

DOI: <https://doi.org/10.46296/ig.v7i14.0212>

USO DEL LADRILLO RECICLADO TRITURADO COMO SUSTITUTO DEL AGREGADO FINO EN DISEÑO DE HORMIGÓN DE 21 MPA

USE OF CRUSHED RECYCLED BRICK AS A SUBSTITUTE FOR FINE AGGREGATE IN 21 MPA CONCRETE DESIGN

Bravo-Segovia Catherine^{1*}; Lugo-Castillo Yeniffer Monserrate¹; Guerra-Mera Juan Carlos²

¹Carrera de Ingeniería Civil, Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas, Universidad Técnica de Manabí. Portoviejo, Manabí, Ecuador.

²Departamento de Construcciones Civiles, Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas, Universidad Técnica de Manabí, Portoviejo, Manabí, Ecuador.

*Correo: cbravo6140@utm.edu.ec

Resumen

Uno de los principales problemas que se presentan en la industria de la construcción, son los desechos sólidos que provienen de la demolición de antiguas edificaciones y que no son desechados de una manera técnica. Con la finalidad de dar una solución, reutilizando estos desechos, es importante contar con estudios técnicos, que sustenten la utilización de ladrillos reciclados triturados como sustituto al agregado fino, y poder determinar su viabilidad y resistencia. El presente estudio tiene como objetivo analizar el uso del ladrillo reciclado triturado como sustituto del agregado fino en un diseño de 21 MPa, conforme a las normativas INEN y ACI 318. La metodología empleada es de carácter mixto, siendo tanto descriptiva como experimental. Para lo cual se utilizaron agregados finos y gruesos de dos canteras ubicadas en diferentes provincias del Ecuador. La sustitución del agregado fino se la realizó en porcentajes de 15, 20, 25 y 30%, con la elaboración de 5 diseños de mezcla, siendo la mezcla inicial la estándar, y una relación agua/cemento constante de 0,55; además se utilizó un aditivo súper plastificante. Se elaboraron 35 cilindros de hormigón, de 100 x 200 mm, los cuales fueron sometidos a la resistencia a compresión y se pudo determinar cuál porcentaje fue el más óptimo. Con esto se pudo demostrar que un hormigón compuesto de ladrillos reciclado triturados, sustituyente hasta un 25% del agregado fino, es resistente y trabajable.

Palabras clave: Ladrillos triturados, resistencia a compresión, agregados, trabajabilidad, diseño de mezclas.

Abstract

One of the main problems in the construction industry is the solid waste that comes from the demolition of old buildings and that is not disposed of technically. To provide a solution, for reusing this waste, it is important to have technical studies that support the use of recycled crushed bricks as a substitute for fine aggregate and to be able to determine its viability and resistance. This study aims to analyze the use of crushed recycled brick as a substitute for fine aggregate in a 21 MPa design, per INEN and ACI 318 standards. The methodology used is of a mixed nature, being both descriptive and experimental. For this purpose, fine and coarse aggregates from two quarries located in different provinces of Ecuador were used. The fine aggregate was substituted in percentages of 15, 20, 25 and 30%, with the elaboration of 5 mix designs, being the initial mix the standard one, and a constant water/cement ratio of 0.55; in addition, a super plasticizing additive was used. Thirty-five concrete cylinders of 100 x 200 mm were made, which were subjected to compressive strength and it was possible to determine which percentage was the most optimal. With this, it was possible to demonstrate that a concrete composed of crushed recycled bricks, substituting up to 25% of the fine aggregate, is resistant and workable.

Keywords: Crushed bricks, compression resistance, aggregates, workability, mix design.

Información del manuscrito:

Fecha de recepción: 02 de noviembre de 2023.

Fecha de aceptación: 23 de diciembre de 2023.

Fecha de publicación: 10 de julio de 2024.



1. Introducción

Los nuevos proyectos en el campo de la ingeniería civil, en el sector de la construcción, generan un aumento significativo en los desechos que provienen de la demolición, construcciones defectuosas y estructuras colapsadas por desastres naturales, que no son desechadas de una forma técnica y esto representa el mayor impacto ambiental asociado a esta industria.

