



Universidad
Señor de Sipán

**FACULTAD DE INGENIERIA, ARQUITECTURA Y
URBANISMO**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

**ESTUDIO DEL EFECTO DEL LADRILLO
TRITURADO SOBRE LAS PROPIEDADES
MECÁNICAS**

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

Autora

Canales Cieza, Nayely Fernanda
<https://orcid.org/0000-0002-9279-0438>

Asesor

Mg. Villegas Granados Luis Mariano
<https://orcid.org/0000-0001-5401-2566>

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

2025

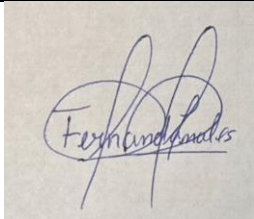
DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD

Quien suscribe la DECLARACIÓN JURADA, soy **egresada** del Programa de Estudios de **INGENIERIA CIVIL** de la Universidad Señor de Sipán S.A.C, declaro bajo juramento que soy autora del trabajo titulado:

ESTUDIO DEL EFECTO DEL LADRILLO TRITURADO SOBRE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS

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:

Canales Cieza, Nayely Fernanda	73393267	
-----------------------------------	----------	---

Pimentel, 3 de diciembre de 2024




18% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Texto mencionado
- ▶ Coincidencias menores (menos de 8 palabras)

Fuentes principales

- 17%  Fuentes de Internet
- 2%  Publicaciones
- 6%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

Dedicatoria

A Dios, por guiarme en cada paso de este camino y darme la fuerza para enfrentar cada desafío.

A mi papá, que desde el cielo sigue siendo mi guía y mi fortaleza. Su amor, sacrificio y enseñanzas continúan siendo una inspiración en mi vida, y aunque no esté físicamente, su presencia y apoyo son eternos en mi corazón.

A mi mamá, cuyo amor incondicional y apoyo constante me han permitido llegar hasta aquí. Gracias por ser mi pilar, mi orgullo, por tu paciencia y por siempre creer en mí, incluso cuando yo dudaba.

A mi hermano por siempre estar apoyándome dándome consejos y diciéndome que no me dé por vencida.

Dar gracias a toda mi familia por siempre estar para mí.

Agradecimientos

Agradezco a Dios por darme la fuerza, sabiduría y oportunidad de llevar a cabo esta investigación. Mi sincero agradecimiento a mi docente por su orientación y apoyo constante. A mis asesores, les agradezco por su invaluable guía y por compartir sus conocimientos. También a mi casa de estudios, por brindarme las herramientas necesarias para desarrollar este proyecto. Este trabajo refleja el esfuerzo y el acompañamiento de todos quienes han estado a mi lado. ¡Gracias por ser parte de este logro!

Índice

Dedicatoria.....	4
Agradecimientos.....	5
índice de tablas.....	7
Resumen	8
Abstract.....	9
I. INTRODUCCIÓN.....	10
1.1. Realidad problemática	10
1.2. Formulación del problema	12
1.3. Hipótesis.....	12
1.4. Objetivos	12
1.5. Teorías relacionadas al tema.....	13
II. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN	13
III. RESULTADOS	14
IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	17
REFERENCIAS.....	19
ANEXOS.....	26

índice de tablas

TABLA I COMPORTAMIENTO FÍSICO DEL CONCRETO CON RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN.....	15
TABLA II PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO INCORPORANDO RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN.....	16
TABLA III MATRIZ DE CONSISTENCIA.....	26

Resumen

El uso de materiales reciclados en la construcción es una estrategia clave para promover la sostenibilidad y reducir el impacto ambiental, destacando el ladrillo triturado como sustituto parcial de los agregados convencionales en el concreto. Este estudio analizó el efecto del ladrillo triturado sobre las propiedades mecánicas del concreto, mediante una revisión sistemática de 52 artículos publicados entre 2020 y 2024, utilizando palabras clave como "crushed brick in concrete" y "properties of concrete with construction and demolition wastes". Los resultados revelaron variaciones en el asentamiento y contenido de aire del concreto, según la cantidad de ladrillo triturado incorporado; asimismo, se observó que, hasta un 15% de sustitución, el ladrillo triturado mejoró la resistencia a la compresión, pero más allá de este porcentaje, la propiedad se redujo. La resistencia a flexión y tracción mostró comportamientos variables, con algunos casos de mejora y otros de disminución. El módulo elástico disminuyó, indicando menor rigidez que el concreto convencional. En conclusión, el ladrillo triturado tiene un gran potencial para mejorar la sostenibilidad en la construcción; al mismo tiempo, su incorporación, hasta un 15%, mejora la resistencia a compresión, pero el impacto en otras propiedades debe ser monitoreado para evitar la pérdida de calidad.

