



FACULTAD DE INGENIERIA, ARQUITECTURA Y URBANISMO

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Influencia del Caucho Reciclado de Neumáticos en las Propiedades Físicas y Mecánicas del Concreto

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

Autores

Asenjo Diaz Marleny Dany Elena
<https://orcid.org/0000-0002-8001-1812>

Campos Cantos Damaris Abigayl
<https://orcid.org/0009-0002-7201-9379>

Asesora

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 Caucho Reciclado de Neumático en las Propiedades Físicas y Mecánicas 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:

Asenjo Diaz Marleny Dany Elena	DNI: 75363495	
Campos Cantos Damaris Abigayl	DNI: 75381941	

Pimentel, 25 de agosto de 2024

PAPER NAME

AUTHOR

Trabajo de investigación Asenjo y Campos TURNITIN

-

WORD COUNT

CHARACTER COUNT

2447 Words

12830 Characters

PAGE COUNT

FILE SIZE

10 Pages

15.2KB

SUBMISSION DATE

REPORT DATE

Aug 26, 2024 11:14 PM GMT-5

Aug 26, 2024 11:15 PM GMT-5

● **10% Overall Similarity**

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

- 8% Internet database
- 6% Submitted Works database
- 0% Publications database

Dedicatoria

Este trabajo de investigación está dedicado a nuestros familiares, quienes han sido nuestro constante apoyo y nos han acompañado en cada etapa de nuestras vidas. Asimismo, extendemos nuestro agradecimiento a los docentes, cuya formación fue fundamental para alcanzar esta meta académica y convertirnos en profesionales exitosos.

Asenjo Diaz Marleny Dany Elena.

Campos Cantos Damaris Abigayl.

Agradecimientos

Agradezco a Dios primeramente por darme la vida y las fuerzas para culminar esta hermosa etapa profesional, a mis compañeros de estudios, padres e hijo que fueron un pilar importante en mi formación profesional.

Asenjo Diaz Marleny Dany Elena.

En primer lugar, mi más profundo agradecimiento se dirige a Dios, a mis padres por su apoyo incondicional brindándome el amor y la confianza necesarios para llegar a cumplir mis metas, de igual forma a mis amigos, por compartir risas, desafíos y éxitos.

Campos Cantos Damaris Abigayl.

Índice

Dedicatoria	4
Agradecimientos	5
Resumen	7
Abstract	8
I. INTRODUCCIÓN	9
1.1. Realidad problemática.	9
1.2. Formulación del problema.....	13
1.3. Hipótesis.....	13
1.4. Objetivos.....	13
1.5. Teorías relacionadas al tema.....	13
II. METODO DE INVESTIGACIÓN	14
III. RESULTADOS	14
IV. DISCUSION Y CONCLUSIONES	16
V. REFERENCIAS.....	17

Resumen

Cada año se generan más de mil millones de neumáticos usados en el mundo, lo que representa un importante desafío ambiental debido a su difícil disposición final y al impacto negativo que esto tiene sobre el medio ambiente. El objetivo del trabajo de investigación es revisar la influencia del Caucho Reciclado de Neumáticos (CRN) en las propiedades físicas y mecánicas del concreto. El método utilizado es de revisión sistemática en base de datos de Scopus y ScienceDirect. Los resultados sobre las propiedades físicas del concreto con adición de CRN revelan afección significativa, con 25 y 20% de CRN la trabajabilidad se reduce en 77,78 y 12.3%, para el peso unitario, con un 20 y 25% de CRN disminuye el peso del concreto en un 8,79 y 0.64%, referente al contenido de aire con 10% de CRN provocó un aumento mínimo del 1,7%; para las propiedades mecánicas, en relación a la resistencia a la compresión (RC) al incorporar 10% de CRN aumenta en 13% respectivamente, para el módulo de elasticidad (ME) con 10% de CRN aumenta en un 37%, respecto a la resistencia a la tracción (RT), con la adición de 5% CRN redujo la resistencia en 5% con respecto al concreto estándar, mientras que reduce en 36% al utilizar 25% CRN, para la resistencia a la flexión (RF) con 20% CRN se reduce en 21.05%. Finalmente, se concluyó la influencia de CRN en las propiedades físicas del concreto genera disminución mientras que en las propiedades mecánicas genera aumentos.

