

**Ladrillo reciclado como material alternativo
para la fabricación de mampostería**

**Recycled brick as an alternative
material for the manufacture of masonry**

Otto Omar Rodas Cabrera¹
Universidad Católica de Cuenca - Ecuador
otto.rodas.58@est.ucacue.edu.ec

Pedro Javier Angumba Aguilar²
Universidad Católica de Cuenca - Ecuador
pangumba@ucauce.edu.ec

doi.org/10.33386/593dp.2024.3.2481

V9-N3 (may-jun) 2024, pp 1200-1221 | Recibido: 2 de abril del 2024 - Aceptado: 07 de mayo del 2024 (2 ronda rev.)

1 Arquitecto, Servidor Público de la Contraloría General del Estado, estudiante de la maestría en Construcciones con mención en Administración de la Construcción Sustentable.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4077-5826>

2 Profesional de la arquitectura en libre ejercicio y docente de la Universidad Católica de Cuenca, actualmente Subdirector de Carrera, docente titular a tiempo completo Maestría en Construcciones con mención en Administración de la Construcción Sustentable,

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8327-1428>

Descargar para Mendeley y Zotero

RESUMEN

La industria de la construcción es responsable del 75% del consumo de recursos naturales de la tierra y sus desechos representan el 50% del volumen dispuesto en los vertederos, generando impactos negativos para la economía, sociedad y medio ambiente. En la ciudad de Cuenca se registra un promedio mensual de 25.000 m³ de escombros. El ladrillo y concreto representan el 75% de los desechos de una construcción. El objetivo de esta investigación es determinar el volumen de ladrillo desechado y sus características técnicas, para constituirlo como material alternativo en la fabricación de un elemento de mampostería, aportando en la reducción del consumo de recursos naturales y la contaminación ambiental. Esta investigación es de tipo mixta, (cuantitativa y cualitativa) experimental que recopila datos proporcionados por los constructores expertos del Colegio de Arquitectos del Azuay mediante una encuesta digital y la revisión de información bibliográfica. Como resultado se tiene que las 1250 edificaciones construidas por estos profesionales generan 656,25 m³ de ladrillo desechado al año, siendo considerarlo como material alternativo para la fabricación del nuevo elemento de mampostería. En base a la bibliografía revisada se elaboraron 2 tipos de bloques reemplazando el material de pómez por ladrillo triturado. Los bloques que reemplazaron el 30% del árido grueso (Tipo B), incrementan un 15% de su peso y mantiene la resistencia a la compresión y cumplen el requerimiento exigido por la Norma Técnica Ecuatoriana y las exigencias de la presente investigación; mientras que, los que reemplazaron el 100% del volumen de polvo, obtuvieron resultados insatisfactorios, su peso resultó similar, pero su resistencia a la compresión se redujo al 47%. La fabricación de 60 bloques Tipo B permitirá ahorrar de 0,18 m³ de material natural y su utilización en una vivienda de 150 m² evitará la explotación natural de 15 m³ de material natural.

Palabras claves: ladrillo desechado, contaminación ambiental, reciclaje, mampostería, resistencia

ABSTRACT

The construction industry is responsible for 75% of the consumption of the earth's natural resources and its waste represents 50% of the volume disposed of in landfills, generating negative impacts for the economy, society and the environment. In the city of Cuenca, a monthly average of 25,000 m³ of debris is recorded. Brick and concrete represent 75% of construction waste. The objective of this research is to determine the volume of discarded brick and its technical characteristics, to constitute it as an alternative material in the manufacture of a masonry element, contributing to the reduction of the consumption of natural resources and environmental pollution. This research is of a mixed type, (quantitative and qualitative) experimental that collects data provided by the expert builders of the College of Architects of Azuay through a digital survey and the review of bibliographic information. As a result, the 1,250 buildings built by these professionals generate 656.25 m³ of discarded brick per year, being considered an alternative material for the manufacture of the new masonry element. Based on the reviewed bibliography, 2 types of blocks were made, replacing the pumice material with crushed brick. The blocks that replaced 30% of the coarse aggregate (Type B) increased their weight by 15% and maintained their compressive strength and met the requirement demanded by the Ecuadorian Technical Standard and the demands of this research; while those that replaced 100% of the powder volume obtained unsatisfactory results, their weight was similar, but their compressive strength was reduced to 47%. The manufacture of 60 Type B blocks will save 0.18 m³ of natural material and their use in a 150 m² house will avoid the natural exploitation of 15 m³ of natural material.

Keywords: discarded brick, environmental contamination, recycling, masonry, resistance.

Introducción

La industria de la construcción es responsable del 75% del consumo de los recursos naturales de la tierra. Por otra parte, las constructoras generan enormes cantidades de desechos a través de sus procesos de construcción de obras, demoliciones y remodelaciones, que a menudo terminan en vertederos improvisados en lugar de eliminarse adecuadamente, abrumando los botaderos municipales y creando sitios informales de eliminación (Infobae, n.d., 2019).

La generación de residuos de la construcción constituye un problema crucial en la industria de la construcción en todo el mundo, ya que tiene un impacto negativo significativo en el medio ambiente, la economía y la sociedad; siendo responsable hasta de un 50% de los residuos existentes en los vertederos (Domingo & Batty, 2021) economy and society. New Zealand (NZ; pues el incremento de la población y la urbanización han llevado a la demolición de edificaciones de poca altura, para reemplazarlas por estructuras en altura, constituyendo una causa para el agotamiento de los recursos naturales a un ritmo alarmante y ha generado un desafío para la sostenibilidad (Kisku et al., 2017).

En la ciudad de Cuenca, se registra un promedio mensual de 25.000,00 m³ de escombros dispuestos por la EMAC EP. (*Escombrera – EMAC*, n.d.). El manejo técnico y seguro de los desechos por parte de esta empresa, evita impactos como:

Alteración de orillas de los ríos y quebradas.

Taponamiento de quebradas o reducción de la sección de ríos.

Alteración en la calidad del agua de ríos, perjudicando la flora y fauna.

Deslizamientos de materiales en sitios no autorizados que puedan ocasionar daños ambientales y/o edificaciones.

En general, los residuos de ladrillo y concreto pueden constituir hasta el 75% de una

obra de construcción, por lo que, al reciclarlos se contribuiría a reducir la gran variedad de residuos que se depositan en los vertederos, así como se ayudaría a reducir el impacto medioambiental; y, se reducirían los costos que se generan por el uso de agregados, evitando la explotación innecesaria de canteras (Muñoz-Pérez et al., 2021) los cuales debido a un exceso de compra, o por rotura mediante traslado no se utilizan totalmente. El presente trabajo tiene como objetivo lograr una revisión sistemática sobre el uso de ladrillos triturados en el concreto, con el fin de sintetizar los resultados obtenidos y discutir la posibilidad de poder utilizar en las diferentes áreas de la construcción este material reciclado. Se hizo una revisión de 50 artículos indexados entre los años 2015 al 2021, distribuido de la siguiente manera: 40 artículos son de Scopus y 10 de ScienDirect, de los cuales muestran como influye el ladrillo triturado en las propiedades del concreto. La revisión de los resultados constataron que los agregados de ladrillos reciclados (RBA. Como una estrategia para aplicar la economía circular se considera el reciclaje de los materiales usados (Minunno et al., 2018), como el proceso de reutilización de materiales desechados para reintroducirlos en el ciclo de producción, reduciendo el consumo de materias primas, disminuyendo el volumen total de residuos y creando miles empleos.

