



Universidad  
Señor de Sipán

**FACULTAD DE INGENIERIA, ARQUITECTURA Y  
URBANISMO**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL  
TRABAJO DE INVESTIGACIÓN**

**Aplicación de vidrio reciclado para mejorar las  
propiedades del concreto convencional**

**PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE  
BACHILLER EN INGENIERÍA CIVIL**

Autores

Llanos Sanchez Jhonatan Fortunato

<https://orcid.org/0000-0002-7902-4210>

Perez Garcia Sherikam Abraham

<https://orcid.org/0000-0001-5489-8547>

Asesora

PhD. Heredia Llatas Flor Delicia

<https://orcid.org/0000-0001-6260-9960>

**Línea de Investigación**

**Tecnología e Innovación en el Desarrollo de la Construcción  
y la Industria en un Contexto de Sostenibilidad**

**Sublínea de Investigación**

**Innovación y Tecnificación en Ciencia de los Materiales, Diseño e  
Infraestructura**

**Pimentel – Perú**

**2024**


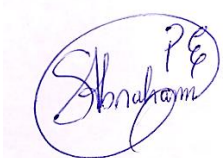
## DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD

Quienes suscribimos la **DECLARACIÓN JURADA**, somos **egresados** del Programa de Estudios de la **Escuela Profesional de Ingeniería civil** de la Universidad Señor de Sipán S.A.C, declaramos bajo juramento que somos autores del trabajo titulado:

### Aplicación de vidrio reciclado para mejorar las propiedades del concreto convencional

El texto de mi trabajo de investigación responde y respeta lo indicado en el Código de Ética del Comité Institucional de Ética en Investigación de la Universidad Señor de Sipán (CIEI USS) conforme a los principios y lineamientos detallados en dicho documento, en relación a las citas y referencias bibliográficas, respetando al derecho de propiedad intelectual, por lo cual informo que la investigación cumple con ser inédito, original y auténtico.

En virtud de lo antes mencionado, firman:

Llanos Sanchez Jhonatan Fortunato	DNI: 70172753	
Perez Garcia Sherikam Abraham	DNI: 72234489	

Pimentel, 25 de agosto de 2024

PAPER NAME

**Trabajo de investigación Llanos y Perez  
TURNITIN**

AUTHOR

-

WORD COUNT

**1922 Words**

CHARACTER COUNT

**9515 Characters**

PAGE COUNT

**8 Pages**

FILE SIZE

**11.4KB**

SUBMISSION DATE

**Sep 25, 2024 11:22 AM GMT-5**

REPORT DATE

**Sep 25, 2024 11:22 AM GMT-5**

● **5% Overall Similarity**

The combined total of all matches, including overlapping sources, for each database.

- 4% Internet database
- 2% Submitted Works database
- 0% Publications database

## **Dedicatoria**

Dedicamos este trabajo de investigación, a nuestros familiares por ser siempre nuestro soporte y acompañarnos en cada momento de nuestras vidas, así también a cada docente cuya formación fue importante para lograr esta meta académica y lograr ser grandes profesionales.

Llanos Sanchez Jhonatan Fortunato.

Perez Garcia Sherikam Abraham.

## **Agradecimientos**

En primer lugar, siempre agradecido con Dios por sobre todas las cosas, por permitirme seguir adelante frente a las adversidades y ser mi guía para seguir logrando mis metas propuestas. A toda mi familia por siempre estar conmigo, y en especial a mi madre, por su apoyo incondicional y sus sabios consejos de no rendirme en el camino, y que, con sacrificio y esfuerzo, se puede lograr alcanzar grandes cosas.

Llanos Sanchez Jhonatan Fortunato.

Agradezco a Dios por haberme conducido con sabiduría a lo largo de este importante trayecto, iluminando mi camino y brindándome la fuerza necesaria para superar los desafíos. A mis padres, quienes han sido mi fortaleza y un ejemplo inquebrantable de esfuerzo, trabajo y honradez. Su dedicación y valores han sido mi inspiración constante, cuya dirección y orientación han sido fundamentales para la realización de este trabajo de investigación.

Perez Garcia Sherikam Abraham.

