

	de cenizas	simple, kg/cm ²
	0	50.54
E-1	3	54.97
ME-2	6	57.73
ME-3	9	60.43

Estudio de las propiedades mecánicas de muros de albañilería elaborados con ladrillos artesanales con cenizas de tallo de Vicia faba

Study of the mechanical properties of masonry walls made with artisanal bricks with Vicia faba stem ashes

DOI: <https://doi.org/10.21703/0718-2813.2024.36.3009>

Fecha de entrega: 29 de octubre 2023

Fecha de aceptación: 9 de agosto 2024

José Luis Apaza y Abel Alberto Muñiz

Universidad César Vallejo, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Civil, Perú
jlapaza@ucvvirtual.edu.pe, amunizp02@ucvvirtual.edu.pe

El ladrillo al ser considerado uno de los materiales más usados en construcción es muy requerido para edificaciones. Por ello, este estudio tuvo por objetivo determinar la influencia de los ladrillos artesanales con cenizas de tallo de Vicia faba en las propiedades mecánicas de muros de albañilería. El estudio se realizó en dos etapas. La primera consistió en la elaboración de unidades de albañilería con adición de cenizas en 0, 3, 6, 9 y 12% en relación al peso de la arcilla con la tierra de cultivo. Estas muestras fueron sometidas a ensayos de laboratorio para determinar sus propiedades físicas y mecánicas. Seguidamente para la segunda etapa se elaboraron 30 pilas y 15 muretes, los cuales fueron sometidos a ensayos para determinar sus propiedades mecánicas. Los resultados de máxima resistencia fueron de 45 kg/cm² para compresión axial, 12.6 kg/cm² para flexión y 8.3 kg/cm² para resistencia al corte. Todos estos valores corresponden a 9% de cenizas, tomando a esta dosificación como óptima y viable para la elaboración de ladrillos artesanales.

Palabras clave: cenizas de Vicia faba, muros de albañilería, ladrillos, propiedades mecánicas.

Bricks are considered one of the most used materials in construction since it is very required for building. Therefore, in this study the influence of handmade bricks with ash of Vicia faba stem on the mechanical properties of masonry walls is determined. For the study, two stages were carried out, the first consisted of the elaboration of masonry units with the addition of ashes in 0, 3, 6, 9 and 12% in relation to the weight of the clay with the farm ground. These samples were subjected to laboratory tests to obtain their physical and mechanical properties. Then for the second stage 30 piles and 15 walls were made, which were subjected to tests to obtain their mechanical properties. The maximum strength results were 45 kg/cm² for axial compression, 12.6 kg/cm² in flexion and 8.3 kg/cm² in shear. These values corresponds to 9% ash, taking this dosage as optimal and viable for the elaboration of artisanal bricks.

Keywords: Vicia faba ashes, masonry walls, bricks, mechanical properties

Introducción

Para la Organización de las Naciones Unidas (www.un.org), es preciso aprender las culturas de construcción local para de esta manera mejorar la sostenibilidad de las viviendas. La utilización de recursos naturales locales permite atender necesidades relacionadas con limitaciones económicas y climáticas. Los métodos de construcción local fueron evolucionando y mezclándose con los métodos de otros países y culturas.

Según Lawanwadekul *et al.* (2023) utilizar mazorcas de

maíz y residuos de vidrio puede mejorar las propiedades mecánicas de unidades de mampostería, controlando la temperatura de cocción y utilizando diferentes dosificaciones. El uso de recursos naturales de la zona ayudaría a que los ladrillos generen sostenibilidad al momento de la construcción de viviendas. Para obtener ladrillos sustentables es viable usar cenizas de cáscara de arroz (Wanab *et al.*, 2023).