Palabras Clave: caucho, reciclado, neumáticos, concreto

Abstract

More than one billion used tires are generated worldwide every year, representing a major environmental challenge due to their difficult final disposal and the negative impact this has on the environment. The objective of this research is to review the influence of Recycled Pneumatic Rubber (RPR) on the physical and mechanical properties of concrete. The method used is a systematic review based on Scopus and ScienceDirect databases. The results on the physical properties of concrete with the addition of RPR reveal a significant effect, with 25 and 20% RPR the workability is reduced by 77.78 and 12.3% for the unit weight, with 20 and 25% RPR the weight of the concrete decreases by 8.79 and 0.64%, referring to the air content with 10% RPR caused a minimum increase of 1.7%; for the mechanical properties, in relation to the compressive strength (CS) when incorporating 10% RPR increases by 13% respectively, for the modulus of elasticity (ME) with 10% RPR increases by 37%, regarding the tensile strength (TS), with the addition of 5% RPR the strength was reduced by 5% with respect to standard concrete, while it is reduced by 36% when using 25% RPR, for the flexural strength (FS) with 20% RPR it is reduced by 21.05%. Finally, it was concluded that the influence of CRN on the physical properties of concrete generates a decrease while in the mechanical properties it generates increases.

Keywords: rubber, recycled, tires, concrete

I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática.

Durante el último siglo, la industria de la construcción ha dependido significativamente del concreto [1], el cual es el material más utilizado para aplicaciones estructurales y no estructurales debido a sus múltiples ventajas [2]; sin embargo, [3], señalan que el creciente consumo de materias primas asociadas a la producción de concreto se ha convertido en una preocupación creciente, ocasionando impactos ambientales negativos como el aumento de CO₂ y agotamiento de recursos [4]; simultáneamente, la creciente tendencia de agotamiento de los recursos naturales afecta la producción de concreto; en consecuencia, ha habido un notable interés en alternativas sustentables, incluyendo el reciclaje y el uso de materiales de desecho como el caucho para satisfacer la creciente demanda de desarrollo sustentable [5].

[6], señalan que, en los últimos tiempos, ha habido un aumento preocupante en la cantidad de residuos de caucho, lo que representa un desafío ambiental significativo; de manera similar, [7], menciona que la creciente demanda de productos a base de caucho y el creciente número de neumáticos desechados han generado acumulación a gran escala de residuos de caucho; sin embargo, [8], argumentan que sin esfuerzos efectivos de gestión y reciclaje de residuos, este material peligroso representa una amenaza grave para el medio ambiente [9]; [10], mencionan que la gestión del creciente desafío ambiental que plantean los neumáticos desechados requiere soluciones de vanguardia; por lo tanto, el uso de CRN en el concreto es un enfoque viable, ofreciendo una variedad de ventajas potenciales desde las perspectivas ambiental, económica y mecánica [6].

El número de neumáticos ha aumentado dramáticamente; ya que cada año, se generan más de mil millones de neumáticos usados [11]; [12], detalla que los métodos tradicionales de eliminación de neumáticos usados, pueden causar graves daños ambientales [13]; por ejemplo, [7], menciona que la reutilización de CRN ayuda en gran

medida a la preservación del medio ambiente; además, agregar caucho al concreto puede mejorar efectivamente sus propiedades físicas y mecánicas [14]; adicionalmente, debido a su peso ligero y resistencia adecuada junto con consideraciones ambientales [15], los gránulos de neumáticos reciclados siempre han sido atractivos para aplicaciones de ingeniería civil [16], como lo demuestra la investigación que muestra su enorme potencial en la ingeniería civil al proporcionar mayor resistencia y reducir la formación de grietas [17].

Respecto al CRN, [18], destacan que grandes cantidades de estos residuos son desechados o enterrados de manera irresponsable a nivel mundial; de igual forma, [19], destacan que reducir los residuos de caucho puede prevenir la liberación de hasta 450 kg de gases tóxicos producidos por cada tonelada de neumáticos desechados [5]; por otro lado, [20], reportan que entre el 3 y el 15% de los neumáticos producidos pasan por procesos de reciclaje; el destino de los neumáticos no reciclados entre el 20 y 30% son destinados a vertederos, mientras que entre el 25 y 60% son incinerados anualmente; además, [21], señalan que este material está compuesto de elastómeros entre el 45 y el 47%, negro de carbono entre el 21.5 y el 22%, y metales entre el 12 y el 25% [22]; por lo tanto, es crucial explorar nuevas estrategias para utilizar eficazmente estos desechos [23].

