

Caracterización y diseño de adoquines ecológicos con agregados reutilizados del concreto de descarte en Panamá

Characterization and design of eco-friendly pavers using recycled aggregates from returned concrete in Panama

Boris Liao¹, Alexis Morón¹, Ramiro Vargas^{1*}

¹Universidad Tecnológica de Panamá, Facultad de Ingeniería Civil, Panamá

Fecha de recepción: 21 de mayo de 2025. **Fecha de aceptación:** 26 de junio de 2025.

***Autor de correspondencia:** ramiro.vargas@utp.ac.pa

Resumen. La industria de la construcción en Panamá, motor clave del crecimiento económico del país enfrenta una creciente demanda de materiales, siendo el concreto el más prevalente. La gestión de este genera una considerable cantidad de residuos. La propuesta investigativa presenta una innovadora solución eco-amigable para la reutilización de estos desechos en la fabricación de adoquines en forma de ladrillo. Este enfoque no solo mitiga el impacto ambiental de los residuos, sino que también conduce a una potencial reducción en los costos de producción. En esta investigación se construyeron especímenes con un reemplazo de una cuarta parte de agregados naturales por agregados reutilizados. De igual forma, se realizaron ensayos de resistencia y se determinó la viabilidad del uso de este producto en el ámbito ingenieril. Los ensayos han demostrado la robustez de estos adoquines, con resultados prometedores en resistencia a la compresión y a la flexión. La adopción de este material reciclado en la construcción podría revolucionar la gestión de residuos en la República de Panamá, estableciendo un nuevo estándar de sostenibilidad y eficiencia económica en el sector. El resultado de los ensayos a flexión clasificaría a estos adoquines para uso peatonal, lo que conduce a próximas investigaciones prometedoras con agregados reutilizados.

Palabras clave. Adoquín, agregados, concreto, ladrillo, residuo de construcción, reutilización de desechos, sostenibilidad.

Abstract. The construction industry in Panama, a key driver of the country's economic growth, is currently facing an increasing demand for raw materials, with concrete being the most widely used. However, the handling and processing of concrete also produces a substantial amount of waste, which poses both environmental and logistical challenges. This research proposal introduces an innovative and eco-friendly solution aimed at reusing concrete waste in the production of brick-shaped paving stones. This sustainable approach not only reduces the negative environmental impact of construction waste but also presents a potential decrease in manufacturing costs, making it a cost-effective alternative. In the experimental phase of this study, specimens were produced by replacing 25% of natural aggregates with recycled aggregates derived from construction debris. A series of compressive and flexural strength tests were conducted to evaluate the performance and feasibility of the proposed mixture. The results demonstrated strong mechanical properties, indicating that these pavers meet the necessary standards for practical application. The flexural strength achieved by the specimens qualifies them for pedestrian use. The successful outcomes of this study open the door for future investigations involving a broader range of recycled materials, aiming to improve sustainability in Panama's construction sector.

Keywords. Pavers, aggregates, concrete, brick, construction residue, waste reutilization, sustainability.

1. Introducción

El manejo de los desechos siempre han sido una problemática nacional que amerita una urgente atención. La correcta manipulación, deposición y reutilización de estos implica un cambio gigantesco en la calidad de vida y crecimiento social de una región.

De la cantidad de desechos de construcción generados a diario en la república de Panamá destacan aquellos que tienen la posibilidad de reutilizarse o reciclarse, siendo el concreto hidráulico el material más utilizado. Por su versatilidad y bajo costo, el concreto hidráulico se posiciona como una de las sustancias más utilizadas en el ámbito constructivo y, por ende, generando una cantidad alarmante de desechos. Un ejemplo de este potencial de reutilización es la presente investigación, que ha generado adoquines para uso peatonal considerando los ensayos a flexión según la Norma Técnica Colombiana [1].

Los desechos de la industria de la construcción destacan entre los más dañinos para la salud colectiva. Los volúmenes de desechos producidos por la industria son alarmantes, producto del crecimiento acelerado que ha tenido la ciudad de Panamá.

