

ARTÍCULOS

Innovación en Infraestructura Sostenible: Análisis Avanzado de las Propiedades Mecánicas de Adoquines Permeables para una Construcción Resiliente y Ecoeficiente



Innovation in Sustainable Infrastructure: Advanced Analysis of the Mechanical Properties of Permeable Pavers for Resilient and Eco-Efficient Construction

Mohammadfarid Alvansazyazdi¹, Cristian Augusto Colimba-Huera², Cristian Estuardo Cando-Guamán³, Jorge Luis Santamaría-Carrera⁴, Hugo Alexander Cadena-Perugachi⁵, Natali Elizabeth Lascano-Robalino⁶, Jorge Alexander Bucheli-García⁷, Edwin Iván Soledispa-Pereira⁸, Jorge Oswaldo Crespo-Bravo⁹, Marcelo Fabián Oleas-Escalante¹⁰, Carmita Guadalupe Jiménez-Merchán¹¹, Ángel Mauricio Espinoza-Cotera¹², Edgar Patricio Jácome-Monar¹³

 moal13m@doctor.upv.es

¹ Universitat Politècnica de València Spain. Institute of Science and Concrete Technology, ICITECH. Valencia, Spain.

Universidad Central del Ecuador. Faculty of Engineering and Applied Sciences. Quito, Ecuador.

Laica Eloy Alfaro de Manabí University. Faculty of Engineering Industrial and Architecture. Manta, Ecuador.

 cacolimba@uce.edu.ec

² Universidad Central del Ecuador. Faculty of Engineering and Applied Sciences. Quito, Ecuador.

 cecando@uce.edu.ec

³ Central University of Ecuador. Faculty of Engineering and Applied Sciences. Quito, Ecuador.

 jsantamaria@uce.edu.ec

⁴ Central University of Ecuador. Faculty of Engineering and Applied Sciences. Quito, Ecuador.

 hacadena@uce.edu.ec

⁵ Central University of Ecuador, Faculty of Engineering and Applied Sciences. Quito, Ecuador.

 nelascano@uce.edu.ec

⁶ Central University of Ecuador. Faculty of Engineering and Applied Sciences. Quito, Ecuador.

 jsantamaria@uce.edu.ec

⁷ Central University of Ecuador. Faculty of Engineering and Applied Sciences. Quito, Ecuador.

 ivan031087@gmail.com

⁸ Terminal Portuario de Manta. Manta, Ecuador.

RESUMEN

La presente investigación se enfocó en el diseño y desarrollo de un adoquín permeable que permita la filtración del agua de lluvia hacia el subsuelo, reduciendo así la cantidad de agua que ingresa a los sistemas de alcantarillado, minimizando el impacto de las inundaciones urbanas. El proceso inició con la evaluación de la resistencia a la compresión y la permeabilidad en cilindros de prueba, seleccionando las mezclas más adecuadas para su posterior fabricación en adoquines, una vez con los diseños seleccionados se determinó propiedades como la resistencia a tracción indirecta, la absorción y la permeabilidad. Los resultados mostraron que, al emplear un aditivo reductor de agua de alto rango se lograron resistencias a tracción indirecta de 3.4, 3.9 y 4.5 (MPa), con permeabilidades de 2.30, 1.93 y 1.15 (mm/s) respectivamente. Se evidencia que estos adoquines cumplen satisfactoriamente resistencias mecánicas aptas para ser usados en pavimentos articulados.

Palabras claves: adoquín permeable; concreto permeable; pavimento articulado; pavimento permeable.

ABSTRACT

The present research focused on the design and development of a permeable paver that allows rainwater to filter into the subsoil, thereby reducing the amount of water entering sewer systems and minimizing the impact of urban flooding. The process began with the evaluation of compressive strength and permeability in test cylinders, selecting the most suitable mixtures for subsequent paver fabrication. Once the optimal designs were chosen, key properties such as indirect tensile strength, water absorption, and permeability were assessed. The results showed that by using a high-range water-reducing admixture, indirect tensile strengths of 3.4, 3.9, and 4.5 MPa were achieved, with permeabilities of 2.30, 1.93, and 1.15 mm/s, respectively. These findings demonstrate that the developed pavers successfully meet the mechanical strength requirements necessary for use in interlocking pavements.

Keywords: permeable paver; pervious concrete; interlocking pavement; permeable pavement



jocrespo@uce.edu.ec

⁹ Central University of Ecuador. Faculty of Engineering and Applied Sciences. Quito, Ecuador.



marcelo.oleas@uleam.edu.ec

¹⁰ Laica Eloy Alfaro de Manabi University. Faculty of Engineering Industrial and Architecture. Manta, Ecuador.



carmita.jimenez@uleam.edu.ec

¹¹ Laica Eloy Alfaro de Manabi University. Faculty of Engineering Industrial and Architecture. Manta, Ecuador.



espinoza@uleam.edu.ec

¹² Laica Eloy Alfaro de Manabi University. Faculty of Engineering Industrial and Architecture. Manta, Ecuador.



epjacomem@uce.edu.ec

¹³ Central University of Ecuador. Faculty of Engineering and Applied Sciences.

FIGEMPA: Investigación y Desarrollo

Universidad Central del Ecuador, Ecuador

ISSN-e: 2602-8484

Periodicidad: Semestral

vol. 19, núm. 1, 2025

revista.figempa@uce.edu.ec

Recepción: 25 febrero 2025

Aprobación: 16 junio 2025

DOI: <https://doi.org/10.29166/revfig.v19i1.7948>

Autor de correspondencia:

moal13m@doctor.upv.es



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0)

Cómo citar:

Alvansazyazdi, M., Colimba-Huera, C. A., Cando-Guamán, C. E., Santamaría-Carrera, J. L., Cadena-Perugachi, H. A., Lascano-Robalino, N. E., Bucheli-García, J. A., Soledispa-Pereira, E. I., Crespo-Bravo, J. O., Oleas-Escalante, M. F., Jiménez-Merchán, C. G., Espinoza-Cotera, A. M., & Jácome-Monar, E. P. (2025). Innovación en Infraestructura Sostenible: Análisis Avanzado de las Propiedades Mecánicas de Adoquines Permeables para una Construcción Resiliente y Ecoeficiente.

