

Aporte técnico y ambiental a la gerencia integral de proyectos de obra en Boyacá con el uso de adoquines compuestos por materiales residuales*

Technical and environmental contribution to the comprehensive management of construction projects in Boyacá with the use of paving stones composed of residual materials

Mabel Andrea Avella-González ***
David Camilo Cifuentes-Caballero***
Nubia Edith Céspedes-Prieto****

Recibido: junio 14 de 2023 - Evaluado: agosto 28 de 2023 - Aceptado: septiembre 20 de 2023

Para citar este artículo / To cite this Article

M. A. Avella-González, D. C. Cifuentes-Caballero, N. E. Céspedes-Prieto, “Aporte técnico y ambiental a la gerencia integral de proyectos de obra en Boyacá con el uso de adoquines compuestos por materiales residuales”, Revista de Ingenierías Interfaces, vol. 7, no.2, pp.1-12, 2024.

Resumen

Teniendo en cuenta la importancia de la gerencia integral de obras, y el aporte que esta tiene al identificar, priorizar y mitigar factores de riesgo en el desarrollo de un proyecto de construcción, la presente propuesta se encamina hacia un valor sostenible, por lo tanto, se plantea una alternativa de ladrillos ecológicos obtenidos a través de la incorporación de materiales residuales (cascarilla de arroz, chamota, escoria de alto horno). La incorporación de la estrategia mencionada busca no solo generar un impacto entorno al desarrollo ambiental, sino abarcar áreas como lo son la economía circular, generando un aporte significativo en cuanto a la mejora de procesos industriales, a la reducción de residuos y al mejoramiento del consumo energético, identificando el valor de innovación y desarrollo; desde la gerencia integral de obras se analizó la población Colombiana y se selecciona a la región de Boyacá como punto de enfoque para el desarrollo de la propuesta al ser uno de los focos más importantes de fabricación de ladrillos, siendo así, se buscará incorporar adoquines a obras de

*Artículo inédito: “Aporte técnico y ambiental a la gerencia integral de proyectos de obra en Boyacá con el uso de adoquines compuestos por materiales residuales”.

**Especialista en Gerencia Integral de Obras, Ingeniera civil, Ingeniería miembros de la Escuela Militar de Ingenieros Militares; Escuela Militar de Cadetes José María Córdova; mabel.avellagonzalez.@buzonejercito.mil.co, ORCID: 0009-0007-0459-7528 Bogotá, Colombia.

***Especialista en Gerencia Integral de Obras, Ingeniero civil, Ingeniería miembros de la Escuela Militar de Ingenieros Militares; Escuela Militar de Cadetes José María Córdova; david.cifuentescaballero@buzonejercito.mil.co; ORCID: 0009-0002-4457-8608, Bogotá, Colombia.

**** Doctora en Ciencias, Máster en ciencias Química; Nubia.cespedes@esing.edu.co; ORCID: 0000-0001-8873-2174, Bogotá, Colombia.

construcción en espacios municipales de la región de Boyacá. Para esto se opta por realizar una Investigación Experimental, sobre el efecto que tiene un material residual agregado (en este caso escoria de alto horno) a los componentes de dicho elemento, esto con el fin de evaluar las propiedades físicas que tendrá y así contemplar si es adecuada la implementación de este en construcciones; lo que llevaría a mitigar tanto el impacto ambiental, económico e incluso social que en la actualidad se evidencia específicamente en el Departamento de Boyacá, ya que en este lugar se encuentra gran parte de las ladrilleras del país.

Palabras clave: Materiales residuales, gerencia integral de obras.

Abstract

Taking into account the importance of integrated construction management, and the contribution it has in identifying, prioritizing and mitigating risk factors in the development of a construction project, this project proposes a proposal aimed at sustainable value, therefore, an alternative of ecological bricks obtained through the incorporation of waste materials (rice husks, chamotte, blast furnace slag) is proposed. The incorporation of the aforementioned strategy seeks not only to generate an impact on environmental development, but also to cover areas such as the circular economy, generating a significant contribution in terms of improving industrial processes, reducing waste and improving energy consumption, identifying the value of innovation and development; From the integral management of works, the Colombian population was analyzed and the region of Boyacá was selected as the focus point for the development of the proposal, since it is one of the most important centers of brick manufacturing, thus, we will seek to incorporate paving stones to construction works in municipal spaces in the region of Boyacá. To do this, an experimental research is chosen, on the effect that has an added residual material (in this case, high oven scrap) to the components of the said element, in order to evaluate the physical properties that it will have and thus consider whether it is appropriate to implement this in construction; which would lead to mitigate both the environmental, economic and even social impact that is currently being shown specifically in the Department of Boyacá, since this place is located much of the brick of the country.

