



**FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y  
URBANISMO**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

**TRABAJO DE INVESTIGACIÓN**

**Impacto de la ceniza volante en las propiedades de ladrillos  
arcillosos: Una revisión literaria**

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

**Autor**

Purisaca Pinedo Maximo Alexander

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3864-9035>

**Asesor**

Mg. Oblitas Gastelo Boris Enrique

<https://orcid.org/0000-0001-6791-4016>

**Línea de Investigación**

**Tecnología e Innovación en el Desarrollo de la Construcción y la  
Industria en un Contexto de Sostenibilidad**

**Sublínea de Investigación**

**Innovación y Tecnificación en Ciencia de los Materiales, Diseño e**

**Infraestructura**

**Pimentel – Perú**

**2025**

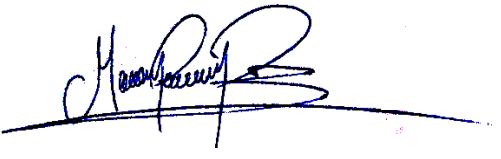
**DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD**

Quien suscribe la DECLARACIÓN JURADA, soy egresado del Programa de Estudios de INGENIERIA CIVIL de la Universidad Señor de Sipán S.A.C, declaro (amos) bajo juramento que soy (somos) autor(es) del trabajo titulado:

**Impacto de la ceniza volante en las propiedades de ladrillos arcillosos:  
Una revisión literaria**

El texto de mi trabajo de investigación responde y respeta lo indicado en el Código de Ética del Comité Institucional de Ética en Investigación de la Universidad Señor de Sipán (CIEI USS) conforme a los principios y lineamientos detallados en dicho documento, en relación a las citas y referencias bibliográficas, respetando al derecho de propiedad intelectual, por lo cual informo que la investigación cumple con ser inédito, original y auténtico.

En virtud de lo antes mencionado, firma:

Purisaca Pinedo Maximo Alexander	DNI: 72242351	
-------------------------------------	---------------	--

Pimentel, 30 de enero de 2025




# 4% Similitud general

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

## Filtrado desde el informe

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

## Fuentes principales

- 3%  Fuentes de Internet
- 1%  Publicaciones
- 1%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

## Marcas de integridad

### N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

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

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

## **Dedicatoria**

Este logro, el haber culminado mi carrera profesional, no habría sido posible sin el amor, la guía y el apoyo incondicional de mis padres, Luis Purisaca y Nilda Pinedo, quienes han sido mi fortaleza y mi inspiración en cada paso de este camino. A ellos, les debo no solo este triunfo, sino también la persona en la que me he convertido.

También quiero agradecer a mis hermanos y a mi familia cercana, quienes siempre estuvieron ahí para apoyarme en los momentos más desafiantes. Y, por supuesto, a mis amigos, esos compañeros de vida que conocí durante estos años universitarios y que han dejado una huella imborrable en mi corazón.

Hoy, con profunda gratitud y alegría, puedo decir: "Misión cumplida". Pero esto no es el final, sino el comienzo de una nueva etapa en la que seguiré creciendo como hijo, como persona, como amigo y, ahora, como profesional.

## **Agradecimientos**

En primer lugar, quiero expresar mi más sincero agradecimiento a mis abuelos, Máximo y Manuelita, por su apoyo incondicional durante estos cinco años de carrera. Su cariño y dedicación han sido un pilar fundamental en mi vida, y sin su presencia constante, este logro no habría sido posible.

A mis padres, gracias por brindarme las herramientas y la motivación necesarias para alcanzar mis metas. Sus enseñanzas y valores han sido mi guía en cada paso que he dado.

A mis compañeros de estudio, con quienes he compartido momentos inolvidables y aprendizajes que van más allá de las aulas. Su amistad y colaboración han enriquecido mi experiencia académica.

A mis amigos, por estar siempre presentes, en los momentos buenos y en los difíciles. Su apoyo ha sido un regalo invaluable en este camino.