FIGEMPA: Investigación y Desarrollo, 19(1), e7948. <https://doi.org/10.29166/revfig.v19i1.7948>

INTRODUCCIÓN

Los adoquines permeables son una gran alternativa para las zonas donde llueve con frecuencia, ya que permiten que el agua se infiltre en el suelo en lugar de acumularse en la superficie. Esto ayuda a reducir la cantidad de agua que corre sin control por las calles y alivia la carga de las alcantarillas, además de mantener los caminos secos y seguros para quienes transitan por ellos (Salas Pérez et al., 2019).

Para comprobar su efectividad, se realizaron pruebas en el laboratorio, donde se analizaron tanto su resistencia como su capacidad de permitir el paso del agua. Estas pruebas son clave para asegurarse de que los adoquines sean lo suficientemente fuertes para soportar el peso del tráfico y, al mismo tiempo, sigan cumpliendo con su función de drenaje (Colimba Huera & Cando Guamán, 2025).

En la mayoría de los casos, cuando se piensa en pavimentos permeables, se habla de hormigón especial que deja pasar el agua, sin embargo, este tipo de pavimento requiere maquinaria pesada y personal especializado para su instalación (Interlocking Concrete Pavement Institute, 2003), lo que puede hacerlo más costoso y complicado. Los adoquines permeables, en cambio, ofrecen una solución más sencilla y accesible. Al ser prefabricados, su calidad se puede controlar mejor desde fábrica, y su instalación no requiere equipos ni mano de obra tan especializada, esto los convierte en una opción práctica y eficiente (Cabezas Fierro, 2014).

Para diseñar un hormigón permeable que garantizara tanto resistencia mecánica como una buena capacidad de infiltración, el primer paso fue desarrollar la mezcla siguiendo el método indicado en el reporte del ACI 522 R-10 (ACI Committee 522, 2010). Este documento recomienda una dosificación basada en el método de volumen absoluto, lo que permitió establecer las proporciones adecuadas de materiales. A partir de esta referencia, se probaron distintas combinaciones de materiales para encontrar la mezcla óptima. En las primeras etapas, se incorporó el aditivo modificador de viscosidad Viscocrete (Sika Ecuador, 2025), lo que ayudó a mejorar la trabajabilidad y cohesión del hormigón. Estas mezclas iniciales fueron evaluadas mediante ensayos en cilindros, midiendo su resistencia mecánica y capacidad de permeabilidad.

Una vez obtenidos los resultados, se identificaron las combinaciones con mejor desempeño y se replicaron en la fabricación de adoquines permeables. Este proceso permitió asegurar que los adoquines no solo cumplieran con los estándares técnicos, sino que también ofrecieran una solución eficiente y duradera para su aplicación en pavimentos permeables (Colimba Huera & Cando Guamán, 2025). La producción de los adoquines permeables se realizó utilizando una máquina semiautomática vibrocompactadora (Indumei, 2025), un equipo especializado que combina vibración y presión para moldear y compactar la mezcla de hormigón permeable de manera uniforme (Instituto del Cemento y del Hormigón de Chile, 2013). Este proceso es clave para mejorar la calidad y el desempeño del adoquín, ya que asegura una distribución homogénea de los materiales y optimiza sus propiedades mecánicas (Valcuende et al., 2007).

Uno de los mayores beneficios de la vibrocompactación es el aumento de la resistencia a tracción indirecta. La combinación de presión y vibración durante el moldeo permite que las partículas de la mezcla se acomoden de manera más compacta, reduciendo la cantidad de vacíos internos sin comprometer la permeabilidad del material. Esto no solo mejora la cohesión entre los agregados, sino que también refuerza la estructura del adoquín, haciéndolo más resistente al desgaste y a las cargas que deberá soportar en su uso cotidiano (National Ready Mixed Concrete Association, 2020).

MATERIALES Y MÉTODOS

El hormigón permeable es un material diseñado para permitir la filtración del agua a través de su estructura, lo que lo convierte en una excelente opción para pavimentos sostenibles (Hernández Cepeda, 2018). A diferencia del hormigón convencional, su estructura cuenta con una red de poros interconectados y tiene un revestimiento nulo, lo que significa que no fluye ni se deforma durante su colocación. Esta característica es clave para garantizar tanto su estabilidad como su capacidad de drenaje (Servicio Ecuatoriano de Normalización, 2010).

Su composición se basa en una cuidadosa selección de materiales. Se utiliza cemento portland, agregado grueso de tamaño controlado según la norma ACI 522R-10, específicamente el tamaño N° 8 (Servicio Nacional de Normalización, 2011), a diferencia del hormigón tradicional no se incorporaron finos lo que permite la formación de los espacios vacíos necesarios para la permeabilidad, además para mejorar su trabajabilidad y cohesión, se añade un aditivo modificador de viscosidad (American Society for Testing and Materials, 2017), en este caso Viscocrete, el cual ayuda a mantener la estabilidad de la mezcla sin comprometer su estructura porosa, finalmente, se emplea agua potable en la proporción adecuada para lograr una correcta hidratación del cemento sin generar un exceso de fluidez.

Gracias a esta combinación de materiales, el hormigón permeable logra un equilibrio entre resistencia mecánica y capacidad de filtración, lo que lo hace ideal para su uso en pavimentos urbanos, estacionamientos, senderos peatonales y otras aplicaciones donde se busca mejorar la gestión del agua de lluvia. Además, su diseño contribuye a reducir el escurrimiento superficial y minimizar la carga sobre los sistemas de drenaje, favoreciendo un desarrollo urbano más sostenible.

El proceso de diseño del hormigón permeable comienza determinando el volumen compactado seco del agregado grueso dentro de un volumen unitario de concreto, representado por la relación b/b₀. Este valor depende tanto del tamaño del agregado como del porcentaje de finos presentes en la mezcla. En este caso, al utilizar un agregado N° 8 sin presencia de finos, se estableció un b/b₀ de 0,99 garantizando así una adecuada distribución del material dentro de la estructura del hormigón.