Keywords: Waste materials, comprehensive management of Works

1. Introduction

La economía de Boyacá se basa en gran parte en la producción de ladrillos y adoquines [17], actividad que requiere de intervención en los procesos de explotación, producción e innovación de productos encaminados a la reducción de los impactos ambientales; entre ellos se encuentran la contaminación del aire por la quema de combustibles fósiles, la degradación del suelo por la extracción de arcilla y arena, la emisión de gases de efecto invernadero que contribuyen al cambio climático, y la explotación laboral de los trabajadores, especialmente de los niños y adolescentes [7]. Estos problemas requieren de soluciones integrales que involucren a los diferentes actores del sector, como los productores, los consumidores, las autoridades y las organizaciones no gubernamentales. Así que al identificar la economía circular como un modelo de producción y consumo se busca minimizar el impacto ambiental y maximizar el aprovechamiento de los recursos. En el sector de la construcción, la economía

circular ofrece oportunidades para la elaboración de ladrillos y adoquines a partir de materiales reciclados o residuos orgánicos [9]. Estos productos cuentan con la ventaja de un menor costo, mayor resistencia, menor huella de carbono y mayor valor agregado. Además, contribuyen a la generación de empleo, la inclusión social y la innovación tecnológica.

Teniendo en cuenta lo mencionado anteriormente se plantea el uso de materiales residuales, tales como: la cascarilla de arroz, la chamota, las cenizas de alto horno, como una alternativa viable, sustentable y capaz de aportar en el desarrollo de la economía del país. Para lograr identificar la funcionabilidad de esta estrategia se llevó a cabo una investigación experimental en donde se evaluaron las propiedades de los ladrillos a la hora de agregarles los materiales residuales (escoria de alto horno) y poder determinar si sufre algunas variaciones negativas, no presenta algún cambio significativo o si por el contrario es más eficaz con este componente; en mencionado ensayo se tuvieron en cuenta propiedades como (absorción, compresión, flexión) por medio de ensayos ejecutados en los laboratorios de agregados y de Absorción y suelos de la Escuela de Ingenieros Militares (ESING); con la información obtenida se logra determinar que la implementación de materiales alternativos no solo son una buena opción para la mitigación del impacto ambiental, social y económico que tiene la elaboración de este, sino que tiene un aporte en al ámbito de la construcción, ya que se lograron identificar mejores resultados en cuanto a la absorción, siendo menos probable que su uso requiera de mantenimientos constantes y sea evidente la disminución de la aparición de humedad en las obras; este material también arroja resultados positivos en cuanto a la resistencia de fuerzas. Al incorporar el ladrillo realizado con materiales alternativos no solo se favorece la economía circular, sino que se adquiere un valor sostenible en los proyectos de obra no solamente de carácter ambiental, sino encaminados hacia un desarrollo social y económico.

2. Materiales y Métodos

Esta investigación de carácter experimental comienza siguiendo unos parámetros de selección rigurosos de bibliografía entorno a la implementación de materiales residuos o alternativos para la fabricación de ladrillos, la manera de obtención y el impacto que puede llegar a tener en la problemática que se quiere evaluar [18].

El proyecto inicia en colaboración con la empresa Brick Bic, dando paso a la adquisición de los materiales a emplear (conocidos en adelante como materiales alternativos): la escoria de alto horno, conocida como el resultado de la producción de hierro y acero [4]; la cascarilla de arroz, subproducto obtenido al moler el grano de arroz [4]; y la chamota, material granular obtenido al pulverizar los ladrillos o algún producto cerámico cocido [4]; teniendo la materia prima se da paso a la determinación de las cantidades a emplear (se contempla la información obtenida previamente de manera teórica y se siguen como patrones de referencia. Este material previo a ser empleado para ensayos tiene que pasar por una variedad de procesos (entre ellos pesaje, separación, difracción de rayos X, trituración) con la finalidad de obtener una escoria fina, seleccionada y lista para emplear [28].