La gran cantidad de material desechado constituye un enorme potencial de reutilización (Narcis et al., 2019). Con los destinos y procesamientos adecuados, los materiales reciclados pueden reemplazar a los materiales extraídos de depósitos naturales o canteras para formar nuevos elementos de construcción, manteniendo una calidad similar o superior a los tradicionales.

Este material desechado, y en especial el ladrillo, podría ser reciclado como materia prima para elaborar elementos alternativos para la construcción, que sean decorativos y de alta resistencia, destinados para pisos o paredes, generando además, innovación y ahorro; otras razones para escogerlo son: el buen aporte al control de temperatura y humedad (Sathiparan et al., 2022); y, porque se obtienen las mejores

resistencias (Augusto Euphrosino et al., 2022) juntamente com o crescimento de normas, programas e certificações que atuam nos setores industriais com a finalidade de mitigar ações que prejudiquem o meio ambiente. A indústria da construção civil é uma das que mais contribuem com o prejuízo ambiental devido seus altos índices de perdas e desperdícios. Consequentemente, o uso de materiais sustentáveis na construção se encontra cada vez mais necessário. Esse trabalho tem como objetivo principal um estudo do tijolo solo-cimento, mais conhecido como tijolo ecológico, produzido em olaria comunitária e usado em HIS (Habitação de interesse social y (Zanelli et al., 2021).

Como resultado, se reducirán impactos ambientales negativos generados por desechos de construcción y se aprovechará este volumen desechado, como materia prima para generar productos alternativos de construcción, que sean competitivos e innovadores.

Es importante considerar que el gobierno otorgue incentivos y reconocimientos a las personas u organizaciones que innoven nuevos productos (Ghaffar et al., 2020), para lo cual, el GAD Municipal de Cuenca tiene que determinar políticas adecuadas; entre una de ellas, dirigir y administrar conjuntamente con la empresa privada, un sistema de reciclaje para apoyar la creación y fabricación de dichos productos.

Es muy importante escoger un método de reciclaje que sea sustentable (Krauklis et al., 2021), esto permitirá que la cantidad y calidad del material requerido para la producción del elemento alternativo de construcción llegue oportunamente.

Es necesario que el proceso de reciclaje del ladrillo sea coordinado con el GAD municipal de Cuenca para que, se defina un espacio físico para clasificarlo, triturarlo y almacenarlo, previo a la fabricación del nuevo elemento constructivo.

En la elaboración de hormigones con un reemplazo del 15% de los áridos tradicionales por ladrillo triturado, se obtiene la misma resistencia a la comprensión; y al reemplazar un 30% de los

áridos, se obtiene una resistencia reducida en el 20% (Cachim, 2009). Por otra parte, el reemplazo de áridos de ladrillo en lugar de la piedra pómez, podría influir en las propiedades del hormigón resultante del nuevo elemento, según el tipo y proceso de fabricación del ladrillo.

Los elementos fabricados con ladrillo reciclado pueden ser utilizados en la construcción de viviendas populares o proyectos del estado y competir con el ladrillo que tradicionalmente es producido mediante la cocción de arcilla (Zhang et al., 2018) y que en la ciudad de Cuenca tiene una resistencia a la compresión de 59,86 Kg/cm² o 5,87 MPa (Ullauri et al., n.d.).

Con la reutilización del ladrillo para la fabricación de un nuevo elemento constructivo, se disminuirá la extracción de materiales provenientes del medio ambiente, al reemplazar los agregados naturales (Kazemi et al., 2019), así como se logrará reducir el costo de producción por la utilización de material de desecho (Adesina & Awoyera, 2019) y se aportará con nuevas soluciones para construir proyectos en beneficio de la población cuencana, generará plazas de trabajo y reducirá costos del producto final.

Método

El presente estudio constituye una investigación mixta (cuantitativa y cualitativa) experimental y los datos son proporcionados por los profesionales expertos en la construcción que forman parte del Colegio de Arquitectos del Azuay y los resultados obtenidos en laboratorio.

Para estimar el volumen de ladrillo desechado de las construcciones de 2 pisos, se utiliza como instrumento una encuesta digital, con un universo 1637 profesionales expertos de la construcción que se encuentran registrados en el Colegio de Arquitectos del Azuay y se obtiene una muestra mediante el cálculo de la ecuación 1:

$$n = \frac{k^2 p Q N}{e^2 (N - 1) + k^2 p Q}$$

Entonces, nos planteamos un nivel de confianza del 90% y un error muestral deseado del 10%, determinándonos una muestra representativa de 72 individuos.

Con las variables planteadas sobre el volumen de ladrillo desechado y propiedades de elementos de mampostería utilizados tradicionalmente por constructores, se propone 20 preguntas para determinar la experiencia en construcción por parte de estos profesionales, su familiaridad con el uso y empleo de ladrillo, sus preferencias, así como sus expectativas con los elementos de mampostería y determinar si cumplen la normativa.

La encuesta pretende determinar que los resultados sean consecuentes con la realidad de la construcción. Por tal motivo, con la finalidad de depurar errores y mejorar la calidad de las preguntas, se realiza una encuesta preliminar dirigida a 16 expertos que pertenecen al gremio considerado y luego se procede con la encuesta definitiva a 72 profesionales.

El formulario de preguntas se realizó mediante la aplicación web “*Formularios de Google*”, cuya entrega se la realiza mediante un enlace enviado a los correos electrónicos de los profesionales del Colegio de Arquitectos, permitiendo obtener respuesta de manera inmediata y oportuna para el posterior procesamiento de datos.

El procedimiento se realizó de manera libre y voluntaria, bajo el consentimiento de los profesionales vinculados al Colegio de Arquitectos del Azuay, resguardando su confidencialidad y sin exponerse a ningún tipo de riesgo.

Los datos fueron registrados de manera automática en el software de la aplicación utilizada, obteniendo los resultados en tiempo real y de manera precisa mediante la representación de gráficos y tablas de cálculo Excel.

Se revisa información bibliográfica y se determina características técnicas que requiere un elemento para

mampostería, así como se analiza los resultados de hormigones elaborados con ladrillo reciclado para determinar su aplicación en el nuevo elemento constructivo.

Se propone el tamaño y forma del nuevo elemento propuesto, basado en las mamposterías tradicionales y los requerimientos de los expertos de la construcción.

Resultados

Luego de procesar la información de las encuestas se determinó que el 94.40 % de los arquitectos considerados en la muestra tienen experiencia en construcción y también en edificaciones con mampostería de ladrillo, mientras que, el 5,60% no han construido (Figura 1), lo que garantiza la información obtenida para determinar el volumen de ladrillo desechado de las construcciones, las características de los elementos empleados por ellos en sus construcciones y sus requerimientos para el diseño de un nuevo elemento constructivo de mampostería.

La mayoría de encuestados tienen experiencia en construcción durante los últimos 10 años y otro grupo considerable alcanza los 20 años (Figura 2), es decir, están ligados con la arquitectura moderna, y por ende al empleo de nuevas tecnologías, lo que incrementa la posibilidad para aceptar cambios y nuevas alternativas constructivas.

De conformidad a lo que indican el 73.60% de los profesionales constructores, en los últimos 5 años han edificado hasta 10 casas (Figura 3), las cuales servirán como base para cuantificar y proyectar el número de viviendas que se construyen por año y el volumen desperdiciado.

Así mismo, el 76,40% indican haber construido hasta 5 edificaciones de ladrillo en los últimos 5 años (Figura 4), es decir la mitad de las edificaciones construidas serían de ladrillo, equivalente a una construcción de ladrillo por año.