Actualmente, en el mundo se generan anualmente 210 millones de toneladas de residuos de construcción (RCD), de los cuales cerca del 33% no son gestionados de ninguna manera y son pasados por alto. La rápida urbanización y el crecimiento de la población harán que la cantidad de desechos aumente en un 70% en los próximos 30 años [2].

El concreto hidráulico consiste en una mezcla de agregados finos (arena), gruesos (grava), cemento hidráulico y agua. El fácil manejo y bajo costo impulsa a la industria a utilizarlo como el principal material de construcción en Panamá. Actualmente la industria concretera mantiene la problemática de altos volúmenes de concreto de retorno o de descarte, producto de la alta demanda y el rápido fraguado del material. Ante esta situación, muchas veces se decide saturar el material desechado con agua, despojándolo de su capacidad cohesiva y dejando como residuo una masa denominada lodo de concreto. Este material de desecho se apila en zonas delimitadas en las plantas concreteras. Hasta el momento, el concreto descartado no tiene ninguna capacidad ni aplicación útil.

Los impactos ambientales que se generan en la elaboración de concreto hidráulico ponen en contexto una realidad adversa que se puede minimizar, con el reemplazo parcial o total de materiales naturales con elementos amigables con el medio ambiente. Esto permitiría apostar por el desarrollo sostenible, en adición a los beneficios que significarían para la comunidad y el ecosistema [2].

En esta investigación se tiene como objetivo el caracterizar este material de descarte, y darle un uso en el ámbito constructivo conformando ladrillos o adoquines para uso peatonal en Panamá. De igual forma, se busca obtener los parámetros de resistencia y determinar la viabilidad de incorporar este material de descarte como elemento reutilizado para nuevas mezclas de concreto hidráulico de baja resistencia. Esta investigación se ha centrado en la obtención, manejo, diseño y caracterización del producto final. Se realizaron análisis granulométricos, con el objetivo de obtener la información técnica sobre el agregado utilizado [3]. Manteniendo en todo momento el rigor de la Norma Técnica Colombiana (NTC) [1], se diseñaron los adoquines y se realizaron las pruebas de compresión y flexión correspondientes [4].

Para el cálculo del porcentaje de absorción (ecuación 1), densidad de la mezcla (ecuación 2), módulo de rotura (ecuación 3) y porcentaje de humedad (ecuación 4) se utilizaron las recomendaciones de la Norma Técnica Colombiana (NTC) [1].

$$\% \text{Abs.} = \left[\frac{(M_h - M_s)}{M_s} \right] * 100 \quad (1)$$

Donde:

%Abs.: porcentaje de absorción.

Mh: masa saturada del espécimen, en gramos.

Ms: masa seca del espécimen, en gramos.

$$\text{Densidad de la mezcla} = \left[\frac{M_s}{M_h - M_a} \right] * 1000 \quad (2)$$

Donde:

Mh: masa saturada del espécimen, en gramos.

Ms: masa seca del espécimen, en gramos.

Ma: masa inmersa en agua o suspendida, en gramos.

$$M_r = \frac{[3 * C_{\text{max}} * (l_i - 20)]}{[(2 * a_r) * e_r^2]} \quad (3)$$

Donde:

Mr: módulo de rotura, N/mm² (MPa).

Cmax: carga máxima, en Newton.

li: longitud del espécimen, en mm.

ar: ancho del espécimen, en mm.

er: espesor del espécimen (peralte), en mm.

$$\%H = \frac{[M_h - M_s]}{M_h} * 100 \quad (4)$$

Donde:

%H: porcentaje de humedad.

Mh: masa saturada del agregado, en gramos.

Ms: masa seca del agregado, en gramos.

2. Materiales y métodos

Los materiales, equipos y herramientas digitales utilizados para la realización de la investigación incluyen: Concre fácil (Argos); muestra de concreto de descarte; tamices; tula, palas, palaustre, balanzas y cubetas; molde de cilindros de concreto; molde de adoquines (diseñado); tina de curado; máquina de ensayo a compresión y flexión; horno; y tamizadora.