## Índice

Dedicatoria.....	3
Agradecimientos.....	5
Resumen .....	7
Abstract.....	8
I. INTRODUCCIÓN.....	9
1.1. Realidad problemática.....	9
1.2. Formulación del problema .....	11
1.3. Hipótesis .....	11
1.4. Objetivos .....	11
1.5. Teorías relacionadas al tema .....	12
II. METODO DE INVESTIGACIÓN .....	12
III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	13
IV. CONCLUSIONES.....	14
REFERENCIAS.....	16

## Resumen

En la actualidad, la contaminación ambiental y el uso intensivo de recursos para producir concreto representan desafíos globales en temas de sostenibilidad. El objetivo del trabajo de investigación presente es de revisar las propiedades mecánicas del concreto al usar vidrio reciclado (VR). El método utilizado es de revisión sistemática en base de datos confiables de Scopus y ScienceDirect. Los resultados nos afirmaron que existe aumentos en la resistencia a la compresión (RC) de 27,15.02, 2.8 y 11.42% con 50, 20, 10 y 15 % de VR respectivamente, para la resistencia a la tracción (RT), existe aumentos de 2.8, 18.07, 2 y 9% con 10, 15, 20 y 50% de VR respectivamente, para la resistencia a la flexión (RF) existe aumentos de 6.4, 12.28, 15 y 50% con 10, 15, 20 y 50% de VR respectivamente y para el módulo de elasticidad (ME) presentó aumentos de 7.1 y 21.15% con 03 y 40 de VR. Finalmente, se concluyó que el comportamiento mecánico para la RC, RT, RF y ME presentan mejoras significativas con la utilización de VR en su composición.

**Palabras Clave:** vidrio, reciclaje, concreto, comportamiento mecánico

## **Abstract**

Nowadays, environmental pollution and intensive use of resources to produce concrete represent global challenges in terms of sustainability. The objective of the present research work is to review the mechanical properties of the concrete when using recycled glass (RG). The method used is systematic review in reliable databases of Scopus and Scintedirect. The results confirmed that there are increases in the compressive strength (CS) of 27, 15.02, 2.8 and 11.42% with 50, 20, 10 and 15% of RG respectively, for the tensile strength (TS), there are increases of 2.8, 18.07, 2 and 9% with 10, 15, 20 and 50% of RG respectively, for the flexural strength (FS) there are increases of 6.4, 12.28, 15 and 50% with 10, 15, 20 and 50% of RG respectively and for the modulus of elasticity (ME) presented increases of 7.1 and 21.15% with 03 and 40 of RG. Finally, it was concluded that the mechanical behavior for CS, TS, FS and ME present significant improvements with the use of RG in its composition.

**Keywords:** glass, recycling, concrete, mechanical behavior



## I. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Realidad problemática.

El crecimiento socioeconómico conduce al agotamiento de los recursos y preocupaciones ambientales [1]; por ende, esto se torna en una cuestión ambiental y no comercial [2]; donde, la destrucción ambiental está siendo impulsada por el consumo excesivo de recursos [3]; por eso, se discute soluciones positivas con el fin de incrementar la sustentabilidad de los agregados [4]; en tal sentido, la gestión sostenible en la producción industrial reduce la contaminación y obtener algunos beneficios económicos [5]; además, la importancia del reciclaje es bien conocida por razones económicas como ecológicas [6]; ya que, en la construcción para convertirlos en concreto mediante el proceso de trituración y cribado es un método vital para la conservación de recursos [7].

Cada año se producen en todo el mundo millones de toneladas de vidrio de desecho [8]; donde, al reciclar anualmente el vidrio, resulta en una reducción de CO<sub>2</sub> [9]; en tal caso, la utilización de productos de desecho en la construcción salvaguarda los activos ambientales y mitiga la contaminación [10, 11]; ya que, el uso de vidrio reciclado ayuda a abordar los desafíos geo ambientales y la mejora en las propiedades del concreto [12, 13]; es así que, se considera un método de identificación de concreto sostenible al incluir agregados de vidrio reciclado. [14]

Las botellas de vidrio representan un porcentaje considerable de los residuos municipales [15]; debido a ello, el vidrio es uno de los materiales cuya razón de reciclaje es aún insuficiente [16]; por lo que, la principal preocupación es que el reciclaje de vidrio es mucho menor en comparación con el vidrio fabricado [17]; ya que, el vidrio reciclado es sólo  $\frac{1}{4}$  del vidrio total producido en todo el mundo [18]; además, debido a la contaminación por residuos, urge reciclar estos residuos para reducir la contaminación [19]; por ello, grandes toneladas de vidrio de desecho en el mundo causan contaminación del agua y aire [20]; entonces, se torna beneficioso para el reciclaje de desechos y los problemas de vertederos el uso de VR en el concreto [21].