Figura 1
Experiencia en construcción de ladrillo de los profesionales del Colegio de Arquitectos del Azuay

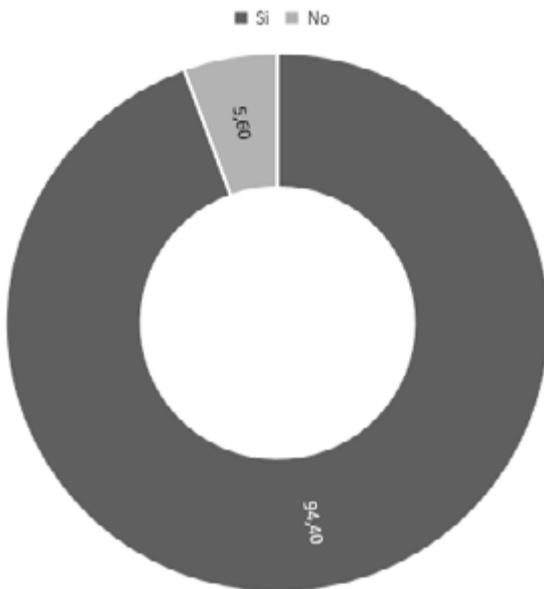


Figura 2
Años de experiencia en construcción de los profesionales encuestados

■ 1 a 10 años ■ 11 a 20 años ■ 21 a 30 años ■ Más de 30 años

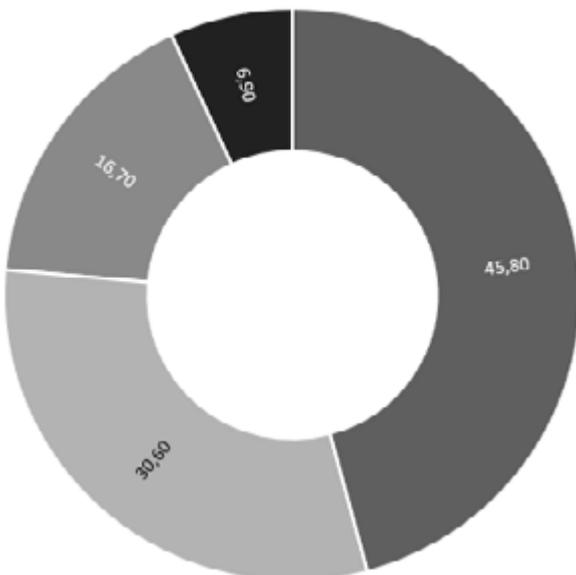


Figura 3
Cantidad de edificaciones en general construidas en los últimos 5 años

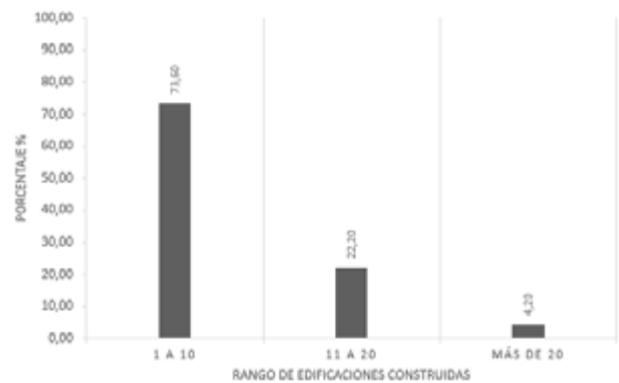
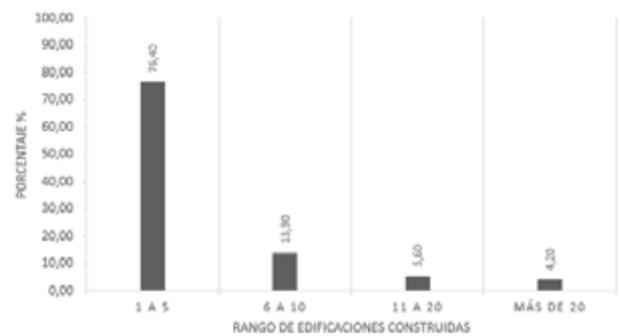
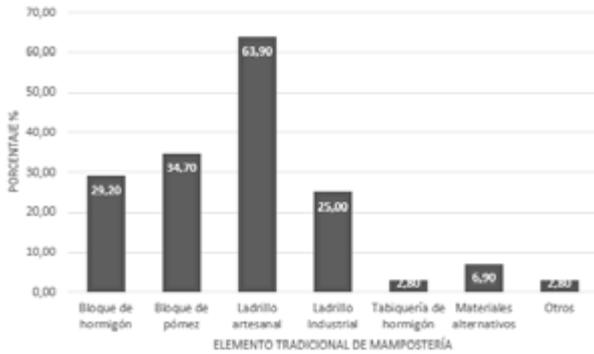


Figura 4
Cantidad de edificaciones de ladrillo construidas en los últimos 5 años



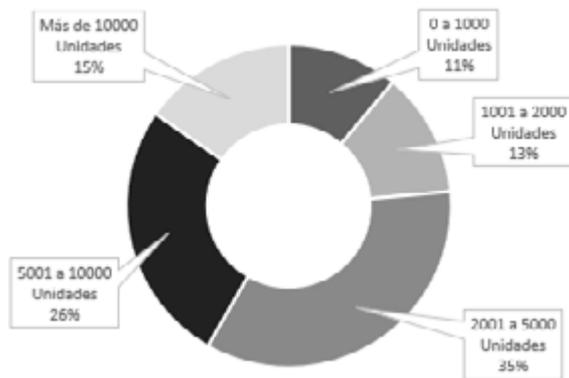
El 63,90% de los profesionales prefieren construir sus mamposterías tradicionales con ladrillo artesanal y paralelamente también prefieren otros elementos como el ladrillo industrial, bloques de pomez y hormigón, tabiquerías de hormigón y materiales alternativos, pero en menor porcentaje como se puede apreciar en la Figura 5.

Figura 5
Materiales preferidos por los constructores encuestados para mampostería tradicional



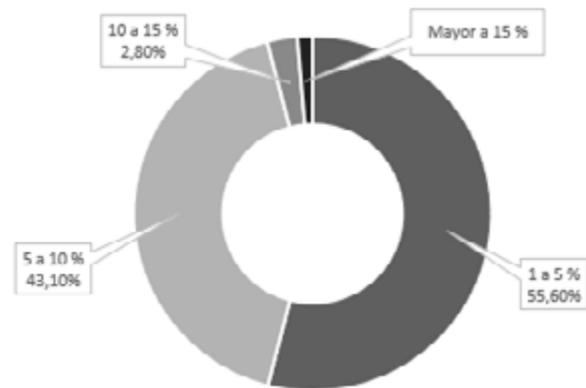
El 34.70 % de los profesionales han utilizado entre 2001 y 5000 ladrillos y el 26.40% entre 5001 y 10000 ladrillos en la construcción de una edificación de 2 pisos, tal como lo podemos apreciar en la Figura 6. Según este dato, podríamos considerar que en una vivienda de 2 pisos se utiliza un promedio de 5000 ladrillos (25x12x7 cm c/u) que corresponde a un área de 150 metros cuadrados de mampostería de pared.