Cada material aporta distintas características a corto y largo plazo, tomando en cuenta que cada dosificación aumenta una propiedad, entre ellos, la resistencia a la compresión

	de cenizas	simple, kg/cm ²
C	0	50.54
ME-1	3	54.97
ME-2	6	57.73
ME-3	9	60.43

cuando se usa un aditivo natural como la fibra de palma (Eslami *et al.*, 2022).

La temperatura es un factor importante en la elaboración de ladrillos, ya que por medio de esta y el uso parcial de polvo de cantera y lodos se puede hacer ladrillos que cumplan con los estándares mínimos de resistencia y de esta manera reducir la contaminación en entornos industriales y naturales (Padmalosan *et al.*, 2023). Por otro lado, los ladrillos con posos de café y cenizas volantes muestran un aumento significativo de sus propiedades cuando se tiene un control de la temperatura (Ordieres y Cultrone, 2022). El efecto de la temperatura sobre la absorción y resistencia a la compresión es importante a ser analizado ya que estos pueden mejorar las propiedades a cierta temperatura de cocción (Rahman *et al.*, 2019).

Si se necesitan ladrillos más porosos y resistentes se puede considerar un aditivo natural como el polvo de cáscara de coco, ya que forma poros elaborando así ladrillos de carácter aislante térmico (Moujoud *et al.*, 2023). También se puede considerar la influencia de distintos suelos arcillosos en las propiedades térmicas y resistentes para proporcionar confort térmico a edificaciones sostenibles (El hammouti *et al.*, 2023). El reemplazo de cemento por puzolanas en la elaboración de bloques de hormigón resulta de gran ayuda, ya que reduce costos y otorga buenos valores de resistencia y mejores condiciones de durabilidad además de ser sostenible ambientalmente (Roldán y Soto, 2018).

Entre el 30 y 50% del mundo vive en construcciones hechas de tierra, lo cual incluye a los ladrillos artesanales (Catalán *et al.*, 2019). Los ladrillos ecológicos resultan muy favorables para la construcción de muros no portantes, ya que estos no aportan carga a la edificación donde su función es solo dividir ambientes (Muñoz-Pérez *et al.*, 2021). Según Desai *et al.* (2023), la urbanización crece rápidamente y para que los materiales sean sostenibles se debe considerar elementos complementarios para su fabricación.

Así como se usan aditivos naturales, también se pueden usar residuos plásticos. Un aditivo es el tereftalato de polietileno residual, el cual entre 20 y 25% ha logrado mejorar la resistencia y absorción, entre otras propiedades, demostrando que el plástico triturado mejora significativamente el rendimiento de los ladrillos. También ha dem-

ostrado que es favorable para reducir el desperdicio de la industria de la construcción (Wahane *et al.*, 2023). La gestión de residuos plásticos es un desafío, por eso la utilización de estos residuos en ladrillos resulta beneficioso y puede sustituir parcialmente el uso de materias primas no renovables, estos ladrillos son más livianos y con estabilidad volumétrica (Idrees *et al.*, 2023).

La generación de polvo de pulido en el procesamiento del cuero también ha sido usado en la elaboración de ladrillos, lo cual ha demostrado un aumento en la resistencia a la compresión y absorción, entre otras propiedades (Milu *et al.*, 2022). Conservar los recursos naturales es una prioridad al elaborar materiales de construcción para evitar su agotamiento y, así una grave degradación ambiental, por eso, se debe considerar la conversión de residuos en riqueza (Jothilingam *et al.*, 2023). Korpayev *et al.* (2022) utilizó aguas residuales de invernadero para elaborar ladrillos logrando tener resultados favorables en resistencia y que cumplan con las normas requeridas.

En ese mismo contexto se puede tomar en consideración el vidrio y plástico, el cual se usa en la industria de la construcción para así conseguir un ambiente más limpio (Cardona *et al.*, 2020). Otro material que se usó para mejorar ladrillos fue el polipropileno y polietileno de alta densidad los cuales se enfocan en el control de la temperatura para tener ladrillos más compactos a un determinado tiempo (Orjuela *et al.*, 2018). El uso de materiales plásticos puede mejorar la resistencia a la compresión, flexión y tracción para ladrillos mediante la adición de fibras de polipropileno y caucho reciclado (Thakur *et al.*, 2022).

