



Influencia en las Propiedades Mecánicas de Ladrillos Artesanales al Incorporar Caucho Triturado en la Fabricación.

Gladys Arriagada Urzúa¹
garriagada@ucm.cl
Dra. Jazmín Ávila Triviño²
jazminanai.avila@aulagrupo.es
Dr. Juan Figueroa Meriño³
jfiguero@ucm.cl

¹ Doctoranda en Proyectos, Universidad Americana de Europa

² Docente Investigadora, Universidad Americana de Europa

³ Docente Investigador, Universidad Católica del Maule, Chile

Revista de Investigación Multidisciplinaria Iberoamericana, RIMI © 2023 by Elizabeth Sánchez Vázquez is licensed under

Resumen

Los componentes de los neumáticos no son biodegradables, por lo tanto, afectan el ambiente donde están depositados y constituyen un peligro, por generar focos de incendios en áreas de depósitos, generando enormes nubes tóxicas con gases como lo son el monóxido de carbono, dióxido de carbono y dióxido de azufre. Con el fin de revalorizar estos residuos, la propuesta de este trabajo es utilizar el neumático triturado en pequeñas partículas en la confección de ladrillos artesanales. La fabricación fue realizada de manera manual en la ciudad de Cauquenes (Chile) por un grupo de ladrilleros y la incorporación del caucho fue en reemplazo de un volumen específico de la arcilla, precisamente en 10% y 20%, quedando de este modo tres tipos de ladrillos, considerando el ladrillo base con su composición de 100% arcilla. Los resultados arrojaron que los ladrillos con 10% de caucho tuvieron el mejor desempeño, ya que tienen una resistencia a la compresión de 4,39 MPa superando en un 4,03% a la muestra patrón, cumpliendo el 22% máximo de absorción de agua obteniendo un 18,01% y su conductividad térmica es un 28% menor que el ladrillo tradicional, por lo que sería una excelente alternativa ecológica y sustentable.

Palabras claves: Neumático, ladrillos, sustentabilidad.

Influence on the Mechanical Properties of Handmade Bricks by Incorporating Crushed Rubber in the Manufacture.

Abstract

The components of the tires are not biodegradable, therefore, they affect the environment where they are deposited and constitute a danger by generating fires in deposit areas, generating huge toxic clouds with gases such as carbon monoxide, carbon dioxide and sulfur dioxide. In order to revalue this waste, the proposal of this work is to use the shredded tire in small particles in the manufacture of handmade bricks. A group of brick makers carried out the manufacture manually in the city of Cauquenes (Chile) and the incorporation of the rubber was in replacement of a specific volume of clay, precisely 10% and 20%, leaving three types of bricks, considering the base brick with its composition of 100% clay. The results showed that the bricks with 10% rubber had the best performance, since they have a compressive strength of 4.39 MPa exceeding the standard sample by 4.03%, meeting the maximum 22% of water absorption obtaining 18.01% and its thermal conductivity is 28% lower than the traditional brick, so it would be an excellent ecological and sustainable alternative.

Key words: Tire, brick, sustainability.

Introducción.

Es importante la reutilización del caucho al cumplir su vida útil, ya que es un desperdicio de la industria automotriz que ha venido en aumento con el paso de los años. En la actualidad, en Chile las empresas distribuidoras y comercializadoras de neumáticos como Michelin, Bridgestone, Goodyear, Pirelli y Hankook, generan aproximadamente 6 millones de unidades al año, originando alrededor de 60 mil toneladas de neumáticos (Peláez Arroyave, 2017).

Por otra parte, el ladrillo es uno de los materiales de construcción más antiguos, generalmente su producción es artesanal teniendo como materia prima base la arcilla, elemento natural no renovable. hoy en día no existe una regulación con respecto a su extracción, creando un impacto negativo a nivel socioambiental, dando como resultado pérdidas de área verde, pérdida en la compactación del suelo, creando el escenario propicio para posibles aluviones, dañando negativamente la flora y fauna del lugar (Manaure, 2017). Conforme a ello, la presente investigación busca analizar la influencia del caucho en la resistencia mecánica y conductividad térmica de ladrillos fiscales artesanales mediante el ensayo de 3 lotes con 0%, 10% y 20% de caucho en volumen de arcilla.

Debido a las propiedades que posee el caucho, la combinación de este con la arcilla presenta una resistencia a la humedad y es fácil de moldear, teniendo así una alternativa de reciclaje que permite mitigar el impacto ambiental sin sacrificar la calidad de los ladrillos (Colín, 2015).

Marco Teórico y Estado del Arte.

Una de las problemáticas más atingente en la actualidad, es el avance del deterioro medioambiental lo cual ha llevado a la preocupación constante por buscar alternativas que mitiguen la contaminación del planeta y ofrecer una mejor calidad a las futuras generaciones.

Dentro de los materiales constructivos altamente utilizados, se encuentran los ladrillos. Desde su creación, ha destacado por darle vida a antiguas civilizaciones como Mesopotamia y Palestina. Entre sus características, se puede mencionar que cuenta con múltiples beneficios de resistencia y óptimo comportamiento térmico. Su principal componente es la arcilla, la cual está compuesta principalmente de una mezcla de aluminio-silicatos cristalinos, conocidos como minerales arcillosos, junto con otros silicatos y minerales que contienen hierro, calcio, titanio, entre otros. A menudo, también contienen

materia orgánica y su composición final presenta variaciones dependiendo de la región (Landinez y otros, 2018).

Las arcillas de la VII Región del Maule Chile, poseen cualidades que posibilitan su uso en la producción de ladrillos refractarios, vajillas, tejas y azulejos, es decir, bienes con mayores requerimientos técnicos y valor agregado. El mayor contenido de Al_2O_3 (átomos de aluminio y oxígeno) de estas arcillas, que puede alcanzar un CPE (capacidad de permutación de especies) de 23 a 28, favorece su uso en la fabricación de ladrillos refractarios, mientras que su menor contenido en Fe_2O_3 (óxido de hierro) que permite la elaboración de productos de cocción ligera, como las tejas. Los altos valores de resistencia a la flexión por contracción y los bajos valores de absorción de una parte importante de las arcillas, que presentan las características del gres cerámico, facilitan la elaboración de estos productos. En el rango de 0,09-0,063 mm, donde la fracción arcillosa es más predominante y se manifiesta por un mayor porcentaje relativo de fracción fina, los valores reducidos de absorción se asocian con una mayor densidad de arcillas (Carrasco y otros, 2003).

