

# **Concreto Permeable como Sistema Alternativo del Pavimento Convencional**

Carlos Eduardo Rivera Vitoviz

Universidad Antonio Nariño  
Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental  
Bogotá D.C  
2020

# **Concreto Permeable como Sistema Alternativo del Pavimento Convencional**

Monografía

Carlos Eduardo Rivera Vitoviz

Director

Ing. Alexandra Morales Rey

Universidad Antonio Nariño  
Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental  
Bogotá D.C  
2020

Nota de aceptación

---

---

---

---

---

---

Nombre Tutor de Tesis de Grado

---

Firma del Jurado 1

---

Firma del Jurado 2

Bogotá D.C., \_\_\_\_ Junio del 2020

## Dedicatoria

El presente trabajo de grado lo dedico:

A mi Madre Susana Vitoviz por darme la vida, por contar siempre con su apoyo y amor durante todos estos años.

A mi Padre Ernesto Rivera por sus consejos, crianza y su constante motivación en los momentos más difíciles.

A mi Esposa Flor María Obando por ser mi alma melliza, y por su constante motivación para cumplir todas mis metas.

A mi Hijo Johan Sebastián Rivera por ser el motor diario de mi vida, por inspirarme a seguir luchando por mis metas, para así poder ofrecerle un futuro prometedor.

## **Agradecimientos**

Agradezco enormemente a mi familia por permitirme ser parte de ella y brindarme su apoyo para continuar con esta bella carrera, también agradezco a los docentes de la Universidad Antonio Nariño por compartir sus conocimientos y formarme como profesional. A mi tutora y maestra Alexandra Morales por ser la persona que me ayudo con la realización de esta monografía y de igual forma a mis amigos que compartieron conmigo en los grupos de trabajo y lograron que avanzara sin decaer, a todos ustedes muchas gracias.

## Tabla de contenido

Glosario.....	11
Resumen.....	13
Abstract.....	14
1 Introducción.....	15
2 Objetivos.....	17
2.1 Objetivo General.....	17
2.2 Objetivos Específicos.....	17
3 Marco Teórico.....	18
3.1 Antecedentes.....	18
3.1.1 Empresas colombianas que trabajan con concreto permeable.....	21
3.1.2 Concreto Permeable.....	22
3.1.3 Propiedades.....	24
3.1.4 Materiales.....	27
3.2 Marco Legal o Normativo.....	31
3.3 Especificaciones para el Diseño del Concreto.....	32
3.4 Sistema constructivo del concreto permeable.....	33
3.5 Sistema constructivo del concreto convencional.....	34
4 Estado del Conocimiento.....	35
4.1 Enfoque al Conocimiento.....	37
4.1.2 Aplicación de Concreto Permeable para Pavimentos: Una Revisión.....	37
4.1.2 Evaluación de Texturas Superficiales y Resistencia al Deslizamiento de Pavimento de Concreto Permeable.....	39
4.1.3 Investigación y Aplicación de Hormigón Permeable como Material de Pavimento Sostenible: Una revisión del Estado de la Técnica y del Estado de la Práctica.....	41

4.1.4 Hormigón Permeable Favorable al Medio Ambiente para una Construcción Sostenible .....	44
4.1.5 Rendimiento del Pavimento de Concreto Permeable Bajo Varias Condiciones de Lluvia .....	46
4.1.6 Evaluación del Desempeño de Campo del Pavimento de Concreto Permeable Reforzado con Novedoso Refuerzo Discreto .....	48
5 Metodología .....	52
5.1 Descripción de la Metodología .....	52
5.2 Construcción de los Resultados .....	52
6 Resultados .....	53
6.1.1 Presentación Básica del Barrio La Estrella con las Razones del Porqué se Selecciona esta Zona. ....	53
6.1.2 Mostrar Métodos de Diseño Actual del Concreto Permeable.....	57
6.1.3 Análisis de Viabilidad del Concreto .....	64
6.1.4 Análisis de pendientes para el concreto poroso .....	76
6.1.5 Análisis de costo/beneficio .....	76
7 Conclusiones .....	79
8 Recomendaciones .....	81
9 Anexos .....	82
10 Referencias.....	87

## Lista de Figuras

Figura 1 Wimpey Houses.....	18
Figura 2 Concreto Permeable en México.....	19
Figura 3. Concreto Permeable en Glorieta.....	20
Figura 4 Concreto Permeable de Argos.....	21
Figura 5 Concreto Pervia de Cemex.....	21
Figura 6 Drena Premium Holcim.....	22
Figura 7. Concreto Permeable.....	23
Figura 8 Aplicaciones de Concreto Permeable.....	24
Figura 9 Permeabilidad del Concreto.....	25
Figura 10 Ensayo de Compresión.....	26
Figura 11 Rangos Típicos de Proporción de Materiales.....	28
Figura 12 Agregados del Concreto Poroso.....	29
Figura 13 Cantidades del Agua.....	29
Figura 14 Aditivo para el Mejoramiento de Concretos.....	30
Figura 15 Normas de Ensayos.....	31
Figura 16 Sistema Constructivo Caso #1.....	33
Figura 17 Sistema Constructivo Caso #2.....	33
Figura 18 Esquema Representativo de un Pavimento de Concreto.....	34
Figura 19. Documentos Publicados por País.....	35
Figura 20 Proporciones Propuestas por Diferentes Investigadores.....	38
Figura 21 Características de la Resistencia a la Compresión.....	38
Figura 22 Optimización de Parámetros de Textura Superficial.....	40
Figura 23 Relación entre el Fractal y Parámetros de Texturas.....	41
Figura 24 Comparación del Concreto Convencional y Concreto Permeable.....	42
Figura 25 Procesamiento de Datos.....	43
Figura 26 Proporciones del Concreto Permeable.....	45
Figura 27 Propiedades del Concreto Poroso.....	45
Figura 28 Muestras de Concreto con Ceniza.....	46
Figura 29 Medición de Tasas de Permeabilidad.....	47
Figura 30 Tasas de Permeabilidad.....	48

Figura 31 Fibras de Carbono.....	49
Figura 32 Proporciones y Condiciones de Diseño .....	49
Figura 33 Proceso Constructivo de los Carriles.....	50
Figura 34 Fibras de Carbono.....	51
Figura 35 Localización Barrio La Estrella.....	53
Figura 36 Pendientes en Función del Terreno .....	54
Figura 37 Evidencia Fotográfica de La Quebrada La Estrella.....	54
Figura 38 Zona Recreativa y Parque del Barrio La Estrella .....	55
Figura 39 Sector I del Barrio La Estrella- Vía Escarpada .....	56
Figura 40 Sector II Barrio La Estrella- Vía Escarpada .....	56
Figura 41 Estado de Algunas Vías del Barrio La Estrella .....	57
Figura 42 Mezcla de Concreto Permeable en Estado Fresco.....	58
Figura 43 Contenido Típico del Material.....	59
Figura 44 Propiedades del Concreto Poroso .....	59
Figura 45 Características de los Materiales con Finos.....	61
Figura 46 Dosificación de los Materiales con Finos.....	62
Figura 47 Características de los Materiales sin Finos.....	63
Figura 48 Dosificación de los Materiales sin Finos .....	64

### Lista de Tablas

Tabla 1 Propiedades del Concreto Permeable .....	27
Tabla 2 Clasificación de Artículos Relevantes .....	36
Tabla 3 Valores de Textura Superficial y Fricción .....	39
Tabla 4 Resultados Obtenidos de Mezcla de Concreto Permeable con Finos .....	62
Tabla 5 Resultados Obtenidos de Mezcla de Concreto Permeable sin Finos .....	63
Tabla 6 Ventajas económicas del concreto permeable y convencional .....	65
Tabla 7 Desventajas Económicas del Concreto Permeable y Convencional .....	66
Tabla 8 Precios del Concreto y Asfalto Poroso .....	67
Tabla 9 Precios del Concreto convencional.....	68
Tabla 10 Precios comerciales del concreto permeable y convencional .....	68
Tabla 11 Ventajas Estructurales del Concreto Permeable y Convencional .....	70
Tabla 12 Desventajas estructurales del concreto permeable y convencional .....	73
Tabla 13 Ventajas ambientales del Concreto Permeable y Convencional.....	75
Tabla 14 Desventajas ambientales del concreto permeable y convencional .....	75
Tabla 15 Análisis de Pendientes Según Autores.....	76
Tabla 16 Análisis de costo/beneficio .....	78
Tabla 17 Análisis de costos concreto poroso tipo I con finos.....	83
Tabla 18 Análisis de costos concreto poroso tipo II sin finos .....	84
Tabla 19 Análisis de costos concreto convencional .....	86
Tabla 20 Análisis de costos concreto convencional 28MPa.....	86

## Glosario

**Absorción:** Es el proceso en el cual un líquido se retiene en un material luego de un determinado tiempo al cual queda expuesto como por ejemplo: suelo, rocas, maderas, etc.

**Acceso:** Es la capacidad de poder adentrarse u obtener una saliente en el contexto vial.

**Alcantarilla:** Componente que hace parte de un sistema de drenaje superficial en vías; elaboradas en los puntos estratégicos para que el agua desemboque en el elemento; se pueden realizar materiales como concreto principalmente, metálicas, etc.

**Asfalto:** Mineral viscoso resultante de diversos componentes, formado en gran parte por betunes natural o como un elemento resultante de refinación del petróleo.

**Calzada:** Sector principal de una vía que tiene como función la circulación adecuada de los automóviles.

**Canal:** Es una zanja construida para acoger y encaminar distintas proporciones del fluido que pueden venir de forma natural o de drenajes cercanos.

**Carretera:** Es el sendero para el tránsito de automóviles y motocicletas de todo tipo; con propiedades geométricas establecidas de acuerdo a la normativa vigentes suministrado por el ministerio y entidades competentes.

**Vía afirmada:** Terreno con superficie de rodadura constituida por distintos estratos de afirmado.

**vía sin pavimentar:** Terreno con superficie de rodadura establecido por materiales gruesos o terreno natural.

**vía pavimentada:** Vía de superficie de rodadura constituida por mixtura flexible o rígida.

**Carril:** Uno de los compentes de la calzada asignado al flujo de automóviles en un mismo sentido.

**Cemento asfáltico:** Cemento particularmente diseñado en referencias de calidad o consistencia para ser usado en pavimentos.

**Concreto:** Combinación de agregados y cemento que puede ser fácilmente alterado para mejorar sus cualidades, denominados aditivos.

**Erosión:** Deterioro generado por el agua en la superficie de la tierra, principalmente se denominan taludes.

**Estudio de prefactibilidad:** Información de análisis que abarca un estudio preliminar de alternativas posibles, donde su función principal es tomar la alternativa más pertinente basándose en el costo/beneficio.

**Estudio de suelos:** Es el conjunto de datos técnicos que abarcan las investigaciones teóricas y experimentales que tiene como función principal analizar el comportamiento del terreno.

**Estabilización de suelos:** Reforzamiento de las propiedades físicas de un terreno por medio de metodologías mecánicas o incorporación de productos artificiales.

**Grieta vial:** Es la deformación o abertura natural del terreno por desgaste de la vía o mala construcción.

**Impacto ambiental:** Es un fenómeno de consecuencia dentro de los ecosistemas a raíz de acciones antrópicas o naturales.

**Impermeabilidad:** Cualidad de un terreno de evitar el paso de fluidos dentro de este.

**Permeabilidad:** De manera inversa a la impermeabilidad, es la cualidad de un terreno o superficie para dejar que un líquido o gas lo atraviese sin modificarlo (solpetroleo, s.f.).

**Obra de carretera:** Construcción llevada a cabo para el desarrollo y comunicación entre distintos puntos, con respaldo de un amplio estudio y estructuración teórica.

**Pavimento:** Material creado para aguantar y repartir los esfuerzos por una estructura y reforzar la seguridad de tránsito. Conformada por las siguientes capas: subbase, base y rodadura.

## Resumen

El trabajo de grado busca presentar una alternativa viable frente al concreto convencional, dado que, la construcción de ciudades modernas se materializan en superficies impermeables que alteran el ciclo natural del agua; es decir, el flujo libre del fluido y del aire; produciendo el incremento de la temperatura en el suelo, fomentando la acumulación del flujo del líquido en diferentes superficies, desbordando los sistemas de drenaje y movilizandolos residuos contaminantes que hacen que el agua altere sus propiedades físicas y químicas; esto lleva como consecuencia, que al ingresar a los ecosistemas se vulnere la calidad de vida a todos los niveles.

De manera que, los pavimentos de concreto permeable son una gran elección porque dan paso al manejo natural del agua sin afectar la configuración vial; y así mismo, en función de sus propiedades y características, brinda un sistema ambientalmente sostenible. Por esta razón, se busca estudiar las variables de manera teórica para la implementación del concreto poroso y, a partir de esto, analizar la viabilidad de aplicación en el sector de la Estrella, en la localidad Ciudad Bolívar, Bogotá D.C.

Donde se encontró, que actualmente no está siendo usado en vías de alto tráfico vehicular por fallos de su estructura debido a la compactación que estos generan, ya que se reduce así su porcentaje de vacíos los cuales no permiten el paso eficiente del agua; Sin embargo, este material novedoso se puede emplear en andenes, ciclo rutas, parqueaderos, parques, entre otros. Los cuales pueden ser favorables para el barrio escogido, ya que algunos de sus caminos y áreas comunes no cuentan con una adecuada pavimentación y drenaje.

**Palabras clave:** Construcción, concreto permeable, suelo, infiltración, drenaje, flujo de agua, contaminación.

### **Abstract**

The degree work seeks to present a viable alternative to conventional concrete, given that the construction of modern cities materialize in impervious surfaces that alter the natural cycle of water; that is, the free flow of fluid and air; producing the increase of the temperature in the soil, promoting the accumulation of the flow of the liquid in different surfaces, overflowing the drainage systems and mobilizing the polluting residues that make the water alter its physical and chemical properties; As a consequence, when entering ecosystems, the quality of life is violated at all levels.

So, pervious concrete pavements are a great choice because they give way to natural water management without affecting the road configuration; and likewise, depending on its properties and characteristics, providing an environmentally sustainable system. For this reason, the aim is to study the variables in a theoretical way for the implementation of porous concrete and, from this, to analyze the viability of the application in the Estrella sector, in Ciudad Bolívar, Bogotá D.C.

Where it is located, which is currently not being used on high vehicular traffic roads due to structural failures due to the compaction that these have, thus reducing their percentage of voids which do not allow the efficient passage of water; However, this novel material can be handled on platforms, cycle routes, parking lots, parks, among others. Those that may be favorable for the chosen neighborhood, since some of its roads and common areas do not have adequate paving and drainage.

**Key Words:** Construction, pervious concrete, soil, infiltration, drainage, water flow, contamination.

## 1 Introducción

A causa de los múltiples daños a los ecosistemas, se han venido planteando diferentes efectos que han generado que la industria reaccione con la implementación de sistemas amigables con el medio ambiente.

Por ello, en el sector de la construcción de vías se han puesto en funcionamiento los pavimentos permeables en diferentes países industrializados; puesto que, ha originado varios beneficios como es la recarga de acuíferos, la mitigación de efectos de la lluvia sobre el pavimento y el considerable incremento de la seguridad de las personas gracias a la disminución de accidentabilidad a causa del control de los encharcamientos sobre las vías. (CIRIA, 2007).

Además, por medio del presente documento se pretende conocer los avances científicos y la información relevante sobre los pavimentos permeables, con el objetivo de analizar los diferentes puntos de vista de otros autores y con ello unificar conocimientos y adaptarlos a las características de la zona La Estrella en Ciudad Bolívar en Bogotá ya que se trata de una zona con poca o pobre pavimentación en sus vías; en la cual, se tendrán en cuenta los beneficios y limitaciones estructurales, económicas y ambientales para evaluar la viabilidad de implementar el concreto.

Es por esto, que partiendo del contexto, llevar a cabo esta investigación es importante; dado que, la inclusión de los sistemas de pavimentación sostenible ayuda a minimizar los impactos negativos generados por la obstaculización del flujo del agua en el ciclo hidrológico; igualmente, se puede conseguir un aprovechamiento del recurso gracias al almacenamiento, no solo para la utilidad del fluido en las actividades diarias, sino también, en la prevención de inundaciones que con el aumento deliberado de la población y las construcciones; cada día se hace más fuerte (Ferguson, 2005).

Adicional a lo comentado anteriormente, de manera indirecta en el POT de Bogotá (Alcaldía de Bogotá, 2017) se ha notado que el suelo con el pasar del tiempo por las mismas construcciones están generando un mayor grado de impermeablización, creando así dos tipos de consecuencias negativas; la primera es que para encontrar el nivel freático, es decir, la reserva de agua subterránea, se hace cada vez más complicada encontrarla debido a la falta de infiltración del fluido, haciendo que el ciclo hidrogeológico se pierda poco a poco. Y la segunda, es que toda la cantidad de agua que no se logra infiltrar se acumula, generando frecuentemente inundaciones y/o encharcamientos en las partes de cotas bajas de la ciudad.

Por lo anterior, se puede inferir que el concreto permeable puede ser parte de la solución a problemas de pavimentación que se están presentando en la actualidad en diferentes barrios de la ciudad de Bogotá.

De manera que, el siguiente trabajo busca analizar la viabilidad de colocación del concreto poroso y adaptarlo a las características propias del sector de La Estrella en Bogotá y en otras partes de Colombia; conocer en paralelo las ideas que algunos países brindan por medio de un estado del arte y finalmente, definir si es recomendable ejecutar algún proyecto con dicho material en diferentes sectores; ya que, se estima que sea una herramienta óptima para enfrentar las adversidades en la calidad de vida, traídas por la falta de desarrollo vial en el país.

## **2 Objetivos**

### **2.1 Objetivo General**

Describir la viabilidad de implementar en el barrio la Estrella, localidad Ciudad Bolívar, ubicado en la ciudad de Bogotá, el uso de pavimento permeable como sistema alternativo del pavimento convencional.

### **2.2 Objetivos Específicos**

Establecer el estado de arte de los pavimentos permeables como alternativa novedosa para la construcción de vías amigables con el medio ambiente.

Resaltar las ventajas y desventajas, estructurales, económicas y ambientales del uso de concreto permeable.

Establecer recomendaciones generales para la implementación de material poroso.

### 3 Marco Teórico

#### 3.1 Antecedentes

El uso concreto permeable tiene la primera aparición en 1852 con la construcción de casas en Reino Unido (American Concrete Institute, 2006) y posteriormente, tras los grandes conflictos económicos presentados en la Segunda Guerra Mundial, se impulsó el uso de este material para la fabricación de viviendas en diferentes países como Escocia, un claro ejemplo fue la edificación de las casas Wimpey Houses mostradas en la figura 1, que se caracterizaron por su buena funcionalidad constructiva (Offenberg, 2008).



Figura 1 Wimpey Houses  
Tomado de Bisfhouse (2020)

No obstante, años después tras el aumento deliberado de la construcción, comenzaron a surgir inconvenientes con los incrementos de escorrentía superficial en ciudades de Estados Unidos, por lo que, en 1970 se vieron obligados a implementar un concreto que formara parte del diseño urbano y asimismo permitiera la infiltración del agua (Fernández & Navas, 2011).