Una vez definido este parámetro, el siguiente paso fue seleccionar el contenido de pasta, el cual está directamente relacionado con la cantidad de vacíos en la mezcla y el grado de compactación deseado. En el diseño del hormigón permeable, es posible optar por mezclas con una compactación ligera o bien compactada, dependiendo del uso final de la estructura. Dado que en esta investigación los adoquines están sometidos a un proceso de vibrocompactación (Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador, 2013), se eligieron valores correspondientes a una buena compactación, esto asegura que los adoquines alcancen una mayor resistencia mecánica sin comprometer su capacidad de infiltración, logrando así un equilibrio entre durabilidad y permeabilidad.

Una vez definido el valor b/b₀=0.99 se determina el valor de la masa seca con la Ecuación 1:

$$MSA = DC \times b/b_0 \times VT \quad \text{Ec.(1)}$$

Donde MSA es la masa seca del agregado, DC es la densidad compacta del agregado, b/b₀ es el valor efectivo y VT es el volumen total de 1m³.

Después se establece el valor de esta masa en estado saturado superficialmente seco con la Ecuación 2:

$$MSSS = MSA \times (1+AB) \quad \text{Ec.(2)}$$

Donde MSSS es la masa del agregado en estado SSS y AB es la absorción del agregado.

Se procede a determinar el volumen de la pasta de cemento con la Ecuación 3 y posterior la masa de cemento con la Ecuación 4, que está en función del contenido de la pasta de cemento que se debe seleccionar según la Figura 1, establecida en el ACI 522R.

$$VP = CPC \times VT \quad \text{Ec.(3)}$$

Donde VP es el volumen de pasta de cemento y CPC es el contenido de pasta de la tabla.

$$\frac{VP}{\frac{1}{Dce} + \frac{a/c}{Dag}} \quad \text{Ec.(4)}$$

Donde MC es la masa de cemento, Dce es la densidad del cemento, a/c es la relación agua/cemento y Dag es la densidad del agua.

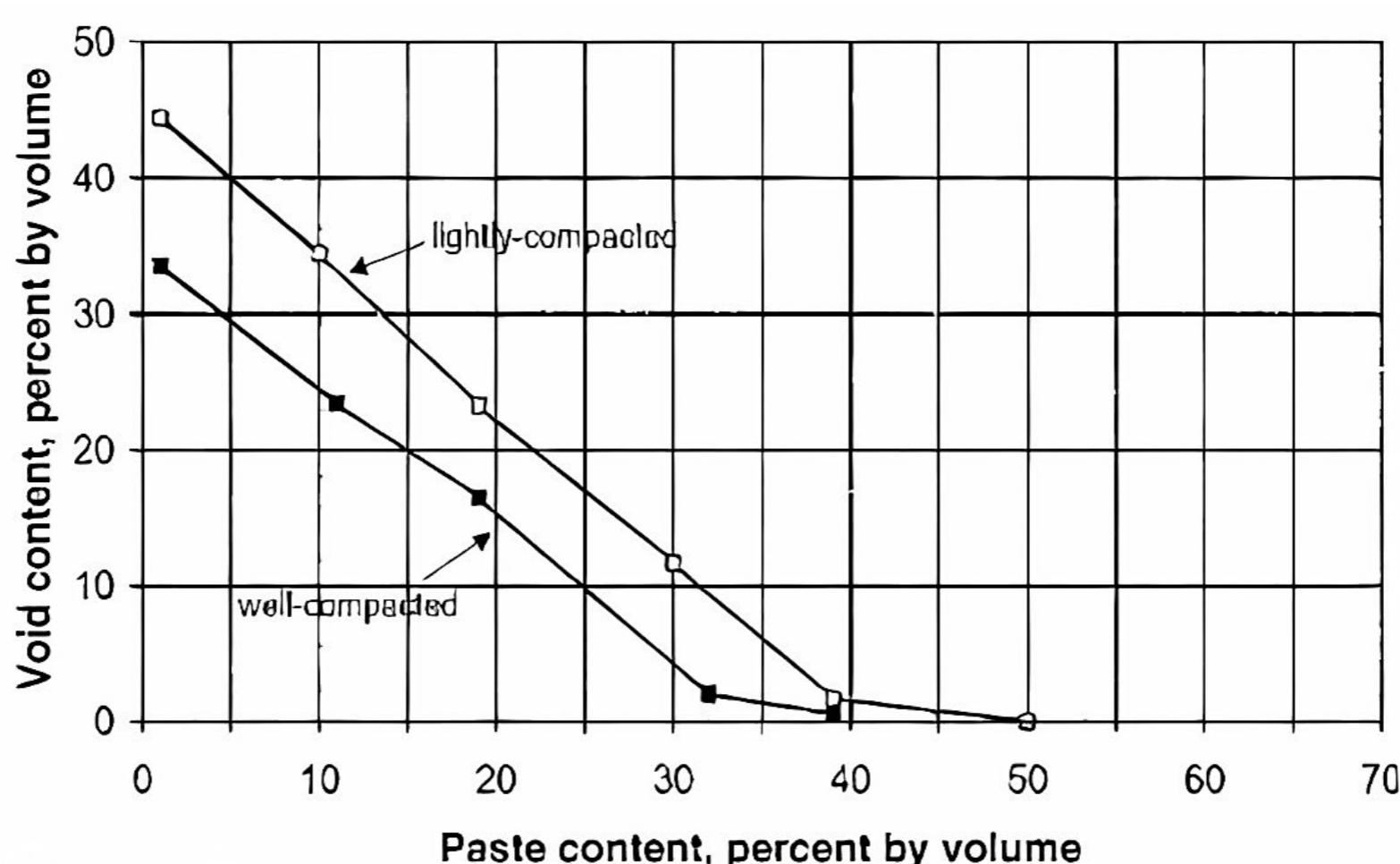


FIGURA 1
Relación entre la pasta de cemento y contenido de vacíos
Fuente: ACI Committee 522, 2010

Después se determina la masa de agua con la ecuación 5:

$$MA = MC \times \frac{a}{c} \quad \text{Ec.(5)}$$

Donde MA es la masa de agua y a/c es la relación agua/cemento.