Figura 6
 Cantidad de ladrillo empleado en una construcción de 2 pisos



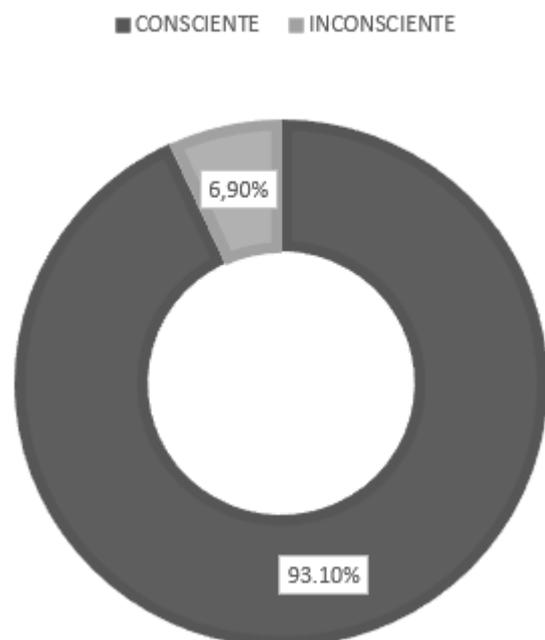
Un aspecto relevante para la presente propuesta es determinar el volumen de ladrillo desperdiciado en las edificaciones, el cual, según la mayoría de los encuestados, es decir, el 55.60% corresponde entre el 1 y el 5% de ladrillo, y según el 43,10% entre el 5 y el 10%, como se puede apreciar en la Figura 7; por lo que, se puede considerar que en las mamposterías de ladrillo se desperdicia un promedio de 5%.

Figura 7
 Porcentaje de ladrillo desperdiciado y desechado de las construcciones



El 93,10% de los encuestados, que constituyen la mayoría, están conscientes que los desechos de las construcciones en la ciudad de Cuenca contaminan el medio ambiente (Figura 8), lo que facilitaría la participación en la solución del problema dentro del sistema de reciclaje del ladrillo para constituirlo como materia prima en la fabricación de un nuevo elemento de mampostería.

Figura 8
 Conciencia de los constructores sobre la contaminación ambiental



El 70.80% de los constructores tiene conocimiento de la resistencia a la compresión

que tienen los bloques y ladrillos que utilizan en las mamposterías de pared de sus construcciones, mientras que, el 29,20% lo desconocen (Figura 9).

La mayoría de los constructores, es decir, el 19,40% aseguran que los bloques y ladrillos utilizados en las mamposterías de sus edificaciones tienen resistencias comprendidas entre 20 y 30 Kg/cm²; y, el 18,10%, entre los 30 y 40 Kg/cm²; y, **únicamente** el 5,60% de los constructores trabajan con elementos que superan los 50 Kg/cm² (Figura 10), es decir, probablemente con mamposterías de ladrillo artesanal, las cuales tienen una resistencia de 59,86 Kg/cm² o 5,87 MPa (Ullauri et al., n.d.).

Figura 9

Conocimiento de los constructores sobre la resistencia a la compresión de los bloques y ladrillos utilizados en las mamposterías de sus edificaciones

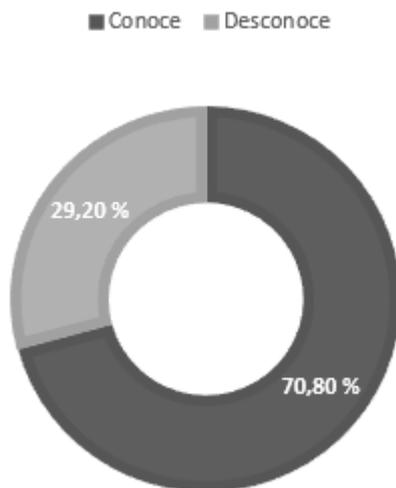


Figura 10

Resistencia a la compresión del bloque o ladrillo en Kg/cm², utilizado por los constructores en las mamposterías de pared de sus edificaciones



En cuanto a las cualidades físicas, la mayoría de los profesionales encuestados (91,70%), indican que el bloque y ladrillo existentes en la ciudad de Cuenca son agradables, sin embargo, este mismo número, indica que les gustaría tener una nueva alternativa de mayor tamaño, liviano, con textura y color de ladrillo reciclado y confían en que tendrán mejores características que los elementos tradicionales, como se resumen en la Figura 11.

Figura 11

Cualidades deseadas por los constructores para un nuevo bloque de mampostería



Discusión

Experiencia de los constructores

El 94,40% de constructores utilizan ladrillo en la elaboración de mamposterías en sus construcciones, de igual manera, al 33,30% le agrada la idea de reciclarlo, lo que representa una buena opción para la fabricación de un nuevo bloque de hormigón con ladrillo reciclado en reemplazo del árido tradicional.

Estos resultados son concordantes con el colorido urbanístico que tiene la ciudad de Cuenca, en donde resalta su arquitectura con el uso predominante de ladrillo y teja, elementos

que son agradables a la vista, constituyendo una buena opción para la construcción y su reciclaje, así como, brinda características **técnicas favorables** dentro de la construcción.

Resistencia a la Compresión

Los bloques y ladrillos utilizados en las mamposterías construidas por la mayoría de los constructores tienen resistencias entre 20 y 30 Kg/cm², y tan solo el 15,30% de ellos, señalan que tienen resistencias superiores a los 40 Kg/cm²; es decir, son los únicos que cumplen lo establecido en la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 3066, la misma que exige una resistencia neta mínima a compresión de 4 MPa ($\approx 40 \text{ Kg/cm}^2$), para bloques de hormigón de clase B (mampostería no estructural); sin embargo, ninguno cumple los 12,4 MPa ($\approx 124 \text{ Kg/cm}^2$) exigidos para bloques de hormigón.

En la ciudad de Cuenca, el mercado ofrece bloques para mampostería, tanto de hormigón liviano con una resistencia máxima de 3 MPa ($\approx 30 \text{ Kg/cm}^2$), cuanto de hormigón pesado hasta 8 MPa ($\approx 80 \text{ Kg/m}^2$).

En el caso del ladrillo artesanal tipo C (fabricado a mano y con imperfecciones), la norma **técnica** INEN 297 indica que debe tener una resistencia mínima a la compresión de 8 MPa ($\approx 80 \text{ Kg/cm}^2$); y, del ladrillo hueco tipo E (para tabiques no soportantes y rellenos de losas alivianadas), 4 MPa ($\approx 40 \text{ Kg/cm}^2$).

Para los bloques de hormigón clase A se exige una resistencia mínima a la compresión de 12,40 MPa ($\approx 124 \text{ Kg/cm}^2$); para clase B, 3,5 MPa ($\approx 35 \text{ Kg/cm}^2$); y, para los de clase C, 1,4 MPa ($\approx 14 \text{ Kg/cm}^2$).

Considerando los resultados de las encuestas y como lo exigido por la Norma Técnica Ecuatoriana, se procede con la revisión bibliográfica respecto de propuestas de mezclas para la elaboración de un bloque de hormigón con la utilización de ladrillo reciclado.