Por lo tanto, su aplicabilidad comenzó a ser cada vez mayor por las grandes ventajas ambientales que provee y con el paso del tiempo no se dieron a esperar las investigaciones enfocadas a diseñar e implementar de manera idónea y funcional el concreto permeable; es así que, Estados Unidos, ha logrado respaldar sus productos por la Agencia de Protección Medioambiental (EPA), gracias a los excelentes estándares de calidad, operatividad y caracterización de propiedades (Argos 360°, 2014).

De la misma manera, importantes ensayos demuestran que la estructura porosa del material permite que pase un caudal suficiente para evitar crecidas del nivel de escorrentía a causa de excesivas precipitaciones y esto se demostró en Estados Unidos por medio de la liberación de 6815 litros de agua sobre el pavimento poroso; los cuales, drenaron satisfactoriamente, dando a conocer la efectividad y utilidad del concreto (Subramanian, 2008).

Sin embargo, en países como Costa Rica que también presentan problemas de inundaciones encontraron que el concreto a veces presenta inconvenientes de funcionalidad, debido a que, la resistencia y permeabilidad están en función de ciertas variables como la relación agua/cemento que pueden influir negativamente en su durabilidad (Fernández & Navas, 2011).

Por otra parte, en México la viabilidad del concreto permeable ha tenido tanta relevancia que, las investigaciones apuntan a usarlos en infraestructura urbana de poco volumen de tránsito; con la finalidad de preservar y optimizar el agua, disminuir la contaminación y los efectos de la temperatura y evitar inundaciones y empozamientos (Cárdenas Gutiérrez, Albiter Rodríguez, & Jaimes Jaramillo, 2016).



Figura 2 Concreto Permeable en México  
Tomado de Hotfrog (2010)

Sumado a esto, en Colombia las estructuras sostenibles son cada vez más usadas; por lo tanto, diversas investigaciones están enfocadas en el desarrollo de proyectos y parámetros que permitan brindar soluciones sustentables; es así que, en sectores de Bogotá ya se han propuesto diseños de concreto poroso como parte de un pavimento rígido en donde se señalan las grandes ventajas hidráulicas y estructurales del hormigón y así mismo, se destaca la importancia de contar con información primaria tal como: estudios geotécnicos, análisis de flujos vehiculares, ensayos

de laboratorio, entre otros (Mendoza & Ospina, 2018), con el objetivo de optimizar materiales y efectuar diseños acordes a las necesidades del sector.

De igual manera, también se han destacado estudios sobre el uso de este material en vías urbanas en localidades como Engativá y Rafael Uribe, las cuales, presentan frecuentes problemas de inundación; en donde, se encontró que el hormigón es una buena opción para evitar empozamientos de agua que afectan en reiteradas veces la movilidad, la salud pública y los bienes materiales y asimismo, su uso permite el restablecimiento de zonas verdes, el cuidado del ciclo hidrológico y la disminución de costos al no necesitar regulares mantenimientos (Guzmán Camacho, 2016).

A parte de eso, se efectuaron en Medellín ensayos para comprobar características de permeabilidad, densidad y resistencia, dentro de lo que se destaca, la influencia de la relación agua/cemento en la permeabilidad, dado que, es necesario que exista una homogeneidad en la interconexión de los poros para así obtener, concretos permeables de alta resistencia a la compresión y a la flexo tracción (Vélez, 2010).



Figura 3. Concreto Permeable en Glorieta Santander- Cartagena  
Tomado de Argos (2015)

Dado lo anterior, actualmente este material se utiliza en distintos ámbitos como: calles residenciales, parqueaderos, parques, áreas de peatonales y de bicicletas, paso de vehículos livianos, en infraestructura sostenible en márgenes de ríos, para control de inundaciones y en diseños hidráulicos que mejoran la calidad y cantidad del recurso hídrico (Aoki, 2009).

### 3.1.1 Empresas colombianas que trabajan con concreto permeable

**Argos:** Empresa pionera en Colombia que trajo por primera vez el concreto permeable. En el año 2016 la empresa presentó por medio de su página oficial de Youtube, este material tan novedoso para el país. En la actualidad sigue trabajando en la producción y comercialización del concreto poroso, diseñando la información relevante y la ficha técnica para los interesados en el producto (Argos, 2017).



Figura 4 Concreto Permeable de Argos  
Tomado de (Argos, 2017)

**Cemex:** Compañía que trabaja con el llamado concreto permeable – Pervia, un material con tecnología que permite la filtración de agua; lo comercializa con toda la información que ellos consideran pertinente como lo es usos, aplicaciones, características, Certificación ISO 9001 y una ficha técnica como documento complementario. (Cemex, s.f.).



Figura 5 Concreto Pervia de Cemex  
Tomado de (Cemex, s.f.)

**Holcim:** Empresa que crea y comercia con Drena-Premium, un concreto poroso de menor densidad que los concreto convencionales. Este material está certificado por los sistemas de gestión de calidad y es conocido por los aportes ambientales y su compromiso sostenible. Además, tiene una ficha técnica con toda la información del producto. (Holcim, s.f.).

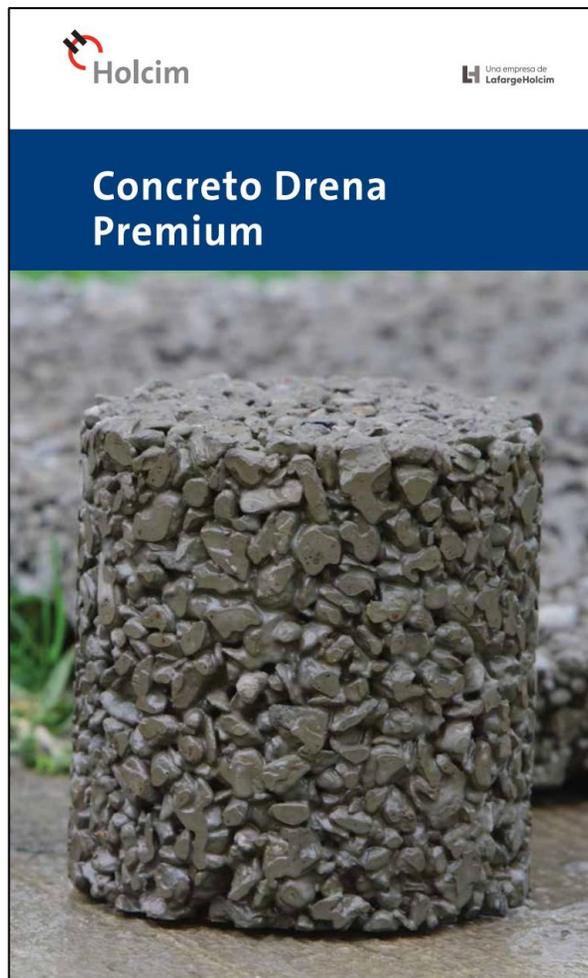


Figura 6 Drena Premium Holcim  
Tomado de (Holcim, s.f.)

### 3.1.2 Concreto Permeable

Es un hormigón de porosidad mejorada, siendo una alternativa innovadora para el control y gestión de escorrentías de aguas pluviales (ACPT, 2012), la restauración del suministro de agua subterránea y la reducción de la contaminación del fluido y el suelo; ya que, permite el paso del

recurso proveniente de precipitaciones a través de las capas asfálticas; sin embargo, este tipo de concreto presenta algunos inconvenientes, en cuanto al bajo rendimiento en regiones frías o áridas o con altas tasas de erosión (National Ready Mixed Concrete Association, 2016).

De tal manera que, el material permeable es una mixtura discontinua de agregados gruesos y otros materiales cementosos como el cemento hidráulico, que se diseñan con un alto porcentaje de vacíos entre el 15% al 25% para garantizar el paso del agua como se muestra en la figura 7; por lo tanto, la construcción e implementación de este material requiere suelos permeables profundos, tráfico restringido y uso de suelo adyacente (State Highway, 2013).

Es así como, este concreto es aplicado principalmente en pavimentos de bajo volumen, caminos residenciales, callejones y entradas, aceras y caminos, estacionamientos, cruce de baja agua, canchas, sub-base para pavimentos de hormigón, bordes de pavimento, cimientos y pisos para invernaderos, criaderos, entre otros (Tennis, Leming, & Akers, 2004).

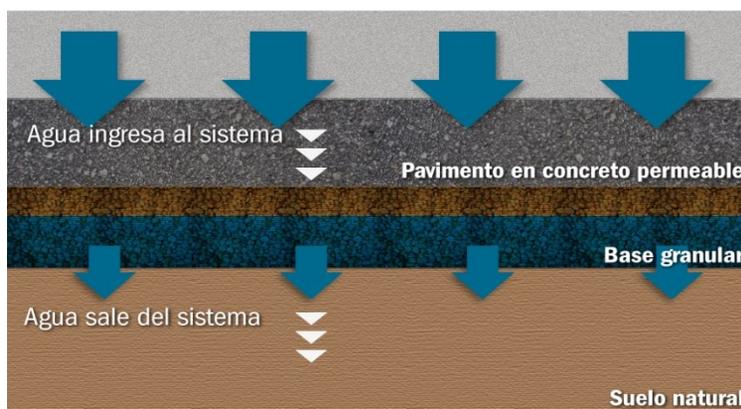


Figura 7. Concreto Permeable

Tomado de Argos 360°

En Colombia, cementos Argos está enfocado en entregar un producto enfocado en fortalecer las actividades relacionadas con el ciclo del agua, en cuanto almacenamiento, reutilización y descongestión del alcantarillado (ArchDaily, 2019).

### 3.1.1.1 Aplicaciones

El concreto permeable ha tenido un gran campo de aplicación dadas las grandes ventajas que ha venido presentando principalmente para el medio ambiente; por lo tanto, se tiene que de manera prioritaria se encuentran en pavimentos para estacionamientos de vehículos, calles residenciales, carreteras con poco tránsito, como se muestra en la figura 8 (ACPT, 2012).



Figura 8 Aplicaciones de Concreto Permeable  
Tomado de Argos 360° (2014)

Asimismo, se pueden usar en piscinas, playas y diques, en aplicaciones a nivel agroindustrial y ecosistémico, para evitar aguas estancadas y como aislantes acústicos y térmicos, entre otros. (Sonebi, Bassuoni, & Yahia, 2016).

### 3.1.3 Propiedades

El concreto permeable se ha caracterizado por su alta permeabilidad que permite drenar el agua de forma rápida y por añadidura, es un concreto muy liviano con un peso que oscila entre 1600 a 2000 kg/m<sup>3</sup> (Chopda & Chhatini, 2015). Dado lo anterior, se tienen grandes ventajas

constructivas, las cuales se pueden evidenciar en las propiedades de los diferentes estados que se presentan a continuación:

### 3.1.3.1 Estado Fresco

Este concreto en estado plástico tiene un comportamiento mucho más rígido; no obstante, en esta fase el hormigón experimenta un asentamiento que suele oscilar entre de  $\frac{3}{4}$  de pulgada a 2 pulgadas o entre 20mm a 50mm a lo cual se conoce como prueba de revenimiento que consiste básicamente en medir las diferencias de alturas entre el molde y la mezcla; no obstante, en cuanto a la compactación, los agregados se encuentran adheridos en especie de matriz, en la cual se controla la densidad, el peso unitario y la depresión; en cuanto a los pesos unitarios, el concreto poroso alcanza cerca del 70% del peso de un concreto tradicional, por lo que se reduce la permeabilidad y en ocasiones es necesario implementar retardadores que permitan prolongar el tiempo hasta 1.5 horas (Tennis, Leming, & Akers, 2004).

### 3.1.3.2 Estado Endurecido



Figura 9 Permeabilidad del Concreto  
Tomado de Argos 360° (2014)

Dentro de las propiedades en estado endurecido se destaca la densidad y la porosidad, que dependen directamente de los materiales y los procesos realizados de acuerdo con las actividades de compactación y colocación del concreto; por otra parte, la densidad del concreto poroso esta alrededor de los 1600 kg/m<sup>3</sup> a 2000 kg/m<sup>3</sup> (Tennis, Leming, & Akers, 2004).

Por otra parte, la permeabilidad depende de los materiales y de los procesos constructivos;

por ello, el caudal que pasa a través del hormigón puede ser de 120 L/m<sup>2</sup>/min con velocidades hasta de 700 L/ m<sup>2</sup>/min; pero, se ha observado que los concretos con agregados de caliza tienen una permeabilidad relativamente más baja y que las mezclas con densidades mayores presentan permeabilidades reducidas y finalmente en cuanto a procesos constructivos, en casos donde la compactación es mayor la permeabilidad se reduce por el poco paso del agua (Luck, Coyne, Workman, & Higgins, 2006).



Figura 10 Ensayo de Compresión  
Tomado de (Pinto, Carrasco, & Caballero, 2020)

La resistencia a la compresión de este concreto puede tener rangos muy variables pero generalmente se pueden presentar entre 3.5 MPa hasta 28 MPa y este depende de las combinaciones de los diferentes materiales; en cuanto a la resistencia a la flexión, se pueden tener 1 MPa hasta 4 MPa y está relacionada con la compactación, porosidad y la relación agua/cemento; por otra parte, en los ensayos de contracción se ha encontrado que las resistencias alcanzan entre el 50% hasta el 80% en los primeros 10 días, en comparación con el 30% que se alcanza en mezclas tradicionales, es por ello, que es importante resaltar que se debe tener en cuenta las juntas de dilatación para que durante el proceso constructivo no se presenten fisuras o fallas en el concreto (Tennis, Leming, & Akers, 2004).

Dado lo anterior se pueden resumir las propiedades en la tabla 1, en la que se consolidan los parámetros posibles del concreto poroso.

<b>Estado Fresco</b>	Revenimiento	3/4 pulg a 2 pulg 20 mm a 50mm
	Peso Unitario	70% del concreto tradicional
	Tiempo de Fraguado	1 hora a 1.5 horas
<b>Estado Rígido</b>	Densidad	1600 kg/m <sup>3</sup> a 2000 Kg/m <sup>3</sup>
	Permeabilidad	120 L/m <sup>2</sup> /min
	Resistencia a la compresión	3.5 MPa - 28MPa
	Resistencia a la flexión	1MPa - 4MPa
	Contracción	Mínima

Tabla 1 Propiedades del Concreto Permeable

Tomado de Tennis, Leming, & Akers (2004)

### 3.1.3.3 Durabilidad

En cuanto a durabilidad, el concreto poroso presenta grandes dificultades en cuanto al comportamiento en climas muy fríos; puesto que, el agua que pasa por los poros se congela y no permite que el concreto funcione de manera adecuada; por otra parte, el hormigón poroso tiene menos resistencia a agentes químicos que el concreto convencional y en términos de abrasión tiene un uso limitado; ya que su resistencia es muy baja dada la superficie rugosa del material (Aoki, 2009).

### 3.1.4 Materiales

Para la realización de concreto permeable se emplean los mismos materiales que uno tradicional, sin embargo, durante esta mezcla el agregado fino se suprime casi por completo y en

cuanto al agregado grueso se debe tener una distribución reducida (Tennis, Leming, & Akers, 2004). Los rangos usados se presentan a continuación en la figura 11.

	<b>Proportions, lb/yd<sup>3</sup></b>	<b>Proportions, kg/m<sup>3</sup></b>
Cementitious materials	450 to 700	270 to 415
Aggregate	2000 to 2500	1190 to 1480
Water:cement ratio*** (by mass)	0.27 to 0.34	
Aggregate:cement ratio*** (by mass)	4 to 4.5:1	
Fine:coarse aggregate ratio**** (by mass)	0 to 1:1	

Figura 11 Rangos Típicos de Proporción de Materiales

Tomado de Tennis, Leming, & Akers (2004)

#### **Cemento:**

Se puede implementar cemento convencional, mezclado o materiales suplementarios como cenizas volantes o puzolanas, pero en todos los casos se debe considerar los procesos y tiempos de fraguado, alcance de la resistencia, porosidad, permeabilidad, entre otros; de igual manera, es importante considerar que al agregar materiales como la escoria se puede tener un aumento de la durabilidad, reducción de permeabilidad y de las fisuras; si se adicionan partículas esféricas se tiene un aumento de la resistencia y durabilidad; por lo tanto, son usados principalmente en construcciones de mayor altura (National Ready Mixed Concrete Association, 2011).

#### **Agregados:**

Los agregados son minerales no metálicos en forma de partículas y pueden ser finos o gruesos; donde principalmente son arena y grava; en el concreto poroso el agregado fino no es empleado o se usa en muy pocas cantidades y en cuanto a los agregados gruesos las partículas más grandes son las apropiadas para usos de tráfico. Usualmente, se ha encontrado que los agregados

redondeados son los que presentan mayores propiedades de resistencia y se pueden emplear los de granulometría retenidos en tamices de  $\frac{3}{4}$  de pulgada hasta 1 pulgada (National Ready Mixed Concrete Association, 2011).



Figura 12 Agregados del Concreto Poroso  
Tomado Argos 360° (2014)

### Agua:

El contenido de agua para el material permeable debe tener un riguroso control dado que se pueden presentar desmoronamientos o colapsos, puesto que, alcanzar pastas muy fuertes no siempre indica que se tenga una buena resistencia. Como dato adicional, el agua usada puede ser potable o reciclada siempre y cuando cumpla con las especificaciones ASTM C 94 o AASHTO M 157 (Tennis, Leming, & Akers, 2004).

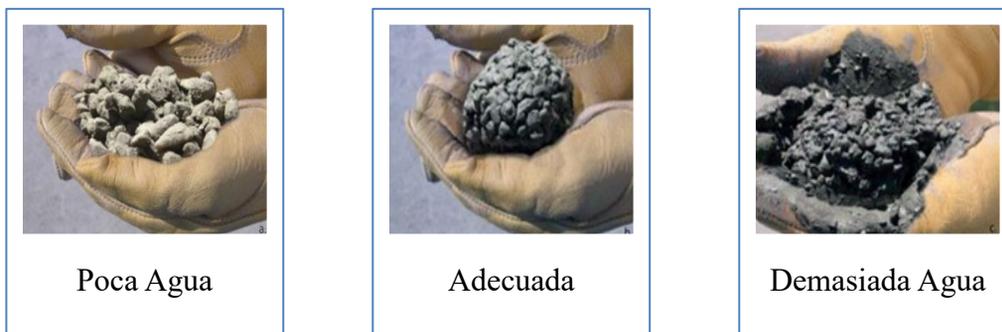


Figura 13 Cantidades del Agua  
Tomado de Tennis, Leming, & Akers (2004)

**Aditivos:**

Los aditivos en el concreto poroso normalmente no son usados, pero en mezclas muy particulares en donde el concreto tiene baja trabajabilidad se puede encontrar este producto, por lo tanto, es usual utilizar retardantes o hidratantes para alcanzar un tiempo idóneo de trabajo; ya que, se tiene una mejora de la viscosidad que permite agregar mayor agua sin que la pasta tenga que drenar (Obla & Sabnis, 2015).



Figura 14 Aditivo para el Mejoramiento de Concretos  
Tomado de: mercado libre México 2020

### 3.2 Marco Legal o Normativo

De acuerdo con el creciente uso del concreto permeable en diferentes lugares del mundo, el comité internacional ASTM ha propuesto ciertas normas y pruebas que permitan la estandarización de los procesos en cuanto a parámetros de densidad y resistencia (ASTM , 2010), actualmente para este hormigón se pueden destacar las pruebas de la resistencia mostradas en la figura 15.