Se realiza el procedimiento estándar para la fabricación de ladrillos, en donde se tiene una base principalmente de arcilla, gracias a que este material cuenta con excelentes propiedades tanto de resistencia y como de eficacia; y los demás componentes alternativos. Se lleva a altas temperaturas (entre 900 °C y 1000°C) con el fin de lograr una adecuada compactación de sus partículas [12] y adquirir justamente la resistencia que los caracteriza; posterior a esto, se realizan pruebas de resistencia, que corroboren dichas propiedades mecánicas de cada elemento. Primero, los ladrillos obtenidos se someten a prueba de absorción donde tanto las muestras alternativas como tradicionales se pesan y posteriormente se sumergen en agua durante un periodo de tiempo de 24 horas; en lapsos correspondientes a 6 horas y finalizado el tiempo contemplado se toman registros del peso.

Después de realizada la prueba de absorción los ladrillos se someten a distintas pruebas de compresión, la primera se realiza durante 40 segundos con una fuerza de hasta 520 N, la segunda se lleva a cabo por la cara de los ladrillos llamada tabla, la cual tiene una duración de 1 minuto con 35 segundos con una fuerza de hasta 844.1N; y la tercera prueba se realiza por la cara llamada canto durante 1 minuto con una fuerza de hasta 507.1N. Y finalmente se realiza prueba de flexión (prensa de flexión) se aplica carga controlada y se mide la resistencia que tenga el material hasta que este se fracture.

Teniendo el correspondiente registro de cada uno de los datos obtenidos en las distintas pruebas, se hace su correspondiente análisis, logrando así determinar si el desarrollo de esta práctica es una herramienta eficaz en la construcción de obras y una buena alternativa para contrarrestar los daños medio ambientales y que a su vez es una estrategia válida que le aporta a la gerencia integral los instrumentos necesarios para realizar su práctica de manera eficaz.

3.Resultados

Cada una de las pruebas realizadas arrojaron la siguiente información:

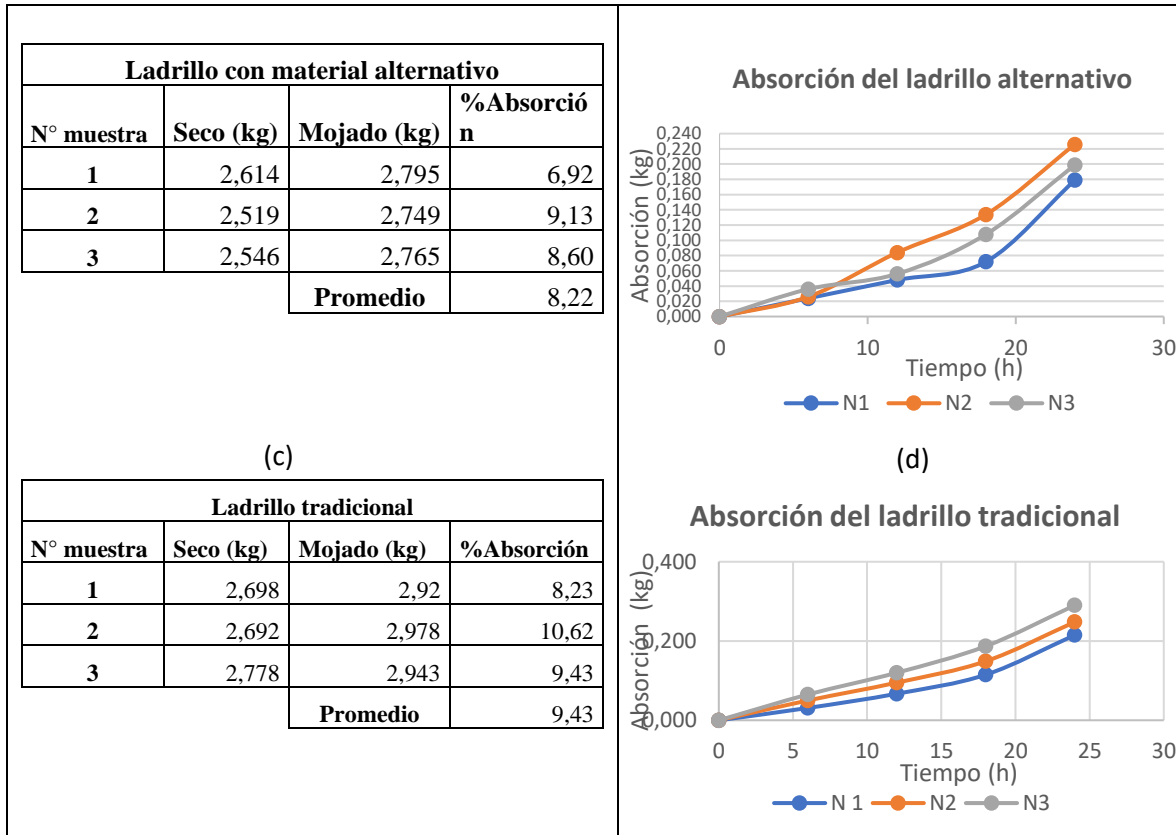
Los datos presentados en la Figura 1, a y c corresponden a los promedios de los datos registrados en seco, y durante los lapsos de 6 horas estando sumergidos. B y d, representan el porcentaje de absorción para cada muestra.