La investigación comenzó con la extracción de muestras de cuatro cubos de concreto de retorno de la planta Argos S.A., las cuales se trasladaron al Centro Experimental de Ingeniería de la Universidad Tecnológica de Panamá. El diseño de los moldes de adoquines, basado en la Norma Técnica Colombiana [1], fue un paso crucial en el desarrollo de las pruebas. En la figura 1a se puede observar la visita a la planta Argos y en la figura 1b se observa el sitio de donde se extrajo material.



Figura 1. a) visita a la planta Argos Tocumen (Ciudad de Panamá); b) sitio de extracción de muestra.

Se realizó un ensayo de granulometría secando las muestras en un horno a 105°C durante 24 horas, para eliminar su humedad y permitir el manejo para el ensayo de granulometría [4]. También con este secado se puede observar el porcentaje de absorción que tiene la muestra extraída del sitio y cuando esta es secada. Luego, se separaron los agregados mediante una tamizadora: los granos retenidos por el Tamiz N°4 se consideraron gruesos y los retenidos por el Tamiz N°50, finos. Estos agregados retenidos se utilizaron para la mezcla de concreto en la conformación de los cilindros y los adoquines de prueba. En la figura 2a se puede observar el secado de la muestra y en la figura 2b se observa el proceso de tamizado de esta.



Figura 2. a) secado de la muestra; b) tamizado de los agregados.

Al finalizar el ensayo de granulometría se confeccionó la mezcla de concreto. En este proceso se reemplazó una cuarta parte de los agregados de un saco de Concre Fácil con la muestra del concreto de retorno. Parte de la mezcla se usó para la prueba de *Slump* [5], la cual cumplió con un rango de dos a cuatro pulgadas de asentamiento. El resto del concreto se utilizó para la confección de los cilindros y adoquines, siguiendo la Norma ASTM C31/C31M-19 [6]. En la figura 3a se observa la mezcladora de concreto y en la figura 3b el desencofrado de las muestras a ensayar.



Figura 3. a) maquina mezcladora de concreto; b) desencofrado de los cilindros y adoquines.

Después de 24 horas, los cilindros y adoquines se desencofraron y se curaron en una tina de agua con cal durante 28 días.

Transcurridos los 28 días de curado, se retiran las muestras de los adoquines de la tina y se determina su masa en estado húmedo. Luego, las muestras se secan en el horno durante 24 horas. Una vez secas, se determina su masa y se vuelven a sumergir en agua para medir su masa sumergida. Este procedimiento permite calcular el porcentaje de absorción.

En la figura 4a se observa la extracción de los adoquines de la piscina de cal y en la figura 4b se observa el secado de los adoquines.



Figura 4. a) extracción de las muestras a ensayar; b) secado de los adoquines.

Finalmente, se realizaron las pruebas de compresión y flexión a los cilindros y adoquines, para recolectar los datos de esta investigación [4]. En la figura 5a se observa el ensayo de flexión a los adoquines y en la figura 5b se observa el ensayo a compresión de los cilindros.

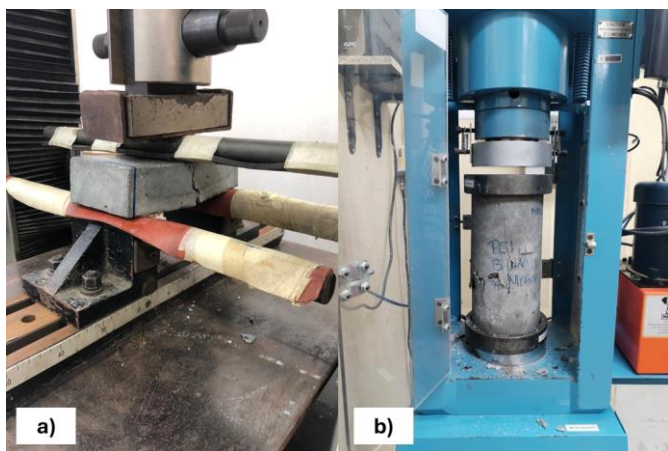


Figura 5. a) ensayo a flexión de los adoquines; b) Ensayos de compresión de los cilindros.

