



Artículo de investigación



Evaluación mecánica de composito reforzado con vidrio reciclado para aplicaciones estructurales

Mechanical evaluation of recycled glass-reinforced composite for structural applications

Mario Iván Lara Garduño , Ma. de los Ángeles Enríquez Pérez 

TecNM: Tecnológico de Estudios Superiores de Jocotitlán, Carretera Toluca-Atacomulco km 44.8, Ejido de San Juan y San Agustín, Jocotitlán, Edo. México.

Autor de correspondencia: Mario Iván Lara Garduño, TecNM: Tecnológico de Estudios Superiores de Jocotitlán, Carretera Toluca-Atacomulco km 44.8, Ejido de San Juan y San Agustín, Jocotitlán, Edo. México. Correo electrónico: 2022018@tesjo.edu.mx. ORCID: 0000-0002-7371-1992.

Recibido: 31 de Marzo del 2025

Aceptado: 16 de Mayo del 2025

Publicado: 20 de Mayo del 2025

Resumen. - *El presente trabajo se enfocó en el estudio del vidrio reciclado como refuerzo en losetas de cemento, con el objetivo de evaluar su influencia en las propiedades mecánicas y explorar su viabilidad en la industria de la construcción. Para ello, se fabricaron 4 lotes de losetas por triplicado variando la proporción p/p de vidrio y cemento, L1 es el blanco (proporción 0:1), el tamaño de partícula vario: L2 con 354 μm (proporción 1:4), L3 de 250 μm (proporción 1:5) y L4 con 105 μm (proporción 1:5). Se realizaron ensayos mecánicos a los 7, 14 y 28 días de curado, siguiendo la norma ISO 10545-4:2019(E). Además, se utilizó un esclerómetro para evaluar la resistencia superficial de las probetas según la norma NMX-C-192-ONNCCE-2018. Los resultados mostraron que, aunque la incorporación de vidrio permitió obtener una matriz más homogénea y estética, la resistencia mecánica de las losetas fue inferior a la de losetas comerciales con tratamiento térmico. La mezcla con partículas de 250 μm (L3) presentó una mayor resistencia a la flexión, alcanzando 0.25 MPa, mientras que la resistencia a la compresión en los cilindros superó los 40 MPa en las probetas L2 y L3 a los 28 días, siguiendo la norma NMX-C-111-ONNCCE-2018. Este estudio evidencia el potencial del vidrio reciclado en la fabricación de losetas, aunque se requieren optimizaciones en la formulación para mejorar su desempeño estructural.*

Palabras clave: Loseta; Vidrio; Reciclaje; Material estructural; Proporción.

Abstract. - *This work focused on the study of recycled glass as reinforcement in cement tiles, with the aim of evaluating its influence on the mechanical properties and exploring its viability in the construction industry. For this purpose, four batches of tiles were manufactured in triplicate, varying the w/w ratio of glass and cement, L1 being the blank (ratio 0:1), and the particle size varied: L2 with 354 μm (ratio 1:4), L3 with 250 μm (ratio 1:5), and L4 with 105 μm (ratio 1:5). Mechanical tests were performed at 7, 14, and 28 days of curing, following the ISO 10545-4:2019(E) standard. In addition, a sclerometer was used to evaluate the surface resistance of the probes according to the NMX-C-192-ONNCCE-2018 standard. The results showed that, although the incorporation of glass resulted in a more homogeneous and aesthetic matrix, the mechanical strength of the tiles was lower than that of commercial heat-treated tiles. The mixture with 250 μm particles (L3) presented a higher flexural strength, reaching 0.25 MPa, while the compressive strength in the cylinders exceeded 40 MPa in probes L2 and L3 at 28 days, in accordance with the NMX-C-111-ONNCCE-2018 standard. This study demonstrates the potential of recycled glass in tile manufacturing, although formulation optimizations are required to improve its structural performance.*

Keywords: Tiles; Glass; Recycling; Structural material; Proportion.



1. Introducción

El reciclaje de vidrio ha sido objeto de diversas investigaciones debido a su impacto en la sostenibilidad y su potencial aplicación en materiales de construcción. Estudios previos han demostrado que la incorporación de partículas de vidrio reciclado en losetas cerámicas influye en la distribución y en las propiedades mecánicas del material [1].

En este sentido, investigaciones en Latinoamérica han analizado la caracterización de arcillas y el uso de materiales reutilizables en la manufactura de cerámicas, destacando la importancia de optimizar las mezclas para mejorar la resistencia mecánica [2].

Un vidrio, está compuesto principalmente por sílice (SiO_2), óxidos de sodio (Na_2O) y calcio (CaO) [3], es un sólido amorfo con estructura molecular desordenada [4]. Comparte características con los líquidos, como ser ópticamente isótropo y tener viscosidad variable con la temperatura, pero no posee un punto de fusión definido [5].

Posee propiedades que pueden mejorar la resistencia de materiales cuando se incorpora en diferentes proporciones y tamaños de partícula [6].

