



Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinaria, Ciudad de México, México.

ISSN 2707-2207 / ISSN 2707-2215 (en línea), enero-febrero 2026,

Volumen 10, Número 1.

[https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v10i1](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v10i1)

## **RELAVE MINERO NO CONTAMINANTE Y ARCILLA EN EL COMPORTAMIENTO FÍSICO-MECÁNICO DEL LADRILLO PORTANTE, SANTIAGO DE CHUCO, 2025**

**RELAVE MINERO NO CONTAMINANTE Y ARCILLA  
EN EL COMPORTAMIENTO FÍSICO-MECÁNICO DEL  
LADRILLO PORTANTE, SANTIAGO DE CHUCO, 2025**

**Esgar Reinerio Rafaile Manrique**

Universidad César Vallejo, Peru

**Luis Alfonso Juan Barrantes Mann**

Universidad César Vallejo, Peru

DOI: [https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v10i1.22140](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v10i1.22140)

## Relave Minero no Contaminante y Arcilla en el Comportamiento Físico-Mecánico del Ladrillo Portante, Santiago De Chuco, 2025

**Esgar Reinerio Rafaile Manrique<sup>1</sup>**[erafailem@ucvvirtual.edu.pe](mailto:erafailem@ucvvirtual.edu.pe)<https://orcid.org/0000-0003-3196-5262>

Universidad César Vallejo

Lima, Perú

**Luis Alfonso Juan Barrantes Mann**[abarrantesma@ucvvirtual.edu.pe](mailto:abarrantesma@ucvvirtual.edu.pe)<https://orcid.org/0000-0002-2026-0411>

Universidad César Vallejo

Lima, Perú

### RESUMEN

El presente artículo tuvo su origen en el estudio realizado para optar el título profesional de Ingeniero Civil en la Universidad César Vallejo, precisando por objetivo modificar el comportamiento físico-mecánico del ladrillo portante mediante la incorporación de relave minero no contaminante en la arcilla, Santiago de Chuco 2025. La metodología fue de tipo aplicada, de enfoque cuantitativo y de diseño experimental. La población fue la elaboración de 500 ladrillos y la muestra tomada de 435 especímenes las cuales fueron distribuidas en 5 grupos experimentales para los ensayos físicos y mecánicos correspondientes de resistencia a compresión, variación dimensional, absorción y eflorescencia. Los resultados evidenciaron que los ladrillos con adición de 5 % (42.13 kg/cm<sup>2</sup>) y 10 % (50.33 kg/cm<sup>2</sup>) de relave alcanzaron las mejores resistencias, mientras que la absorción disminuyó conforme aumentó el porcentaje de relave. Se concluye que la adición de 5% y 10% de relave minero optimizo las propiedades físico-mecánicas sin afectar su estabilidad dimensional, consolidándose como una alternativa técnica y ambiental viable para la construcción

**Palabras clave:** materiales de construcción, minería, ingeniería civil, recursos naturales, desarrollo sostenible

<sup>1</sup> Autor principalCorrespondencia: [erafailem@ucvvirtual.edu.pe](mailto:erafailem@ucvvirtual.edu.pe)

# Non-Polluting Mining Tailings and Clay in the Physical-Mechanical Behavior of Load-Bearing Brick, Santiago de Chuco, 2025

## ABSTRACT

This article originated from a study conducted to obtain the professional degree of Civil Engineer at César Vallejo University. Its objective was to modify the physical-mechanical behavior of load-bearing bricks by incorporating non-polluting mine tailings into the clay, in Santiago de Chuco, 2025. The methodology was applied, quantitative, and experimental. The population consisted of 500 bricks, and the sample comprised 435 specimens, which were distributed into 5 experimental groups for the corresponding physical and mechanical tests of compressive strength, dimensional variation, absorption, and efflorescence. The results showed that bricks with the addition of 5% ( $42.13 \text{ kg/cm}^2$ ) and 10% ( $50.33 \text{ kg/cm}^2$ ) tailings achieved the best strengths, while absorption decreased as the percentage of tailings increased. It is concluded that the addition of 5% and 10% mining tailings optimized the physical-mechanical properties without affecting its dimensional stability, thus establishing it as a viable technical and environmental alternative for construction.

**Keywords:** construction materials, mining, civil engineering, natural resources, sustainable development

*Artículo recibido: 15 de diciembre 2025  
Aceptado para publicación: 22 de enero 2025*



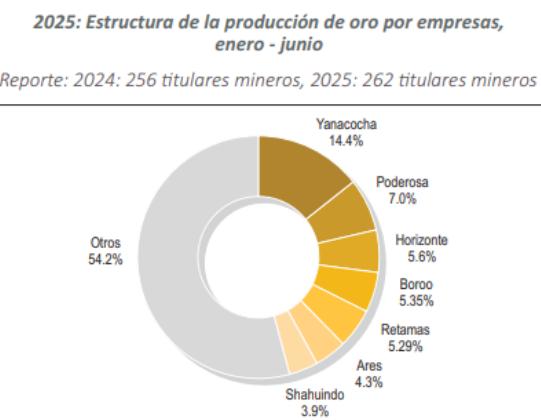
## INTRODUCCIÓN

Desde tiempos antiguos, los ladrillos portantes constituyen un material esencial en la construcción, principalmente por su firmeza en oposición a las fuerzas de compresión y su estabilidad ante la humedad. Estas propiedades favorecen su uso extendido; sin embargo, la creciente demanda de este insumo originó una extracción intensiva de arcilla, recurso no renovable cuya sobreexplotación generó impactos ambientales considerables, tales como la degradación del paisaje, el deterioro de los ecosistemas y la reducción progresiva de reservas naturales.