Finalmente, a todos aquellos que, de una forma u otra, han contribuido a mi crecimiento personal y profesional. Cada uno de ustedes ha dejado una huella en mi vida, y por eso les estaré eternamente agradecido.

## Índice

Reporte de turnitin.....	3
Dedicatoria.....	4
Agradecimientos .....	5
Índice.....	6
Resumen.....	7
Abstract .....	8
I. INTRODUCCIÓN .....	9
1.1. Realidad problemática. ....	9
1.2. Formulación del problema .....	10
1.3. Hipótesis.....	10
1.4. Objetivos .....	10
1.5. Teorías relacionadas al tema.....	11
II. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN.....	12
III. RESULTADOS .....	13
<b>Tabla 1</b> <i>Análisis del efecto de la CV en resistencia, porosidad y absorción de agua</i> .....	13
<b>Tabla 2</b> <i>Tratamientos para mitigar lixiviación de metales.....</i>	13
<b>Tabla 3</b> <i>Directrices para proporciones y procesos .....</i>	13
<b>Tabla 4</b> <i>Ventajas del uso de ceniza volante en ladrillos arcillosos .....</i>	14
<b>Tabla 5</b> <i>Desventajas del uso de ceniza volante en ladrillos arcillosos.....</i>	14
IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES .....	15
V. REFERENCIAS.....	17

## **Resumen**

La ceniza volante (CV) se puede incorporar en la producción de ladrillos arcillosos para mejorar sus propiedades físicas, mecánicas y ambientales. El objetivo de este análisis es evaluar el impacto de la ceniza volante en las propiedades de los ladrillos, sintetizando hallazgos científicos recientes sobre su efecto en la resistencia, porosidad, absorción de agua y sostenibilidad. En este estudio, se utilizaron diversos tratamientos para evaluar la influencia de diferentes proporciones de ceniza volante y aditivos como sílice humo y nanotubos de carbono en las características de los ladrillos. Los resultados obtenidos muestran que la incorporación de ceniza volante en la mezcla mejora significativamente la resistencia a compresión, especialmente cuando se combina con sílice humo, aumentando la resistencia en un 27.55%. Además, la adición de ceniza volante reduce la porosidad en un 15%, lo que mejora la durabilidad del material. Sin embargo, se observó que concentraciones mayores de ceniza volante pueden aumentar la absorción de agua, lo que podría afectar la estabilidad del material bajo condiciones húmedas. En términos ambientales, la utilización de ceniza volante contribuye a la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> y mejora la sostenibilidad de la producción de ladrillos. Este análisis demuestra que, aunque el uso de ceniza volante presenta múltiples beneficios en términos de resistencia y sostenibilidad, su aplicación requiere un control adecuado de las proporciones y la calidad de la ceniza para evitar efectos adversos, como la lixiviación de metales pesados y el aumento de la porosidad.

**Palabras Clave:** Ceniza volante, ladrillos, arcilla

## **Abstract**

Fly ash (FC) can be incorporated into the production of clay bricks to improve their physical, mechanical and environmental properties. The objective of this analysis is to evaluate the impact of fly ash on brick properties, synthesizing recent scientific findings on its effect on strength, porosity, water absorption and sustainability. In this study, various treatments were used to evaluate the influence of different proportions of fly ash and additives such as fumed silica and carbon nanotubes on brick characteristics. The results obtained show that the incorporation of fly ash in the mix significantly improves the compressive strength, especially when combined with fumed silica, increasing the strength by 27.55%. In addition, the addition of fly ash reduces the porosity by 15%, which improves the durability of the material. However, it was observed that higher concentrations of fly ash can increase water absorption, which could affect the stability of the material under humid conditions. In environmental terms, the use of fly ash contributes to the reduction of CO<sub>2</sub> emissions and improves the sustainability of brick production. This analysis demonstrates that, although the use of fly ash presents multiple benefits in terms of strength and sustainability, its application requires proper control of the proportions and quality of the ash to avoid adverse effects, such as leaching of heavy metals and increased porosity.