Investigaciones han evidenciado que su uso como sustituto de feldespato en gres porcelánico reduce la temperatura de sinterización, optimizando el consumo energético en la producción [7]. Además, su incorporación en adhesivos y concretos podría minimizar la extracción de arena de cantera y mejorar la gestión de residuos [8], [9]. Los egipcios desarrollaron técnicas avanzadas para la fabricación de objetos de vidrio, como vasijas, frascos, vitrales y cuentas de joyería. Utilizaban una mezcla de sílice, soda y caliza que fundían a

altas temperaturas para obtener el vidrio líquido, que luego moldeaban y pulían [10].

México tiene historia en el uso de losetas ya que contaba con fábricas de las mismas, al igual que Venezuela, Colombia, Cuba, además de otros países de Latinoamérica. Cuba tuvo una de sus primeras fábricas en la isla la Balear en 1894 y México contaría con su fábrica a inicios del siglo XX con casa Quintana [11].

México enfrenta un bajo índice de reciclaje de vidrio en comparación con países como Alemania y Francia, donde las tasas de recuperación alcanzan hasta el 81% y 58%, respectivamente [12]. Datos de la SEMARNAT indican que, aunque el vidrio representa el 16.6% de los residuos reciclables en el país, su bajo valor de mercado desincentiva su recolección [13].

El reciclaje es un proceso de transformación que utiliza varias técnicas; tanto físicas, químicas y mecánicas, para obtener nuevos materiales o nuevas materias primas a partir de materiales que han sido usados; es decir, que han sido desechados [14]. El vidrio reciclado se recolecta, limpia, tritura y funde para fabricar nuevos productos [15]. Existen distintos tipos de reciclaje:

- Reciclaje mecánico: clasificación por composición y color, limpieza, trituración y separación de impurezas antes de su utilización [16].
- Química verde: promueve el uso de solventes ecológicos, reactivos alternativos y materiales biodegradables para reducir contaminación ambiental [17].

El vidrio reciclado es una alternativa que disminuye residuos y la extracción de nuevas materias primas; la incorporación de materiales reciclados en la construcción es clave para reducir el impacto ambiental. Además, se



exploran materiales sostenibles como madera certificada, bambú y ladrillos ecológicos por su eficiencia energética y bajo impacto ambiental [18].

Diversos estudios han explorado el efecto de la adición de vidrio reciclado en losetas, ladrillos, hormigones [19], [20], [21], analizando su impacto en la resistencia mecánica, en particular la flexión [22], [23], [24]. Se ha identificado que la selección adecuada del tamaño y proporción de partículas de vidrio permite optimizar las propiedades del material sin necesidad de tratamientos térmicos adicionales, lo que representa un enfoque sustentable.

Las losetas cerámicas, originalmente se fabrican con arcillas, sílice y colorantes, prensadas y cocidas a alta temperatura. Aunque se utilizan diferentes técnicas y materiales, todas las losetas cerámicas son “arcilla cocida” [25], se clasifican según:

- **Acabado:** esmaltadas (GL) o no esmaltadas (UGL).
- **Ubicación:** uso interior o exterior.
- **Absorción de agua:** alta, media o baja [26].

En este contexto, el reusó de residuos sólidos de la edificación permite su aprovechamiento para la fabricación de elementos prefabricados como bloques, adoquines y baldosas. Para su producción, se requiere analizar la materia prima y la proporción de mezclas optimizadas.

A través de ensayos de resistencia a la compresión en probetas, para verificar el cumplimiento normativo y garantiza su viabilidad estructural [27].

1.1. Aplicaciones del vidrio Reciclado

Cardona et al. (2021) investigaron ladrillos con vidrio y PET, mejorando densidad y resistencia mecánica [20]. En 2023, Sánchez demostró que

la adición de 5% de loseta cerámica en adoquines incrementa la oposición a ser comprimido, cumpliendo con la NTP 399.611 [28].

Concreto con vidrio reciclado: Saravia (2019) demostró que el vidrio triturado puede reemplazar el árido grueso en el concreto con factor de compresión igual a 210 kg/cm² mejorando su desempeño y reduciendo el impacto ambiental [29]. Acuña (2021) estudió concretos con 15%, 25% y 35% de vidrio reciclado, determinando que la proporción óptima es de 25%, logrando una oposición de 373.45 kg/cm² a los 28 días [30]. Sin embargo, Matos (2023), al reutilizar vidrio al 10% como árido fino mejora la capacidad de un material para soportar una carga sin afectar significativamente la resistencia a flexión [31].

Por ello, este estudio tiene como objetivo fabricar y caracterizar losetas reforzadas con vidrio reciclado, evaluando su comportamiento mecánico conforme a las normas NMX-C-111-ONNCCE-2018 [32], NMX-C-192-ONNCCE-2018 [33] e ISO 10545-4:2019(E) [34]. Con esta investigación, se busca promover el reciclaje del vidrio y usarlo como refuerzo en la fabricación de losetas.