Por otro lado, el almacenamiento de relaves en depósitos especiales debido a la abundancia de material fino, es uno de los problemas ambientales más importantes asociados con la minería. y saturado que se acumulan, estos depósitos, si no cuentan con un plan de cierre adecuado generan riesgos de filtraciones, deslizamientos y contaminación de fuentes de agua subterránea y superficial (Schwarz, 1998).

En la zona de La Libertad en 2025, se tuvo registro un promedio de 307 empresas mineras formalizadas, cifra que reflejo un avance en el proceso de formalización minera Impulsado por el Ministerio de Energía y Minas en nombre del Estado (MINEM 2025). Ver figura 1

**Figura 1:** Estructura de producción de oro por empresas



Nota. MINEM

En este sentido, la situación reflejó una doble problemática, por un lado, la presión creciente sobre un recurso natural limitado como la arcilla y por otro la subutilización de residuos mineros que pueden ser aprovechados en procesos productivos. Ante este panorama, se planteó la necesidad de explorar alternativas que permitieran mitigar ambos impactos.

Por lo tanto, en la provincia se encontraron diversos pasivos mineros, trabajados de distintas formas ya sean por oxidación, flotación y cianuración, la más representativa se encuentra al borde de la carretera

liberteña, Trujillo; Santiago de Chuco (relavera Santa Catalina), de aproximadamente 800,000 m<sup>3</sup> de pasivo minero localizada en el distrito de Shorey.

En consecuencia, resultó pertinente desarrollar una investigación aplicada que evaluó cómo la adición de relave minero en la arcilla incidía en el comportamiento del ladrillo portante. Es así, que el análisis permitió determinar su viabilidad técnica, a la vez que contribuyó a la valorización de pasivos mineros y a la promoción de alternativas sostenibles dentro del sector construcción.

En el ámbito internacional, en Nigeria el autor Akanwa (2022), indicó que, a nivel mundial, las áreas forestales desaparecían rápidamente debido a actividades como la explotación humana, entre ellas la minería, la cual avanzaba agresivamente en las zonas con vegetación.

Asimismo, Arunashantha (2020), analizó la huella ambiental de la manufactura de la arcilla, llamando la atención sobre problemas como la erosión del suelo y la pérdida de biodiversidad, los cambios en la calidad del agua y la transformación del uso del suelo.

De igual manera, Saha (2023), Los sistemas de drenaje natural se vieron afectados por importantes problemas ambientales como la contaminación del suelo, el agua y el aire; el deterioro de los paisajes agrícolas vitales para la economía local y cambios en los ciclos hidrológicos.

Por otro lado, en el ámbito nacional Araujo et al. (2022), indicó que la minería fue una industria importante que representó el 6,9 % del PIB mundial. Sin embargo, el desarrollo global promovió una demanda acelerada, lo que resultó en la acumulación de residuos peligrosos en entornos terrestres, marítimos y aéreos.

De igual manera, Huaranga et al. (2021), en su estudio abordó la necesidad de evaluar el impacto ecológico que podían causar los metales pesados en suelos contaminados del territorio peruano, considerando la existencia de numerosos depósitos de relaves distribuidos en distintas regiones del país.

Para ello, se planteó la importancia de identificar especies de plantas vasculares que actuaran como bioindicadores de contaminación y que, además, poseyeran capacidad de fitorremediación.

Por lo tanto, el presente estudio ofreció una estrategia centrada en los relaves mineros en respuesta a este problema ambiental y a la necesidad de sostenibilidad de los recursos, por lo que este residuo de minería se consideró un subproducto de interés con gran potencial. Los objetivos de desarrollo sostenible (ODS) 9 (Industria, innovación e infraestructura), 11 (Ciudades y comunidades sostenibles),



12 (Producción y consumo responsables), 13 (Acción por el clima) y 15 (Vida de ecosistemas terrestres) se vieron favorecidos por este enfoque creativo y sostenible de la construcción.

Como consecuencia a lo expuesto se efectuó a mencionar, el **Problema General**:

- ¿Cómo la incorporación de relave minero no contaminante en la arcilla modificaría el comportamiento físico-mecánico del ladrillo portante, Santiago de Chuco, 2025?

