



**FACULTAD DE INGENIERIA, ARQUITECTURA Y
URBANISMO**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

**Influencia del poliestireno expandido en el
comportamiento mecánico del concreto**

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

Autores

Castro Constantino Cesar Jussu Simón
<https://orcid.org/0000-0001-9992-2176>

Vasquez Galvez Walter Hector Fidel
<https://orcid.org/0000-0002-1535-8668>

Asesor

Mg. 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:

Influencia del Poliestireno Expandido en el Comportamiento Mecánico del Concreto

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:

Castro Constantino Cesar Jussu Simón	DNI: 72925858	
Vasquez Galvez Walter Hector Fidel	DNI: 72287793	

Pimentel, 25 de agosto de 2024

PAPER NAME AUTHOR

**Trabajo de investigación Walter y Jussu
Turnitin** -

WORD COUNT

2267 Words

CHARACTER COUNT

11610 Characters

PAGE COUNT

10 Pages

FILE SIZE

13.8KB

SUBMISSION DATE

Aug 27, 2024 1:30 AM GMT-5

REPORT DATE

Aug 27, 2024 1:30 AM GMT-5

● **4% Overall Similarity**

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

- 4% Internet database
- 0% Publications database
- 1% Submitted Works database

Dedicatoria

Uno de los mayores soportes de la grandeza que son nuestros padres, quienes forman gran parte de este sueño, otorgándonos sostén incondicional, aconsejando a cada uno de nosotros todos los días mediante sus experiencias vividas, gracias por su plena confianza en nuestras personas y por las grandes cantidades inconmensurables de amor desinteresado que nos dieron durante el proceso de nuestra vida universitaria.

Castro Constantino Cesar Jussu Simón.

Vasquez Galvez Walter Hector Fidel.

Agradecimientos

Primero queremos agradecer a Dios; por amarnos, hacernos sentir plenos, permitir que cada día podamos estar cerca de las personas que amamos. El deseo de superación y el aliento que nos dio de varias maneras indescriptibles que nos inspiraron a continuar con los estudios en la universidad, nunca permitió que decaigamos y hasta el día de hoy no deja de estar a mi lado en cada etapa de mi existencia. También agradecidos con nuestros padres por el arduo trabajo que cada uno de ellos hace todos los días para permitirnos una educación de calidad, así mismo por tomarse el tiempo para aconsejarnos y fortalecernos mentalmente cada día con su sabiduría.

Castro Constantino Cesar Jussu Simón.

Vasquez Galvez Walter Hector Fidel.

Índice

Dedicatoria.....	4
Agradecimientos.....	5
Resumen	7
Abstract.....	8
I. INTRODUCCIÓN.....	9
1.1. Realidad problemática.....	9
1.2. Formulación del problema	12
1.3. Hipótesis	12
1.4. Objetivos	12
1.5. Teorías relacionadas al tema	12
II. METODO DE INVESTIGACIÓN	13
III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	13
IV. CONCLUSIONES.....	14
REFERENCIAS.....	16

Resumen

El poliestireno expandido (PE) presenta una tasa de crecimiento anual del 4% y debido a fines limitados es responsable del aumento de la contaminación blanca, actualmente han emergido como un material de introducción al concreto innovador en la industria de la construcción, destacándose por su baja densidad y conductividad térmica. El objetivo del trabajo de investigación fue revisar la influencia del poliestireno expandido en el comportamiento mecánico del concreto. El método utilizado es de revisión sistemática en base de datos de Scopus y ScienceDirect correspondientes a los últimos 5 años. Los resultados para la resistencia a la compresión (RC), señalan que existe disminución de 9.11, 21.32% con un reemplazo de 15, 20% de PE, para la resistencia a la tracción (RT), con 20, 50 y 10% de PE la resistencia disminuyó 26.42, 5.88 y 1.05%, para la resistencia a la flexión (RF) existe disminución de 32.12 y 5.88% con 15 y 50% de PE, para el ME presenta disminución de 18.79% con 2kg de PE y con 4kg de PE presenta un aumento de 1.92%. Se concluye que la influencia del PE en el comportamiento mecánico del concreto produce disminución.