2. Metodología

2.1. Recolección y preparación del vidrio

Se recolectaron envases de vidrio de refresco, cerveza y frascos de consumibles (mayonesa, mermeladas, conservas, etc.). Se eliminaron residuos de materia orgánica (sobras de líquido, tierra, etc.), etiquetas y tapas plásticas o metálicas. Posteriormente, los envases fueron lavados y secados a temperatura ambiente.

2.2. Herramientas y equipos de ensayo

El vidrio se pulverizó utilizando una trituradora de fabricación casera (olla exprés adaptada a una esmeriladora angular marca Truper, modelo



ESMA-4-1/2A12 con una potencia de 700 W). Luego, el material se tamizó utilizando mallas de diferentes tamaños y se estudió la distribución de partículas con un microscopio óptico modelo Inskam-315 W.

Se evaluó la dureza del concreto mediante ensayos no destructivos (ASTM, 2018) [35]. Para la caracterización superficial de los cilindros se usó un esclerómetro mecánico (Schmidt).

Se realizaron pruebas mecánicas (flexión y compresión), con ayuda de una prensa hidráulica, fue equipada con un manómetro digital de alta precisión marca Decent, modelo HG-806XB [36], dispositivo que se usa para medir con precisión tecnológica los datos.

2.3. Elaboración de losetas y cilindros

Se fabricaron probetas de losetas de $100 \times 100 \times 10$ mm, variando la proporción p/p entre vidrio/cemento en relaciones 1:4 y 1:5, con tamaños de partícula de vidrio entre 354, 250 y 105 micras.

Además, se elaboraron probetas cilíndricas con dimensiones de 6×12 pulgadas, preparadas por triplicado para obtener un promedio de los resultados debido a que NMX-C-111-ONNCCE-2018 lo solita.

Se mezcló la materia prima durante 10 minutos y se vació en moldes. Para garantizar la homogeneización de la mezcla, se añadió un porcentaje de agua del 40% en peso, lo que facilitó su manipulación y compactación en los moldes.

El material fue sometido a un proceso de curado durante 7, 14 y 28 días, siguiendo las condiciones establecidas por NMX-C-111-ONNCCE-2018 para losetas y probetas cilíndricas.

2.4. Caracterización de las probetas

2.4.1 Caracterización losetas

La norma ISO 10545-4:2019(E) establece que la prueba de flexión debe realizarse con un equipo especializado. Para este estudio, se utilizó una prensa tipo H de la marca Truper, con una capacidad nominal de 12 toneladas, junto con varillas de acero de 20×150 mm en una configuración de tres puntos, siguiendo las indicaciones de la norma.

NMX-C-111-ONNCCE-2018 establece la necesidad de realizar una caracterización superficial del concreto como parte del control de calidad de las probetas. Este análisis se realizó utilizando un esclerómetro para determinar la dureza superficial del compuesto, donde el parámetro está directamente relacionado con su resistencia mecánica.

2.4.2 Caracterización probetas cilíndricas

La norma ISO 10545-4:2019(E) establece que la prueba de compresión debe realizarse con una prensa siguiendo las indicaciones de la norma.

Para evaluar la resistencia superficial, se empleó un esclerómetro (martillo de golpe) marca Cgoldenwall, modelo ZC3-A.

3. Resultados y discusiones

3.1. Tamaño de Grano

El análisis de tamaño de grano (NMX-C-111-ONNCCE-2018), es esencial para determinar la distribución de partículas resultantes del proceso de trituración. En este estudio, el tamaño de partícula obtenido vario entre 354 - 105 μm .

Independientemente del tamaño, se observó que las partículas presentaban una morfología irregular, sin importar sus características físicas



(color, tamaño y forma), ver Figura 1. Este comportamiento señala que la fragmentación y la molienda generan partículas con bordes y superficies no uniformes.

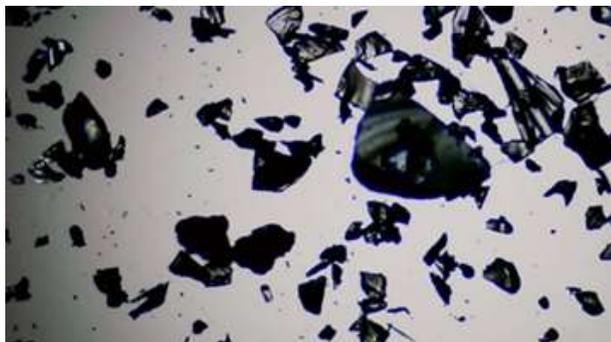


Figura 1. Vidrio triturado (Obtención propia).

3.2. Características Físicas.

Para la fabricación de las losetas, se varió la proporción peso/peso entre agua, cemento y vidrio. Se observó que, al incrementar la cantidad de vidrio en la mezcla, la dureza superficial mejoró, se obtuvo una matriz más homogénea y estéticamente uniforme, con un desmolde completo y menor porosidad; por ejemplo, cuando el tamaño de grano y proporción p/p entre el vidrio-cemento eran superior a los mencionados, cuando la loseta comienza a fraguar esta tiende a fracturarse como se muestra en la figura 2A; con un tamaño de partícula mencionado pero a menor proporción el material al desmoldar se desmoronaba en el perímetro como se observa en la figura 2B; finalmente, al usar las relaciones p/p que se muestran en la tabla 1, se obtiene un material sólido, con dureza al tacto, ver la Figura 2C.