Además, la presente investigación encuentra **justificación teórica** la revisión de diversos estudios previos que evidenciaban el manejo de relaves mineros debido a sus características potenciales útiles para formularlos y obtener materiales que ofrecieran resultados óptimos en la industria de la construcción, los cuales sirvieron como base para futuras investigaciones. Como **justificación práctica**, se consideró importante modificar el comportamiento físico-mecánico del ladrillo portante mediante el uso de relaves mineros no contaminantes en combinación con tierra arcillosa, con la finalidad de brindar una solución técnica y viable en zonas como Santiago de Chuco, donde predominaba la producción artesanal de ladrillos cuya calidad solía ser deficiente, especialmente en lo que compete a la respuesta mecánica, durabilidad y estabilidad dimensional. Por otro lado, la **justificación metodológica** presentó un enfoque cuantitativo experimental, considerado idóneo para comprobar cómo se alteraba el comportamiento físico-mecánico del ladrillo portante al formular el relave minero no contaminante con arcilla. Este enfoque permitió establecer la relación causal entre ambas variables al ser manipuladas (porcentaje de relave y arcilla), reflejándose los resultados en el comportamiento del ladrillo (respuesta mecánica a la compresión, densidad, absorción, contracción lineal, entre otras). En cuanto a la **justificación social**, esta abordó una demanda urgente de soluciones habitacionales dignas, accesibles y sostenibles, especialmente en regiones con altos índices de pobreza y viviendas precarias como Santiago de Chuco y otras zonas andinas del Perú. Además, se contempló la **justificación económica**, al proponerse una alternativa viable para la producción de ladrillos portantes mediante el uso de relave minero no contaminante y arcilla. Esta opción representó un ahorro significativo en los costos de producción frente al uso intensivo de recursos vírgenes tradicionales, ya que este subproducto se encontraba disponible en grandes extensiones y su costo era bajo o nulo. Finalmente, la **justificación tecnológica** buscó promover el desarrollo orientado al aprovechamiento de subproductos generados por la minería, que eran acumulados en grandes extensiones y afectaban los ecosistemas circundantes. Por



lo tanto, esta investigación integró dichos residuos para elaborar un material con alta demanda actual, ofreciendo una nueva perspectiva en la innovación de ladrillos portantes eso contribuiría a mejorar las condiciones de vida de las personas de bajos ingresos.

Por consecuencia, se obtuvo como **Objetivo General**

- Modificar el comportamiento físico-mecánico del ladrillo portante mediante la incorporación de relave minero no contaminante en la arcilla, Santiago de Chuco, 2025.

Mientras que por **Hipótesis General**

- Incorporando relave minero no contaminante en la arcilla modifica el comportamiento físico-mecánico del ladrillo portante, Santiago de Chuco, 2025.

## **METODOLOGÍA**

### **Tipo y diseño de investigación**

Este estudio fue de tipo aplicada, según Tamayo (2006), el cual constituye una clasificación metodológica que permite orientar el estudio según el propósito que se persigue, el nivel de profundidad del conocimiento que se busca alcanzar y el tipo de datos que se analizarán.

El enfoque cuantitativo, según Hernández et al (2021), considera cuantitativo porque se realiza una medición numérica y estadística, por lo que es fundamental en el análisis de datos numéricos relacionados con las características físico-mecánicas del ladrillo portante procesados a base de relave minero no contaminante y arcilla.

El diseño de investigación experimental, para Monjaras (2019), se explica como una estrategia global organizada que orienta a los investigadores hacia la búsqueda de soluciones a sus preguntas o la comprobación de sus hipótesis. Este diseño establece las estrategias y procedimientos específicos, definiendo el tipo de estudio, la selección de muestras, las técnicas de recolección y el análisis, con la finalidad de avalar la coherencia, confiabilidad y validez del estudio.

El nivel de la investigación explicativo, según Hernández et al. (2014), esta área explica la profundidad y alcance con que se aborda en una problemática científica, clasificándose generalmente en exploratorio, descriptivo y explicativo. Es así que se empleó este alcance con el fin de comprobar la hipótesis sugerida mediante el examen de la relación de causa y efecto entre el comportamiento físico-mecánico del ladrillo y las características de los materiales utilizados.



## **Población, muestra y muestreo**

Población, según Hernández et al. (2014), nos indican que la población se compone de todos los elementos con rasgos compartidos, que para efecto operacional la parte poblacional está conformada por un total de 500 especímenes elaborados a base de relave minero no contaminante y arcilla.

Muestra, según Hernández et al. (2014), precisa que es una porción representativa de la población, para el estudio se tomo un total de 435 especímenes distribuidos en 5 grupos experimentales según el porcentaje de remplazo de relave minero respecto al peso seco de la arcilla, cada grupo experimental estuvo conformado por 87 unidades de ensayo, de las cuales se destinaron especímenes para las pruebas correspondientes.

Muestreo, según Hernández et al. (2014) referencia que es el proceso de selección de un subconjunto representativo, el cual para el estudio el muestreo fue no probabilístico de tipo intencional, debido a que las unidades de análisis fueron seleccionadas de manera planificada según los requerimientos del diseño experimental.

## **Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

Para Hernández et al. (2014), los datos experimentales del estudio son la aplicaron técnicas e instrumentos de recolección de datos, el cual comprende procedimientos sistemáticos que el investigador utiliza para obtener información relevante y validad sobre las variables de estudio. Es así que, para los datos experimentales del estudio, se aplicaron técnicas de observación directa, pruebas de laboratorio y formularios de recopilación de datos de conformidad con los protocolos descritos en las normas técnicas peruanas (NTP).

## **Validez**

La validez, según Hernández et al. (2014), señala que es el valor en que un instrumento mide realmente la variable para la que ha sido diseñado, por lo tanto, primordial dentro del estudio. Esta investigación fue verificada por el dictamen de expertos en ingeniería civil, verificando la legitimidad de los métodos empleados en el proceso ensayos.