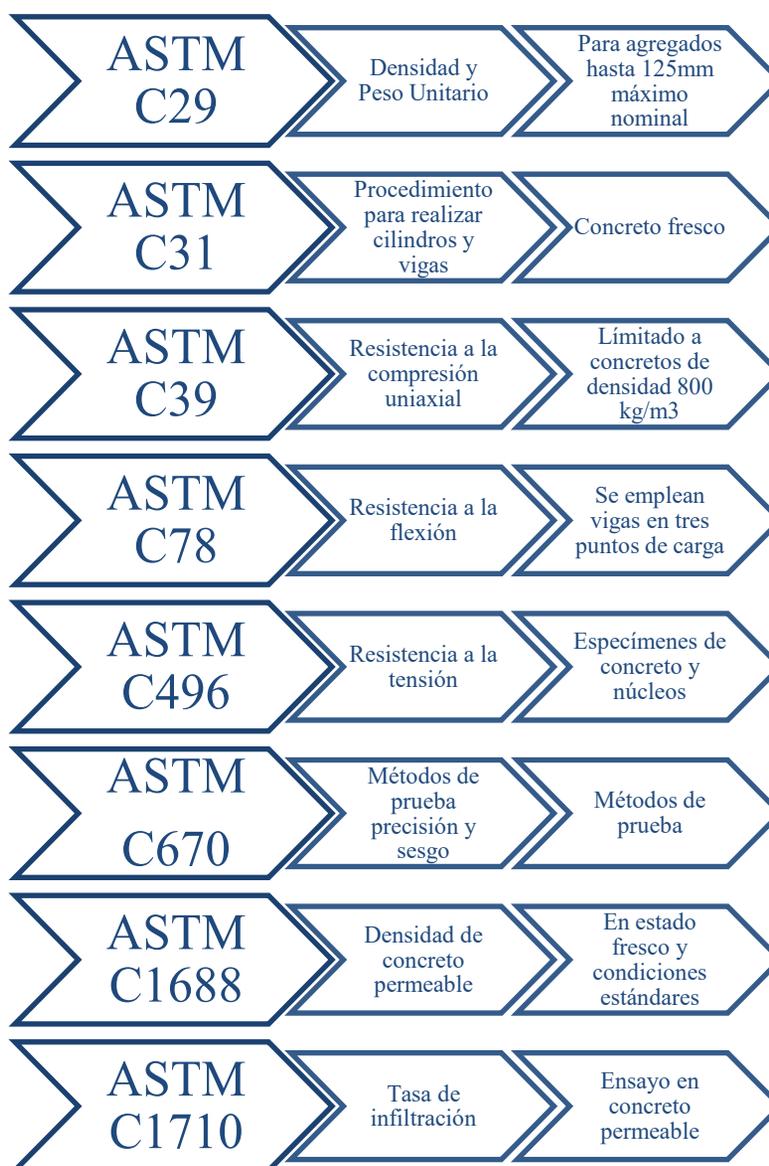


Figura 15 Normas de Ensayos

Tomado de (Porras, 2017)

### 3.3 Especificaciones para el Diseño del Concreto

De igual manera, en cuanto a la normativa del concreto permeable se puede destacar principalmente las siguientes especificaciones:

#### **Cemento:**

- ASTM C150: Especificación normalizada para los ocho diferentes tipos de cemento Portland y algunos cementos de clasificación combinada (ASTM, 1996)
- ASTM C595: Especificación normalizada para cementos con adiciones hidráulicas, que contienen escoria y puzolana; por lo tanto, en esta norma se indican los materiales, cantidades y requisitos y propiedades de desempeño (ASTM, 1996).
- ASTM C1157: Normativa para ensayos de los cementos hidráulicos de uso general, de uso especificado, de fuerza rápida, de resistencia moderada y de bajo calor de hidratación, de acuerdo con las propiedades de resistencia y durabilidad (Vergara, 2016).

#### **Agua:**

- INVIAS Artículo 500: El agua que se emplea para la preparación de la combinación del material tiene que hallarse totalmente puro y despejado de cualquier tipo de contaminante; por lo tanto, es recomendable usar agua potable y en casos en los que el recurso sea de diferentes fuentes, se deben realizar ensayos de pH, resistencia a la compresión de las mezclas con el agua que se va a usar y tiempo de fraguado (INVIAS, 2015).

#### **Agregado Grueso:**

- INVIAS Artículo 500: El agregado grueso usualmente proviene de rocas trituradas y gravas; las cuales, deben cumplir con unas condiciones mínimas de limpieza, resistencia, calidad, durabilidad y tamaño (INVIAS, 2015).

### 3.4 Sistema constructivo del concreto permeable

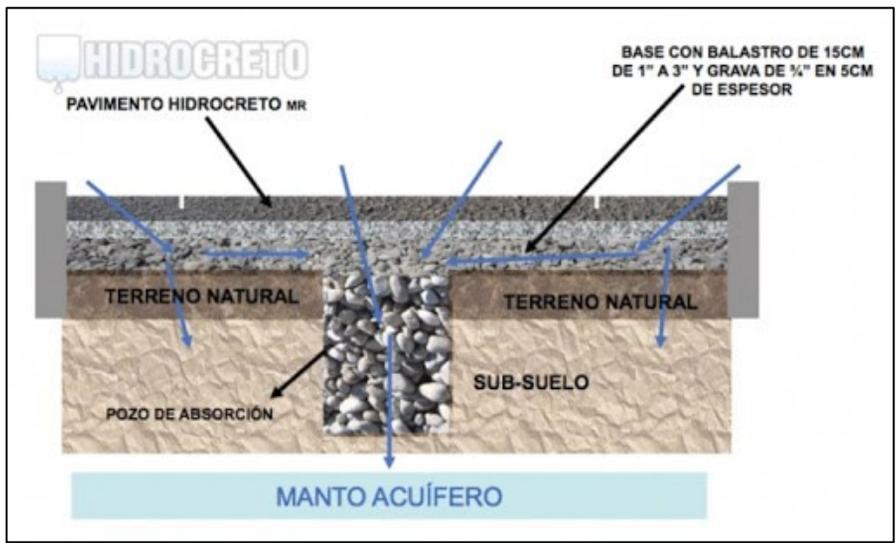


Figura 16 Sistema Constructivo Caso #1  
Tomado de (Concreto ecológico de México, S.A. de C.V., s.f.)

Como sistema constructivo se plantea el concreto permeable formado por un pozo de absorción en el subsuelo y en el terreno natural, seguido de una base con balastro de 15 cm de 1" a 3" y grava de 3/4" en 5 cm de espesor como se muestra en la figura 16. (Concreto ecológico de México, S.A. de C.V., s.f.).

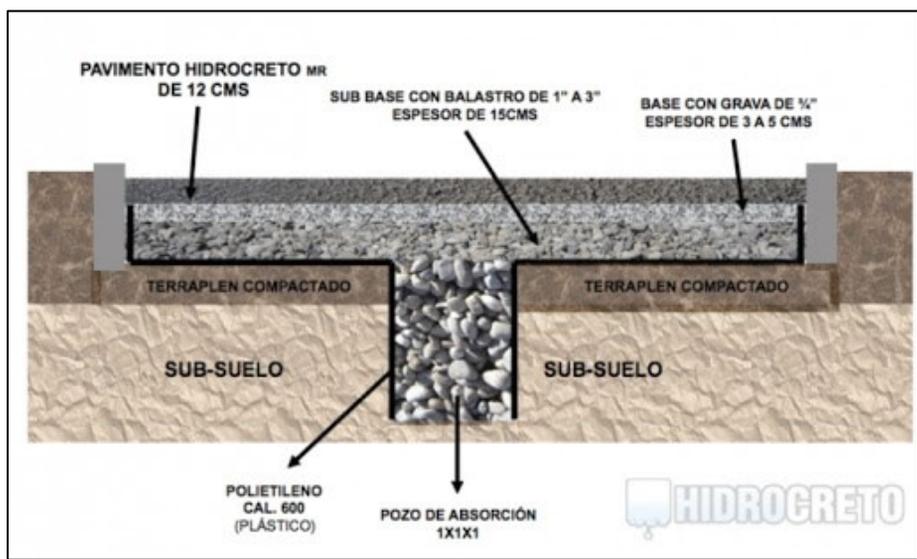


Figura 17 Sistema Constructivo Caso #2  
Tomado de (Concreto ecológico de México, S.A. de C.V., s.f.)

Para la figura 17, se presenta otro caso de sistema constructivo en caso de tener un terraplén compactado, la diferencia radica en la sub-base con balastro de 1" a 3" con espesor de 15 cm; seguido de una base con grava de ¾" de espesor entre los 3 y 5 cm y finalmente, un pavimento de hidrocreto de 12 cm de grosor. (Concreto ecológico de México, S.A. de C.V., s.f.).

### 3.5 Sistema constructivo del concreto convencional

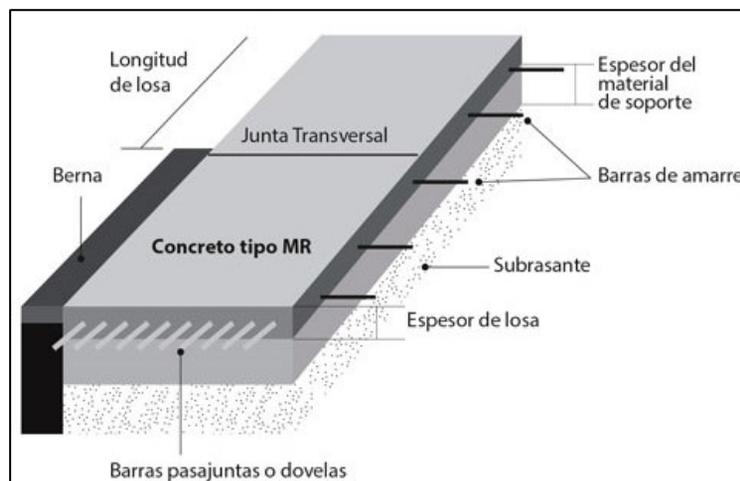


Figura 18 Esquema Representativo de un Pavimento de Concreto  
Tomado de (Fortrims, 2020)

Para el caso del sistema constructivo del concreto convencional encontramos, una subrasante, una base o sub-base o las dos, en casos de ser necesario, y un espesor de losa hecho en concreto convencional; Teniendo en cuenta que, al ser losas de concreto, es necesario tener juntas transversales entre ellas, además de dovelas y barras de amarre.

#### 4 Estado del Conocimiento

Con el aumento generalizado de la población, la industria y la construcción, las afectaciones en el ambiente cada día son más evidentes, es por ello, que existe una búsqueda constante de alternativas que permitan la preservación del planeta, a nivel constructivo el concreto permeable ha logrado proporcionar diversas ventajas en cuanto a la protección al ciclo del agua y la reducción de contaminantes.

De tal manera que, se hace necesario realizar diferentes estudios e investigaciones que permitan diseñar mejores productos, a partir de esto, se han dado avances en todo el mundo, particularmente, Colombia es uno de los países con mayor número de publicación de artículos según la base de datos de Scopus de la figura 19.

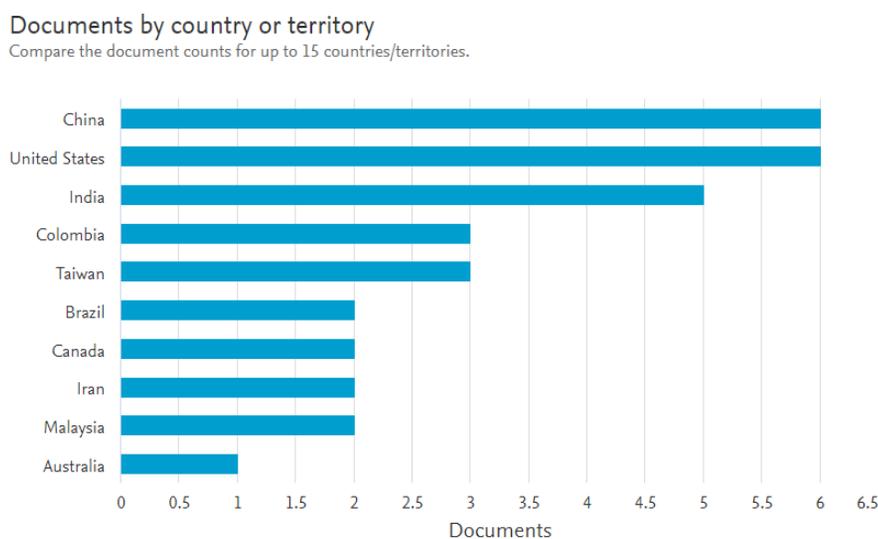


Figura 19. Documentos Publicados por País  
Tomado de Scopus (2020)

De forma particular, la revisión del estado del conocimiento se realizó de acuerdo con la base de datos de la Universidad Antonio Nariño, en la que se consultaron editoriales como Scopus, Elsevier y Springer encontrando publicaciones relacionadas con las aplicaciones y propiedades del

concreto permeable, en los cuales seleccionaron los siguientes artículos de investigación como se muestra en la tabla 2.

<b>Editado Por:</b>	<b>Cantidad:</b>	<b>Autores:</b>
<b>Elsevier</b>	8	(Tabatabaeian & Khaloo, 2019) (Debnath & Pratim , 2020) (Hanh, Boutouil, Sebaib, Baraud, & Leleyter , 2017) (Wu, Liu, Sun, & Yin, 2016) (AlShareedah, y otros, 2019) (Bonicelli, Martínez , Arguelles, & Fuentes, 2016) (Zhong, Leng, & Poon, 2018) (Sartipi, 2019)
<b>Springer</b>	7	(Yu, Ke-jin, & Wen-fang, Evaluation of Surface Textures and Skid Resistance of Pervious Concrete Pavement, 2013) (Bateni, y otros, 2019) (Yu, Di, & Ke, Mechanical Properties of Pervious Cement Concrete, 2012) (Sriravindrarah, Huai, & Wen, 2012) (Yousefi & Matavos, 2018) (Volder, Viswanathan, & Watson, 2014) (Habulat, Mohd, Norhasri, Hassan, & Hafida , 2018)
<b>Scopus</b>	6	(Niyazuddin & Senthil, 2017) (Dash & Kar, 2018) (Hassan & Kianmehr, 2019) (Wei, Kuei, & Yuan, 2019) (Šeslija, Radovic´, Kukaras, Starcev, & Jokanovic, 2018) (Shabalala & Ekolu, 2019)
<b>Taylor &amp; Francis</b>	4	(Kabagire & Yahia, 2016) (Saaly, Mostafa, & Golroo, 2018) (Raj & Chockalingam, 2019) (Grubeša, Barišić, Keser, & Vračević, 2018)

Tabla 2 Clasificación de Artículos Relevantes

Elaboración Propia (2020)

## **4.1 Enfoque al Conocimiento**

De acuerdo con toda la revisión bibliográfica y analizando los temas de mayor relevancia para identificar la viabilidad de la implementación del concreto permeable en vías urbanas, se muestran a continuación los artículos que permiten evidenciar aplicaciones y características del concreto permeable.

### **4.1.2 Aplicación de Concreto Permeable para Pavimentos: Una Revisión**

El concreto permeable es un tipo de concreto con gran porosidad, que se usa principalmente en las vías para dejar pasar el agua proveniente de la precipitación, con la finalidad de recargar los acuíferos subterráneos, eliminar la retención del agua y escatimar costos en materiales; de tal manera que, la investigación se enfocó en una revisión de los parámetros constructivos del concreto poroso.

Es así como, en el ámbito experimental el concreto poroso es estructurado a partir de agregado grueso, cemento, agua y algunos aditivos que permiten alcanzar una mayor trabajabilidad en la mezcla; por lo tanto, en términos más específicos de diseño, el agregado grueso empleado varía entre 9,5mm hasta 19mm, sin embargo, es recomendable emplear agregado pequeño proveniente de rocas ígneas; ya que, aumentan la resistencia del pavimento (Niyazuddin & Senthil, 2017).

De igual manera, para las mezclas es usado el cemento Portland tradicional, donde, se analizó que las relaciones de agua/cemento entre 0,27 a 0,30 alcanzan una mejor resistencia (Niyazuddin & Senthil, 2017); por ello, en cuanto al planteamiento, es trascendental considerar un adecuado espesor de cemento; puesto que, si se emplean grosores muy grandes se disminuye considerablemente la resistencia; de igual manera, algunos aditivos como los incorporadores de aire pueden conducir a incrementar la durabilidad en cambios bruscos de temperatura.

Sin embargo, durante el descubrimiento de este material se han encontrado diversos parámetros y especificaciones de dosificación en los materiales como se muestra en la figura 20.

Year	Aggregate ( Kg/m <sup>3</sup> )	Cement ( Kg/m <sup>3</sup> )	Water ( Kg/m <sup>3</sup> )	Aggregate To Cement ratio (A/C ratio)	Water- Cement Ratio (W/C ratio)	Author
1995	1740	348	135.72	5:1	0.390	Dutta and Ghaffori <sup>10</sup>
	1800	300	125.4	6:1	0.418	
2010	1486.9	330.4	115.6	4.5:1	0.35	B.Huang , H. Wu, X.Shu <sup>19</sup>
	1586.9	352.6	123.4	4.5:1	0.35	
2010	1524	305	101	5:1	0.33	O.Deo,Neithalath <sup>18</sup>
	1544	309	102	5:1	0.33	
2013	1560	367	110.1	4.25:1	0.30	E.Lim K.H.Twan <sup>4</sup>
	1560	495	148.5	3.15:1	0.30	
2014	1600	200	70	8:1	0.35	A.Ibrahim,E.Mahmoud <sup>20</sup>
	1600	150	52.85	12:1	0.35	

Figura 20 Proporciones Propuestas por Diferentes Investigadores  
Tomado de (Niyazuddin & Senthil, 2017).

Por otra parte, las propiedades mecánicas y de resistencia se han visto ligadas a las relaciones de agregado /cemento y se especifica que el uso de arenas y sílice, entre otros, pueden mejorar la resistencia a la compresión, como se observa en la figura 21 que se compilan características de la compresión del concreto.

Year	Study parameter	Major conclusion	Author
1995	Compaction, A/C Ratio, W/C Ratio	Drying Shrinkage was half of conventional concrete	N.Ghaffori, S Dutta <sup>10</sup>
2010	Type of aggregate, sand , silica fume	Silica fume without admixture is not effective to increase Compressive strength	C.Lian, Y.Zhuge <sup>25</sup>
2011	Aggregate size	Aggregate with small angularity number provides high strength and less permeability	A.K.Jain and Chouhan <sup>27</sup>
2014	Rubber type and Rubber content	Rubber chips have negative effect on compressive strength	M.Gesoglu, E.Guneyisi <sup>28</sup>

Figura 21 Características de la Resistencia a la Compresión  
Tomado de (Niyazuddin & Senthil, 2017)

#### 4.1.2 Evaluación de Texturas Superficiales y Resistencia al Deslizamiento de Pavimento de Concreto Permeable

Las texturas en el pavimento son un componente importante para proveer una excelente resistencia al deslizamiento; de manera particular, el hormigón permeable logra brindar capas antideslizantes que absorben el ruido y adicionalmente presentan mayor durabilidad que los pavimentos tradicionales (Yu, Ke-jin, & Wen-fang, Evaluation of Surface Textures and Skid Resistance of Pervious Concrete Pavement, 2013).