Los datos registrados en las tablas a y c, permiten determinar que un 0.23kg = 0.23 litros fue absorbido por el ladrillo tradicional, en comparación de un 0.21kg = 0.21 litros absorbidos por el ladrillo alternativo. Los gráficos b y d, muestran un comportamiento proporcional entre el tiempo y la absorción para ambas muestras; el ladrillo alternativo muestra una absorción menor, alcanzando un máximo de 0.226kg (0.226 litros), mientras que el tradicional 0.290 kg (0.290 litros).

Teniendo en cuenta los valores obtenidos, y el análisis previo se determina que el ladrillo alternativo al contar con una baja absorción de agua posee una mayor resistencia a la intemperie, una mayor durabilidad, lo que se traduce en una menor retención de humedad.

(a)

(b)



(c)

(d)

Figura 1. Resultados a ensayo de absorción para ambas muestras. (a y c) Relación de pesos promediados en seco y húmedos. (b y d) Gráfica % de absorción.

Compresión

Las tablas y gráficos corresponden a las pruebas de compresión general después de la absorción (c y d), compresión por la cara tabla (a y b) y cara canto (e y f) del ladrillo.

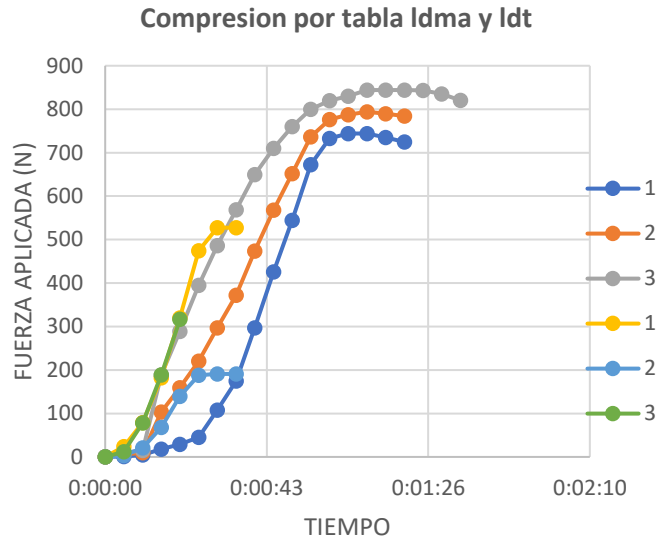
La gráfica b y tabla a, comprenden los datos registrados al momento de realizar compresión en los ladrillos por su cara denominada tabla, en donde se contrasta notoriamente las diferencias entre el ladrillo con materiales alternativos (LDMA) y el ladrillo tradicional

(LT), siendo este último el primero en fracturarse (a los 35s) al alcanzar un máximo de 527.2 N, mientras que el LDMA alcanza un máximo de 820.6N un minuto después del LT.