Los desechos de construcción son difíciles de eliminar y se convierten en una preocupación ambiental y económica (Bustamante *et al.*, 2022, 2023). Ello ha dado origen al uso de residuos de polvo reciclado que se deriva de desechos de construcción para producir ladrillos cocidos (Bai *et al.*, 2023). Los relaves de minería de carbón también han sido usados, sin embargo, han mostrado una disminución de ciertas propiedades, aunque con valores tolerables (da Silva *et al.*, 2022). Al igual que en relaves mineros, se puede usar también lodos de tratamiento de aguas servidas, ya que tienen una composición química asimilable a las arcillas (Sarabia-Guarín *et al.*, 2021).

Otra industria que produce desechos es la del mármol

	de cenizas	simple, kg/cm ²
	0	50.54
ME-1	3	54.97
ME-2	6	57.73
ME-3	9	60.43

generando gran cantidad de desperdicio en polvo, por eso este desecho se usa también para crear ladrillos usándolos en zonas de amaneza sísmica baja (Ponce-Palafox *et al.*, 2020). El caucho y metacaolín se han utilizado con el fin de convertir a las unidades de albañilería más livianas y obtener mejores valores de resistencia a la compresión (Fioriti *et al.*, 2020). Se pueden también elaborar ladrillos permeables al agua mediante la adición de cenizas volantes, observando que la resistencia a la compresión tiende a tener un aumento significativo (Li *et al.*, 2021).

El uso del ladrillo como material constructivo en edificaciones hace que sea importante conocer las propiedades de estos en muros de albañilería para tener una clasificación y posteriormente darle uso en edificaciones, teniendo construcciones seguras y sostenibles. Por todo aquello mencionado, el objetivo de esta investigación es determinar la influencia de los ladrillos fabricados con cenizas de tallo de Vicia faba en las propiedades mecánicas de muros de albañilería. Las variables consideradas para la determinación de la influencia de los ladrillos son resistencia al corte, flexión y compresión axial.

Metodología

Este estudio consta de dos etapas, la primera en relación a la elaboración de ladrillos artesanales adicionando cenizas de tallo de Vicia faba (habas) y la segunda en la elaboración y sometimiento a ensayo de pilas y muretes de albañilería. Para así identificar la influencia de estas cenizas en la elaboración de muros ya sean portantes o no portantes.

Elaboración de unidades de albañilería

La elaboración de las unidades de albañilería se realizó mediante la dosificación usual de un ladrillo artesanal con un porcentaje de cenizas de tallo de vicia faba en relación al peso de la tierra y arcilla, tal como se indica en la Tabla 1.

Tabla 1: Porcentaje de adición de cenizas de tallo de vicia faba en relación al peso tierra-arcilla

Adición de cenizas, %	Peso de cenizas de tallo de vicia faba, kg	Peso de tierra de cultivo y arcilla, kg
0	0.00	3.28
3	0.10	3.28
6	0.19	3.28
9	0.30	3.28
12	0.39	3.28

Caracterización y ensayos de unidades de albañilería

Cuando se tuvieron los ladrillos ya elaborados se realizaron ensayos de laboratorio detallados en la Tabla 2.

Tabla 2: Ensayos para caracterizar unidades de albañilería.

Ensayo	Norma ASTM
Alabeo	C67 (2021)
Variación dimensional	C67 (2021)
Absorción	C67 (2021)
Resistencia a la compresión de ladrillos	C140 (2013)
Resistencia a la flexión de ladrillos	C67 (2021)
Densidad de ladrillos	C140 (2013)

Alabeo

La Tabla 3 muestra los resultados del ensayo de alabeo para las dosificaciones de adición de cenizas de tallo de vicia faba en las unidades de albañilería.