Palabras Clave: Ladrillo triturado, concreto, sostenibilidad, construcción.

Abstract

The use of recycled materials in construction is a key strategy to promote sustainability and reduce environmental impact, highlighting crushed brick as a partial substitute for conventional aggregates in concrete. This study analyzed the effect of crushed brick on the mechanical properties of concrete, through a systematic review of 52 articles published between 2020 and 2024, using keywords such as “crushed brick in concrete” and “properties of concrete with construction and demolition wastes”. The results revealed variations in the slump and air content of concrete, depending on the amount of crushed brick incorporated; it was also observed that, up to 15% substitution, the crushed brick improved the compressive strength, but beyond this percentage, the property was reduced. Flexural and tensile strength showed variable behaviors, with some cases of improvement and others of decrease. The elastic modulus decreased, indicating lower stiffness than conventional concrete. In conclusion, crushed brick has great potential to improve sustainability in construction; at the same time, its incorporation, up to 15%, improves compressive strength, but the impact on other properties should be monitored to avoid loss of quality.

Keywords: Crushed brick, concrete, sustainability, construction.

I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

El concreto es ampliamente reconocido como uno de los materiales de construcción más esenciales y versátiles a nivel mundial [1]. Según Daneshvar et al. [2]; este material destaca por su elevada resistencia, durabilidad, capacidad para resistir el fuego y su flexibilidad para adaptarse a cualquier diseño o tamaño [3]; no obstante, Ray et al. [4] señalan que la producción de concreto exige, anualmente, cerca de 1,500 millones de toneladas de cemento, entre 10,000 y 20,000 millones de toneladas de agregados, y aproximadamente 1,000 millones de toneladas de agua [5]; adicionalmente, Adesina [6], proyecta que el crecimiento poblacional impulsará el consumo global de concreto hasta alcanzar los 18,000 millones de toneladas al año [7]; por lo que esta alta demanda de recursos no renovables está generando serios impactos ambientales, como la degradación de costas y deltas fluviales debido a la intensa extracción de arena y grava naturales [8].

Para abordar los efectos ambientales derivados de la producción masiva de concreto, Nilimaa [9], sugiere que el reciclaje de materiales de desecho podría representar una solución viable [10]. En línea con esta idea, Collivignarelli et al. [11], mencionan que la Agencia Internacional de Energía (AIE) fomenta el uso de materiales alternativos a los agregados naturales con el objetivo de reducir los niveles de impacto ambiental. Actualmente, el manejo sostenible de los residuos de construcción y demolición (RCD) se ha convertido en una prioridad dentro de los esfuerzos por alcanzar un desarrollo ambientalmente responsable [12]. Un enfoque prometedor es el uso de ladrillos triturados como agregados en la fabricación de concreto, lo que permite disminuir significativamente los desechos RCD y, a su vez, reduce la dependencia de agregados naturales (NA) [13]; sin embargo, la limitada comprensión sobre las propiedades mecánicas del concreto que incorpora residuos de ladrillo triturado sigue siendo un desafío para su implementación masiva [14].

Investigaciones recientes han explorado el potencial de este material como agregado grueso en mezclas de concreto [15]. El aprovechamiento de agregados reciclados ofrece beneficios tanto para la sostenibilidad de la industria del concreto como para el manejo de desechos de construcción [16]; aunque los ladrillos triturados provenientes de demolición presentan mayor porosidad y menor resistencia en comparación con los agregados naturales, su incorporación representa una alternativa viable para preservar los recursos naturales [17].

De acuerdo con la Guía de Recursos Ambientales del Instituto Americano de Arquitectos, los escombros de concreto constituyen el 67% del peso, de los cuales solo el 5% es reciclado [18]. En Europa, los RCD representan entre el 25 y el 30 % del total de residuos generados, mientras que en los Estados Unidos alcanzan aproximadamente 500 millones de toneladas al año, siendo las infraestructuras viales y los puentes responsables del 46 % de esta cifra [19]; asimismo, países como Brasil y Colombia generan 450,000 toneladas y 22 millones de toneladas de RCD anualmente, respectivamente [20]; a su vez, estas elevadas producciones han estimado que para el 2023, la generación global de RCD podría llegar a 48.3 mil millones de toneladas, lo cual incrementará la presión sobre los recursos disponibles en las canteras [21].