## **Confiabilidad de los instrumentos**

La confiabilidad, según Hernández et al. (2014), nos dice que es el grado con el cual se proporcionan resultados coherentes y concisos el cual se utilizan técnicas como el test-retest, que sirve para comparar



los resultados de la misma prueba a través de métodos como el alfa de Cronbach que verifica la similitud de las respuestas de los ítems. Por lo tanto, la confiabilidad de los resultados se garantizó mediante la repetición de los ensayos bajo las mismas condiciones experimentales y utilizando muestras representativas del mismo lote de producción.

Los instrumentos y equipos empleados balanzas, moldes, horno de cocción, prensa hidráulica, entre otros fueron calibrados previamente, garantizando mediciones precisas y reproducibles. De esta manera, los procedimientos y herramientas utilizadas demostraron validez técnica y confiabilidad estadística, permitiendo obtener resultados confiables y representativos de las propiedades mecánicas y físicas de los especímenes portantes fabricados a partir de residuos mineros no contaminantes.

### **Aspectos éticos**

En el desarrollo de los aspectos éticos de este estudio se siguieron estrictamente las directrices éticas que rigen la conducta científica. Se garantizó la transparencia a lo largo de todo el proceso de investigación, así como el respeto por el medio ambiente, la salud pública y la integridad de los datos recopilados. En este sentido, el Código de Ética de la Universidad César Vallejo regirá la realización de este proyecto de investigación. El artículo 7 aborda el rigor científico, esencial en todo estudio para garantizar la validez y fiabilidad de los resultados. Asimismo, el artículo 14 exige que todos los resultados se publiquen y se pongan a disposición del público y la comunidad científica. Esto contribuye a la difusión del conocimiento y facilita la labor de otros investigadores. Para asegurar la calidad del estudio, toda la información se someterá al programa de detección de plagio Turnitin, y las citas a los autores conforme a la norma ISO 690.

## **RESULTADOS**

Se evidencian los resultados de la fase experimental de la investigación, donde se realizaron ensayos para analizar el impacto de la adición de relaves mineros no contaminantes en diferentes proporciones a la mezcla sobre las características mecánicas y físicas del ladrillo portante. Para cumplir con la calidad y fiabilidad de los datos, cada ensayo se determinó de acuerdo con los protocolos normados.

### **Diseño de mezcla**

En cumplimiento con la normativa E.070 "Albañilería", se realizó el diseño de mezcla para la elaboración de ladrillos artesanales sin la inclusión de relaves estándar (0%) y con la adición de 5%,



10%, 15% y 20% de relaves. Ver tabla 5

**Tabla 5:** Diseño de mezcla para elaboración de especímenes

**Diseño de mezcla para elaboracion de ladrillos**

Material	Unidad	0%	5%	10%	15%	20%
<b>Arcilla</b>	Kg	265.83	254.67	243.27	229.45	220.91
<b>Relave</b>	Kg	-	13.29	26.58	40.5	53.15
<b>Cal</b>	Kg	-	5.31	5.31	5.31	5.31
<b>Agua</b>	L	79.83	79.54	79.79	79.79	80.24

**Análisis químico del relave**

El análisis químico se realizo una vez realizada la neutralización con cal hidratada por lo que los resultados indicaron que el pH neutro (7.4) confirmó la no acidez del relave, clasificándolo como no contaminante. Ver tabla 6

**Tabla 6:** Resultado de ensayo de análisis químico

**Analisis quimico de una muestra de sedimentos**

Parametro	Unidad	V.estimado	Metodo de ensayo
<b>Ph</b>	-	7.4	Astm d 4972

**Ensayos de absorción**

De acuerdo con las normativas establecida de la NTP 331.018 y NTP 399.604, se determinó la capacidad de absorción de los especímenes estructurales cuando están completamente saturados. Ver tablas 7 -11

**Tabla 7:** Resultado de ensayo de absorción para espécimen patrón 0%

**Determinacion de la absorcion en unidades patron 0%**

Datos	1	2	3	4	5	Promedio
1 P. Muestra sss (g)	3122	3125	3138	3141	3127	....
2 P. Muestras seca h (g)	2621	2619	2625	2635	2622	....
3 Absorcion (g)	19.10	19.32	19.54	19.20	19.26	19.285

**Tabla 8:** Resultado de ensayo de absorción para espécimen 5%

**Determinacion de la absorcion en unidades patron 5%**

1 P. Muestra sss (g)	3142	3145	3149	3140	3142	....
2 P. Muestras seca h (g)	2745	2741	2743	2735	2740	....
3 Absorcion (g)	14.46	14.74	14.80	14.81	14.67	14.697



**Tabla 9:** Resultado de ensayo de absorción para espécimen 10%**Determinacion de la absorcion en unidades patron 10%**

1	P. Muestra sss	(g)	3162	3168	3164	3170	3171	....
2	P. Muestras seca h	(g)	2773	2774	2782	2780	2781	....
3	Absorcion	(g)	14.03	14.20	13.73	14.03	14.02	14.003

**Tabla 10:** Resultado de ensayo de absorción para espécimen 15%**Determinacion de la absorcion en unidades patron 15%**