Tabla 3: Resultados del ensayo de alabeo con adición de cenizas.

Muestra	% de cenizas incorporadas	Alabeo promedio	
		Cara A, mm	Cara B, mm
MC	0	2.05	2.35
ME-1	3	2.00	2.60
ME-2	6	2.40	2.55
ME-3	9	2.00	1.95
ME-4	12	2.57	2.65

Variación dimensional

De igual manera la Tabla 4 muestra los resultados del ensayo de variación dimensional de ladrillos con adición de cenizas de tallo de vicia faba.

Resultados Absorción

Los ladrillos se sometieron igualmente al ensayo de absorción, los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 5. Notar que para un 9% de cenizas se obtiene la menor absorción. Ello va a tener efecto en los ensayos de resistencia como se verá a continuación.

	de cenizas	simple, kg/cm ²
MC	0	50.54
ME-1	3	54.97
ME-2	6	57.73
ME-3	9	60.43

Tabla 4: Resultados del ensayo de variación dimensional

		Dosificaciones planteadas, %				
		0	3	6	9	12
Dim. promedio, cm	Largo	22.56	22.73	22.85	22.90	22.88
	Ancho	12.42	12.41	12.42	12.43	12.42
	Altura	8.88	8.81	8.87	8.90	8.86
Dim. específica, cm	Largo	23.00	23.00	23.00	23.00	23.00
	Ancho	12.50	12.50	12.50	12.50	12.50
	Altura	9.00	9.00	9.00	9.00	9.0
Desviación estándar, σ	Largo	0.27	0.22	0.33	0.08	0.05
	Ancho	0.06	0.07	0.08	0.06	0.06
	Altura	0.08	0.14	0.09	0.08	0.11
Variación dimensional, %	Largo	1.91	1.17	0.65	0.43	0.52
	Ancho	0.64	0.72	0.64	0.46	0.64
	Altura	1.33	2.11	1.44	1.11	1.56
Coeficiente de variación CV, %	Largo	1.20	0.97	1.44	0.35	0.22
	Ancho	0.48	0.56	0.64	0.48	0.48
	Altura	0.90	1.59	1.01	0.09	1.24

Tabla 5: Resultados del ensayo de absorción en ladrillos con cenizas.

Muestra	Absorción, %	Desviación estándar, σ	CV, %
MC 0%	21.44	1.59	7.42
ME-1 3%	20.42	2.54	12.24
ME-2 6%	20.32	0.89	4.38
ME-3 9%	19.81	1.19	6.01
ME-4 12%	21.80	1.75	8.03

CV = $\sigma/\mu \times 100$: coeficiente de variación, μ : media

Resistencia a la compresión simple

La Tabla 6 muestra los resultados del ensayo a la compresión simple practicados a las unidades de albañilería. La mayor resistencia ocurre para un 9% de cenizas.

Resistencia a la flexión

Los valores de la resistencia a la flexión de los ladrillos se muestran en la Tabla 7. La mayor resistencia ocurre nuevamente para un 9% de cenizas.

Tabla 6: Resultados del ensayo de compresión en ladrillos con adición de ceniza

Muestra	% de incorporación de cenizas	Resistencia a la compresión simple, kg/cm ²
MC	0	50.54
ME-1	3	54.97
ME-2	6	57.73
ME-3	9	60.43
ME-4	12	57.06

Tabla 7: Resultados del ensayo de resistencia a la flexión en ladrillos.

Muestra	% de incorporación de cenizas	Resistencia a la flexión, kg/cm ²
MC	0	11.33
ME-1	3	13.07
ME-2	6	13.25
ME-3	9	14.18
ME-4	12	12.54

Densidad

Los valores de la densidad de los ladrillos se detallan en la Tabla 8, donde la mayor densidad se obtuvo para un 9% de cenizas.