Estudios previos han demostrado que la sustitución de agregados gruesos en el concreto afecta significativamente sus propiedades mecánicas. Por un lado, Mimbela et al. [22], observaron que la resistencia a la compresión y flexión disminuye conforme aumenta el porcentaje de sustitución, especialmente cuando supera el 75%. Asimismo, Antaurco y Chapoñan [23], reportaron que, con un reemplazo del 20% y resistencias de diseño de 280 kg/cm² y 40 kg/cm², las resistencias obtenidas a los 28 días fueron de 312.841 kg/cm² a compresión y 42.4 kg/cm² a flexión, evidenciando una mejora. Por otro lado, Echeverre [24], identificó que el porcentaje óptimo es del 15%, logrando resistencias a la compresión de 211.75 a 299.26 kg/cm², a la flexión de 4.16 a 4.56 MPa

y a la tracción de 2.23 a 2.55 MPa; sin embargo, advirtió que esta sustitución afecta la trabajabilidad debido a una disminución en el asentamiento.

El creciente uso del concreto, junto con los desafíos ambientales asociados a su producción, resalta la importancia de explorar alternativas sostenibles en la construcción. En este contexto, la incorporación de materiales reciclados como el ladrillo triturado no solo contribuye a reducir la extracción de recursos naturales, sino que también disminuye la generación de residuos sólidos. Además, entender el impacto de estos materiales en las propiedades mecánicas del concreto es crucial para garantizar su viabilidad estructural y funcional. Este enfoque no solo permite responder a la demanda de prácticas más responsables, sino que también impulsa el desarrollo de tecnologías constructivas más eficientes, alineadas con los objetivos de sostenibilidad global.

1.2. Formulación del problema

¿Cómo afecta el uso de ladrillo triturado como agregado reciclado a las propiedades mecánicas del concreto?

1.3. Hipótesis

El uso de ladrillo triturado como agregado reciclado afecta las propiedades mecánicas del concreto.

1.4. Objetivos

Objetivo general

Analizar el efecto del ladrillo triturado en las propiedades mecánicas del concreto.

Objetivos específicos

- Examinar las características físicas y medioambientales del ladrillo triturado
- Examinar el comportamiento físico y mecánico del concreto al incorporar ladrillo triturado.

1.5. Teorías relacionadas al tema

El concreto ligero es ampliamente utilizado en diversas regiones del mundo gracias a sus excelentes propiedades de aislamiento térmico y acústico, así como a su alta relación resistencia-peso [25]. Este material ha encontrado aplicaciones en infraestructuras como puentes de gran envergadura, edificios de gran altura y construcciones con requerimientos específicos de aislamiento térmico [26]. Se caracteriza por ser un tipo especial de concreto que ofrece ventajas adicionales, incluyendo un mejor aislamiento térmico y acústico, menor peso y una mayor resistencia al fuego [27].

Durante las últimas décadas, se ha observado que los residuos de los sectores de construcción y demolición constituyen un gran volumen que aumenta significativamente cada año [28]. Los residuos incluyen concreto, ladrillos, tejas, cerámica, vidrio, plástico, madera, etc. [29]. El ladrillo también se considera material de desecho cuando se rompe o destruye en la línea de producción de ladrillos, lo que produce una gran cantidad de ladrillos rechazados debido a que no cumplen los estándares [30]. Estos residuos de ladrillo generalmente se transportan a vertederos para su eliminación o se vierten en sitios alrededor de las fábricas de ladrillos [31]. Estos vertederos no solo ocupan recursos de tierra raros, sino que también contaminan el suelo y el agua como resultado de la disolución de sustancias nocivas [32].

II. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

La presente investigación se llevó a cabo mediante una revisión sistemática de la literatura, con el objetivo de recopilar, analizar y sintetizar artículos científicos que abordaron el uso de materiales reciclados, específicamente los agregados cerámicos y de ladrillo triturado, en la producción de concreto. Para esta revisión, se consideraron artículos y tesis publicados entre los años 2020 y 2024, lo que permitió obtener una muestra actualizada y relevante de los avances en el área de estudio. El proceso de selección de artículos se realizó en varias etapas: primero, se definieron los criterios de

inclusión y exclusión, asegurando que solo se incluyeran artículos que trataran sobre el uso de cerámica, ladrillo triturado o materiales reciclados similares en la producción de concreto. Las palabras clave utilizadas en la búsqueda de artículos fueron las siguientes: Crushed brick in concrete; Definition of concrete with the use of crushed brick; Behavior of concrete when incorporating brick dust; Flexural and tensile strength of concrete with brick dust; Tensile strength of concrete with brick dust; Flexural strength of concrete with brick dust; Properties of concrete with construction and demolition wastes. En total, se revisaron 52 artículos de diversas bases de datos de revistas de alto impacto y 3 tesis extraídas del ámbito nacional y local.