(a)

Ensayo de compresión por tabla						
Tiempo	Fuerza aplicada					
h:mm:ss	Ladrillo con material alternativo			Ladrillo tradicional		
	1	2	3	1	2	3
0:00:00	0	0	0	0	0	0,000
0:00:05	0,8	5,4	10,0	24,2	3,6	11,900
0:00:10	4,8	9,9	15,0	79,3	21,2	78,400
0:00:15	17,9	103,45	189,0	182,2	68,1	189,000
0:00:20	29,1	159,05	289,0	319,5	139,1	316,700
0:00:25	45,2	220,1	395,0	474,2	187,9	
0:00:30	108,1	297,05	486,0	527,4	190,9	
0:00:35	175,0	372	569,0	527,2	190,9	
0:00:40	296,7	473,35	650,0			
0:00:45	425,9	567,95	710,0			
0:00:50	544,1	652,05	760,0			
0:00:55	672,4	736,2	800,0			
0:01:00	732,8	776,4	820,0			
0:01:05	744,1	787,05	830,0			
0:01:10	744,1	794,1	844,1			
0:01:15	735,0	789,55	844,1			
0:01:20	725,0	784,55	844,1			
0:01:25			843,2			
0:01:30			835,4			
0:01:35			820,6			

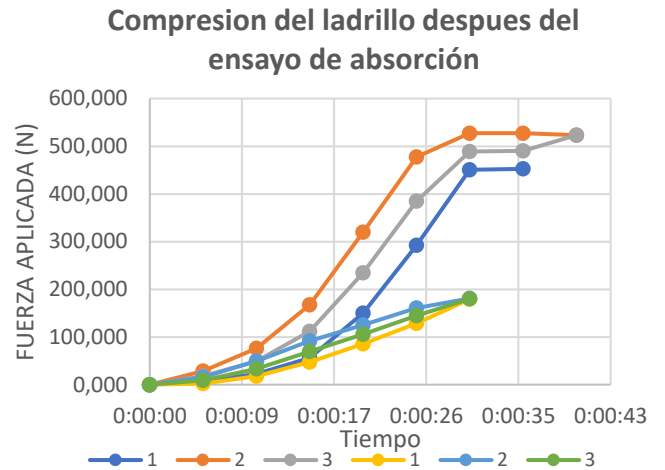
(b)



(c)

Ensayo de compresión después de absorción						
Tiempo	Fuerza aplicada					
h:mm:ss	Ladrillo con material alternativo			Ladrillo tradicional		
	1	2	3	1	2	3
0:00:00	0,000	0,000	0,000	0,00	0,00	0,00
0:00:05	7,100	28,800	17,950	2,1	15,9	9,0
0:00:10	22,600	76,400	49,500	17,9	49,3	33,6
0:00:15	56,300	167,400	111,850	47,1	91,7	69,4
0:00:20	150,200	319,500	234,850	85,8	125,5	105,65
0:00:25	292,600	477,200	384,900	128,3	160,7	144,5
0:00:30	450,700	527,400	489,050	179,5	180,8	180,15
0:00:35	452,500	527,400	489,950			
0:00:40		523,320	523,320			

(d)

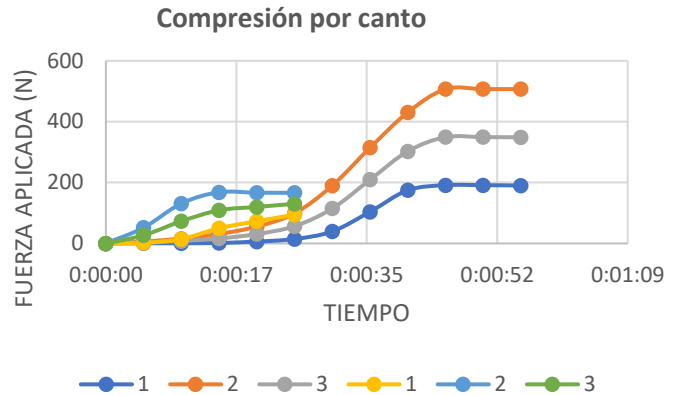


(e)

Ensayo de compresión por el canto						
Tiempo	Fuerzas aplicadas					
h:mm:ss	Ladrillo con material alternativo			Ladrillo tradicional		
	1	2	3	1	2	3
0:00:00	0	0	0	0	0	0,000
0:00:05	0,6	6,4	3,5	1,8	52	26,900
0:00:10	0,6	15,9	8,3	14,7	131,3	73,000
0:00:15	1,7	31,1	16,4	49,9	168,3	109,100
0:00:20	6,2	55,5	30,9	73,3	166,6	119,950
0:00:25	14,6	98,9	56,8	94,1	166,5	130,300
0:00:30	39,5	190,3	114,9			
0:00:35	104,2	314,7	209,5			
0:00:40	174,9	430,8	302,9			
0:00:45	191,5	507,1	349,3			
0:00:50	191,5	507,1	349,3			