Se han realizado experimentos para mejorar las propiedades del hormigón. En cuanto a las pruebas de trabajabilidad, Yasser et al. [24], reflejaron en su estudio que el 10% de CRN provocó un aumento del 4,17% en comparación con la muestra de control; asimismo, [25], demostraron que la incorporación de 4% de CRN resultó en un aumento del 8% en comparación con el hormigón ordinario; sin embargo, [26], demostraron que el aumento del contenido de caucho como sustituto de la arena al 25% contribuyó a una disminución del 77,78% en el asentamiento en comparación con el hormigón estándar. De manera similar, [27], encontraron que la sustitución del agregado fino por 20% de caucho resultó en una disminución del 12,3% en la trabajabilidad en comparación con

la muestra inicial. En efecto, la presencia de partículas de caucho en la mezcla afecta marginalmente la trabajabilidad del hormigón y en consecuencia reduce el asentamiento [28].

Para las pruebas de contenido de aire, [29], mencionan que incorporar 10% de CRN como sustituto del agregado fino resultó en un aumento insignificante del contenido de aire en 1.7% en comparación con la muestra inicial; sin embargo, agregar 20% del mismo material resultó en una reducción de 28% en comparación con el concreto estándar [30]. También indicaron que la temperatura no mostró cambios significativos para ningún porcentaje de sustitución [31]. es importante señalar que el contenido de aire es un factor crucial, ya que afecta directamente las propiedades mecánicas del concreto [32].

Con base en el peso unitario, hubo una disminución insignificante de 8.79% con la sustitución del agregado fino por CRN al 20% [24]; así mismo, Oluwaseun et al. [26], en su estudio, encontraron que sustituir arena por caucho al 25% redujo el peso del concreto en 0.64%; sin embargo, con la adición de 20% de CRN, mostraron una reducción de 0.50% en comparación con la muestra estándar [27]. De hecho, el peso unitario muestra una tendencia lineal decreciente a medida que aumenta el contenido de agregado de CRN, lo que también resalta su potencial como materia prima en la fabricación de materiales estructurales [28].

En cuanto a las propiedades mecánicas, [33], demostró que el 6% de CRN como sustituto del agregado fino resultó en un aumento del 21% en la resistencia a la compresión en comparación con la muestra estándar; de manera similar, [2], mostró que proporciones de 10% de CRN como agregado fino causaron un aumento del 13% en la resistencia en comparación con la muestra inicial; sin embargo, [34], reflejó que la incorporación de 5% de CRN como sustituto de arena resultó en una reducción del 10% en comparación con el concreto estándar. Estudios adicionales indicaron que el 20% de CRN como sustituto del agregado fino resultó en una reducción del 42% en la resistencia

en comparación con la muestra estándar [35]. De hecho, reemplazar parcialmente el agregado fino con CRN en el concreto tiene el potencial de mejorar la resistencia a la compresión del concreto, pero su aplicación debe optimizarse cuidadosamente para evitar efectos negativos y aprovechar sus beneficios ambientales [36].

En pruebas de resistencia a la flexión, [35], encontró que el 20% de CRN como sustituto del agregado fino resultó en una reducción del 21.05% en la resistencia en comparación con la muestra estándar; sin embargo, [37], demostró que la incorporación de 5% de GR resultó en un aumento de 3,057% en la resistencia en comparación con la muestra inicial. Al mismo tiempo, [38], demostró que en proporciones de 20% de CRN como sustituto del agregado fino, hubo un aumento de 14,78% en la resistencia en comparación con el hormigón estándar. De hecho, el aumento de la resistencia se puede atribuir a la sustitución del agregado natural por un agregado como CRN, que demuestra ser mucho más fuerte y rígido [36].

En ensayos de resistencia a la tracción, se ha observado que la adición de 3% de CRN redujo la resistencia del concreto en un 15% en comparación con la muestra inicial [33]. De igual forma, [37], demostró que incorporar 5% de CRN resultó en una reducción de la resistencia del 5% en comparación con el concreto estándar; por su parte, [39], demostró que agregar 25% de CRN resultó en una reducción de la resistencia del 36% en comparación con la muestra inicial; sin embargo, [2], reportó en su estudio que agregar 10% de GR incrementó la resistencia en un 46% en comparación con el concreto tradicional; ahora, [40], demostró que proporciones de 75% de CRN reflejaron una reducción del 62% en comparación con la muestra de control. El tamaño de las partículas de caucho y la cantidad elegida para la mezcla tienen un efecto directo en las propiedades del concreto endurecido [36].