Una vez obtenidos los valores de masa antes mencionados, se calcula los valores de volúmenes sólidos y con esto ya se puede determinar un porcentaje estimado de vacíos. Los volúmenes sólidos se los obtiene con el valor de sus masas divididos para la densidad de cada uno de ellos (Ecuaciones 6, 7, 8, 9).

$$VSA = \frac{MSSS}{PE} \quad \text{Ec.(6)}$$

$$VSC = \frac{MC}{Dce} \quad \text{Ec.(7)}$$

$$VSAG = \frac{MA}{Dag} \quad \text{Ec.(8)}$$

$$VST = VSA + VSC + VSAG \quad \text{Ec.(9)}$$

Donde VSA es el volumen sólido del agregado, VSC es el volumen sólido del cemento, VSAG es el volumen sólido del agua y VST es el volumen sólido total.

Ya obtenidos los valores sólitos se puede determinar el porcentaje estimado de vacíos que tendrá el hormigón, esto se lo hace con la ecuación 10:

$$PEV = \frac{VT - VST}{VT} \times 100\% \quad \text{Ec.(10)}$$

Donde PEV es el porcentaje estimado de vacíos, VT es la unidad de volumen ($1m^3$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se trabajó en el desarrollo de cinco mezclas iniciales, incorporando el aditivo Viscocrete con el propósito de mejorar la cohesión del hormigón y, con ello, su resistencia mecánica, todo esto se lo desarrollo en cilindros de hormigón, para después seleccionar 3 diseños para ser replicados en adoquines (Tabla 1).

El uso del aditivo permitió que la mezcla se compactara mejor, reduciendo espacios vacíos no deseados sin afectar su capacidad de filtración.

TABLA 1
Diseños iniciales de hormigón permeable

Diseño	a/c	Aditivo	Cantidades por m^3 (kg)		
			Cemento	Agregado	Agua
1	0,29	0,50%	317,97	1504,60	92,21
2	0,26	0,50%	500,85	1504,60	130,22
3	0,29	0,50%	397,47	1504,60	115,27
4	0,26	0,50%	417,37	1504,60	108,52
5	0,26	0,50%	417,37	1504,60	108,52

El objetivo de la incorporación de aditivo fue lograr una mezcla más estable y uniforme, evitando que los materiales se separen entre sí y asegurando un buen elemento permeable. Este ensayo se basa en aplicar una carga axial de compresión sobre cilindros de hormigón hasta que lleguen a la falla, con el propósito de medir su resistencia (American Society for Testing and Materials, 2021).

Para obtener el valor de resistencia a la compresión, se toma la carga máxima soportada por el espécimen y se divide entre el área de su sección transversal. De esta manera, se puede evaluar la capacidad del material para soportar esfuerzos de compresión.

La permeabilidad de los cilindros se evaluó mediante el ensayo con el permeámetro de carga descendente, siguiendo las especificaciones del ACI 522R. Este método permitió medir con precisión la capacidad del hormigón para permitir el paso del agua (ACI Committee 522, 2010). Para determinar la permeabilidad se usa la ecuación 11:

$$PEV = \frac{A}{T} \quad \text{Ec.(11)}$$

Donde A es una constante ya conocida igual a 192 mm y T es el tiempo en segundos que tarda en descender el nivel del agua desde una altura inicial a una altura final.

Para aplicar esta fórmula correctamente, es fundamental contar con un equipo calibrado según las medidas indicadas en la Figura 2. Además, la probeta utilizada en el ensayo debe tener un diámetro de 100 mm y una altura de 150 mm para garantizar resultados precisos y confiables (American Society for Testing and Materials, 2021).

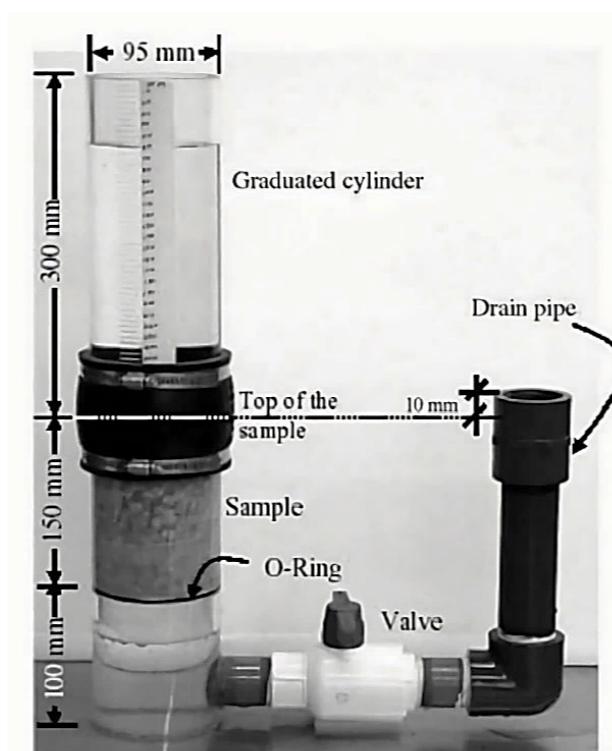


FIGURA 1
Permeámetro de carga descendente
Fuente: ACI Committee 522, 2010

Los resultados obtenidos de compresión a los 28 días y su capacidad de permeabilidad se indican en la Tabla 2. En la Figura 3 se muestran los cilindros de hormigón permeable.

TABLA 2
Compresión y permeabilidad en cilindros

Diseño	Compresión MPa	Permeabilidad Mm/s
1	17,6	6,56
2	35,6	0,42
3	23,9	1,84
4	15,3	7,60
5	27,6	3,24



FIGURA 3
Cilindros de hormigón permeable

En la Figura 4 se muestran los valores de permeabilidad obtenidos en los cinco diseños iniciales, los resultados indican una variabilidad significativa entre ellos con valores de 6,56; 0,42; 1,84; 7,60 y 3,24 (mm/s), respectivamente.