La fabricación del nuevo bloque debe obtener condiciones de resistencia a la compresión iguales o superiores a las del bloque alivianado de pómez y cumplir la Norma Técnica Ecuatoriana para garantizar a los usuarios su calidad, siendo una buena alternativa reemplazar sus componentes con ladrillo reciclado

Varias investigaciones señalan que es factible obtener hormigones con resistencia a la compresión que cumplen la Norma Técnica Ecuatoriana y pueden ser superiores a los elementos tradicionales. Así tenemos que al reemplazar el 15% de los áridos gruesos que forman parte de la mezcla de hormigón, por ladrillo triturado (tamaño de ladrillo triturado), se tiene como resultado hormigones sin disminución de resistencia; mientras que, al reemplazar un 30% del árido, se reduce en un 20% (Cachim, 2009), como se aprecia en el siguiente cuadro de la Tabla 1:

Tabla 1
Reemplazo de áridos por ladrillo triturado para la fabricación de hormigones (Cachim, 2009)

Nombre de Mezcla	Relación agua/cemento	Porcentaje de árido grueso reemplazado	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (Kg/cm ²)							
			7 días	%	14 días	%	28 días	%	90 días	%
NN50	0,5	0%	212,10	100	271,25	100	311,01	100	341,61	100
NA50		15%	230,46	108,66	269,21	99,25	299,80	96,40	346,70	101,49
AA50		30%	171,31	80,77	229,44	84,59	249,83	80,33	288,58	84,48
NN45	0,45	0%	295,72	139,42	328,35	121,05	369,14	118,69	408,91	119,70
NA45		15%	274,30	129,33	295,72	109,02	327,33	105,25	407,89	119,40
AA45		30%	203,94	96,15	266,15	98,12	281,44	90,49	329,37	96,42

Por otra parte, los resultados de las pruebas de resistencia a la compresión cúbica (S) del hormigón, utilizando la dosificación en peso 1: 2: 4 (cemento-arena clase M-árido grueso) demuestran que al reemplazar la arena clase M por ladrillo triturado (CB) con partículas de 5mm de diámetro, en proporciones del 25% y 50% y manteniendo la relación agua-cemento constante, obtienen una resistencia reducida en un 4% a los 90 días; mientras que, al reemplazar el 100% se reduce como máximo el 10% (Khatib, 2005), como se aprecia en el cuadro de la Tabla 2:

Tabla 2
Reemplazo de áridos por ladrillo triturado para la fabricación de hormigones (Cachim, 2009)

Nombre de mezcla	Relación agua/cemento	Porcentaje de agregado fino reemplazado por ladrillo triturado	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (Kg/cm ²)							
			1 día	%	7 días	%	28 días	%	90 días	%
M1	0,5	0%	119,31	100,00	363,02	100,00	476,21	100,00	521,08	100,00
M6		25%	114,21	95,73	309,99	85,39	399,73	83,94	519,04	99,61
M7		50%	105,03	88,03	290,62	80,06	384,43	80,73	498,64	95,69
M8		75%	91,77	76,92	273,28	75,28	368,12	77,30	462,95	88,84
M9		100%	81,58	68,38	263,09	72,47	338,55	71,09	476,21	91,39

Las granulometrías de la arena natural, áridos calcáreos y ladrillo triturado utilizadas en la fabricación de los hormigones referidos en las Tablas 1 y 2, se indican en la Tabla 3:

Tabla 3
Análisis granulométrico de los áridos empleados en la fabricación de hormigones (Cachim, 2009)

Tamiz (mm)	Arena	NA-1	NA-2	Ladrillo A	Ladrillo B
31,50	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
16,00	100,00	100,00	84,00	100,00	100,00
8,00	100,00	78,00	2,10	99,00	99,00
4,00	100,00	1,90	0,20	39,50	46,20
2,00	84,40	0,29	0,18	6,53	11,50
1,00	53,50	0,29	0,17	2,55	3,05
0,50	22,70	0,17	0,16	1,67	1,04
0,25	5,70	0,13	0,15	1,33	0,67
0,13	1,80	0,12	0,12	1,13	0,55

También es importante señalar que, la tasa de ganancia de resistencia a la compresión entre los 28 y 90 días es mayor al ser reemplazado con los residuos de ladrillo en lugar de los residuos de hormigón, debido a la reacción puzolánica por los contenidos de sílice y alúmina en el residuo de ladrillo y la portlandita del cemento (Khatib, 2005).

El uso de ladrillo reciclado en reemplazo de árido grueso en los hormigones es recomendado para usos en aplicaciones no estructurales, ya que reduce su resistencia; sin embargo, el polvo fino de ladrillo en reemplazo de hasta un 20% del cemento mejora las condiciones de resistencia (Wong et al., 2018).

En función de los resultados de resistencia obtenidos por los autores citados anteriormente, se comprobará si se obtiene los mismos resultados, al reemplazar el ladrillo reciclado en la elaboración de los bloques de hormigón de pómez: en un primer caso, reemplazando el 100% del polvo de pómez, por polvo de ladrillo, para verificar si los resultados de resistencia se reducen máximo en un 10%; y, en el segundo caso, reemplazando el 30% del árido de pómez por árido de ladrillo, para verificar si existe una reducción máxima del 20%.

Como parte de los materiales desechados de las construcciones se observa que existe un volumen representativo de ladrillo, lo que resulta concordante con la información proporcionada por los profesionales de la construcción encuestados, como se puede observar en la figura 12.

Figura 12
Material desechado de una construcción



El ladrillo artesanal denominado “panelón” es el más utilizado en las construcciones de la ciudad de Cuenca, y su principal producción proviene de las fábricas del sector Racar en la ciudad de Cuenca, y por sus propias condiciones de fabricación, la cocción no es uniforme, existiendo varios matices, como lo podemos apreciar en la figura 13.

Para establecer un volumen representativo que vamos a utilizar en las pruebas de laboratorio, se adquieren 50 unidades de ladrillo artesanal, cuyas dimensiones son 25 x 12 x 8 centímetros (ver en la figura 14); lo que representa un volumen 0,0024 m³ por cada unidad o 0,12 m³

de material total a ser triturados y obtener la materia prima para reemplazar a los áridos en la fabricación de bloques.

Figura 13
Matices de ladrillo panelón



Figura 14
Medidas de los ladrillos artesanales



Para las pruebas se utilizan los equipos del laboratorio de construcciones de la facultad de Arquitectura de la Universidad de Cuenca, procediendo a codificar, pesar y rotura de los ladrillos artesanales en la prensa hidráulica para determinar el peso y la resistencia a la compresión del material, como se observa en las figuras 15 y 16.

Figura 15
Proceso de pesado de ladrillo



Figura 16
Prensa hidráulica para prueba de resistencia



Como resultado, se determina que los ladrillos artesanales denominados “panelón”, de alta cocción tienen un peso promedio de 3121,34 gramos; y, una resistencia a la compresión promedio de 74,24 Kg/cm², como se detalla en el cuadro de la Tabla 4:

Tabla 4

Resistencia a la compresión de los Ladrillos de alta cocción					
Dimensiones			Peso	Lectura Prensa	Resistencia a la compresión
Largo	Ancho	Área			
cm	cm	cm ²	gramos	Kg	Kg/cm ²
25,45	12,43	316,34	3040,90	24641,90	77,90
24,95	12,43	310,13	3201,30	13763,40	44,38
25,00	12,37	309,25	3002,20	27066,00	87,52
25,35	12,50	316,88	3153,60	23855,50	75,28
25,05	12,40	310,62	3208,70	26749,40	86,12
PROMEDIO		312,64	3121,34	23215,24	74,24

De la misma manera, se determina que los ladrillos artesanales denominados “panelón”, de baja cocción, tienen un peso promedio de 2998,84 gramos; y una resistencia a la compresión promedio de 52,32 Kg/cm², como se detalla en el cuadro de la Tabla 5:

Tabla 5

Resistencia a la compresión de los Ladrillos de baja cocción					
Dimensiones			Peso	Lectura Prensa	Resistencia a la compresión
Largo	Ancho	Área			
cm	cm	cm ²	gramos	Kg	Kg/cm ²
24,50	12,43	304,54	3016,90	12376,60	40,64
24,55	12,47	306,14	2966,10	13901,70	45,41
24,05	12,40	298,22	3125,80	13657,20	45,80
23,95	12,20	292,19	2813,70	21498,90	73,58
24,40	12,30	300,12	3071,70	16853,30	56,16
PROMEDIO		300,24	2998,84	15657,54	52,32

Determinadas las características, procedemos a triturar los ladrillos para obtener áridos triturados que representan el material desechado, utilizando una trituradora mecánica de boca dentada de 1 pulgada, como se aprecia en la figura 17.