Palabras Clave: poliestireno expandido, concreto, comportamiento mecánico

Abstract

Expanded polystyrene (EP) has an annual growth rate of 4% and due to limited purposes is responsible for the increase in white pollution, they have currently emerged as an introduction material to innovative concrete in the construction industry, standing out for their Low density and thermal conductivity. The objective of the research work was to review the influence of the expanded polystyrene in the mechanical behavior of the concrete. The method used is systematic review in Scopus and Scintedirect database corresponding to the last 5 years. The results for compression strength (CS), point out that there is a decrease of 9.11, 21.32% with a replacement of 15, 20% of EP, for tensile strength (TS), with 20, 50 and 10% of EP the resistance decreased 26.42, 5.88 and 1.05%, for flexural strength (FS) there is diminution of 32.12 and 5.88% with 15 and 50% of EP, for the module of elasticity (ME) it presents me decrease of 18.79% with 2kg of EP and with 4kg of EP has an increase of 1.92%. It is concluded that the influence of the EP on the mechanical behavior of concrete produces decrease.

Keywords: expanded polystyrene, concrete, mechanical behavior

I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática.

La producción del plástico representa una amenaza importante para los ecosistemas globales [1]; debido a ello, se produce efectos adversos en la cadena alimentaria, la ecología, biodiversidad y pone en peligro las especies acuáticas [2]; también, causa daños en la salud humana, a la industria pesquera, el turismo y el costo de limpieza [3, 4]; entonces, se busca enfoques novedosos y ecológicos para mitigar el impacto [5]; debido a ello, Su et al. [6], sostienen que la demanda continua de plásticos está provocando graves problemas medioambientales a nivel mundial, debido a los vertidos masivos de PE.

Además, sólo el 4% de las 900.000 toneladas de plástico desechadas aún se recicla [7] así mismo, las tasas de reciclaje de plástico a nivel mundial solo representan el 9% debido al costo y los usos finales limitados del plástico reciclado [8]; por ello, afirma que la reutilización ayuda a la sostenibilidad medioambiental y establece que la fabricación de concretos es la fuente principal para poder reciclar y reutilizar materiales desechados [9]; en tal sentido, el PE se proyectan como alternativa de reciclaje asequible a diferencia de otros áridos de procedencia artificial que también tienen una baja densidad [10]; en ese caso, el uso de materiales suplementarios reduce los costos y las emisiones de CO₂ asociadas con la producción de concreto, al tiempo que asigna valor a abundantes subproductos [11].

De igual forma, estudios realizados referente a programas de gestión de residuos y el comportamiento de consumo debelan en términos generales el alto uso de contenido de plástico [12]; ya que, se encontró que la producción mundial de poliestireno fue de 14,7 millones de toneladas métricas, con una tasa de crecimiento anual del 4% [13]; además, los residuos de poliestireno ha llevado a la necesidad de encontrar formas eficientes para la sostenibilidad y reducir la cantidad de contaminación del suelo, aire y agua necesaria para su eliminación [14, 15]; frente a ello, los polímeros han sido

utilizados como alternativa para mejorar las propiedades físicas y mecánicas del concreto [16]; asimismo, el PE se componen de un 95% de aire lo que añadido al concreto puede provocar segregación, por lo que recomienda no exceder y no afecte la resistencia a la compresión [17].

Adicionalmente, gracias a cálculos de campo se estima que 82,9 millones de esferas de poliestireno expandido tiene el potencial de ser liberadas al medio ambiente, [18]; ya que, normalmente se eliminan en campos terrestres o se queman para obtener energía, siendo estas habitualidades no válidas [19], por lo que, los residuos plásticos deben reciclarse y utilizarse para producir nuevos materiales [20]; por esa razón, sostienen que la aplicación de áridos artificiales como el PE como reemplazo en las mezclas de concreto, resultan beneficiosas para mejorar las propiedades mecánicas y mitigar el impacto ambiental [21]; además, señalan que la inclusión PE en la producción de concretos genera baja densidad en estos [22].