**Keywords:** Fly ash, bricks, clay.



## I. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Realidad problemática.

La producción convencional de ladrillos arcillosos enfrenta una crisis multidimensional. Por un lado, la extracción desmedida de arcilla natural ha generado la degradación de suelos fértiles, con estimaciones que indican que, a nivel global, se requieren entre 230 y 242 millones de metros cúbicos de tierra agrícola anuales para satisfacer la demanda de ladrillos, equivalente a 25,500 hectáreas de cultivo a un metro de profundidad (Parkash et al., 2023). Este modelo no solo amenaza la seguridad alimentaria, sino que contribuye a la desertificación, especialmente en regiones con alta actividad constructora como Asia y África. Por otro lado, el proceso de cocción en hornos tradicionales emite aproximadamente 1.3 toneladas de CO<sub>2</sub> por cada millar de ladrillos producidos, agravando la huella de carbono del sector construcción (Sutcu et al., 2019).

En paralelo, la generación de ceniza volante (CV), residuo de centrales termoeléctricas e incineradoras de residuos, alcanza volúmenes alarmantes: solo en India, se producen 226 millones de toneladas anuales, de las cuales el 65% permanece sin gestión adecuada, contaminando suelos y acuíferos con metales como plomo, cromo y arsénico (Dash et al., 2022; Voišnienė et al., 2020). Este escenario ha impulsado investigaciones para integrar CV en materiales de construcción, buscando mitigar su impacto ambiental. Estudios como los de Kirkelund et al. (2020) demuestran que la sustitución del 20-30% de arcilla con CV tratada electrodiálíticamente reduce la porosidad de los ladrillos en un 15%, mejorando su resistencia a la compresión (hasta 12 MPa) y adaptabilidad a climas extremos. Sin embargo, la adopción industrial enfrenta barreras técnicas: la variabilidad química de las CV —contenidos fluctuantes de sílice, alúmina y carbono no quemado— altera la microestructura de los ladrillos, generando fisuras durante el secado o lixiviación de contaminantes en condiciones húmedas (Dacuba et al., 2022; Tyagi et al., 2024). Además, la falta de normativas claras sobre porcentajes máximos de sustitución (entre 5% y 40% según el tipo de CV) y métodos estandarizados de pretratamiento (lavado, encapsulado con polímeros) limita la confianza de los fabricantes (Heikal et al., 2023; Srisuwan et al., 2022).

## 1.2. Formulación del problema

En el contexto de la construcción sostenible, ¿cuál es el impacto de la incorporación de ceniza volante en las propiedades físicas, mecánicas y ambientales de los ladrillos arcillosos, y cómo pueden optimizarse las proporciones y tratamientos para maximizar beneficios como la resistencia, durabilidad y reducción de huella de carbono, sin comprometer la seguridad estructural o la viabilidad económica?

Estudios señalan que, aunque las CV mejoran la resistencia a compresión (hasta 27.55% con sílice humo; Kumar et al., 2021), su alto contenido de carbono no quemado o metales pesados puede aumentar la porosidad y lixiviación de contaminantes (Dacuba et al., 2022; Parkash et al., 2023). Además, la variabilidad en las temperaturas de cocción (800-1100°C) y la interacción CV-arcilla requieren un análisis riguroso para garantizar cumplimiento normativo (Sokolář y Nguyen, 2020; Valášková et al., 2023).

## 1.3. Hipótesis

La incorporación de ceniza volante en ladrillos arcillosos mejora su resistencia mecánica, durabilidad y sostenibilidad ambiental, siempre que se optimicen las proporciones ( $\leq 30\%$ ), se apliquen tratamientos de descontaminación y se controle el proceso de cocción para minimizar emisiones y lixiviación de metales pesados.