Se determinó que el tamaño de partícula influyó significativamente en la adherencia del material, favoreciendo la creación de losetas de mejor calidad. Una distribución homogénea del tamaño de partícula permitió optimizar la compactación del material, reduciendo defectos estructurales y mejorando la durabilidad del producto final.

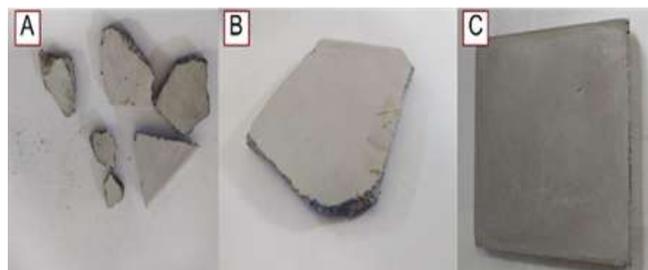


Figura 2. Evolución de losetas (Elaboración propia).

Las proporciones p/p para la elaboración de las losetas se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Proporción p/p de materiales (Elaboración propia).

Probeta	Tamaño de partícula del vidrio (µm)	% Vidrio	% Cemento	% H ₂ O
L1	-----	0	1	40 %
L2	354	1	4	40 %
L3	250	1	5	40 %
L4	105	1	5	40 %

La probeta L1 es el blanco donde no se agregó vidrio, solo se muestran los valores donde se pudo obtener un material homogéneo sin desprendimiento de material, sin fracturas y duro al tacto (Figura 2C); siendo un factor importante la cantidad de agua, ya que a valores inferiores del 40% en peso, el material se fracturaba en el fraguado; con valores mayores era muy húmeda y no fraguaba correctamente.

3.3. Caracterización Mecánica

Al finalizar el período de curado (7, 14 y 28 días), se realizaron pruebas mecánicas a las losetas. Este proceso permitió evaluar la evolución de la resistencia del material a lo largo del tiempo, asegurando que las losetas alcanzaran su máxima capacidad estructural antes de ser sometidas a carga. Las probetas debían soportar una carga mínima de 15 MPa.



De acuerdo con la norma ISO 10545-4:2019(E), establece los métodos de prueba para losetas cerámicas, se realizaron ensayos con un mínimo de tres repeticiones por cada condición, garantizando la validez estadística de los resultados. Se encontró que las losetas fabricadas con cemento y reforzadas con vidrio presentaron una resistencia menor que aquellas fabricadas con tratamientos térmicos convencionales.

A los 28 días de curado, la resistencia máxima promedio fue de 0.146 MPa para las probetas L1, L2 y L4, mientras que la probeta L3 alcanzó una carga máxima de 0.25 MPa. Estos resultados evidencian que, incluso después de un curado prolongado, las losetas se encuentran por debajo de los estándares requeridos para materiales de construcción sometidos a flexión según la norma ISO 10545-4:2019(E).

3.4. Resistencia a la compresión

La norma NMX-C-192-ONNCCE-2018 establece que las mezclas de concreto deben alcanzar una resistencia mínima de 20 MPa a los 28 días. En este estudio, se observó que las probetas L1, L2 y L3 superaron este valor a los 7 días, incrementando su resistencia a lo largo del tiempo. A partir de los 14 días, los valores de resistencia obtenidos fueron de 40 MPa en

promedio. A los 28 días, L2, L3 y L4 mantuvieron esta resistencia de 40 MPa, lo que indica una mezcla altamente eficiente para aplicaciones estructurales que requieren alta resistencia y durabilidad. En contraste, las probetas L1 no alcanzaron estos valores.

3.5. Discusión

3.5.1. Flexión de losetas

Las losetas de cemento (L1) tienen una resistencia a la flexión diferente a las losetas cerámicas o porcelánicas, debido a su composición y proceso de fabricación, como se presenta en la Figura 3, donde se grafica el promedio de la resistencia a la fractura (MPa) vs a los días de fraguado de las losetas. Cuando solo contiene cemento (L1), se obtiene un valor máximo de 0.146MPa a los 28 días, lo que ocasiona que se formen microfisuras o desgaste. Cuando se refuerza con vidrio incrementa la resistencia, obteniendo el valor máximo de 0.025 (L3); sin embargo, se obtienen valores inferiores a los solicitados por norma (15 MPa).

Los factores como espesor de la loseta, calidad del cemento y compactación del material, juegan un papel crucial en la resistencia a la ruptura.