El presente estudio se enfoca en la factibilidad del empleo del ladrillo reciclado triturado como componente esencial en el diseño de un hormigón de 21 MPa. A través de rigurosos análisis y pruebas, se busca evaluar su influencia en las propiedades mecánicas del hormigón resultante. Por lo que, se examina el potencial de este material y de esta manera, disminuir la generación de residuos. Esta investigación tiene un aporte fundamental a la promoción de prácticas constructivas más sostenibles y responsables. Al integrar el ladrillo reciclado triturado en el diseño de hormigones de 21 MPa, se da a conocer un diseño de hormigón más sustentable en la industria de la construcción.

Según un estudio realizado por Suárez et al. (2019) sobre la gestión de los desechos provenientes de la construcción y demolición, menciona que “estos residuos de construcción y demolición (RCD), no tienen una composición particular y varían según su estructura, proceso de demolición y los sistemas de gestión ambiental aplicados” (pág. 226) De modo que, los procesos de demolición y la gestión inadecuada de estos RCD contribuyen a la contaminación ambiental, ya que cada desecho tiene sus propias formas de descomposición.

Llatas (2011) hace alusión a que, los residuos de construcción y demolición representan aproximadamente el 35% del total de residuos globales, la mayor proporción de los residuos que se disponen en las escombreras corresponden a los componentes de la construcción de edificaciones y obras civiles (pág. 1261), muchos de estos desechos terminan en vertederos o en lugares inadecuados que desfavorecen las funciones de los mismos.

Esta práctica habitual genera una serie de impactos negativos en el medio ambiente, como la

contaminación del aire, pérdida de recursos naturales que ocasionan riesgos para la salud. "En el mundo, cada año se producen más de 6,5 mil millones de toneladas de RCD, de las cuales entre 2,6 y 3 mil millones de toneladas corresponden a residuos inertes de la construcción y de la demolición" (Suárez et al. 2019, pág. 226), sin embargo, Olofinnade et al. (2017) describe que, la industria de la construcción está trabajando para resolver el problema de la contaminación ambiental causados por los desechos de construcción mediante el concepto de reducción, reciclaje y reutilización de los residuos como materiales de reemplazos en la construcción. La gestión adecuada de los RCD es importante, porque permite reducir su impacto ambiental y promover la sostenibilidad, además contribuye a que se implementen medidas preventivas como solución innovadora y ecológica para mitigar la contaminación ambiental.

Algunas investigaciones examinan el uso de diversos RCD como sustitutos de los agregados en la producción de hormigón. Varios incluyen residuos de vidrio, residuos de ladrillos, escombros de hormigón

reciclado, residuos de plástico (Olofinnade y Ogara, 2021), que de cierta manera, aportan a la reducción de la extracción de recursos naturales y la disminución de la cantidad de residuos depositados en vertederos.

La resistencia del hormigón es un factor importante para considerar en la construcción. Al evaluar la resistencia del hormigón reemplazando al agregado fino por la ceniza de la cascarilla de arroz no es viable en porcentajes de 20% debido a que no cumple con las propiedades de dureza, cohesión y durabilidad (Guevara, 2019), por lo cual es necesario sustituir al agregado fino por la cascarilla de arroz en porcentajes menores al 20%. De manera similar el estudio de Hernández y Rojas (2022) manifiestan que, el vidrio molido reciclado como sustituto parcial del agregado fino es útil, aunque tuvo mejores resultados con porcentajes de sustitución de 6%, por lo cual es más beneficioso emplear sustituciones de bajo rango de vidrio molido reciclado para lograr los objetivos planteados. Entonces se puede decir, que los desechos de las diferentes materias ya sean

orgánicos e inorgánicos, previo a un tratamiento pueden ser reutilizados en la industria de la construcción civil.