(f)

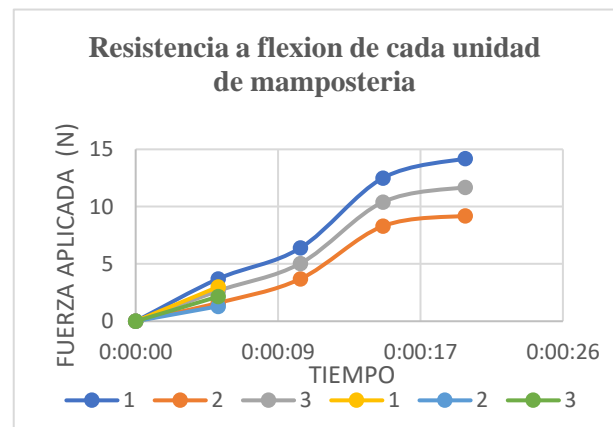
0:00:55	190,3	507	348,7			
---------	-------	-----	-------	--	--	--



Ambos ladrillos muestran una relación proporcional entre tiempo y fuerza, sin embargo, las muestras del ladrillo con material alternativo presentan una mayor resistencia en periodos más cortos de tiempo, llegando a un punto máximo, donde se mantiene hasta su posterior descenso. La tabla y gráfico (c y d) permiten analizar que los ladrillos que contienen material alternativo presentan notablemente una mayor resistencia a la compresión en comparación con los ladrillos tradicionales, alcanzando fuerzas mayores a 500 N; los LT alcanzan su máximo de resistencia a los 30s a 180N, y los LDMA la alcanza 10s después a 523N. Al igual que el ensayo anterior se evidencia una relación proporcional, aún más evidente en los LT. En el caso de las compresiones realizadas por la cara canto del ladrillo los resultados, conservan el patrón de las compresiones anteriores donde predomina un mejor desempeño las muestras alternativas sobre las tradicionales; el LT alcanza su máxima resistencia a los 25s a 130N, y la LDMA a los 55s a una fuerza 507N. Gracias a las tres pruebas anteriores, se determina que el ladrillo de material alternativo posee una gran resistencia a fuerzas aplicadas, evitando a su falla fácilmente, sin embargo, su mayor efectividad es alcanzada cuando se ejerce una fuerza por la cara “tabla” del ladrillo. (b)

Flexión

La tabla (a) y gráfica (b) registran los datos obtenidos al realizar el ensayo de flexión de para ambas muestras, donde el LT alcanza un máximo de 3N, en contraste con los 14N soportados por lo LDMA. Aunque es posible determinar que en este caso los ladrillos con materiales alternativos tienen una falla más rápida en contraste con los tradicionales, el primero cuenta con una mayor resistencia.



Ensayo de flexión						
Tiempo	Fuerza aplicada					
h:mm:ss	Ladrillo con material alternativo			Ladrillo tradicional		
	1	2	3	1	2	3
0:00:00	0	0	0	0	0	0
0:00:05	3,7	1,6	2,7	3	1,3	2
0:00:10	6,4	3,7	5,1			
0:00:15	12,5	8,3	10,4			
0:00:20	14,2	9,2	11,7			

Conclusiones

Después de realizar una ardua investigación en el campo de la elaboración de ladrillos como una práctica de alto impacto (específicamente en Boyacá) no solo ambiental, sino social y económico, se cree

que el implementar elementos alternativos como compuestos para la realización de dicho material es una opción viable que mitigue los efectos colaterales que conlleva esta práctica; por lo mismo se busca corroborar que la implementación de esta estrategia no incurra en problemáticas futuras para las construcciones venideras que decidan utilizarla.

Después de realizadas las diversas pruebas de laboratorios, se interpreta que emplear materiales alternativos como la escoria de alto horno, no solo suponen un impacto en la economía y el medio ambiente, sino también, un efecto positivo para la construcción, ya que como se estuvo estudiando este tipo de ladrillo arroja muy buenos resultados en cuanto a la absorción y resistencia.