1	P. Muestra sss	(g)	3171	3176	3177	3181	3182	....
2	P. Muestras seca h	(g)	2793	2794	2790	2791	2796	....
3	Absorcion	(g)	13.53	13.67	13.87	13.97	13.81	13.771

**Tabla 11:** Resultado de ensayo de absorción para espécimen 20%**Determinación de la absorción en unidades patrón 20%**

1	P. Muestra sss	(g)	3182	3184	3186	3188	3196	....
2	P. Muestras seca h	(g)	2814	2815	2817	2819	2808	....
3	Absorción	(g)	13.08	13.11	13.10	13.09	13.82	13.238

Los resultados mostraron que la absorción disminuyó progresivamente conforme aumentó el porcentaje de relave minero no contaminante. El ladrillo patrón (0%) presentó 19.29% de absorción, mientras que con 5% de relave el valor se redujo a 14.70% (23.8%).

**Variación dimensional**

El ensayo de variación de dimensiones, realizado según la NTP 331.018, evaluó los cambios lineales generados durante el secado y la cocción de ladrillos portantes con 0%, 5%, 10%, 15% y 20% de relave minero no contaminante. Ver tabla 12

**Tabla 12:** Resultados de ensayo de variación dimensional**Variación en unidades de albañilería**

Tipo de ladrillo	Largo (l) %	Ancho (a) %	Altura (a) %
<b>L. Patrón 0%</b>	1.75	2.17	1.1
<b>L. Adición 5%</b>	2.50	2.61	2.22
<b>L. Adición 10%</b>	2.00	3.48	3.33
<b>L. Adición 15%</b>	1.42	2.61	2.00
<b>L. Adición 20%</b>	1.50	2.52	2.22

Se observa un incremento moderado de la variación al adicionar 5% y 10% de relave minero, principalmente en el ancho y altura, atribuible a la mayor finura del relave, que puede modificar la



compactación y la contracción durante el secado.

### Densidad aparente

para determinar la densidad aparente se realizó conforme a los procedimientos establecidos para unidades cerámicas. El propósito fue determinar la masa por unidad de volumen de los ladrillos portantes elaborados con distintas proporciones de relave minero no contaminante. Ver tabla 13

**Tabla 13:** Resultados de ensayos de densidad aparente

#### Densidad aparente en unidades de ladrillos

Porcentaje de relave %	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )
0%	1.696	1996
5%	1.709	1709
10%	1.713	1713
15%	1.719	1719
20%	1.722	1722

Los resultados muestran un incremento progresivo en la densidad aparente conforme aumenta la sustitución de arcilla por relave minero no contaminante. El ladrillo patrón registró una densidad promedio de 1.696 g/cm<sup>3</sup>, mientras que la mezcla con 20% de relave alcanzó 1.722 g/cm<sup>3</sup>.

### Ensayo de alabeo

El ensayo de alabeo o planicidad superficial se efectuó conforme a la NTP 331.018, con el fin de determinar las deformaciones cóncavas o convexas. Ver tabla 14

**Tabla 14:** Resultados de ensayos de alabeo

#### Alabeo en especímenes de albañilería

% de relave	A. Superficial	A. Bordes	T. Maxima
0%	1.0	2.0	4.0
5%	1.0	2.0	4.0
10%	1.0	1.5	4.0
15%	1.0	1.5	4.0
20%	2.0	2.0	4.0

Los resultados obtenidos mostraron que todos los especímenes ensayados cumplieron con los límites establecidos por la NTP 331.018, manteniéndose por debajo del máximo permitido de 4 mm. El alabeo superficial varió entre 1.0 mm y 2.0 mm, mientras que en los bordes osciló entre 1.5 mm y 2.0 mm, valores considerados muy bajos y técnicamente aceptables.



## Ensayo de Eflorescencia

El ensayo de eflorescencia se realizó siguiendo el proceso y exigencias de las NTP 399.613, con el fin de determinar la presencia de sales solubles. Ver tabla 15

**Tabla 15:** Resultados de ensayos de eflorescencia

<b>Ensayo de eflorescencia</b>			
<b>Muestra</b>	<b>Pares de enesayo</b>	<b>Resultado observado</b>	<b>Clasificación</b>
<b>Ladrillo patrón 0%</b>	5	Ningún par presentó eflorescencia	No eflorescente
<b>Ladrillo 5% relave</b>	5	2 pares presentaron eflorescencia leve	Parcialmente eflorescente
<b>Ladrillo 10% relave</b>	5	2 pares presentaron eflorescencia leve	Parcialmente eflorescente
<b>Ladrillo 15% relave</b>	5	3 pares presentaron eflorescencia leve	Parcialmente eflorescente
<b>Ladrillo 20% relave</b>	5	3 pares presentaron eflorescencia leve	Parcialmente eflorescente

Los ladrillos patrón (sin relave) no mostraron signos de eflorescencia, lo que indica una buena estabilidad química del material. En los ladrillos con adición de relave minero, se observó una ligera tendencia a la eflorescencia superficial, que aumenta conforme aumenta el porcentaje de relave en la mezcla.