La pérdida temprana de durabilidad del hormigón generalmente es causada por la mala selección de materiales, el incumplimiento de las normativas establecidas, las incorrectas dosificaciones, la poca evaluación del entorno, entre otros (Guerra-Mera et al.; 2023, p.5). Una buena selección de agregados, más una composición adecuada es crucial para conseguir una mezcla de hormigón en términos de calidad y desempeño (Espinales et al.; 2023, p.612). La textura altera la adherencia de las partículas del agregado con los demás componentes del hormigón, generando una mejor o peor unión entre ellos, teniendo un efecto directo en la resistencia a compresión del material (García et al.; 2023, p.27). Estos hallazgos científicos subrayan la importancia de la proporción y selección adecuada de sustitutos de agregados en la construcción, así como la necesidad de una planificación y ejecución rigurosa de los proyectos de construcción para

garantizar la durabilidad y el rendimiento a largo plazo. Además, destaca la necesidad de investigaciones continuas para comprender plenamente el impacto de los sustitutos en las propiedades de los materiales de construcción y su comportamiento en condiciones reales.

Uno de los materiales de RCD son los ladrillos de arcilla, los cuales han demostrado ser un material económico para reducir la pérdida natural de agregados y el peso del hormigón (Tareq Noaman et al. 2021, pág. 241). Según Chavarria et al. (2021) los estudios han evidenciado que, el diseño de mezclas con adiciones de arcilla cocida para el hormigón estructural con el 25% de arcilla cocida en reemplazo del agregado fino mejora su comportamiento. Los ladrillos reciclados triturados (LRT) podrían usarse de manera efectiva para sustituir parcialmente al agregado fino en la producción de hormigón sustentable de resistencia moderada a alta con un porcentaje de reemplazo óptimo de 10% (Olofinnade y Ogara, 2021). Siendo la arcilla un material económico, de fácil moldeabilidad y de usos

diferentes dentro de la industria de la construcción, es importante considerar los porcentajes que se deben utilizar como sustitutos en la elaboración del hormigón.

El uso del ladrillo reciclado triturado como sustituto del agregado fino en el diseño de hormigón de 21 MPa no solo ofrece una optimización de la composición del hormigón y beneficios ambientales, sino que también abre la puerta a futuras investigaciones que puedan aplicarse en la ingeniería civil y la construcción sostenible.

Por lo que, el objetivo de la presente investigación es evaluar el uso de LRT que provienen de desechos, como sustitutos al agregado fino (arena de mina) para elaborar hormigón con una resistencia de 21MPa para aplicaciones estructurales. En esta investigación, además se analiza la trabajabilidad, propiedades resistentes y porcentajes óptimos de sustitución del LRT en la mezcla para su posible uso como hormigón estructural en la construcción.

2. Metodología

2.1. Selección de materiales

De acuerdo a lo señalado en el ACI 318, y con la finalidad de cumplir con el objetivo planteado, de alcanzar una resistencia a compresión especificada de 21 MPa, para la determinación de la resistencia promedio a compresión requerida se empleó la ecuación 1.

$$f_{cr} = f_c + 8.3 = 29.3 \text{ MPa}$$

En el presente estudio, se utilizaron materiales como: cemento de marca Holcim Fuerte, siendo un cemento hidráulico tipo GU para uso general. Los agregados se obtuvieron de dos canteras del país, el agregado fino de la cantera del cantón Santo Domingo (CS), mientras que, el agregado grueso de tamaño máximo 1" de la cantera del cantón Portoviejo (CP). El LRT se recolectó con la demolición de una vivienda familiar ubicada en el cantón Rocafuerte, que fue construida en el año 2015, además, en las mezclas de hormigón se utilizó el aditivo MasterGlenium 7971 que es un súper plastificante reductor de agua, el cual fue empleado en un 0,6% con respecto al peso del cemento, con el propósito

de mejorar la trabajabilidad de la mezcla.