Cada artículo fue evaluado en términos de su relevancia, calidad metodológica y los hallazgos presentados, con especial énfasis en los efectos del uso de agregados reciclados en el concreto. La información extraída de estos estudios permitió identificar las tendencias actuales, los beneficios y limitaciones del uso de estos materiales en la construcción, así como su impacto en las propiedades físicas y mecánicas del concreto. La síntesis de estos estudios contribuyó a desarrollar una comprensión más profunda sobre el potencial de los residuos cerámicos y de ladrillo como una opción sostenible en la fabricación de concreto.

III. RESULTADOS

OE1: Examinar las características físicas y medioambientales del ladrillo triturado.

Las estrategias de construcción que maximicen el uso de materiales existentes en nuevas construcciones producirían resultados significativos en la reducción del impacto ambiental. El uso de ladrillos triturados como agregados en la nueva mezcla de concreto ha sido reconocido como un enfoque atractivo para conservar los recursos naturales y reducir el impacto ambiental de la industria de la construcción [33]. En términos de sostenibilidad, los residuos de construcción como son los ladrillos triturados deben reutilizarse en la producción de materiales a base de cemento para ahorrar

recursos naturales y resolver problemas ambientales [34].

Una cantidad limitada de los desechos de ladrillos de arcilla se puede reutilizar como sustituto del cemento o de los agregados, como se explica en los párrafos siguientes. Según, Li et al. [35], mencionan que la adición de ladrillo triturado en el concreto conduce a una reducción del consumo de cemento del 25% al 33%; por lo tanto, permite mitigar el impacto ambiental. Por otro lado, cabe mencionar que en varias investigaciones se ha comprobado que el ladrillo reciclado o sus residuos tienen una capacidad de absorción 18 veces mayor que la arena, además, que la densidad de las muestras experimentadas con este agregado es mucho menor que la densidad de las muestras de concreto [36].

OE2: Examinar el comportamiento físico y mecánico del concreto al incorporar ladrillo triturado.

TABLA I
COMPORTAMIENTO FÍSICO DEL CONCRETO CON RESIDUOS DE
CONSTRUCCIÓN

Proporciones	Resultados	Referencia
Asentamiento		
20% RCD	Originó una reducción del 14.10% respecto a la muestra inicial	[37]
25% RCD	Reduce en un 3.5% respecto al concreto patrón	[38]
Contenido de aire		
20% RCD	Redujo en un 44.23% con referencia a la muestra base.	[39]
25% RCD	Redujo en un 21.88% en base al concreto patrón	[40]
30% RCD	Redujo en un 25% respecto a la probeta patrón	[41]
Peso Unitario		
5% Ladrillo	Reduce en un 24.68% con respecto a la muestra patrón	[42]

TABLA II
PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO INCORPORANDO RESIDUOS DE
CONSTRUCCIÓN

Incorporación	Resultados	Referencia
Resistencia a la compresión		
10% Ladrillo	Encontraron un aumento del 6.9% respecto a la muestra patrón	[43]
15% Ladrillo	Incrementó en un 49.19% respecto a la muestra inicial.	[44]
20% RCD	Incremento en un 5.1% con referencia a la muestra inicial.	[45]
25% Ladrillo	Mejóro en un 3.7% con respecto a la muestra inicial.	[46]
30% Ladrillo	Disminuyó en un 14,2 % en comparación con el concreto patrón	[47]
40% Ladrillo	Redujo en un 17.3% con referencia a la muestra inicial	[48]
50% RCD	Redujo en un 13.9% respecto a la muestra base	[49]
Resistencia a la flexión		
5% Ladrillo	Aumentó en un 21% con referencia a la muestra patrón	[50]
10% Ladrillo	Aumentó en un 24% con referencia al concreto patrón	[51]
11% Ladrillo	Aumentó en un 15% en comparación con el hormigón	[52]
15% Ladrillo	Incrementó en un 5.72% respecto a la muestra inicial.	[44]
Resistencia a tracción		
5% de Ladrillo	Redujo en un 3.87% respecto a la muestra base.	[53]
10% Ladrillo	Aumentó en un 12% con referencia al concreto patrón	[51]
15% RCD	Mejóro en un 4.01% la resistencia con respecto a la muestra inicial.	[54]