Por otra parte, cuando se habla de residuos industriales de caucho, se hace referencia prácticamente a desechos previamente tratados de neumáticos, que hoy día, son altos los niveles de generación de este tipo de producto, tanto de industrias como de usuarios de un automóvil que cambia sus neumáticos y los ya usados, los vierte en cualquier lugar, convirtiéndose en un problema ambiental. En este sentido, resultados de investigaciones, permiten determinar que adiciones de 0,5; 1,0; 1,5 y 2,0% en peso de residuos de neumático a la arcilla y posterior cocción a 850 y 950 °C contribuyen a un ahorro de energía durante la cocción de la cerámica debido a su elevada cantidad de carbono, además ni la contracción ni la resistencia se vieron afectadas. Por ello, el uso de cantidades relativamente pequeñas de residuo de neumático es una alternativa viable para beneficio del medio ambiente (Mounika & Harish Kumar, 2018).

La adición de residuos industriales como caucho conlleva clasificar los estudios según dos métodos: ladrillos con cocción y sin cocción. Aunque el último método no requiere temperatura de curado para producir ladrillos (no se requiere de un alto consumo de energía), en general, la gran cantidad de material de desecho incorporado da como resultado una baja resistencia a la compresión, o sea son más frágiles, que puede ser un obstáculo a la hora de comercializar un ladrillo. De hecho, los materiales con altas cantidades de sustancias carbonosas y/u orgánicas, como lo es el caucho a base de hidrocarburos,

tienden a incrementar de manera controlada la porosidad del ladrillo después de la cocción lo que conduce a incorporar el caucho en pequeñas dosis (Dondi y otros, 1997).

Algunos investigadores han ampliado este enfoque, buscando mejorar la comprensión de las características mecánicas, físicas y térmicas de los ladrillos quemados. [Shibib \(2015\)](#), examinó cómo el uso de papel reciclado afecta las propiedades mecánicas y térmicas de los ladrillos de arcilla cocida. Las muestras se secaron a 105° - 115°C hasta alcanzar un peso constante. Diferentes proporciones de papel reciclado y arcilla húmeda (1:10, 2:10, 6:10 y 10:10) se utilizaron para cumplir con estándares climáticos exigentes y mejorar la durabilidad y resistencia a la compresión. La incorporación de residuos de papel municipal mejoró las propiedades térmicas y mecánicas en un 29%, mostrándose como un material sostenible. Además, esto contribuiría a reducir la carga de contaminación atmosférica y abordar los desafíos de eliminación de residuos. [Binici, Aksogan y Shah \(2005\)](#) desarrollaron un material resistente a terremotos mediante la fabricación de ladrillos de barro reforzados con fibras de alta resistencia a la compresión. Emplearon diversos ingredientes fibrosos, como fibra plástica, paja y tela de poliestireno, combinados individualmente con cemento, basalto, piedra pómez, cal y yeso. Se examinó detalladamente el comportamiento de las fibras en los ladrillos de barro, así como los efectos de las distintas formas geométricas de las capas de interfaz.

Del mismo modo, [Rahman \(1987\)](#), produjo ladrillos a partir de una mezcla de arcilla y arena con diferentes proporciones de ceniza de cáscara de arroz, los cuales fueron quemados a 1000°C durante diversos tiempos de cocción (2, 4 y 6 horas). La investigación abordó aspectos como contracción lineal, densidad, resistencia a la compresión y absorción de agua de los ladrillos. En un enfoque diferente, [Demir, Baspınar y Orhan \(2005\)](#) exploraron la posibilidad de utilizar residuos de la producción de pulpa kraft (pasta de papel oscuro) en la fabricación de ladrillos de arcilla. Dada la naturaleza orgánica de dichos residuos, se investigó su capacidad para formar poros en el cuerpo de la arcilla. Se realizaron mezclas con diferentes cantidades de residuos (0, 2,5, 5 y 10 % en peso) junto con ladrillos de arcilla cruda, todos cocidos a 900°C. La investigación evaluó los efectos en la conformación, plasticidad, densidad y propiedades mecánicas, concluyendo que adiciones de residuos en un rango del 2,5 al 5 % en peso resultaron efectivas para formar poros en el cuerpo de arcilla sin comprometer significativamente las propiedades mecánicas.

En [2011, Raut, Ralegaonkar y Mandavgane](#) llevaron a cabo una revisión de las propiedades físico-mecánicas y térmicas de ladrillos de mampostería que incorporaban diversos desechos industriales y agrícolas. Destacaron las ventajas de los ladrillos sin cocer, enfocándose en su baja energía incorporada. En [2013, Zhang](#) ofreció una revisión exhaustiva sobre la incorporación de residuos en ladrillos de mampostería, categorizándolos según su método de producción. No obstante, su principal enfoque estuvo en la incorporación de desechos en los ladrillos, más que en los parámetros del proceso de fabricación. En [2014, Muñoz Velasco, P., Morales Ortíz, M. P., Mendivil Giró, M. A., y Muñoz Velasco, L.](#) presentaron una revisión que se centró en los parámetros de fabricación, tales como el pre-acondicionamiento, el agua de mezcla, el método de conformación, el tamaño de la muestra, el secado y las condiciones de cocción utilizados en la producción de ladrillos de arcilla con residuos incorporados.

Cuando se hace referencia a las condiciones físico-mecánicas del producto constructivo, específicamente a la resistencia a la compresión de los ladrillos, esta representa el estudio de los efectos de las fuerzas y movimiento sobre los cuerpos. En definitiva, examinar cómo interactúan las fuerzas de los materiales para determinar su comportamiento estructural. Según, [Beer, Johnston, y Mazurek \(2015\)](#) la mecánica aplicada permite analizar la resistencia de los materiales considerando su capacidad para soportar cargas y deformaciones.

En cuanto a la conductividad térmica, es la propiedad de los materiales para transmitir calor a través de ellos. Dicha propiedad, es de gran relevancia en el estudio de los materiales constructivos como los ladrillos, ya que influye en la eficiencia energética de las construcciones. Autores como [Callister y Rethwisch \(2014\)](#), aseguran que la conductividad térmica, depende de la estructura atómica del material y de cómo se comportan sus electrones y fonones.

Finalmente, la absorción de agua refiere a la capacidad de los materiales para retener agua dentro de su estructura. Este aspecto es esencial en el diseño de materiales constructivos ya que puede afectar su durabilidad y resistencia a condiciones ambientales variantes. [Mehta y Monteiro \(2014\)](#) afirman que la absorción de agua depende en gran medida de la porosidad del material y de la relación entre el contenido de agua y los agregados que se utilizan en su composición.