Tabla 8: Resultados del ensayo de densidad en ladrillos

Muestra	% de incorporación de cenizas	Densidad, g/cm ³
MC	0	1.41
ME-1	3	1.42
ME-2	6	1.43
ME-3	9	1.45
ME-4	12	1.43

Elaboración de pilas y muretes de albañilería

La fabricación de pilas y muretes de albañilería se realizó en paralelo, con las dimensiones especificadas para luego ser sometida a ensayos en base a normas ASTM. Se utilizó un mortero específico en la elaboración de pilas y muretes tal como se muestra en la Tabla 9.

	de cenizas	simple, kg/cm ²
	0	50.54
E-1	3	54.97
ME-2	6	57.73
ME-3	9	60.43

Tabla 9: Tipos de mortero para muros de albañilería (norma E.070, 2020).

Tipos de mortero				
Componentes				Usos
Tipo	Cemento	Cal	Arena	
P1	1	0 a 1/4	3 a 3 1/2	Muros portantes
P2	1	0 a 1/2	4 a 5	Muros portantes
NP	1	-	Hasta 6	Muros no portantes

Caracterización y ensayos de pilas y muretes de albañilería

Para la elaboración de los muretes y pilas y su posterior sometimiento a ensayos de laboratorio, se utilizaron las normas que se muestran en la Tabla 10.

Tabla 10: Ensayos para caracterización de pilas y muretes de albañilería.

Ensayo	Norma ASTM
Resistencia a la compresión axial	C1587 (2015)
Resistencia a la compresión diagonal	E519 (2020)
Resistencia a la flexión por adherencia	C1072 (2019)

Resultados y discusión

Resistencia a la compresión axial en pilas

En la Tabla 11 se detallan los resultados del ensayo de resistencia a la compresión axial en pilas de albañilería, observando el porcentaje en el cual se alcanzó la mayor resistencia para las dosificaciones planteadas.

Tabla 11: Resultados del ensayo de resistencia a la compresión axial.

Muestra, %	Desv. estándar	R_a corregido, kg/cm ²	CV, %
0	0.48	36.34	1.30
3	1.93	39.25	4.69
6	1.29	43.23	2.90
9	0.83	44.95	1.81
12	1.81	40.60	4.27

Se observa que la máxima resistencia alcanzada fue con la pila que contiene ladrillos con adición del 9% de cenizas de vicia faba llegando a tener un valor de 44.95 kg/cm². Esto se explica debido al contenido de sílice que tiene la

ceniza, ya que son consideradas como puzolanas. Esto difiere de lo encontrado por Roldán y Soto (2018), ya que, si bien en ambos casos se usó cenizas puzolánicas para evaluar la resistencia a la compresión, ellos usaron cemento Portland para la elaboración de ladrillos. Al contrario, en este estudio solo se usa arcillas para lograr resistencias adecuadas.

La menor capacidad de absorber agua de los ladrillos con 9% de cenizas permite lograr la mayor resistencia a la compresión axial de las pilas. Mayor absorción de agua se produce para cantidades distintas de 9% de cenizas, lo cual induce menores resistencias.

Resistencia a la compresión diagonal en muretes

De la misma forma en la Tabla 12 se detallan los resultados del ensayo de resistencia a la compresión diagonal en muretes elaborados con unidades de albañilería adicionales con cenizas de tallo de Vicia Faba.

Tabla 12: Resultados del ensayo de compresión diagonal

Muestra, %	Desv. estándar	R_d corregido, kg/cm ²	CV, %
0	0.24	7.55	3.08
3	0.25	7.96	3.05
6	0.12	8.08	1.46
9	0.13	8.32	1.54
12	0.14	7.81	1.76

Al igual que la resistencia a la compresión axial, la máxima resistencia al corte de 8.32 kg/cm² ocurre para un 9% de vicia faba. Este aumento es de 0.77 kg/cm² con respecto a la muestra control (0%). Se debe tener en cuenta que la resistencia al corte es un parámetro muy importante para la clasificación de muros de albañilería (Catalan *et al.*, 2019). Notar que los valores mostrados en la Tabla 12 se asemejan al valor obtenido en la muestra de control con cemento Portland de 8.0 kg/cm² por Roldán y Soto (2018).