Con referencia al desempeño físico; Villa et al. [23] obtuvieron para la trabajabilidad una disminución 50% con 100% de sustitución de poliestireno expandido (PE); además, Olofinnade et al. [24] presentaron una disminución de 11.11% con 10% de plásticos de poliestireno; por último, Mohammed & Aayeel [25] identificaron que con 15% de PER existe un aumento de 25%, referente al concreto patrón.

Para el peso unitario, González et al. [26] presentó una disminución de 21.5% con sustituyendo de 15% de poliestireno expandido reciclado (PER), respecto al concreto patrón; además, Wibowo et al. [27] obtuvieron una disminución de 46.66% con una sustitución de 100% de PER, referente al concreto patrón; así mismo, Sherif et al. [28] obtuvo con 55% de reemplazo de PPR una disminución de 46%, respecto al concreto patrón; Ghannoum et al. [29], obtuvieron una disminución de 17.68% con 3kg de perlas de poliestireno expandido (PPE), en comparación con el concreto patrón; por último, Villa et al. [23] obtuvieron una disminución de 15% con 100% de sustitución de PE.

Con referencia al desempeño mecánico, para la resistencia a la compresión, Shah et al. [30] obtuvieron una disminución de 9.11% con un reemplazo de 15% y 2% FA; además, Abdel-Jaber et al. [31] señalaron que 12.5% de PP más 25% de PP en reemplazo del agregado grueso y fino respectivamente, aumentó un 7.8%; así mismo, Salih et al. [32] encontró que con la sustitución de 11% la resistencia disminuyó un 18.18%; por último, Alhnifat et al. [33] obtuvieron que con 12,5% de PP más 25% de PP en reemplazo del agregado fino y grueso, donde la resistencia se redujo un 17,4%, todo respecto al concreto patrón.

Respecto a la resistencia a la tracción, Wibowo et al. [34] obtuvieron una disminución de 26.42% con el reemplazo de 20% de PP, así mismo, Wasiu & Baba [35] obtuvieron con 50% de PP una disminución de 5.88%, de igual manera, Osman et al. [36] encontraron con 10% de PP la resistencia disminuyó 4.05% respecto al concreto patrón, por último, Obaid & Hilal [37] obtuvieron una disminución de 88.68% con 12% de PE

Respecto a la resistencia a la flexión, Shah et al. [30] obtuvieron un aumento de 3.91% con un reemplazo de 15% y 2% FA; además, Wasiu & Baba [35] obtuvieron con 50% de PP una disminución de 5.88% respecto al concreto patrón; por último, Mohammed & Aayeel [25] identificaron que con 15% de PER existe una disminución de 32.12%, referente al concreto patrón.

Respecto al módulo de elasticidad, Ghannoum et al. [29], obtuvieron una disminución de 18.79% con 2kg de PPE, en comparación con el concreto patrón; al igual que, Assaad et al. [38] demostraron que con 4kg de PER presenta un aumento de 1.92% respecto al concreto patrón.

La justificación se basa en lo teórico ya que al usar PE en el concreto este influye en el comportamiento mecánico; la importancia del estudio radica en el impacto del PE en el concreto y su efecto medio ambiental de disminución de contaminación blanca, promoviendo la concientización del uso del reciclaje como nueva fuente de creación de concreto armónico con el medio ambiente. Este trabajo de investigación explora la

creación de nuevos conocimientos para abordar la contaminación ambiental, destacando la importancia de su realización para ofrecer una valiosa aportación a la construcción sostenible y a la protección del medio ambiente.

1.2. Formulación del problema

¿Cuál es la influencia del PE en el comportamiento mecánico del concreto?

Influencia del Poliestireno expandido en el comportamiento mecánico del concreto

1.3. Hipótesis

La influencia del PE en el comportamiento del concreto es negativa.