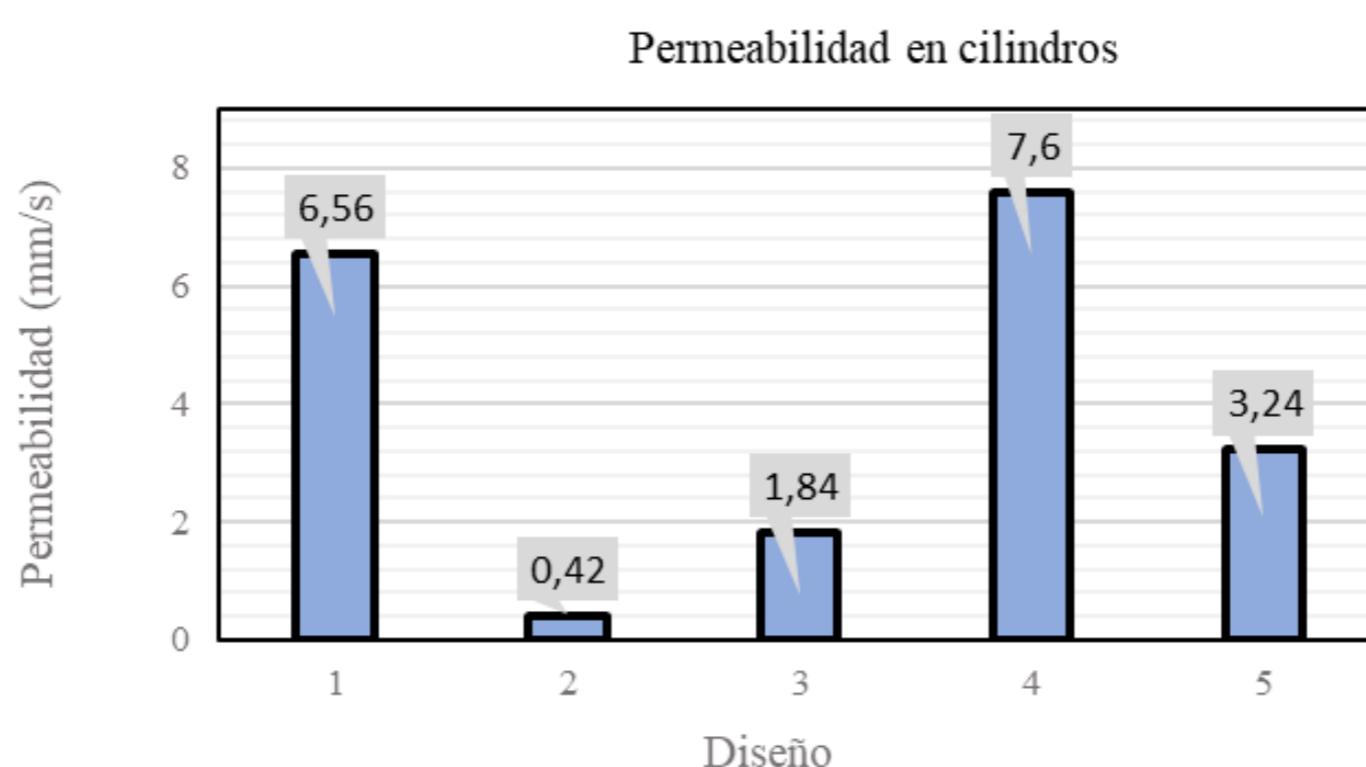


FIGURA 4
Permeabilidad a los 28 días

La Figura 5 muestra la resistencia a compresión a los 28 días de los cinco diseños iniciales, mostrando resistencias de 17,6; 35,6; 23,9; 15,3 y 27,6 (MPa) respectivamente.