## 1.4. Objetivos

### Objetivo general

Evaluar el impacto de la ceniza volante en las propiedades físicas, mecánicas y ambientales de los ladrillos arcillosos, sintetizando hallazgos científicos recientes.

### Objetivos específicos

Analizar el efecto de la CV en la resistencia a compresión, porosidad y absorción de agua.

Identificar tratamientos para mitigar la lixiviación de metales.

Establecer directrices para proporciones óptimas (CV/arcilla) y procesos de fabricación sostenibles.

#### 1.5. Teorías relacionadas al tema

La incorporación de ceniza volante en ladrillos arcillosos se sustenta en principios científicos interdisciplinarios. Desde la química de materiales, las CV actúan como fundentes naturales debido a su alto contenido de óxidos de silicio ( $\text{SiO}_2$ ) y aluminio ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), que reducen la temperatura de sinterización de la arcilla. Por ejemplo, Chindaprasirt et al. (2021) demostraron que la adición de 4% de CV y vidrio molido permite cocer ladrillos a  $950^\circ\text{C}$  — $200^\circ\text{C}$  menos que lo convencional—, logrando resistencias de 17.2 MPa, superiores a los estándares ASTM. Este fenómeno se explica por la formación de fases vítreas que sellan poros y mejoran la cohesión entre partículas.

En el ámbito ambiental, la teoría de la inertización de metales postula que, durante la cocción, los metales pesados en las CV (ej: Cd, Pb) se encapsulan en la matriz cerámica, reduciendo su movilidad. Estudios como los de Voišnienė et al. (2020) validan este principio: ladrillos con 2.5% de CV de incineración mostraron lixiviación de cromo y selenio por debajo de los límites de la Directiva Europea 2003/33/EC, gracias a la formación de silicatos estables a altas temperaturas. Complementariamente, la economía circular ofrece un marco teórico para valorizar residuos: Sutcu et al. (2019) calcularon que reemplazar el 30% de arcilla con CV disminuye el consumo de combustible en un 40%, al aprovechar el poder calorífico residual de la ceniza (945 kcal/kg), mientras que Liu et al. (2024) destacan que la activación alcalina de CV con escoria siderúrgica genera gels C-A-S-H, incrementando la durabilidad frente a sulfatos.

Finalmente, la ingeniería multifuncional explora propiedades emergentes. Por ejemplo, Tyagi et al. (2024) diseñaron ladrillos con CV y lodos de cromo-níquel que duplicaron la atenuación de radiación gamma, útil en instalaciones médicas. Asimismo, Valášková et al. (2023) demostraron que CV ricas en hierro catalizan la producción fotocatalítica de hidrógeno ( $354 \mu\text{mol/g}$ ), abriendo rutas para materiales energéticamente autosuficientes. Estos avances teóricos no solo resuelven problemas técnicos, sino que redefinen el rol de los ladrillos como elementos activos en la sostenibilidad urbana.

## II. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

Para el estudio titulado "Impacto de la ceniza volante en las propiedades de ladrillos arcillosos: Una revisión literaria", se adoptó un enfoque de investigación cualitativa documental. Este método permitió la recopilación y análisis exhaustivo de información relevante sobre la interacción entre la ceniza volante y las propiedades de los ladrillos arcillosos, así como su potencial uso en la construcción sostenible.

El procedimiento de investigación consistió en una serie de etapas sistemáticas. En primer lugar, se realizó una búsqueda exhaustiva de datos en bases de datos académicas reconocidas, incluyendo Scopus, Scielo, Sbsco, ScienceDirect y ProQuest. Estas plataformas proporcionaron acceso a una amplia gama de artículos científicos y estudios previos que abordaban el uso de ceniza volante en la fabricación de ladrillos, así como sus efectos en las propiedades mecánicas y durabilidad de los mismos.