Se logra determinar que el ladrillo de materiales alternativos o LDMA es mucho más resistente que el ladrillo tradicional ante cualquier carga o aplicación de fuerza, sin embargo, se hace la acotación que conserva esta misma característica si la fuerza recarga en la parte de la tabla del ladrillo y no del canto.

Por otra parte, aunque los ladrillos tradicionales arrojaron buenos resultados los ladrillos con materiales alternativos tienen una mejor absorción lo que lo hace menos permeable y tiende a retener menos humedad, una resistencia a la intemperie mayor lo que puede ofrecer ventajas en términos de durabilidad y necesidad reducida de mantenimiento.

Se recomienda que para usar el LDMA en terreno, se realice una compactación de este al detalle con todos los parámetros para evitar fallas del ladrillo por flexión.

Una concentración del 25% en promedio indica tener mejores resultados en la evaluación de las propiedades de los ladrillos

Por último, el tener recurrir a esta estrategia conlleva a una ventaja económica ya que estos materiales alternativos son de muy bajo costo y se puede reforzar los ladrillos para evitar (como se mencionó anteriormente) mantenimientos seguidos de las unidades de mampostería en las construcciones tanto verticales como horizontales.

Referencias

[1] A. Gutiérrez y J. Paola, “Elaboración de ladrillos mediante la inclusión de ceniza de carbón proveniente de la ladrillera bella vista de Tunja-Boyacá”, Universidad Santo Tomás. 2019. Disponible en: <http://hdl.handle.net/11634/20011> [repourl:https://repository.usta.edu.co](https://repository.usta.edu.co)

[2] A.F. Granados y A. Prada. “Fabricación de Ladrillos bioecologicos a base de cascarilla de arroz”

[3] S. I. Alarcón Marin, F. P. Burgos Panqueva “Plan de manejo ambiental para la ladrillera el santuario. (Tesis de pregrado) Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia, 2015. Disponible en: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://repository.udistrital.edu.co/server/api/core/bitstreams/17ef6107-5699-49c3-aec3-5569e3ef521d/content>

[4] B. Gill, B.M. Pavetti, M. Monteiro. “ Chemical and microstructural characterization of blast furnace slag” 2020. <https://doi.org/10.32480/rscp.2020.25.2.101>

[5] C. Villanueva, J. Maza y J. Esteban. “Propiedades físico- mecánicas de ladrillos de concreto sustituyendo el agregado fino por 15%, 25% y 30% de escoria del horno eléctrico de SIDERPERU, Chimbote 2019”. Universidad César Vallejo. 2019

[6] Colombia podría aprovechar 40% de las toneladas de residuos que genera anualmente. (n.d.). Retrieved May 17, 2021, from <https://www.larepublica.co/responsabilidad-social/colombiapodria-aprovechar-cerca-de-40-de-los-116-millones-de-toneladas-de-residuos-que-genera-alano-2813141>

[7] D.E. Gutierrez. “Contaminación Ambiental por ladrillos Artesanales en el Departamento de Puno”, Universidad Andina “Néstor Cáceres Velásquez”. Disponible en: <https://www.monografias.com/trabajos101/contaminacion-ambiental-ladrillos-artesanales-departamento-puno/contaminacion-ambiental-ladrillos-artesanales-departamento-puno>.

[8] “Departamento de Boyacá, Colombia- Guía Completa para viajes”. Triviantes. 2022. Disponible en: <https://www.triviantes.com/departamento-de-boyaca/>

[9] E. Malagón, C. Ramos y M. Villaquiran. “La escoria siderúrgica de alto horno como alternativa ecológica en la producción de materiales de construcción: revisión”. Universidad del Valle. 2023

[10] G. Gutierrez. “Tecnologías de aprovechamiento de la cascarilla de arroz en materiales de construcción, Campoalegre-Huila”, Universidad Antonio Nariño. 2022.