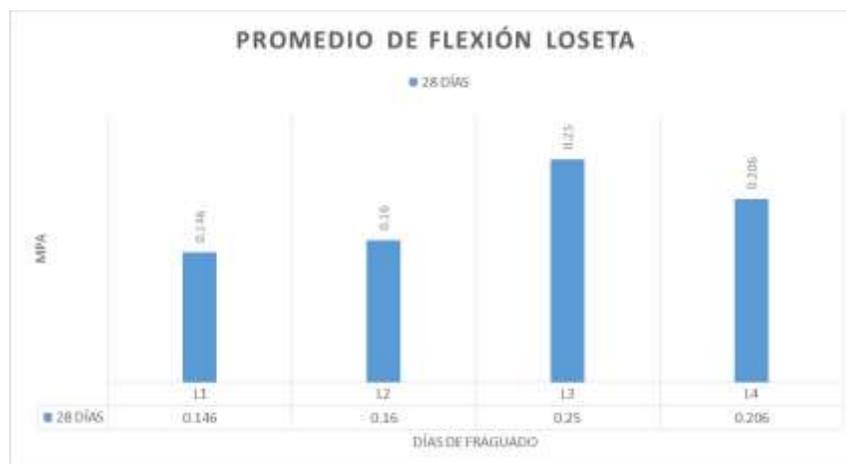


Figura 3. Promedio de la Resistencia a la flexión de losetas (Elaboración propia).



3.5.2. Pruebas no destructivas con esclerómetro

En la Figura 4 se muestra el promedio de la resistencia superficial a los 28 días. Solo se emplearon las probetas L1, L2 y L3, debido a que el tamaño de partícula en la probeta L4 era significativamente inferior, donde dificulta una comparación adecuada para la caracterización.



Figura 4. Promedio de resistencia superficial, lotes de cilindros (Elaboración propia).

La loseta que solo contiene cemento (L1) no cumple con los requisitos de la norma, cuando se realizó el análisis de los rebotes con el esclerómetro (10 golpes en el cilindro), para transformar los rebotes a MPa se utiliza la gráfica del esclerómetro (ver figura 5).

Se estima la resistencia superficial del material, cuando queda fuera de los límites la norma establece que su valor es cero.

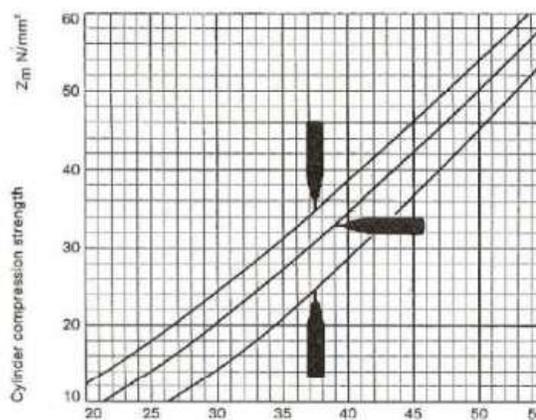


Figura 5. Conversión de índice de rebote a N/mm^2 [37]

L2 y L3 cumplen con los requisitos normativos, con valores superiores a 200 kg/cm^2 , garantizando su aptitud para aplicaciones estructurales.

4.3. Pruebas de compresión

Cuando el material es reforzado con vidrio (L2 (1:4) y L3 (1:5)), tiene una mayor capacidad para resistir a ser comprimidos o reducir su tamaño comparado que cuando no lo es (L1), desde etapas tempranas de curado (Figura 6), alcanzando así su máxima resistencia a los 28 días. Ambos lotes lograron no solo superar los 20 MPa requeridos por la NMX-C-192-ONNCCE-2018, sino que también evidenciaron un desempeño significativamente mayor al esperado, alcanzando valores que los hacen aptos para aplicaciones estructurales de alta resistencia. Este comportamiento permite determinar que las formulaciones de estos lotes fueron optimizadas para maximizar la resistencia del concreto, lo que garantiza un desempeño adecuado bajo las condiciones de carga aplicada.

Por otro lado, el L1 requiere un mayor tiempo de curado para alcanzar los valores normativos, lo que sugiere que su mezcla puede necesitar ajustes en la proporción de agregados, agua o aditivos para mejorar su desempeño en etapas tempranas. A pesar de esto, al cumplir con los valores



normativos a los 28 días, se concluye que esta mezcla aún puede ser utilizada en proyectos de baja exigencia estructural.



Figura 6. Promedio de Compresión cilindros (Elaboración propia).

4. Conclusiones

El vidrio triturado y tamizado presentó tamaños de partícula de 354, 250 y 105 μm , con formas irregulares debido al proceso de molienda. La distribución homogénea de partículas finas mejoró la compactación y redujo la porosidad, lo que influyó en la calidad superficial y dureza de las losetas. Catunta en el 2022 [6], comenta que el tamaño de partícula puede influir en propiedades como reactividad química, densidad, fluidez y capacidad de compactación.

El análisis mecánico indicó que la resistencia a la flexión fue baja, alcanzando un máximo de 0.25 MPa en L3, lo que no cumple con la norma ISO 10545-4:2019 (E).

En contraste, la resistencia a la compresión de los lotes L2 y L3 superó los 40 MPa a los 28 días, cumpliendo con la NMX-C-192-ONNCCE-2018, lo que sugiere su posible aplicación en materiales estructurales.