Estos parámetros de fabricación, se optimizan para obtener las características deseadas del producto, analizando la influencia de la incorporación de residuos en los mismos. Desde la perspectiva

de la fabricación, la influencia de estos parámetros en las características del producto es de vital importancia.

Neumáticos

Los neumáticos son una capa dura de caucho macizo montados en las llantas para determinados vehículos como coches, motos o bicicletas, utilizando aire comprimido. Es la parte del vehículo que está en contacto con el suelo y se usa como superficie de rodamiento (Zenteno Cáceres, 2011).

Los materiales que componen las materias primas de producción de un neumático es básicamente un compuesto de tela, cable de acero y caucho. Este último, consta en un compuesto de caucho natural y sintético y materiales de relleno, combinados de esta manera para lograr diferentes objetivos, según el propósito del neumático, como una mayor tracción, diferentes condiciones de suelo, tanto seco como húmedo o mejorando la resistencia a la rodadura (Zenteno Cáceres, 2011). Actualmente su evolución ha crecido de tal manera, que su servicio superó el rendimiento del caucho natural, teniendo que incorporar más cantidad de caucho sintético que es el que se usaba regularmente, en conjunto con los materiales mencionados en el párrafo anterior.

Cuando se tiran los neumáticos a los botaderos, se decide llevarlas al proceso de renovación donde se desarrolla diversas etapas, pero la más esencial para obtener el caucho granulado es el escareo y raspado, sin necesidad de algún tipo de tratamiento, disminuyendo los costos de producción (Zenteno Cáceres, 2011).

Caucho natural

Este se obtiene de una especie de árbol del género *Hevea Brasiliensis*, que tiene como origen el Amazonas. Otras plantas de caucho es un árbol de hule, *Castilloa elástica*, nativo de México (Zenteno Cáceres, 2011).

El caucho natural también se puede recopilar en plantas, que a menudo están contaminadas por una mezcla de resina que debe extraerse para que el caucho sea óptimo de utilizar. Entre otras plantas, se encuentran la gutapercha y la balata, que se obtienen de ciertos árboles tropicales (Zenteno Cáceres, 2011).

Este tipo de caucho utilizado en la fabricación de neumáticos compone apenas un 18% del peso de una pieza. Por otra parte, la producción del neumático agota aproximadamente el 70% del caucho

natural a nivel mundial, pese a que existen industrias propietarias de sus propias plantaciones de caucho, como es el caso de: Michelin y Bridgestone.

Caucho sintético

Después de la invención del automóvil, la demanda de caucho aumento significativamente, donde el principal país productor era Brasil, ya que era el único país en poseer el caucho natural, teniendo un monopolio en esos momentos. Luego a principios de siglo XX se comienza a cultivar el caucho con éxito en el sureste asiático, sin embargo, como contaban con pocas fuentes e inestable en el ámbito de la calidad, los precios del caucho siguen preocupando a los países industrializados. Hechos que llevaron al nacimiento del caucho sintético (Zenteno Cáceres, 2011).

El uso de arcilla como principal materia prima en la fabricación de ladrillos ha prevalecido durante siglos debido a su disponibilidad y propiedades mecánicas. Sin embargo, este método tradicional implica la extracción intensiva de recursos naturales y un consumo significativo de energía durante el proceso de cocción (Gedik, 2021). En contraste, la incorporación de residuos industriales como caucho triturado en la mezcla de fabricación no solo disminuye la dependencia de la arcilla, sino que también permite reutilizar materiales que, de otro modo, terminarían en vertederos o incineradoras.

Comparado con los métodos constructivos tradicionales, esta innovación ofrece ventajas tanto en términos de sostenibilidad como de desempeño técnico (Gedik, 2021). Los ladrillos que incluyen caucho triturado tienen una mayor flexibilidad, lo que los hace adecuados para estructuras que requieren resistencia a vibraciones o impactos. Además, el proceso de producción puede ser optimizado al reducir la temperatura de cocción, disminuyendo así las emisiones de CO₂ (Tripathi & Chauhan, 2021). No obstante, los desafíos técnicos asociados a la durabilidad y la homogeneidad del producto aún presentan un obstáculo para su adopción masiva. Es fundamental realizar estudios a largo plazo sobre la resistencia y el comportamiento estructural de estos ladrillos en diversas condiciones climáticas y de carga.

Normativa de disposición de neumáticos en Chile.

En Chile la Ley de Responsabilidad Extendida del Productor y Fomento al reciclaje 20.920, trabaja fomentando el reciclaje y reutilización de este tipo de materiales desechables, de tal manera, que

[Revista de Investigación Multidisciplinaria Iberoamericana, RIMI](#) © 2023 by [Elizabeth Sánchez Vázquez](#) is licensed under

la Ley REP decretó un desarrollo gradual en el porcentaje de reciclaje de los neumáticos fuera de uso (NFU), que pretende lograr que se aproveche un 90% de los desechos de vehículos comunes para dentro de 8 años más mediante la recolección de neumáticos desechados, envío a un centro de acopio para un posterior recauchaje, reciclaje de material o valorización energética (MMA, 2021). El escenario actual demuestra que solo se aprovecha un 17% de los neumáticos usados y el resto termina en cualquier lugar, tanto en botaderos legales como ilegales, perjudicando la calidad de vida de las personas que están cerca, entonces, este decreto impondrá que se valore el 90% de los neumáticos tipo A y el 100% de neumáticos tipo B (MMA, 2021).

Normativa de los ladrillos en Chile.

Las clasificación y requisitos que debe cumplir los ladrillos están sujetos a la norma NCh 169 Of 2001. Donde se agrupan los ladrillos por grados del 1 al 3 dependiendo de su resistencia a la compresión y por clase de la siguiente manera: Ladrillos macizos hechos a máquina (MqM), ladrillos perforados hechos a máquina (MqP) y los ladrillos huecos hechos a máquina (MqH). (OFICIAL, n.d)

Tabla 1

Normativa de los ladrillos hechos a máquina en Chile.

Requisitos mecánicos	Grados de ladrillos cerámicos						
	1		2		3		
	Clases de ladrillos cerámicos						
	MqM	MqP	MqH	MqP	MqH	MqP	MqH
Resistencia a la compresión, mínima (MPa)	15	15	15	11	11	5	5
Absorción de agua, máxima (%)	14	14	14	16	16	18	18
Adherencia, mínima (MPa) (área neta)	0,40	0,40	0,40	0,35	0,35	0,30	0,25

Nota: Los requisitos de los ladrillos cerámicos artesanales son tratados en NCh2123, la cual es la norma chilena oficial, en donde se solicita una resistencia mínima a la compresión de 4,0 MPa y una absorción de agua máxima de 22% en peso (Normalización, 2003).