2.2. Métodos empleados en los materiales

Para evaluar la calidad y viabilidad de los agregados, se sometieron a una serie de pruebas, para su respectiva caracterización. Entre estas pruebas se incluyó, el análisis granulométrico (NTE INEN 0696) para determinar la distribución del tamaño de partículas de los agregados, el ensayo de gravedad específica y la capacidad de absorción del agregado grueso (NTE INEN 0857) y agregado fino (NTE INEN 0856), así como también, el ensayo de masa unitaria y

porcentaje de vacíos para medir los pesos sueltos y compactados de los agregados de acuerdo a la norma INEN 0858.

2.3. Dosificación de mezclas de hormigón

La dosificación del hormigón convencional se efectuó acorde a la metodología del Instituto Americano de Concreto ACI 318. En la tabla 1, se presenta el resumen de las dosificaciones de la mezcla de hormigón, adoptando una relación agua/cemento de 0,55 y el uso del aditivo súper plastificante MasterGlenium 7971 de alto rango de nueva generación.

Tabla 1.
Materiales de mezcla de hormigón y dosificación.

Referencia de mezcla		Materiales (kg)					
		Cemento	Agregado fino	Agregado grueso	LRT	Agua	Aditivo
Mezcla 1	Estándar	4,80	8,62	11,76	-	2,63	0,029
Mezcla 2	LRT15	4,80	7,23	11,76	1,50	2,63	0,029
Mezcla 3	LRT20	4,80	6,73	11,76	1,98	2,63	0,029
Mezcla 4	LRT25	4,80	6,34	11,76	2,49	2,63	0,029
Mezcla 5	LRT30	4,80	5,85	11,76	2,95	2,63	0,029

La mezcla 1 corresponde a la mezcla estándar, que estuvo constituida por un hormigón producido con materiales convencionales para lograr una resistencia a compresión

especificada de 21 MPa y una resistencia a compresión media requerida de 29,3 MPa. Mientras que las otras mezclas, contenían ladrillos reciclados triturados, utilizados para

sustituir parcialmente al agregado fino con porcentajes de 15, 20, 25, y 30% combinadas con la misma proporción de cemento, agregado grueso, agua y súper plastificante incluidos en la mezcla estándar. Todos los agregados señalados,

fueron mezclados cuidadosamente para que exista uniformidad. Posteriormente, la trabajabilidad se determinó bajo las condiciones de la NTE INEN 1578:2010, como se indica en la figura 1.



Figura 1. Ensayo de Cono de Abrams para medir la consistencia del hormigón.

2.4. Preparación y prueba de muestras

Para el presente estudio, se prepararon 35 cilindros estandarizados de 100 × 200 mm, distribuidos en cinco grupos según los porcentajes de sustitución del LRT, en la cual se obtuvieron siete muestras (dos a los 7, dos a los 14 y tres a los 28 días) para cada combinación: estándar, LRT15, LRT20, LRT25 y LRT30 cómo se indica en la figura 2. Después de 24 horas, se desmoldaron cuidadosamente para evitar

cualquier daño que pudiera afectar los resultados del ensayo de resistencia a compresión.



Figura 2. Probetas en estudio.

Las muestras endurecidas se pesaron después de 7, 14 y 28 días de curado para determinar la densidad de los cilindros, la cual se estimó con la ecuación 2. Donde ρ es la relación masa/volumen del espécimen como se indica en la figura 3.

$$\rho = \frac{m(\text{gr})}{v(\text{cm}^3)}$$



Figura 3. Registro de pesos de las probetas.

Los ensayos de resistencia a compresión (NTE INEN 1573) se realizaron después de 7, 14 y 28 días, registrando el promedio de las muestras para cada edad de curado. Estos procedimientos se efectuaron mediante el uso de la prensa hidráulica (figura 4).



Figura 4. Evaluación de la resistencia a compresión del hormigón a través del empleo de la prensa de hormigón.

Las muestras fueron preparadas y sometidas a pruebas en el laboratorio de suelos de la Facultad de Matemáticas, Físicas y Químicas de la Universidad Técnica de Manabí, así como también en TecnisuelosNec.