Es importante cumplir con la normatividad (NMX-C-192-ONNCCE-2018), para regular no solo los valores mínimos de resistencia a la

compresión, sino también los procedimientos para la caracterización del material durante el curado. La evaluación a los 7, 14 y 28 días permite identificar problemas de calidad en mezclas que no alcancen los valores normativos dentro de los tiempos establecidos.

La evaluación con esclerómetro validó la dureza superficial del material, mostrando concordancia con la resistencia mecánica. Si bien el uso de vidrio reciclado en cemento es viable ambientalmente, se requieren mejoras como la optimización del tamaño de partícula, uso de aditivos o refuerzos para incrementar la resistencia a la flexión.

Al comparar los resultados obtenidos con estudios previos, como Fernández Et al (2022) [38], evaluaron losetas con refuerzos de plástico reciclado, obteniendo una resistencia a la flexión de 4.63 MPa, lo que supera considerablemente los valores obtenidos en este trabajo.

Las losetas obtenidas presentan buena resistencia a la compresión, pero su desempeño en flexión limita su aplicación en pavimentos o estructuras sometidas a carga transversal. Futuros estudios podrían enfocarse en mejorar la adherencia del vidrio a la matriz del cemento para ampliar su potencial en la construcción.

5. Agradecimientos

Este trabajo fue financiado por el programa becas COMECYT modalidad beca de posgrado, estudios de maestría con folio 2024BPC1-M080.

6. Agradecimientos de autoría

Mario Iván Lara Garduño: Conceptualización; Recursos; Ideas; Metodología; Análisis formal; Análisis de datos; Borrador original; Administración del trabajo; Escritura. *Ma. De los Ángeles Enríquez Pérez:* Ideas; Revisión y Edición; Borrador original.



Referencias

- [1] M. Topanotti Daros, D. de Souza Felisberto, A. da Silva Pereira, C. R. Peixoto Pessoa, C. R., and A. M. Bernardin, “Baldosas cerámicas obtenidas a partir de residuos de vidrio de envase”. *Qualicer*, 97–102, 2008. <https://www.qualicer.org/recopilatorio/ponencias/pdfs/0832180s.pdf>.
- [2] J. D. Santos Amado, P. Y. Malagón Villafrades and E. M. Córdoba Tuta, “Caracterización de arcillas y preparación de pastas cerámicas para la fabricación de tejas y ladrillos en la región de Barichara, Santander”. *Dyna*, vol. 78, no. 167, pp. 53–61, 2011. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49622358006>.
- [3] M. F. Marinelli, A. Mendez y E. Moran, “Proceso de fabricación del vidrio”, Internet: <https://ppqujap.wordpress.com/wp-content/uploads/2016/05/proceso-de-fabricacion-del-vidrio.pdf>. Jul 22, 2016 [Apr. 26, 2025].
- [4] M. Wang and B. Duan, “Materials and Their Biomedical Applications”, *Encyclopedia of Biomedical Engineering*, vol. 1, no. 3, pp.135-152, 2019. <https://experts.nebraska.edu/en/publications/materials-and-their-biomedical-applications>
- [5] F. J. Martínez Casado, “Alcanoatos metálicos de cadena corta puros y mezclas binarias. Estudio termodinámico y estructural de estados cristalino, vítreo y de cristal líquido iónico”, tesis doctoral, Univ. Complutense de Madrid, Madrid, 2007. <https://docta.ucm.es/rest/api/core/bitstreams/134bce45-ae03-4fdb-a3b9-643240ae2451/content>
- [6] A. Catunta Soncco, and Y. J. Andía Arias, “Influencia del vidrio reciclado como agregado fino en la resistencia del concreto expuesto al gradiente térmico de Huancayo – 2022”. *Revista de Investigación Científica de Ingeniería*, vol. 4, no. 1, pp. 95–103, oct 2022. <https://doi.org/10.47190/nric.v4i1.10>
- [7] C. Lázaro, V. Ramón Trilles, F. Gómez, S. Allepuz, D. Fraga Chiva and J. B. Carda Castelló, “Incorporación de residuos derivados de la fabricación cerámica y del vidrio reciclado en el proceso cerámico integral”. *Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*, vol. 51, no.2, pp. 139–144, mar 2012. <https://doi.org/10.3989/cyv.202012>.
- [8] Y. Sánchez Galindo and A. M. Oviedo Valero, “Análisis de las propiedades de los adhesivos tipo mortero para baldosas de cerámica reemplazando el agregado fino (arena) por vidrio molido reciclado”. *12th Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology*, pp. 1–8, jul 2014. <https://www.laccei.org/LACCEI2014-Guayaquil/RefereedPapers/RP257.pdf>.
- [9] S. Delvasto Arjona, Á. Guzmán Aponte, J. A. Torres León, M. L. Cedeño Venté and D. F. Acosta Guarín, “Viabilidad de uso del polvo de vidrio como fundente en la elaboración de baldosas de gres porcelánico”. *Tecnura*, vol. 19, no. 44, pp. 59–70, jun 2015. <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.tecnura.2015.2.a04>.
- [10] L. Fernández Roldan. “Cuánto tarda en degradarse el vidrio”. Internet: <https://www.ecologiaverde.com/cuanto-tarda-en-degradarse-el-vidrio-2394.html>, Jul, 2024 [Nov. 19, 2024].
- [11] L. A. Alvarado, “Historia de pisos, baldosa hidráulica”, *De los métodos y las maneras*, no 9, pp. 50-55, 2023. <http://dx.doi.org/10.24275/uama.6341.2023.09.04>.
- [12] E. Hoil, L. Maldonado, M. Echeverría, A. Rodríguez, J. Llanes, J. Martínez, R. Pérez and D. Hernández, “Morteros con polvo de vidrio reciclado y arenas de carbonato de calcio y de silicatos para construcción en ambiente marino”. *Conpat Chiapas*, vol. 1, pp. 1–7, 2019. <https://doi.org/10.21041/CONPAT2019/V2PAT210>
- [13] A. Sánchez. “Vidrio, el residuo ‘olvidado’ en el proceso de reciclaje en México”. Internet: <https://www.elfinanciero.com.mx/empresas/vidrio-el-residuo-olvidado-en-el-proceso-de-reciclaje-en-mexico/>, Nov, 2019 [Nov. 19, 2024].
- [14] “Qué beneficios nos trae el reciclaje? 5 datos que necesitas saber”, *National Geographic*, Internet: <https://www.nationalgeographicla.com/medio-ambiente/2023/05/que-beneficios-nos-trae-el-reciclaje-5-datos-que-necesitas-saber#:~:text=Reciclar%20es%20%20estrictamente%20%20un%20proceso,en%20di%C3%A1logo%20con%20National%20Geographic%20C>. May. 17, 2023 [Nov. 15, 2024].
- [15] A. Padilla, “¿Qué es el reciclaje? Pronto habrá más basura que peces en el océano y el reciclaje podría ser la alternativa para evitar que la contaminación del planeta a causa de este residuo sea catastrófica”, Internet: <https://www.uag.mx/es/mediahub/que-es-el-reciclaje/2022-07#eipXW2QSUu>. Jul. 17, 2022 [Nov. 25, 2024].