1.4. Objetivos

Objetivo general

Revisar la influencia del poliestireno expandido en el comportamiento mecánico del concreto.

Objetivos específicos

- a) Verificar la RC del concreto al usar PE.
- b) Verificar la RT del concreto al usar PE.
- c) Verificar la RF del concreto al usar PE.
- d) Verificar el ME del concreto al usar PE.

1.5. Teorías relacionadas al tema

1.5.1. 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]. La RT implica la aplicación de una carga de compresión radial longitudinalmente de manera uniforme sobre la muestra hasta que se produzca la ruptura [40]. 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. [41]. El ME se realiza con un compresometro según ASTM C469M [42]

1.5.2. Poliestireno expandido

Es un plástico ligero y espumoso, se utiliza principalmente para aislamiento térmico, embalaje y como material de relleno en construcción, su estructura de celdas cerradas le da propiedades aislantes y amortiguadoras [43].

II. METODO DE INVESTIGACIÓN

El método utilizado fue la revisión sistemática, 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: polystyrene, expanded, 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

Referente a la RC, los resultados según, Shah et al. [30] obtuvieron una disminución de 9.11% con un reemplazo de 15% y 2% FA; además; así mismo, Wibowo et al. [34] quienes demostraron que la sustitución de PP en 20% muestra una disminución de 21.32% referente a la muestra patrón; de igual manera, Osman et al. [36], Wasiu & Baba [35] y Salih et al. [32] sostienen que 10, 12.5 y 11% de PP disminuye la resistencia en 8.65, 21.59 y 18.18, respectivamente referente al concreto patrón.

En relación a la RT, los resultados por Wibowo et al. [34], Wasiu & Baba [35] y Osman et al. [36] señalan que con la sustitución de 20, 50 y 10% la resistencia disminuyó 26.42, 5.88 y 1.05%, respectivamente referente al concreto patrón; al igual que, Obaid & Hilal [37] y Mohammed & Aayeel [25] que obtuvieron una disminución de 88.68 y 32.12% con sustitución de 12 y 15% de PE, respectivamente referente al concreto control.

Respecto a la RF, los resultados señalados por Wasiu & Baba [35] sostuvieron que con 50% de PP una disminución de 5.88% respecto al concreto patrón; así mismo, Mohammed & Aayeel [25] identificaron que con 15% de PER existe una disminución de 32.12%, referente al concreto patrón; sin embargo, Shah et al. [30] obtuvieron un aumento de 3.91% con un reemplazo de 15% y 2% FA, respecto al concreto patrón

Para el ME, los resultados señalados por Ghannoum et al. [29], advierten de una disminución de 18.79% con 2kg de PPE, en comparación con el concreto patrón; sin embargo, Assaad et al. [38] demostraron que con 4kg de PER presenta un aumento de 1.92% respecto al concreto patrón.

IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1. Discusión

En la RC, los resultados muestran concordancia con una tendencia general hacia una reducción en la resistencia a la compresión cuando se incorpora PE, debido a debilita la matriz del concreto al reemplazar una parte de su masa con material menos denso y estructuralmente sólido.

En la RT, las variaciones sugieren que el impacto del PE puede ser mucho más significativo en la resistencia a la tracción, al ser un material más liviano, reduce significativamente la capacidad del concreto para soportar tensiones.

En la RF, el impacto del PE al ser un material menos cohesivo debilita la estructura del concreto, resultando en una menor capacidad para soportar cargas de flexión, la variabilidad en los resultados también puede estar relacionada con el método de incorporación y la distribución del PE en la mezcla de concreto.

La variabilidad en los resultados del ME sugiere que el impacto del PE en el módulo de elasticidad puede depender de la cantidad y tipo específico de PE utilizado en la mezcla lo que puede provocar mayor o menor rigidez en el concreto.

4.2. Conclusiones

La influencia de PE en el comportamiento de la RC del concreto produce una disminución en la resistencia.