Ya en contexto, de manera general la resistencia al deslizamiento permite evaluar las velocidades de los vehículos y su relación con las tasas de accidentalidad, para ello, se tienen en cuenta las condiciones de humedad de la capa de rodadura y las microtexturas; en donde, las texturas dependen principalmente del agregado grueso su tamaño, forma, angularidad, espaciado y distribución (Yu, Ke-jin, & Wen-fang, Evaluation of Surface Textures and Skid Resistance of Pervious Concrete Pavement, 2013). Dado lo anterior, el pavimento se clasifica en referencia a la estructura del material con el objetivo de identificar factores de diseño; los cuales, que depende de la longitud, profundidad y fricción como se muestra en la tabla 3.

<b>Característica de la Superficie</b>	<b>Nomenclatura</b>	<b>Profundidad de Microtextura (mm)</b>	<b>Profundidad de Macrotextura (mm)</b>	<b>Longitud de Onda</b>	<b>Fricción Coeficiente<sup>b,c</sup> %</b>
<b>Superficie lisa</b>	A	0,02	0,3	10	20 (20,1)
<b>Superficie lisa y dura</b>	B	0,05	0,3	77	60 (60,0)
<b>Superficie rugosa</b>	C	0,02	1,0	77	25 (25,3)
<b>Superficie áspera y dura</b>	D	0,05	1,0	44	65-70 (76,9)
	Pavimento típico	0,03	0,7	77	40 (39,4)

Tabla 3 Valores de Textura Superficial y Fricción

Adaptado de (Yu, Ke-jin, & Wen-fang, 2013).

No obstante, dentro del estudio de las texturas del pavimento se tiene como parámetro una interpolación fractal, que se define como la cantidad de autosimilitud en todas las micro y macro escalas; por lo cual, el concreto permeable pueden analizarse como un fractal (D), gracias a su característica de aleatoriedad de poros y agregado expuesto (Yu, Ke-jin, & Wen-fang, Evaluation of Surface Textures and Skid Resistance of Pervious Concrete Pavement, 2013).

Sumado a esto, la erosión natural de la capa de rodadura puede probarse a través de teorías de la probabilidad como los métodos estocásticos y los parámetros de desgaste por medio de análisis estadísticos, es así como, las texturas del concreto se estudian por medio de fotografías digitales de las secciones transversales para modelarlas en función de un procesamiento de imágenes como MATLAB, los cuales, pueden procesos presentan algunos errores a causa de las interpolaciones.

Por ende, en la tabla 4 se determinan algunas relaciones de la optimización de las texturas, en función de indicadores como el ruido de vibración de los neumáticos ( $h_d$  y  $X_A$ ), afectaciones del ruido ( $r_A$ ) y factores relacionados con curvas de contorno del hormigón permeable a partir del fractal (D) como se evidencia en la figura 22.

Surface texture parameter	Impact		Optimization of surface texture parameter	Optimization of fractal dimension
	Skid resistance	Noise reduction		
$h_s$	Significant	—	Large	High
$h_b$ or $h_A$	General	Slight	Large	High
$\omega$ or $x_A$	Significant	Significant	Small	High
$r_A$	Significant	General	Small	High
$h_d$	—	Significant	—	—

Figura 22 Optimización de Parámetros de Textura Superficial

Tomado de (Yu, Ke-jin, & Wen-fang, 2013).

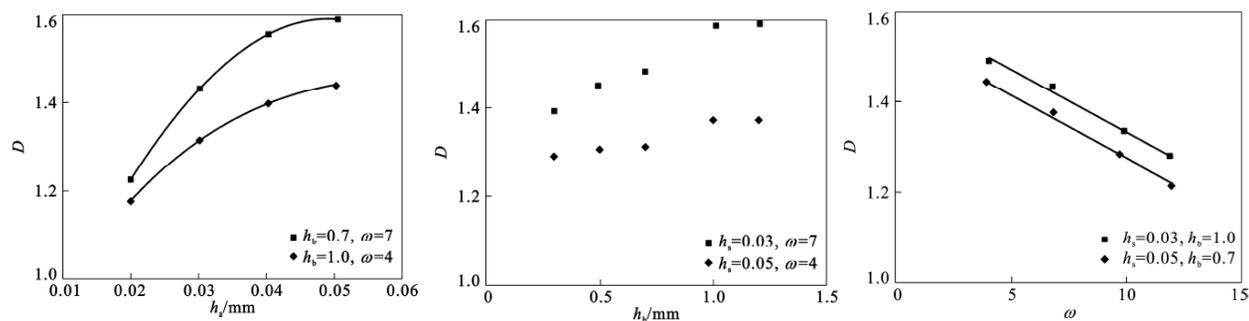


Figura 23 Relación entre el Fractal y Parámetros de Texturas

Tomado de (Yu, Ke-jin, & Wen-fang, 2013).

En consecuencia, se encontró que el fractal (D) y las curvas de contorno del pavimento indican que la macro y micro textura del pavimento permeable superan diferentes deficiencias, esto a causa de la optimización de parámetros a través de métodos iterativos estadísticos, probabilísticos, que proporcionan características más aproximadas para el diseño y reducción de accidentalidad en las vías.

Asimismo, se concluyó por medio del estudio que el concreto permeable, tiene mayor durabilidad y vida útil frente a la abrasión y estos factores depende mucho de los materiales usados, tipo de agregados, gradaciones, relaciones y proporciones de mezclas.

#### 4.1.3 Investigación y Aplicación de Hormigón Permeable como Material de Pavimento Sostenible: Una revisión del Estado de la Técnica y del Estado de la Práctica

En concordancia con la revisión realizada se destaca que el concreto permeable tiene poca presencia de agregado fino para obtener superficies con determinado número de poros que dan paso al aire y al agua para almacenarse en las capas subterráneas como se muestra en la figura 24; con el propósito de controlar la calidad de la escorrentía de aguas pluviales, aislar el calor, disminuir el ruido generado por los neumáticos, aumentar la seguridad del tráfico y garantizar la recuperabilidad del ciclo hidrológico, entre otros (Zhong, Leng, & Poon, 2018); por ello, se destacan características del concreto y sus usuales aplicaciones en el diseño de vías.

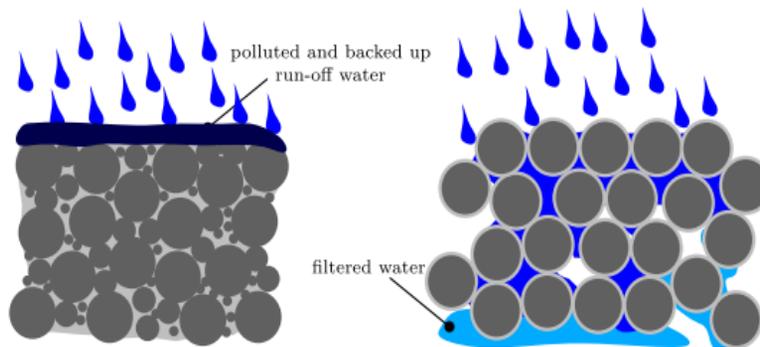


Figura 24 Comparación del Concreto Convencional y Concreto Permeable

Tomado de (Zhong, Leng, & Poon, 2018)

Por lo tanto, ya de manera estructural el concreto permeable se destaca por estar conformado de poros, pero no cualquier tipo de vacío sirve para el drenaje del agua, como es el caso de los huecos pequeños que por efecto de capilaridad y tensión superficial dificultan la conducción del fluido; por esta razón, aunque existen procedimientos planteados por AASHTO T166 este no es aplicable para este tipo de material.

De manera que, existen otros métodos que conllevan a la realización de ensayos de porosidad para determinar qué proporción es óptima para el paso del aire y del agua; sin embargo, este tipo de análisis requieren de recuentos estadísticos, con figuras de rayos X que son modificadas para obtener imágenes binarias y procesarlas por medio de MATLAB (Zhong, Leng, & Poon, 2018), de forma similar, se ha cuantificado la porosidad por tomografía computarizada en un enfoque (IA), los cuales, suministran información relevante para la distribución y tamaño del agregado, en un proceso de análisis tal y como se presenta en la

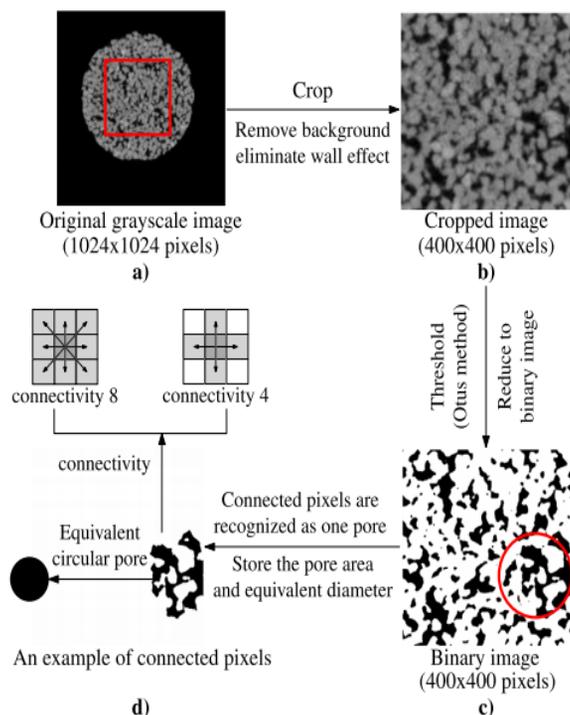


Figura 25 Procesamiento de Datos

Tomado de (Zhong, Leng, & Poon, 2018)

De igual manera, es pertinente comprender la permeabilidad del agua en función del medio poroso, es necesaria para que exista una correcta funcionalidad del concreto permeable, sin embargo, las metodologías tradicionales como la Ley de Darcy pueden no ser suficientes para predecir este comportamiento; puesto que, se ha considerado que el modelo lineal solo analiza la porosidad, pero dentro de la conductividad eléctrica la tortuosidad de los poros también genera gran influencia (Zhong, Leng, & Poon, 2018).

Por otra parte, algo importante en el concreto permeable es que se usa en los pavimentos para disminuir principalmente el ruido generado por el paso de los vehículos; ya que, se cree que el incremento de los poros disminuye y absorbe las bombas de aire generadoras del sonido; los cuales son causantes de la contaminación auditiva que afecta la salud pública de las personas que viven cerca de las vías.

En cuanto al rendimiento mecánico y de durabilidad, se tiene que la resistencia típica del concreto permeable oscila entre 7MPa y 25MPa; en donde, se pueden obtener mezclas con mayor capacidad, pero incluyendo materiales cementosos o humo de sílice que pueden incrementar la resistencia hasta los 40MPa; por lo tanto, dentro del diseño de mezclas se considera el tamaño, distorsión y densidad de los agregados gruesos, lo anterior a causa de que la durabilidad se ve comprometida por la gran cantidad de vacíos presente en este tipo de concreto (Zhong, Leng, & Poon, 2018).

#### **4.1.4 Hormigón Permeable Favorable al Medio Ambiente para una Construcción Sostenible**

Actualmente con la gran demanda de construcciones en el mundo, los pavimentos principalmente están diseñados para resistir los efectos de la intemperie, impidiendo el paso del aire y el agua hacia el suelo natural; lo cual, ocasiona desequilibrios en los ecosistemas; por lo tanto, parte de la solución es el concreto permeable, sin embargo, este concreto suele presentar resistencias no tan altas en lo que se ha tratado de mejorar adicionando cenizas volantes para mejorar sus propiedades mecánicas (Dash & Kar, 2018).

En cuanto a los materiales empleados se destacan: el cemento, el agregado grueso, poca cantidad de arena y agua con proporciones usuales como las mostradas en la figura 26; pero de acuerdo con requerimientos de diseño es usual agregar aditivos entre 5 % y el 7% y humo de sílice en proporciones entre el 7% y 15% para obtener máximas resistencias (Dash & Kar, 2018).

Materiales	Proporción
Material cementoso	270 a 450 Kg/m <sup>3</sup>
Agregados	1190 a 1480 Kg/m <sup>3</sup>
Proporción cemento por masa	0.27 a 0.40
Proporción agregado por masa	4 a 6:1
Mezcla	5-7%
Fina: relación de agregado grueso por masa	0 a 1:1

Figura 26 Proporciones del Concreto Permeable  
Tomado de (Dash & Kar, 2018).

De la misma forma, las propiedades del concreto como la resistencia a la compresión y a la tracción, la porosidad, la densidad entre otras en promedio están dentro de los rangos consolidados en la figura 27.

Densidad	1600 a 2000 Kg/m <sup>3</sup>
Resistencia a la compresión	3.5 a 28 MPa
Resistencia a la flexión	1 a 3.8 MPa
Resistencia a la tracción	1 a 3 MPa
Permeabilidad	8-20 mm/s
Porosidad	15 a 35%

Figura 27 Propiedades del Concreto Poroso  
Tomado de (Dash & Kar, 2018).

Con base en lo anterior, se han examinado muestras de concreto con reemplazos hasta del 50% de cemento por cenizas volantes, las cuales, no generaron un cambio significativo en la permeabilidad, pero si mejoró notablemente la resistencia del hormigón.

La investigación se llevó a cabo en la India, donde se analizaron diversas muestras en tamaños de (150mm\*150mm\*150mm) para medir la resistencia a la compresión y tamaños de (500mm\*100mm\*100mm) para la resistencia a la flexión y cilindros de (150mm\*300mm) para determinar la permeabilidad (Dash & Kar, 2018)., como se muestra en la figura 28.



Figura 28 Muestras de Concreto con Ceniza

Tomado de (Dash & Kar, 2018).

A nivel de costos, el proceso constructivo del concreto permeable requiere diseños controlados para obtener la porosidad deseada; por lo que, es común que el valor sea mayor; sin embargo, su precio puede verse compensado por los ahorros en mantenimientos, tratamientos de agua y eliminación de sistemas de drenajes.

#### **4.1.5 Rendimiento del Pavimento de Concreto Permeable Bajo Varias Condiciones de Lluvia**

El uso del concreto permeable destacado por ser alternativa sustentable en el control de inundaciones necesita garantizar su funcionalidad y durabilidad, por ello, el rendimiento se evalúa a partir del monitoreo los impactos de las intensidades de la precipitación, para el ensayo se tomó como referencia un periodo de tiempo de cuatro (4) meses, en el concreto ya instalado de la

carretera principal del campus de la Universidad Tecnológica de Amirkabir ubicada en Irán que presenta precipitaciones anuales de 229mm y humedad del 40% (Saaly, Mostafa, & Golroo, 2018).

De manera que, con base en los ensayos se puede inferir que la permeabilidad está relacionada con el rendimiento, dado que, con el paso del tiempo la conductividad hidráulica comienza a disminuir a causa de degradaciones u obstrucciones del concreto por factores externos como escombros, partículas de arena y suelo, entre otros.

Metodológicamente, se midió la tasa de permeabilidad con un permeámetro en 8 puntos diferentes y en intervalos de 1,3 y 5 minutos (figura 29) para calcular con precisión el tiempo de cabeza de caída de agua, de igual manera, se diseñó también un concreto permeable para una acera con agregado de 9,5mm a 12mm, relación agua/cemento de 0,35, con proporciones de 28 kg de agua y 74 kg de cemento, con dimensiones de (1,8m, 1.6m y 0,1m) para un volumen total de 280 litros.



Figura 29 Medición de Tasas de Permeabilidad  
Tomado de (Saaly, Mostafa, & Golroo, 2018).

Los intervalos de lluvia escogidos para estudio fueron de 1 minuto para estimar lluvia continua y precipitaciones intermitentes en 3 y 5 minutos, a partir de esa información se calculó la permeabilidad relacionando el área de sección transversal interior y de la muestra, profundidad de la muestra, tiempo transcurrido y cabeza de agua (Saaly, Mostafa, & Golroo, 2018).

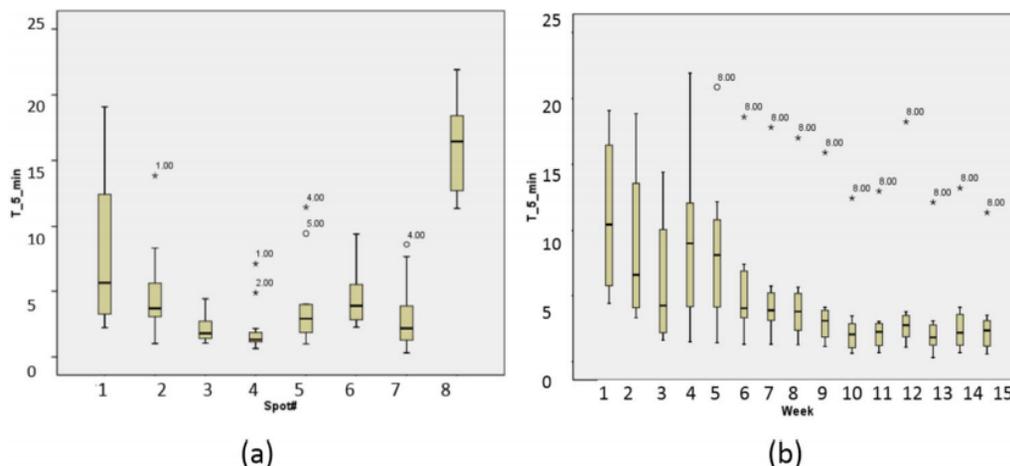


Figura 30 Tasas de Permeabilidad

Tomado de (Saaly, Mostafa, & Golroo, 2018)

Por lo tanto, con los datos encontrados se pudo concluir según lo mostrado en la figura 30, que las intensidades de lluvia tienen diferencias significativas en los intervalos, denotando que la tasa de permeabilidad depende del intervalo de tiempo que llueva y esto puede influir de manera directa en el rendimiento y funcionalidad del concreto permeable (Saaly, Mostafa, & Golroo, 2018).

#### 4.1.6 Evaluación del Desempeño de Campo del Pavimento de Concreto Permeable

##### Reforzado con Novedoso Refuerzo Discreto

Como ya es sabido, el concreto permeable es usado principalmente para el control y prevención de inundaciones; pero actualmente no presenta muy buenas propiedades mecánicas de resistencia a la compresión principalmente; de tal manera, que se ha buscado la inclusión de un material como el compuesto de fibra de carbono para impulsar un alto rendimiento, mejorando la resistencia a la abrasión y desmoronamiento (AlShareedah, y otros, 2019).

Por lo tanto, durante la experimentación se pavimentaron dos (2) secciones de pavimento de concreto permeable en Washington con incorporación de 0,27 hasta 0,40% de volumen de fibra

de carbono, los cuales presentaron mayor porosidad, aumento de la tasa de infiltración, deflexiones más bajas y resistencias similares entre los 7 y a los 28 días.

Para ello, se emplearon fibras de carbono incrustadas en una matriz polimérica como se evidencia en la figura 31 y se estudiaron a partir de MATLAB y una microscopia electrónica de barrido (SEM) las relaciones diámetro y longitud.