3. Resultados y discusión

3.1. Características físicas de los agregados

En la figura 5, se detalló la distribución de los tamaños de partículas del agregado fino y del LRT.

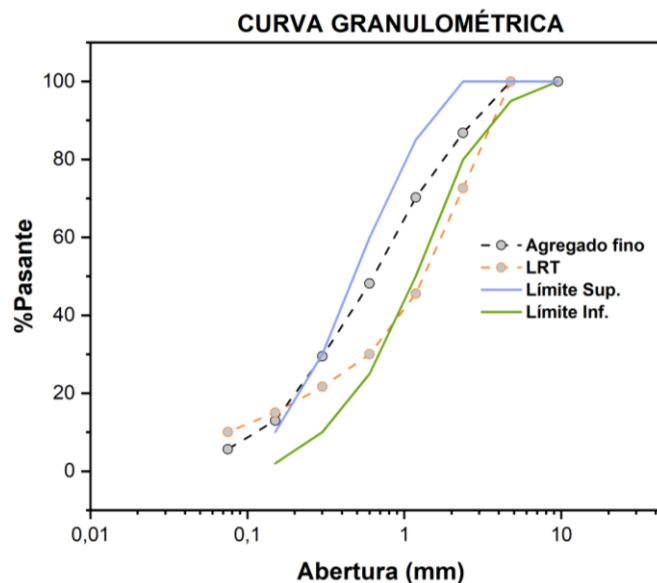


Figura 5. Distribución granulométrica del agregado fino y el LRT.

La faja granulométrica del LRT, estuvo por debajo de los límites inferiores desde el tamiz N°8 (2,36 mm) hasta el tamiz N°16 (1,18 mm); en cambio, la faja granulométrica del agregado fino se situó por encima de los límites superiores en el tamiz N°100 (0,15 mm); sin embargo, la mayor parte de los porcentajes pasantes se ajustan a las especificaciones.

De acuerdo a los datos presentados en la tabla 2, el módulo de finura del agregado fino cumplió con los límites de 2,3 a 3,1 especificados en la NTE INEN 0872, a diferencia del módulo de finura del LRT que excedió este

rango. Los resultados de la gravedad específica del agregado fino y grueso estuvieron dentro de los límites aceptables de 2400 a 3000 kg/m³, así como su peso volumétrico, el cual oscila entre 1120 a 1920 kg/m³, como lo indica la norma INEN 0694, catalogándolos como agregados con densidad normal. No obstante, el LRT mostró una densidad menor debido a su peso volumétrico inferior a 1120 kg/m³. Por otra parte, la capacidad de absorción de agua del LRT fue superior en comparación con los agregados naturales, incluso superó con un 99,07% a su humedad natural.

Tabla 2.*Propiedades físicas de los agregados del hormigón.*

Características de los materiales	Agregado fino	Agregado grueso	LRT
PUS	1293	1356	902
PUC	1488	1475	1000
Módulo de finura	2,48	-	3,16
Absorción de agua %	3,49	4,60	20,48
Gravedad específica SSS	2560	2610	1970
Contenido humedad %	1,42	4,04	0,19

Peso unitario suelto (PUS); Peso unitario compactado (PUC); Superficie saturada seca (SSS).
(kg/m³).

La tabla 3, indica las características físicas de la mezcla de los agregados finos con los porcentajes de sustitución. Al agregar LRT a la mezcla de hormigón, se sustituyó una parte de agregado fino, lo que indica que el LRT al tener un tamaño de partícula mayor que el agregado fino, el módulo de finura aumentó;

sin embargo, las mezclas de agregados finos se encuentran en los límites de 2,3 a 3,1 especificados en la NTE INEN 0872. Los resultados de los ensayos de gravedad específica revelaron que, el LRT30 disminuyó en un 3,64% en comparación con el LRT15.