Metodología

La investigación se basa en un diseño experimental de laboratorio con enfoque factorial. Este diseño permite manipular intencional y controladamente la variable independiente de caucho triturado y su comportamiento en las propiedades de los ladrillos, y las variables dependientes para observar, medir y evaluar sus efectos o variación sobre la resistencia mecánica, conductividad térmica, absorción de agua. Este tipo de investigación permite a los investigadores establecer relación de causa y efecto al controlar y modificar las condiciones bajo las cuales se realizan los experimentos, proceso elemental para estimar la influencia del residuo añadido sobre las propiedades de los ladrillos.

Para determinar los porcentajes de caucho triturado en reemplazo porcentual en peso de la arcilla en la fabricación de ladrillos, se realizó una revisión de investigaciones anteriores donde autores como [Farfán Gómez, J.D. \(2019\)](#). Desarrollo ladrillos incorporando caucho de reciclaje y PET en porcentajes 12%, 24% y 36%. Para luego someterlos a pruebas de compresión y logro concluir que el caucho tiene un efecto directo en la resistencia alcanzado valores que cumplen con la normativa de construcción E.070 y mostrando que un contenido moderado de caucho (como 12%) puede mantener una adecuada resistencia en aplicaciones estructurales.

En la misma línea, [Córdoba Gomajoa, Narváez Guarín, Rivera Fajardo y Zambrano Revelo \(2023\)](#) llevaron a cabo un estudio donde se incorporó caucho reciclado en porcentajes de 15% y 20%, determinando que las propiedades mecánicas de los ladrillos pueden mejorar. También el estudio recomienda seguir estudiando los porcentuales añadidos en remplazo de la arcilla y el tamaño de las partículas de caucho triturado.

Es por ello que, para ésta investigación, se fabricaron ladrillos artesanales en Cauquenes, VII Región de Maule, Chile, con la ayuda de ladrilleros locales. Para ello, se utilizaron tres tipos de ladrillos: uno con 100% de arcilla, otro con 90% de arcilla y 10% de caucho triturado y el tercero con 80% de arcilla y 20% de caucho triturado.

A continuación, se detalla la obtención de los materiales que son utilizados para este ensayo, metodología del cálculo de la cantidad de triturado de caucho a utilizar y los procedimientos para la confección de los ladrillos. También se muestra cómo se realizan los ensayos para fundamentar este experimento.

Obtención del caucho a utilizar.

[Revista de Investigación Multidisciplinaria Iberoamericana, RIMI](#) © 2023 by [Elizabeth Sánchez Vázquez](#) is licensed under

Para realizar este estudio, se utilizó caucho triturado de manera mecánica, este material se obtuvo por una donación hecha por la empresa de reciclaje Los Ríos LTDA. Rut: 77.346.505-3, ubicada en la comuna de Providencias, Santiago de Chile. La empresa está encargada del proceso de recolección y de trituración de caucho. Para los estándares de calidad en cuanto a la sección de caucho, se incluyen criterios como; la pureza del caucho antes de la trituración, éste debe estar libre de metales, fibras textiles, o plásticos. Seguido de esto, las partículas seleccionadas deben ser de un tamaño homogéneo en su mayoría, ya que al momento de incorporarlo se debe asegurar una distribución uniforme. En cuanto a la humedad del caucho, ésta debe estar controlada, ya que puede interferir en el secado de los ladrillos.

Cualquiera sea el método que utilice, el tamaño de las partículas no es totalmente uniforme, por ende, se deberá ocupar un tamiz (colador) para filtrar y así obtener diversos tamaños de triturado de caucho. Una vez que esté listo, se debe calcular la densidad del material. Para este estudio, el tamaño de las partículas son sobre el tamiz N° 16 ASTM, lo que significa que fueron seleccionadas las más pequeñas que estaban a disposición, teniendo un tamaño promedio de 1,18 mm.

Calculo la densidad aparente suelta del caucho.

La densidad aparente suelta permite conocer la aplicación específica del aditivo (caucho triturado) agregado en la fabricación de ladrillos, según la normativa vigente. El procedimiento realizado para determinar la densidad consistió en llenar la medida volumétrica con el caucho triturado, utilizando una poruña, dejándola caer desde una altura de 5 cm aproximadamente por sobre el borde superior de la medida. La distribución del material a descargar debe ser uniforme en toda la medida, luego se eliminó el caucho en exceso utilizando una varilla pisón para enrasar la medida, sin ejercer presión. Una vez limpia de excesos se condujo hasta la balanza y se registró su masa en kilogramos, aproximando al 0,1% (NCh 1116, 1977).

Finalmente se calculó la densidad aparente suelta (D_{AS}) con la siguiente formula:

$$D_{AS} = \frac{m_s}{V} \left(\frac{Kg}{m^3} \right)$$

Donde:

Ms = masa del caucho triturado suelto, sin recipiente (kg)

V = capacidad volumétrica de la medida (m^3)

[Revista de Investigación Multidisciplinaria Iberoamericana, RIMI](#) © 2023 by [Elizabeth Sánchez Vázquez](#) is licensed under

Se realizó el procedimiento 2 veces según la norma y se promediaron los resultados.

Proceso de elaboración de los ladrillos con y sin caucho.

El proceso de fabricación de los ladrillos con y sin caucho fue el mismo, salvo que, al incorporar el triturado de caucho se consideró una etapa más en su realización.

- I. Amasar la arcilla y el caucho, y separar (o clasificar) las cantidades de ambos materiales según serán ensayados.
- II. Una vez diferenciados se agregan los materiales a un recipiente y se agrega agua según se estime conveniente para amasar correctamente.
- III. Unificar la mezcla y colocar en un molde, mientras se va compactando.
- IV. Se retira del molde y se toma los ensayos que se busca estudiar hasta ese entonces.
- V. Posteriormente se realiza un pre-secado, evitando posibles fisuras.
- VI. Cocer los ladrillos para continuar con sus pruebas de resistencias mecánicas y térmicas. Se repite el proceso para cada dosificación, obteniendo 30 ladrillos, esto significa una cantidad de 10 ladrillos por tipo.

Ensayo para la determinación de la humedad del ladrillo.