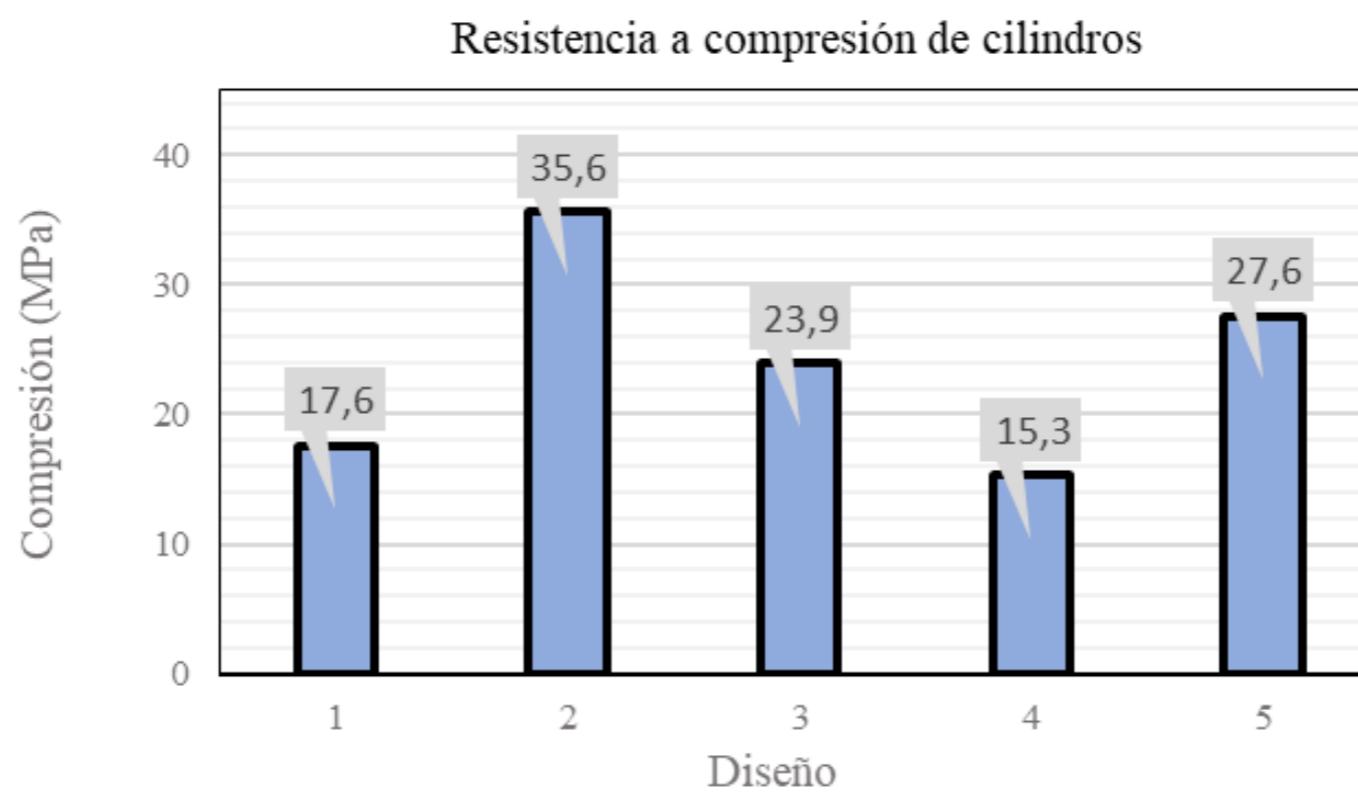


FIGURA 5
Permeabilidad a los 28 días

Se replicaron en adoquines los diseños 1, 2 y 3 para luego determinar la resistencia a tracción indirecta, permeabilidad y absorción.



FIGURA 6
Adoquines Permeables

Para determinar la resistencia a tracción indirecta la norma NTE INEN 3040 (Servicio Ecuatoriano de Normalización, 2016) se establece la ecuación 12:

$$f_k = (f_m - 1.64 \times \delta) \quad \text{Ec.(12)}$$

Donde f_k es la resistencia característica a tracción indirecta, f_m es el promedio de las resistencias a compresión y δ es la desviación estándar.

Se determina la desviación estándar mediante la ecuación 13:

$$\delta = \sqrt{\frac{\sum (f_i - f_m)^2}{n-1}} \quad \text{Ec.(13)}$$

Donde f_i es la resistencia a la compresión de cada muestra y n es número de especímenes ensayados.

Se determina la resistencia a tracción indirecta mediante la ecuación 14:

$$T=0.637 \times k \times \frac{P}{S} \quad \text{Ec.(14)}$$

Donde T es la resistencia a tracción indirecta, P la carga de tracción indirecta, k el factor de corrección para el adoquín el cual fue 1 y S es la superficie de tracción indirecta.

Dado que la mezcla presentó una permeabilidad nula, se decidió reducir la cantidad de aditivo a la mitad, ajustándola al 0,25% (Tabla 3). La dosificación previa había generado segregación en la mezcla, especialmente durante el proceso de vibrocompactación en la fabricación de los adoquines (Figura 7), esta segregación redujo los vacíos provocando una estructura no permeable, además de optar por reducir el aditivo, se optó por implementar un nuevo diseño (Tabla 4).

TABLA 3
Características físicas y mecánicas en diseños preliminares en adoquines

Diseño	Tracción Indirecta	Absorción	Permeabilidad
	MPa	%	mm/s
1	3,3	6,3%	Nula
2	4,2	5,2%	Nula
3	3,5	7,0%	Nula



FIGURA 7
Adoquín después de la tracción indirecta

TABLA 4
Diseños definitivos

Diseño	a/c	Aditivo	Cantidades por m³ (kg)		
			Cemento	Agregado	Agua
2	0,26	0,25%	500,85	1504,60	130,22
3	0,29	0,25%	397,47	1504,60	115,27
6	0,26	0,25%	450,76	1504,60	117,20

La absorción de los adoquines es un proceso de sumersión y secado de los adoquines, los dos procesos se debe realizarlos por mínimo 72 horas cada uno, se debe tomar la masa cada 24 horas hasta tener una variación en masa del 0,1% (Servicio Ecuatoriano de Normalización, 2016). Una vez obtenidos estos valores de masa constante se procede a determinar la absorción con la ecuación 15:

$$W_a = \frac{M_1 - M_2}{M_2} \times 100\% \quad \text{Ec.(15)}$$

Donde W_a es la absorción, M_1 es la masa constante de la probeta saturada y M_2 es la masa constante de la probeta seca.

Los resultados obtenidos en resistencia a la tracción indirecta a los 28 días, permeabilidad y capacidad de absorción se presentan en la Tabla 5 y Figura 8:

TABLA 5
Características físicas y mecánicas en diseños definitivos en adoquines

Diseño	Tracción Indirecta	Absorción	Permeabilidad
	MPa	%	mm/s
2	4,5	6,1%	1,15
3	3,4	6,6%	2,35
6	3,9	5,8%	1,93

