



**Caracterización y Mejoramiento del diseño del pavimento permeable para  
reducción de escorrentía y contaminación del agua - Un Estudio del arte.**

**María Fernanda Casadiego Rodríguez**

**Universidad del Magdalena**

Facultad de Ingeniería

Ingeniería Civil

Santa Marta, Colombia

2020



**Caracterización y Mejoramiento del diseño del pavimento permeable para  
reducción de escorrentía y contaminación del agua - Un Estudio del arte.**

**María Fernanda Casadiego Rodríguez**

Trabajo presentado como requisito parcial para optar al título de:  
**Ingeniera Civil**

Director:

Ph.D (c)

Carlos Arturo Martínez Cano

Línea de Investigación:

Hidráulica

Grupo de Investigación:

Grupo Integrado de Investigación en Ingeniería Civil

Universidad del Magdalena

Facultad de Ingeniería

Programa de Ingeniería Civil

Santa Marta, Colombia

2020

**Nota de aceptación:**

**Aprobado por el Consejo de Programa  
en cumplimiento de los requisitos  
exigidos por la Universidad del  
Magdalena para optar al título de  
Ingeniera Civil.**

---

**Jurado**

---

**Jurado**

**Santa Marta, \_\_\_\_ de \_\_\_\_ del \_\_\_\_**

*Dedico este trabajo de investigación a Dios, por sus bendiciones y obstáculos, estos últimos han forjado mi carácter y por consiguiente la trayectoria de mis decisiones, las cuales hoy me tienen en frente de esta investigación.*

*A mis padres Fernando Casadiego P y Luz Mirama Rodríguez D, por propiciar la oportunidad de acceder a este peldaño (formación profesional), por enseñarme a luchar, por ser mi mejor ejemplo, por su sacrificio y entrega.*

*A mis hermanos, Natalia Chona R, José Chona R y Luisa Chona R, por su apoyo y amor.*

## **Agradecimientos**

Agradezco a mi familia y madrina por su apoyo, a la Universidad del Magdalena por brindarme la formación académica y las herramientas necesarias para la realización de esta investigación, al programa de ingeniería civil y mis profesores por su disposición, dedicación y discernimiento, a mi tutor Carlos Arturo Martínez Cano por su tiempo y conocimiento, y a mis amigos por su colaboración y compañía en este proceso.

Este proceso que duro un poco más de lo planeado, este proceso que dejó grandes marcas en mi vida, este proceso que amplió mis perspectivas sobre la profesión que escogí para aportar a la sociedad Colombiana.

Hoy estoy a unos días de recibir el cartón que certifica mi formación como ingeniera civil, ese cartón por el que muchos trasnochamos, nos cohibimos de otras actividades, dejamos de pasar tiempo con los seres queridos, y la mayor parte de este la pasamos en los salones, biblioteca o zonas de estudio, sin dimensionar que solo es un rectángulo derivado principalmente de celulosas de la madera. La mayoría de las personas que tenían su grado para 2020-1, no asistirán a su ceremonia, puesto que se está viviendo una pandemia, aspiro que esta situación nos lleve a reflexionar, a valorar el recorrido que hacemos para obtener en un minuto aquello que asevera nuestro conocimiento, a dejar lo mejor de nosotros como profesionales, a ser transformadores de cambio en este país tan quebrantado.

Gracias a las personas que me acompañaron en el curso de estos años.

## Resumen

La expansión urbana genera un aumento en la escorrentía superficial, por consiguiente altera la calidad del agua, lo que origina problemas viales, de seguridad, ambientales y sociales. Las investigaciones han mostrado que los pavimentos permeables son una buena alternativa para contrarrestar estos problemas, por lo que el objetivo de esta investigación, fue desarrollar un documento académico que expone de manera sistemática los avances existentes en caracterización y mejoramiento del diseño del pavimento para reducción de escorrentía y contaminación del agua. Este documento revisa las investigaciones que se han hecho respecto al tema propuesto (2000 – 2020), se realizó una búsqueda en base de datos, por medio de palabras claves, posteriormente se hizo uso de una aplicación (The data mining program RefViz) para filtrar los documentos, por último se seleccionó la información y se discutió los resultados con los distintos trabajos consultados en relación al rendimiento, materiales y costo de los pavimentos permeables. Se concluye que los pavimentos permeables arrojan resultados positivos ya que reducen la descarga máxima (50% – 80%), la escorrentía (40% - 90%), y el pico de descarga de la escorrentía superficial (50% – 70%), sin embargo la obstrucción genera problemas significativos (40%), por lo cual se debe realizar mantenimiento para proporcionar un funcionamiento óptimo, además se encontró que el agua infiltrada es mucho mejor que la escorrentía superficial, para metales, contaminantes y sólidos suspendidos, por otro lado existen materiales alternativos como los geotextiles, las fibras, etc, que aportan beneficios (resistencia a compresión, mayor permeabilidad, etc) a estas estructuras; Debido a los beneficios mostrados por las superficies permeables se debe seguir investigando y así mejorar sus resultados, para obtener una mejor respuesta mecánica y optimización del drenaje.

Palabras claves: pavimento permeable, concreto poroso, adoquines, reducción de la escorrentía superficial, calidad del agua y drenaje urbano sostenible.

## **Abstract**

Urban expansion generates an increase in surface runoff, consequently alters the quality of water, which causes road, safety, environmental and social problems. Research has shown that permeable pavements are a good alternative to counteract these problems, so the objective of this research was to develop an academic document that systematically exposes the existing advances in characterization and improvement of pavement design to reduce runoff and water pollution. This document reviews the research that has been done regarding the proposed topic (2000-2020), a database search was performed, using keywords, then an application (The data mining program RefViz) was used to filter the documents, finally the information was selected and the results were discussed with the different consulted works in relation to the performance, materials and cost of the permeable pavements. It is concluded that the permeable pavements show positive results since they reduce the maximum discharge (50% - 80%), the runoff (40% - 90%), and the discharge peak of the surface runoff (50% - 70%), however, the obstruction generates significant problems (40%), for which maintenance must be carried out to provide optimal operation, furthermore, it was found that the infiltrated water is much better than surface runoff, for metals, contaminants and suspended solids, on the other hand. On the other hand, there are alternative materials such as geotextiles, fibers, etc., which provide benefits (resistance to compression, greater permeability, etc.) to these structures; Due to the benefits shown by permeable surfaces, further research should be carried out and its results improved, in order to obtain a better mechanical response and optimization of drainage.

## Contenido

1. Introducción .....	10
2. Objetivos de la Pasantía .....	12
2.1. Objetivo General. ....	12
2.2. Objetivos Específicos.....	12
3. Metodología .....	13
4. Estado del Arte. ....	15
4.1. Rendimiento. ....	15
4.1.1. Obstrucción .....	23
4.1.2. Mantenimiento .....	25
4.2. Materiales.....	28
4.3. Costo.....	30
5. Direcciones Futuras .....	33
6. Conclusión .....	35



## Lista de figuras

Figura 1 Sistema con pavimento permeable articulado y Filterra.....	22
Figura 2 HSPC muestra y esquema.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Figura 3 Diagrama esquemático del diseño de pavimento prefabricado.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Figura 4 Cantidad acumulada de sedimento que pasa a través de los adoquines. .....	24

## **1. Introducción**

En la actualidad alrededor de un 50 % de la población mundial vive en zonas urbanas, incrementándose en más de un 80 % en los últimos 20 años (José Dolz et al., 1994). Existe una alteración, de las condiciones naturales debido a que la expansión urbana y la planificación del uso del suelo no se realizan en forma controlada (Gobierno de Japón, 2003).

El crecimiento de la población en zonas urbanas por lo general conlleva a una acción de impermeabilización de la superficie del terreno. La construcción de calles con pavimentos impermeables, la urbanización de áreas destinadas a parqueaderos o calles peatonales y la construcción de edificaciones, suele suponer una alteración radical del funcionamiento del ciclo hidrológico natural del agua (Altarejos, 2007).

Al interrumpir el ciclo hidrológico natural, la filtración, la interceptación, la detención, la retención y la evapotranspiración de las áreas permeables se ve afectada, debido a que el resultado final de un aumento en áreas impermeables es la nula capacidad de absorber agua en la superficie del suelo produciendo inundaciones (Trapote, 2016).

La combinación de estructuras impermeables y sistemas de drenaje convencionales, hacen que el agua corra rápidamente por canaletas y pavimentos, concentrándose en un corto periodo de tiempo en los sistemas de alcantarillado (García, 2011). Esto produce un descenso en la capacidad de almacenamiento y un incremento en el volumen de escorrentía urbana.

La escorrentía urbana genera contaminación ambiental, debido a que transporta sedimentos, nutrientes, metales pesados, hidrocarburos, sustancias patógenas, y sustancias tóxicas, que van a parar a las aguas receptoras, obteniendo como resultado la contaminación de las fuentes hídricas naturales (Gobierno de Japón, 2003). Las inundaciones han sido asociadas con enfermedades infecciosas transmitidas por el agua. La escorrentía urbana también ocasiona accidentes viales y la suspensión de la movilidad del transporte público.

El impacto producido por la carencia de una gestión eficiente del drenaje de las aguas pluviales depende de factores físicos y sociales. Se deben implementar soluciones que brinden beneficios económicos, ambientales y sociales (Gobierno de Japón, 2003).

En la actualidad se han venido abordado diferentes soluciones que buscan impacto positivo en el medio ambiente y en nuestra sociedad, algunas de ellas llamadas alternativas sostenibles. Los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) contribuyen a revertir, al menos en parte, las consecuencias adversas del proceso de urbanización (Trapote, 2016). Entre los SUDS más utilizados encontramos: instalaciones de aprovechamiento del agua de lluvia, cubiertas vegetadas (green roofs o vegetated roofs) y superficies permeables (pavimento en asfalto permeable, adoquines entrelazados y pavimento en hormigón poroso).

Las superficies permeables son pavimentos que permiten absorber o dejar pasar líquidos vertidos en su superficie, estos pavimentos que pueden ser continuos o de bloque, permiten que las aguas que escurren se infiltren por el terreno y sean captadas y/o retenidas en capas subsuperficiales inferiores para su posterior reutilización o evacuación.

Algunos beneficios de los pavimentos permeables incluyen: la recarga de acuíferos, amortiguamiento y aprovechamiento de aguas pluviales, y un aumento en la seguridad vial al evitar zonas de encharcamiento y congelamiento (Ciria, 2007).

Este documento presenta un estado del arte sobre la caracterización y mejoramiento del diseño del pavimento para reducción de escorrentía y contaminación del agua. La revisión comprende un periodo de tiempo de 20 años (2000-2020). El documento se centra en tres aspectos principales: materiales, funcionamiento (rendimiento) y costos de los pavimentos permeables.

## **2. Objetivos de la Pasantía**

### **2.1. Objetivo General.**

Desarrollar un documento académico que expone de manera sistemática los avances existentes en caracterización y mejoramiento del diseño del pavimento para reducción de escorrentía y contaminación del agua.