## Resistencia a compresión en unidades

Se realizó de acuerdo con el procedimiento establecido en las normativas ASTM C140 y la NTP 399.604 - E.070, utilizando especímenes de ladrillo artesanal elaboradas de arcilla y relave minero. Ver tabla 16

**Tabla 16:** Resultados de ensayos de resistencia a compresión en unidades

<b>Prueba estándar para la resistencia a la compresión</b>		
<b>Tipo de ladrillo</b>	<b>F'b promedio</b>	<b>Desviación estandar</b>
Ladrillo patrón 0%	66.3	1.1
Ladrillo 5% relave	72.1	0.7
Ladrillo 10% relave	73.3	0.7



Ladrillo 15% relave	68.8	0.8
Ladrillo 20% relave	64.3	0.8

Los resultados demostraron un incremento significativo en la respuesta mecánica hasta una adición de relaves del 10%, con un valor promedio  $73.3 \text{ kg/cm}^2$  superior al de un ladrillo típico ( $66.3 \text{ kg/cm}^2$ ).

### Resistencia a compresión axial en pilas

Se realizaron ensayos de respuesta mecánica en pilas de mampostería utilizando tres unidades de ladrillos hechos a mano con arcilla y relaves mineros no contaminantes, de acuerdo con el protocolo descrito en ASTM C1314 y NTP 399.605. Ver tabla 17

**Tabla 17:** Resultados de ensayos de resistencia axial en pilas

#### Prueba estándar para la resistencia a la compresión de pilas de albañilería

Tipo de ladrillo	F'm promedio
Ladrillo patrón 0%	42.05
Ladrillo 5% relave	47.1
Ladrillo 10% relave	50.3
Ladrillo 15% relave	47.65
Ladrillo 20% relave	45.7

Los resultados muestran un incremento progresivo en la resistencia a la compresión hasta el 10 % de adición de relave minero, alcanzando una respuesta promedio de  $50.3 \text{ kg/cm}^2$ , superior en un 19.6 % al ladrillo patrón ( $42.05 \text{ kg/cm}^2$ ).

### Resistencia a la compresión a corte diagonal en murete

La prueba de resistencia a compresión diagonal de muros de mampostería construidos con ladrillos artesanales de arcilla y residuos mineros no contaminantes, se llevó a cabo siguiendo el protocolo descrito en las normas ASTM E519-02 y NTP 399.621. Ver tabla 17

**Tabla 17:** Resultados de ensayos de resistencia a la compresión al corte diagonal en muretes

#### Método de prueba estándar para la resistencia a la compresión diagonal de murete

Tipo de ladrillo	V'm promedio
Ladrillo patrón 0%	8.43
Ladrillo 5% relave	9.60
Ladrillo 10% relave	10.80
Ladrillo 15% relave	9.35
Ladrillo 20% relave	8.95



El murete elaborado con ladrillos patrón (0%) alcanzó una resistencia promedio de 42.05 kg/cm<sup>2</sup>, representando la base de comparación. Con la adición de 5% de relave, la respuesta mecánica aumentó a 47.10 kg/cm<sup>2</sup>, mostrando una mejora significativa del 12% respecto al patrón. Posteriormente, con 10% de relave, se obtuvo el máximo valor de resistencia promedio (50.30 kg/cm<sup>2</sup>), lo que evidencia un aumento del 19.6% en la capacidad de carga respecto al ladrillo tradicional. Sin embargo, a partir del 15% de adición, la resistencia disminuyó a 47.65 kg/cm<sup>2</sup>, y con 20% de relave descendió a 45.70 kg/cm<sup>2</sup>, lo cual indica que un exceso de material mineral reduce la cohesión interna y la adherencia entre las unidades y el aglutinante.

## DISCUSIÓN

En términos generales, se observó que la mezcla de relave y arcilla modifica de manera diferenciada las propiedades del ladrillo. En la resistencia a la compresión, los porcentajes de 5% y 10% mostraron el mejor desempeño mecánico, superando al ladrillo patrón. Pese a ello, todos los valores obtenidos cumplieron con los requisitos establecidos en la Norma E.070 “Albañilería”, confirmando su viabilidad técnica.

Respecto a la absorción de agua, se evidenció una tendencia decreciente conforme aumentaba el contenido de relave. El ladrillo patrón presentó una absorción de 19.29%, mientras que las mezclas con 5% y 20% alcanzaron 14.70% y 13.23%, respectivamente. Estos resultados se encuentran dentro de los límites de la Norma E.070, y coinciden con estudios como los de Gómez (2022), quienes señalan que una menor absorción mejora la resistencia a la intemperie y reduce la degradación por humedad.

En cuanto a la estabilidad dimensional, los ensayos demostraron que todos los ladrillos mantuvieron sus medidas dentro de los parámetros permitidos, sin variaciones significativas entre tratamientos. La incorporación del relave actuó como un relleno mineral que redujo la contracción del material durante el secado y la cocción, permitiendo conservar la uniformidad geométrica. Este comportamiento concuerda con investigaciones de Valdés et al. (2020), quienes destacan la capacidad de los minerales finos para estabilizar mezclas cerámicas.

La interpretación integral de los resultados confirma que la adición controlada de relave minero especialmente entre 5% y 10% mejora el comportamiento físico-mecánico del ladrillo portante sin comprometer su estabilidad dimensional. Así, se valida la hipótesis de que el uso del relave es técnica



y ambientalmente viable, pues optimiza propiedades como resistencia y absorción, permitiendo además aprovechar un residuo minero que generalmente se destina a depósitos generadores de impacto ambiental.