Para la determinación de la humedad del ladrillo, a la mezcla de cada tipo se le apartó una porción de tamaño establecido en su estado húmedo para realizar los respectivos ensayos (NCh 1515, 1979), la cual debió ser mantenida en una bolsa sellada para que no modificara sus condiciones hasta llegar al laboratorio.

- I. Determinar y registrar la masa de tres recipientes por tipo, limpios y secos. (9 recipientes en total.)
- II. Colocar las muestras de ensayo en los recipientes, diferenciando según el porcentaje de caucho.
- III. Determinar y registrar la masa de los recipientes más el contenido de muestras húmedas.
- IV. Colocar los recipientes con las muestras en horno a $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ y secar a masa constante por 24 horas.

- V. Sacar los recipientes del horno y dejar enfriar a temperatura ambiente.
- VI. Determinar y registrar la masa de los recipientes más el contenido de muestras secas.

Para expresar los resultados se debe calcular la humedad como la pérdida de masa de las muestras con la siguiente formula, aproximando al 0,1%:

$$w = [(mh - ms)/(ms - mr)] * 100$$

Donde:

W = humedad, en %.

mh = masa del recipiente más la muestra húmeda, en g.

ms = masa del recipiente más la muestra seca, en g.

mr = masa del recipiente, en g.

Ensayo para la determinación de la propiedad de absorción.

Para el estudio de la absorción de humedad de los ladrillos, estos tuvieron que ser amasados en su estado natural (seco) y saturado (Romero, 2021).

- I. Comenzando, los ladrillos se amasaron secos, ya que éstos habían pasado por el horno previamente.
- II. Pasado el día completo y estando a temperatura ambiente los ladrillos son sumergidos en un recipiente con agua por 24 horas.
- III. Pasadas las horas requeridas, se retiraron del agua y se les quitó el agua superficial para poder ser pesados (NCh 167, 2001).

De esta manera es posible obtener la masa seca y masa final, con estos datos se calcula la absorción de agua con la siguiente formula:

$$\% \text{ absorción} = \frac{(W_{ss} - W_s)}{W_s} * 100$$

Donde:

W_{ss} = masa sumergida en agua de ladrillo luego de la inmersión en agua fría, en g.

W_s = masa seca del espécimen antes de inmersión, en g.

Según la normativa vigente, se menciona que la absorción de agua máxima para los ladrillos artesanales es de 22% (NCh 2123.Of1997, Modificada en 2003).

Ensayo para la determinación de la resistencia a compresión.

Para el estudio de la resistencia a la compresión, se llevó el ladrillo a la máquina de compresión que tiene una capacidad máxima de 2000 kN, esto con el fin de llevar el material a su falla máxima, repitiendo el ensayo las veces que se estime conveniente (Araya & García, 2021). Se calculó área promediada de carga midiendo las caras superior e inferior del ladrillo, y se asumió una distribución uniforme (INN C. , NCh 167, 2001) para posteriormente determinar su esfuerzo de compresión con la siguiente fórmula:

$$f'_{cu} = \frac{W}{A}$$

Donde:

f'cu = resistencia a la compresión del ladrillo (MPa)

W = carga máxima de rotura en (kN)

A = Área promedio de las superficie superior e inferior en mm²

Tal como lo menciona la norma, para el caso de ladrillos hechos de manera artesanal, sus requisitos son tratados en la NCh2123 en donde se menciona que la resistencia mínima a la compresión de unidades de ladrillos artesanales es de 4,0 MPa (NCh 2123.Of1997, Modificada en 2003).

Ensayo para la determinación de la densidad del ladrillo.

Para este estudio de determinación de la densidad de los ladrillos, el ensayo consiste en medir con un pie de metro las dimensiones de todos los ladrillos fabricados y determinar su masa seca, para obtener la densidad de cada uno de ellos y así determinar si el ladrillo con incorporación de caucho es más o menos denso que la muestra patrón. El cálculo de la densidad del ladrillo se obtiene con la siguiente fórmula:

$$d = \frac{M}{V}$$

Donde:

d: Densidad del ladrillo (Kg/m^3)

M: Masa del ladrillo (Kg)

V: Volumen del ladrillo (m^3)

Ensayo para la determinación de la conductividad térmica.

Para este estudio de la conductividad y difusividad térmica, el ensayo se basó en el método del disco caliente en la máquina TP1500 fabricada por *Thermtest*, esto se realiza en la Universidad de la Frontera, Temuco, Chile. Este método se sustenta en la técnica *Transient Plane Source* reconocida en la ISO 22007-2. Para esto es utilizado un sensor de doble espiral, que actúa como fuente de calor que aumenta la temperatura de las muestras Rilem y con base al ingreso de parámetros anteriores al ensayo tales como; potencia calorífica, sensor utilizado y su distancia entre el espesor de la muestra, tiempo de medición y temperatura ambiente, el equipo de medición elabora 200 registros.

RESULTADOS.

Análisis de resultados.

En cuanto a investigaciones similares, es posible encontrar que, con la variante del caucho en una versión de tamaño más pequeño, es decir, el polvillo de este, sus propiedades mecánicas no se ven favorecidas, sino más bien, se ven afectadas con la adición de caucho, por otro lado, los ensayos que se le realizaron demuestran que resiste mejor al calor y tiene una mejor adherencia con el mortero, así como también tiene una baja absorción de agua. (Colín, 2015).

Análisis de resultados de densidad aparente suelta del caucho.

Tabla 2

Resultados del ensayo de la densidad aparente suelta del caucho

N° intento	Masa total (gr)	Masa caucho (kg)	Capacidad de la medida volumétrica (m3)	Densidad Aparente Suelta (kg/m3)
1°	4960	1,3605	0,003004	452,90
2°	4980	1,3805	0,003004	459,55
3°	4990	1,3905	0,003004	462,88
4°	4950	1,3505	0,003004	449,57
5°	4970	1,3705	0,003004	456,23
Promedio				456,23

Nota: Datos obtenidos de ensayos realizados en laboratorio.

El procedimiento se repitió 3 veces más de lo que estipula la norma, dando una Das promedio de 456,23 (kg/m3).

Análisis de resultados de humedad de la mezcla.

Se dividieron en tres partes las muestras de la mezcla con los distintos porcentajes para obtener un promedio de la de humedad de estas, mostrando los siguientes resultados.