### **2.2. Objetivos Específicos.**

- Realizar una búsqueda de investigaciones enfocadas a la caracterización y mejoramiento del diseño del pavimento para reducción de escorrentía y contaminación del agua.
- Analizar y describir las investigaciones realizadas con el fin de tener una visión global y una perspectiva del avance del conocimiento.
- Determinar posibles direcciones futuras de la caracterización y mejoramiento del diseño del pavimento para reducción de escorrentía y contaminación del agua.

### **3. Metodología**

La metodología que se utilizó en esta investigación es de tipo revisión bibliográfica, se encontraron documentos de diferentes tipos: artículos de revista, trabajos de investigación, trabajos de grado de pregrado, posgrado y doctorado, la cual se hizo por medio de palabras claves, tales como: pavimento permeable, concreto poroso, adoquines, reducción de la escorrentía superficial, calidad del agua y drenaje urbano sostenible, a través de las bases de datos (Scopus, Science Direct, SciELO) disponibles en las plataformas virtuales (Google Académico y biblioteca de la Universidad del Magdalena).

#### **Instrumentos**

*The data mining program RefViz:* Es una aplicación que permite ahorrar tiempo y esfuerzo, ya que acota por medio de caracteres (palabras claves, en este caso) la información inventariada. La aplicación filtro 86 documentos de un total de 180 seleccionados inicialmente.

*Tabla:* Tabla realizada en Excel donde se insertaron los documentos seleccionados por la aplicación, consta de 3 columnas, las cuales son: título, palabras claves y categoría. Se decidió escoger las palabras claves como criterio de selección, porque estas permiten enmarcar la investigación en el objetivo de la misma.

#### **Procedimiento**

Se hizo la comparación de las fuentes bibliográficas para identificar las repeticiones, vacíos, confirmaciones, ampliaciones, falencias, así como la calidad de la información sobre el tema de investigación.

Seguidamente se realizó la lectura, revisión y análisis según el enfoque (rendimiento, materiales y costo), de los documentos seleccionados por la aplicación.

El análisis se elaboró relacionando perspectivas: Después de recopilar la información pertinente para cumplir el objetivo propuesto, se hicieron correlaciones,

es decir, se asociaron las conclusiones y análisis de resultados de las investigaciones que compartían perspectivas equivalentes o contrastables.

Por último, con los datos obtenidos se realizó un documento final que integra la información recopilada, dicha información, la cual se muestra en las secciones 4 y 5, expone los avances y vacíos de conocimientos de los pavimentos permeables.

#### **4. Estado del Arte.**

##### **4.1. Rendimiento.**

Los pavimentos permeables están diseñados específicamente para promover la infiltración de la escorrentía superficial a través de la estructura del pavimento a fin de reducir los volúmenes y mejorar la calidad del agua mediante la eliminación de sedimentos y contaminantes (Lucke et al., 2014). El rendimiento de las estructuras de pavimento permeable en términos de infiltración se caracteriza por tener altas tasas de infiltración de escorrentía superficial (mayores a 50 mm), dentro de los primeros 5 a 10 minutos de una lluvia. La infiltración depende principalmente de la relación de apertura de las juntas, los agregados utilizados, la pendiente de la superficie y la extensión de la obstrucción (Illgen et al., 2007).

Los factores que afectan el rendimiento de los sistemas de pavimento permeables (SPP) incluyen las propiedades de la superficie permeable y los agregados, la configuración de la capa de la estructura, la acumulación de contaminantes durante el período de clima seco y la intensidad y duración de la lluvia (Kuruppu et al., 2019).

Las superficies de pavimento permeable permiten la infiltración de la escorrentía para lluvias con diferentes períodos de retorno incluyendo intensidades de 42mm en 24 horas (Brattebo et al. 2003). Los pavimentos permeables permiten reducir la descarga máxima entre 55 y 60%, la escorrentía superficial entre 45 y 55%, y el pico de descarga entre 50 y 60%, en comparación con el pavimento de asfalto convencional (Jayasuriya et al., (2007); Jayasuriya et al.,(2008); Dempsey y Swisher (2003)).

Se han observado reducciones anuales del volumen de escorrentía, del 50 al 81% por infiltración en Stenmark (1995), del 97% en Legret y Colandini (1999), y del 100% en Dempsey y Swisher (2003). Lo anterior indica que los pavimentos permeables reducen en forma efectiva la escorrentía superficial. Sin embargo, el movimiento natural inesperado del suelo debido a los cambios de volumen de las capas subterráneas o la intrusión de las raíces de los árboles en la estructura del pavimento puede comprometer su rendimiento, ya que puede generar esfuerzos

adicionales en la estructura del pavimento permeable flexible, al tratar de levantarla Disfani et al. (2020).

Los pavimentos permeables también permiten mejorar la calidad del agua de la escorrentía superficial. Se han encontrado concentraciones por debajo de los niveles detectables de aceite de motor, 0,10 mg / l; combustible diesel, 0.05 mg / l; cobre, 1,0 µg / l; zinc, 5 µg / l; plomo, 1 µg / l (Brattebo et al., 2003).

Se han observado mejoras constantes en la calidad del agua con reducciones en Solidos Suspendidos Totales (SST) entre el 70 y 100%, Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) entre el 40 y 80%, Fósforo Total (P) y Nitrógeno (N) entre el 60 y 80%. Las concentraciones de efluentes con cobre (Cu), plomo (Pb), zinc (Zn) y aceite han sido significativamente más bajas en un 87%, 93%, 88% y 88% (Jayasuriya et al., 2007; Jayasuriya et al. 2010; Andrade et al., 2012; Braswell et al., 2018; Alam et al., 2019).

La creación potencial de zonas anóxicas (ausencia de oxígeno) mediante la regulación de los flujos de salida contribuye a una reducción en la concentración de nitratos (0,6 mg a 2,1 mg de nitrógeno total, alcanzando un 25% de la masa total de nitrógeno depositado en la superficie) en el efluente, y favorece la infiltración de agua en el suelo Hernández-Crespo et al. (2019). Los pavimentos permeables son capaces de reducir las cargas contaminantes en la escorrentía urbana cuando se prueban a un nivel de significancia del 5% mediante pruebas de mecanismos de eliminación como la filtración mecánica a través de las capas del pavimento, (capa de rodadura, base, subbase y subrasante. (Beecham et al., 2012).

Los resultados de los estudios anteriores demuestran que estas estructuras suministran un enfoque de diseño para parqueaderos, caminos peatonales, entradas de tráfico ligero y parques ecológicos, evitando contaminación ambiental y alteración de la salud, puesto que reducen contaminantes en la escorrentía superficial. Una mezcla de medios de alta permeabilidad (MMAP) es eficaz para reducir las concentraciones de fósforo, nitrógeno y metales (Al, Cu, Zn), una capa de 5 cm de (MMAP) puede reducir el contenido de fósforo y metales pesados en un promedio de 0.22 mg / L a un máximo de 0.05 mg / L para simulaciones de lluvia



con intensidades de 0.66 cm / h Ostrom et al. (2019). El pH con MMAP, varía entre 5.86 y 8.23, típico del pH de aguas pluviales; a pesar de que la mezcla no elimina el nitrógeno en condiciones aeróbicas, al incluir una zona de almacenamiento interno de agua se observa una disminución de las concentraciones del efluente.

La vida útil de los pavimentos permeables puede llegar a los 10 años sin mantenimiento, en consecuencia, continúan representando una excelente forma de control de fuente tanto para la escorrentía superficial como para los contaminantes. Se obtiene intervalos de la escorrentía superficial en un orden de 6,4% en la salida total, una disminución del 6,41% en la tasa de salida, un aumento del 9,5% en tiempo de inicio del flujo de salida y ninguna variación representativa en la concentración de sedimentos (Alsubih et al., 2018). La tasa de infiltración disminuye significativamente después de unos años (después de 8 años) en servicio, puesto que se bloquean los huecos y las superficies de los sistemas de pavimentos permeables debido a procesos físicos, biológicos y químicos (Mullaney et al., 2014). La edad del pavimento es el factor principal que explica las variaciones en la permeabilidad, debido a que la edad es inversamente proporcional a la permeabilidad. Se han encontrado nuevos estacionamientos que tienen con mayor permeabilidad, del orden de  $10^0$  cm/s, en comparación con estacionamientos más antiguos, del orden de  $10^{-3}$  cm/s, y su baja permeabilidad no es necesariamente una indicación de obstrucción (Kayhanian et al., 2012).

, La ubicación de aplicaciones de pavimentos permeables, incluidos adoquines de hormigón entrelazados permeables (AHEP) y hormigón poroso (HP), lejos de las áreas alteradas del suelo, es un factor importante para preservar las altas tasas de infiltración de la superficie Bean et al. (2007). La infiltración depende en su mayoría del tipo de suelo donde se construya el pavimento permeable, ya que la abstracción inicial debe ser del orden del 80% y este a su vez debe recuperar su estado natural para así permitir su buen funcionamiento (Dempsey y Swisher, 2003). Para medir las tasas de infiltración, resultados han demostrado que el método de pruebas de infiltración a gran escala – FSIT (Boogaard et al., 2019). es una forma confiable y precisa de medición de infiltración superficial (194 mm/ h)

al aumentar significativamente el área de la superficie del pavimento que se está probando. Esta metodología produce resultados confiables de infiltración en la superficie (Boogaard et al., 2014).

Métodos a gran escala, tales como el método de escala completa de cabeza descendente (ECCD), método de escala completa de cabeza constante (ECCC) y pruebas de infiltrómetro de doble anillo (PIDA), son apropiados para representar la tasa de infiltración real de toda una superficie de pavimento (en su caso los valores obtenidos fueron ECCD =122 mm / h, ECCC= 332 mm / h y PIDA=373 mm / h) Lucke et al. (2014). El análisis basado en poros y las distribuciones de tamaño de partícula proporcionan una base importante para predecir las características hidráulicas, hidrológicas y de filtración, ya que determinan la tortuosidad (Sansalone et al., 2008).

El pavimento permeable con una distribución de tamaño de poro más grande se puede utilizar para proporcionar una mayor infiltración y capacidad hidráulica (tamaño de poro medio de 658  $\mu\text{m}$ , porosidad efectiva ( $\phi_e$ ) cercana al 24%, porosidad total del 27% y conductividad hidráulica inicial ( $K_0$ ) de  $\sim 3.1 \times 10^{-1}$  mm / s) Sansalone et al. (2012). Dentro de la evaluación de las cargas contaminantes, se incluyen tanto el volumen de agua descargada como la concentración de contaminación medida; el método más efectivo para reducir las cargas contaminantes es mantener la escorrentía en el sitio y dar tiempo a la infiltración, así como a los procesos químicos, biológicos e hidrológicos, ya que estos permiten aumentar la eficiencia de eliminación y se garantiza que el agua infiltrada tenga un mejor tratamiento por parte de la estructura Rushton et al. (2001).