Una vez recopilada la información, se procedió a la selección y lectura crítica de los documentos relevantes. Los datos fueron organizados y clasificados en una bitácora, donde se extrajeron los puntos más significativos relacionados con el impacto de la ceniza volante en las características físicas y mecánicas de los ladrillos arcillosos. Esta etapa fue crucial para identificar patrones y tendencias en los resultados reportados por diferentes estudios.

La interpretación y análisis crítico de la información recopilada permitieron establecer comparaciones entre los distintos enfoques y resultados presentados en la literatura. Se prestó especial atención a los métodos utilizados para incorporar ceniza volante en la mezcla de ladrillos, así como a las proporciones óptimas que maximizaron las propiedades deseadas, como la resistencia a compresión y la durabilidad frente a condiciones ambientales adversas.

Finalmente, se redactó el artículo argumentando sobre los hallazgos obtenidos, destacando tanto las ventajas como las limitaciones del uso de ceniza volante en ladrillos arcillosos. El diseño del estudio es descriptivo y correlacional, lo que permitió considerar el vínculo entre la variable dependiente (propiedades de los ladrillos) y sus variables independientes (proporciones de ceniza volante y métodos de tratamiento).

### III. RESULTADOS

Los resultados obtenidos en este estudio reflejan las oportunidades y desafíos que presenta el uso de la ceniza volante (CV) en la producción de ladrillos arcillosos, tanto en términos de propiedades mecánicas como ambientales.

**Tabla 1**

*Análisis del efecto de la CV en resistencia, porosidad y absorción de agua*

<b>Propiedad</b>	<b>Hallazgo clave</b>
Resistencia a compresión	- 4% sílice humo aumenta resistencia en 27.55% (Kumar et al., 2021).
Porosidad	- CV tratada reduce porosidad en 15% (Kirkelund et al., 2020).
Absorción de agua	- 30% CV + ceniza de fondo: absorción $\leq 13\%$ (Sutcu et al., 2019).
Microestructura	- CV + MWCNT mejora homogeneidad (Kumar y Sinha, 2022).

**Tabla 2**

*Tratamientos para mitigar lixiviación de metales*

<b>Tratamiento</b>	<b>Efecto</b>
Electrodialisis	- Inmoviliza Cr y Se (Voišnienė et al., 2020).
Encapsulado con polímeros	- MMA reduce Ni y Cr (Tyagi et al., 2024).
Lavado de CV	- Elimina sales solubles (Dacuba et al., 2022).
Activación alcalina	- Gels C-A-S-H inmovilizan metales (Liu et al., 2024).
Cocción $>1000^{\circ}\text{C}$	- Vitrificación encapsula Pb y Cd (Valášková et al., 2023).

**Tabla 3**

*Directrices para proporciones y procesos*

<b>Directriz</b>	<b>Recomendación</b>
Proporción CV/arcilla	- Máximo 30% CV (Sutcu et al., 2019).

Temperatura de cocción	- 950-1000°C para activación óptima (Liu et al., 2024).
Aditivos complementarios	- 0.1% MWCNT mejora propiedades (Kumar y Sinha, 2022).
Sostenibilidad	- 40% CV reduce CO <sub>2</sub> en 50% (Eliche-Quesada et al., 2018).

**Tabla 4**

*Ventajas del uso de ceniza volante en ladrillos arcillosos*

<b>Ventaja</b>	<b>Descripción</b>
Mejora resistencia	+27.55% con sílice humo (Kumar et al., 2021).
Reducción de emisiones	-40-50% CO <sub>2</sub> al reemplazar 40% arcilla (Tyagi et al., 2023).
Ahorro energético	CV con poder calorífico (945 kcal/kg) reduce uso de combustible (Tyagi et al., 2024).
Durabilidad	Resistencia a sulfatos y ciclos hielo-deshielo (Heikal et al., 2023).
Multifuncionalidad	Blindaje radiológico (Almuqrin et al., 2024) y fotocatalisis (Valášková et al., 2023).