El método de tratamiento más común de residuos de vidrio es su eliminación en vertederos [22]; así mismo, se analizó que el vidrio representa un porcentaje de componentes que son biodegradable [23]; debido a ello, se necesita urgentemente un método de tratamiento eficaz de los residuos del vidrio [24]; ya que, los residuos de vidrio que se reciclan se consideran insuficientes en comparación con la cantidad desechada en vertederos [25]; por lo tanto, el reciclaje de estos desechos puede contribuir en la gestión de residuos sólidos [26]; de modo que, con cada 0.1 de VR se puede amortiguar la emisión de CO<sub>2</sub> en 0.05 [27]; en tal caso, el reciclaje busca el empleo de vidrio en la fabricación de concreto verde con características de ingeniería satisfactorias [28].

Con referencia a las propiedades mecánicas, para la resistencia a la compresión (RC); con 50% de VR hay un aumento de 27% [29]; así mismo, con 20% de VR se encuentra un aumento del 5.5% [30]; de igual manera, existe un aumento de 11.42% con 15% de VR [31]; al igual que, con 20% de VR hay un incremento de 96% [32]; igualmente, con 20% de VR se presenta un incremento de 15.02% [33]; todos los resultados respecto al concreto patrón (CP).

Para la resistencia a la tracción (RT), con 50% de VR se encuentra un aumento de 9% [29], así mismo, existe un aumento de 18.07% con 15% de VR [31]; al igual que, con 20% de VR hay un incremento de 0.28% [33], del mismo modo, hay un aumento de 2% con 20% de VR [34]; al igual que, con 10% de VR se encuentra un incremento de 2.8% [35], todos los resultados respecto al CP.

Para la resistencia a la flexión (RF), con 50% de VR hay un aumento de 50% [29], así mismo, se encuentra un aumento de 12.28% con 15% de VR [31]; de igual forma, con 10% de VR existe un incremento de 86% [32]; al igual que, con 20% de VR hay un incremento de 15% [33]; del mismo modo, con 10% de VR existe un incremento de 6.4% [35], todos los resultados respecto al CP.

Para el módulo de elasticidad (ME), Yahami et al. [29] obtuvieron con 50% de VR un aumento de 7%; así mismo, Onghero et al. [36] consiguieron un aumento de 21.15% con 30% VR; además, Alguhi & Tomlinson [37] obtuvieron con 1.5% de VR una disminución de 6.25%;

también, Hao et al. [38], lograron un aumento de 7.1% con 0.3% VR, todos los resultados respecto al CP.

La justificación se basa en lo teórico ya que al usar VR ya sea en polvo o granular en el concreto este influye en su comportamiento mecánico y en lo práctico ya que con esta revisión se sumerge en el tema de aplicación de VR en la elaboración de concreto sustentable; la importancia del estudio radica en el impacto del VR en el concreto y su efecto medio ambiental, promoviendo la sensibilización del uso del reciclado como nueva fuente de creación sostenible de concreto. Este trabajo de investigación indaga en la generación de nuevas fuentes de conocimiento con nuevas formas de mitigar la polución ambiental, siendo de vital importancia su ejecución para representar una contribución valiosa hacia la construcción sostenible y la preservación del entorno.

## **1.2. Formulación del problema**

¿Cuál es el comportamiento de las propiedades mecánicas del concreto con la aplicación del vidrio reciclado? Aplicación de Vidrio Reciclado para Mejorar las Propiedades del Concreto Convencional

## **1.3. Hipótesis**

La aplicación de vidrio reciclado mejora las propiedades del concreto convencional.

## **1.4. Objetivos**

### **Objetivo general**

Revisar las propiedades mecánicas del concreto al aplicar vidrio reciclado.

### **Objetivos específicos**

Verificar la RC del concreto al usar VR.

Verificar la RT del concreto al usar VR.

Verificar la RF del concreto al usar VR.

Verificar el ME del concreto al usar VR.