3. Resultados y discusión

Primeramente, se secan las muestras para iniciar el ensayo de granulometría. Para cada muestra se determinó su masa recién extraída del sitio, y luego después de 24 horas de secado. Con estos datos se calcula el porcentaje de humedad con la ecuación 4. En la tabla 1 se muestran los resultados del porcentaje de humedad obtenidos.

Tabla 1. Humedad de los agregados de descarte

Agregados de descarte			
Muestra	Pesos (kg)		% Humedad
	Húmedo	Seco	
A	6.00	5.16	14.00%
B	6.00	4.26	29.00%

Después de tomar la masa seca de la muestra, comienza el proceso de tamizado, separando los agregados finos y gruesos. En la figura 6 se observa las partículas del material separadas según su tamaño.



Figura 6. Separación de partículas.

Una vez separadas las partículas y luego de calculada la masa de cada muestra en el tamiz retenido, se obtiene la curva granulométrica que describe la distribución de los tamaños de las partículas. Esta gráfica se puede observar en la figura 7 donde se aprecia en porcentajes la cantidad de partículas que pasan a través de los distintos tamices.

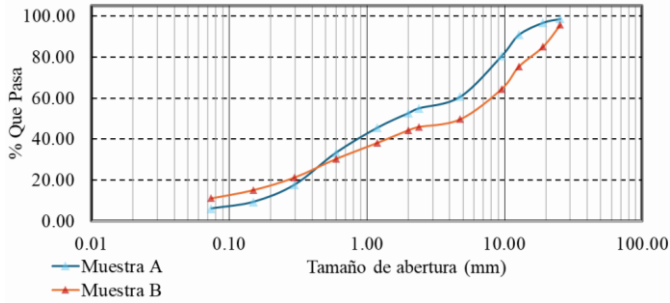


Figura 7. Gráfico de Granulometría de las muestras obtenidas en planta.

Las dos líneas de la gráfica representan las muestras extraídas de diferentes puntos de la planta, con el objetivo de obtener mayor variabilidad en los resultados.

En la muestra A, se observa que cuando la abertura del tamiz es de 10 mm, aproximadamente cuatro de cada cinco partes de la muestra pasan a través del tamiz. Asimismo, cuando la abertura es de 1 mm, aproximadamente dos de cada cinco partes de la muestra pasan a través del tamiz. Finalmente, cuando la abertura es de 0.1 mm, tres de cada veinte partes pasan a través del tamiz. Este comportamiento indica que el porcentaje que pasa a través de los tamices disminuye progresivamente con el tamaño de la apertura. Basado en la gráfica, se puede determinar que la muestra A poseía una granulometría más fina, ya que al principio de la curva se observa un mayor porcentaje de muestra pasando a través de los tamices.

En la muestra B, se observa que cuando la abertura del tamiz es de 10 mm, aproximadamente tres de cada cinco partes de la muestra pasan a través del tamiz. Asimismo, cuando la abertura del tamiz es de 1 mm, siete de cada veinte partes de la muestra pasan a través del tamiz. Finalmente, cuando la abertura del tamiz es de 0.1 mm, una de cada diez partes de la muestra pasa a través del tamiz. Este comportamiento indica que a medida que la abertura se reduce, también disminuye el porcentaje de la muestra que pasa a través del tamiz.

En comparación con la muestra A, la muestra B presenta una mayor proporción de granos gruesos dentro de su granulometría, lo cual se evidencia en la reducción del porcentaje de material que pasa a medida que la apertura del tamiz disminuye. Las diferencias entre las muestras A y B se deben a que fueron tomadas de diferentes puntos de extracción dentro de la planta de Argos, S.A. en Tocumen.