Luego del triturado se clasifica el material por granulometría utilizando tamices de 19 mm, 12,4 mm, y 4,5 mm, como se aprecia en la figura 18.

Figura 17
Trituración de ladrillo



Figura 19
Ladrillo triturado de 15,4 mm



Figura 18
Tamizado de ladrillo triturado



Figura 20
Ladrillo triturado de 4,2 mm



Del procedimiento de tamizado de áridos, se obtuvieron 4 granulometrías: de 19,0 mm, 15,4 mm, 12,4 mm y 4,2 mm, y se determinó las cantidades y peso de cada una de ellas, como se puede observar en las figuras 19 y 20, cuyo registro de datos se establecen en los cuadros de la Tabla 6, para el ladrillo de alta cocción, y Tabla 7 para el ladrillo de baja cocción.

Tabla 6

Cantidad de Ladrillo Triturado				
Ladrillo - Alta cocción				
Nro. Tamiz		Diámetro	Peso	
Retenido (mm)	Pasado (mm)	Material Triturado (pulgadas)	Ladrillo triturado (gramos)	%
19,00	25,40	1,00	319,90	0,36
12,40	19,00	0,75	3980,60	4,46
2,40	12,40	0,49	25540,30	28,65
Fondo	2,40	0,09	59312,90	66,53
Total			89153,70	100,00

Tabla 7

Cantidad de Ladrillo Triturado				
Ladrillo - Baja Cocción				
Nro. Tamiz		Diámetro	Peso	
Retenido (mm)	Pasado (mm)	Material Triturado (pulgadas)	Ladrillo triturado (gramos)	%
19,00	25,40	1,00	517,30	0,63
12,40	19,00	0,75	4298,10	5,22
2,40	12,40	0,49	23872,30	29,01
Fondo	2,40	0,09	53594,90	65,14
Total			82282,60	100,00

Los resultados del tamizado demuestran que la trituración de material de ladrillo genera un mayor porcentaje de una granulometría de 12,40 mm y un fino de 2,40 mm, materiales similares a los provenientes de pómez que son utilizados para la fabricación de bloques de mampostería.

Las fábricas del bloque de pómez utilizan dosificaciones en volumen, medidas por carretillas con dimensiones especiales, determinando que 1 “parada” utiliza 1 saco de cemento, 3 carretillas de áridos y 2 carretillas de polvo.

Con la disponibilidad de los áridos triturados, planteamos la fabricación de 2 tipos de bloques de 40x20x15 cm, los primeros reemplazando el 30% del árido de pómez, por el árido de ladrillo de diámetro 12,40 mm, es decir, de las tres carretillas, se reemplazó una; y, en el otro caso, reemplazando el 100% del polvo, es decir dos carretillas de polvo; en concordancia con el máximo porcentaje de árido grueso y fino reemplazado según las Tablas 1 y 2 respectivamente (Cachim, 2009).

Respetando los métodos de fabricación tradicionales, utilizamos como herramienta de dosificación la carretilla (Figura 21), una batidora mecánica para realizar la mezcla de material (Figura 22), un molde con vibración electro mecánica, capacidad para 5 unidades (Figura 22), obteniendo elementos de tonalidad rojiza al reemplazar el 100% del polvo (Figura 24), y otra muy similar al tono del bloque de pómez reemplazando el 30% del árido grueso (Figura

25), para posteriormente pasar al proceso de curado por aspersión, en las mismas condiciones que el bloque tradicional (Figura 26).

En el caso del bloque Tipo A que reemplazó el 100% del polvo se obtuvieron 70 unidades por parada y del bloque Tipo B que reemplazan el 30% del árido grueso, 60 unidades.

Figura 21

Dosificación para elaboración de bloques



Figura 22

Batidora de mezcla para bloques



Figura 23

Molde con dosificación electromecánica



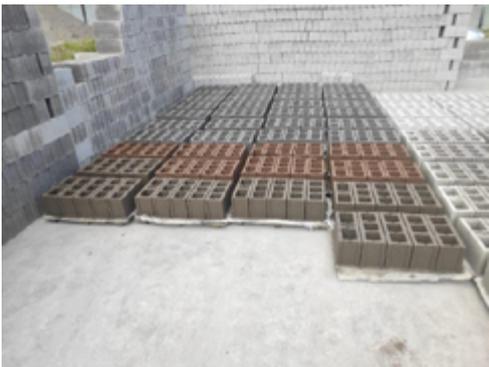
Figura 24
Bloque con reemplazo del 100% de polvo



Figura 25
Bloque con reemplazo del 30% de árido



Figura 26
Proceso de curado de bloques



Luego de haber cumplido 7 días de fabricación y realizado el proceso de curado de los bloques en las mismas condiciones que los bloques tradicionales, fueron llevados al laboratorio para analizar sus características de peso y resistencia a la compresión.

Como punto de partida pesamos los bloques de Tipo C, correspondiente a los

tradicionales de pómez, con 7 días de fabricación, como se aprecia en las figuras 27 y 28; obteniendo un peso promedio de 8417,10 gramos como se muestra en la Tabla 8.

Figura 27
Proceso de pesado de Bloques C, correspondiente al bloque tradicional



Figura 28
Proceso de pesado de Bloques C, correspondiente al bloque tradicional



Tabla 8

Bloque de referencia - Tipo C	
Muestra	Peso (gramos)
C01	8417,10
C02	8236,50
C03	8324,60
C04	8873,40
C05	8572,90
Peso Promedio del bloque Tipo C	8417,10
Porcentaje de referencia (Tipo C)	100%

Como segundo punto se procedió a pesar los bloques Tipo A, correspondientes a los que se les reemplazó el 100% del polvo de pómez por polvo de ladrillo, con 7 días de fabricación, como se aprecia en las figuras 29 y 30; obteniendo un

peso promedio de 8413,20 gramos, como se puede observar en el cuadro de la Tabla 9.

Figura 29

Proceso de pesado de Bloques A, fabricados con el reemplazo del 100% del polvo



Figura 30

Proceso de pesado de Bloques A, fabricados con el reemplazo del 100% del polvo



y 32; obteniendo un peso promedio de 9663,50 gramos, como se puede observar en el cuadro de la Tabla 10.

Figura 31

Proceso de pesado de Bloques B, fabricados con el reemplazo del 30% del árido



Figura 32

Proceso de pesado de Bloques B, fabricados con el reemplazo del 30% del árido



Tabla 9

Bloque Tipo A, reemplazo del 100% del polvo de pómez por polvo de ladrillo	
Muestra	Peso (gramos)
A01	8309,70
A02	8134,20
A03	8669,00
A04	8585,90
A05	8413,20
Peso Promedio del bloque Tipo A	8413,20
Porcentaje de Peso del bloque tipo A respecto al bloque de referencia (Tipo C)	99,95%

Como tercer punto se procedió a pesar los bloques Tipo B, correspondientes a los que se les reemplazó el 30% del árido de pómez árido 12,4 mm del ladrillo triturado, con 7 días de fabricación, como se aprecia en las figuras 31

Tabla 10

Bloque Tipo B, reemplazo del 30% de árido de pómez por ladrillo triturado	
Muestra	Peso (gramos)
B01	9234,00
B02	9984,40
B03	9663,50
B04	9672,20
B05	9653,50
Peso Promedio del bloque Tipo B	9663,50
Porcentaje de Peso del bloque Tipo B respecto al bloque de referencia (Tipo C)	114,81%

De los resultados obtenidos se puede indicar que el bloque fabricado con el reemplazo del 100% del polvo de pómez por polvo obtenido

del ladrillo triturado tiene un peso similar al del bloque tradicional; mientras que, el bloque fabricado con el reemplazo del 30% de árido de pómez por árido de 12,40 mm, incrementa su peso en un 14, 81%.