[11] H.A. Rondón, M. Muniz y F.A. Reyes, “Uso de Escorias de Alto horno y acero en mezclas asfálticas: revisión”. Universidad de Medellín. 2017. <https://doi.org/10.22395/rium.v17n33a4>

[12] B. Huang, X. Wang, H. Kua, Y. Geng, R. Bleischwitz, & J. Ren. “Construction and demolition waste management in China through the 3R principle”, *Resources, Conservation and Recycling*, Vol 129, pp. 36–44, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.09.029>

[13] Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, “Emisiones” (s.f) Disponible: <http://www.ideam.gov.co/web/siac/emisionesaire>

[14] “Instructivo para la elaboración del plan de gestión integral de residuos de construcción y demolición”. Escuela Tecnológica Instituto- Técnico Central. GAM-IN-01. 2019

[15] J.C. Avella, M.Q. González, P.E. Escobar y, A. Rincón, “Boyacá en Cifras”, 2023. Disponible en https://cctunja.org.co/wp-content/uploads/2024/08/Boyaca_Cifras_2023_V1.pdf

[16] J.G. Fuquene, C. Rincón., “Evaluación de la sostenibilidad en la producción del ladrillo en la región de Boyacá, Colombia”. 2017. Disponible en: <http://hdl.handle.net/11634/33394>

[17] J. Páez. “Tipos de contaminantes atmosféricos asociados a la fabricación de ladrillos artesanales en Colombia”. UNAD. 2020

[18] J. R. Rocha “Elementos de construcción a partir de residuos de construcción y demolición en Bogotá” Tesis de Pregrado. Universidad Católica de Colombia. Facultad de Ingeniería, Programa de Ingeniería Civil. Bogotá, Colombia, 2020.

[19] K. M. Arias y L. Vargas. “Caracterización de adoquines elaborados a partir de plástico reciclado”. Universidad ECCI. 2023

[20] L.C. Consuegra, “Identificación de los impactos ambientales generados por la actividad de la producción de ladrillos artesanales en el corregimiento de Camarones, Distrito especial, Turístico y Cultural de Riohacha, Departamento de la Guajira”. Fundación Universitaria los Libertadores. 2022

[21] M. Lopez, S. Curadelli, B. Civit y R. Piastrellini. “Cocción sostenible en la producción de ladrillos cerámicos artesanales”. 2015.

[22] Área Metropolitana del Valle de Aburrá, *Manual de Gestión socio-ambiental para obras de construcción*. Medellín, Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia: 2010.

[23] Norma Técnica Colombiana NTC 4017. Métodos para muestreo y ensayos de unidades de mampostería y otros productos de arcilla. 2005

[24] Norma Técnica Colombiana NTC 4026 y NTC 4076 para bloques de ladrillos de concreto, para mampostería estructural y no estructural.

[25]ICONTEC, Norma Técnica Colombiana NTC 4205. Ingeniería Civil y Arquitectura. Unidades de Mampostería de Arcilla cocida, ladrillos y bloques cerámicos, 2000.

[26]P. M. Arévalo Berrezueta. "Utilización de cascarilla de arroz en la elaboración de ladrillos y de alta resistencia," Tesis, U. Cuenca, 2005. Disponible en: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/8348>

[27]S.Arenas, F. López y H. Gómez. "Producción de ladrillos a partir de residuos de la industria de la construcción". Universidad EAN. 2021.

[28] J. Sánchez, J. Betancur, y L. Ocampo, "Conminución y análisis granulométrico para un proceso de recuperación de cobalto a partir de baterías de teléfonos móviles". Gestión y Ambiente, Vol 19, pp. 240-251, junio, 2016. doi:10.15446/ga.v19n2.58492

[29]Telefónicas, "Cuántos habitantes tiene Boyacá, Colombia, en 2023", Telencuestas. Disponible en: <https://telencuestas.com/censos-de-poblacion/colombia/2023/boyaca>

[30] C. Ubilla, & K. Yohannessen, "Contaminación atmosférica efectos en la salud respiratoria en el niño", Revista Médica Clínica Las Condes, Vol 28, pp. 111-118. <https://doi.org/10.1016/j.rmclc.2016.12.003>

[31]Y. H. Herrera, F. S, Carrasco y S. P. Muñoz. "Aprovechamiento de escorias metálicas en ladrillos cerámicos: una revisión". Rev. Ingeniería: Ciencia, Tecnología e Innovación. Vol. 8, pp. 94-105, 2021. DOI: 10.26495/icti.v8i1.1551

[32]Y. Zhou, Li. Jiang, Lu. Jiang, C. Cheeseman, y C. S. Poon, "Recycling incinerated sewage sludge ash (ISSA) as a cementitious binder by lime activation. Journal of Cleaner Production", Vol, 244. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118856>