Mientras tanto, respecto al módulo elástico, [2], reportó que reemplazar 10% de FA por CRN resultó en un aumento de hasta 37% en comparación con el concreto de referencia; De manera similar, [39], afirmó que el 10% de CRN como sustituto del

agregado fino mejoró el módulo elástico en un 17,3% con respecto a la muestra estándar; sin embargo, [40], demostró que la incorporación de 75% de CRN resultó en una reducción del 77% en el módulo elástico en comparación con la muestra inicial. En otras palabras, el caucho tiene un módulo elástico bajo y una extensa región dúctil que permite que el material de hormigón sea resiliente [36].

La justificación se basa en lo teórico ya que al usar CRN en el concreto este influye en las propiedades físicas-mecánicas; la importancia del estudio radica en el impacto del CRN en el concreto y su efecto medio ambiental, promoviendo la concientización del uso del reciclaje como nueva fuente de creación de concreto verde. 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 CRN en las propiedades físicas y mecánicas del concreto?

1.3. Hipótesis

La influencia del CRN en las propiedades físicas y mecánicas del concreto es sustancialmente positiva.

1.4. Objetivos

Objetivo general

Revisar la influencia del CRN en las propiedades físicas y mecánicas del concreto.

Objetivos específicos

Verificar las propiedades físicas del concreto con inclusión de CRN.

Verificar las propiedades mecánicas del concreto con inclusión de CRN.

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. Caucho reciclado de neumáticos

El CRN, es un material obtenido mediante el reciclaje de neumáticos usados, a través de un proceso que incluye la trituración y el tamizado de neumáticos viejos, separando el caucho de otros componentes como metales y textiles [47].

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: rubber, recycled, tire, contamination, concrete, properties. Se consideraron todos los artículos relacionados con estudios de concreto estructural, mientras que se descartaron aquellos que trataban sobre concreto asfáltico.

III. RESULTADOS

Propiedades físicas

Respecto al asentamiento resultados reportados por [26], encontraron que aumentar el CRN al 25% como sustituto de la arena redujo el revenimiento en un 77,78% en comparación con el concreto estándar. De manera similar, [27], reportaron una

disminución del 12,3% en la trabajabilidad al usar CRN al 20% en comparación con la muestra inicial. Referente al peso unitario [24]; confirmaron que reemplazar el agregado fino con CRN al 20% tiende a disminuir el peso unitario del concreto en un 8,79% en comparación con la muestra estándar, de manera similar, [26], encontraron que sustituir arena con 25% de CRN redujo el peso del concreto en un 0,64%, mientras que una adición del 20% de CRN mostró una reducción del 0,50% en comparación con la muestra estándar [27], mientras tanto, [29], mencionó que el 10% de CRN resultó en un aumento insignificante del 1,7% en el contenido de aire, mientras que la adición del 20% de CRN condujo a una reducción del 28% [30].

Propiedades mecánicas

En relación a la RC [33], y [2], han demostrado incrementos significativos en la resistencia a la compresión al incorporar 6 y 10% de CRN como sustituto del agregado fino en diferentes proporciones, mejorando en un 21 y 13% respectivamente, respecto a la muestra control; sin embargo, otros estudios como el de [34], han reportado reducciones de 10% en la resistencia al utilizar 5% de CRN. Referente al ME las observaciones de [2], encontraron que la sustitución de 10% de CRN como agregado fino incrementó el módulo elástico hasta en un 37% respecto al concreto de referencia, de igual forma, [39], reportaron que 10% de CRN mejoró el módulo elástico en un 17.3% respecto a la muestra patrón, en contraste, [40], demostraron que la incorporación de 75% de CRN resultó en una reducción significativa del 77% en el módulo elástico respecto a la muestra inicial, resaltando las características dúctiles del caucho que pueden influir en las propiedades finales del concreto. Respecto a la RT, comparando con estudios previos, [37], reportaron que la adición de 5% CRN redujo la resistencia en 5% con respecto al concreto estándar, mientras que [39], encontraron una reducción de 36% al utilizar 25% CRN, en contraste, [2], reportaron un incremento de 46% al agregar 10% CRN, y [40], evidenciaron una reducción significativa de 62% con 75% CRN. Respecto a la RF resultados con los reportados por [35], encontraron que 20% CRN

como sustituto de arena provocó una reducción de 21.05% en la resistencia a la flexión en comparación con la muestra estándar, por otro lado, [37], reportaron un incremento de 3.057% en la resistencia al incorporar 5% CRN con respecto a la muestra inicial, mientras que [38], demostraron que 20% CRN como sustituto de arena incrementó la resistencia en 14.78% con referencia al concreto estándar.

IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1. Discusión

Respecto a las propiedades físicas, la inclusión de CRN en el concreto tiene efectos notables en su asentamiento, peso unitario y contenido de aire, mientras que el CRN puede ofrecer ventajas en términos de reducción de peso, su impacto en la trabajabilidad y el contenido de aire debe ser cuidadosamente considerado, dichos resultados destacan la necesidad de optimizar las proporciones de CRN para equilibrar sus beneficios con las posibles desventajas en las propiedades físicas del concreto.

Referente a las propiedades mecánicas, la incorporación de CRN en el concreto tiene efectos variables en sus propiedades mecánicas, con mejoras o deterioros en la RC, RT, ME y RF dependiendo de la proporción y del tipo de CRN utilizado, además de la importancia de investigar más a fondo la relación entre el CRN y las propiedades del concreto para optimizar su uso y mejorar el rendimiento del concreto sustentable en aplicaciones prácticas.

4.2. Conclusiones

La influencia de CRN en las propiedades físicas del concreto genera disminución en el asentamiento y contenido de aire.

La influencia de CRN en las propiedades mecánicas del concreto genera aumentos en la RC, ME, RT y RF.

REFERENCIAS

- [1] M. Gin, Y. Huang, Y. Fong, W. Chien, Y. Chih, Y. Xiang and H. Wen, "Mechanical and thermal insulation performance of waste diatomite cement mortar," *Journal of Materials Research and Technology*, vol. 25, pp. 4739-4748, 2023.
- [2] A. Tanhadoust, S. Amir, S. Nasrollahpour, F. Dabbaghi and M. Nehdi, "Optimal design of sustainable recycled rubber-filled concrete using life cycle assessment and multi-objective optimization," *Construction and Building Materials*, vol. 402, p. 132878, 2023.
- [3] T. Shams, G. Schober, D. Heinz and S. Seifert, "Production of autoclaved aerated concrete with silica raw materials of a higher solubility than quartz part I: Influence of calcined diatomaceous earth," *Construction and Building Materials*, vol. 272, p. 122014, 2021.
- [4] M. Hasan, T. Saidi, M. Jamil and M. Furqan, "The resistance of high strength concrete with diatomaceous earth exposed to high temperatures," *AIP Conference Proceedings*, vol. 2613, p. 030002, 2023.
- [5] S. Pérez, J. Viera, J. Carranza, L. Villena, J. García, C. Ramos, E. Díaz and E. Rodríguez, "Effect of crumb rubber and steel slag on asphalt mixtures for a micropavement," *Innovative Infrastructure Solutions*, vol. 9, no. 37, 2024.
- [6] L. Erdle and M. Eriksen, "Monitor compartments, mitigate sectors: A framework to deconstruct the complexity of plastic pollution," *Marine Pollution Bulletin*, vol. 193, p. 115198, 2023.
- [7] K. Formela, "Sustainable development of waste tires recycling technologies – recent advances, challenges and future trends," *Advanced*

Industrial and Engineering Polymer Research, vol. 4, no. 3, pp. 209-222, 2021.