Tabla 3

Resultados de humedad de las muestras según la composición de caucho

		Peso Pote (gr)	Peso Total Húmedo (gr)	Peso Total Seco (gr)	Peso Húmedo (gr)	Peso Seco (gr)	% Humedad	% Promedio
% de humedad de muestras	0%	1	57,6	387,6	308,0	330,0	250,4	31,79
		2	55,9	384,3	303,3	328,4	247,4	32,74
		3	57,7	374,4	295,5	316,7	237,8	33,18
10%	1	56,7	430,5	342,2	373,8	285,5	30,93	
	2	57,3	496,8	393,2	439,5	335,9	30,84	
	3	57,6	498,1	391,9	440,5	334,3	31,77	
20%	1	57,0	438,2	350,9	381,2	293,9	29,70	
	2	56,3	516,2	409,7	459,9	353,4	30,14	
	3	57,0	438,5	348,2	381,5	291,2	31,01	

Nota: Datos obtenidos de ensayos realizados en laboratorio.

Se logra observar promedios más bajos de humedad en las muestras con mayor contenido de caucho, esto se puede explicar por la propiedad de hidrófuga que posee el agregado, es decir, este repele al agua y de este modo a mayor incorporación de caucho, la humedad de las muestras será menor. Se puede concluir que los ladrillos son más aislantes, contribuyendo a una mejor eficiencia energética ya que actúa como aislador térmico disminuyendo la pérdida de calor en las construcciones, potenciando la sustentabilidad al reducir el consumo de energía. Se resume que, la incorporación de caucho en los

ladrillos, no solo favorece las propiedades de aislación, sino también, genera la opción de construir de manera más ecológica y eficiente.

Análisis de resultados de la determinación de la propiedad de absorción.

Se realizaron 4 ensayos por tipo de ladrillo para obtener un promedio del porcentaje de absorción, como se observa en la siguiente tabla:

Tabla 4

Resultados del ensayo de la propiedad de absorción según la composición de caucho.

			Pesos Seco (gr)	Peso Húmedo (gr)	%	% promedio
% de absorción de ladrillos	0%	1	3463,2	4012,9	15,87	16,27
		2	3329,1	3897,8	17,08	
		3	3371,8	3916,6	16,16	
		4	3424,7	3971,0	15,95	
	10%	1	3065,2	3617,1	18,01	18,01
		2	3103,5	3665,1	18,10	
		3	3063,3	3611,9	17,91	
		4	3197,7	3774,1	18,03	
	20%	1	2921,8	3458,8	18,38	18,00
		2	2969,4	3479,0	17,16	
		3	2943,5	3497,7	18,83	
		4	2974,8	3499,1	17,62	

Nota: Datos obtenidos de ensayos realizados en laboratorio.

Tal como se puede observar en la tabla, ninguna muestra superó el límite de absorción de agua para los ladrillos cerámicos artesanales, es decir, el 22% de absorción. El resultado obtenido es positivo dado que, sobre el límite de absorción permitida se puede ver afectada la durabilidad, calidad y la resistencia estructural de los ladrillos. Por otra parte, en términos de sustentabilidad, al adicionar elementos reciclados a la fabricación de ladrillos se genera un impacto positivo en la degradación del planeta.

Tabla 5

Resultados de ensayo de resistencia a la compresión según la composición de caucho

		Medidas (cm)			Peso (gr)	Área (cm ²)	Carga (kN)	Carga (Kgf)	Resistencia (Kgf/cm ²)	Resistencia (Mpa)	R Promedio	
		Ancho	Largo	Espesor								
Resistencia a compresión	0%	1	14,0	27,9	5,4	3305,1	390,60	170	17335,18	44,38	4,44	4,24
		2	14,0	27,9	5,5	3373,7	390,60	160	16315,46	41,77	4,10	
		3	13,9	27,5	5,5	3282,5	382,25	190	19374,61	50,69	4,97	
		4	14,0	27,9	5,5	3370,9	390,60	120	12236,59	31,33	3,07	
		5	14,0	27,9	5,5	3356,1	390,60	180	18354,89	46,99	4,61	
	10%	1	13,8	27,6	5,4	3083,5	380,88	190	19374,61	50,87	4,99	4,39
		2	13,9	27,8	5,3	3083,0	386,42	150	15295,74	39,58	3,88	
		3	13,9	27,5	5,3	2954,0	382,25	180	18354,89	48,02	4,71	
		4	13,9	27,4	5,4	3055,0	380,86	150	15295,74	40,16	3,94	
		5	13,8	27,8	5,5	3030,1	383,64	170	17335,18	45,19	4,43	
	20%	1	14,0	27,9	5,5	2948,1	390,60	190	19374,61	49,60	4,84	3,68
		2	13,8	27,8	5,3	2955,6	383,64	180	18354,89	47,84	4,69	
		3	13,9	27,4	5,4	2938,8	380,86	170	17335,18	45,52	4,46	
		4	13,9	27,7	5,4	2949,3	385,03	130	13256,31	34,43	3,38	
		5	13,9	27,7	5,5	2968,6	385,03	40	4078,86	10,59	1,04	

Nota: Datos obtenidos de ensayos realizados en laboratorio.

Las muestras de los ladrillos con 10% de caucho presentan un promedio de resistencia mayor en un 4,03% en comparación a la muestra patrón (0% de caucho), teniendo 3 de 5 muestras sobre el requisito mínimo, presentando una resistencia de 3,9 MPa estando a 0,1 MPa de ser aprobadas. Con estos resultados se puede dar a entender que alcanza una resistencia optima al incorporar un 10% de caucho en la mezcla. Sin embargo, sí se supera este porcentaje, está tendrá una tendencia a la baja afectando las propiedades mecánicas de los ladrillos, lo que implicaría que soporte menos carga o impactos, bajando su resistencia para aplicaciones estructurales como la construcción.

Análisis de resultados de la densidad del ladrillo.

Tabla 6

Resultados de densidad según la composición de caucho.

		Peso Seco (gr)	Medidas (cm ³)	Peso Seco(kg)	Medidas (kg ³)	ρ (kg/m ³)	ρ promedio
Densidad de ladrillos	0%	1	3463,2	2110,020	3,4632	0,00211	1641,3
		2	3329,1	2110,020	3,3291	0,00211	1577,8
		3	3371,8	2071,656	3,3718	0,00207	1627,6
		4	3424,7	2179,520	3,4247	0,00218	1571,3
	10%	1	3065,2	2049,138	3,0652	0,00205	1495,8
		2	3103,5	2110,020	3,1035	0,00211	1470,8
		3	3063,3	2067,930	3,0633	0,00207	1481,3
		4	3197,7	2101,680	3,1977	0,00210	1521,5
	20%	1	2921,8	2025,925	2,9218	0,00203	1442,2
		2	2969,4	2034,396	2,9694	0,00203	1459,6
		3	2943,5	2057,055	2,9435	0,00206	1430,9
		4	2974,8	2125,310	2,9748	0,00213	1399,7

Nota: Datos obtenidos de ensayos realizados en laboratorio.