Resistencia a la flexión por adherencia

En la Tabla 13 se detallan los resultados del ensayo de resistencia a la flexión en pilas de ladrillos con adición de cenizas de tallo de vicia faba.

	de cenizas	simple, kg/cm ²
	0	50.54
ME-1	3	54.97
ME-2	6	57.73
ME-3	9	60.43

Tabla 13: Resultados del ensayo de resistencia a la flexión R_f por adherencia.

Muestra, %	Desv. estándar	R_f corregido, kg/cm ²	CV, %
0	0.20	9.08	2.16
3	0.44	9.91	4.25
6	0.22	11.27	1.91
9	0.76	12.64	5.67
12	0.34	10.81	3.05

La máxima resistencia a la flexión alcanzada fue de 12.64 kg/cm², nuevamente con una dosificación del 9% de cenizas. Esto se debe a la óptima acción puzolánica de las cenizas en los ladrillos artesanales, la cual alcanza su mayor efecto para un 9%. Los resultados de la Tabla 13 son comparables con el comportamiento de un muro a flexión de mampostería confinada de hormigón celular con valores entre 13.2 y 17.0 kg/cm² (Valera-Rivera *et al.*, 2018).

Conclusiones

El trabajo de investigación se ha realizado con el fin de estudiar las propiedades mecánicas de los muros de albañilería con la adición de cenizas de tallo de vicia faba. Los resultados y observaciones de la investigación han demostrado la viabilidad del uso de estas cenizas, de donde se puede extraer las siguientes conclusiones.

Es viable utilizar recursos secundarios como cenizas puzolánicas provenientes de plantas vegetales, como son la sílice que proviene de la ceniza del tallo de vicia faba para la fabricación de unidades de albañilería, ya que estas se añaden al proceso de elaboración en la fase de mezclado con las materias primas que conforman los ladrillos.

La resistencia a la compresión axial tiende a tener un aumento cuando se añaden porcentajes de cenizas de vicia faba de 9%, pasando de 36 a 45 kg/cm² con relación a la muestra control.

De igual forma la resistencia al corte o compresión diagonal registra un aumento, ya que aumenta en 0.77 kg/cm² en muros elaborados con ladrillos adicionando 9% de cenizas.

La adición de cenizas de tallo de vicia faba influye significativamente en la resistencia a la flexión por

adherencia con variaciones de 9 a 13 kg/cm². En conclusión, un porcentaje de 9% resulta ser el valor óptimo, puesto que menos o más de 9% disminuye la resistencia a la compresión axial, corte y flexión. Esto se atribuye a la menor capacidad de absorción que ocurre para un 9% de cenizas de vicia faba.