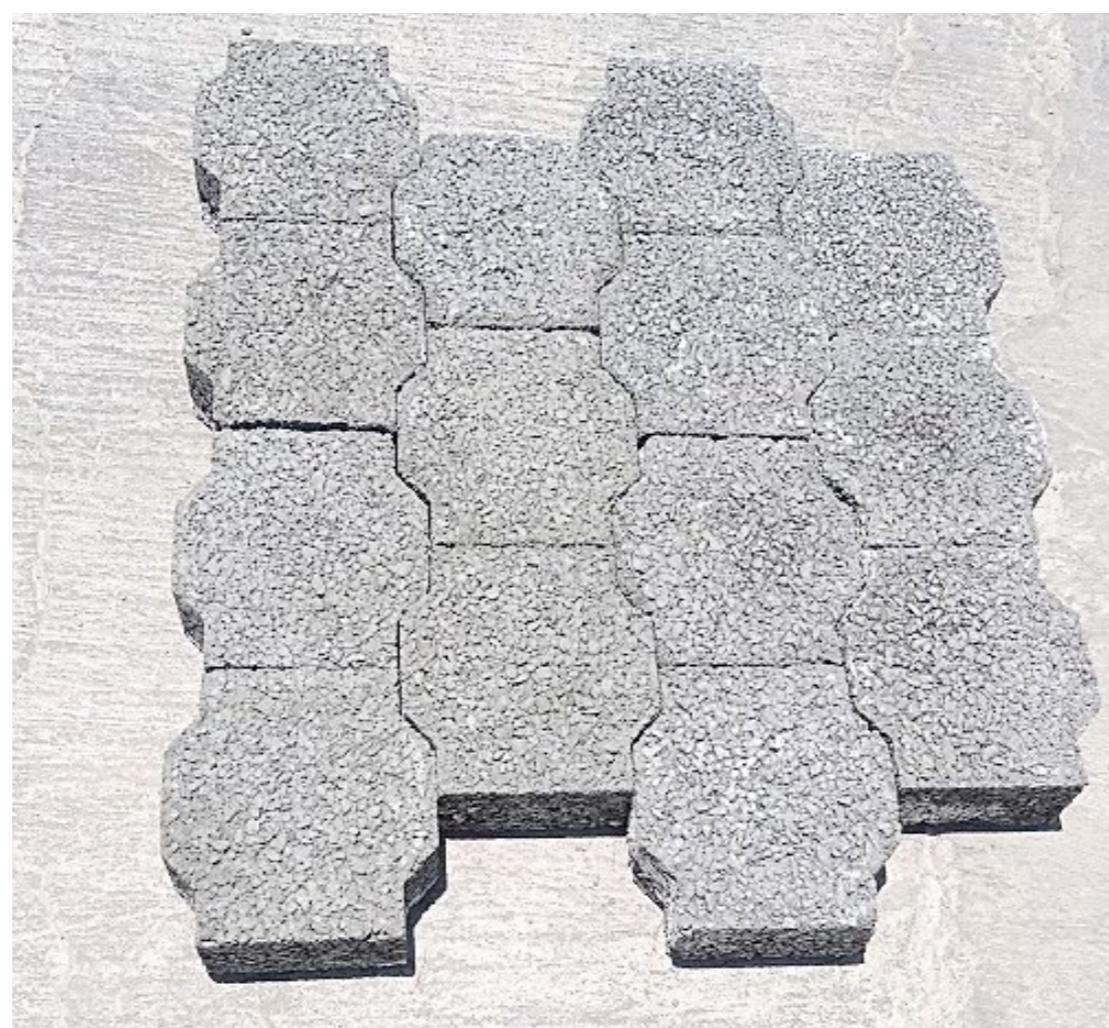


FIGURA 8
Permeabilidad en función de los vacíos

CONCLUSIONES

El análisis de los diseños realizados permitió establecer que la resistencia a compresión de los cilindros de hormigón permeable está directamente relacionada con la cantidad de vacíos en su estructura. A medida que disminuyen tanto los vacíos como la relación agua/cemento (a/c), la resistencia del hormigón tiende a aumentar.

Los resultados obtenidos evidenciaron que los diseños con una menor cantidad de vacíos y una relación a/c más baja lograron las resistencias a compresión más altas, lo que confirma la influencia de estos factores en el desempeño mecánico.

Los valores de permeabilidad obtenidos en los cilindros analizados muestran una correlación directa con la resistencia a compresión y la cantidad de vacíos presentes en la mezcla. En términos generales, a mayor resistencia, la cantidad de vacíos disminuye, lo que a su vez reduce la capacidad de permeabilidad.

Durante el proceso de fabricación de los adoquines al estar sometidos a un proceso de vibrocompactación, los tres diseños analizados experimentaron segregación de la mezcla, lo que provocó una separación de la pasta de cemento y los agregados, dando como resultado una estructura maciza, sin vacíos interconectados, afectando así su capacidad de permeabilidad, para mitigar este efecto, se redujo a la mitad la dosificación del aditivo Viscocrete, con el objetivo de minimizar la segregación y mejorar la uniformidad de la mezcla sin comprometer sus propiedades mecánicas y de permeabilidad. Luego de disminuir la cantidad de aditivo al 0,25%, se tuvo una estructura porosa y homogénea, se evaluaron las resistencias a

tracción indirecta de los diseños 2, 3 y 6 a los 28 días, obteniendo valores de 4,5; 3,4 y 3,9 (MPa), respectivamente, demostrando que es posible alcanzar resistencias elevadas en un hormigón permeable, cumpliendo con los requisitos exigidos con la normativa ecuatoriana NTE INEN 3040, que establece que la resistencia a tracción indirecta debe ser igual o superior a 3,6 MPa. En este caso, solo el diseño 3 no cumpliría con esta exigencia, lo que sugiere que sería necesario realizar ajustes en la dosificación.

En lo que respecta a la absorción de agua, los adoquines fabricados con los diseños 2, 3 y 6 presentaron valores de 6,1%; 6,6% y 5,8% respectivamente, según los parámetros establecidos en la NTE INEN 3040, la absorción de agua en adoquines debe ser igual o menor al 6%, lo que indica que solo el diseño 6 cumple con este criterio, sin embargo, estas absorciones pueden reducirse mediante el uso de un aditivo impermeabilizante, lo que permitiría aumentar la durabilidad del material frente a condiciones climáticas adversas.

En cuanto a la permeabilidad, los valores obtenidos para los diseños 2, 3 y 6 fueron de 1,15; 2,35 y 1,93 (m/s), respectivamente, aunque actualmente no existe un rango mínimo o máximo normativo para esta característica en hormigón permeable, los resultados muestran una relación directa entre la cantidad de vacíos interconectados y la capacidad de drenaje del material. Es decir, a mayor cantidad de vacíos, mayor es la permeabilidad.

Los resultados obtenidos evidencian la importancia de equilibrar la resistencia mecánica, la permeabilidad y la absorción de agua en el diseño de adoquines de hormigón permeable, ajustes en la relación agua/cemento, la dosificación de aditivos y el control del proceso de compactación pueden mejorar significativamente el desempeño del material.

RECOMENDACIONES

Para lograr una producción más eficiente y uniforme, se recomienda utilizar máquinas vibrocompactadoras automáticas. Estas permiten un ajuste preciso de la vibración, la carga y el tiempo de compactación, lo que garantiza que los adoquines tengan características físicas y mecánicas homogéneas. Además, es fundamental llevar a cabo un estudio vibracional para evaluar parámetros como la vibración, la carga y la velocidad de aplicación. Esto acilitará un mejor control del proceso y asegurará la calidad del producto final.

Por otro lado, explorar nuevas combinaciones de materiales puede ser una estrategia clave para mejorar las propiedades del adoquín permeable. Incorporar agregado ino, nanomateriales, fibras o aditivos en el diseño de la mezcla podría optimizar su resistencia, durabilidad y capacidad de drenaje, contribuyendo así a un producto más eficiente y funcional.