- [8] M. Ashar, M. Shahid, S. Hassan, M. Usman, M. Hamza, M. Hussain and A. Hanif, "Axial compressive behavior of concrete incorporating crumb rubber pretreated with waste quarry dust," *Journal of Building Engineering*, vol. 59, p. 105086, 2022.
- [9] A. Al-Attar, H. Hamada, B. Tayeh and P. Awoyera, "Exploring engineering properties of waste tire rubber for construction applications - a review of recent advances," *Materials Today: Proceedings*, vol. 53, no. Part 2, pp. A1-A17, 2022.
- [10] L. Lynn, M. Bille, S. Foss, K. Syberg, K. Kampmann, F. Khan and A. Palmqvist, "The need for environmental regulation of tires: Challenges and recommendations," *Environmental Pollution*, vol. 311, p. 119974, 2022.
- [11] T. Gebregiorgis, R. Djellabi, M. Vaccari, S. Prasad, T. Aminabhavi and S. Rtimi, "Emerging technologies and sustainable strategies for municipal solid waste valorization: Challenges of circular economy implementation," *Journal of Cleaner Production*, vol. 423, p. 138708, 2023.
- [12] P. Mayer, K. Moran, E. Miller, S. Brander, S. Harper, M. Garcia, V. Carrasco, K. Ho, R. Burgess, L. Thornton, E. Granek, M. McCauley, J. McIntyre, E. Kolodziej, X. Hu and A. Williams, "Where the rubber meets the road: Emerging environmental impacts of tire wear particles and their chemical cocktails," *Science of The Total Environment*, vol. 927, p. 171153, 2024.
- [13] R. Kumar, A. Verma, A. Shome, R. Sinha, S. Sinha, K. Jha, R. Kumar, P. Kumar, Shubham, S. Das, P. Sharma and P. Vara, "Impacts of Plastic Pollution on Ecosystem Services, Sustainable Development Goals,

- and Need to Focus on Circular Economy and Policy Interventions," *Sustainability*, vol. 13, no. 17, p. 9963, 2021.
- [14] F. Liu, J. Fu and M. Ying, "Experimental study on cyclic shear characteristics of geogrid and rubber–sand mixture interface," *Construction and Building Materials*, vol. 357, p. 129328, 2022.
- [15] D. Akbarimehr, A. Eslami and E. Aflaki, "Geotechnical behaviour of clay soil mixed with rubber waste," *Journal of Cleaner Production*, vol. 271, p. 122632, 2020.
- [16] Z. Deng, Z. Yang and X. Pan, "Synergetic effects of recycled crumb rubber and glass cullet on the engineering properties of geopolymer mortar," *Cement and Concrete Composites*, vol. 137, p. 104907, 2023.
- [17] M. Valipour, P. Tabatabaie and A. Mohammadinia, "Application of recycled tire polymer fibers and glass fibers for clay reinforcement," *Transportation Geotechnics*, vol. 27, p. 100474, 2021.
- [18] S. Alfayez, A. Suleiman and M. Nehdi, "Recycling Tire Rubber in Asphalt Pavements: State of the Art," *Sustainability*, vol. 12, no. 21, p. 9076, 2020.
- [19] A. Rumyantseva, E. Rumyantseva, M. Berezyuk and J. Plastinina, "Waste recycling as an aspect of the transition to a circular economy," *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, vol. 534, p. 012002, 2020.
- [20] M. Abbas, M. Kusenbergh, H. Mohamadzadeh, B. Goshayeshi and K. Van, "Towards full recyclability of end-of-life tires: Challenges and opportunities," *Journal of Cleaner Production*, vol. 374, p. 134036, 2022.
- [21] A. Akbas and Y. Yuhana, "Recycling of Rubber Wastes as Fuel and Its Additives," *Recycling*, vol. 6, no. 4, p. 78, 2021.

- [22] L. Sørensen, T. Gomes, A. Igartua, I. Larsen, A. Almeida, M. Wagner and A. Booth, "Organic chemicals associated with rubber are more toxic to marine algae and bacteria than those of thermoplastics," *Journal of Hazardous Materials*, vol. 458, p. 131810, 2023.
- [23] O. Oloruntobi, K. Mokhtar, N. Mohd, A. Gohari, S. Asif and L. Chuah, "Effective technologies and practices for reducing pollution in warehouses - A review," *Cleaner Engineering and Technology*, vol. 13, p. 100622, 2023.
- [24] N. Yasser, A. Abdelrahman, M. Kohail and A. Moustafa, "Experimental investigation of durability properties of rubberized concrete," *Ain Shams Engineering Journal*, vol. 14, no. 6, p. 102111, 2023.
- [25] S. Karunarathna, S. Linforth, A. Kashani, X. Liu and T. Ngo, "Effect of recycled rubber aggregate size on fracture and other mechanical properties of structural concrete," *Journal of Cleaner Production*, vol. 314, p. 128230, 2021.
- [26] A. Oluwaseun, W. Kehinde, E. Rotimi, J. Musyoka and C. Kambole, "Experimental investigation of modified bentonite clay-crumb rubber concrete," *Construction and Building Materials*, p. 117187, 2020.
- [27] P. Kundan and S. Sharma, "Rubberized cemented concrete composites: A review," *Materials Today: Proceedings*, vol. 44, no. Part 6, pp. 4838-4842, 2021.
- [28] X. Li, T. Ling and K. Hung, "Functions and impacts of plastic/rubber wastes as eco-friendly aggregate in concrete – A review," *Construction and Building Materials*, vol. 240, p. 117869, 2020.
- [29] M. Rashwan, T. Al Basiony, A. Mashaly and M. Khalil, "Self-compacting concrete between workability performance and engineering properties using natural stone wastes," *Construction and Building Materials*,