## **1.5. Teorías relacionadas al tema**

### **a. Propiedades mecánicas del concreto**

La RC refiere en aplicar cargas de compresión axial a cilindros moldeados a una velocidad uniforme bajo de un límite establecido hasta que la falla ocurra [39], [40]. La RT implica la aplicación de una carga de compresión radial longitudinalmente de manera uniforme sobre la muestra hasta que se produzca la ruptura [41], [42]. La RF en vigas es donde se calculó el módulo de rotura justo en el punto de fallo a 1/3 de longitud de la viga o que no sobrepase 5% del claro libre de la misma. [43], [44].

### **b. Vidrio reciclado**

El VR se produce a partir de vidrio usado que se recoge, procesa y transforma para crear nuevos artículos de vidrio [31].

## **II. METODO DE INVESTIGACIÓN**

El método utilizado fue el cuantitativo, donde la evaluación se llevó a cabo utilizando artículos catalogados en las bases de datos Scopus y ScienceDirect, correspondientes a los últimos 5 años. Se emplearon términos específicos para localizar los artículos relevantes como: glass; recycling; concrete; pollution. Se consideraron todos los artículos relacionados con estudios de concreto estructural, mientras que se descartaron aquellos que trataban sobre concreto asfáltico.

### III. RESULTADOS

Para la RC la revisión señala que los resultados son semejantes, donde, Yahami et al. [29] quienes obtuvieron con 50% de VR un aumento de 27%; así mismo, Arbelaez et al. [30], Tamanna et al. [34] y Arivalagan & Sethuraman [33], adquirieron con 20% de VR el aumento de la resistencia en 5.5, 7 y 15.02%, respectivamente, referente al concreto patrón; al igual que, Çelik et al. [35], Devaraj et al. [31] y Dadouch et al. [32], quienes obtuvieron con 10, 15 y 20% de VR aumentos en la resistencia de 2.8, 11.42 y 96%, correspondientemente, respecto al concreto patrón.

Para la RT la revisión señala que los resultados son semejantes, donde, Çelik et al. [35] y Devaraj et al. [31] quienes lograron un aumento de 2.8 y 18.07% con 10 y 15% de VR; respectivamente, referente al concreto patrón; de igual forma, Arivalagan & Sethuraman [33] y Tamanna et al. [34] que obtuvieron con 20% de VR incrementos en la resistencia de 0.28 y 2%; respectivamente, referente al concreto átron; así mismo, Yahami et al. [29] obtuvieron con 50% de VR un aumento de 9% respecto al concreto patrón.

Para la RF la revisión señala que los resultados son similares, donde, Çelik et al. [35] y Dadouch et al. [32], lograron con 10% de VR un incremento de 6.4 y 86%, correspondientemente, respecto al concreto patrón; al igual que, Devaraj et al. [31] aquellos que obtuvieron un aumento de 12.28% con 15% de VR, en comparación con el concreto patrón; así mismo, Tamanna et al. [34] y Arivalagan & Sethuraman [33] quienes adquirieron con 20% de VR un aumento de 1 y 15%, respectivamente, referente al concreto patrón; también, Yahami et al. [29] los cuales obtuvieron con 50% de VR un aumento de 50%, respecto al concreto patrón.

Para el ME la revisión señala que los resultados son similares, ya que, Hao et al. [38] y Onghero et al. [36], obtuvieron un aumento de 7.1 y 21.15% con 0.3 y 30% de VR, respecto al concreto patrón; además, Yahami et al. [29] obtuvieron con 50% de VR un aumento de 7%, referente al concreto patrón; sin embargo, Alguhi & Tomlinson [37] encontraron que con 1.5% de VR presenta una disminución de 6.25%, respecto al concreto patrón.

## **IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES**

### **4.1. Discusión**

Los resultados sugieren que, aunque el VR puede mejorar la RC, los efectos varían considerablemente según la proporción y las condiciones específicas de la mezcla, lo que indica la necesidad de una optimización cuidadosa de las proporciones para maximizar el rendimiento del concreto reciclado.

La variabilidad en los resultados de RT refleja las diferencias en los estudios en cuanto a las proporciones de VR, la calidad del VR utilizado, y las técnicas de mezcla empleadas, esta variabilidad indica que la incorporación de VR puede tener un impacto positivo en la RT, pero que los beneficios son altamente dependientes de la proporción utilizada y las condiciones específicas de cada mezcla.

