normativa para ser usados en muros portantes de albañilería.

La adición de partículas vidrio y papel reciclado en la fabricación de bloques de concreto ha dado resultados positivos, proponiendo el uso de estos materiales en muros portantes de albañilería. Sin embargo, se recomienda incrementar las proporciones de estos materiales con el objetivo de encontrar una adición óptima para la fabricación de bloques de concreto destinados a muros no portantes.

Por último, los ensayos de esta investigación se han llevado a cabo en consonancia con los objetivos planteados. Sin embargo, se recomienda a los futuros investigadores realizar ensayos que complementen la presente investigación, con el fin de obtener resultados más exhaustivos para su estudio.

Referencias

- [1] K. S. Mejia Olaya, Caracterización del concreto a base de papel reciclado (Paper Crete) como elemento estructural en la construcción de viviendas unifamiliares para asentamientos humanos en el distrito de Veintiséis de Octubre-Piura-Piura, 2019, Piura: Universidad César Vallejo , 2019.
- [2] A. Almengor, N. Gutiérrez , J. Moreno y K. Caballero, «Reciclaje de materiales para la elaboración de bloques bioamigables,» *Journal of Undergraduate Research*, vol. III, n° 1, pp. 1-6, 2017.
- [3] H. Manayay Cieza, Caracterización física y mecánica del bloque de concreto convencional vs bloque de concreto mejorado con fibras de vidrio, Lambayeque, Chiclayo: Universidad César Vallejo, 2021.
- [4] M. P. d. Chota, «Municipalidad Provincial de Chota,» 20 Enero 2016. [En línea]. Available: <https://www.munichota.gob.pe/>. [Último acceso: 02 Junio 2022].
- [5] K. . J. Acuña Huilca y Y. E. Quispecondori Vilca, Incorporación de celulosa de papel periódico en la elaboración de bloques de concreto para muros portantes, Juliaca: Universidad Peruana Unión , 2021.
- [6] M. Amores Sandoval, El papel reciclado de los desechos sólidos urbanos del Cantón Ambato provincia de Tungurahua y su incidencia en la resistencia del Hormigón, Ambato: Universidad Técnica de Ambato, 2020.
- [7] Y. Chávez Burgos , Evaluación de las propiedades mecánicas en bloques de concreto tipo P incorporando vidrio triturado, Pimentel: Universidad Señor De Sipán , 2020.
- [8] M. C. Rubio Inguilán y L. S. Toscano Barros, Diseño de bloques de aliviamiento con vidrio triturado, Quito: Universidad Central del Ecuador, 2021.
- [9] J. Devènes , J. Brütting, C. Küpfer y M. Bas, «Re:Crete – Reuse of concrete blocks from cast-in-place building to arch footbridge,» *Structures*, vol. 43, n° 1, pp. 1854-1867, 2022.
- [10] Bloqueras.org, «Bloqueras,» 20 Junio 2019. [En línea]. Available: <https://bloqueras.org/bloques-concreto/#top>. [Último acceso: 19 Setiembre 2022].
- [11] B. S. Mohammed, K. M. Anwar Hossain, J. TingEng Swee, G. Wong y M. Abdullahi, «Properties of crumb rubber hollow concrete block,» *Journal of Cleaner Production*, vol. 23, n° 1, pp. 57-67, 2021.
- [12] F. L.M. y C. S.E., «Waste glass as a supplementary cementitious material in concrete –

- Critical review of treatment methods,» *Cement and Concrete Composites*, vol. 31, n° 8, pp. 606-610, 2019.
- [13] S. Praburanganathan, N. Sudharsan, Y. . B. Simha Reddy, C. N. D. Kumar Reddy, L. Natrayan y P. Paramasivam, «Force-Deformation Study on Glass Fiber Reinforced Concrete Slab Incorporating Waste Paper,» *Advances in Civil Engineering*, vol. 22, n° 1, pp. 1-10, 2022.
- [14] Z. Shakeel, S. Bhatia y N. Ahmad Dar, «Use of Recycled Glass as Fractional Replacement of Cement and Concrete Waste as Aggregate inconcrete practice,» *International Journal of Innovative Research in Computing and Technology (IJIRCST)*, vol. 10, n° 3, pp. 2347-5552, 2022.
- [15] E. Najaf y H. Abbasi, «Using Recycled Concrete Powder, Waste Glass Powder, and Plastic Powder to Improve the Mechanical Properties of Compacted Concrete: Cement Elimination Approach,» *Advances in Civil Engineering*, vol. 2022, n° 1, pp. 1-12, 2022.
- [16] Y. Meng, T.-C. Ling y K. Hung Mo, «Recycling of wastes for value-added applications in concrete blocks: An overview,» *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 138, n° 1, pp. 298-312, 2018.
- [17] T.-C. Ling, C.-S. Poon y H.-W. Wong, «Management and recycling of waste glass in concrete products: Current situations in Hong Kong,» *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 70, n° 1, pp. 25-31, 2019.
- [18] jetblacksafety, «Jetblacksafety,» 18 enero 2022. [En línea]. Available: <https://jetblacksafety.com/content/11-paper>. [Último acceso: 10 octubre 2022].
- [19] T. Britannica, «Britannica,» Encyclopedia Britannica, 8 Setiembre 2022. [En línea]. Available: <https://www.britannica.com/technology/glass>. [Último acceso: 16 octubre 2022].
- [20] J. Lozada , «Investigación Aplicada: Definición, Propiedad Intelectual e Industria,» *Universidad Tecnológica Indoamericana* , vol. 1, n° 3, pp. 34-39, 2014.
- [21] R. Hernandez Sampieri, Metodología de la investigación, México: INTERAMERICANA EDITORES, S.A., 2014.
- [22] INACAL, «NTP 399.604,» de *UNIDADES DE ALBAÑILERÍA. Métodos de muestreo y ensayo de unidades de albañilería de concreto*, Lima, 2002.

Anexos

Elaboración y curado de bloques de concreto



Ensayo de resistencia a la compresión simple, axial y diagonal