La influencia de PE en el comportamiento de la RT del concreto produce una disminución en la resistencia.

La influencia de PE en el comportamiento de la RF del concreto produce una disminución en la resistencia.

La influencia de PE en el comportamiento del ME del concreto produce variabilidad en la rigidez.

REFERENCIAS

- [1] G. S. Hilmarsdóttir, B. Margeirsson, S. Spierling and O. Ögmundarson, "Environmental impacts of different single-use and multi-use packaging systems for fresh fish export," *Journal of Cleaner Production*, no. 447, p. 141427, 2024.
- [2] H.-J. Noh, Y. Moon, W. J. Shim, E. V. Cho and S. H. Hong, "Experimental study on color and texture as cues for plastic debris ingestion by captive sea turtles," *Marine Pollution Bulletin*, vol. 200, p. 116055, 2024.
- [3] Prabha, L. Dehal, S. Kaur and A. Saini, "Assessment of Plastic Pollution in Rivers of Punjab," *Indian Journal of Environmental Protection*, vol. 43, no. 10, pp. 953-960, 2023.
- [4] Y. Ma, X. Chen, F. Clayer, X. Shi, Y. Chen, M. Norling and Y. Lin, "Rivers of plastic: A socio-economic and topographic approach to modeling plastic transport from catchment to sea," *Environmental Pollution*, vol. 356, p. 124314, 2024.
- [5] I. Zaman, R. R. Turjya, M. S. Shakil, M. Al Shahariar, M. R. R. H. Emu, A. Ahmed and M. M. Hossain, "Biodegradation of polyethylene and polystyrene by *Zophobas atratus* larvae from Bangladeshi source and isolation of two plastic-degrading gut bacteria," *Environmental Pollution*, vol. 345, p. 123446, 2024.
- [6] H. Su, H. Lin, P. Li, B. Li, X. Xu, J. Li, Y. Wu, J. Hui and D. Liu, "Conversion of Waste Expanded Polystyrene into Blue-Emitting Polymer Film for Light-Emitting Diode Applications," *Polymers*, vol. 15, no. 24, p. 4693, 2023.
- [7] S. P. Muñoz Perez, J. M. Garcia Chumacero, P. L. Acevedo Torres,

- C. C. Corcuera La Portilla and L. I. Villena Zapata, "Effect of the reuse of plastic and metallic fibers on the characteristics of a gravelly soil with clays stabilized with natural hydraulic lime," *Innovative Infrastructure Solutions*, vol. 8, no. 185, 2023.
- [8] S. A. Howard, C. M. Carr, H. I. Sbahtu, U. Onwukwe, M. J. López, A. D. W. Dobson and R. R. McCarthy, "Enrichment of native plastic-associated biofilm communities to enhance polyester degrading activity," *Environmental Microbiology*, vol. 25, no. 12, pp. 2698-2718, 2023.
- [9] C. Yin, "Experimental study on mix proportion of recycled concrete with super plasticizer," *13th International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation (ICMTMA)*, pp. 488-491, 2021.
- [10] T. B. Souza, V. M. Lima, F. W. Araújo, L. F. Miranda and A. A. Melo Neto, "Alkali-activated slag cellular concrete with expanded polystyrene (EPS) – physical, mechanical, and mineralogical properties," *Journal of Building Engineering*, vol. 44, p. 103387, 2021.
- [11] A. M. Matos, P. Milheiro-Oliveira and M. Pimentel, "Eco-efficient high performance white concrete incorporating waste glass powder," *Construction and Building Materials*, vol. 411, p. 134556, 2024.
- [12] A. Karimipour, "Influence of micro polypropylene fibres on the fracture energy and mechanical characteristics of recycled coarse brick aggregate concrete," *Construction and Building Materials*, vol. 314, p. 125667, 2022.
- [13] J. Muthukumar, V. A. Kandukuri and R. Chidambaram, "A critical review on various treatment, conversion, and disposal approaches of commonly used polystyrene," *Polymer Bulletin*, vol. 81, no. 4, pp. 2819-2845, 2024.