Existen limitaciones en la práctica actual de evaluación de la infiltración como son los métodos de evaluación de infiltración de superficie que no cubren todas las fases, la carencia de una representación uniforme del rendimiento de la infiltración superficial, la necesidad de un análisis de drenaje de ingeniería basado en la consideración teórica de la intensidad de la lluvia y la escorrentía de la superficie, y el déficit de un umbral de mantenimiento racional para una gestión de mantenimiento eficaz. Por esta razón se propone que la conductividad hidráulica

sea adoptada como la propiedad de flujo para la medición e en lugar de la tasa de infiltración comúnmente utilizada Chu et al. (2019).

Los resultados de los estudios realizados por Kayhanian et al. (2019) coinciden con la propuesta anterior, ya que se concluye que la conductividad hidráulica saturada del suelo ( $3,6 \text{ m/h}$ ) y la permeabilidad son los factores más importantes para el diseño puesto que el proceso de diseño hidrológico determina el espesor requerido de las capas dentro del sistema de pavimento permeable. Disfani et al, (2020) observaron que la conductividad hidráulica se rige por los agregados con un diámetro medio menor ( $5 \text{ mm}$ ) y se reduce a medida que aumenta la fracción de agregados de roca en los pavimentos permeables semi-flexible. Los pavimentos permeables arrojan resultados relativamente efectivos en la gestión del volumen de escorrentía y el flujo máximo, aun así se deben considerar las lluvias con períodos de retorno cortos y de corta duración ya que estas tienen impactos significativos en comparación con las lluvias menos frecuentes y de mayor duración debido a que la infiltración continua limita el flujo máximo (Wang et al., 2019).

El pavimento permeable es una herramienta eficaz para la mitigación hidrológica de las lluvias desde "eventos cotidianos" hasta los 10 años Fassman et al. (2010). Se registró un desagüe de 3–6 h durante tormentas de 7–50 mm sobre la superficie de asfalto, incluso en laderas empinadas ubicadas sobre suelos impermeables y sujetos a lluvias frecuentes. Qin et al, (2013) coinciden con la investigación anterior, al comprobar que un período de retorno de 50 años, con un promedio de 2 h de duración de lluvia y  $r$  (proporción) = 0.4 el volumen de inundación se reduce en un 16.9%, 14.2%, 20.1%, 20% y 1% respectivamente.

Se ha observado que durante eventos de lluvia mayores a 50 mm Collins et al. (2008) todas las secciones de pavimentos permeables actúan de manera similar, por lo tanto se recomienda que los reguladores (los reguladores estatales tratan el pavimento permeable como si fuera 60% de césped y 40% de superficie impermeable) traten de manera similar varios tipos de pavimentos permeables con respecto a la reducción de la escorrentía. Por el contrario Dreelin et al, (2006)

afirman que el asfalto es sensible a la precipitación, frente a un pico de flujo mayor a 0.5 cm de precipitación mientras que los pavimentos porosos pueden almacenar el 55% de una lluvia de 0,15 cm de 1 h si está inicialmente seca y el 30% si está inicialmente húmeda.

Se necesita un rediseño del sistema del pavimento para mejorar el rendimiento de la capa permeable, el cual incluye la modificación del grosor de la capa y el uso de una gradación más gruesa de la capa base ya que algunos resultados demuestran una disminución considerable del riesgo (económico, de seguridad, social, y comercial) con un aumento en el coeficiente de permeabilidad de 50 a 300 m / día para todo tipo de carreteras (Kalore et al., 2019). Cuanto mayor es el espesor de la capa de grava, mayor es la reducción del volumen de efluente alcanzado y menor es la carga de contaminante que llega al ambiente (Hernández-Crespo et al., 2019) .

Braswell et al. (2018) y Li et al. (2017) proponen dos nuevos modelos para mejorar el rendimiento de infiltración, el primero es una combinación creativa de sistema de pavimento de concreto prefabricado - PCPS (Figura 1), y un concreto permeable innovador de alta resistencia - HSPC (Figura 2). La combinación eficiente de ambos modelos proporciona una aplicación amplia y un mantenimiento sencillo, así como una limpieza de obstrucciones factible, también presentan una trayectoria de poro interconectada que proporciona una excelente permeabilidad al agua a una porosidad relativamente baja. En el segundo modelo HSPC la escorrentía recibe tratamiento primario por parte del pavimento de concreto entrelazado permeable (PICP), luego un drenaje subterráneo transporta la escorrentía que no se filtra (es decir, se infiltra en la subrasante) al Filterra® (filtro de caja o biofiltración) para el tratamiento secundario (Figura 3).

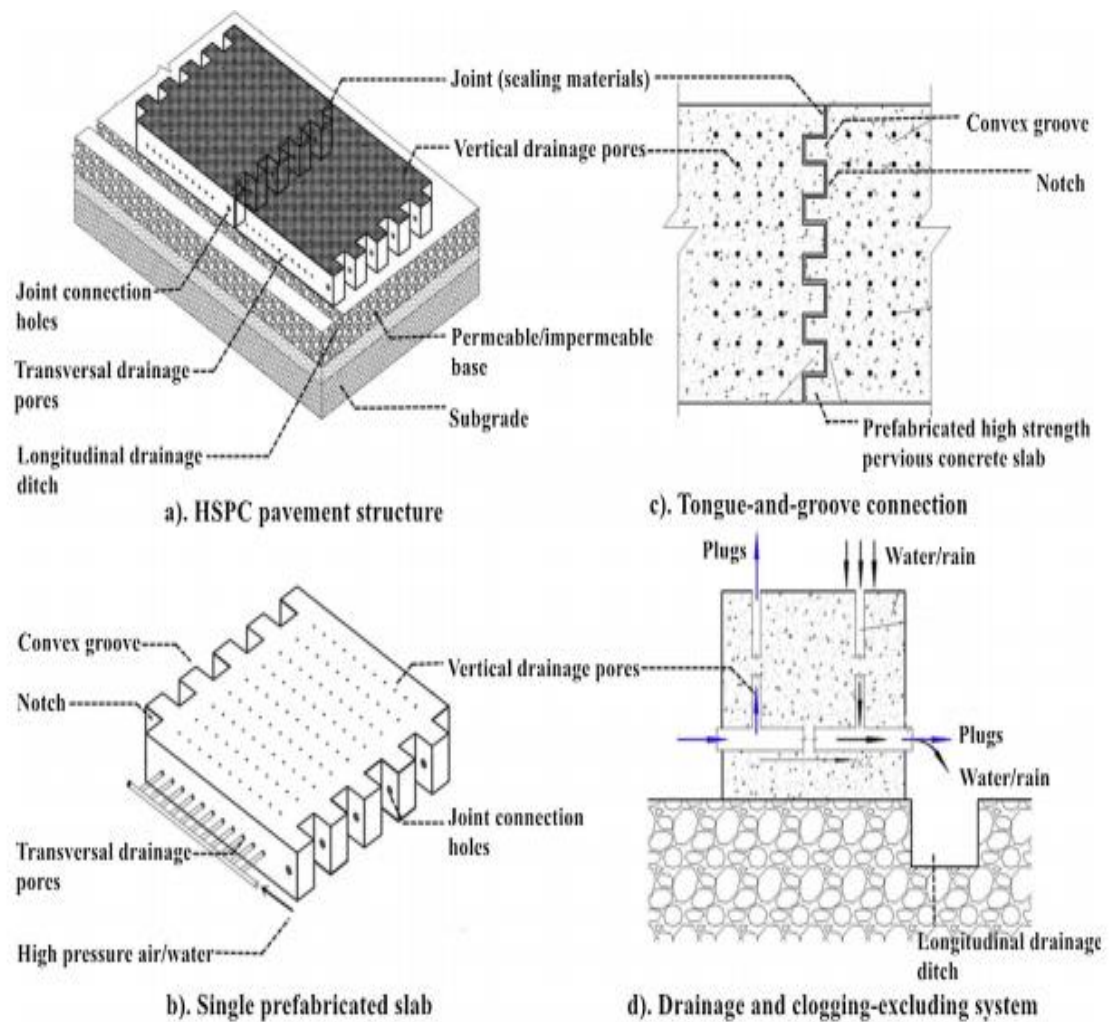
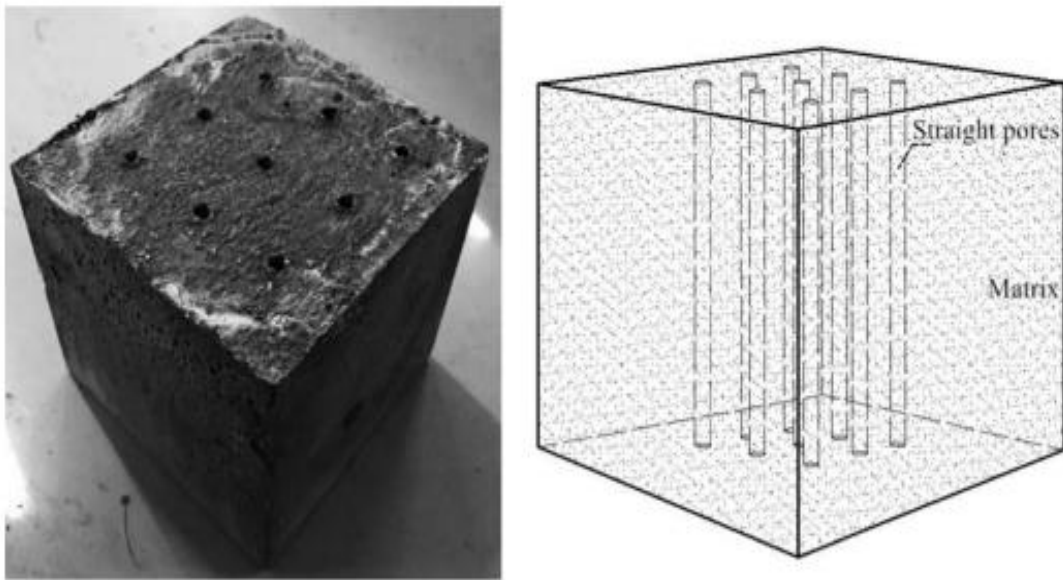
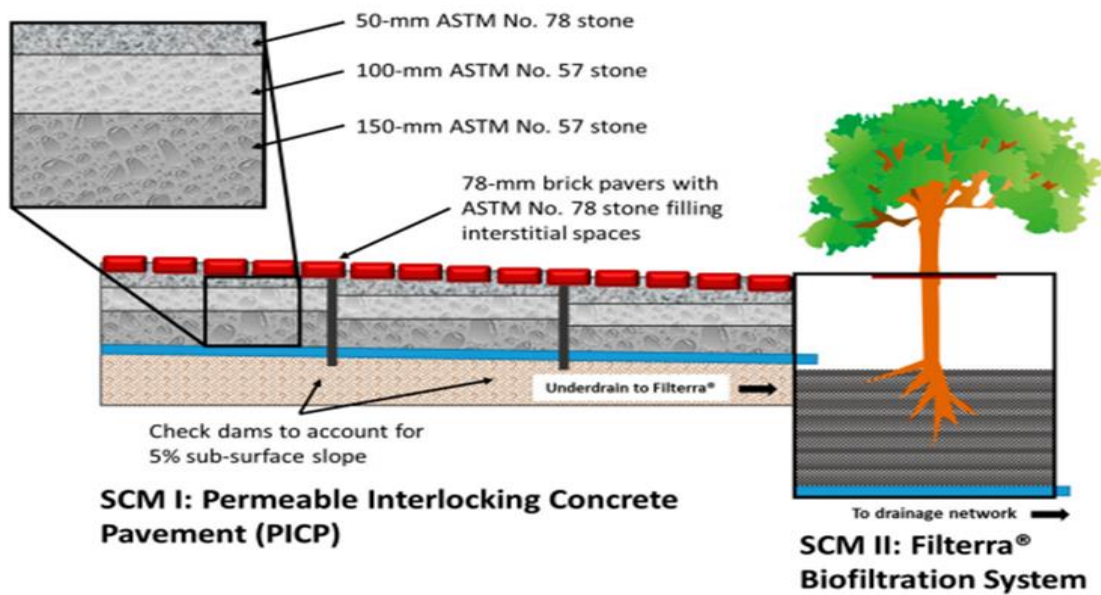