A nivel de discusión por objetivos, el objetivo principal modificar la resistencia a la compresión se cumplió, dado que los porcentajes moderados de relave incrementaron la resistencia del ladrillo, tal como lo sustentan Rodríguez (2020) y Valdés et al. (2020), quienes mencionan que los materiales de granulometría fina fortalecen la compactación interna. El segundo objetivo alterar la absorción de agua también se logró, pues el relave actuó como un agente de sellado que redujo la porosidad, reforzando la durabilidad. El tercer objetivo evaluar la estabilidad dimensional evidenció que el relave no genera deformaciones ni variaciones perjudiciales en las dimensiones del ladrillo, manteniéndose dentro de los márgenes normativos.

Finalmente, desde una perspectiva de sostenibilidad, la propuesta contribuye directamente a los ODS 9, 11 y 12. En el ámbito del ODS 9, el estudio fomenta innovación en la industria de materiales al emplear relave como insumo alternativo, reduciendo la extracción de arcilla. Para el ODS 11, se evidencia que los ladrillos con relave cumplen con los estándares técnicos, aportando a edificaciones más sostenibles y resilientes. Asimismo, en relación con el ODS 12, se promueve una producción responsable mediante la valorización de residuos mineros, alineándose con los principios de economía circular.

## **CONCLUSION**

Los resultados obtenidos permitieron cumplir con los objetivos planteados y validar la hipótesis general del estudio, demostrando que el uso del relave minero no contaminante en la fabricación de ladrillos portantes es técnica y ambientalmente viable, siempre que se mantengan proporciones controladas de adición.

**Conclusión 1:** Se concluyó que la respuesta mecánica a la compresión del ladrillo portante mejoró significativamente con la adición de relave minero no contaminante en porcentajes del 5% y 10%, superando los valores obtenidos por el ladrillo patrón. Este incremento se debió a la densificación interna generada por las partículas finas del relave, que redujeron la porosidad y mejoraron la cohesión del material.



**Conclusión 2:** Se determinó que la absorción de agua disminuyó conforme aumentó la proporción de relave en la mezcla, alcanzando su punto más bajo con un 10% de adición. Este comportamiento se explicó por la función de los finos minerales del relave, que sellaron los poros capilares y redujeron la permeabilidad del ladrillo.

**Conclusión 3:** Se evidenció que la incorporación de relave minero no contaminante no afectó significativamente la estabilidad dimensional del ladrillo portante. Las variaciones en largo, ancho y alto permanecieron dentro de los márgenes normativos, lo que permitió concluir que el material conserva su geometría durante los procesos de secado y cocción. Esto confirma que el relave puede integrarse sin comprometer las dimensiones finales del producto.

**Conclusión general:** En conjunto, se concluyó que la integración de relave minero no contaminante en proporciones del 5% al 10% mejoró las propiedades fisico-mecánicas del ladrillo portante sin alterar su estabilidad dimensional. El material desarrollado cumplió con los requisitos técnicos establecidos en las normas técnicas peruanas.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

SCHWARZ, Max. Los relaves mineros y la tecnología del ambiente [en línea]. Revista Ingeniería Industrial, n° 21, 1998, pp. 77-85 [fecha de consulta: 22 de septiembre de 2025].

Disponible en: <https://doi.org/10.26439/ing.ind1998.n021.2554>

MINEN, Ministerio de energía y minas. Listado de mineros formalizados [en línea]. Lima, 2025. [fecha de consulta: 22 de septiembre de 2025].

Disponible en: <https://www.gob.pe/institucion/minem/informes-publicaciones/463166>

AKANWA, Angela. Sustainable natural resources exploitation: Clay/sand mining on diminishing greener security and increased climate risks in Nigeria [en línea]. en: adeleke, b.o. y kassim, a.t. (eds.). Natural Resources Conservation and Advances for Sustainability. Amsterdam: Elsevier, 2022. p. 545–562. [fecha de consulta: 23 de mayo de 2025].

Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822976-7.00018-1>

ARUNASHANTHA, Sampath. El impacto ambiental de la industria de la arcilla en Sri Lanka: con especial referencia a la División de la Secretaría Divisional de Dankotuwa (DSD) [en línea]. En: International Journal of Scientific and Research Publications, 2020, vol. 10, n°. 7, p. 92. [fecha



de consulta: 28 de mayo de 2025].

Disponible en: <http://dx.doi.org/10.29322/IJSRP.10.07.2020.p10311>.

SAHA, Bikas. Huellas ambientales y riesgos laborales de la minería de arcilla: un estudio de caso en Patel Nagar, Birbhum, Bengala Occidental, India [en línea]. En: The Nucleus, 2023, vol. 60, n.º 2, pp. 126-130. [fecha de consulta: 28 de mayo de 2025].

Disponible en: <https://doi.org/10.71330/thenucleus.2023.1311>.

ARAUJO, Francisco [et al]. Reciclaje y reutilización de relaves mineros: una revisión de los avances y sus implicaciones [en línea]. En: Geosciences, 2022, vol. 12, n.º 9, artículo 319. [fecha de consulta: 24 de mayo de 2025].