Tabla 3.*Propiedades físicas de la mezcla de los agregados finos con su respectivo porcentaje de sustitución.*

Características de los materiales	LRT15	LRT20	LRT25	LRT30
PUS	1234	1214	1195	1175
PUC	1415	1390	1366	1342
Módulo de finura	2,58	2,62	2,65	2,68
Absorción de agua %	6,05	6,90	7,75	8,59
Gravedad específica SSS	2469	2439	2410	2381

3.2. Determinación de la densidad de las probetas

En la figura 6, se muestra el promedio de las densidades de las probetas para cada edad de curado. A los 28 días de curado, el hormigón estándar obtuvo la misma densidad que el hormigón con LRT15; por el contrario, el hormigón con LRT25 superó en un 0,42% a la

combinación con LRT20 y el hormigón con LRT30 fue menor en comparación con las otras combinaciones. Las densidades de las muestras a los 28 días cumplieron con los intervalos establecidos, a diferencia del LRT30 que, al tener un porcentaje de sustitución mayor, experimentó una disminución en su densidad.

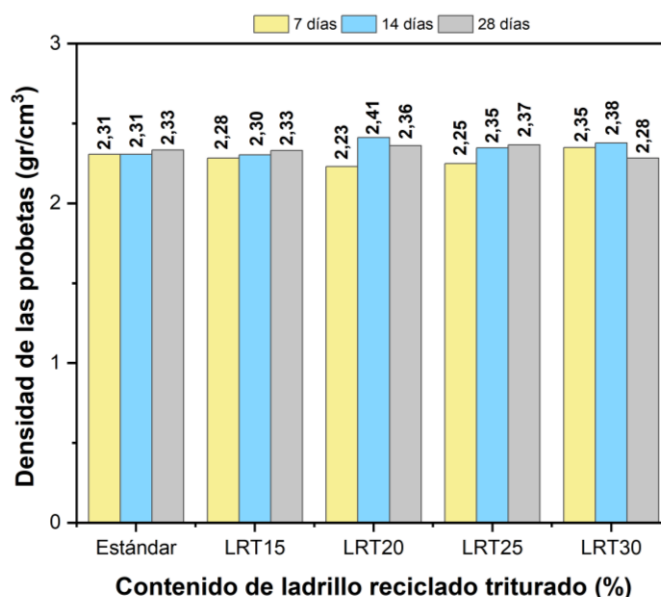


Figura 6. Variación de la densidad en función al aumento de porcentaje de LRT.

3.3. Trabajabilidad

Para verificar la trabajabilidad de las mezclas de hormigón, se analizaron cinco muestras como se observa en la figura 7, obteniendo una diferencia del 8% en el asentamiento de la

mezcla estándar en relación con LRT15 y un 12% con las otras combinaciones. Los resultados varían entre 110 a 125 mm, lo que indica un asentamiento moderado, bajo las condiciones de la norma INEN 1578:2010.

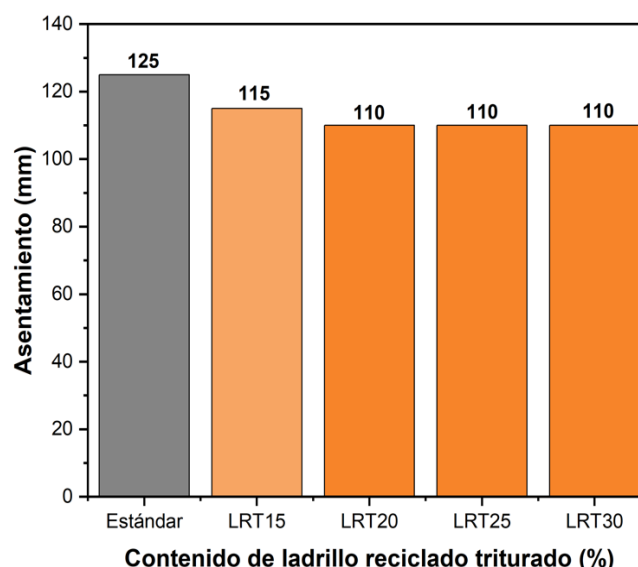


Figura 7. Variación del asentamiento en función al aumento de porcentaje de LRT.