Figura 1 Diagrama esquemático del diseño de pavimento prefabricado.  
Tomada de Li et al. (2017)



*Figura 1 HSPC muestra y esquema  
Tomada de Li et al. (2017).*



**Figure 1.** Schematic of the PICP-Filterra® system with permeable interlocking concrete pavement and Filterra® biofiltration system (figure not to scale).

*Figura 3 Sistema con pavimento permeable articulado y Filterra.  
. Tomada de Braswell et al. (2018).*

#### **4.1.1. Obstrucción**

El factor más común que causa la falla de las superficies permeables es la obstrucción. La obstrucción se puede definir como la acumulación de limo dentro de la estructura del pavimento debido a la sedimentación, lo que reduce su capacidad de filtración (Dierkes et al., 2002). , un problema crítico en el concreto permeable es la obstrucción debido al bloqueo de la superficie y la infiltración de partículas finas, causando pérdidas en la permeabilidad y disminución del rendimiento. La obstrucción está relacionada con la tortuosidad de alto poro que se forma en las formulaciones de concreto permeables actuales (Kia et al., 2017).

La obstrucción del pavimento generalmente se presenta en la capa superficial y en las capas de geotextil (Rommel et al., 2001; González-Angullo et al., 2008), también se produce en la interfase entre una capa permeable y otra capa menos permeable (Siriwardene et al., 2007). Un ejemplo se presenta en un escaneo de múltiples muestras de núcleos, los vacíos de aire del pavimento de la superficie superior son generalmente más bajos, lo que indica obstrucción debido a la acumulación de partículas (Kayhanian et al., 2019).

La tasa de infiltración se reduce con el tiempo debido al problema de obstrucción (Zhang, 2006), esto lo reafirmó Kadurupokune (2008), por medio de un estudio donde encontró una reducción del 10% en la tasa de infiltración debido a la obstrucción cuando se simulaban 17 años de carga de contaminantes sobre la superficie del pavimento Ecotrihex de C&M. Así mismo, se plantea que la adición de sedimento conduce a una obstrucción parcial de la estructura permeable del pavimento, lo que resulta en una disminución en la tasa de infiltración, el volumen de salida, un aumento en el tiempo y la duración del inicio de salida (Alsubih et al., 2018).

Un estudio de Yang et al. (2019) demuestra que para tres intensidades de lluvia (intensa, media y ligera), aproximadamente la mitad del sedimento (46.87% - 53.21%) queda atrapado en los adoquines. La mayor parte del resto del sedimento (32.97% - 45.90%) fluye sobre el borde de los adoquines, mientras que menos del

1% pasa a través de los adoquines. las partículas de sedimento que pasan a través de los adoquines son más gruesas, mientras que las partículas retenidas en los adoquines son más finas. Las partículas que fluyen desde el borde de los adoquines se encuentran entre estas otras dos distribuciones. La presencia del tamaño de poro más grande permite el paso del material de obstrucción a través de la estructura de poros, mientras que el tamaño de poro más pequeño inhibe la entrada del material de obstrucción en la estructura, ; ambos casos resultan en una retención considerable de la porosidad temprana (prístina) Deo et al. (2010) .

Según Yang et al. (2019) la superficie de los adoquines puede obstruirse después de tres años para intensidades de lluvia ligera y media pero puede tomar dos años para que la superficie de los adoquines se obstruya completamente con fuertes lluvias (Figura. 4). De igual manera el aumento de la intensidad de la lluvia resulta en un aumento del sedimento que pasa a través de los adoquines. Las fuertes lluvias (60 mm/h) causan que pase el doble de sedimento a través de la superficie de los adoquines comparado con lluvias ligeras (30 mm/h) o medias (45 mm/h).

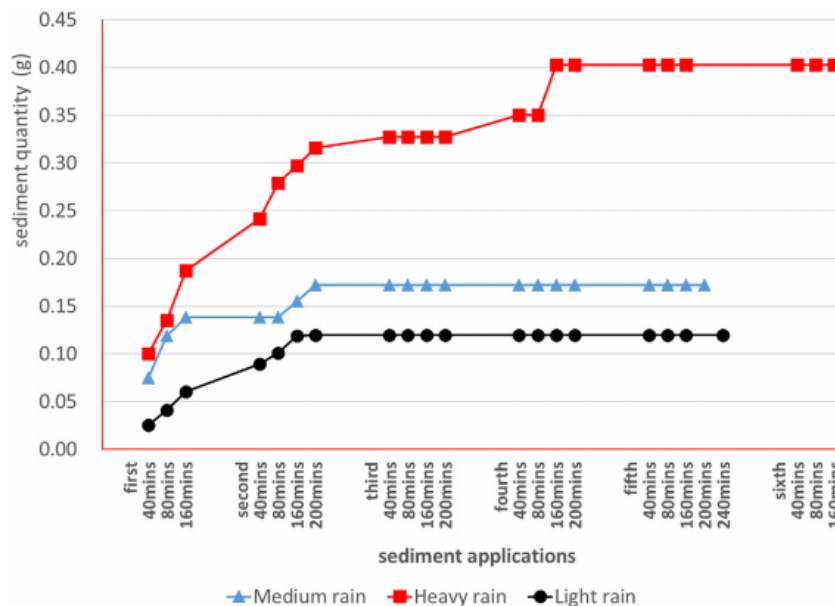


Figura 2 Cantidad acumulada de sedimento que pasa a través de los adoquines (Yang et al. 2019).



Coleri et al. (2013) señalan que los resultados de la simulación de una lluvia muestran que la mayoría de la acumulación de partículas ocurre en la parte inferior de las capas de OGFC (generalmente por debajo de 10-15 mm) y, por lo tanto, las partículas agregadas durante la lluvia pueden no afectar la funcionalidad de infiltración de la parte superior de la capa permeable.

Se ha planteado como solución al problema de obstrucción los pavimentos permeables de dos capas (Liu et al., 2016; Tian et al., 2019). Su propósito es mejorar la efectividad y durabilidad del asfalto poroso y reducir el problema de obstrucción que ocurre en un asfalto poroso de una sola capa (Afonso et al., 2018). La capa más delgada en la superficie actúa como un tamiz que reduce la acumulación de arena o escombros en los poros y evita que la capa inferior gruesa se obstruya permitiendo un drenaje libre (Hamzah et al. 2013). Cuando se requiere la rehabilitación de la capa de rodadura debido a la obstrucción, un diseño de doble capa ofrece una clara ventaja, ya que solo su capa superior debe ser reemplazada, en lugar de la eliminación de la capa de rodadura de una sola capa, debido a la infiltración de obstrucción profunda (Chu et al., 2019).

#### **4.1.2. Mantenimiento**

Aunque es inevitable que los pavimentos permeables se obstruyan por el sedimento con el tiempo, el tipo y la frecuencia de los procedimientos de mantenimiento del pavimento pueden afectar significativamente la tasa de obstrucción (mayor al 50%) y la vida útil efectiva de los pavimentos permeables (Mullaney et al., 2014). En general, el mantenimiento de un pavimento permeable debe programarse en función de los resultados de una serie de inspecciones periódicas realizadas con el objetivo de comprobar los aportes de sedimentos recibidos (Rodríguez et al., 2011).

Se han investigado técnicas de mantenimiento incluida la extracción manual de los 2 cm superiores del material de la cama, barrido mecánico de calles, barrido

regenerativo de calles de aire, barrido al vacío de calles, aspirado manual, lavado a alta presión y molienda de asfalto poroso (Winston et al., 2016; Bean et al., 2007; Tiggelaar et al., 2009; Kayhanian et al., 2019). Cuando se produce un lavado a presión en un sitio para despejar las juntas, la permeabilidad de la superficie se restablece en más de un orden de magnitud Fassman et al. (2010). Sin embargo, el lavado a presión no se recomienda como un procedimiento de mantenimiento ya que los sedimentos desalojados se pueden lavar en el sistema de reticulación y finalmente en el agua receptora.

Respecto a los mecanismos de limpieza, el más efectivo, empleado con mezclas bituminosas porosas consiste en la proyección de agua a presión y el aspirado inmediato de la suciedad (Rodríguez et al., 2011). En el caso de los adoquines, la eliminación de 13-18 mm superiores de material acumulado dentro de los espacios vacíos mejora significativamente las tasas de infiltración Hunt et al. (2002). Se debe rellenar con arena los espacios vacíos para evitar el sellado a una profundidad menor. Bean et al. (2007) constataron la tesis anterior ya que se observa que sin mantenimiento, la tasa promedio de infiltración fue de 4.9 cm / h (1.9 pulg. / h) mientras que con mantenimiento, la tasa de infiltración mediana fue de 8,6 cm / h (3,4 pulgadas / h) concluyendo que el mantenimiento es importante para mantener altas tasas de infiltración de superficie para adoquines de rejilla de hormigón.

El concreto poroso requiere de un mantenimiento riguroso a fin de evitar la colmatación y conservar sus características benéficas, el cual debe incluir limpieza de la superficie para eliminar plantas, tierra o cualquier elemento que pueda impedir la permeabilidad del agua a través de la superficie de concreto (Vélez, 2010). Los pavimentos de grava reforzada sin mantenimiento presentaban índices de 71 mm/h y 50 mm/h, que aumentan con mantenimiento hasta 118 mm/h y 80 mm/h respectivamente (Rodríguez, 2008). Los resultados también demuestran que un programa de limpieza adecuado en condiciones secas es esencial, especialmente cuando se pronostican altas intensidades de lluvia ya que la capacidad de movilización e infiltración de contaminantes es mayor en estas condiciones. Este

es un tema clave para el futuro cercano, ya que se esperan precipitaciones extremas más intensas y frecuentes (Hernández et al., 2019).