- [16] A. Valenzuela A. “El proceso de reciclaje del vidrio: plantas de tratamiento | H.V. Hablando en vidrio”, Internet: <https://hablandoenvidrio.com/la-cadena-del-reciclado-de-vidrio1-la-planta-de-tratamiento/>, Ago 8, 2024 [Nov 28, 2024]
- [17] R. A. Franco Moreno and L. Y. Ordoñez Carlosama, “El enfoque de química verde en la investigación en didáctica de las ciencias experimentales. Su abordaje en revistas iberoamericanas: 2002-2018” vol. 31, no. 1, pp. 84-104, 2020. <http://dx.doi.org/10.22201/fq.18708404e.2020.1.70414>
- [18] T. O. Ogundairo, D. D. Adeegoke, I. I. Akinwumi y O. M. Olofinnade, “Sustainable use of recycled waste glass as an alternative material for building construction- A review”, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, pp. 1-12, 2019. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/640/1/012073>.
- [19] M. Castillo Arce, A. Rocha Arjona, J. Morales Reyes, E. Gutiérrez, A. Chi Trejo and E. Vázquez Borges. “Ecovitral: Reciclado de vidrio”, *IndustriaAmbiente*, pp. 36–39, 2020. https://www.industriambiente.com/media/uploads/noticias/documentos/AT_Vidrio.pdf
- [20] F. S. Cardona Howard, L. A. Rengifo Rojas, J. F. Guarín Martínez, D. G. Mazo Castro and O. F. Arbeláez Pérez, “Evaluación de las propiedades mecánicas de ladrillos elaborados con residuos de vidrio y plástico. Análisis de las emisiones de dióxido de carbono”. *Lámpsakos*, no. 24, pp. 60-73, 2020. <https://doi.org/10.21501/21454086.3725>
- [21] M. Rodríguez and M. E. Ruiz Caturelli, “Evaluación del desempeño de un hormigón con incorporación de vidrio reciclado finamente molido en reemplazo de cemento mediante ensayos de laboratorio”. *Revista de la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, vol. 3, no.2, pp. 53–60, 2016. <https://revistas.unc.edu.ar/index.php/FCEFYN/article/view/13637/15208>
- [22] V. R. Trilles-Lázaro and S. Allepuz, “Reutilización de vidrio reciclado y residuos cerámicos en la obtención de gres porcelánico”, *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*, vol. 50, no. 2, pp. 17-18, 2011. <https://doi.org/10.3989/cyv.2011.v50.i2.986>
- [23] L. Maccarini Schabbach, M. C. Fredel, E. Karamanova, A Karamanov, F. Andreola, I. Lancellotti and L Barbieri, “Ceramic tiles based on large amount of post-treated incinerator bottom ashes”. 58° Congresso Brasileiro de Cerâmica, pp. 2684–2694, 2014. https://www.researchgate.net/publication/272022414_CERAMIC_TILES_BASED_ON_LARGE_AMOUNT_OF_POST-TREATED_INCINERATOR_BOTTOM_ASHES
- [24] O. Ibadode, A.S. Ogunro, O.C. Nwannenna and F.I. Apeh, “Recycling of waste glass as aggregate for clay used in ceramic tile production”. *American Journal of Engineering Research*, vol. 7, pp. 272–278, 2018. https://www.researchgate.net/publication/328517386_Recycling_Of_Waste_Glass_As_Aggregate_For_Clay_Used_In_Ceramic_Tile_Production
- [25] Ochoa, “Aprende a diferenciar entre azulejo, loseta y baldosa”, Internet: <https://www.admagazine.com/articulos/azulejo-loseta-o-baldosa-aprende-las-diferencias>, Dec, 2021 [Dec 10, 2024]
- [26] L. V. “Cerámica: qué es, tipos y origen”, Internet: <https://www.rubi.com/it/blog/ceramica-cose-tipi-e-origine/>, Ago 19, 2024 [Dec 15, 2024].
- [27] P. P. Magaña Herrera, “Producción de materiales ecológicos reciclados con escombros de construcción”, *Citas*, vol. 8, no. 1, pp. 1-23, 2022. <https://doi.org/10.15332/22563067.7236>.
- [28] E. M. Sánchez Medina, “Reutilización de los residuos de baldosas cerámica en el mejoramiento de la resistencia a compresión en adoquines de concreto tipo 1”, Trabajo de grado, Univ. Catol. St. Toribio Mogrovejo, Chiclayo, Perú, 2023. <https://tesis.usat.edu.pe/handle/20.500.12423/6304>
- [29] Y. E. Saravia Cueva, “Aplicación de vidrio triturado reemplazando agregado grueso para diseño de mezcla de concreto $f'c=210\text{kg/cm}^2$ en el distrito La Victoria-Chiclayo”, Licenciatura, Univ. Cesar Vallejo, Chiclayo, Perú, 2019. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/39441>
- [30] J. C. Acuña, “Evaluación del concreto de alta resistencia con aplicaciones de vidrio reciclado para mejorar la resistencia a la compresión”, Licenciatura, Univ. Cesar Vallejo, Tarapoto, Perú, 2021. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/66752>
- [31] R. Matos, R. Villarreal and K. L. N. Puga, “Evaluación del concreto con vidrio reciclado molido como reemplazo parcial del agregado fino”, *Revista UTP*, vol. 19. No. 1, pp.102-112, 2023. <https://doi.org/10.33412/idt.v19.1.3782>