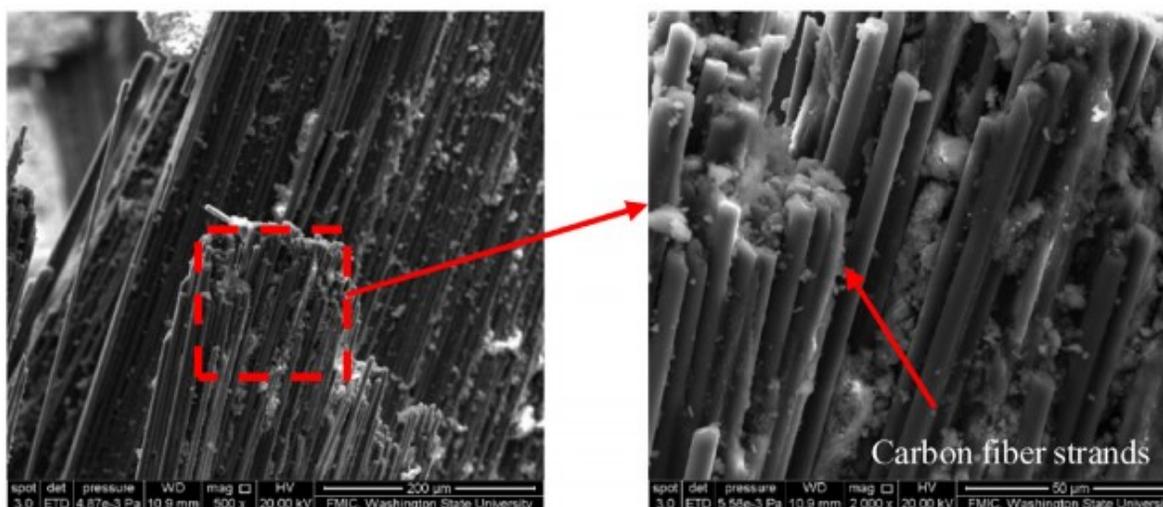


Figura 31 Fibras de Carbono

Tomado de (AlShareedah, y otros, 2019)

En cuanto a las mezclas las proporciones empleadas fueron de 4,15 y 5,9 Kg/cm<sup>3</sup> con un volumen del 0,27% y 0,4%, el agregado usado fue gravilla con un 92% de paso de tamiz de 9,51 mm y un 14% de paso tamiz de 4,76 mm, en concordancia con las especificaciones de la AASHTO y adicionalmente, se incorporaron algunos aditivos, como se muestra en la figura 32.

Material	Mean length (mm)	Mean width (mm)	Aspect ratio	
			Mean	Coefficient of variation (%)
CCFCM	11.6	0.81	14.3	78.2

Mixture ID	Cement (kg/m <sup>3</sup> )	Coarse Aggregate (kg/m <sup>3</sup> )	Water (kg/m <sup>3</sup> )	CCFCM content by weight (kg/m <sup>3</sup> )	Admixtures (mL/100 kg of cement)
Control	285	1640	98.5	0	Retarder and hydration stabilizer: 710
CCFCM-7		1640		4.15	Internal curing: 110
CCFCM-10		1,630		5.90	

Figura 32 Proporciones y Condiciones de Diseño

Tomado de (AlShareedah, y otros, 2019)

Ahora bien, ya definidas las especificaciones de los materiales el proceso constructivo se desarrolló en dos carriles, uno conformado por concreto permeable convencional y el otro con la inclusión de fibra de carbono, la colocación se realizó en camiones de 6,9m<sup>3</sup>; seguidamente, se extendió el material con rastrillos y se realizó una compactación, las juntas entre cada segmento se diseñó de profundidad 38mm y abertura de 13mm.

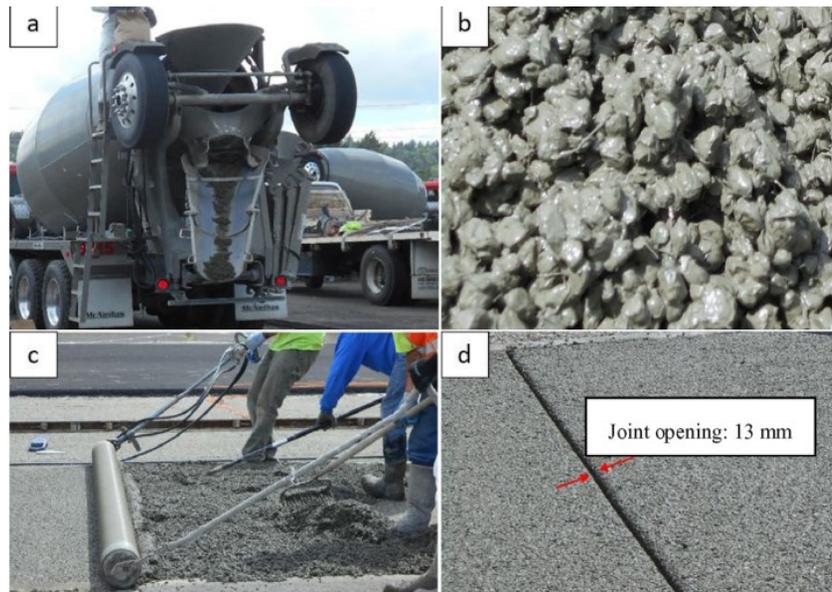


Figura 33 Proceso Constructivo de los Carriles

Tomado de (AlShareedah, y otros, 2019)

De manera que, una vez realizados los carriles se tomaron muestras para realizar los respectivos ensayos de laboratorio, en donde, se evidencio que, en las mezclas con inclusión de fibra de carbono, aumentó la porosidad y la resistencia a la tracción y la flexión (figura 34); sin embargo, se observó que el reemplazó de fibras, en cuanto a materiales solo reduce el agregado grueso.

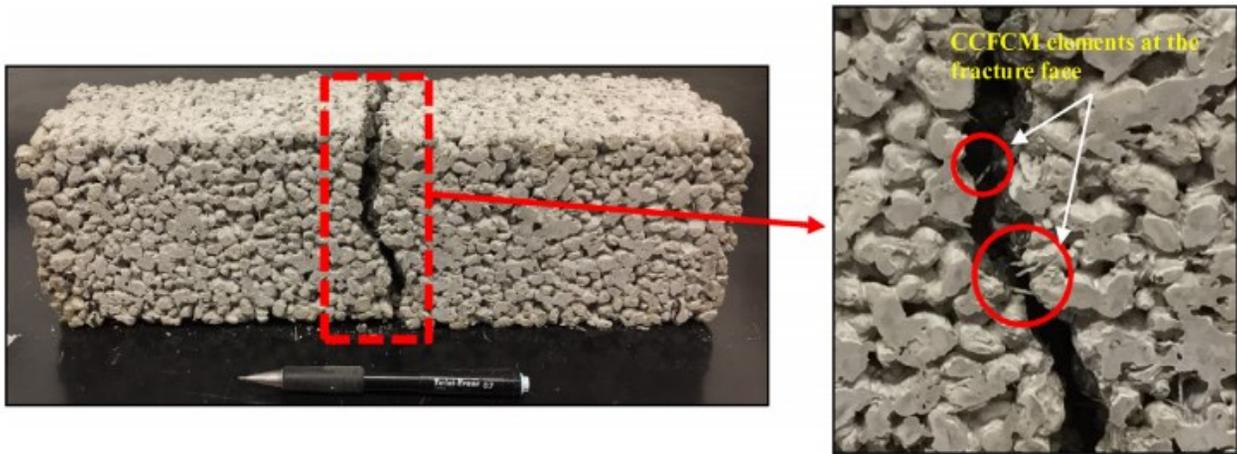


Figura 34 Fibras de Carbono

Tomado de (AlShareedah, y otros, 2019)

Finalmente, de los parámetros analizados se encontró que la incorporación de las fibras de carbono en el concreto permeable son una alternativa ambiental para reutilizar el exceso de estos compuestos; ya que, se obtuvo un óptimo desempeño dentro de la mezcla, puesto que, al adicionar las fibras se aumenta la porosidad del concreto, la cual incrementa la flexión y la resistencia a la tracción.

## 5 Metodología

### 5.1 Descripción de la Metodología

Previo al desarrollo de la idea principal del trabajo de grado, se debe tener en cuenta que se realizó múltiples consultas, como:

- Un glosario de conceptos para que los lectores preserven el contexto y la terminología que se trata durante el documento.
- Un marco conceptual enfocado a los temas que se ven implicados de manera directa e indirecta con el proyecto.
- Un marco legal que adapta las principales normas y/o especificaciones que debe cumplir el material para vincularlo a cualquier proyecto de ingeniería civil.
- Un estado del conocimiento que evidencia el desarrollo investigativo a nivel nacional e internacional, además de artículos científicos relevantes sobre el concreto permeable como referencia.

### 5.2 Construcción de los Resultados

- Presentación básica del barrio la estrella con las razones del porqué se selecciona esta zona.
- Mostrar métodos de diseño actual del concreto permeable.
- Analizar la viabilidad de la aplicación del concreto propuesto creando cuadros de ventajas y desventajas frente al hormigón convencional.
- Generar conclusiones en función de los resultados, de acuerdo con la factibilidad del proyecto.
- Crear las recomendaciones según el rumbo de los resultados; esto es, si es posible o no la ejecución del estudio.

## 6 Resultados

### 6.1.1 Presentación Básica del Barrio La Estrella con las Razones del Porqué se Selecciona esta Zona.

El barrio La Estrella se encuentra ubicado en la localidad de Ciudad Bolívar en la ciudad de Bogotá; hace parte de la Unidad de Planeamiento Zonal (UPZ) número 67. El sector cuenta con una topografía de pendientes altas y considerado montañoso; y sus límites se encuentran con los barrios Colombia Nueva, Villa del Progreso, Cedritos III, Sotavento y Lucero (Alcaldía Local de Ciudad Bolívar, 2020).



Figura 35 Localización Barrio La Estrella  
Tomado de Google Maps (2020)

A nivel topográfico, al ser un terreno montañoso, se debe mostrar la clasificación de terreno en función de las pendientes naturales dada por el autor (Navarro Hudiel, 2011):

Tipo de Terreno	Rangos de Pendientes (%)
Llano o plano	$G \leq 5$
Ondulado	$5 > G \leq 15$
Montañoso	$15 > G \geq 30$

G= Pendiente

Figura 36 Pendientes en Función del Terreno

Tomado de (Navarro Hudiel, 2011)

Como se puede apreciar en la figura 36 se entiende que el rango de la pendiente de la mayoría este sector varía entre el 15% y el 30%.

Cabe recalcar que el barrio La Estrella cuenta con una quebrada que es afluente del río Tunjuelo, principal recurso hídrico de la localidad entera. Por lo que, a pesar de ser una fuente de agua, lastimosamente se encuentra sin tratar con índices de contaminación altos que traen como consecuencia posibles enfermedades en las poblaciones; además de desbordamientos en temporadas altas de lluvia, lo que incrementa la accidentabilidad. (Alcaldía Local de Ciudad Bolívar, 2020).

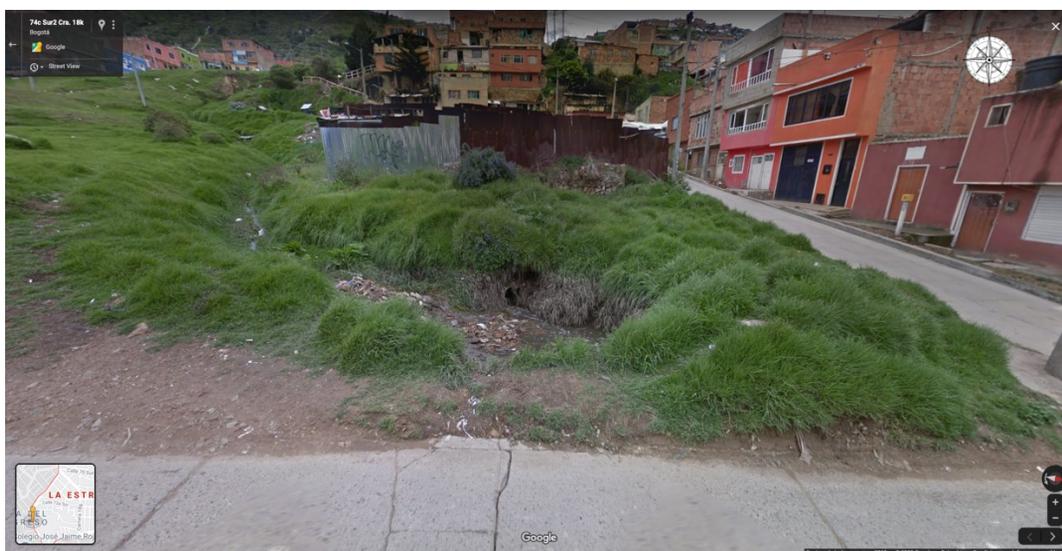


Figura 37 Evidencia Fotográfica de La Quebrada La Estrella

Tomado de Google Maps (2020)

Gracias a lo expuesto anteriormente, se puede justificar el por qué se quiere agregar este material en aquel lugar. Sin embargo, por lo planteado en el marco conceptual y en el estado del conocimiento, el concreto permeable solo se puede agregar en vías de orden secundario y en donde el flujo vehicular sea liviano, también en parques, ciclo rutas, aceras, parqueaderos y hasta en terrenos donde no se hallan implementado antes una vía.

### 6.1.1.1 Evidencia Fotográfica

A continuación, se realiza una breve representación de sectores relevantes del Barrio La Estrella, los cuales, pueden ser viables para la aplicabilidad del concreto permeable.



Figura 38 Zona Recreativa y Parque del Barrio La Estrella  
Tomado de Google Maps (2020)



Figura 39 Sector I del Barrio La Estrella- Vía Escarpada  
Tomado de Google Maps (2020)



Figura 40 Sector II Barrio La Estrella- Vía Escarpada  
Tomado de Google Maps (2020)



Figura 41 Estado de Algunas Vías del Barrio La Estrella  
Tomado de Google Maps (2020)

### 6.1.2 Mostrar Métodos de Diseño Actual del Concreto Permeable.

El propósito de enseñar algunos de los métodos de formación del concreto permeable son el tener una variedad simplificada de opciones y si a largo plazo, otro autor decide efectuar un proyecto con este tipo de material, tiene posibilidades de tomar decisiones de diseño más sencillas.

Básicamente ser un documento de soporte que permita la ejecución de estructuras óptimas y eficientes, más allá de la viabilidad y factibilidad.

#### 6.1.2.1 Método de Diseño Toxement

Para la construcción de este material poroso, la empresa Toxement (Euclid Group Toxement, 2017) sugiere los siguientes materiales:

**Cemento:** La cantidad de cemento generalmente varía entre 300 y 385 kg/m<sup>3</sup>.

**Agua:** La ración de agua debe ser tal que guarde una relación agua/cemento tan bajo como sea posible (entre 0,25 y 0,4), de modo que se mantenga la estructura de vacíos.

**Agregados:** El tamaño nominal máximo de los agregados no debe sobrepasar de  $1/3$  del espesor del pavimento especificado. Los agregados típicamente están en una sucesión entre  $3/4''$  a  $3/8''$  (9.5 a 19 mm).

**Pigmentos:** Se pueden utilizar en la formación de éstos concretos y deben cumplir con ASTM C979 (Especificación estándar de pigmentos para verse el pavimento ligeramente coloreado).

Como se puede entender, el concreto permeable es dependiente completamente del diseño de la mezcla. Esta tiene una estructura de vacíos que puede cambiar entre el 15 y 30%. La gradación de los agregados es uno de los elementos claves, así como su respectivo aseo; generalmente se usa grava redondeada de hasta 9,5 mm ( $3/8''$ ) (Euclid Group Toxement, 2017).



Figura 42 Mezcla de Concreto Permeable en Estado Fresco  
(Euclid Group Toxement, 2017).

Además de esta información, la empresa revela los contenidos típicos de los materiales en la mezcla y las propiedades comunes del concreto de poroso como se verá a continuación:

<b>MATERIAL</b>	<b>kg/m<sup>3</sup></b>
Cemento	356
Agregado grueso 9,5 mm	1543
Agua	95
Agua / cemento	0,27
<b>ADITIVOS DE EUCLID</b>	<b>RANGO DE % RESPECTO AL PESO DEL CEMENTO</b>
Línea Plastol	0.2 a 0.4%
Línea Euco Estabilizadores	0.2 a 0.4%
Eucon ABS	0.3 a 0.6%

Figura 43 Contenido Típico del Material  
Tomado de (Euclid Group Toxement, 2017)

<b>PROPIEDADES EN ESTADO PLÁSTICO</b>	<b>kg/m<sup>3</sup></b>
Densidad	1680 - 2000
Contenido de vacíos	15 - 30%
<b>PROPIEDADES EN ESTADO ENDURECIDO</b>	<b>MPa</b>
Resistencia a la compresión a 7 días	10 - 14
Resistencia a la compresión a 28 días	12 - 20
Resistencia a la flexión a 28 días	3 - 4

Figura 44 Propiedades del Concreto Poroso  
Tomado de (Euclid Group Toxement, 2017)

Es pertinente mencionar que, las propiedades deben ser certificadas de forma individual con ensayos de laboratorio. Adicionalmente, se menciona que la dureza frente a la compresión lograría aumentar dependiendo del arreglo del proyecto que se desee implementar, pero así mismo, se puede ver implicada de manera negativa la relación de vacíos (Euclid Group Toxement, 2017).

Por otra parte, los aditivos que se muestran en la figura 44 son propios de la entidad Euclid que brindan un apoyo en la producción, el manejo, colocación y nivelación del material poroso. (Euclid Group Toxement, 2017).

### **6.1.2.2 Metodología General del Instituto Americano del Concreto (ACI)**

En el año 2013 la ACI divulga el informe de referencia 522R-10, donde se presenta una recomendación de diseño (Porrás Morales, 2017), expuesta posteriormente a manera generalizada:

- Establecer la carga del agregado.
- Calibrar el peso a superficie colmada secada.
- Precisar el volumen de la mezcla.
- Establecer la cuantía del cemento.
- Determinar el volumen sólido.
- Corroborar el volumen de vacíos.
- Repetir la combinación de ensayo:
  - a. Prueba de características adecuadas.
  - b. Acoplar cantidades de la mixtura hasta alcanzar el productividad necesario.

En el reporte sobre el concreto poroso dado por la entidad (American Concrete Institute, 2013), muestra las especificaciones completas y cada uno de los desarrollos del proceso metodológico en un recopilado de 13 capítulos.

### **6.1.2.3 Metodología general de Asociación Nacional de Concreto Mezclado Listo (NRMCA)**

La asociación (National Ready Mixed Concrete Association's, 2010), para el año 2010 realizó un reporte de igual manera como el anterior en el que expuso una metodología de diseño de concreto permeable, la cual se abrevia de la siguiente manera:

- Obtener el peso unitario en estado de secado y cuantificar su relación de vacíos, basándose en la ASTM C-29 (Método de ensayo para determinar la densidad aparente y el índice de poros en los agregados para concreto).
- Determinar de manera porcentual la pasta adecuada.