- [14] F. d. A. Lima, P. A. Marques Chagas, A. C. Sguizzato Honorato, E. Nunes da Silva, M. Lopes Aguiar and V. G. Guerra, "Multifactorial evaluation of an ultra-fast process for electrospinning of recycled expanded polystyrene to manufacture high-efficiency membranes for nanoparticle air filtration," *Journal of Environmental Management*, vol. 362, p. 121352, 2024.
- [15] N. Dubovitskaya, Z. Mukhamedbaeva and A. Mukhamedbaev, "Production technology and properties of polystyrene concrete on recycled polystyrene," *E3S Web of Conferences*, no. 401, p. 05070, 2023.
- [16] A. Barkhanadzhyan, A. Riskulov, M. Karimov, R. Khakimov and B. Ibragimov, "Development of high-strength concrete with the addition of a universal superplasticizer," *E3S Web of Conferences*, vol. 264, p. 02062, 2021.
- [17] A. P. Wibowo, A. E. Lianasari, Z. A. Wiransyah and T. A. Kurniawan, "The strength and water absorption of heated expanded polystyrene beads lightweight-concrete," *International Journal of GEOMATE*, vol. 21, no. 83, pp. 150-156, 2021.
- [18] V. Zadjelovic, R. J. Wright, T. R. Walker, V. Avalos, P. E. Marín, J. A. Christie-Oleza and C. Riquelme, "Assessing the impact of chronic and acute plastic pollution from construction activities and other anthropogenic sources: A case study from the coast of Antofagasta, Chile," *Marine Pollution Bulletin*, vol. 195, p. 115510, 2023.
- [19] N. Gama, A. Barros-Timmons and A. Ferreira, "The Recycling of Construction Foams: An Overview," *Springer Tracts in Civil Engineering*, vol. Part F1844, pp. 95-105, 2024.
- [20] S. P. Muñoz Pérez, M. E. Rivera Segura, Y. A. Alejandria

- Bustamante and L. I. Villena Zapata, "Study of the combined effect of coffee husk ash and polypropylene fibres on the mechanical properties of concrete," *Journal of Applied Research and Technology*, vol. 22, pp. 32-41, 2024.
- [21] A. H. Medher, A. I. Al-Hadithi and N. Hilal, "The Possibility of Producing Self-Compacting Lightweight Concrete by Using Expanded Polystyrene Beads as Coarse Aggregate," *Arabian Journal for Science and Engineering*, vol. 46, 31 August 2020.
- [22] N. Hilal, N. S. Hamah and R. H. Faraj, "Development of eco-efficient lightweight self-compacting concrete with high volume of recycled EPS waste materials," *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 28, p. 50028–50051, 2021.
- [23] D. M. Villa, J. S. Patiño, D. E. Mogrovejo y J. G. Bernal, «Influence of Recycled Expanded Polystyrene for Sustainable Structural Concrete,» *ACI Structural Journal*, vol. 120, nº 3, pp. 87-99, 2023.
- [24] O. Olofinnade, S. Chandra and P. Chakraborty, "Recycling of high impact polystyrene and low-density polyethylene plastic wastes in lightweight based concrete for sustainable construction," *Materials Today: Proceedings*, vol. 38, no. Part 5, pp. 2151-2156, 2021.
- [25] H. J. Mohammed and O. K. Aayeel, "Flexural behavior of reinforced concrete beams containing recycled expandable polystyrene particles," *Journal of Building Engineering*, vol. 32, p. 101805, 2020.
- [26] D. González-Betancur, A. A. Hoyos-Montilla and J. I. Tobón, "Sustainable Hybrid Lightweight Aggregate Concrete Using Recycled Expanded Polystyrene," *Materials*, vol. 17, no. 10, p. 2368, 2024.
- [27] A. P. Wibowo, M. Saidani and M. Khorami, "Enhancing

Sustainability in Construction: Investigating the Thermal Advantages of Fly Ash-Coated Expanded Polystyrene Lightweight Concrete," *Journal of Composites Science*, vol. 8, no. 4, p. 157, 2024.