**Tabla 5**

*Desventajas del uso de ceniza volante en ladrillos arcillosos*

<b>Desventaja</b>	<b>Descripción</b>
Lixiviación de metales	Riesgo de movilizar Cr, Pb y Cd sin tratamientos (Dacuba et al., 2022).
Variabilidad composicional	CV con alto carbono no quemado reduce resistencia (Dacuba et al., 2022).
Aumento de porosidad	>20% CV incrementa absorción de agua (Voišnienė et al., 2019).
Costos de pretratamiento	Electrodialisis y lavado requieren inversión inicial (Kirkelund et al., 2020).
Limitaciones normativas	Falta de estandarización en porcentajes máximos (Dash et al., 2022).

#### **IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES**

En cuanto a las propiedades físicas de los ladrillos, se observó que la incorporación de CV tiene un impacto significativo en la resistencia a compresión. En particular, el uso de un 4% de sílice humo aumenta la resistencia en un 27.55%, como se reporta en el estudio de Kumar et al. (2021). Este hallazgo destaca el potencial de la ceniza volante como un aditivo que mejora las propiedades estructurales de los materiales. Por otro lado, la reducción de la porosidad también se confirma con la aplicación de CV tratada, la cual reduce la porosidad en un 15%, de acuerdo con Kirkelund et al. (2020), lo que mejora la durabilidad de los ladrillos. Sin embargo, se encontró que la absorción de agua en ladrillos con CV y ceniza de fondo se mantiene por debajo del 13%, lo que es positivo, ya que una baja absorción mejora el rendimiento del material en condiciones húmedas (Sutcu et al., 2019).

Además, la incorporación de nanotubos de carbono (MWCNT) junto con la ceniza volante mejora la homogeneidad de la microestructura de los ladrillos, lo que podría contribuir a una mayor resistencia a factores externos. Este hallazgo es consistente con los resultados reportados por Kumar y Sinha (2022), quienes observaron mejoras significativas en la distribución de los componentes en la matriz del ladrillo, lo que se traduce en un material más resistente y duradero.

En cuanto a los efectos ambientales, los tratamientos propuestos para mitigar la lixiviación de metales pesados, como el cromo (Cr), plomo (Pb) y cadmio (Cd), también han demostrado ser efectivos. La electrodiálisis, como se describe en Voišnienė et al. (2020), resulta en la inmovilización de metales, mientras que el encapsulado con polímeros, como el MMA, puede reducir significativamente la liberación de metales como el níquel (Ni) y el cromo (Cr) (Tyagi et al., 2024). Estos enfoques no solo mejoran la seguridad del material, sino que también permiten un manejo más responsable de los desechos industriales.

Sin embargo, el uso de ceniza volante no está exento de desventajas. Un aspecto negativo importante es la variabilidad en la composición de la ceniza, lo que puede afectar negativamente la resistencia del material, particularmente cuando la CV contiene un alto porcentaje de carbono no quemado. Esto coincide con lo que indican Dacuba et al. (2022), quienes sugieren que la calidad de la

ceniza debe ser rigurosamente controlada para obtener buenos resultados. Además, el aumento en la porosidad con concentraciones superiores al 20% de CV puede incrementar la absorción de agua, lo que podría comprometer la durabilidad y resistencia a condiciones extremas (Voišnienė et al., 2019).

Por último, el costo asociado con los pretratamientos necesarios para la estabilización de los metales pesados, como la electrodiálisis y el lavado de CV, puede ser una barrera para la adopción generalizada de estos métodos, a pesar de sus beneficios ambientales. Esta inversión inicial debe ser considerada cuidadosamente en el diseño de procesos industriales para asegurarse de que los beneficios a largo plazo superen los costos iniciales.