Referencias

- ASTM C67 (2021). Standard test methods for sampling and testing brick and structural clay tile. ASTM International, West Conshohocken PA, USA
- ASTM C140 (2013). Standard test methods for sampling and testing concrete masonry units and related units. ASTM International, West Conshohocken PA, USA
- ASTM C1072 (2019). Standard test method for measurement of masonry flexural bond strength. ASTM International, West Conshohocken PA, USA
- ASTM C1587 (2015). Standard practice for preparation of field removed manufactured masonry units and masonry specimens for testing. ASTM International, West Conshohocken PA, USA
- ASTM E519 (2020). Standard test method for diagonal tension (shear) in masonry assemblages. ASTM International, West Conshohocken PA, USA
- Bai, M., Xiao, J., Gao, Q. and Shen, J. (2023). Utilization of construction spoil and recycled powder in fired bricks. *Case Studies in Construction Materials* 18, e02024
- Bustamante, G., Olate, R. y Molina, C. (2023). Proyecto de optimización de planchas yeso cartón y perfiles metalcon para un edificio en Concepción. *Obras y Proyectos* 34, 69-81
- Bustamante, G., Pino, I. y Molina, C. (2022). Metodología de optimización para el uso de yeso cartón y Metalcon en un proyecto habitacional. *Obras y Proyectos* 32, 54-65
- Cardona, F.S., Rengifo, L.A., Guarín, J.F., Mazo, D.G. y Arbeláez, O.F. (2020). Evaluación de las propiedades mecánicas de ladrillos elaborados con residuos de vidrio y plástico. Análisis de las emisiones de dióxido de carbono. *Lámpsakos* 24, 60-73
- Catalán, P., Moreno-Martínez, J.Y., Galván, A. y Arroyo, R. (2019). Obtención de las propiedades mecánicas de la mampostería de adobe mediante ensayos de laboratorio. *Acta Universitaria* 29. doi.org/10.15174/au.2019.186 1

	de cenizas	simple, kg/cm ²
	0	50.54
E-1	3	54.97
ME-2	6	57.73
ME-3	9	60.43

- da Silva, R.B., Matoski, A., Neves, A., and Kostrzewa-Demczuk, P. (2022). Study of compressive strength of sand-lime bricks produced with coal tailings using mixture design. *Construction and Building Materials* **344**, 127986
- Desai, M., Yadav, N. and Desai, N. (2023). Application of recycled soil and sand in brick production over conventional clay Brick: A sustainable alternative. *Materials Today: Proceedings* **77**(3), 879-886
- E.070 (2020). Albañilería. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, Lima, Perú
- El hammouti, A., Charai, M., Chanouf, S., Horma, O., Nasri, H., Mezrhab, A., Karkri, M. and Tankari, M. A. (2023). Laboratory-testing and industrial scale performance of different clays from eastern Morocco for brick manufacturing. *Construction and Building Materials* **370**, 130624
- Eslami, A., Mohammadi, H. and Banadaki, H.M. (2022). Palm fiber as a natural reinforcement for improving the properties of traditional adobe bricks. *Construction and Building Materials* **325**, 126808
- Fioriti, C., Segantini, R., Pinheiro, J., Akasaki, J. y Spósito, F. (2020). Bloques de mampostería de hormigón liviano fabricados con caucho de neumáticos y metacaolín. *Revista Ingeniería de Construcción* **35**(3), 295-307
- Idrees, M., Akbar, A., Saeed, F., Gull, M. and Eldin, S.M. (2023). Sustainable production of Low-Shrinkage fired clay bricks by utilizing waste plastic dust. *Alexandria Engineering Journal* **68**, 405-416
- Li, J., Li, X., Liang, S., Zhang, Y., Ye, Q., Zhang, L., Pan, C., Lv, R., Li, Q., Xiao, K., Yan, Y., Chen, Y., Hu, J., Hou, H. and Yang, J. (2021). Preparation of water-permeable bricks derived from fly ash by autoclaving. *Construction and Building Materials* **271**, 121556
- Jothilingam, M., Preethi, V., Sri Chandana, P. and Janardhanan, G. (2023). Fabrication of sustainable green bricks by the effective utilization of tannery sludge as main additive. *Structures* **48**, 182-194
- Korpayev, S., Bayramov, M., Duryev, S., Hamrayev, H., Baymyradova, D. and Nurmammedov, A. (2023). Effect of stone wool waste from greenhouse agriculture in brick production. *Journal of Building Engineering* **63**(A), 105340
- Lawanwadekul, S., Srisuwan, A., Phonphuak, N. and Chindaprasit, P. (2023). Enhancement of porosity and strength of clay brick fired at reduced temperature with the aid of corn cob and waste glass. *Construction and Building Materials* **369**, 130547
- Milu, S., Hashem, A., Payel, S. and Hasan, A. (2022). Leather buffing dust in brick production: Solid waste management in tanneries. *Case Studies in Construction Materials* **17**, e01625
- Moujoud, Z., Harrati, A., Manni, A., Naim, A., El Bouari, A. and Tanane, O. (2023). Study of fired clay bricks with coconut shell waste as a renewable pore-forming agent: Technological, mechanical, and thermal properties. *Journal of Building Engineering* **68**, 106107
- Muñoz-Pérez, S.P., Delgado-Sánchez, J.L. y Facundo-Peña, L.E. (2021). Elaboración de ladrillos ecológicos en muros no estructurales: una revisión. *Cultura Científica y Tecnológica* **18**(1), 1-9
- Ordieres, R. and Cultrone, G. (2022). Technical quality of solid bricks made using clayey earth with added coffee grounds and fly ash. *Construction and Building Materials* **341**, 127757
- Orjuela, I., Paredes, M. y Velasco, E. (2018). Desarrollo de ladrillos a base de polietileno y poripropileno reciclado: Efecto del tiempo y temperatura de preparación. *Memorias del IV Simposio de Materiales Poliméricos*, Cali, Colombia, 25-27
- Padmalosan, P., Vanitha, S., Sampath Kumar, V., Anish, M., Tiwari, R. and Singh Yadav, A. (2023). An investigation on the use of waste materials from industrial processes in clay brick production. *Materials Today: Proceedings*. doi.org/10.1016/j.matpr.2023.01.238
- Ponce-Palafox, C., Carrillo, J. y López-Montelongo, A. (2020). Fabricación de ladrillos con polvo-residuo de mármol en México. Propiedades físicas y mecánicas del polvo-residuo de mármol de la provincia de la Comarca Lagunera, en México. *Revista de Arquitectura* **22**(2), 106-113
- Rahman, Z.A., Saleh, N.M.M., Idris, W.M.R. and Lihan, T.