- [28] E. G. Sherif, A.-J. Yousuf, M. Mohammed Seddik, A. S. Kazi and A.-S. Abdullah, "Mechanical and thermal properties of lightweight concrete with recycled expanded polystyrene beads," *European Journal of Environmental and Civil Engineering*, vol. 28, no. 1, pp. 80-94, 2024.
- [29] M. Ghannoum, L. Abdelkhalek y J. J. Assaad, «Application of Stochastic Finite Element Modeling to Reinforced Lightweight Concrete Beams Containing Expanded Polystyrene Beads,» *Buildings*, vol. 13, n° 9, p. 2294, 2023.
- [30] S. J. Shah, A. Naeem, F. Hejazi, W. A. Mahar and A. Haseeb, "Experimental Investigation of Mechanical Properties of Concrete Mix with Lightweight Expanded Polystyrene and Steel Fibers," *CivilEng*, vol. 5, no. 1, pp. 209-223, 2024.
- [31] M. Abdel-Jaber, N. Shatarat and R. El-Nimri, "Influence of Using Expanded Polystyrene Beads on the Density and Compressive Strength of Hardened Concrete," *Civil Engineering and Architecture*, vol. 11, no. 6, pp. 3599-3611, 2023.
- [32] A. H. Salih, H. D. Hussain, A. A. G. A. Altemen and N. Z. Jameel, "AN EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE OPTIMUM REPLACEMENT RATIO OF COARSE GRAVEL WITH EXPANDED POLYSTYRENE BEADS IN CONCRETE," *Journal of Applied Engineering Science*, vol. 21, no. 1, pp. 194-203, 2023.
- [33] R. S. Alhnifat, M. Abdel-Jaber and R. N. Al-Dala'ien, "Behavior of Lightweight Concrete Incorporating Pozzolana Aggregate and Expanded

Polystyrene Beads," *Engineered Science*, vol. 25, p. 934, 2023.

- [34] A. P. Wibowo, A. E. Lianasari, Z. A. Wiransyah M. and T. A. Kurniawan, "The strength and water absorption of heated expanded polystyrene beads lightweight-concrete," *International Journal of GEOMATE*, vol. 21, no. 83, pp. 150-156, 2021.
- [35] J. Wasiu and D. M. Baba, "Influence of chemical polymer additive on the physical and mechanical properties of expanded polystyrene concrete," *Acta Polytechnica*, vol. 60, no. 2, pp. 158-168, 2020.
- [36] M. H. Osman, S. H. Adnan, N. I. binti Mazlin and W. A. Wan Jusoh, "Properties of Concrete Containing Palm Oil Fuel Ash and Expanded Polystyrene Beads," *International Journal of Integrated Engineering*, vol. 12, no. 9, pp. 78-86, 2020.
- [37] H. A. Obaid and A. A. Hilal, "Effect of Expanded Polystyrene Foam Aggregate on Strength and Shrinkage Characteristics of Foamed Concrete," *Civil Engineering and Architecture*, vol. 10, no. 5, pp. 1788-1797, 2022.
- [38] J. J. Assaad, C. Mikhael and R. Hanna, "Recycling of waste expanded polystyrene concrete in lightweight sandwich panels and structural applications," *Cleaner Materials*, vol. 4, p. 100095, 2022.
- [39] ASTM C39M, "Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens," ASTM International, 2023.
- [40] ASTM C496, "Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens," ASTM International, 2017.
- [41] ASTM C78, "Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading)," ASTM International, 2010.

- [42] ASTM C469M, "Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression," ASTM International, 2022.
- [43] B. Rolón and J. Hernández, "Investigation of properties of recycling waste polystyrene compressed and mixed with Al₂O₃," *Materials Today: Proceedings*, 2024.