Módulo elástico		
30% RCD	Mejoró en un 89.6% la elasticidad del concreto con referencia a la muestra base.	[55]

IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Discusión

El análisis evidencia que los ladrillos triturados representan una alternativa ambientalmente sostenible. Estudios como los de Li et al. [35], señalan que el reemplazo parcial de cemento con ladrillo triturado puede disminuir hasta un 33% del consumo de cemento, un impacto directo en la reducción de emisiones de CO₂. Sin embargo, se deben considerar las propiedades físicas de este material. Su alta capacidad de absorción, 18 veces mayor que la arena [36], puede implicar una mayor demanda de agua durante el mezclado, lo que podría afectar la trabajabilidad. Por lo tanto, la reutilización de ladrillos triturados requiere un control cuidadoso de la proporción y ajustes en el diseño de mezcla para optimizar tanto el rendimiento mecánico como la sostenibilidad ambiental.

En términos físicos, el asentamiento disminuye con el uso de residuos, observándose una reducción del 14.10% con un 20% de residuos, y solo un 3.5% con un 25% en comparación con el concreto convencional [37, 38]: aunque el contenido de aire disminuye considerablemente con mayores cantidades de residuos, como ocurre con un 20% de RCD, que presenta una reducción del 44.23% [39, 41]. Además, el peso unitario del concreto se reduce en un 24.68% al incorporar un 5% de ladrillo triturado [42]. En cuanto a las resistencias, el 15% de ladrillo incrementa la resistencia a la compresión en un 49.19%, mientras que proporciones superiores al 30% disminuyen esta resistencia [44, 47]. En flexión, se observa una mejora de hasta un 24% con un 10% de ladrillo triturado [51], y en tracción, se reporta un incremento del 4.01% con un 15% de RCD [54]. Además, el módulo elástico aumenta significativamente en un 89.6% con un 30% de RCD, lo que es relevante para aplicaciones que requieren mayor

deformabilidad [55].

Conclusiones

Los ladrillos triturados representan una solución ambientalmente sostenible para la industria de la construcción, permitiendo una reducción del consumo de cemento de hasta un 33%, lo cual contribuye directamente a disminuir las emisiones de CO₂.

El análisis muestra que la incorporación de ladrillo triturado en el concreto reduce el asentamiento y el contenido de aire, afectando la fluidez y la formación de vacíos, especialmente en proporciones mayores. También disminuye el peso unitario del concreto, lo que puede ser beneficioso para aplicaciones que requieren reducción de peso, aunque se debe evaluar su impacto en la estabilidad estructural. Mecánicamente, el ladrillo triturado mejora la resistencia a la compresión y a la flexión en proporciones moderadas (hasta un 15-20%), debido a la interacción favorable entre los agregados reciclados y la matriz cementicia. Sin embargo, cuando la proporción supera el 30%, se observa una disminución de la resistencia a compresión. A pesar de que la resistencia a tracción mejora de forma más moderada, el aumento en el módulo elástico sugiere que el material es útil para aplicaciones que requieren mayor deformabilidad y flexibilidad, haciendo del ladrillo triturado una opción viable si se utiliza en proporciones controladas.

REFERENCIAS

- [1] K. Manikandan, P. Nanthakumar, M. Balachandar, D. Gowri and G. Vijayakumari, "Partial replacement of aggregate with ceramic tile in concrete," *Materials Today: Proceedings*, 2023.
- [2] D. Daneshvar, A. Behnood and A. Robisson, "Interfacial bond in concrete-to-concrete composites: A review," *Construction and Building Materials*, vol. 359, p. 129195, 2022.
- [3] L. Díaz, L. Altamirano and S. Muñoz, "USE OF LIGHTWEIGHT MATERIALS FOR THE PRODUCTION OF LOW-DENSITY CONCRETE: A LITERARY REVIEW," *Revista Hábitat Sustentable*, vol. 12, no. 1, pp. 90-101, 2022.
- [4] S. Ray, M. Haque, N. Sakib, A. Ferdous, M. Rahman and B. Tanmoy, "Use of ceramic wastes as aggregates in concrete production: A review," *Journal of Building Engineering*, vol. 43, p. 102567, 2021.
- [5] A. Aslani, C. Hachem and R. Zahedi, "Environmental impact assessment and potentials of material efficiency using by-products and waste materials," *Construction and Building Materials*, vol. 378, p. 131197, 2023.
- [6] A. Adesina, "Recent advances in the concrete industry to reduce its carbon dioxide emissions," *Environmental Challenges*, vol. 1, p. 100004, 2020.
- [7] D. Grebenkov, "Depletion of resources by a population of diffusing species," *Physical Review E*, vol. 105, no. 5, p. 054402, 2022.
- [8] M. Bendixen, L. Iversen, J. Best, D. Franks, C. Hackney, E. Latrubesse and L. Tusting, "Sand, gravel, and UN Sustainable Development Goals: Conflicts, synergies, and pathways forward," *One Earth*, vol. 4, no. 8, pp. 1095-1111, 2021.
- [9] J. Nilimaa, "Smart materials and technologies for sustainable concrete construction," *Developments in the Built Environment*, vol. 15, p. 100177, 2023.
- [10] A. Omar, K. Muthusamy, A. Albshir, M. Ashraf, G. Jokhio and R. Jose, "A review