	de cenizas	simple, kg/cm ²
C	0	50.54
ME-1	3	54.97
ME-2	6	57.73
ME-3	9	60.43

(2019). Thermal effect on mechanical characteristics of drinking water sludge brick incorporated with Rice Husk Ash. *Sains Malaysiana* 48(11), 2541-2549

Roldán, W. y Soto, J. (2018). Evaluación técnica de albañilería de bloques con adiciones puzolánicas. *Obras y Proyectos* 24, 13-20

Sarabia-Guarín, A., Sánchez-Molina, J. and Bermúdez-Carrillo, J.C. (2021). Effect of use residual sludge from watertreatment plants as a partial substitute for clay for refractory bricks production. *Revista UIS Ingenierías* 20(1), 11-22

Thakur, A., Kasilingam, S. and Singh A.P. (2022). Evaluation of concrete bricks with crumb rubber and polypropylene fibres under impact loading. *Construction and Building Materials* 315, 125752

Valera-Rivera, J., Fernandez-Baqueiro, L., Alcocer-Canche, R., Ricalde-Jimenez, J. and Chim-May, R. (2018). Shear and flexural behavior of autoclaved aerated concrete confined masonry walls. *ACI Structural Journal* 115(5), 1453-1462

Wahane, A., Dwivedi, S. and Bajaj, D. (2023). Effect in mechanical and physical properties of bricks due to addition of waste polyethylene terephthalate. *Materials Today: Proceedings* 74(4), 916-922

Wahab, R.A.A., Mohammad, M., Mazlan, M., Yaki, A.N.A., Bahari, N.S.S., Fadzli, S.N.A.M., Zahanis, Z.H.B. and Zaid, M.H.M. (2023). Study on the physical and mechanical properties of low energy consumption fired industrial waste clay bricks from eggshells and rice husks. *Materials Today: Proceedings* 75(1), 79-83