La mayoría de las muestras presentan una granulometría similar a la utilizada en la mezcla de control, con la diferencia principal de un incremento en los agregados finos, lo que genera una mayor demanda de agua durante el proceso de mezcla [7]. Debido a esto, se decidió descartar los agregados que pasaron el tamiz N°50, para evitar una mayor absorción de agua.

Para el reemplazo del agregado de descarte a la bolsa de Concre Fácil se extrajo una cuarta parte de su masa total (42.5 kg) y se agregó la misma cantidad en agregado de descarte. Estas cantidades pueden observarse en detalle en la tabla 2.

Tabla 2. Cantidad de agregado de descarte

Mezcla de concreto			
Peso por saco (kg)	Agregado de descarte (reemplazado)		Total reemplazado (kg)
	Finos (kg)	Gruesos (kg)	
42.5	3.3	7.7	11.0

Después de obtener la cantidad de masa de agregado necesaria, siguiendo las indicaciones del Concre Fácil se añade la cantidad de agua recomendada para realizar la mezcla. Esto se puede observar en la tabla 3, que describe la cantidad de agua que se necesitó para cada tipo mezcla.

Tabla 3. Cantidad de agua requerida para mezcla

Mezcla	Masa agua (kg)	Masa de cemento (kg)	W/C
Control	2.90*	5.00	0.58
De descarte	2.30	5.00	0.46

*Leve excedente en agua

En la tabla 3 se observa que la masa de agua de la mezcla de control fue de 2.9 kg y la de mezcla de descarte fue de 2.3 kg. Esta pequeña variación se debe a imprecisiones humanas normales que ocurren al momento de realizar la mezcla. También se puede observar que la relación agua/cemento de cada mezcla fue calculada, siendo la relación de la mezcla de control de 0.58 y la relación de la mezcla de descarte de 0.46.

Después del proceso de curado y la extracción de los adoquines de la tina se procede a medir su peso, el porcentaje de absorción y la densidad de cada espécimen. El porcentaje de absorción se calcula con la ecuación 1 y su densidad se calcula con la ecuación 3. Estos resultados pueden observarse en la tabla 4, que contiene las características de los adoquines a ensayar.

Tabla 4: Características de los adoquines

Espécimen	Pesos (kg)*			Densidad (kg/m ³)	Absorción
	Agua Fría	Horno	Inmerso		
P1	2.80	2.66	1.66	2333.33	5.26%
P2	2.77	2.61	1.63	2289.47	6.13%
P3	2.75	2.61	1.63	2330.36	5.36%
P4	2.80	2.65	1.65	2304.35	5.66%
P5	2.76	2.62	1.64	2339.29	5.34%
M1	2.81	2.64	1.65	2275.86	6.44%
M2	2.82	2.66	1.66	2293.10	6.02%
CTRL	2.70	2.55	1.60	2318.18**	5.88%**
Promedio				2309.39	5.75%
* No se midió Wr.					
** No promediados.					

En la tabla 4 se puede observar el resultado de cada una de las características, donde se calculó una densidad promedio de 2309.39 kg/m³ y un porcentaje de absorción promedio de todos los adoquines de 5.75%. Como puede observarse, en promedio las muestras de los adoquines con material reciclado presentaron características de densidad y absorción similares a la muestra de control dosificada con concreto normal.

Antes de los ensayos de resistencia se debe realizar el dimensionamiento de cada uno de los elementos a ensayar. En la tabla 5 se observa el dimensionamiento de las muestras de cilindros, y en la tabla 6 se aprecia el dimensionamiento de las muestras de adoquines.

Finalizando el dimensionamiento se realizan las pruebas de resistencia a compresión a los cilindros y a flexión en los adoquines. Se puede observar en la tabla 5 que las dimensiones promedio de los cilindros fueron de un diámetro de 151.14 mm y una longitud de 305.03 mm. También se observa que la resistencia del cilindro de control (PC1) fue de 20.94 MPa y la resistencia del cilindro de prueba (PB1) fue de 28.27 MPa. Esta diferencia en las resistencias puede estar asociada a una mayor relación de agua/cemento en la muestra de control. El incremento de 35% en la resistencia en las muestras con material reciclado, también puede deberse a que el material reciclado parece tener mayor resistencia que los agregados naturales.