En los Países Bajos recomiendan que el mantenimiento se realice en pavimentos permeables cuando la infiltración de la superficie cae por debajo de 20.8 mm / h (Boogaard et al., 2014). Del mismo modo Rodríguez (2008) sostiene que se debe realizar una limpieza anual hasta una profundidad de 13 mm con un relleno de material drenante nuevo, lo que parece ser suficiente para mantener las tasas de infiltración en niveles apropiados. En áreas de alta precipitación, se recomienda que el mantenimiento se realice de dos a cuatro veces al año. Es necesario realizar pruebas de infiltración temprana después de la instalación incluso si el pavimento muestra tener buen funcionamiento (Razzaghmanesh et al., 2018).

Los reflectómetros de dominio de tiempo instalados en el depósito de subbase de sistemas de pavimento permeable de grado abierto pueden proporcionar información sobre cuándo se necesita mantenimiento midiendo la cantidad relativa de agua que se infiltra a través de la superficie Brown et al. (2013). Es recomendable tener una estrategia de muestreo refinada que apunte a las áreas expuestas de la obstrucción de la superficie por el arranque para mostrar cualquier alteración Drake et al. (2013). Este método puede usarse para determinar la extensión y la distancia de la obstrucción en la superficie permeable del pavimento.

Las estrategias de mantenimiento preventivo del pavimento son más ecoefectivas de mejor desempeño y rentables durante el ciclo de vida en comparación con los programas posteriores de rehabilitación (Yang et al., 2017; Giustozzi et al., 2012). Con un diseño óptimo de pavimento y un buen plan de mantenimiento preventivo es posible ahorrar una importante cantidad de emisiones, energía y obtener beneficios económicos (Giustozzi et al., 2012; Chong et al., 2018).

## **4.2. Materiales**

Los pavimentos permeables contruidos sobre suelos de arcilla de baja conductividad mejoran sustancialmente la calidad del agua y permiten reducir escorrentía superficial (Braswell et al., 2018). Los pavimentos permeables instalados en suelo arenoso permiten mantener tasas de infiltración de superficie relativamente altas, sin importar la edad o tipo de pavimento (Bean et al., 2007), por el contrario Kayhanian et al. (2019) afirman que la edad del pavimento y la masa de partículas finas (partículas de menos de 38  $\mu\text{m}$ ) se encuentran entre los factores más importantes que influyen en el valor de permeabilidad del pavimento.

Se han encontrado reducciones significativas de la permeabilidad (mayor al 80%) con la adición de arena más fina para mezclas de concreto permeables que incluyen agregados # 4, mientras que las muestras con agregados de 3/8 experimentan una pérdida insignificante en la permeabilidad (20%) (Deo et al., 2010). En el caso de los adoquines se, demuestra que la capa de arena de la celda de adoquines de rejilla de hormigón (ARH) retienela mayor cantidad de escorrentía y es más efectiva para mitigar las intensidades máximas de lluvia debido principalmente a las características de los medios rellenos de arena en comparación con el agregado pequeño que se usa típicamente en juntas y camas de CP y PICP Collins et al. (2008)

Un estudio de análisis de imagen implementado en las imágenes horizontales 2D, muestra que un agregado graduado más uniforme con partículas de mayor tamaño conduce a porcentajes más altos de área de poros entre el agregado grueso lo que resulta en un mayor potencial de drenaje (Barišić et al., 2017). Por otro lado, se ha demostrado que las acumulaciones de partículas finas disminuyen las tasas de infiltración de la superficie Bean et al. (2007).

El agregado fino generalmente se excluye del concreto permeable pero la adición de una pequeña fracción (hasta 7% en peso de agregado grueso) aumenta la resistencia a la compresión, a la división, a la flexión, la densidad y la durabilidad de congelación y descongelación al tiempo que mantiene una capacidad de infiltración suficiente. Las mezclas con agregados finos presentan un mejor

rendimiento debido a la disposición regular y más uniforme de los agregados en la matriz de concreto (Schaefer et al., 2006; Wang et al., 2006; Kevern et al., 2008; Henderson y Tighe, 2012; Maguesvari et al., 2013; Emiko., 2016).

Los geotextiles pueden ayudar a retener y degradar aceites, si la obstrucción (por ejemplo, sedimentación) no es un problema (Scholz y Grabowiecki, 2006). Asimismo, los geotextiles permiten la separación de diferentes capas y la retención de contaminantes que pasan a través de él (hidrocarburos). Incluso, la mayor parte del crecimiento de la biopelícula responsable de la degradación de dichos contaminantes se concentra en la capa de geotextil (Bayon et al., 2015).

Investigaciones han comprobado que al aumentar la dosis de material compuesto de fibra de carbón curado sin reducir el contenido de agregado, se puede mejorar la resistencia a la flexión y a la tracción del concreto poroso (AlShareedah et al., 2019). Las fibras de acero ayudan a aumentar la resistencia a la compresión y a la flexión del hormigón permeable, y recomienda una dosis mínima de 1.5% de fibra de acero por volumen de concreto para lograr la resistencia a la flexión objetivo de 3.5 MPa, una permeabilidad de 10 mm / s y una porosidad de 20% Emiko (2016). Existe una relación entre la densidad y la resistencia a la compresión, la resistencia a la flexión y el módulo de elasticidad para mezclas con 30% de reemplazo de cenizas y para mezclas con 48 % de reemplazo de epoxi tipo ESG6FA30 a los 7 días Al-sallami et al. (2020). Sin embargo, el efecto de materiales cementosos suplementarios en concreto permeable no es similar a los observados en concreto convencional Chandrappa et al, (2016).

Las mezclas con aditivos de caucho pueden usarse en condiciones climáticas extremas ya que reducen la rigidez del aglutinante a bajas temperaturas mejorando así la resistencia a las grietas, a altas temperaturas (>100°C) es posible mejorar la rigidez del aglutinante (Gupta et al., 2019). Para obtener beneficios con fibras de caucho se debe tener en cuenta el tamaño (#4 ~ #20 ≈ 50mm, #20 ~ #200 ≈ 50mm, #4 ~ #200 ≈ 50mm) de las mismas ya que el aumento del tamaño del caucho

desmenuzado disminuye la resistencia y la cohesión de la tensión indirecta de las mezclas de asfalto poroso debido a la discontinuidad en la matriz (Cetin, 2013).

El Pavimento reciclado (poroso) de cerámica unida a poliuretano es utilizado en la construcción de pavimentos permeables con el fin de mejorar el drenaje de aguas pluviales. Lo anterior ha permitido obtener mejoras significativas en las propiedades mecánicas y funcionales del pavimento, es decir alta resistencia a la compresión y baja deformación permanente, pérdida de agregado fino significativamente menor y una conductividad hidráulica muy alta con un alto contenido de vacío y una conectividad de vacío mejorada Lu et al. (2019). La resistencia a la compresión del hormigón permeable disminuyó a medida que aumentó el contenido de la cascara de la semilla de la palma de aceite y la concha de berberecho, debido al contenido de vacío escalado, sin embargo se encontró que se pueden utilizar en la construcción de pavimentos de carreteras de tráfico ligero, estacionamientos y caminos peatonales, ya que aumentaron la permeabilidad y el contenido de vacíos (Khankhaje et al. 2017).

#### **4.3. Costos**

Los pavimentos permeables proporcionan ahorros adicionales sobre las prácticas tradicionales de gestión de aguas pluviales reduciendo el costo operativo de las instalaciones de drenaje (tuberías de alcantarillado de aguas lluvias de hasta 27”), la infraestructura necesaria para transportar las aguas pluviales a las aguas receptoras cercanas y las tarifas de tratamiento de aguas residuales al reducir la descarga de aguas residuales (Kuruppu et al., 2019; Gómez et al., Año). Lo anterior debido a que los pavimentos porosos son inherentemente multifuncionales, su selección e implementación son partes integrales del diseño urbano y todos sus efectos se consideran en la evaluación de beneficios y costos (Ferguson, 2006). Por otra parte, también el ahorro se debe a la diferencia de tiempo de ejecución de las obras con pavimentos permeables.

Se ha encontrado que los pavimentos de concreto permeables pueden ahorrar en dólares hasta \$ 64 mil incluyendo el costo de instalación, y aproximadamente

\$ 3 millones considerando los beneficios del tratamiento del agua durante 25 años en comparación con los pavimentos convencionales Chandrappa et al. (2016). El costo de eliminación por tratamiento de residuos municipales oscila entre \$ 5 b y \$10 / lb para nitrógeno y entre \$ 4.b y a \$ 105/ lb para fósforo (Zhou et al, 2018).

El LID (desarrollo de bajo impacto – pavimento permeable) puede reducir el costo de operación de tratamiento de residuos al retener más nitrógeno y fósforo en la escorrentía. La retención de carbono a través del LID no solo es parte del proceso natural, sino que también beneficia al evitar los costos sociales de la eliminación de contaminantes, ya que permite mejorar la calidad de vida de las personas que se benefician de estas estructuras. Se estima que el costo es menor (de \$ 9. a \$ 84 apróx) por tonelada métrica de CO<sub>2</sub> liberado a la atmósfera. Se estima también que un metro cuadrado de superficie permeable reduce r alrededor de \$ 16 mil.el costo inicial y \$ 0.3 mil en operación y mantenimiento anual en la infraestructura de aguas pluviales.

Por el contrario Rehan et al, (2018) concluyeron que los pavimentos permeables no son tan económicos, esto en base a una investigación donde se comparan cuatro tipos de alternativas de pavimento: Asfalto HotMix (HMA), Asfalto poroso (PA), Hormigón de cemento Portland (PCC) y Hormigón permeable (PC). Los costos incluidos en este estudio fueron costos iniciales de construcción, costos de mantenimiento y rehabilitación, y costos de tratamiento de aguas pluviales, durante 20, 30 y 40 años. La información recopilada se resume en la Tabla 1 en esta se puede observar la discriminación de los costos de los pavimentos evaluados. Al aumentar el tiempo en servicio aumentan los costos, el tratamiento aumenta el costo total significativamente, por otro lado el pavimento más costoso es el construido con cemento Portland.