[32] ONNCCE, NMX-C-111-ONNCCE-2018 Industria de la construcción - Cementantes hidráulicos - Especificaciones y métodos de prueba. México: Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, 2018. <https://onncce.org.mx/tienda?view=item&mc=65&mi=797>

[33] ONNCCE, NMX-C-192-ONNCCE-2018, Industria de la construcción- Adhesivos base cemento para losetas cerámicas y losetas de piedra natural - Especificaciones y métodos de prueba. México: Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, 2018. <https://onncce.org.mx/tienda?view=item&mc=65&mi=857>

[34] International Organization for Standardization, ISO 10545-4:2019, Ceramic tiles—Part 4: Determination of modulus of rupture and breaking strength, Geneva Switzerland: ISO, 2019. <https://www.iso.org/standard/69619.html>.

[35] K. A. Galindo Rascos, “Análisis comparativo y correlación de los ensayos: esclerómetro, ultrasonido y extracción de núcleos, para determinar la resistencia a

compresión y módulo de elasticidad del hormigón endurecido”, Licenciatura, Esc. Politec. Nac., Quito, Ecuador, 2022. <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/22547>

[36] R. R. Cruz Mamani and Y. Huanto Machicado, “Diseño del prototipo de un sistema de monitoreo de la presión registrada por el manómetro digital Keller leo record y transductor de presión”, Licenciatura, Univ. Mayor San Andrés, Bolivia, 2019. <https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/32221/PG-7310.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

[37] E. Gonzalez y A. M. Alloza, “Ensayos de hormigón en estructuras. Ensayos no destructivos. Determinación del índice de rebote”, Internet: <https://www.rubi.com/it/blog/ceramica-cose-tipi-e-origine/>, 2012 [Apr 25, 2025].

[38] A. Fernández y S. Vilela, “Estudio de la resistencia a flexión de baldosas peatonales de mortero reforzado con plástico reciclado”, Licenciatura, Univ. Mayor San Andrés, Bolivia, 2022. <https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/30803/PG-8272.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Derechos de Autor (c) 2025 Mario Iván Lara Garduño, Ma. de los Ángeles Enríquez Pérez



Este texto está protegido por una licencia Creative Commons 4.0.

Usted es libre para compartir —copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato— y adaptar el documento —remezclar, transformar y crear a partir del material— para cualquier propósito, incluso para fines comerciales, siempre que cumpla la condición de:

Atribución: Usted debe dar crédito a la obra original de manera adecuada, proporcionar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios. Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que tiene el apoyo del licenciante o lo recibe por el uso que hace de la obra.

[Resumen de licencia](#) - [Texto completo de la licencia](#)