Disponible en: <https://doi.org/10.3390/geosciences12090319>

HUARANGA, Félix [et al]. Especies bioindicadoras de contaminación por relaves mineros en el Sector Samne, La Libertad-Perú, 2021. Arnaldoa [en línea]. 2021, vol.28, n.3, [Fecha de consulta: 24 de mayo de 2025].

Disponible en: <https://doi.org/10.22497/arnaldoa.283.28310>

TAMAYO, Mario. El proceso de la investigación científica [en línea]. México, 4ta Ed, incluye evaluación Y administración de proyectos de investigación, 2006. [fecha de consulta: 25 de mayo de 2025].

Disponible en: <https://www.limusadigital.mx/libro/el-proceso-de-la-investigacion>

HERNÁNDEZ, Roberto [et al]. Metodología de la investigación [en línea]. 8.ª ed. Ciudad de México: 2021. [fecha de consulta: 25 de mayo de 2025].

Disponible en: <https://www.mheducation.com>

MONJARAS, Ana [et al]. Diseños de investigación [en línea]. vol. n°15, 2019. [fecha de consulta: 06 de agosto de 2025].

Disponible en: <https://doi.org/10.29057/icsa.v8i15.4908>

HERNÁNDEZ, Roberto, [et al]. Metodología de la investigación. 6.ª ed. Ciudad de Mexixo: 2014. [fecha de consulta: 25 de mayo de 2025].

Disponible en: <https://www.mheducation.com.mx/metodologia-de-la-investigacion>

BIA. Brick industry association. Brick Masonry Material Properties [en línea]. Technical Notes 3A,



Reston (VA): Brick Industry Association, 2006 [fecha de consulta: 08 de octubre de 2025].

Disponible en: [https://www.gobrick.com/media/file/TN\\_3A\\_Brick\\_Masonry\\_Material](https://www.gobrick.com/media/file/TN_3A_Brick_Masonry_Material)

GOMES, Ana [et al]. Application of tailing from small-scale gold mining in the production of soil-cement brick [en línea]. Revista Matéria, vol. 27, 2022. [fecha de consulta: 12 de noviembre de 2025].

Disponible en: <https://doi.org/10.1590/S1517-707620220001.1341>

KHEXHI, Klodjan. Water absorption, capillarity action, and materials composition of different bricks and panels as part of the external coating of buildings. Case study: Tirana, Albania [en línea]. vol. n°1, 2024. [fecha de consulta: 06 de agosto de 2025].

Disponible en: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202458501015>

VALDÉS, Hugo [et al]. Artisan Brick Kilns: State-of-the-Art and Future Trends [en línea]. Sustainability, vol. 12, n.º 18, 2020 [fecha de consulta: 06 de octubre de 2025].

Disponible en: <https://doi.org/10.3390/su12187724>

RODRÍGUEZ, Zully. Diseño de ladrillo de arcilla artesanal con adición de ceniza de cascarilla de arroz para viviendas unifamiliares, Rioja – 2020 [en línea]. Tesis (Ingeniería Civil). Tarapoto, Universidad César Vallejo, 2020. [Fecha de consulta: 15 de octubre de 2025].

Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12692/55302>

ALVES, Suzy. Manufacturing of fired clay bricks with iron tailings and steel slag [en línea]. 2021. [Fecha de consulta: 13 de noviembre de 2025]

Disponible en: <https://doi.org/10.5281/zenodo.7401976>

BEULAH, M [et al]. Mine Waste-Based Next Generation Bricks: A Case Study of Iron Ore Tailings, Red Mud and GGBS Utilization in Bricks [en línea] vol. 2021. [fecha de consulta: 24 de mayo de 2025]. Disponible en: <https://doi.org/10.1155/2021/9499613>

BENAHSINA, Azzeddine [et al]. Manufacture and Characterization of Fired Bricks from Gold Mine Waste Rocks [en línea] vol. 2021. [fecha de consulta: 04 de agosto de 2025]

Disponible en: <https://doi.org/10.3390/min11070695>

BATEY, Tony. Soil compaction and soil management – a review [en línea]. Soil Use and Management, vol. 25, n.º 4, 2009 [fecha de consulta: 06 de octubre de 2025].



Disponible en: <https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.2009.00236.x>

BLOTT, Simon Gradistat: A grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments [en línea]. Earth Surface Processes and Landforms, vol. 26, n.º 11, 2001 [fecha de consulta: 06 de octubre de 2025].

Disponible en: <https://doi.org/10.1002/esp.261>

BERGAYA, Faiza. Clays, Clay Minerals, and Clay Science [en línea]. vol. n°1, 2006 [fecha de consulta: 06 de agosto de 2025].

[https://doi.org/10.1016/S1572-4352\(05\)01001-9](https://doi.org/10.1016/S1572-4352(05)01001-9)

CHAVARRY, Carlos [et al]. Use Of Mining Tailings in The Manufacture of Ecological Bricks to Encourage the Construction of Sustainable Housing [en línea] vol. 10, n.º.3, 2023. [Fecha de consulta el 24 de mayo de 2025].

<https://doi.org/10.15379/ijmst.v10i3.1997>