- Cuantificar el volumen del insumo anteriormente comentado.
- Tomar la cuantía de agua/cemento.
- Medir el tomo definitivo de cemento.
- Valorar la magnitud de agua.
- Evaluar la capacidad de ocupación del agregado seco.
- Cambiar las magnitudes de volumen a peso de los insumos por  $m^3$ .

En las dos metodologías generales, la limitación de permeabilidad no fue incluida, ya que cada uno de los diseñadores que se proponen realizar este material e implementarlo debe asegurar que haya cabida a toda la lluvia que desciende sobre el terreno (Porrás Morales, 2017).

#### 6.1.2.4 Diseño Metodológico de la Mezcla Tipo I (con finos)

Los autores (Moujir & Castañeda, 2014) tomaron como referencia un experimento ya realizado en donde se quiere hacer un análisis de 18 mixturas de material permeable de distintas relaciones agua/cemento que convergen de 0,29 a 0,41; adicionalmente, su respectivo enlace entre el porcentaje de vacíos.

Para el planteamiento de la mezcla se tomaron los siguientes materiales y cantidades:

Material	Densidad Aparente [Kg/m <sup>3</sup> ]	Tamaño del Agregado [pulg]	Masa unitaria Suelta [Kg/m <sup>3</sup> ]	Masa unitaria Compacta [Kg/m <sup>3</sup> ]	Absorción %	Humedad %
Arena (AF)	2606.28	----	1497.80	1767.40	1.60	4.83
Grava (Ag)	2649.44	1/2"	1463.00	1623.93	1.55	1.34

Cemento	Densidad Aparente [Kg/m <sup>3</sup> ]	Tipo	Masa unitaria Suelta [Kg/m <sup>3</sup> ]
Argos	3120	II	1150

Agua	Densidad [Kg/m <sup>3</sup> ]
Potable	1000

Figura 45 Características de los Materiales con Finos

Tomado de (Moujir & Castañeda, 2014)

Con esto se procede a realizar:

<b>Características</b>	<b>Valor</b>
Pruebas de resistencia	21 Mpa
Porcentaje de vacíos	20%
Relación agua/cemento	0.5
Relación arena/cemento	1.1
Volumen de la pasta	18%
Análisis de asentamiento máximo esperado	4"

Tabla 4 Resultados Obtenidos de Mezcla de Concreto Permeable con Finos

Elaboración Propia (2020)

Finalmente, se muestra la figura 46 con las cuantías de cada uno de los insumos de manejo en el planteamiento:

<b>Material</b>	<b>Densidad [Kg/m<sup>3</sup>]</b>	<b>Peso seco [Kg/m<sup>3</sup>]</b>	<b>Volumen seco [Kg/m<sup>3</sup>]</b>	<b>Peso Húmedo [Kg/m<sup>3</sup>]</b>	<b>Vol. Húmedo [Kg/m<sup>3</sup>]</b>
Cemento	3120	219.38	0.07	219.38	0.07
Arena [AG]	2606	219.38	0.08	229.96	0.09
Grava [AG]	2649	1419.65	0.54	1438.66	0.54
Agua	1000	109.69	0.11	105.66	0.11
Aire	0	0.00	0.20	0.00	0.20
AD-20	1300	1.10	0.001	1.10	0.001
ViscoCrete	1078	1.32	0.001	1.32	0.001
<b>TOTAL:</b>		<b>1970.50</b>	<b>1.00</b>	<b>1996.07</b>	<b>1.00</b>

Figura 46 Dosificación de los Materiales con Finos

Tomado de (Moujir & Castañeda, 2014)

### 6.1.2.5 Diseño metodológico de la mezcla tipo II (sin finos)

Los autores (Moujir & Castañeda, 2014) vuelven a realizar el diseño, pero esta vez sin agregarle finos a la mezcla; los materiales junto con sus características se presentan a continuación:

Material	Densidad Aparente [Kg/m <sup>3</sup> ]	Tamaño del Agregado [pulg]	Masa unitaria Suelta [Kg/m <sup>3</sup> ]	Masa unitaria Compacta [Kg/m <sup>3</sup> ]	Absorción %	Humedad %
Grava (Ag)	2649.44	1/2"	1463.00	1623.93	1.55	0.75

Cemento	Densidad Aparente [Kg/m <sup>3</sup> ]	Tipo	Masa unitaria Suelta [Kg/m <sup>3</sup> ]
Argos	3120	II	1150

Agua	Densidad [Kg/m <sup>3</sup> ]
Potable	1000

Figura 47 Características de los Materiales sin Finos

Tomado de (Moujir & Castañeda, 2014)

Como se puede apreciar, a diferencia del anterior experimento, ya no se encuentra la arena; por otra parte, las cantidades de los demás componentes se preservan.

Características	Valor
Pruebas de resistencia	21 Mpa
Porcentaje de vacíos	20%
Relación agua/cemento	0.66
Volumen de la pasta	23%
Análisis de asentamiento máximo esperado	6"

Tabla 5 Resultados Obtenidos de Mezcla de Concreto Permeable sin Finos

Tomado de (Moujir & Castañeda, 2014)

El análisis de asentamiento se ha aumentado porque este tipo de mezcla debe ser más fluida que la anterior. Por último, se presentan las cantidades usadas en este tipo de proyecto:

Material	Densidad [Kg/m <sup>3</sup> ]	Peso seco [Kg/m <sup>3</sup> ]	Volumen seco [Kg/m <sup>3</sup> ]	Peso Húmedo [Kg/m <sup>3</sup> ]	Vol. Húmedo [Kg/m <sup>3</sup> ]
Cemento	3120	234.57	0.08	234.57	0.08
Grava [AG]	1000	154.82	0.15	166.93	0.167
Agua	0	0.00	0.20	0.00	0.20
Aire	1300	1.17	0.001	1.17	0.001
AD-20	1078	1.41	0.001	1.41	0.001
ViscoCrete	3120	234.57	0.08	234.57	0.08
TOTAL:		1902.15	1.00	1925.62	1.00

Figura 48 Dosificación de los Materiales sin Finos

Tomado de (Moujir & Castañeda, 2014)

### 6.1.3 Análisis de Viabilidad del Concreto

La viabilidad de un proyecto permite evaluar los parámetros necesarios para determinar la efectividad en caso de llevarlo a cabo; por lo tanto, a continuación, se presentan los factores económicos, estructurales y ambientales del concreto permeable y del concreto convencional, para poder definir los beneficios y limitaciones que puede traer para el Barrio La Estrella en Bogotá.

#### 6.1.3.1 Ventajas y desventajas económicas

Ventajas	
Concreto permeable	Concreto convencional
1) Disminuye los costos en construcciones de alcantarillados o sistemas de retención de agua. (Argos 360°, 2017).	1) Al ser un producto tan universal, se pueden hallar precios ajustados al comprador.
2) Su costo es bastante competitivo en caso de realizarlo por cuenta propia.	2) Se considera un material muy rentable debido a su alta durabilidad. (Vargas Núñez, 2018).
3) Al actuar el concreto permeable como área de retención evitará o minimizará el costo de la construcción de pozos de retención, instalación de bombas, tubos de drenaje y	3) Al ser un material tan usado a través de los años, se puede decir que su fabricación es más controlada, lo que genera como

---

<p>sus respectivos mantenimientos. (<b>Argos 360°, 2017</b>).</p>	<p>consecuencia una reducción de costos en los componentes necesarios para fabricarlo.</p>
<p>4) Al trabajar este material con maquinaria liviana, reduce el costo de una ejecución de obra con este concreto. (<b>Moujir &amp; Castañeda, 2014</b>).</p>	<p>4) Este material tiene la posibilidad de combinar diferentes tipos de agregados y aditivos, que pueden desempeñar un papel importante frente al costo final de este.</p>
<p>5) Reducción de costos de transportación y gastos de energía en la producción. (<b>Universidad Nacional Autónoma de México, s.f.</b>).</p>	<p>5) Gracias a su característica de rigidez, evita que se “hunda” la vía; y esto como consecuencia económica, crea un ahorro del 6% de combustible en los usuarios que transitan por estos caminos. (Vargas Núñez, 2018).</p>
<p>6) Propicia la fundación de nuevas compañías que se centren en los procesos de transporte, instalación y explotación de los insumos, para su producción. (<b>Universidad Nacional Autónoma de México, s.f.</b>).</p>	<p>6) El concreto convencional puede llegar a tener un menor tiempo de construcción, por lo que reduce costos de mano de obra y gastos complementarios de ejecución de obra (Tiempo de alquiler de maquinaria y celaduría). (Castaño A., 2018).</p>
	<p>7) Se considera un material bastante reflejante, por lo que se ahorran costos de energía lumínica. (Alfaro, 2015).</p>

---

Tabla 6 Ventajas económicas del concreto permeable y convencional

Elaboración Propia (2020)

<b>Desventajas</b>	
<b>Concreto permeable</b>	<b>Concreto convencional</b>
1) El uso de otros aditivos como sílice, látex, fibras o cenizas volantes puede mejorar las características del material, pero, en consecuencia, eleva los costos. <b>(Argos 360°, 2017).</b>	1) De acuerdo con los requerimientos según el proyecto, se puede generar grandes montos de sobre costos.
2) Conseguir este material de manera comercial certifica la calidad de este, pero así mismo, su precio llega a ser muy elevado en consideración con otros tipos de concreto.	2) Para la fabricación del concreto convencional es necesario de un consumo notable de agua y energía. Donde, a nivel económico se considera un gasto monetario adicional. (Vargas Núñez, 2018).
3) Por lo general, la colocación de este material puede llegar a requerir una práctica especializada por lo que sumaría un costo adicional. <b>(Cárdenas Gutiérrez, Albiter Rodríguez, &amp; Jaimes Jaramillo, 2016)</b>	3) Al ser un material impermeabilizante se hace necesaria la construcción de obras complementarias a las vías como lo son las de drenaje, esto conlleva a un alto gasto de dinero. (Alfaro, 2015).
4) Los ensayos de este material se pueden considerar más costosos al no tener una estandarización de pruebas y normas. <b>(Cárdenas Gutiérrez, Albiter Rodríguez, &amp; Jaimes Jaramillo, 2016).</b>	
5) Al existir una pérdida de permeabilidad en un tiempo prolongado desde su aplicación, requerirá de una frecuencia de mantenimiento del material, originando así, un aumento de costos considerable. <b>(Unknown, 2016).</b>	

Tabla 7 Desventajas Económicas del Concreto Permeable y Convencional

Elaboración Propia (2020)

De manera complementaria a los temas económicos, se presenta a continuación los precios que se hallaron por medio de otras investigaciones dadas por los autores (Moujir & Castañeda, 2014) y (Hernández Díaz & Martínez Llorente, 2014):

<b>Concreto permeable</b>		
<b>Tipo De Material</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor (Cop)</b>
Concreto poroso sin finos de 21 MPa (Moujir & Castañeda, 2014)	m3	\$184.933
Concreto poroso con finos de 21 MPa (Moujir & Castañeda, 2014)	m3	\$177.295
Hormigón poroso + mano de obra (Hernández Díaz & Martínez Llorente, 2014)	m2	\$380.000
Asfalto poroso + mano de obra (Hernández Díaz & Martínez Llorente, 2014)	m2	\$315.000

Tabla 8 Precios del Concreto y Asfalto Poroso

Elaboración Propia (2020)

Cabe resaltar que en los valores dados por metro cuadrado (m2) incluye la mano de obra, mientras que en el material que está dado por metro cúbico (m3) no abarca ese ítem.

Además, para el caso del concreto convencional, se tuvo en cuenta la misma resistencia del material poroso para realizar una comparación adecuada:

<b>Concreto convencional</b>		
<b>Tipo De Material</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor (Cop)</b>
Concreto convencional 21 MPa (Moujir & Castañeda, 2014)	m3	\$267.396
Concreto convencional 21 MPa (INGETIERRAS DE COLOMBIA S.A, 2015)	m3	\$348.971

Concreto convencional 21 MPa ( <b>Agencia Nacional de Infraestructura, 2015</b> )	m3	\$334.491
Mezcla de concreto 21 MPa ( <b>Manaureguajira, 2016</b> )	m3	\$220.000

Tabla 9 Precios del Concreto convencional

Elaboración Propia (2020)

Finalmente, se establece una comparación a nivel comercial de los precios entre el concreto permeable y el concreto convencional:

<b>Concretos comerciales</b>			
<b>Tipo De Material</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor (Cop)</b>	<b>Porcentaje ganancia/pérdida (%)</b>
Concreto permeable Cemex 21 MPa + transporte	m3	\$553.000	-5,36
Concreto convencional Cemex 21 MPa + transporte	m3	\$523.378	+5,36
Concreto permeable Holcim 21 MPa + transporte	m3	\$396.270	+21,44
Concreto convencional Holcim 21 MPa + transporte	m3	\$504.387	-21,44
Concreto convencional Argos 21 MPa	m3	\$332.417	-

Tabla 10 Precios comerciales del concreto permeable y convencional

Elaboración Propia (2020)

Cabe mencionar que a pesar de que el precio del concreto permeable es más elevado, esto se debe a que incluye el transporte; mientras que en el caso del material convencional no. Además, no fue posible la inclusión del precio del concreto permeable de la marca Argos, ya que solo se brindan esos valores a los clientes de la empresa.

### 6.1.3.2 Ventajas y desventajas estructurales

<b>Ventajas</b>	
<b>Concreto permeable</b>	<b>Concreto convencional</b>
1) Se puede implementar en vías secundarias, áreas comunes y andenes.	1) Es un material con aceptación a nivel internacional, por la disponibilidad de los materiales que lo forman. (Canola, 2017).
2) Se eliminan los charcos y con esto, el deslizamiento de los vehículos; hace más segura la vía. <b>(Euclid Group Toxement, 2017).</b>	2) Tiene una adaptabilidad de alcanzar diversas configuraciones arquitectónicas. (Canola, 2017).
3) Permite la reducción de elaborar drenajes para lluvia; y en ocasiones, los reemplaza completamente. <b>(Euclid Group Toxement, 2017).</b>	3) Tiene la característica de obtener ductilidad. (Canola, 2017).
4) Las estructuras no necesitan de una pendiente para la evacuación del agua. <b>(Euclid Group Toxement, 2017).</b>	4) Posee alto grado de durabilidad. (Canola, 2017).
5) Adquieren su resistencia de trabajo entre 24 y 72 horas, así mismo, se puede colocar en servicio de manera rápida. <b>(Euclid Group Toxement, 2017).</b>	5) Tiene alta resistencia al fuego. (Canola, 2017).
6) Permite crear concretos con diferentes tonalidades y con distintos tipos de agregados, logrando estructuras armoniosas y agradables a la vista. <b>(Euclid Group Toxement, 2017).</b>	6) Puede llegar a lograr diafragmas de rigidez horizontal. (Canola, 2017).
7) Se puede fabricar in situ como en plantas de concreto premezclado. <b>(Euclid Group Toxement, 2017).</b>	7) Facultad de ser resistente a los esfuerzos de compresión, flexión, corte y tracción. (Canola, 2017).
8) Reduce los picos de caudal de escorrentía, proporcionados por el agua lluvia en áreas	8) Requiere de muy poco mantenimiento. (Canola, 2017).
	9) Se puede utilizar para diversos tipos de construcciones. (Cementos INKA, 2018).
	10) Se pueden conseguir elementos con este material en diferentes presentaciones y de manera sencilla.
	11) Soporta su aplicabilidad en vías de tráfico pesado y liviano. (Vargas Núñez, 2018).

- 
- |   |   |
|---|---|
| <p>urbanas impermeables. <b>(Euclid Group Toxement, 2017).</b></p> <p>9) Su durabilidad tiene un rango entre los 20 y 40 años.</p> <p>10) Menos consumo de materiales convencionales.</p> <p>11) El empleo de otros aditivos como sílice, látex, fibras o cenizas volantes aumenta las características del material. <b>(Moujir &amp; Castañeda, 2014).</b></p> <p>12) Es adaptable a alcantarillados de pequeña capacidad. <b>(Argos 360°, 2017).</b></p> <p>13) El porcentaje de vacíos brinda una mayor elasticidad. <b>(Universidad Nacional Autónoma de México, s.f.).</b></p> <p>14) Puede obtener hasta resistencias superiores a los 3000 psi comparándose al concreto convencional. <b>(Universidad Nacional Autónoma de México, s.f.).</b></p> <p>15) Este material no provoca grietas considerables que afecten la integridad estructural de las vías. <b>(Universidad Nacional Autónoma de México, s.f.).</b></p> | <p>12) No hay límites en lo que respecta tamaño y forma para la fabricación con este material. (La República, 2018).</p> <p>13) Capaz de aguantar los climas extremos. (Castaño A., 2018).</p> <p>14) Cumple con las normativas certificadas para la implementación del concreto. (CONKRETAR, s.f.).</p> <p>15) No presenta mayor afectación frente a derrames contaminantes de grasas, aceites y combustibles. (López, s.f.).</p> <p>16) Además de soportar el tráfico pesado, en los puntos de arranque y frenado de vehículos en general no sufre deformaciones. (Alfaro, 2015).</p> <p>17) La señalización longitudinal y transversal en este material prevalece en gran manera y es más visible que en el material poroso. (Alfaro, 2015).</p> |
|---|---|
- 

Tabla 11 Ventajas Estructurales del Concreto Permeable y Convencional

Elaboración Propia (2020)

<b>Desventajas</b>	
<b>Concreto permeable</b>	<b>Concreto convencional</b>
1) No se puede aplicar en vías con flujo vehicular pesado.	1) Los elementos arquitectónicos pueden ser cargar gravitatorias que aumentan la fuerza sísmica por su gran masa. (Canola, 2017).
2) Su mantenimiento tiene que ser muy riguroso.	2) Al ser adaptable a diferentes formas arquitectónicas muy modernas e impactantes, descuidan considerablemente el comportamiento sísmico. (Canola, 2017).
3) Debido a porosidad se pueden filtrar cierta cantidad de solidos que pueden obstaculizar el proceso de infiltración de agua y generar estancamientos.	3) Exagerado peso y volumen (Canola, 2017).
4) Este material poroso tiene una relación inversamente proporcional entre el porcentaje de vacíos y la compresión uniaxial. <b>(Moujir &amp; Castañeda, 2014).</b>	4) Sus asentamientos diferenciales pueden alterar la estructura. (La República, 2018).
5) Frecuentemente las mezclas requieren del uso de plastificantes, reguladores de viscosidad y retardantes. <b>(Moujir &amp; Castañeda, 2014).</b>	5) Sus procesos constructivos son inflexibles. (Castaño A., 2018).
6) La cuantía de mezcla es muy reducido y así mismo, la resistencia se dará de acuerdo a las uniones entre los agregados. <b>(Moujir &amp; Castañeda, 2014).</b>	
7) La granulometría más uniforme y de gran tamaño permite que el concreto poroso adquiera resistencia, pero pierde permeabilidad. <b>(Moujir &amp; Castañeda, 2014).</b>	
8) La relación agua/cemento debe estar entre los rangos de 0,27 a 0,30 de lo contrario, podría generarse baja trabajabilidad en la mezcla, obstrucción del paso de agua por la	