3.4. Propiedades mecánicas

3.4.1. Resistencia a compresión

La figura 8, muestra el comportamiento de la mezcla estándar y las mezclas con LRT utilizadas para la sustitución parcial del agregado fino, a los 7, 14 y 28 días de curado mediante el ensayo de resistencia a compresión. La resistencia del hormigón endurecido, aumenta a medida que avanzan los días de curado.

A los 7 días de curado, el hormigón con LRT30 superó con 10,94 % al diseño estándar; además, el LRT25 con una resistencia de 28,84 MPa fue mayor que las otras combinaciones, con un incremento de 13,94 % de resistencia en los 14

días de curado en comparación con el diseño estándar.

A partir de los resultados obtenidos, la mayor resistencia se alcanzó en el hormigón con LRT15 a los 28 días, teniendo una resistencia a compresión de 33,48 MPa, que está por encima de la resistencia a compresión especificada de 21 MPa y una resistencia a compresión media requerida de 29,3 MPa.

La resistencia mejoró considerablemente en las combinaciones LRT15, LRT20 y LRT25, atribuida al agregado de LRT que actúa como material puzolánico. Sin embargo, la combinación LRT30 experimentó una disminución en la resistencia, indicando que, el

aumento de LRT genera mayor porosidad y menor adherencia con la pasta de cemento.

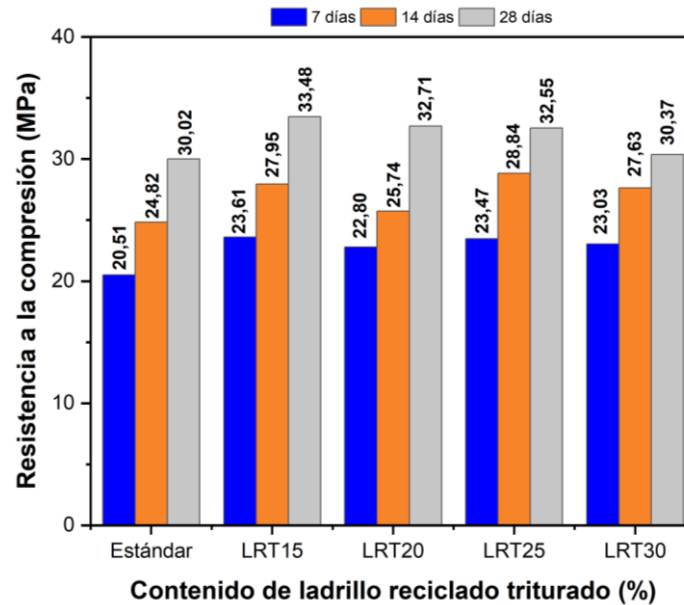


Figura 8. Variación de la resistencia a compresión respecto al tiempo de curado.

4. Conclusiones

- Mediante la evaluación de las características físicas del ladrillo reciclado triturado se comprueba que, este material posee propiedades que son adecuadas para emplearse como un agregado fino en la elaboración de mezclas de hormigón.
- Las mezclas que contienen LRT no presentan una mejor trabajabilidad en comparación con la mezcla estándar con la misma relación agua/cemento (a/c). Sin embargo, la adición de un súper plastificante da como resultado mezclas trabajables.
- El hormigón producido con ladrillo reciclado triturado en porcentajes de 15, 20, 25 y 30%, logra satisfacer los requisitos de resistencia a compresión, por ello supera una resistencia a compresión especificada de 21 MPa y una resistencia a compresión media requerida de 29,3 MPa.
- El diseño con sustitución del 15% de LRT destaca como el óptimo, teniendo una resistencia mayor de 33,48 MPa a los 28 días de

curado en comparación con los otros porcentajes; no obstante, las mezclas con proporciones mayores muestran resistencias superiores al diseño estándar.