En la tabla 6, se observa que las dimensiones promedio de los adoquines fueron de 102.324 mm de ancho, 206.574 mm de largo y 54.378 mm de ancho o espesor. Las dimensiones consideradas cumplen con los parámetros de la Norma Técnica Colombiana [1]. En la tabla 7 se observa el módulo de ruptura de los adoquines en flexión, este dato se obtiene haciendo el cálculo de la ecuación 2.

Tabla 5: Dimensionamiento de los cilindros

Espécimen	Peso (kg)	Dimensionamiento							Cilindros	
		Diámetro (mm)			Longitud (mm)				Carga máxima	Resistencia a la compresión (MPa)
PB1	12.96	150.55	151.59	Promedio	305.05	304.97	305.71	Promedio	506.55	28.27
PC1	13.40	150.36	152.05	151.21	304.90	304.84	304.81	304.85	375.88	20.94

Tabla 6. Dimensionamiento de los adoquines

Espécimen de adoquines		Ancho (mm)			Largo (mm)			Alto (mm)		
		Superior	Inferior	Promedio	Superior	Inferior	Promedio	Superior	Inferior	Promedio
Dimensionamiento	P1	100.74	102.74	101.74	207.72	205.46	206.59	55.48	55.00	55.24
	P2	103.18	102.48	102.83	207.58	205.32	206.45	54.08	54.20	54.14
	P3	100.26	101.80	101.03	207.06	205.96	206.51	55.16	55.04	55.10
	P4	103.92	102.20	103.06	206.76	205.64	206.20	55.74	54.52	55.13
	P5	103.18	102.74	102.96	207.70	206.54	207.12	54.96	53.20	54.08
	Promedio P1, P2, P3, P4 y P5			102.32				206.57		
	M1	105.88	102.54	104.21	207.50	205.54	206.52	55.00	55.76	55.38
	M2	108.72	103.00	105.86	207.70	205.56	206.63	53.28	54.24	53.76
	CTRL	102.70	102.88	102.79	206.66	205.80	206.23	52.36	52.96	52.66

Tabla 7. Resultados de Módulo de Ruptura de los adoquines

Módulo de ruptura							
Espécimen	Kg	N	li	ar	ai	er	N/mm ²
P1	535.00	5248.35	206.57	102.32	102.32	54.73	4.79
P3	495.00	4855.95	206.57	102.32	102.32	54.73	4.43
P4	570.00	5591.70	206.57	102.32	102.32	54.73	5.11
P5	540.00	5297.40	206.57	102.32	102.32	54.73	4.84
M1	555.00	5444.55	206.57	102.32	102.32	54.73	4.97
Promedio P1, P3, P4, P5, M1							4.83
CTRL	425.00	4169.25	206.23	102.79	102.79	52.66	4.09
P2	Pérdida del espécimen por fallo en el ensayo						
M2	No ensayado						

Analizando los adoquines se puede observar en la tabla 7 que el módulo de ruptura promedio fue de 4.83 N/mm², ese módulo de ruptura lo clasifica como un adoquín de uso peatonal según la Norma Técnica Colombiana [1]. Al igual que en el ensayo de compresión, en el ensayo de flexión las muestras con material reciclado presentaron un incremento en la resistencia con respecto a la muestra de control. En el caso de la flexión el incremento medido fue del 18% en las muestras con material reciclado. Estos incrementos de resistencia inesperados tanto en compresión como en flexión indican que existen perspectivas muy prometedoras para el uso de adoquines con agregados reciclados producto del concreto descartado.

4. Conclusiones

El empleo de concreto de descarte como una alternativa ecológica es una opción viable para la fabricación de adoquines. Este proceso tiene el potencial de reducir la contaminación generada por los desechos de concreto al reutilizar parte del material descartado en nuevas mezclas que no requieren soportar cargas estructurales. Este avance es de gran relevancia, ya que evidencia la utilidad de este agregado en el ámbito de la construcción. Mediante investigaciones adicionales, se podría determinar con mayor precisión los usos específicos del material, lo que contribuiría significativamente a mitigar el problema de la contaminación en Panamá.