Referente a la RF, el VR puede contribuir a una mayor capacidad de deformación antes de la fractura, mejorando la ductilidad del concreto, sin embargo, la amplia variabilidad en los resultados también sugiere que es necesario ajustar y optimizar las proporciones de VR para obtener el máximo beneficio en la RF.

Respecto al ME, los resultados señalan que dichos incrementos podrían ser atribuibles a la capacidad del VR para mejorar la rigidez del concreto en ciertas proporciones, lo que resulta en un aumento del ME, el efecto del VR en el módulo de elasticidad es complejo y altamente dependiente de la cantidad utilizada. Mientras que en algunas proporciones el VR puede mejorar el ME, en otras puede tener un efecto adverso, lo que indica la necesidad de una evaluación detallada para determinar las proporciones óptimas que maximicen el rendimiento del concreto en términos de rigidez y flexibilidad.

### **4.2. Conclusiones**

La presencia de VR en el comportamiento mecánico de la RC del concreto mejora significativamente ya sea como reemplazo o adición en porcentajes que van del 15 a 50%.

La presencia de VR en el comportamiento mecánico de la RT del concreto mejora significativamente ya sea como reemplazo o adición en porcentajes que van del 15 a 50%.

La presencia de VR en el comportamiento mecánico de la RF del concreto mejora

significativamente ya sea como reemplazo o adición en porcentajes que van del 15 a 50%.

La presencia de VR en el comportamiento mecánico del ME del concreto mejora como reemplazo o adición en porcentajes que van de 0.3 a 50%.

## REFERENCIAS

- [1] M. Nodehi and V. Mohamad Taghvaei, "Sustainable concrete for circular economy: a review on use of waste glass," *Glass Structures and Engineering*, vol. 7, pp. 3 - 22, 2022.
- [2] S. Nasier, "Utilization of recycled form of concrete, E-wastes, glass, quarry rock dust and waste marble powder as reliable construction materials," *Materials Today: Proceedings*, vol. 45, pp. 3231 - 3234, 2021.
- [3] J. Zhang, H. Zhang, A. T. Asutosh, N. Sun, X. Fu, H. Wang and X. Li, "Ecological sustainability assessment of building glass industry in China based on the point of view of raw material energy and chemical composition," *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 30, pp. 40670 - 40697, 2023.
- [4] H. Singh and R. Siddique, "Long term durability assessment of self-compacting concrete made with crushed recycled glass and metakaolin," *Construction and Building Materials*, vol. 400, p. 132656, 2023.
- [5] N. N. Gebremichael, K. Jadidi and M. Karakouzian, "Waste glass recycling: The combined effect of particle size and proportion in concrete manufactured with waste recycled glass," *Construction and Building Materials*, vol. 392, p. 132044, 2023.
- [6] S. Majchrowska, A. Mikołajczyk, M. Ferlin, Z. Klawikowska, M. A. Plantykowski, A. Kwasigroch and K. Majek, "Deep learning-based waste detection in natural and urban environments," *Waste Management*, vol. 138, pp. 274-284, 2022.
- [7] J. Qiu, J. Wang, Z. Feng, Z. Xiao and L. Li, "Study on the modification mechanism of recycled brick-concrete aggregate concrete



- based on water glass solution immersion method," *Journal of Building Engineering*, vol. 82, p. 108303, 2024.
- [8] Y. Wu, K. Lin and J. Ruan, "Control the Mechanochemical Energy of Ball Milling To Remove Surface Organic Contamination without Damaging the Integrity of the Glass," *ACS Sustainable Chemistry and Engineering*, vol. 11, pp. 15083-15090, 2023.
- [9] M. Farzadkia, A. H. Mahvi, A. Norouziyan Baghani, A. Sorooshian, M. Delikhoon, R. Sheikhi and Q. Ashournejad, "Municipal solid waste recycling: Impacts on energy savings and air pollution," *Journal of the Air and Waste Management Association*, vol. 71, pp. 737 - 753, 2021.
- [10] N. M. S. Hasan, N. M. N. Shaurdho, M. H. R. Sobuz, M. M. Meraz, M. S. Islam and M. J. Miah, "Utilization of Waste Glass Cullet as Partial Substitutions of Coarse Aggregate to Produce Eco-Friendly Concrete: Role of Metakaolin as Cement Replacement," *Sustainability (Switzerland)*, vol. 15, no. 11254, 2023.
- [11] S. P. Muñoz Pérez and J. J. Atoche Zamora, "Effects of incorporating granite powder in the mechanical properties of concrete," *Scientific Review Engineering and Environmental Sciences*, vol. 32, no. 1, pp. 18-33, 2023.
- [12] D. Kazmi, M. Serati, D. J. Williams, S. Qasim and Y. P. Cheng, "The potential use of crushed waste glass as a sustainable alternative to natural and manufactured sand in geotechnical applications," *Journal of Cleaner Production*, vol. 284, no. 124762, 2021.
- [13] S. Muñoz and S. Mendoza, "Masonry mortar design incorporating crushed recycled glass," *Ingeniería de Construcción*, vol. 37, no. 3, pp. 391-404, 2022.