- 
- pasta, y en consecuencia una permeabilidad muy baja. **(Moujir & Castañeda, 2014).**
- 9) La aplicación debe hacerse con maquinaria liviana, en caso de hacerlo con maquinaria pesada puede provocar una sobre compactación ocasionando una alteración en la estructura de vacíos **(Argos 360°, 2017).**
- 10) En lugares que presenten la estación de invierno al punto de tener nieve, es imposible la implementación de estos materiales ya que los vacíos se congelan **(Argos 360°, 2017)**
- 11) En zonas de alta colmatación no es sugerible la implementación de esta mezcla. **(Argos 360°, 2017)**
- 12) El uso de concreto permeable en pendientes que superen al 1% hace que el agua escurra en la capa inferior, provocando así, subpresiones que pueden estropear las estructuras contiguas de la capa de rodadura. **(Moujir & Castañeda, 2014).**
- 13) Requiere de un mayor tiempo de curado que el concreto convencional. **(Cárdenas Gutiérrez, Albiter Rodríguez, & Jaimes Jaramillo, 2016)**
- 14) Falta de una estandarización de pruebas que logre certificar cada uno de los componentes necesarios para poder aplicar el material poroso. **(Cárdenas Gutiérrez,**
-

---

**Albiter Rodríguez, & Jaimes Jaramillo, 2016).**

- 15) El diseño de este material no se encuentra capacitado para el manejo de precipitaciones excesivas. **(Universidad Nacional Autónoma de México, s.f.).**
- 16) No es posible colocar refuerzos de acero en este material, ya que podría presentar corrosión al tener constante contacto con el agua. **(Universidad Nacional Autónoma de México, s.f.).**

---

Tabla 12 Desventajas estructurales del concreto permeable y convencional

Elaboración Propia (2020)

### 6.1.3.3 Ventajas y desventajas ambientales

<b>Ventajas</b>	
<b>Concreto permeable</b>	<b>Concreto convencional</b>
1) Se reduce considerablemente el ruido del motor de los vehículos, siendo un beneficio frente a la contaminación auditiva. <b>(Euclid Group Toxement, 2017).</b>	1) Es muy resistente frente a fenómenos naturales que pueden poner en peligro a los seres vivos.
2) Disminuye la temperatura de la superficie simplificando el efecto de “isla de calor urbano”. <b>(Euclid Group Toxement, 2017).</b>	2) Gracias a este material se pueden presentar estructuras que hoy en día generan una mejor calidad de vida del ser humano.
3) Brinda puntos en la certificación LEED. <b>(Euclid Group Toxement, 2017).</b>	3) Es vital para el desarrollo de la sociedad a nivel internacional.
4) Contribuye en el mejoramiento de la recarga de los acuíferos y el fortalecimiento de la vegetación en general; adicionalmente, permitir la aireación de los suelos. <b>(Euclid Group Toxement, 2017).</b>	
5) Es muy amistoso con el ambiente ya que disminuye el gasto considerable de recursos en el momento de llevarlo a cabo <b>(Moujir &amp; Castañeda, 2014).</b>	
6) Decrecimiento de organismos contaminantes. <b>(Argos 360°, 2017).</b>	
7) En las noches, los pavimentos de concreto permeable no necesitan de grandes cantidades de iluminación debido a su mayor efecto de reflexión. <b>(Argos 360°, 2017).</b>	

- 
- 8) Con ayuda de un geotextil, se pueden retener los derrames de aceites, evitando la contaminación de las capas inferiores del suelo. **(Universidad Nacional Autónoma de México, s.f.)**
- 

Tabla 13 Ventajas ambientales del Concreto Permeable y Convencional  
Elaboración Propia (2020)

---

<b>Desventajas</b>	
<b>Concreto permeable</b>	<b>Concreto convencional</b>
<p>1) No se debe implementar en aquellas zonas en las que se halle exposición de aguas negras o cualquier otro contaminante líquido, debido a una posibilidad de contaminar las aguas subterráneas. <b>(Universidad Nacional Autónoma de México, s.f.)</b></p>	<p>1) Conlleva un consumo excesivo de recursos geológicos, hídricos, energéticos, entre otros. (Vargas Núñez, 2018).</p> <p>2) Emisiones de gases que perjudican la salud de los seres humanos y la atmósfera. (Vargas Núñez, 2018).</p> <p>3) El manejo de este tipo de residuos en el peor de los casos es un caso de alta contaminación de cuerpos de agua. (Pladesemapesga, s.f.).</p> <p>4) Erosiones de las áreas de extracción de materiales. (Pladesemapesga, s.f.).</p> <p>5) Producción de polvos provocados por el proceso de triturado de piedra. (Pladesemapesga, s.f.).</p> <p>6) La aplicación de este material impermeable junto con obras de drenaje corta un ciclo natural del agua y de la misma manera, afecta la vegetación aledaña.</p>

---

Tabla 14 Desventajas ambientales del concreto permeable y convencional  
Elaboración Propia (2020)

#### 6.1.4 Análisis de pendientes para el concreto poroso

Debido a la falta de una estandarización de normas para el concreto poroso, se han encontrado múltiples comentarios con respecto a las restricciones de pendiente para la implementación de este material. A continuación, se presentan los autores que mencionaron esta información y la pendiente que según ellos es la adecuada:

Autores	Pendiente
<ul style="list-style-type: none"> <li>• (Moujir &amp; Castañeda, 2014)</li> <li>• (Guzmán Camacho, 2016)</li> </ul>	1%
<ul style="list-style-type: none"> <li>• (Redondo Polanco &amp; Zúñiga Páez, 26)</li> </ul>	5%
<ul style="list-style-type: none"> <li>• (Hernández Díaz &amp; Martínez Llorente, 2014)</li> </ul>	6%
<ul style="list-style-type: none"> <li>• (Her Sa, 2014)</li> </ul>	10%
<ul style="list-style-type: none"> <li>• (Unknown, 2016)</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• (Universidad Nacional Autónoma de México, s.f.)</li> <li>• (Pere, s.f.)</li> </ul>	20%

Tabla 15 Análisis de Pendientes Según Autores

Elaboración Propia (2020)

Por esta razón, es necesario que, en el momento de aplicar este material, se hagan estudios topográficos previos para la aplicación del concreto permeable teniendo en cuenta lo comentado anteriormente y en lo posible, obtener recomendaciones de las empresas expertas en el tema.

#### 6.1.5 Análisis de costo/beneficio

De manera complementaria al ámbito económico, es necesario realizar un análisis de costos que implique una relación de costo/beneficio entre el concreto permeable y el concreto convencional teniendo como base la tabla 10 donde se presentan los costos por m<sup>3</sup> de este material.

Para realizar un ejemplo práctico, se supone que se va a construir una vía de 100 km en una vía secundaria en la ciudad de Bogotá. Para la ejecución de este proyecto son necesarios los análisis

de costos con los dos materiales que conciernen al tema en gestión; es decir, el concreto para la carretera y su respectivo mantenimiento.

Por cuestiones del ejercicio, se dice que se necesitan 650 m<sup>3</sup> de concreto, y el mantenimiento del material convencional se debe realizar cada 6 meses y es de aproximadamente \$1.163,90 por km (Departamento Nacional de Planeación, 2018), es decir, \$116.389,64 (COP) para los 100 Km. En el caso del concreto poroso, se tiene un mantenimiento de cada 2 meses con el uso de hidrolavadora (Homecenter, 2020) y aspiradora (Homecenter, 2020) para retirar el sedimento que pueda obstruir el paso del agua. Su valor aproximado es de \$1.311,15 por km, por lo tanto, se tiene \$131.115 (COP) para la distancia que se piensa construir.

Partiendo de esto, se procede a realizar los cálculos:

Construcción Cemex:

$$C. permeable = 650 m^3 * \$ 553.000 = \$ 359.450.000$$

$$C. convencional = 650 m^3 * \$ 523.378 = \$ 340.195.700$$

Construcción Holcim:

$$C. permeable = 650 m^3 * \$ 396.270 = \$ 257.575.500$$

$$C. convencional = 650 m^3 * \$ 504.387 = \$ 327.851.550$$

Mantenimiento:

$$C. permeable = \$ 131.115 * 6 veces al año * 40 años = \$ 31.467.600$$

$$C. convencional = \$ 116.389,64 * 2 veces al año * 20 años = \$ 4.655.586$$

Precio total Cemex:

$$C. permeable = \$ 359.450.000 + \$ 31.467.600 = \$ 390.917.600$$

$$C. convencional = \$ 340.195.700 + \$ 4.655.586 = \$344.851.286 * 2 veces la vía$$

$$= \$ 689.702.572$$

Precio total Holcim:

$$C. permeable = \$ 257.575.500 + \$ 31.467.600 = \$289.043.100$$

$$C. convencional = \$ 327.851.550 + \$ 4.655.586 = \$332.507.136 * 2 \text{ veces la vía} \\ = \$ 665.014.272$$

<b>Item</b>	<b>Concreto permeable</b>	<b>Concreto convencional</b>	<b>Porcentaje de ganancia/pérdida (%)</b>
<b>Vida útil</b>	20 a 40 años	3 a 20 años	-
<b>Construcción</b>			Concreto permeable -5,36%
<b>Cemex</b>	\$359.450.000	\$340.195.700	Concreto convencional +5.36%
<b>Construcción</b>			Concreto permeable +21,44%
<b>Holcim</b>	\$257.575.500	\$327.851.550	Concreto convencional -21.44%
<b>Mantenimiento</b>	\$31.467.600	\$4.655.586	Concreto permeable -85,21%
			Concreto convencional +85.21%
<b>Precio total Cemex</b>	\$390.917.600	\$689.702.572	Concreto permeable +43,32%
			Concreto convencional -43.32%
<b>Precio total Holcim</b>	\$289.043.100	\$665.014.272	Concreto permeable +56,54%
			Concreto convencional -56.54%

Tabla 16 Análisis de costo/beneficio

Elaboración Propia (2020)

Finalmente, con los precios totales definidos. Se pudo encontrar que se pueden hallar beneficios entre el 43,32% y 56,54% con el concreto permeable, dependiendo de la empresa a quien se le vaya solicitar el producto.

## 7 Conclusiones

Gracias a la recopilación de información a lo largo de la monografía, se puede concluir que:

- La viabilidad del proyecto no es del todo aprobada ya que como se vio en la tabla de análisis de pendientes, según los autores mencionados, el concreto permeable no es recomendable aplicarlo en vías que sobrepasen máximo el 20% de pendiente, y el barrio La Estrella tiene una topografía montañosa con una pendiente que se encuentra entre el 15% y el 30% aproximadamente (Navarro Hudiel, 2011). Sin embargo, existen algunas zonas como parques, puntos escolares, sociales, médicos y vías secundarias que cumplen con los requisitos como se muestran en las evidencias fotográficas del trabajo.
- El amplio estado del arte representa la serie de alternativas que distintos autores proponen para que este tipo de materiales sostenibles y amigables con el ambiente se puedan aplicar en lo máximo posible. Para el caso del barrio La Estrella, se puede efectuar en zonas puntuales, y así mismo, se podrían aplicar en otros terrenos a lo largo de la ciudad y el país.
- Las ventajas y desventajas de los dos materiales propuestos demuestran una alta competitividad en los 3 ámbitos evaluados. Por lo que, a criterio personal, la solución óptima sería el uso de los dos materiales, dándole prioridad al concreto poroso por su buen desempeño; y en caso de no ser viable, utilizar el hormigón convencional.
- La reducción de costos del material propuesto puede desempeñar un papel importante a la hora de ejecutar algunos proyectos que no ameriten una gran inversión, siempre y cuando, se cumplan con las condiciones a las que este concreto se debe emplear.
- La competitividad comercial de costo vs calidad del material permeable la presentan 3 empresas: Argos, Cemex y Holcim. Por lo tanto, este indicio traduce que hay un índice de demanda del concreto propuesto.

- Los precios sugeridos por las empresas son valores generales, ya que de acuerdo con especificaciones de obra los costos pueden verse alterados.
- Como se puede apreciar en los resultados y anexos, los costos del concreto permeable son muy competitivos con respecto a los del material convencional. Hasta pueden ser óptimos económica y ambientalmente.
- Es de vital cuidado el proceso constructivo del hormigón poroso, ya que su costo beneficio dependen principalmente de este.
- Las empresas constructoras colombianas deben impulsar y encaminar los futuros proyectos a sistemas de construcción con certificación LEED para el cuidado medioambiental.
- Este trabajo también busca ser un documento de soporte para posibles investigaciones y/o ejecuciones de proyectos futuros.

## **8 Recomendaciones**

- Para la construcción e implementación del material poroso, se deben tener en cuenta siempre las especificaciones de marco legal tanto de diseño como de aplicabilidad, y evidentemente cumplirlas por medio de experimentación y ensayos de laboratorio.
- El material actualmente está pasando por un proceso de reconocimiento a nivel nacional, por lo que, es recomendable asesorarse de aquellas empresas que manipulan este tipo de hormigón de manera adecuada a la hora de querer emplearlo.
- Cabe aclarar que este concreto no puede reemplazar el hormigón convencional en su totalidad, siempre será necesario este para vías de flujo vehicular pesado, edificaciones, entre otros.
- En caso de solicitar concreto poroso a algún asesor comercial, se deben tener cantidades exactas y un informe detallado del proyecto de obra que se piensa ejecutar.

## 9 Anexos

Se anexa el artículo correspondiente al trabajo de grado de concreto permeable como sistema alternativo del pavimento convencional. Además de 2 tablas de análisis de costos del m3 del concreto permeable y otras 2 del concreto convencional.

<b>Concreto Poroso Tipo I con Finos 21 MPa (m3)</b>				
<b>EQUIPO</b>				
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario (Cop)	Valor (Cop)
Herramienta por mano de obra	%	0.01	\$30.000	\$300
Mezcladora 1 saco	Día	0.06	\$60.000	\$3.600
<b><u>Sub Total:</u></b>				\$3.900
<b>MATERIALES</b>				
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario (Cop)	Valor (Cop)
Arena gruesa	m3	0.08	\$24.000	\$2.020
Triturado de ½"	m3	0.54	\$40.000	\$21.433
Agua	m3	0.11	\$2.200	\$241
Cemento gris	Kg	219.38	\$420	\$92.138
Viscocrete	Lt	1.10	\$4.500	\$4.936
AD-20	Lt	1.32	\$16.100	\$21.192
<b><u>Sub Total:</u></b>				\$141.960
<b>TRANSPORTE</b>				

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario (Cop)	Valor (Cop)
-	-	-	-	\$0
<b><u>Sub Total:</u></b>				\$0

### MANO DE OBRA

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario (Cop)	Valor (Cop)
Cuadrilla albañilería 1 OF + 3 ayudantes	HC	1.10	\$28.577	\$31.435
<b><u>Sub Total:</u></b>				\$31.435
<b><u>TOTAL ANÁLISIS</u></b>				<b>\$177.295</b>

Tabla 17 Análisis de costos concreto poroso tipo I con finos  
Adaptado de (Moujir & Castañeda, 2014)

### Concreto Poroso Tipo II sin Finos 21 MPa (m3)

#### EQUIPO

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario (Cop)	Valor (Cop)
Herramienta por mano de obra	%	0.01	\$30.000	\$300
Mezcladora 1 saco	Día	0.06	\$60.000	\$3.600
<b><u>Sub Total:</u></b>				\$3.900

#### MATERIALES

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario (Cop)	Valor (Cop)
Arena gruesa	m3	0	\$24.000	\$0

Triturado de ½”	m3	0.57	\$40.000	\$22.800
Agua	m3	0.15	\$2.200	\$341
Cemento gris	Kg	234.57	\$420	\$98.520
Viscocrete	Lt	1.17	\$4.500	\$5.278
AD-20	Lt	1.41	\$16.100	\$22.660
<b><u>Sub Total:</u></b>				\$149.598
<b>TRANSPORTE</b>				
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario (Cop)	Valor (Cop)
-	-	-	-	\$0
<b><u>Sub Total:</u></b>				\$0
<b>MANO DE OBRA</b>				
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario (Cop)	Valor (Cop)
Cuadrilla albañilería 1 OF + 3 ayudantes	HC	1.10	\$28.577	\$31.435
<b><u>Sub Total:</u></b>				\$31.435
<b><u>TOTAL ANÁLISIS</u></b>				<b>\$184.933</b>

Tabla 18 Análisis de costos concreto poroso tipo II sin finos

Adaptado de (Moujir &amp; Castañeda, 2014)

---

**Concreto Convencional 21 MPa (m3)**


---

**EQUIPO**


---

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario (Cop)	Valor (Cop)
Herramienta por mano de obra	%	0.01	\$30.000	\$300
Mezcladora 1 saco	Día	0.06	\$60.000	\$3.600
<b><u>Sub Total:</u></b>				\$3.900

---

**MATERIALES**


---

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario (Cop)	Valor (Cop)
Arena gruesa	m3	0.56	\$24.000	\$13.440
Triturado de ½"	m3	0.84	\$40.000	\$33.600
Agua	m3	0.18	\$2.200	\$396
Cemento gris	Kg	350	\$420	\$147.000
Viscocrete	Lt	2.10	\$4.500	\$9.450
AD-20	Lt	1.75	\$16.100	\$28.175
<b><u>Sub Total:</u></b>				\$232.061

---

**TRANSPORTE**


---

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario (Cop)	Valor (Cop)
-	-	-	-	\$0

---

				<b><u>Sub Total:</u></b>	\$0
<b>MANO DE OBRA</b>					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario (Cop)	Valor (Cop)	
Cuadrilla albañilería 1 OF + 3 ayudantes	HC	1.10	\$28.577	\$31.435	
				<b><u>Sub Total:</u></b>	\$31.435
				<b><u>TOTAL ANÁLISIS</u></b>	<b>\$267.396</b>

Tabla 19 Análisis de costos concreto convencional

Adaptado de (Moujir &amp; Castañeda, 2014)

<b>Concreto Convencional 28 MPa (m3)</b>					
Item	Descripción	Cantidad	Unidad	Precio unitario (Cop)	Valor (Cop)
1	Agua	0.21	m3	\$2.210	\$464
2	Cemento	350	Kg	\$590	\$206.500
3	Grava	0.32	m3	\$90.000	\$28.800
4	Arena	0.354	m3	\$99.000	\$35.046
5	Costos de producción	1	m3	\$53.500	\$53.500
6	Transporte	25	m3/Km	\$750	\$18.750
				<b><u>VALOR TOTAL</u></b>	<b>\$343.060</b>

Tabla 20 Análisis de costos concreto convencional 28MPa

Adaptado de (Moujir &amp; Castañeda, 2014)

## 10 Referencias

- ACPT. (2012). Pervious Concrete. TechBrief. Obtenido de <https://www.fhwa.dot.gov/pavement/concrete/pubs/hif13006/hif13006.pdf>
- Agencia Nacional de Infraestructura. (24 de Julio de 2015). Análisis de precios Unitarios. Obtenido de Agencia Nacional de Infraestructura: [ftp://ftp.ani.gov.co/Ruta%20del%20Sol%20I/Tramo%20Villetas%20%20-%20Guaduas/QUINTA%20ENTREGA/Vol%20XVI%20Presupuesto/Anexos/ANEXO%20C%20-%20PRECIOS%20UNITARIOS/APU%20EDIFICIOS%20\(OBRA%20CIVIL,%20ELECTRICO,%20CONTROL,%20HIDROSANITARIO,%20DETECCION%20Y](ftp://ftp.ani.gov.co/Ruta%20del%20Sol%20I/Tramo%20Villetas%20%20-%20Guaduas/QUINTA%20ENTREGA/Vol%20XVI%20Presupuesto/Anexos/ANEXO%20C%20-%20PRECIOS%20UNITARIOS/APU%20EDIFICIOS%20(OBRA%20CIVIL,%20ELECTRICO,%20CONTROL,%20HIDROSANITARIO,%20DETECCION%20Y)
- Alcaldía de Bogotá. (Agosto de 2017). PLAN DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL DE BOGOTÁ. Obtenido de RESUMEN DEL DIAGNÓSTICO GENERAL: [http://www.sdp.gov.co/sites/default/files/201708\\_resumendiagnosticopot\\_v3.0.pdf](http://www.sdp.gov.co/sites/default/files/201708_resumendiagnosticopot_v3.0.pdf)
- Alcaldía Local de Ciudad Bolivar. (2020). Conociendo mi localidad. Obtenido de Alcaldía Mayor de Bogotá: <http://www.ciudadbolivar.gov.co/mi-localidad/conociendo-mi-localidad/historia>
- Alfaro, M. (04 de Mayo de 2015). Ventajas Comparativas entre Pavimentos de Concreto y Pavimentos de Asfalto. Obtenido de ASOCEM: <http://www.asocem.org.pe/noticias-internacionales/ventajas-comparativas-entre-pavimentos-de-concreto-y-pavimentos-de-asfalto>
- AlShareedah, Nassiri, Chen, Englund, Li, & Fakron. (2019). Field Performance Evaluation of Pervious Concrete Pavement. Case Studies in Construction Materials. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214509518304078?via%3Dihub>
- American Concrete Institute. (2006). ACI Committee 522.