Uno de los hallazgos más importantes de esta investigación radica en que los especímenes fabricados con material reciclado no presentaron disminución de resistencia. Mas bien, al contrario, los ensayos de compresión y flexión presentaron incrementos de resistencia de 35% y 18%, respectivamente. Estos ensayos revelaron comportamientos muy prometedores, lo que sugiere su viabilidad para aplicaciones en la construcción de adoquines y otros productos.

Basado en los resultados obtenidos, los adoquines pueden ser aplicados en áreas de uso peatonal. Inclusive, dado el incremento reportado en la resistencia a la compresión y a la flexión, estos adoquines podrían tener un extensivo a pavimentos de tráfico vehicular ligero. De igual forma, su aplicación podría extenderse a diversas áreas, tales como parques, escuelas, lugares turísticos, senderos, plazas públicas, áreas recreativas, y zonas peatonales urbanas.

Para futuras investigaciones, se sugiere desarrollar un diseño de mezcla detallado para cada tipo de agregado. Esto podría mejorar significativamente las condiciones de resistencia de las muestras ensayadas al hacerlas más homogéneas. Además, una relación agua/cemento más consistente entre las muestras permitiría comparaciones más precisas. Se recomienda también emplear vibración durante el proceso de mezcla, lo cual eliminaría de manera más efectiva los espacios vacíos dentro de la muestra y promovería un mejor asentamiento de los estratos.

El interés creciente en el uso de materiales reciclados en la construcción podría fomentar investigaciones adicionales en este campo. Los investigadores tendrían la oportunidad de profundizar en las propiedades mecánicas, químicas y durabilidad del concreto reciclado, así como de desarrollar métodos más efectivos para su producción y aplicación. Además, el empleo de este material podría impulsar la caracterización de este, lo que conduciría al establecimiento de nuevos estándares y normativas que faciliten su uso, beneficiando así a la comunidad científica en el país. Este impulso hacia la normalización del concreto reciclado podría incluso abrir las puertas a la introducción de nuevos materiales en el ámbito educativo, generando así un impacto significativo en la enseñanza y aprendizaje de la ingeniería civil y la sostenibilidad ambiental.

AGRADECIMIENTOS

Agradecimientos a todas las instituciones involucradas en el desarrollo de esta investigación y a sus colaboradores, especialmente al Laboratorio de ensayos de materiales (LEM) y a Argos Panamá, S.A.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que durante el proceso de esta investigación no existen conflictos de interés alguno.

REFERENCIAS

- [1] Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC), «ADOQUINES DE CONCRETO PARA PAVIMENTOS,» Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, Bogotá, D.C., 2017.
- [2] B. Mundial, «Los desechos: un análisis actualizado del futuro de la gestión de los desechos sólidos,» B. Mundial, 2018.
- [3] M. M. S. Feria, «Uso de materiales reciclables en la elaboración de un concreto,» Bogotá, Colombia: Universidad Militar Nueva Granada, 2021.
- [4] American Society for Testing and Materials, «ASTM C136/C136M - "Método de prueba estándar para el análisis por tamizado de áridos finos y gruesos",» ASTM International, West Conshohocken, PA, 2019.
- [5] American Society for Testing and Materials, «ASTM C39/C39M-20 Método de prueba estándar para la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto,» ASTM International, West Conshohocken, PA, 2020.
- [6] American Society for Testing and Materials, «ASTM C143/C143M-20 Método de prueba estándar para el asentamiento del concreto de cemento hidráulico,» ASTM International, West Conshohocken, PA, 2020.
- [7] American Society for Testing and Materials ASTM, «ASTM C31/C31M-19 Práctica estándar para la elaboración y curado de especímenes de prueba de concreto en el campo,» ASTM International, West Conshohocken, PA, 2019.