on the utilization of ceramic tile waste as cement and aggregates replacement in cement based composite and a bibliometric assessment," *Cleaner Engineering and Technology*, vol. 17, p. 100699, 2023.

[11] M. Collivignarelli, A. Abbà, M. Carnevale, G. Cillari and P. Ricciardi, "A review on alternative binders, admixtures and water for the production of sustainable concrete," *Journal of Cleaner Production*, vol. 295, p. 126408, 2021.

[12] E. Alrajfi, A. M. Ashteyat and Y. Z. Murad, "Shear behaviour of RC beams made with natural, recycled aggregate concrete and reclaimed asphalt aggregates under normal and elevated temperature," *Journal of Building Engineering*, vol. 40, no. 102681, pp. 1-9, 2021.

[13] Y. Jian, M. Wafaa, E. Khalid and S. Blessen, "Properties of concrete containing strengthened crushed brick aggregate by pozzolan slurry," *Construction and Building Materials*, vol. 247, p. 118612, 2020.

[14] Q. Huang, X. Zhu, G. Xiong and C. Wang, "Properties of concrete containing strengthened crushed brick aggregate by pozzolan slurry," *Construction and Building Materials*, vol. 274, p. 118612, 2021.

[15] J. Panuwat, A. Nazam, C. Krisada and P. Nakhorn, "Improvement of stress-strain behavior of brick-waste aggregate concrete using low-cost FCSM composites," *Construction and Building Materials*, vol. 351, p. 128946, 128946.

[16] K. N. Rajesh, P. M. Raju, K. Mishra and P. K. Madiseti, "A review on sustainable concrete mix proportions," *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, vol. 1025, no. 12019, pp. 1-11, 2021.

[17] N. Garcia, L. Li, Q. Cheng and K. Hung, "Comparative study on the properties and high temperature resistance of self-compacting concrete with various types of recycled aggregates," *Case Studies in Construction Materials*, vol. 15, p. e00678, 2021.

- [18] F. Chunhua, C. Buwen, J. Wang, H. Guo, W. Zhang y J. Zhu, «Changing the soaking method of microbially induced calcium carbonate precipitation technology to improve the reinforcement effect of recycled concrete aggregates,» *Journal of Building Engineering*, vol. 68, p. 106128, 2023.
- [19] E. O. Fanijo, J. Temitope Kolawole, A. J. Babafemi y J. Liu, «A comprehensive review on the use of recycled concrete aggregate for pavement construction: Properties, performance, and sustainability,» *Cleaner Materials*, vol. 9, p. 100199, 2023.
- [20] M. Sabau y D. Bompa, «Comparative carbon emission assessments of recycled and natural aggregate concrete: Environmental influence of cement content,» *Geoscience Frontiers*, vol. 12, nº 6, p. 101235, 2021.
- [21] A. Ahmad, K. Chaiyasarn, F. Farooq, W. Ahmad, S. Suparp and F. Aslam, "Compressive Strength Prediction via Gene Expression Programming (GEP) and Artificial Neural Network (ANN) for Concrete Containing RCA," *Buildings*, vol. 11, no. 8, pp. 1-17, 2021.
- [22] F. Mimbela, S. Muñoz and E. Rodríguez, "Uso de ladrillos triturados en concreto: Una revisión literaria," *Revista Politécnica*, vol. 17, no. 34, pp. 82-100, 2021.
- [23] G. Antaurco and C. Chapoñan, "Incorporación de ladrillo reciclado en el concreto para el diseño de pavimento rígido de la Av. Quinta Avenida, Lurigancho-2020," 2021.
- [24] A. Echeverre, "Evaluación de las Propiedades Mecánicas del Concreto con Incorporación de Ladrillo Triturado Sustituyendo al Agregado Grueso," 2023.
- [25] F. Z. Hossain, A. Pal, K. Sakil Ahmed, A. Bediwy y M. S. Alam, «Shear behavior of polypropylene fiber-reinforced concrete beams containing recycled aggregate and crumb rubber,» *Journal of Cleaner Production*, vol. 412, p. 137370, 2023.
- [26] M. Atyia, M. Mahdy and M. Elrahman, "Production and properties of lightweight