Contribuciones de los autores

Mohammadfarid Alvansazyazdi: Supervisión, investigación, Redacción – revisión y edición

Cristian Augusto Colimba-Huera: Análisis formal, redacción

Cristian Estuardo Cando-Guamán: validación, redacción – revisión y edición.

Jorge Luis Santamaría-Carrera: conceptualización,

Hugo Alexander Cadena-Perugachi: investigación

Natali Elizabeth Lascano-Robalino: validación

Jorge Alexander Bucheli-García: conceptualización, software

Edwin Iván Soledispa-Pereira: validación, redacción – revisión y edición.

Jorge Oswaldo Crespo-Bravo: conceptualización, investigación, metodología, recursos.

Marcelo Fabián Oleas-Escalante: investigación, software, redacción – borrador original.

Carmita Guadalupe Jiménez-Merchán: validación, redacción – revisión y edición.

Ángel Mauricio Espinoza-Cotera: conceptualización

Edgar Patricio Jácome-Monar: software

Cesión de derechos y declaración de conflicto de intereses

La revista FIGEMPA: Investigación y Desarrollo conserva los derechos patrimoniales (copyright) de la obra publicada, al mismo tiempo que promueve y permite su reutilización. La obra se publica en edición electrónica bajo la licencia Creative Commons CC-BY 4.0, que permite a los usuarios compartir, copiar y redistribuir el contenido, siempre que se dé el debido reconocimiento a los autores (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.es_ES).

Los autores declaran haber respetado los principios éticos de investigación y estar libre de cualquier conflicto de intereses.

REFERENCIAS

ACI Committee 522 (2010) ACI 522R-10 Report on Pervious Concrete. American Concrete Institute. Available at: https://www.concrete.org/store/productdetail.aspx?ItemID=52210&Format=PROTECTED_PDF&Language=English&Units=US_AND_METRIC

American Society for Testing and Materials (2017) ASTM C494 Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete. Available at: <https://www.appliedtesting.com/standards/astm-c494-chemical-admixtures-for-concrete>

American Society for Testing and Materials (2021) ASTM C39 /C39M-21 Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens. Available at: <https://www.appliedtesting.com/standards/astm-c39-compressive-strength-of-cylindrical-concrete-specimens>

Cabezas Fierro, M. I. (2014) *Elaboración de un manual de procesos constructivos del adoquinado*. Bachelor thesis. Escuela Politécnica Nacional. Quito, Ecuador. Available at: <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/7225>

Colimba Huera, C. & Cando Guamán, C. (2025) *Análisis de las propiedades mecánicas de adoquines permeables de hormigón cumpliendo la Normativa NTE INEN 3040 para tránsito peatonal*. Tesis no publicada. Quito.

Hernández Cepeda, Y. B. (2018) *Pavimentos de adoquines de concreto una solución ambiental en la construcción de infraestructura vial de Colombia*. Bachelor Thesis. Universidad Militar Nueva Granada. Bogota, Colombia. Available at: <https://repository.umng.edu.co/items/82868e3c-2031-40ab-9be3-df319e3f305c>

Indumei (2024) *Vibrocompactadora de placas de hormigón VCH-1*. Available at: <https://www.indumei.com/maquinaria-adoquin>

Instituto del Cemento y del Hormigón de Chile (2013) *Manual de Diseño de Pavimentos y de Adoquines de Hormigón*. Santiago de Chile, Gráfica LOM. Available at: <https://ich.cl/documentos-pavimentando/manual-diseno-de-pavimentos-de-adoquines-de-hormigon/>

Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto (2004) *Conceptos básicos del concreto*. Available at: <http://www.imcyc.com/cyt/julio04/CONCEPTOS.pdf>

Interlocking Concrete Pavement Institute (2003) *Structural Desing of Interlocking Concrete Pavement for Roads and Parking Lots*. Tech Spec Technical Bulletins. Available at: https://www.castleeliteblock.com/green/documents/Interlocking%20Concrete%20Pavers%20Structural%20Design%20for%20Roads%20and%20Parking%20Lots%20-Tech%20Spec%204.pdf?srsltid=AfmBOooPsD5krmQLWX788Zjj1aiqc_lztkDFGXTkzX0IBEsXre6L9iHA

Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador (2013) *Volumen N°3 especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes. Norma ecuatoriana vial*. Quito. Available at: https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/12/01-12-2013_Manual_NEVI-12_VOLUMEN_3.pdf

National Ready Mixed Concrete Association (2020) CIP 38 - *Concreto Permeable*. Available at: <https://www.nrmca.org/wp-content/uploads/2020/04/CIP38es.pdf>

Salas Pérez, C., et al. (2019) "Urban Growth and Soil Waterproofing around the Forest Reserve Thomas van der Hammen in the City of Bogotá", Ambiente y Desarrollo, 23(44). DOI: <https://doi.org/10.11144/Javeriana.ayd23-44.cuis>

Servicio Ecuatoriano de Normalización (2010) NTE INEN 1578. *Hormigón de cemento hidráulico. Determinación del asentamiento*. Quito. Available at: <https://es.scribd.com/document/394405155/NORMA-INEN-1578-pdf>

Servicio Ecuatoriano de Normalización (2016) NTE INEN 3040. *Adoquines de hormigón. Requisitos y métodos de ensayo*. Quito. Available at: <https://es.scribd.com/document/341861298/Nte-Inen-3040>

Servicio Nacional de Normalización (2011) NTE INEN 872. *Áridos para hormigón. Requisitos*, Quito. Available at: <https://es.scribd.com/document/515214336/NTE-INEN-872-2011-Aridos-Hormigon-Requisitos>

Sika Ecuador (2025) *Reductores de agua de alto rango*. Available at: <https://ecu.sika.com/es/construcción/concreto/plastificantes-reductoresdeagua/reductores-de-aguadealtorango/sika-viscocrete-4100.html>

Valcuende, M. O., Parra, C. & Jarque, J. (2007) "Self-consolidating concrete homogeneity", *Materiales de Construcción*, 57(287), pp. 37-52. DOI: <https://doi.org/10.3989/mc.2007.v57.i287.55>