vol. 319, p. 126132, 2022.

- [30] A. Baričević, M. Jelčić Rukavina, M. Pezer and N. Štirmer, "Influence of recycled tire polymer fibers on concrete properties," *Cement and Concrete Composites*, vol. 91, pp. 29-41, 2020.
- [31] B. Harish, N. Venkata and K. Gnaneswar, "A Study on Properties of Recycled Coarse Aggregate and It's Concrete," *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 998, p. 012025, 2020.
- [32] G. Wen, T. Ming, K. Hung, Z. Ibrahim, A. Putra and M. Nur, "Incorporation of crumb rubber and air-entraining agent in ultra-lightweight cementitious composite: Evaluation of mechanical and acoustic properties," *Journal of Building Engineering*, vol. 42, p. 103034, 2021.
- [33] E. Bani, M. El Haj Assad, M. Al Mallahi, Z. Almuqahwi, M. Meraj and M. Azhar, "Overview of the effect of aggregates from recycled materials on thermal and physical properties of concrete," *Cleaner Materials*, vol. 4, p. 100087, 2022.
- [34] A. S. Eisa, M. T. Elshazli and M. T. Nawar, "Experimental investigation on the effect of using crumb rubber and steel fibers on the structural behavior of reinforced concrete beams," *Construction and Building Materials*, vol. 252, p. 119078, 2020.
- [35] N. Khaldi, L. Kherraf, A. Aidoud, M. Bencheikh, M. Belachia, S. Benhamida and R. Dokhane, "Effect of the Incorporation of Recycled Rubber Aggregates on the Behavior of Self-Compacting Concrete," *Annales de Chimie: Science des Materiaux*, vol. 46, no. 5, pp. 251-258, 2022.
- [36] A. Abdelaleem, M. Moawad, H. El-Emam, H. Salim and H. Sallam, "Long term behavior of rubberized concrete under static and dynamic

- loads," *Case Studies in Construction Materials*, vol. 20, p. e03087, 2024.
- [37] D. Agrawal, U. Waghe, K. Ansari, R. Dighade, M. Amran, D. N. Qader and R. Fediuk, "Experimental effect of pre-treatment of rubber fibers on mechanical properties of rubberized concrete," *Journal of Materials Research and Technology*, vol. 23, pp. 791-807, 2023.
- [38] S. Choudhary, S. Chaudhary, A. Jain and R. Gupta, "Valorization of waste rubber tyre fiber in functionally graded concrete," *Materials Today: Proceedings*, vol. 32, pp. 645-650, 2020.
- [39] S. Azunna, F. Aziz, R. Rashid and N. Bakar, "Review on the characteristic properties of crumb rubber concrete," *Cleaner Materials*, vol. 12, p. 100237, 2024.
- [40] J. Miah, R. Huaping, S. Chandra, A. John, R. Sharma and J. Gook, "Performance of eco-friendly concrete made from recycled waste tire fine aggregate as a replacement for river sand," *Structures*, vol. 58, p. 105463, 2023.
- [41] ASTM C39M, "Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens," ASTM International, 2023.
- [42] 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.
- [43] ASTM C496, "Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens," ASTM International, 2017.
- [44] 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.

- [45] ASTM C78, "Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading)," ASTM International, 2010.
- [46] 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.
- [47] X. Han, N. Ding, A. Chen, Z. Wang, Y. Xu, L. Feng, Y. Ji , K. Li, J. Jing, S. Sun and Q. Zhang, "Experimental study on freeze-thaw failure of concrete incorporating waste tire crumb rubber and analytical evaluation of frost resistance," *Construction and Building Materials*, vol. 439, p. 137356, 2024.