- [14] H. Surendran and P. K. Akhas, "Unraveling the Strength and Enhanced Durability of Concrete Using Toughened Waste Glass Aggregate," *Journal of Materials in Civil Engineering*, vol. 36, no. 04023634, 2024.
- [15] M. S. Baradaran, R. Qazanfari and S. Baradaran, "Study of soil reinforcement in the east of Mashhad using glass granule," *Materials Research Express*, vol. 10, p. 055202, 2023.
- [16] C. Ziejewska, A. Grela, D. Mierzwiński and M. Hebda, "Influence of Waste Glass Addition on the Fire Resistance, Microstructure and Mechanical Properties of Geopolymer Composites," *Materials*, vol. 16, p. 6011, 2023.
- [17] I. A. Al-Khatib, J. Guo, K. Kuchta, A. A. Draid, S. Y. Abu and A. Alassali, "Municipal Solid Waste Composition and Generation with Emphasis on Plastics in Nablus City, Palestine," *Sustainability (Switzerland)*, vol. 15, p. 14640, 2023.
- [18] S. Kumari, S. Agarwal and S. Khan, "Micro/nano glass pollution as an emerging pollutant in near future," *Journal of Hazardous Materials Advances*, vol. 6, no. 100063, 2022.
- [19] P. K. Sree, P. V. Chintalapati, S. Usha Devi, M. Prasad, G. R. Babu and P. Raja Rao, "Waste Management Detection Using Deep Learning," *International Conference on Computing and Information Technology*, pp. 50 - 54, 2023.
- [20] A. M. Ismaeel, F. Usman and G. Hayder, "Analysis of Mechanical and Environmental Effects of Utilizing Waste Glass for the Creation of Sustainable Ultra-High Performance Concrete," *Annales de Chimie: Science des Matériaux*, vol. 47, pp. 111-123, 2023.

- [21] A. M. Onaizi, G. F. Huseien, N. H. Shukor Lim, W. C. Tang , M. Alhassan and M. Samadi, "Effective Microorganisms and Glass Nanopowders from Waste Bottle Inclusion on Early Strength and Microstructure Properties of High-Volume Fly-Ash-Based Concrete," *Biomimetics*, vol. 7, no. 4, p. 190, 2022.
- [22] B. Li, Z. Zhang, Y. Zhu and X. Liu, "Optimal Compounding Method and High Temperature Resistance of Waste Glass Concrete," *Gongcheng Kexue Yu Jishu/Advanced Engineering Sciences*, vol. 54, pp. 73 - 80, 2022.
- [23] M. Musliu, A. Bilalli, H. Ibrahim, N. Berisha, L. Grapci-Kotori and D. Geci, "Analysis of the Quantity and Composition of Waste in the Peja District, Kosovo," *Journal of Ecological Engineering*, vol. 24, pp. 228 - 235, 2023.
- [24] J. Lin, Z. Guo, B. Hong, J. Xu, Z. Fan, G. Lu, D. Wang and M. Oeser, "Using recycled waste glass fiber reinforced polymer (GFRP) as filler to improve the performance of asphalt mastics," *Journal of Cleaner Production*, vol. 336, p. 130357, 2022.
- [25] C. Mourou, M. Zamorano, D. P. Ruiz and M. Martín-Morales, "Characterization of ceramic tiles coated with recycled waste glass particles to be used for cool roof applications," *Construction and Building Materials*, vol. 398, p. 132489, 2023.
- [26] M. Ghosh, S. Khuntia and S. Dalai, "Effect of Molar Ratio of Feed on the Facile Synthesis of Silicon Nanosheets from Laboratory Waste Glass," *Springer Proceedings in Materials*, vol. 15, pp. 131-140, 2022.
- [27] C.-L. Hsieh and W.-H. Tsai, "Towards Carbon Neutrality and Circular Economy in the Glass Industry by Using the Production Decision Model," *Energies*, vol. 16, no. 7570, 2023.