## V. REFERENCIAS

1. KIRKELUND, Gunvor M., SKEVI, Lorena y OTTOSEN, Lisbeth M. Electrolytically treated MSWI fly ash use in clay bricks. *Construction and Building Materials*. 2020, vol. 254. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2020.119286.
2. ELAVARASAN, S., PRIYA, A.K. y KUMAR, V. Kavin. Manufacturing fired clay brick using fly ash and M-Sand. En: *Materials Today: Proceedings*. 2020, vol. 37, núm. 2, p. 872–876. DOI: 10.1016/j.matpr.2020.06.042.
3. CHEN, W., KLUPSCH, E., KIRKELUND, G.M., JENSEN, P.E., OTTOSEN, L.M. y DIAS-FERREIRA, C. Recycling of MSWI fly ash in clay bricks—effect of washing and electrolytic treatment. En: *WASTES - Solutions, Treatments and Opportunities II*. 2018, p. 183–190.
4. KUMAR, Aneel, et al. Assessing the structural efficiency and durability of burnt clay bricks incorporating fly ash and silica fume as additives. *Construction and Building Materials*. 2021, vol. 310. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2021.125233.
5. HEIKAL, Mohamed, et al. Improvement of the performance characteristics, fire resistance, anti-bacterial activity, and aggressive attack of polymer-impregnated fired clay bricks-fly ash-composite cements. *Journal of Building Engineering*. 2023, vol. 80. DOI: 10.1016/j.jobbe.2023.107987.
6. DASH, Subhakanta, et al. Comparative feasibility analysis of fly ash bricks, clay bricks and fly ash incorporated clay bricks. *Magazine of Civil Engineering*. 2022, vol. 115, núm. 7. DOI: 10.34910/MCE.115.2.
7. YASEEN, Noor, et al. Sustainable Development and Performance Assessment of Clay-Based Geopolymer Bricks Incorporating Fly Ash and Sugarcane Bagasse Ash. *Journal of Materials in Civil Engineering*. 2022, vol. 34, núm. 4. DOI: 10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0004159.
8. CHINDAPRASIRT, Prinya, et al. Synergistic effect of fly ash and glass cullet additive on properties of fire clay bricks. *Journal of Building Engineering*. 2021, vol. 44. DOI: 10.1016/j.jobbe.2021.102942.
9. SOKOLÁŘ, Radomír y NGUYEN, Martin. Influence of class C fly ash on the properties of plastic clay and a fired brick body. *Materiali in Tehnologije*. 2020, vol. 54, núm. 1, p. 107–111. DOI: 10.17222/mit.2019.148.