Tal como se observa en la tabla anterior, a medida que se le incorpora más caucho a la mezcla, ésta tiene una tendencia a la baja, esto se debe a que la densidad del caucho es menor que la arcilla, por ende, los ladrillos con 10% de caucho disminuyen en un 7% y los de 20% de agregado son de menor densidad con un 11% menos que la muestra patrón, en otras palabras, estos son más livianos en comparación a los que tienen más arcilla en su composición. La reducción de peso en los ladrillos con caucho puede ser beneficiosa dado que facilitaría su transporte, instalación y reducción estructural. Sin embargo, se debe resguardar la viabilidad de aplicaciones en estructurales.

Análisis de resultados de la conductividad térmica.

Tabla 7

Resultados de ensayo de conductividad térmica según la composición de caucho.

		Medidas (cm)			Peso (gr)	Difusividad (MJ/mm ² s)	Conductividad (W/Mk)	C Promedio
		Ancho	Largo	Espesor				
Conductividad térmica	0%	1	3,6	14,9	3,7	324,7	0,768	0,531
		2	3,6	14,8	3,6	317,4	0,56	
		3	3,6	14,9	3,7	314,5	0,645	
	10%	1	3,7	14,9	3,6	293,1	0,411	0,431
		2	3,6	15	3,6	296,6	0,371	
		3	3,6	14,9	3,6	294,8	0,472	
	20%	1	3,6	14,8	3,7	281,1	0,351	0,385
		2	3,7	14,8	3,6	277,4	0,325	
		3	3,7	14,9	3,7	280,7	0,359	

Nota: Datos obtenidos de ensayos realizados en laboratorio.

En cuanto a los resultados, es posible observar una disminución considerable en la conductividad térmica de los ladrillos una vez que se les incorpora más caucho, lo cual se puede explicar con las propiedades que adquiere el caucho una vez que pasa por un proceso de cocción (cocción del ladrillo como tal), otorgándole una mayor resistencia al calor, por lo cual los ladrillos con este aditivo conducen menos calor que los ladrillos artesanales comunes, es decir, son más aislantes. Además, al momento de incorporar más caucho a la mezcla, existe una disminución de arcilla, la cual contiene minerales metálicos, y otorga una mayor conductividad. Lo anterior otorga una mirada optimista en nuevos elementos constructivos más sustentables y energéticamente eficientes, y de paso se reducen las emisiones de carbono, asociados al uso de energía.

CONCLUSIONES.

Según los resultados obtenidos del ensayo de resistencia a la compresión es posible concluir que los ladrillos sí cumplen la normativa que se establece para este tipo artesanal, tanto para los ladrillos con 0%, 10% y 20% de caucho en su composición, si bien, existieron algunos valores bajo la normativa, estos

se deben a márgenes de error que comúnmente ocurren, por lo que de momento es una buena opción en ámbitos de resistencia incorporar caucho en los ladrillos.

Con respecto al ensayo de absorción, se concluye que todos los ladrillos en estudio cumplen con la normativa vigente para el tipo artesanal, dando un promedio de 16,3%, 18% y 18% para los ladrillos de 0%, 10% y 20% de caucho en su composición respectivamente, siendo los ladrillos con caucho triturado una buena opción en cuanto a la absorción.

En cuanto a la conductividad térmica, se concluye que tal como lo especifica la norma de Ordenanza General de Urbanismo y Construcción (OGUC) del [Ministerio de Vivienda y Urbanismo \(MINVU, 2014\)](#), la conductividad térmica de los ladrillos artesanales es de 0,5 (W/Mk), sin embargo, si apreciamos los ladrillos con caucho, es posible observar que a medida que aumenta la cantidad de caucho en su interior, estos nuevos productos tienen una conductividad térmica menor, esto es una conductividad térmica promedio de 0,531 (W/Mk) para los ladrillos con 0% en comparación al 0,385% (W/Mk) para los ladrillos con 20% de caucho, esto significa que se ha generado un material constructivo más aislante y menor conductor de calor lo cual trae beneficios en cuanto a la envolvente térmica para las zonas con climas fríos.

Finalmente, en cuanto al ensayo de densidad del ladrillo, se deduce que a medida que más caucho contiene, menor densidad tiene este material, es decir, es más liviano.

De manera general, se puede determinar que los ladrillos con caucho de esta investigación cumplen los estándares mínimos establecidos por normativa, especialmente los ladrillos con 10% de adición de caucho, ya que estos presentaron una mejor resistencia a la compresión sin fallar en los ensayos, su absorción es similar a las muestras con 20% de caucho y su conductividad térmica disminuye en un 18,74%, lo cual determina que es la mejor opción estudiada y permite dar una nueva vida a los residuos de neumáticos que fue la principal motivación de este estudio, obteniendo una mirada optimista e innovadora para la reutilización de residuos (caucho triturado) en la creación de nuevos materiales de construcción.

Esta estrategia sostenible reutiliza los desechos que de otro modo se arrojarían en vertederos generando focos contaminantes. Además, mejora la resistencia a la compresión, el aislamiento térmico y la durabilidad. En la provincia de Cauquenes, VII Región del Maule, Chile, donde la construcción es un

[Revista de Investigación Multidisciplinaria Iberoamericana, RIMI](#) © 2023 by [Elizabeth Sánchez Vázquez](#) is licensed under

sector importante, este enfoque ofrece una opción económicamente viable al reducir los costos de los materiales y fomentar una economía circular.

Al reducir la huella de carbono y la necesidad de materias primas vírgenes en la producción de ladrillos, esta invención apoya los enfoques de construcciones sustentables. proporciona una solución que beneficia el desarrollo de la infraestructura local y el medio ambiente. Al incorporar caucho en la fabricación de ladrillos, dándole una segunda vida a éste residuo altamente contaminante, y de paso, se reduce el uso de arcilla, materia prima no renovable.

Bibliografía

Araya, R., & García, M. (2021). *Comportamiento del ladrillo frente a la resistencia a compresión, al incorporar caolín en la mezcla*. Talca, Chile.: Tesis para optar al Título Profesional de Ingeniero Constructor.

Beer, F. P., Johnston Jr, E. R., & Mazurek, D. F. (2015). *Mecánica para ingenieros: Estática y Dinámica* (9 ed.). México, Distrito Federal: McGraw Hill.