- concrete incorporating recycled waste crushed clay bricks," *Construction and Building Materials*, vol. 304, p. 124655, 2021.
- [27] İ. Mütevelli, K. Aldemir, O. Alhasan and B. Ahmet, "Investigation on the sustainable use of different sizes of sawdust aggregates in eco-friendly foam concretes: Physico-mechanical, thermal insulation and durability characteristics," *Construction and Building Materials*, vol. 438, p. 137100, 2024.
- [28] P. Ge, W. Huang, J. Zhang, W. Quan and Y. Guo, "Mix proportion design method of recycled brick aggregate concrete based on aggregate skeleton theory," *Construction and Building Materials*, vol. 304, no. 124584, pp. 1-15, 2021.
- [29] O. Bahadir, S. Talha and T. Tugrul, "Geotechnical properties of recycled construction and demolition materials for filling applications," *Transportation Geotechnics*, vol. 24, p. 100380, 2020.
- [30] C. Keith, M. Dhafer, T. Bio and J. Matthew, "Circular Economy of Construction and Demolition Waste: A Literature Review on Lessons, Challenges, and Benefits," *Materials (Basel)*, vol. 15, no. 1, p. 76, 2021.
- [31] H. Modi, H. Vijilius, D. Amit, K. Pradeep and A. Vandana, "Recycling Waste into Building Materials: Innovations and Prospects in Brick Production for Sustainable Construction," *E3S Web of Conferences*, vol. 505, no. 3, p. 04001, 2024.
- [32] S. Pallewatta, M. Weerasooriyagedara and S. Bordoloi, "Reprocessed construction and demolition waste as an adsorbent: An appraisal," *Science of The Total Environment*, vol. 882, p. 163340, 2023.
- [33] X. Beibei, D. Cristoforo, X. Jinjun and A. Simi, "High-strain rate compressive behavior of concrete made with substituted coarse aggregates: Recycled crushed concrete and clay bricks," *Construction and Building Materials*, vol. 123875, p. 301, 2021.
- [34] C. Lin, Y. Mingyu, C. Zhonghao and X. Zhuolin, "Conversion of waste into

sustainable construction materials: A review of recent developments and prospects," *Materials Today Sustainability*, vol. 27, p. 100930, 2024.

[35] G. Li, Z. Lin, G. Chen and A. Kwan, "Reutilizing clay brick dust as paste substitution to produce environment-friendly durable mortar," *Journal of Cleaner Production*, vol. 274, p. 122787, 2020.

[36] S. Muñoz, A. Serrato and C. Burga, "Review of the mechanical properties of concrete by adding clay brick residues as a partial substitute for coarse sand," *Revista ingeniería de construcción*, vol. 38, no. 1, pp. 32-42, 2023.

[37] R. Vilas, J. Kumar, H. Singh and A. Singh, "Use of waste ceramics to produce sustainable concrete: A review," *Cleaner Materials*, vol. 4, p. 100085, 2022.

[38] M. Harikaran, S. Boopathi, M. Rajkannan and S. Gokulakannan, "Impact analysis of ceramic tile powder aggregates on self-compacting concrete," *Engineering Research Express*, vol. 5, p. 025069, 2023.

[39] O. Babalola, P. Awoyera, M. Tran, D. Le, O. Olalusi, A. Vilorio and D. Ovallos, "Mechanical and durability properties of recycled aggregate concrete with ternary binder system and optimized mix proportion," *Journal of Materials Research and Technology*, vol. 9, no. 3, pp. 6521-6532, 2020.

[40] V. Revilla, V. Ortega, M. Skaf and J. Manso, "Effect of fine recycled concrete aggregate on the mechanical behavior of self-compacting concrete," *Construction and Building Materials*, vol. 263, p. 120671, 2020.

[41] K. Subramanian and S. Singh, "Durability studies on recycled fine aggregate concrete," *Construction and Building Materials*, vol. 250, p. 118850, 2020.

[42] D. Sinkhonde, R. Ocharo and W. Odhiambo, "Durability and water absorption behaviour of rubberised concrete incorporating burnt clay brick powder," *Materials Today: Proceedings*, vol. 4, p. 100084, 2022.