<b>Periodo de análisis de 40 años</b>				
	<b>AHM</b>	<b>AP</b>	<b>HCP</b>	<b>HP</b>
Costo inicial de construcción	\$162,000	\$204,100	\$224,900	\$278,600
Costo de mantenimiento en valor actual	\$78,800	\$59,700	\$39,600	\$89,900
<b>Subtotal- inicial y mantenimiento</b>	<b>\$240,800</b>	<b>\$263,800</b>	<b>\$264,500</b>	<b>\$368,500</b>
Costo del tratamiento de aguas pluviales	\$67,300	-	\$67,300	-
<b>Costo total en valor actual</b>	<b>\$308,100</b>	<b>\$263,800</b>	<b>\$331,800</b>	<b>\$368,500</b>
<b>Periodo de análisis de 30 años</b>				
Costo inicial de construcción	\$162,000	\$204,100	\$224,900	\$278,600
Costo de mantenimiento en valor actual	\$53,000	\$4,800	\$18,400	\$4,800
<b>Subtotal- inicial y mantenimiento</b>	<b>\$215,500</b>	<b>\$208,900</b>	<b>\$243,300</b>	<b>\$283,400</b>
Costo del tratamiento de aguas pluviales	\$58,800	-	\$58,800	-
<b>Costo total en valor actual</b>	<b>\$274,300</b>	<b>\$208,900</b>	<b>\$302,100</b>	<b>\$283,400</b>
<b>Periodo de análisis de 20 años</b>				
Costo inicial de construcción	\$162,000	\$204,200	\$224,900	\$278,600
Costo de mantenimiento en valor actual	\$18,000	\$4,000	\$14,100	\$4,000
<b>Subtotal- inicial y mantenimiento</b>	<b>\$180,000</b>	<b>\$208,200</b>	<b>\$239,000</b>	<b>\$282,600</b>
Costo del tratamiento de aguas pluviales	\$46,300	-	\$46,300	-
<b>Costo total en valor actual</b>	<b>\$226,300</b>	<b>\$208,600</b>	<b>\$285,300</b>	<b>\$282,600</b>

*Tabla 1 Costo del ciclo de vida  
Tomada de Rehan et al, (2018)*



## **5. Direcciones Futuras**

Está investigación ha identificado carencias respecto al rendimiento de los pavimentos permeables y calidad del agua de la escorrentía superficial, las cuales se exponen a continuación:

Mantenimiento y obstrucción: Existe la necesidad de investigar los mecanismos para evitar la colmatación y los efectos que estos generan en la vida útil del pavimento permeable, debido a que la obstrucción afecta el rendimiento de las estructuras permeables y la calidad del agua. Más investigación es requerida respecto al mantenimiento detallado de las superficies de rodadura permeables. Es necesario realizar una clasificación de los procesos de mantenimiento dependiendo de la superficie permeable y profundizar en el mantenimiento preventivo para restaurar la conductividad hidráulica y eliminar contaminantes.

Diseño de mezcla y construcción in situ: Actualmente existe una brecha de investigación en el diseño de mezclas permeables lo que impide la comparación de estas estructuras, esto evidencia que no se ha definido un diseño de mezcla y estructura estándar para cada una de las superficies permeables. Con lo anterior se garantizaría que el método de laboratorio para la fase de diseño sea consistente con los métodos de prueba de campo para la fase de construcción y mantenimiento.

Vacíos y agregado fino: La infiltración de los pavimentos permeables es directamente proporcional a la cantidad de vacíos e inversamente proporcional a la obstrucción; muchos autores afirman que el agregado fino propicia la colmatación. Sin embargo no está establecido el porcentaje de daño o beneficio que puede provocar. El análisis para calcular la cantidad de vacíos no cuenta con una fórmula de referencia que garantice el rendimiento óptimo del pavimento permeable.

Suelos impermeables, volúmenes de tránsito y sistemas combinados: La investigación acerca del rendimiento de los pavimentos permeables en suelos impermeables y carreteras con diferentes volúmenes de tránsito es reducida, lo que impide la construcción de estas estructuras en determinados lugares lo que genera

fuentes de incertidumbre. Se han evaluado pocas alternativas de sistemas combinados aunque los resultados arrojados muestran altas tasas de infiltración. A la fecha no se ha profundizado en la posibilidad de incorporar sumideros en el fondo de las células de pavimento permeables para mejorar el drenaje urbano.

Drenaje urbano y uso del suelo : No es clara la importancia de la conductividad hidráulica en los pavimentos permeables, la información que se tiene hasta ahora es que esta permitiría seleccionar el sitio de construcción adecuado, el tipo apropiado de pavimento permeable y el diseño geométrico así como los materiales de construcción adecuados para ser utilizados (Chu et al., 2019). En futuras investigaciones, se debe tener en cuenta el uso diferente del suelo. El drenaje residencial urbano y el control de inundaciones es solo una parte del control de inundaciones urbanas, se debe considerar un análisis holístico desde el nivel de la cuenca para obtener una optimización completa en el futuro (Xu et al., 2019).

## **6. Conclusiones**

Este documento presenta un estado del arte sobre la caracterización y Mejoramiento del diseño del pavimento para reducción de escorrentía y contaminación del agua. Este estado del arte se enfoca en el rendimiento, hidrología, vida útil, materiales y costo-beneficio de los pavimentos permeables.

El pavimento permeable es una buena alternativa de drenaje urbano sostenible para la reducción de escorrentía superficial del 50% - 100%. Este tipo de estructura también permite la recarga del subsuelo y previene desbordamientos de los sistemas de alcantarillado. El rendimiento de un pavimento permeable depende del tipo de suelo sobre el cual este construida la estructura, del espesor de la capas y sus respectivos tamaños de poros.

El pavimento permeable permite mejorar la calidad del agua eliminando solidos suspendidos y contaminantes tales como: nitrógeno, zinc, plomo, cobre y fosforo, lo que contrarresta la contaminación ambiental y los problemas de origen social. Disminuye costos de construcción comparados con los pavimentos convencionales ya que no se hace necesario estructuras de drenaje y el tiempo de construcción es menor. La tasa de infiltración diseñada debe ser mayor que la máxima intensidad de lluvia presenta en el lugar.

Un problema crítico de las superficies permeables es la colmatación ya que disminuye su rendimiento evitando la infiltración y en ese sentido la calidad del agua no obtiene ningún tratamiento, por tal razón es necesario realizar mantenimientos programados para impedir su obstrucción. Algunos programas como los mencionados anteriormente (en la sección 4.1.2) ayudan a predecir el tiempo para realizar el mantenimiento permitiendo el buen funcionamiento del pavimento en servicio y aumentando la vida útil del mismo.

Existen materiales no convencionales que aportan beneficios a los pavimentos permeables, se ha comprobado que las fibras de carbón, los geo textiles, los aditivos de caucho, ceniza y cascaras, mejoran la respuesta mecánica de los pavimentos permeables.

Los estudios previos indican que existen vacíos de conocimiento en el tema, por consiguiente, se necesita más investigación para obtener mejoras en el rendimiento y calidad del agua, y así implementar métodos de referencia para el diseño y construcción.

## 7. Referencias

- Afonso, M. L., Fael, C. S., & Dinis-Almeida, M. (2018). Influence of clogging on the hydrologic performance of a double layer porous asphalt. *International Journal of Pavement Engineering*, 1-10.
- Alam, T., Mahmoud, A., Jones, K. D., Bezares-Cruz, J. C., y Guerrero, J. (2019). A Comparison of Three Types of Permeable Pavements for Urban Runoff Mitigation in the Semi-Arid South Texas, USA. *Water*, 11(10), 1992.
- Al-sallami, Z. H. A., Marshdi, Q. S. R., y Mukheef, R. A. A. H. (2020). Effect of cement replacement by fly ash and epoxy on the properties of pervious concrete. *Asian Journal of Civil Engineering*, 21(1), 49-58.
- AlShareedah, O., Nassiri, S., Chen, Z., Englund, K., Li, H., y Fakron, O. (2019). Field performance evaluation of pervious concrete pavement reinforced with novel discrete reinforcement. *Case Studies in Construction Materials*, 10, e00231.
- Alsubih, M., Wright, G., Arthur, S., y Allen, D. (2018). Influence of sediment on the hydrological performance of a permeable pavement. In *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Water Management* (Vol. 171, No. 2, pp. 67-75). Thomas Telford Ltd.
- Andrade, Á. M. P., y Vega, A. M. S. (2012). Diseño hidráulico de losas en pavimento poroso rígido como estructuras complementarias al drenaje pluvial de Bogotá. *Pontificia Universidad Javeriana, BOGOTA DC*.
- Barišić, I., Galić, M., y Grubeša, I. N. (2017). Pervious concrete mix optimization for sustainable pavement solution. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 90, No. 1, p. 012091). IOP Publishing.
- Bayon, J. R., Jato-Espino, D., Blanco-Fernandez, E., y Castro-Fresno, D. (2015). Behaviour of geotextiles designed for pervious pavements as a support for biofilm development. *Geotextiles and Geomembranes*, 43(2), 139-147.

- Bean, E. Z., Hunt, W. F., y Bidelsbach, D. A. (2007). Field survey of permeable pavement surface infiltration rates. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 133(3), 249-255.
- Beecham, S., Pezzaniti, D., y Kandasamy, J. (2012). Stormwater treatment using permeable pavements. In *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Water Management* (Vol. 165, No. 3, pp. 161-170). Thomas Telford Ltd.
- Boogaard, F., Lucke, T., Van de Giesen, N., y Van de Ven, F. (2014). Evaluating the infiltration performance of eight Dutch permeable pavements using a new full-scale infiltration testing method. *Water*, 6(7), 2070-2083.
- Boogaard, F., y Lucke, T. (2019). Long-term infiltration performance evaluation of dutch permeable pavements using the full-scale infiltration method. *Water*, 11(2), 320.
- Braswell, A. S., Anderson, A. R., y Hunt, W. F. (2018). Hydrologic and water quality evaluation of a permeable pavement and biofiltration device in series. *Water*, 10(1), 33.
- Braswell, A. S., Winston, R. J., y Hunt, W. F. (2018). Hydrologic and water quality performance of permeable pavement with internal water storage over a clay soil in Durham, North Carolina. *Journal of environmental management*, 224, 277-287.
- Brattebo, B. O., y Booth, D. B. (2003). Long-term stormwater quantity and quality performance of permeable pavement systems. *Water research*, 37(18), 4369-4376.
- Brown, R. A., y Borst, M. (2013). Assessment of clogging dynamics in permeable pavement systems with time domain reflectometers. *Journal of Environmental Engineering*, 139(10), 1255-1265.
- CASTRO, M. (2011). Pavimentos Permeables como alternativa de drenaje urbano. Trabajo de Grado, 90.