Binici, H., Aksogan, O., & Shah, T. (2005). Investigation of fibre reinforced mud brick as a building material. *Construction and building materials*, 19(4), 313-318. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2004.07.013>

Callister Jr, W. D., & Rethwisch, D. G. (2014). *Materials Science and Engineering: An Introduction* (9 ed.). Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons.

Carrasco, R., Gajardo, A., & Mendoza, J. L. (2003). Geología de yacimientos de arcillas plásticas para la elaboración de cerámica blanca y refractarios en las regiones VI y VII, Chile. *X Congreso Geológico Chileno*. Concepción, Chile: Universidad de Concepción.

Colín, S. (2015). *Elaboración de ladrillos a partir de neumáticos de reúso*. México: Tesis profesional para obtener el título de ingeniero químico industrial.

Córdoba Gomajoa, S. A., Narvárez Guarín, K. I., Rivera Fajardo, P. A., & Zambrano Revelo, J. N. (2023). *Evaluación de la viabilidad del uso de grano de caucho reciclado (GCR) como material de aporte en unidades de mampostería de arcilla en distintos porcentajes*. Universidad Mariana. <https://repositorio.umariana.edu.co/handle/20.500.14112/28094>

Demir, I., Baspınar, M. S., & Orhan, M. (2005). Utilization of kraft pulp production residues in clay brick production. *Building and Environment*, 40(11), 1533-1537. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2004.11.021>.

Dondi, M., Marsigli, M., & Fabbri, B. (1997). Recycling of Industrial and Urban Wastes in Brick Production: A Review. *Tile & Brick International*, 13(3), 218-225.

Farfán Gómez, J. D. (2019). *Uso de caucho reciclado y tereftalato de polietileno (PET), para la elaboración de ladrillos ecológicos a nivel artesanal en el distrito de Chorrillos*. Universidad César Vallejo. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/42438>

Gedik, A. (2021). An exploration into the utilization of recycled waste glass as a surrogate powder to crushed stone dust in asphalt pavement construction. *Construction and Building Materials*, 300, 123980. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.123980>

INN. (1977). NCh 1116. *Áridos para morteros y hormigones - Determinación de la densidad aparente*.

INN. (1979). NCh 1515. *Mecánica de suelos - Determinación de la humedad*.

INN, C. (2001). NCh 167. *Construcción - Ladrillos cerámicos - Ensayos*.

INN, C. (2001). NCh 169. *Construcción - Ladrillos cerámicos - Clasificación y requisitos*.

INN, C. (Modificada en 2003). NCh 2123.Of1997. *Albañilería confinada - Requisitos de diseño y cálculo*.

Landinez, D., Calvo, M., & Cárdenas, C. (Julio de 2018). Caracterización de material arcilloso obtenido del río Guaviare, vereda de La Paz, Colombia. *Boletín de Ciencias de la Tierra*(44), 31-37. <https://doi.org/10.15446/rbct.n44.63248>

Manaure, E. G. (2017). *Impactos ambientales generados por la mina de arcilla Wajira*.

Mehta, P. K., & Monteiro, P. J. (2014). *Concrete: Microstructure, Properties, and Materials* (4 ed.). McGraw-Hill.

Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU). (2024). *D.S. N°47, 1992 - Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (OGUC)*. Diario Oficial de la República de Chile. <https://www.minvu.gob.cl/elementos-tecnicos/decretos/d-s-n47-1992-ordenanza-general-de-urbanismo-y-construccion/>

MMA. (21 de Enero de 2021). Ley REP: Se publicó decreto que obliga a empresas importadoras de neumáticos a recolectar y reciclar el 90% de ellos. *Ministerio del Medio Ambiente*. <https://mma.gob.cl/ley-rep-se-publico-decreto-que-obliga-a-empresas-importadoras-de-neumaticos-a-recolectar-y-reciclar-el-90-de-ellos/>

Mounika, G., & Harish Kumar, M. (2018). Application of rubber properties in clay bricks. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 5(12), 814-817.

Muñoz Velasco, P., Morales Ortíz, M. P., Mendivil Giró, M. A., & Muñoz Velasco, L. (2014). Fired clay bricks manufactured by adding wastes as sustainable construction material – A review. *Construction and Building Materials*, 63, 97-107. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.03.045>.

Normalización, D. d. (2003). *Albañilería confinada - Requisitos de diseño y cálculo*. Santiago, Chile.

OFICIAL, N. C. (n.d). *NCh169 of 2001 Construcción - Ladrillos cerámicos - Clasificación y requisitos*.

[Revista de Investigación Multidisciplinaria Iberoamericana. RIMI](#) © 2023 by [Elizabeth Sánchez Vázquez](#) is licensed under

Peláez Arroyave, G. J. (2017). *Peláez Arroyave, G. J., Velásquez Re Aplicaciones de caucho reciclado: Una revisión de la literatura. Ciencia e Ingeniería Neogranadina.*

Rahman, M. A. (1987). Properties of clay-sand-rice husk ash mixed bricks. *International Journal of Cement Composites and Lightweight Concrete*, 9(2), 105-108. [https://doi.org/10.1016/0262-5075\(87\)90026-1](https://doi.org/10.1016/0262-5075(87)90026-1)

Raut, S. P., Ralegaonkar, R. V., & Mandavgane, S. A. (2011). Development of sustainable construction material using industrial and agricultural solid waste: A review of waste-create bricks. *Construction and Building Materials*, 25(10), 4037-4042. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.04.038>.

Romero, J. (2021). *Determinación de la resistencia a compresión de ladrillos macizos fabricados con diferentes tipos de arcilla del cantón pastaza y su comparación con el ladrillo común.* Ambato, Ecuador.: Proyecto experimental previo a la obtención del título de ingeniera civil.

Shibib, K. S. (2015). Effects of waste paper usage on thermal and mechanical properties of fired brick. *Heat and Mass Transfer*, 51(5), 685--690. <https://doi.org/10.1007/s00231-014-1438-6>

Tripathi, M., & Chauhan, V. B. (2021). Evaluation of waste glass powder to replace the clay in fired brick manufacturing as a construction material. *Innovative Infrastructure Solutions*, 6, 134. <https://doi.org/10.1007/s41062-021-00492-2>

Zenteno Cáceres, R. A. (2011). *Efecto de la adición de caucho en las propiedades mecánicas del hormigón convencional.*

Zhang, L. (2013). Production of bricks from waste materials - A review. *Construction and Building Materials*, 47, 643-655. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.05.043>.