Como cuarto punto, se realizaron pruebas de resistencia a la compresión de los bloques, iniciando por los bloques Tipo C, como se aprecia en las figuras 33 y 34; obteniendo como resultado una resistencia promedio de 24,30 kgf/cm² a los 7 días y proyección de 37,38 kgf/cm² a los 28 días, como se observa en el cuadro de la Tabla 11.

Figura 33
Pruebas de resistencia de bloques tipo C, fabricados con el reemplazo del 100% del polvo



Figura 34
Pruebas de resistencia de bloques tipo C, fabricados con el reemplazo del 100% del polvo



Tabla 11

Bloque Tipo C, sin reemplazo						
Fecha de elaboración	Fecha de rotura	Muestra	Área (cm ²)	Lectura de rotura	Resistencia-Compresión kgf/cm ²	
				kgf	7 días	Proyección a los 28 días
20-sep-23	27-sep-23	C01	306,25	8095,8	26,44	40,68
20-sep-23	27-sep-23	C02	306,25	7773,1	25,38	39,05
20-sep-23	27-sep-23	C03	306,25	7442,5	24,30	37,38
20-sep-23	27-sep-23	C04	306,25	6955,9	22,71	34,94
20-sep-23	27-sep-23	C05	306,25	6553,7	21,40	32,92
C Promedio			306,25	7442,5	24,30	37,38
Porcentaje de resistencia considerado como base (Tipo C)					100,00%	100,00%

Como quinto punto, se realizaron pruebas de resistencia a la compresión de los bloques Tipo A, como se aprecia en las figuras 35 y 36; obteniendo como resultado una resistencia promedio de 11,38 kgf/cm² a los 7 días, y una proyección de 17,51 kgf/cm² a los 28 días, como se observa en el cuadro de la Tabla 12.

Figura 35
Pruebas de resistencia de bloques tradicionales tipo A.



Figura 36
Pruebas de resistencia de bloques tradicionales tipo A.



Tabla 12

Bloque Tipo A, reemplazo del 100% del polvo de pómez por polvo de ladrillo						
Fecha de elaboración	Fecha de rotura	Muestra	Área (cm ²)	Lectura de rotura (kgf)	Resistencia-Compresión kgf/cm ²	
					7 días	Proyección a los 28 días
20-sep-23	27-sep-23	A01	306,25	3429,30	11,20	17,23
20-sep-23	27-sep-23	A02	306,25	3135,60	10,24	15,75
20-sep-23	27-sep-23	A03	306,25	3485,10	11,38	17,51
20-sep-23	27-sep-23	A04	306,25	3599,00	11,75	18,08
20-sep-23	27-sep-23	A05	306,25	4230,30	13,81	21,25
A Promedio			306,25	3485,10	11,38	17,51
Porcentaje de resistencia del Bloque Tipo A con respecto al Bloque de muestra (Tipo C)					47,00%	47,00%

Como último punto, se realizaron pruebas de resistencia a la compresión de los bloques Tipo B, como se aprecia en las figuras 37 y 38; obteniendo como resultado una resistencia promedio de 23,52 kgf/cm² a los 7 días, y una proyección de 36,18 kgf/cm² a los 28 días, como se observa en el cuadro de la Tabla 13.

Figura 37
Pruebas de resistencia de bloques tipo B, fabricados con el reemplazo del 30% del árido



Figura 38
Pruebas de resistencia de bloques tipo B, fabricados con el reemplazo del 30% del árido



Tabla 13

Bloque Tipo B, reemplazo del 30% de árido de pómez por ladrillo triturado						
Fecha de elaboración	Fecha de rotura	Muestra	Área (cm ²)	Lectura de rotura kgf	Resistencia-Compresión kgf/cm ²	
					7 días	Proyección a los 28 días
20-sep-23	27-sep-23	B01	306,25	5773,60	18,85	29,00
20-sep-23	27-sep-23	B02	306,25	7202,40	23,52	36,18
20-sep-23	27-sep-23	B03	306,25	7201,50	23,52	36,18
20-sep-23	27-sep-23	B04	306,25	8073,80	26,36	40,55
20-sep-23	27-sep-23	B05	306,25	6765,50	22,09	33,98
B Promedio			306,25	7201,50	23,52	36,18
Porcentaje de resistencia del Bloque Tipo B con respecto al Bloque de muestra (Tipo C)					97,00%	97,00%

De los resultados de pruebas de resistencia a la compresión obtenidos, se puede observar que los bloques fabricados con el reemplazo del 100% del polvo de pómez por polvo de ladrillo, adquieren una tonalidad rojiza, agradable a la percepción visual, su peso es similar al de los bloques tradicionales (Tabla 14), sin embargo, su resistencia disminuye en un 53% (Tabla 15) es decir, mayor al 10% establecido en la bibliografía (Khatib, 2005), y, menor al requerimiento de la Norma Técnica Ecuatoriana; por lo que, no es apto para ingresar en el mercado de la construcción

Por otra parte, los bloques que fueron fabricados con el reemplazo del 30% del árido de pómez por árido de ladrillo triturado, resultaron ser un 14,81% más pesados que los tradicionales (Tabla 14), pero su tonalidad y resistencia a la compresión son similares (Tabla 15), pues, del experimento realizado, apenas se reduce un 3%, por lo que, se lo considera apto para emplearlo en la construcción.

Tabla 14

Cuadro comparativo de peso			
Tipo de Bloque	Reemplazo de áridos (%)	Peso	
		gramos	%
Bloque Tipo A	100% polvo	8413,20	100,00
Bloque Tipo B	30% árido grueso	9663,50	115,00
Bloque Tipo C	Bloque de Referencia sin reemplazo	8417,10	100,00

Tabla 15

Cuadro comparativo de resistencias a la compresión				
Tipo de Bloque	Reemplazo de áridos (%)	Resistencia a la compresión		
		kgf		%
		7 días	28 días	
Bloque Tipo A	100% polvo	11,38	17,51	47,00
Bloque Tipo B	30% árido grueso	23,52	36,18	97,00
Bloque Tipo C	Bloque de Referencia sin reemplazo	24,30	37,38	100,00

Además, los resultados de resistencia a la compresión a los 28 días, 36,18 kgf/cm², superan los requerimientos exigidos por la Norma Técnica Ecuatoriana en relación al bloque de hormigón, que es 3,5 MPa (≈ 35 Kg/cm²).

Volumen desechado de ladrillo

Con la presente investigación se determina que el 76,40% de los arquitectos encuestados y registrados en el Colegio de Arquitectos del Azuay, construyeron hasta una edificación por año equivalente a 1.250 con la totalidad del universo escogido (1.637 profesionales).

Así también, se determina que el mayor número de los profesionales encuestados (34,70% y 26,40%) utilizan un promedio de 5.000 ladrillos por edificación

De igual manera, se determina que existe un desperdicio de ladrillo entre el 1 y el 10% del volumen empleado en las edificaciones, por lo que también es procedente considerar un promedio del 5% que representan 250 ladrillos artesanales o 0,525 m³ de ladrillo artesanal desechados por cada construcción de vivienda de 2 pisos.

Finalmente, al considerar las 1250 viviendas construidas anualmente por los profesionales vinculados al Colegio de Arquitectos del Azuay, se produce un desperdicio y desecho de 656,25 m³ de ladrillo en el año o su equivalente a 312.500 unidades que puede servir como materia prima para la fabricación del nuevo elemento de mampostería.