10. VOIŠNIENĒ, Violeta, KIZINIEVIČ, Olga y KIZINIEVIČ, Viktor. Effect of municipal solid waste incineration fly ash on the properties, microstructure and durability of clay bricks. *Ceramics - Silikaty*. 2020, vol. 64, núm. 4, p. 423–433. DOI: 10.13168/cs.2020.0030.
11. SUTCU, Mucahit, et al. Recycling of bottom ash and fly ash wastes in eco-friendly clay brick production. *Journal of Cleaner Production*. 2019, vol. 233, p. 753–764. DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.06.017.
12. DACUBA, Juan, et al. Influence of Unburned Carbon on Environmental-Technical Behaviour of Coal Fly Ash Fired Clay Bricks. *Applied Sciences*. 2022, vol. 12, núm. 8. DOI: 10.3390/app12083765.
13. TYAGI, Gaurav, et al. Fired clay bricks synergistically valorizing hazardous nickel chrome-plating sludge and fly ash: Performance assessment. *Construction and Building Materials*. 2024, vol. 423. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2024.135817.
14. ALMUQRIN, Aljawhara H., et al. Impacts of Saudi Arabian fly ash on the structural, physical, and radiation shielding properties of clay bricks rich vermiculite mineral. *Nuclear Engineering and Technology*. 2024, vol. 56, núm. 6, p. 2324–2331. DOI: 10.1016/j.net.2024.01.043.
15. PARKASH, Rajat, KUMAR, Amit y CHAUHAN, R.P. Assessment of Natural Radionuclides Content and Radon Exhalation of Clay Pulverized Fly Ash Bricks. *Indian Journal of Pure and Applied Physics*. 2023, vol. 61, núm. 6, p. 416–422. DOI: 10.56042/ijpap.v61i6.2411.
16. LIU, YunXiao, et al. Study on the performance and reaction mechanism of alkali-activated clay brick with steel slag and fly ash. *Construction and Building Materials*. 2024, vol. 411. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2023.134406.
17. TYAGI, Gaurav, et al. Kiln-fired clay bricks synergizing nickel–chromium plating sludge and fly ash: mechanical characteristics and cradle-to-gate life cycle assessment. *Clean Technologies and Environmental Policy*. 2023, vol. 25, núm. 3, p. 825–843. DOI: 10.1007/s10098-022-02400-3.
18. SELVAKUMAR, Subburaj, KULANTHAIVEL, Ponnusamy y SOUNDARA, Balu. Experimental Investigation of Geosynthetic Encased Conventional Aggregate and Fly Ash Brick Bats Columns on Soft Clay. *International Journal of Pavement Research and Technology*. 2023, vol. 16, núm. 1, p. 109–127. DOI: 10.1007/s42947-021-00118-x.

19. SRISUWAN, Anuwat, et al. EFFECTS OF FLY ASH ADDITION ON THE DURABILITY AND MECHANICAL PERFORMANCE OF FIRED CLAY BRICKS. *Suranaree Journal of Science and Technology*. 2022, vol. 29, núm. 1. DOI: 10.1016/j.matpr.2023.09.165.
20. ESMERAY, Ertugrul y ATIŞ, Mustafa. Utilization of sewage sludge, oven slag and fly ash in clay brick production. *Construction and Building Materials*. 2019, vol. 194, p. 110–121. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2018.10.231.
21. VOIŠNIENĚ, Violeta, et al. Production of fired clay brick from municipal solid waste incinerator fly ash. En: *Selected Papers of the 13th International Conference "Modern Building Materials, Structures and Techniques"*. 2019, p. 188–193. DOI: 10.3846/mbmst.2019.149.
22. ELICHE-QUESADA, D., et al. Investigation of use of coal fly ash in eco-friendly construction materials: fired clay bricks and silica-calcareous non fired bricks. *Ceramics International*. 2018, vol. 44, núm. 4, p. 4400–4412. DOI: 10.1016/j.ceramint.2017.12.039.
23. SINGH, V., BEHL, V. y DAHIYA, V. Comparison of Fly Ash Based (AAC) Block and Clay Bricks for Structure and Strength Properties. En: *Journal of Physics: Conference Series*. 2021, vol. 1950, núm. 1. DOI: 10.1088/1742-6596/1950/1/012074.
24. VALÁŠKOVÁ, Marta, et al. Clay/Fly Ash Bricks Evaluated in Terms of Kaolin and Vermiculite Precursors of Mullite and Forsterite, and Photocatalytic Decomposition of the Methanol–Water Mixture. *Minerals*. 2023, vol. 13, núm. 9. DOI: 10.3390/min13091114.
25. KUMAR, Anish y SINHA, Sanjeev. Performance of multiwalled carbon nanotube doped fly ash based clay bricks. *International Journal of Advanced Technology and Engineering Exploration*. 2022, vol. 9, núm. 89, p. 536–550. DOI: 10.19101/IJATEE.2021.875265.
26. VOIŠNIENE, V., KIZINIEVIČ, O. y KIZINIEVIČ, V. Recycling Municipal Solid Waste Incineration (MSWI) Fly Ash As Addition for Clay Brick. En: *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2019, vol. 660, núm. 1. DOI: 10.1088/1757-899X/660/1/012065.