- Cetin, A. (2013). Effects of crumb rubber size and concentration on performance of porous asphalt mixtures. *International Journal of Polymer Science*, 2013.
- Chandrappa, A. K., y Biligiri, K. P. (2016). Pervious concrete as a sustainable pavement material—Research findings and future prospects: A state-of-the-art review. *Construction and Building Materials*, 111, 262-274.
- Chong, D., Wang, Y., Dai, Z., Chen, X., Wang, D., y Oeser, M. (2018). Multiobjective optimization of asphalt pavement design and maintenance decisions based on sustainability principles and mechanistic-empirical pavement analysis. *International Journal of Sustainable Transportation*, 12(6), 461-472.
- Chu, L., & Fwa, T. F. (2019). Functional sustainability of single-and double-layer porous asphalt pavements. *Construction and Building Materials*, 197, 436-443.
- Chu, L., y Fwa, T. F. (2019). Evaluation of surface infiltration performance of permeable pavements. *Journal of environmental management*, 238, 136-143.
- Coleri, E., Kayhanian, M., Harvey, J. T., Yang, K., & Boone, J. M. (2013). Clogging evaluation of open graded friction course pavements tested under rainfall and heavy vehicle simulators. *Journal of environmental management*, 129, 164-172.
- Collins, K. A., Hunt, W. F., y Hathaway, J. M. (2008). Hydrologic comparison of four types of permeable pavement and standard asphalt in eastern North Carolina. *Journal of Hydrologic Engineering*, 13(12), 1146-1157.
- De la Nación, P. (2003). Manual para el Diseño de Planes Maestros para la Mejora de la Infraestructura y la Gestión del Drenaje Urbano.
- Dempsey, B. A., y Swisher, D. M. (2003). Evaluation of porous pavement and infiltration in Centre County, PA. In *World Water y Environmental Resources Congress 2003* (pp. 1-11).

- Deo, O., Sumanasooriya, M., & Neithalath, N. (2010). Permeability reduction in pervious concretes due to clogging: experiments and modeling. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 22(7), 741-751.
- Dierkes, C., Kuhlmann, L., Kandasamy, J., & Angelis, G. (2002). Pollution retention capability and maintenance of permeable pavements. In: Proceedings of the 9th International Conference on Urban Drainage (9ICUD), September 8–13, Portland, OR, USA.
- Dolz Ripollès, J., y Gómez, M. (1994). Problemática del drenaje de aguas pluviales en zonas urbanas y del estudio hidráulico de las redes de colectores. *Ingeniería del agua*, 1(1), 55-66.
- Drake, J. A., Bradford, A., y Marsalek, J. (2013). Review of environmental performance of permeable pavement systems: state of the knowledge. *Water Quality Research Journal of Canada*, 48(3), 203-222.
- Elías, P., y Enrique, E. (2016). Determinación de la tasa de infiltración de los pavimentos de adoquines en el casco urbano de la ciudad de Piura.
- EMIKO, L. (2016). *CHARACTERISTICS OF PERVIOUS CONCRETE FOR PAVEMENT USE* (Doctoral dissertation).
- Fassman, E. A., y Blackbourn, S. (2010). Urban runoff mitigation by a permeable pavement system over impermeable soils. *Journal of Hydrologic Engineering*, 15(6), 475-485.
- Ferguson, B. K. (2006). Porous pavements: the making of progress in technology and design. In *8th International Conference on Concrete Block Paving* (pp. 6-8).
- García Haba, E. (2012). Control de escorrentías urbanas mediante pavimentos permeables: aplicación en climas mediterráneos.
- GARCÍA, L. A. APLICACIÓN DE SISTEMAS DE DRENAJE URBANO SOSTENIBLE EN EL DESARROLLO URBANÍSTICO DE PATERNA (VALENCIA).



- Ghavami, M. S. M., Hosseini, M. S., Zavattieri, P. D., y Haddock, J. E. (2019). Flexible pavement drainage system effectiveness. *Construction and Building Materials*, 218, 99-107.
- Giustozzi, F., Crispino, M., y Flintsch, G. (2012). Multi-attribute life cycle assessment of preventive maintenance treatments on road pavements for achieving environmental sustainability. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 17(4), 409-419.
- Gómez González, G. A., & Villero Guerra, N. L. Evaluación financiera de la implementación de pavimentos porosos en un proyecto inmobiliario localizado en Villas de Granada de la ciudad de Bogotá.
- González-Angullo, N., Castro, D., Rodríguez-Hernández, J., & Davies, J. W. (2008). Runoff infiltration to permeable paving in clogged conditions. *Urban Water Journal*, 5(2), 117-124.
- Grabowiecki, P., & Scholz, M. (2006). The future of permeable pavement systems. In Proceedings of the 4th National Conference held by CIWEM and Aqua Enviro. Aqua Enviro.
- Gupta, A., Rodriguez-Hernandez, J., y Castro-Fresno, D. (2019). Incorporation of Additives and Fibers in Porous Asphalt Mixtures: A Review. *Materials*, 12(19), 3156.
- Hamzah, M., Abdullah, N., Voskuilen, J., & van Bochove, G. (2013). Laboratory simulation of the clogging behaviour of single-layer and two-layer porous asphalt. *Road materials and pavement design*, 14(1), 107-125.
- Henderson, V., & Tighe, S. (2012). Evaluation of pervious concrete pavement performance in cold weather climates. *International Journal of Pavement Engineering*, 13(3), 197-208.
- Hernández-Crespo, C., Fernández-Gonzalvo, M., Martín, M., y Andrés-Doménech, I. (2019). Influence of rainfall intensity and pollution build-up levels on water

- quality and quantity response of permeable pavements. *Science of The Total Environment*, 684, 303-313.
- Hunt, W. F., Stephens, S., y Mayes, D. (2002). Permeable pavement effectiveness in eastern North Carolina. In *Proceedings of 9th International Conference on Urban Drainage*. ASCE. Portland, OR.
- Illgen, M., Harting, K., Schmitt, T. G., y Welker, A. (2007). Runoff and infiltration characteristics of pavement structures—Review of an extensive monitoring program. *Water Science and Technology*, 56(10), 133-140.
- Jaume, A. T. (2016). Gestión de las aguas pluviales en entornos urbanos mediante técnicas de Drenaje Sostenible. *Journal of Engineering and Technology*, 5(2), 26-40.
- Jayasuriya, L. N. N., Kadurupokune, N., Othman, M., y Jesse, K. (2007). Contributing to the sustainable use of stormwater: the role of pervious pavements. *Water Science and Technology*, 56(12), 69-75.
- Jayasuriya, N., y Kadurupokune, N. (2008). Impact of pervious pavements on drainage infrastructure. In *Proceedings of the 11th international conference on urban drainage*, Edinburgh (Vol. 31).
- Jayasuriya, N., y Kadurupokune, N. (2010). Comparative performance of permeable and porous pavements.
- Kadurupokune, N. P. (2008). Sustainable management of stormwater using pervious pavement. RMIT University.
- Kalore, S. A., Sivakumar Babu, G. L., y Mallick, R. B. (2019). Risk Analysis of Permeable Layer in Pavement Subsurface Drainage System. *Journal of Transportation Engineering, Part B: Pavements*, 145(3), 04019028.
- Kayhanian, M., Anderson, D., Harvey, J. T., Jones, D., y Muhunthan, B. (2012). Permeability measurement and scan imaging to assess clogging of pervious concrete pavements in parking lots. *Journal of Environmental management*, 95(1), 114-123.

- Kayhanian, M., Li, H., Harvey, J. T., & Liang, X. (2019). Application of permeable pavements in highways for stormwater runoff management and pollution prevention: California research experiences. *International Journal of Transportation Science and Technology*, 8(4), 358-372.
- Kevern, J. T. (2008). Advancements in pervious concrete technology. Ph.D. thesis. Iowa State University.
- Khankhaje, E., Rafieizonooz, M., Salim, M. R., Mirza, J y Hussin, M. W. (2017). Comparing the effects of oil palm kernel shell and cockle shell on properties of pervious concrete pavement. *International Journal of Pavement Research and Technology*, 10(5), 383-392.
- Kia, A., Wong, H. S., & Cheeseman, C. R. (2017). Clogging in permeable concrete: A review. *Journal of Environmental Management*, 193, 221-233.
- Kumar, K., Kozak, J., Hundal, L., Cox, A., Zhang, H., y Granato, T. (2016). In-situ infiltration performance of different permeable pavements in a employee used parking lot—A four-year study. *Journal of environmental management*, 167, 8-14.
- Kuruppu, U., Rahman, A., y Rahman, M. A. (2019). Permeable pavement as a stormwater best management practice: a review and discussion. *Environmental Earth Sciences*, 78(10), 327.
- Li, J., Zhang, Y., Liu, G., y Peng, X. (2017). Preparation and performance evaluation of an innovative pervious concrete pavement. *Construction and Building Materials*, 138, 479-485.
- Liu, M., Huang, X., & Xue, G. (2016). Effects of double layer porous asphalt pavement of urban streets on noise reduction. *International Journal of Sustainable Built Environment*, 5(1), 183-196.
- Lu, G., Liu, P., Wang, Y., Faßbender, S., Wang, D., y Oeser, M. (2019). Development of a sustainable pervious pavement material using recycled

ceramic aggregate and bio-based polyurethane binder. *Journal of Cleaner Production*, 220, 1052-1060.

Maguesvari, M. U., y Narasimha, V. L. (2013). Studies on characterization of pervious concrete for pavement applications. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 104, 198-207.

Mullaney, J., y Lucke, T. (2014). Practical review of pervious pavement designs. *CLEAN–Soil, Air, Water*, 42(2), 111-124.

Qin, H. P., Li, Z. X., y Fu, G. (2013). The effects of low impact development on urban flooding under different rainfall characteristics. *Journal of environmental management*, 129, 577-585.

Razzaghmanesh, M., y Beecham, S. (2018). A review of permeable pavement clogging investigations and recommended maintenance regimes. *Water*, 10(3), 337.

Rehan, T., Qi, Y., y Werner, A. (2018). Life-cycle cost analysis for traditional and permeable pavements. In *Construction Research Congress 2018* (pp. 422-431).

Rodríguez, J. (2008). *Estudio, análisis y diseño de secciones permeables de firmes para vías urbanas con un comportamiento adecuado frente a la colmatación y con la capacidad portante necesaria para soportar tráfico ligero* (Tesis Doctoral). Universidad de Cantabria, Cantabria, España.

Rodríguez, J. Hernández, D. Castro, M. Calzada, Á. Vega, Z. (2011). *Cuaderno Tecnológico de la PTC: Firmes Permeables*. [Archivo PDF]. [https://www.ptcarretera.es/wp-content/uploads/2015/09/Cuaderno-PTC\\_2-2011\\_Firmes-permeables.pdf](https://www.ptcarretera.es/wp-content/uploads/2015/09/Cuaderno-PTC_2-2011_Firmes-permeables.pdf)

Rommel, M., Rus, M., Argue, J., Johnston, L., & Pezzaniti, D. (2001). Carpark with 1 to 1 (impervious/ permeable) paving: performance of Formpave blocks. In: *NOVATECH'2001, Sustainable Techniques and Strategies in Urban Water Management*, 4 International Conference. Lyon: Graie, 807–814.