[43] A. Kumar, P. Sharma and N. Sharma, "An investigation on Properties of Concrete

with the adding of Waste of Ceramic and micro silica," *Materials Today: Proceedings*, vol. 62, no. Part 6, pp. 4036-4040, 2022.

- [44] L. Cui, G. Hu, J. Pan and X. Zhang, "Enhancement mechanical performance of brick powder-cement mortar with bio-inspired material," *Construction and Building Materials*, vol. 432, p. 136397, 2024.
- [45] J. Zhang, Z. Di and D. Hongying, "Analytical and experimental investigation of bond behavior of confined recycled brick-concrete aggregate concrete," *Journal of Building Engineering*, p. 111452, 2024.
- [46] R. Alshahwany, M. Abdulkareem and R. Shlla, "Influence of Ceramic Wastes as a Recycled Coarse Aggregate with Different Maximum Sizes on the Concrete," *THE OPEN CIVIL ENGINEERING JOURNAL*, 2024.
- [47] H. Zhang, M. Jinyi and C. Zhou, "Effect and mechanism of recycled clay brick powder on compressive strength of different types of concretes," *Journal of Building Engineering*, vol. 94, p. 109983, 2024.
- [48] L. Li, P. Joseph, X. Zhang and L. Zhang, "A study of some relevant properties of concrete incorporating waste ceramic powder as a cement replacement agent," *Journal of Building Engineering*, vol. 87, p. 109106, 2024.
- [49] Wang, Yumei, J. Wang, Z. Deng and J. Xiao, "Studying Thermal and Mechanical Properties of Recycled Concrete by Using Ceramic Aggregate," *Sustainability*, vol. 15, no. 3, p. 2642, 2023.
- [50] M. Shaker, M. Al-mashhadani and Y. Aygörmez, "Investigation of mechanical and durability properties of brick powder-added White Cement composites with three different fibers," *Construction and Building Materials*, vol. 347, p. 128548, 2022.
- [51] R. Arif, K. Anwar, S. Mehmet and N. Raja, "Experimental analysis on partial replacement of cement with brick powder in concrete," *Case Studies in Construction Materials*, vol. 15, p. e00749, 2021.

- [52] R. Sai, V. Sai and W. Ravikiran, "Influence of brick waste and brick waste fines as fine aggregate on the properties of paver blocks – Preliminary investigation," *Materials Today: Proceedings*, vol. 43, no. Part 2, pp. 1496-1502, 2021.
- [53] D. Sinkhonde, R. Ocharo and W. Odhiambo, "A study on mechanical properties of rubberised concrete containing burnt clay powder," *Heliyon*, vol. 8, no. 6, p. e09614, 2022.
- [54] P. Zhang, P. Zhang, J. Wu, G. Yong and Y. Zheng, "Mechanical Properties and Durability of Sustainable Concrete Manufactured Using Ceramic Waste: A Review," *Journal of Renewable Materials*, vol. 11, no. 2, pp. 937-974, 2023.
- [55] Q. Li, P. Liu, M. Wang and H. Xia, "Effects of elevated temperature on the mechanical properties of concrete with aggregate of waste porcelain tile," *Journal of Building Engineering*, vol. 64, p. 105585, 2023.

ANEXOS

**TABLA III
MATRIZ DE CONSISTENCIA**

ODS (Objetivos y Metas de Desarrollo Sostenible)	Línea de Investigación	Problema	PDRC (Plan de Desarrollo Regional Concertado)	Sublínea de Investigación	Hipótesis	Objetivo General	Objetivos Específicos	Método Propuesto
<p>ODS 12: Producción y Consumo Responsables Meta: Reducir la generación de desechos.</p>	<p>Tecnología e Innovación en el Desarrollo de la Construcción</p>	<p>¿Cómo afecta el uso de ladrillo triturado como agregado reciclado a las propiedades mecánicas del concreto?</p>	<p>Sostenibilidad en la Construcción y Reducción de Desechos</p>	<p>Innovación en Materiales de Construcción Reciclados</p>	<p>El uso de ladrillo triturado como agregado reciclado afecta las propiedades mecánicas del concreto.</p>	<p>Analizar el efecto del ladrillo triturado en las propiedades mecánicas del concreto.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Examinar las características físicas y medioambientales del ladrillo triturado. - Examinar el comportamiento físico y mecánico del concreto al incorporar ladrillo triturado. 	<p>Diseño experimental con muestras de concreto con ladrillo triturado en diferentes proporciones. Pruebas de resistencia a la compresión y tracción. Análisis estadístico de los resultados.</p>