Conclusiones

En volumen de ladrillo desechado determinado en la presente investigación es representativo para utilizarlo como materia prima en la elaboración de bloques de hormigón, contribuyendo a la reducción del consumo de recursos naturales, permitiendo mejorar la calidad ambiental y liberar la abrumadora acumulación de desechos que tienen como destino final los vertederos naturales.

Los bloques elaborados con el reemplazo del 30% del **árido grueso de pómez por ladrillo triturado**, incrementaron un 15% de su peso y mantiene una resistencia a la compresión similar a la del bloque tradicional, por lo que cumple el requerimiento exigido por la Norma Técnica Ecuatoriana y las exigencias de la

presente investigación, pudiendo emplearlo para la fabricación de un nuevo elemento de mampostería.

De manera distinta, los bloques elaborados con reemplazo del 100% del volumen de polvo de pómez por polvo de ladrillo triturado, obtuvieron resultados insatisfactorios, su peso resultó similar, pero su resistencia a la compresión se redujo al 47%, incumpliendo lo requerido por la Norma Técnica Ecuatoriana, por lo que, no es considerado apto para emplearlo en la construcción de una nueva mampostería en la ciudad de Cuenca.

La fabricación de 60 bloques con el reemplazo del 30% del árido grueso Tipo B, permitirá ahorrar de 0,18 m³ de material natural.

La utilización del nuevo bloque Tipo B en la construcción de una vivienda de 150 m² evitará la explotación natural de 15 m³ de material natural.

Recomendaciones

El presente artículo obtuvo resultados satisfactorios, ya que se determinó la idoneidad de aplicar el reemplazo del 30% del árido del bloque de pómez por **árido triturado** en la fabricación de un nuevo elemento de mampostería, sin embargo, es necesario recomendar lo siguiente:

Realizar nuevos experimentos de alternativas de dosificación para establecer una mejor opción que cumpla lo exigido en la Norma Técnica Ecuatoriana.

Realizar estudios adicionales sobre flexión, densidad, tracción y abrasión de hormigones que emplean ladrillo triturado y ver su factibilidad para emplearlo en un nuevo elemento de mampostería.

Estandarizar nuevas dimensiones y diseños de un prototipo de elemento constructivo para mampostería de pared en cuanto a tamaño, peso, color, textura.

Agradecimiento

El presente artículo es parte del trabajo de investigación y titulación del Programa de Maestría en Construcciones con Mención en Administración de la Construcción Sustentable de la Universidad Católica de Cuenca, por ello agradecemos a todos y cada uno de los instructores pertenecientes a los grupos de investigación; Ciudad, Ambiente, y Tecnología (CAT), y Sistemas embebidos y visión artificial en ciencias, Arquitecturas, Agropecuarias, Ambientales y Automática (SEVA4CA), por los conocimientos e información brindados para la elaboración del trabajo

Referencias bibliográficas

- ¿*Qué materiales de construcción son más fáciles de reciclar?* - Infobae. (n.d.). Retrieved July 16, 2022, from <https://www.infobae.com/economia/real-estate/2019/10/21/que-materiales-de-construccion-son-mas-faciles-de-reciclar/>
- Adesina, A., & Awoyera, P. (2019). Overview of trends in the application of waste materials in self-compacting concrete production. In *SN Applied Sciences* (Vol. 1, Issue 9). Springer Nature. <https://doi.org/10.1007/s42452-019-1012-4>
- Augusto Euphrosino, C., Jacintho, A. E. P. G. de A., Lorena Pimentel, L., Camarini, G., & Fontanini, P. S. P. (2022). Tijolos de solo-cimento usados para Habitação de Interesse social (HIS) em mutirão: estudo de caso em olaria comunitária. *Matéria (Rio de Janeiro)*, 27(1). <https://doi.org/10.1590/1517-7076-rmat-2021-47087>
- Cachim, P. B. (2009). Mechanical properties of brick aggregate concrete. *Construction and Building Materials*, 23(3), 1292–1297. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2008.07.023>
- Domingo, N., & Batty, T. (2021). Construction waste modelling for residential construction projects in New Zealand to enhance design outcomes. *Waste Management*, 120, 484–493. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.10.010>

- Escombrera – EMAC. (n.d.). Retrieved July 17, 2022, from <https://emac.gob.ec/servicios/escombrera/>
- Ghaffar, S. H., Burman, M., & Braimah, N. (2020). Pathways to circular construction: An integrated management of construction and demolition waste for resource recovery. *Journal of Cleaner Production*, 244. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118710>
- Kazemi, M., Madandoust, R., & de Brito, J. (2019). Compressive strength assessment of recycled aggregate concrete using Schmidt rebound hammer and core testing. *Construction and Building Materials*, 224, 630–638. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.07.110>
- Khatib, J. M. (2005). Properties of concrete incorporating fine recycled aggregate. *Cement and Concrete Research*, 35(4), 763–769. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2004.06.017>
- Kisku, N., Joshi, H., Ansari, M., Panda, S. K., Nayak, S., & Dutta, S. C. (2017). A critical review and assessment for usage of recycled aggregate as sustainable construction material. In *Construction and Building Materials* (Vol. 131, pp. 721–740). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.11.029>
- Krauklis, A. E., Karl, C. W., Gagani, A. I., & Jørgensen, J. K. (2021). Composite material recycling technology—state-of-the-art and sustainable development for the 2020s. In *Journal of Composites Science* (Vol. 5, Issue 1). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/jcs5010028>
- Minunno, R., O’Grady, T., Morrison, G. M., Gruner, R. L., & Colling, M. (2018). Strategies for applying the circular economy to prefabricated buildings. *Buildings*, 8(9). <https://doi.org/10.3390/buildings8090125>
- Muñoz-Pérez, S. P., Mimbela-Orderique, F., & Rodríguez-Lafitte, E. D. (2021). Uso de ladrillos triturados en concreto: una revisión literaria. *Revista Politécnica*, 17(34), 82–100. <https://doi.org/10.33571/rpolitec.v17n34a6>
- Narcis, N., Ray, I., & Hosein, G. (2019). Construction and demolition waste management actions and potential benefits: A perspective from Trinidad and Tobago. *Buildings*, 9(6). <https://doi.org/10.3390/BUILDINGS9060150>
- Sathiparan, N., Subramaniam, D. N., Malsara, K. G. N., & Akmal, M. S. M. (2022). Thermal comfort analysis of fired-clay brick, cement-sand block and cement stabilized earth block masonry house models. *Innovative Infrastructure Solutions*, 7(2), 147. <https://doi.org/10.1007/s41062-022-00744-9>
- Ullauri, M. C. A., Romero Bastidas, M., Bustamante, J. R., & Castillo Carchipulla, E. (n.d.). *El ladrillo artesanal de Cuenca (Ecuador): una caracterización inicial en el marco patrimonial*. <https://doi.org/10.14568/cp26915>
- Wong, C. L., Mo, K. H., Yap, S. P., Alengaram, U. J., & Ling, T. C. (2018). Potential use of brick waste as alternate concrete-making materials: A review. In *Journal of Cleaner Production* (Vol. 195, pp. 226–239). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.05.193>
- Zanelli, C., Marrocchino, E., Guarini, G., Toffano, A., Vaccaro, C., & Dondi, M. (2021). Recycling Construction and Demolition Residues in Clay Bricks. *Applied Sciences*, 11(19), 8918. <https://doi.org/10.3390/app11198918>
- Zhang, Z., Wong, Y. C., Arulrajah, A., & Horpibulsuk, S. (2018). A review of studies on bricks using alternative materials and approaches. In *Construction and Building Materials* (Vol. 188, pp. 1101–1118). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.08.152>