- Rushton, B. T. (2001). Low-impact parking lot design reduces runoff and pollutant loads. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 127(3), 172-179.
- Sansalone, J., Kuang, X., y Ranieri, V. (2008). Permeable pavement as a hydraulic and filtration interface for urban drainage. *Journal of irrigation and drainage engineering*, 134(5), 666-674.
- Schaefer, V. R., y Wang, K. (2006). *Mix design development for pervious concrete in cold weather climates* (No. 2006-01). Iowa. Dept. of Transportation. Highway Division.
- Siriwardene, N. R., Deletic, A., y Fletcher, T. D. (2007). Clogging of stormwater gravel infiltration systems and filters: Insights from a laboratory study. *Water research*, 41(7), 1433-1440.
- Tian, X., Yuan, H., Zhang, R., Xu, Y., y Wang, X. (2019). Study on Permeability and Blocking Resistance of Composite Specimen with Double-Layer Permeable Asphalt Mixture. *Advances in Civil Engineering*, 2019.
- Tiggelaar, J. W., y Lisi, R. D. (2009). Porous asphalt proven successful in cold region: WBUUC porous parking lot. In *Cold Regions Engineering 2009: Cold Regions Impacts on Research, Design, and Construction* (pp. 374-383).
- Vélez, L. M. (2010). Permeabilidad y porosidad en concreto.
- Wang, M., Zhang, D., Cheng, Y., y Tan, S. K. (2019). Assessing performance of porous pavements and bioretention cells for stormwater management in response to probable climatic changes. *Journal of environmental management*, 243, 157-167.
- Winston, R. J., Al-Rubaei, A. M., Blecken, G. T., Viklander, M., y Hunt, W. F. (2016). Maintenance measures for preservation and recovery of permeable pavement surface infiltration rate—The effects of street sweeping, vacuum cleaning, high pressure washing, and milling. *Journal of environmental management*, 169, 132-144.

- Woods-Ballard, B., Kellagher, R., Martin, P., Jefferies, C., Bray, R., y Shaffer, P. (2007). *The SUDS manual* (Vol. 697). London: Ciria.
- Xu, C., Tang, T., Jia, H., Xu, M., Xu, T., Liu, Z., Zhang, R. (2019). Benefits of coupled green and grey infrastructure systems: Evidence based on analytic hierarchy process and life cycle costing. *Resources, Conservation and Recycling*, 151, 104478.
- Yang, G., Xu, H., Wang, Z., y Tian, Z. (2017). International Journal of Transportation Science and Technology.
- Yang, Q., Beecham, S., Liu, J., y Pezzaniti, D. (2019). The influence of rainfall intensity and duration on sediment pathways and subsequent clogging in permeable pavements. *Journal of environmental management*, 246, 730-736.
- Zhang, J 2006, *Laboratory scale study of infiltration from pervious pavements*, Masters by Research, Civil, Environmental and Chemical Engineering, RMIT University.
- Zhou, L., Shen, G., Woodfin, T., Chen, T., y Song, K. (2018). Ecological and economic impacts of green roofs and permeable pavements at the city level: The case of Corvallis, Oregon. *Journal of Environmental Planning and Management*, 61(3), 430-450.



## LICENCIA PARA PUBLICACIÓN DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO DE LA UNIVERSIDAD DEL MAGDALENA. -

---

**Ciudad y Fecha:** Santa Marta D.T.C.H., 27 de marzo de 2020

**Trabajo de Investigación (LA OBRA):** Caracterización y Mejoramiento del diseño del pavimento permeable para reducción de escorrentía y contaminación del agua - Un Estudio del arte.

**Autores o Titulares del Derecho:** MARÍA FERNANDA CASADIEGO RODRÍGUEZ

Por medio del presente documento los autores o titulares del derecho de autor confieren a **LA UNIVERSIDAD DEL MAGDALENA** ente universitario autónomo público, de carácter educativo, creado mediante Ordenanza N° 05 de la Asamblea Departamental de 27 de octubre de 1958, con personería jurídica reconocida mediante Resolución N° 831 de 3 de diciembre de 1974, identificada con el NIT 891.780.111 - 8, representada en este acto por **ERNESTO GALVIS LISTA**, mayor de edad, vecino de Santa Marta, identificado con la cédula de ciudadanía N° 13.719.546 expedida en Bucaramanga, en su condición de Vicerrector de Investigación de la alma mater, haciendo uso de la facultad otorgada a la Vicerrectoría de Investigación dirigir y controlar las acciones de protección y propiedad de los resultados de la investigación, según se dispuso en el numeral 9. del ARTICULO 25 del Acuerdo Superior N° 017 de 2011, licencia de uso no exclusiva, limitada y gratuita del Trabajo de investigación arriba mencionado, a efectos de integrarlo en el Repositorio Institucional de **LA UNIVERSIDAD**; dicha licencia estará sujeta a los siguientes términos y condiciones:

**PRIMERA: Objeto.-** La licencia tiene por objeto la autorización no exclusiva, limitada y gratuita de uso respecto de **LA OBRA**, a los efectos de ser reproducida, compilada y publicada en medio impreso o digital dentro del Repositorio Institucional de **LA UNIVERSIDAD**, y otros índices o bases de datos de carácter académico o científico que **LA UNIVERSIDAD** determine, en los que podrá ser objeto de acceso y consulta por parte de sus usuarios. A estos efectos **LA UNIVERSIDAD** podrá efectuar modificaciones del formato o contenido de **LA OBRA**, distribuirla a título gratuito u oneroso, así como reproducirla e incluirla en índices nacionales e internacionales o bases de datos. En general, a los efectos de su difusión académica y científica, **LA UNIVERSIDAD** podrá efectuar cualquier tipo o modo de uso o explotación que de las obras se pueda realizar por cualquier medio conocido o por conocer.

**SEGUNDA: Derechos que la universidad podrá licenciar o autorizar, a su vez, a los usuarios del repositorio institucional.-** **LA OBRA** será publicada y puesta a disposición de los usuarios del Repositorio Institucional de **LA UNIVERSIDAD** para su acceso y consulta, bajo los términos de la licencia pública internacional de derechos de autor Creative Commons Reconocimiento-No Comercial-Sin Obra Derivada CC BY-NC-ND, cuyos términos y condiciones **EL AUTOR/AUTORES** manifiesta(n) conocer y aceptar.

**TERCERA: Alcance del Objeto.-** Sin detrimento de lo dispuesto en el objeto, la autorización de uso objeto de la presente licencia comprenderá, además, los siguientes términos y condiciones:



## LICENCIA PARA PUBLICACIÓN DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO DE LA UNIVERSIDAD DEL MAGDALENA. -

---

a) La publicación de **LA OBRA** debe hacerse en el formato que el Repositorio lo requiera. **EL AUTOR/AUTORES**, autoriza(n) a **LA UNIVERSIDAD** para hacer la vinculación y conoce(n) que dado que se publica en Internet, la comunicación pública tendrá un alcance mundial.

b) **EL AUTOR/AUTORES** faculta(n) a **LA UNIVERSIDAD** para incluirla **LA OBRA** n en los índices y buscadores que se estimen pertinentes y permitan promover su difusión.

c) **EL AUTOR/AUTORES** acepta(n) que **LA UNIVERSIDAD** pueda transformar el documento a cualquier medio o formato para propósitos de preservación digital.

**CUARTA: Licencia Gratuita.-** La licencia objeto del presente Contrato se hace a título gratuito, por lo tanto **EL AUTOR/AUTORES** renuncia(n) a recibir remuneración alguna por cualquier uso o modo de explotación realizado en ejecución de la presente licencia. Así mismo **EL AUTOR/AUTORES** conoce(n) y acepta que los usuarios del Repositorio Institucional podrán hacer un uso a título gratuito de **LA OBRA** al amparo de la licencia Creative Commons que le(s) otorga.

**QUINTA: Duración.-** La presente licencia es de duración indefinida. No obstante **EL AUTOR/AUTORES** podrá(n) revocar la autorización de publicación en el Repositorio Institucional mediante una notificación dirigida a la Biblioteca "Germán Bula Meyer" de **LA UNIVERSIDAD**. No obstante, lo anterior se entiende sin detrimento de los derechos licenciados o autorizados, hasta entonces a los usuarios del Repositorio Institucional al amparo de la licencia Creative Commons, la cual es de carácter irrevocable.

**SEXTA: Garantía de Autoría y Titularidad.-** **EL AUTOR/AUTORES** manifiesta(n) y garantiza(n) que **LA OBRA** se trata de un producto de investigación original de su exclusiva autoría y titularidad de derechos de autor, que se encuentran plenamente facultados para otorgar la licencia objeto del presente contrato, y que con el contenido de la obra no se está vulnerando derechos de terceros, en materia de derecho de autor, derechos de propiedad industrial, derecho al buen nombre, derecho de intimidad o derecho de imagen. En consecuencia **EL AUTOR/AUTORES** saldrá(n) al saneamiento frente a cualquier reclamación de que pueda ser objeto **LA UNIVERSIDAD** por parte de terceros, respecto de la eventual infracción de los mencionados derechos. Así mismo, si **LA OBRA** es producto de un trabajo que ha sido patrocinado o apoyado por una organización, entidad, con excepción de **LA UNIVERSIDAD**, **EL AUTOR/AUTORES** manifiesta(n) y garantiza(n) que se ha cumplido con los derechos y obligaciones requeridos por el respectivo acuerdo.

**SEPTIMA: Limitación de Responsabilidad.-** **EL AUTOR/AUTORES** reconoce(n) y acepta(n) que **LA UNIVERSIDAD** no será responsable de ninguna utilización indebida la **OBRA** por parte de terceros, sean o no usuarios de su repositorio institucional. Por tanto **EL AUTOR/AUTORES** podrá(n) y deberá(n) ejercer directamente las acciones o reclamaciones a que haya lugar por la eventual infracción a sus derechos, única y exclusivamente contra los eventuales responsables de tales infracciones. **LA UNIVERSIDAD** no está en la obligación de asumir ningún tipo de reclamación o gestión al respecto.

En constancia se firma a los veintisiete días del mes de marzo de 2020,

**EL AUTOR/AUTORES**

**LA UNIVERSIDAD**





LICENCIA PARA PUBLICACIÓN DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO DE LA UNIVERSIDAD DEL MAGDALENA. -

**ERNESTO GALVIS LISTA**  
Vicerrector de Investigación

CONFIDENCIALIDAD		
SOLICITUD DE RESTRICCIÓN DE PUBLICACIÓN Aplica <input checked="checked" type="checkbox"/> No Aplica <input type="checkbox"/>		
ESPACIO PARA LOS SOLICITANTES		
Se solicita la restricción de la publicación en el siguiente periodo de tiempo:	DESDE 27 / 03 / 2020	HASTA (Max 5años) 27 / 03 / 2024
JUSTIFICACIÓN DE SOLICITUD:  La información consignada en las pasantías hace parte de información que se reportará en artículos científico cuya producción se realiza a la fecha  Teniendo en cuenta lo anterior, solicitamos aplicar las medidas tecnológicas necesarias para impedir el acceso a los contenidos a quienes no estén facultados legalmente para ello.		
FIRMA DE ESTUDIANTE DE GRADO   _____		