- [28] M. Amran, A. M. Onaizi, D. N. Qader and G. Murali, "Innovative use of fly ash-finely powdered glass cullet as a nano additives for a sustainable concrete: Strength and microstructure and cost analysis," *Case Studies in Construction Materials*, vol. 17, no. e01688, 2022.
- [29] A. Yahami, J. Khatib and R. Raydán, "Production of Low-Cost, High-Strength Concrete with Waste Glass as Fine Aggregates Replacement," *Buildings*, vol. 12, no. 12, p. 2168, 2022.
- [30] O. Arbelaez, J. Agudelo, M. Acevedo and S. Valencia, "Factores de emisión de concretos modificados con residuos de vidrio en reemplazo de los agregados finos," *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, vol. 30, no. 2, 2022.
- [31] R. Devaraj, J. Jordan, C. Gerber and A. Olofinjana, "Exploring the Effects of the Substitution of Freshly Mined Sands with Recycled Crushed Glass on the Properties of Concrete," *Applied Science*, vol. 11, no. 8, p. 3318, 2021.
- [32] M. Dadouch, T. Belal and M. Ghembaza, "Valorization of glass waste as partial substitution of sand in concrete – Investigation of the physical and mechanical properties for a sustainable construction," *Construction and Building Materials*, vol. 411, 2024.
- [33] S. Arivalagan and V. Sethuraman, "Experimental study on the mechanical properties of concrete by partial replacement of glass powder as fine aggregate: An environmental friendly approach.," *Materials Today: Proceedings*, vol. 45, pp. 6035-6041, 2021.
- [34] N. Tamanna, R. Tuladhar and N. Sivakugan, "Performance of recycled waste glass sand as partial replacement of sand in concrete," *Construction and Building Materials*, vol. 239, p. 117804, 2020.

- [35] A. İ. Çelik, U. Tunç, A. Bahrami, M. Karalar, M. A. O. Mydin, T. Alomayri and Y. O. Özkılıç, "Use of waste glass powder toward more sustainable geopolymer concrete," *Journal of Materials Research and Technology*, vol. 24, pp. 8533-8546, 2023.
- [36] L. Onghero, M. T. Souza, D. Cusson and W. L. Repette, "Influence of Glass Microfibers on the Control of Autogenous Shrinkage in Very High Strength Self-Compacting Concretes (VHSSCC)," *Journal of Composites Science*, vol. 8, no. 3, p. 101, 2024.
- [37] H. Alguhi and D. Tomlinson, "Experimental and analytical study of steel and chopped glass fibre reinforced concrete under compression," *Construction and Building Materials*, vol. 418, p. 135421, 2024.
- [38] Z. Hao, X. Zhe, S. Yuying, L. Lijuan, Q. Yu, Z. Xiaozhou, C. Bing, C. Dongen, L. Feng and J. Yidong, "Early mechanical performance of glass fibre-reinforced manufactured sand concrete," *Journal of Building Engineering*, vol. 83, p. 108440, 2024.
- [39] ASTM C39M, "Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens," ASTM International, 2023.
- [40] NTP 339.034, "HORMIGÓN (CONCRETO). Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto, en muestra cilíndrica," INDECOPI, Lima, 2008.
- [41] ASTM C496, "Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens," ASTM International, 2017.
- [42] NTP 339.084, "CONCRETO. Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a tracción simple del concreto, por compresión diametral de una probeta cilíndrica," INDECOPI, Lima, 2017.
- [43] ASTM C78, "Standard Test Method for Flexural Strength of

Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading)," ASTM International, 2010.

- [44] NTP 339.078, "CONCRETO. Método de ensayo para determinar la resistencia a la flexión del concreto en vigas simplemente apoyadas con cargas a los tercios del tramo," Lima, 2012.