- Este estudio demuestra que, el agregado de ladrillo reciclado triturado, puede emplearse con una sustitución de hasta 25%, manteniendo una relación a/c constante en el diseño y un 0,6% de aditivo con respecto al contenido de cemento.

Bibliografía

- Chavarria-Reyes, L. J., Chavarry-Vallejos, C., Valencia-Gutiérrez, A., Pereyra-Salardi, E., & Hurtado-Iglesias, C. (2021). Arcilla cocida como agregado fino para mejorar las propiedades mecánicas del hormigón estructural. *Aporte Santiaguino*, 14(2), 147-158.
- Espinales, V. J. P., Lago, B. C., & Mera, J. C. G. (2023). Composición de mezclas de agregados gruesos y finos en la resistencia a la compresión y porosidad del hormigón. *Polo del Conocimiento*, 8(11), 600-613.
- García-Moreta, L. D., Morrillo-García, V. A., & Guerra-Mera, J. C. (2023). Características de dos agregados gruesos triturados que influyen en la porosidad del hormigón. *Revista Científica INGENIAR: Ingeniería, Tecnología E Investigación*, 6(11 Ed. esp.), 16-28.
<https://doi.org/10.46296/ig.v6i11edespfeb.0086>
- Guerra-Mera, J. C., Puig-Martínez, R., Castañeda-Valdés, A., & Baque-Camposano, B. P. (2023). Estado del arte sobre durabilidad de estructuras de hormigón armado en perfiles costeros. *Revista Científica INGENIAR: Ingeniería, Tecnología e Investigación*, 6(11), 2-20.
<https://doi.org/10.46296/ig.v6i11edespfeb.0086>
- Guevara, A. D. (2019). Evaluación de la resistencia del concreto con reemplazo del agregado fino por ceniza de cascarilla de arroz. <http://repository.unipiloto.edu.co/handle/20.500.12277/6479>
- Hernández-Doria, E., & Rojas-Montañez, J. P. (2022). Estudio de la resistencia a la compresión del concreto, con vidrio molido reciclado como sustituto parcial del agregado fino. <https://repository.ucatolica.edu.co/entities/publication/13d79ca5-8dc9-4655-aaa4-57480ad3748c>
- Instituto Americano del Concreto. ACI 318: Requisitos del código de construcción para hormigón estructural.

- Llatas, C. (2011). A model for quantifying construction waste in projects according to the European waste list. *Waste Management*, 31(6), 1261-1276.
- NTE INEN 1573. (2010). Instituto Ecuatoriano de Normalización, Norma Técnica Ecuatoriana. Resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de hormigón de cemento hidráulico.
- NTE INEN 1578. (2010). Instituto Ecuatoriano de Normalización, Norma Técnica Ecuatoriana. Asentamiento del Hormigón de Cemento Hidráulico (Revenimiento).
- Olofinnade, O. M., Ndambuki, J. M., Ede, A. N., & Booth, C. (2017). Application of Waste Glass Powder as a Partial Cement Substitute towards more Sustainable Concrete Production. *International Journal of Engineering Research in Africa*, 31, 77-93.
- Olofinnade, O., & Ogara, J. (2021). Workability, strength, and microstructure of high strength sustainable concrete incorporating recycled clay brick aggregate and calcined clay. *Cleaner Engineering and Technology*, 3, 100123.
- Suárez-Silgado, S. S., Betancourt Quiroga, C., Molina Benavides, J., & Mahecha Vanegas, L. (2019). La gestión de los residuos de construcción y demolición en Villavicencio: Estado actual, barreras e instrumentos de gestión. *Entramado*, 15(1), 224-244.
<https://doi.org/10.18041/1900-3803/entramado.1.5408>
- Tareq-Noaman, A., Subhi Jameel, G., & Ahmed, S. K. (2021). Producing of workable structural lightweight concrete by partial replacement of aggregate with yellow and/or red crushed clay brick (CCB) aggregate. *Journal of King Saud University - Engineering Sciences*, 33(4), 240-247.