American Concrete Institute. (2013). Report on Pervious Concrete. Obtenido de ACI 522R-10:

[https://www.icpi.org/sites/default/files/resources/technical-papers/1809\\_0.pdf](https://www.icpi.org/sites/default/files/resources/technical-papers/1809_0.pdf)

Aoki, Y. (2009). Development of Pervious Concrete. Obtenido de University of Technology :

[https://pdfs.semanticscholar.org/edfb/566e5d1b533d7fb2c794ac3b8558a8a2d729.pdf?\\_ga=2.201251566.1374638341.1587258757-887858946.1587258757](https://pdfs.semanticscholar.org/edfb/566e5d1b533d7fb2c794ac3b8558a8a2d729.pdf?_ga=2.201251566.1374638341.1587258757-887858946.1587258757)

ArchDaily. (2019). Concreto Permeable | Argos. Recuperado el 10 de Oct de 2019, de

<https://www.archdaily.co/catalog/co/products/8344/concreto-permeable-argos>

Argos 360°. (2014). Concreto permeable: Desarrollo urbano de bajo impacto. Recuperado el 12 de

Oct de 2019, de Blog: <https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/concreto-permeable-desarrollo-urbano-de-bajo-impacto>

Argos 360°. (2017). Preguntas Frecuentes del Concreto Permeable. Obtenido de

<https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/category/sostenibilidad/preguntas-sobre-concreto-permeable>

Argos. (2017). Concreto permeable. Obtenido de Argos:

<https://concretosespecializados.argos.co/permeable.html>

ARGOS. (s.f.). PREGUNTAS FRECUENTES SOBRE EL CONCRETO PERMEABLE.

Obtenido de 360 EN CONCRETO:  
<https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/category/sostenibilidad/preguntas-sobre-concreto-permeable>

ASTM . (2010). Concreto Permeable. Standards Worldwide . Obtenido de

[https://www.astm.org/SNEWS/SPANISH/SPND10/c0949\\_spnd10.html](https://www.astm.org/SNEWS/SPANISH/SPND10/c0949_spnd10.html)

ASTM. (1996). Especificación Normalizada para Cemento Portland ASTM C150. Obtenido de

<https://www.astm.org/DATABASE.CART/HISTORICAL/C150C150M-11-SP.htm>

- ASTM. (1996). Especificación Normalizada para Cementos Adicionados Hidráulicos ASTM C595. Obtenido de <https://www.astm.org/DATABASE.CART/HISTORICAL/C595C595M-09-SP.htm>
- Bateni, Hin, FJ, Seng, Abdul, & Chin. (2019). Hydrological Performances on the Modified Permeable Pavement with Precast Hollow Cylinder Micro Detention Pond Structure. (Springer, Ed.) KSCE Journal of Civil Engineering(1226-7988).
- Bonicelli, Martínez , Arguelles, & Fuentes. (2016). Improving Pervious Concrete Pavements for Achieving More Sustainable Urban Roads. doi:10.1016/j.proeng.2016.08.628
- Canola, S. (8 de Marzo de 2017). VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL CONCRETO ARMADO. Obtenido de LinkedIn: <https://www.linkedin.com/pulse/ventajas-y-desventajas-del-concreto-armado-stephanie-canola/>
- Cárdenas Gutiérrez, E., Albiter Rodríguez, Á., & Jaimes Jaramillo, J. (14 de Diciembre de 2016). Pavimentos permeables. Una aproximación convergente en la construcción de vialidades urbanas y en la preservación del recurso agua. Obtenido de Tesis de grado de la Universidad Autónoma del Estado de México: <https://www.redalyc.org/jatsRepo/104/10450491009/10450491009.pdf>
- Castaño A., D. (2018). Experiencias de bases tratadas con cemento y aditivos para mejorar su desempeño. Obtenido de XVII Reunión del concreto: [http://asocretovirtual.com/presentaciones-rc2018/PAVIMENTOS/3-EXPERIENCIAS\\_DE\\_BASES\\_TRATADAS\\_CON\\_CEMENTO\\_Y\\_ADITIVOS-DIANA\\_CASTANO.pdf](http://asocretovirtual.com/presentaciones-rc2018/PAVIMENTOS/3-EXPERIENCIAS_DE_BASES_TRATADAS_CON_CEMENTO_Y_ADITIVOS-DIANA_CASTANO.pdf)
- Cementos INKA. (18 de Noviembre de 2018). VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL CONCRETO ARMADO. Obtenido de INKA CONSEJOS CONSTRUCCIÓN

- NOVEDADES: <http://www.cementosinka.com.pe/blog/ventajas-y-desventajas-del-concreto-armado/>
- Cemex. (s.f.). Concreto Permeable - Pervia | CEMEX. Obtenido de Cemex: <https://www.archdaily.co/catalog/co/products/13246/concreto-permeable-pervia-cemex>
- Chopda, & Chhatini. (2015). Mechanical Properties of Pervious Concrete. doi:10.5958/2231-3915.2015.00006.1
- CIRIA. (2007). The SuDS Manual. LONDRES: CIRIA.
- Concreto ecológico de México, S.A. de C.V. (s.f.). Sistema Constructivo. Obtenido de Concreto ecológico de México, S.A. de C.V.: <http://www.concretopermeable.com/sistema-constructivo-para-concreto-permeable/>
- CONKRETAR. (s.f.). CONCRETO CONVENCIONAL. Obtenido de CONKRETAR: <http://conkretar.com/nuestros-productos/concreto-convencional/>
- Dash, & Kar. (2018). Environment Friendly Pervious Concrete for Sustainable Construction. Materials Science and Engineering. doi:10.1088/1757-899X/410/1/012005
- Debnath, & Pratim . (2020). Characterization of Pervious Concrete Using over Burnt Brick as Coarse Aggregate. Construction and Building Materials . Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061820301598?via%3Dihub>
- Departamento Nacional de Planeación. (2 de Noviembre de 2018). Datos Básicos. Obtenido de Departamento Nacional de Planeación: [http://victoriacaldas.micolombiadigital.gov.co/sites/victoriacaldas/content/files/000372/18597\\_37mantenimiento-de-vias-2017.pdf](http://victoriacaldas.micolombiadigital.gov.co/sites/victoriacaldas/content/files/000372/18597_37mantenimiento-de-vias-2017.pdf)
- Euclid Group Toxement. (2017). CONCRETO POROSO O CONCRETO PERMEABLE. Obtenido de TOXEMENT: [http://www.toxement.com.co/media/3812/concreto\\_poroso.pdf](http://www.toxement.com.co/media/3812/concreto_poroso.pdf)

- Ferguson, B. K. (2005). Porous pavements. CRC Press. Boca Raton, Florida: Taylor & Francis Group.
- Fernández, & Navas. (2011). Diseño de Mezclas para Evaluar su Resistencia a la Compresión Uniaxial y su Permeabilidad. Obtenido de Dialnet: <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/vial/article/view/1982>
- Grubeša, Barišić, Keser, & Vračević. (2018). Wearing Characteristics Assessment of Pervious Concrete Pavements. (T. & Francis, Ed.) 727-739. Obtenido de <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/14680629.2017.1421568>
- Guzmán Camacho, C. L. (Diciembre de 2016). Concreto Permeable, Ventajas y Desventajas su Uso en Vías de Bajo Tránsito, en Comparación con el Concreto Hidráulico Convencional como Solución a los Problemas de Inundaciones en Zonas Aledañas al Humedal Jaboque, Localidad de Engativá. Obtenido de Universidad Militar Nueva Granada: <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/15662/Guzm%ElnCamachoCesarLeonardo2016.pdf;jsessionid=4DA70F6BBE4A1FB4920F48F44C4D4031?sequence=1>
- Habulat, Mohd, Norhasri, Hassan, & Hafida . (2018). Strength Development of Pervious Concrete Embedded with Latex and Polypropylene Fiber. (Springer, Ed.) Obtenido de [https://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-981-13-0074-5\\_31](https://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-981-13-0074-5_31)
- Hanh, Boutouil, Sebaib, Baraud, & Leleyter . (2017). Durability of Pervious Concrete Using Crushed Seashells. Construction and Building Materials. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061816321419?via%3Dihub>
- Hassan, & Kianmehr. (2019). Influence of Recycled Concrete Aggregates and Slag on the Performance of Pervious Concrete. (Scopus, Ed.) doi:10.11159/icsect19.124

Her Sa, J. (22 de Mayo de 2014). Concreto permeable una solución sostenible en el manejo de aguas de lluvias. Obtenido de SlideShare: <https://es.slideshare.net/jjhs395/concreto-permeable-una-solucin-sostenible-en-el-manejo-de-aguas-de-lluvias-34984629>

Hernández Díaz, B., & Martínez Llorente, O. (2014). DISEÑO DE UN CAMPO DE PRUEBA PILOTO DE PAVIMENTOS PERMEABLES EN LA CIUDAD DE CARTAGENA. Obtenido de TRABAJO DE GRADO PARA OBTAR EL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL:

[http://repositorio.unicartagena.edu.co/bitstream/handle/11227/1116/Dise%C3%B1o%20de%20un%20campo%20de%20prueba%20piloto%20de%20pavimentos%20permeables%20en%20la%20ciudad%20de%20Cartagena%20\[Brian%20Hernandez%20-%20Omar%20Mart%C3%ADnez\].pdf?sequence=1](http://repositorio.unicartagena.edu.co/bitstream/handle/11227/1116/Dise%C3%B1o%20de%20un%20campo%20de%20prueba%20piloto%20de%20pavimentos%20permeables%20en%20la%20ciudad%20de%20Cartagena%20[Brian%20Hernandez%20-%20Omar%20Mart%C3%ADnez].pdf?sequence=1)

Holcim. (s.f.). Drena Premium. Obtenido de Holcim: [https://www.holcim.com.co/sites/colombia/files/documents/Drena\\_premium.pdf](https://www.holcim.com.co/sites/colombia/files/documents/Drena_premium.pdf)

Homecenter. (2020). Alquiler Aspiradora. Obtenido de HOMECENTER: <https://www.homecenter.com.co/homecenter-co/product/31715/alquiler-aspiradora>

Homecenter. (2020). Alquiler Hidrolavadora Eléctrica. Obtenido de HOMECENTER: <https://www.homecenter.com.co/homecenter-co/product/98341/alquiler-hidrolavadora-electrica>

INGETIERRAS DE COLOMBIA S.A. (Septiembre de 2015). LISTA DE PRECIOS INGETIERRAS DE COLOMBIA. Obtenido de Ingetierras de Colombia: [https://www.ingetierrasdecolombia.com/phocadownload/doc\\_legales/listado\\_precios\\_sep\\_2015.pdf](https://www.ingetierrasdecolombia.com/phocadownload/doc_legales/listado_precios_sep_2015.pdf)

INVIAS. (2015). Artículo 500. Pavimento de Concreto Hidráulico. En INVIAS, Especificaciones Técnicas . Obtenido de

<ftp://ftp.unicauca.edu.co/cuentas/geanrilo/docs/Especificaciones%20y%20normas%20IN V-07,%20agosto%2008/Especificaciones/Articulo500-07.pdf>

Kabagire, & Yahia. (2016). Modelling the Properties of Pervious Concrete Using a Full-Factorial Design. (T. & Francis, Ed.) Road Materials and Pavement Design(1468-0629), 2164-7402

La República. (7 de Noviembre de 2018). Conozca las ventajas en costo y tiempo de usar acero en sus construcciones. Obtenido de LA REPÚBLICA: <https://www.larepublica.co/especiales/especial-camacero/conozca-las-ventajas-en-costo-y-tiempo-de-usar-acero-en-sus-construcciones-2790656>

López, H. (s.f.). Ventajas y desventajas de los pavimentos rígidos y flexibles. Obtenido de SCRIBD: <https://es.scribd.com/doc/138956563/Ventajas-y-desventajas-de-los-pavimentos-rigidos-y-flexibles>

Luck, Coyne, Workman, & Higgins. (2006). Hydrologic Properties of Pervious Concrete. ResearchGate. doi:10.13031/2013.22301

Manareguajira. (10 de Junio de 2016). Presupuesto de obra. Obtenido de Manareguajira: <http://manareguajira.gov.co/Transparencia/Contratacion/001%20Aviso%20Convocatoria%20P%C3%ABblica%20Licitaci%C3%B3n%20No.%20011%20de%202016%20Presupuesto%20y%20Oficial%20APU.pdf>

Mendoza, & Ospina. (2018). Mezcla de Concreto Permeable como Parte de la Estructura del Pavimento Rígido, Aplicado a Vías de Tráfico Medi6F. Obtenido de Univerisdad Distrital Francisco José de Caldas: <http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/14127/1/OspinaGarciaJennyKatherine.pdf>

- Moujir, Y., & Castañeda, L. (14 de Octubre de 2014). Diseño y aplicación de concreto poroso para pavimentos. Obtenido de Acta de correcciones al Proyecto de Grado Ingeniería civil: [http://vitela.javerianacali.edu.co/bitstream/handle/11522/3082/Dise%C3%B1o\\_aplicacion\\_concreto.pdf?sequence=1](http://vitela.javerianacali.edu.co/bitstream/handle/11522/3082/Dise%C3%B1o_aplicacion_concreto.pdf?sequence=1)
- National Ready Mixed Concrete Association. (2011). Materials and Mix Design. Obtenido de Pervious Pavement: <https://www.perviouspavement.org/materials.html>
- National Ready Mixed Concrete Association. (2016). Concrete Construction. Obtenido de <https://www.concreteconstruction.net/organization/national-ready-mixed-concrete-company?offset=70>
- National Ready Mixed Concrete Association's. (2010). Concrete in Practice: What, why & how? . Obtenido de National Ready Mixed Concrete Association's NRMCA: <https://www.nrmca.org/aboutconcrete/cips/38p.pdf>
- Navarro Hudiel, S. (Octubre de 2011). Diseño y cálculo geométrico de vías - Alineamiento vertical. Obtenido de Universidad Nacional de Ingeniería Recinto Universitario Augusto C. Sandino: [https://sjnavarro.files.wordpress.com/2011/08/unidad-ii\\_curvas-verticales\\_2011.pdf](https://sjnavarro.files.wordpress.com/2011/08/unidad-ii_curvas-verticales_2011.pdf)
- Niyazuddin, & Senthil. (2017). Application of Pervious Concrete for Pavements: A Review. (Scopus, Ed.) Rasayan( 0974-1496). Obtenido de <http://www.rasayanjournal.co.in>
- Obla, & Sabnis. (2015). Pervious Concrete for Sustainable Development. ResearchGate. doi:10.1201/b1813-8
- Offenberg. (2008). Is Pervious Concrete Ready for Structural Application? Insights. Obtenido de <https://www.structuremag.org/wp-content/uploads/2014/08/D-Insights-Pervious-concrete-Offenberg-Feb081.pdf>

- Ospina G., M. Á., Moreno A., L. Á., & Rodríguez, K. A. (Septiembre de 2017). Technical-economic analysis about use the recycled concrete comparative with conventional concrete in Colombia. Obtenido de ResearchGate: [https://www.researchgate.net/publication/330661099\\_Analisis\\_tecnico-economico\\_del\\_uso\\_de\\_concreto\\_reciclado\\_y\\_el\\_concreto\\_convencional\\_en\\_Colombia](https://www.researchgate.net/publication/330661099_Analisis_tecnico-economico_del_uso_de_concreto_reciclado_y_el_concreto_convencional_en_Colombia)
- Pere, F. (s.f.). z Concreto Ecologico Ventajas y Desventajas Original. Obtenido de SCRIBD: <https://es.scribd.com/document/200771572/z-Concreto-Ecologico-Ventajas-y-Desventajas-Original>
- Pinto, Carrasco, & Caballero. (2020). Estudio Experimental del Concreto Poroso con la Incorporación de Distintas Granulometrías. Universidad Tecnológica de Panamá . Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/330459789\\_Estudio\\_experimental\\_del\\_concreto\\_poroso\\_con\\_la\\_incorporacion\\_de\\_distintas\\_granulometrias](https://www.researchgate.net/publication/330459789_Estudio_experimental_del_concreto_poroso_con_la_incorporacion_de_distintas_granulometrias)
- Pladesemapesga. (s.f.). Los efectos ambientales de la producción del cemento. Obtenido de <https://pladesemapesga.com/descargas/anexonotadeprensa-efectos-ambientales-del%20clinker.pdf>
- Porras Morales, J. M. (Abril de 2017). Metodología de diseño para concretos permeables y sus respectivas correlaciones de permeabilidad. Obtenido de INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA TRABAJO DE GRADO.
- Porras, J. (2017). Metodología de Diseño para Concretos Permeables y sus Respectivas Correlaciones de Permeabilidad. Instituto Tecnológico de Costa Rica . Obtenido de [https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/7109/metodologia\\_diseno\\_concretos\\_permeables\\_respectivas.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/7109/metodologia_diseno_concretos_permeables_respectivas.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

- Raj, & Chockalingam. (2019). Strength and Abrasion Characteristics of Pervious Concrete. (T. & Francis, Ed.) Road Materials and Pavement Design, 1468-0629. Obtenido de <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/14680629.2019.1596828>
- Redondo Polanco, L., & Zúñiga Páez, L. F. (2018 de Enero de 26). Principales variables para el diseño de pavimentos permeables udc. Obtenido de SlideShare: <https://es.slideshare.net/luisfernandozuigapae/monografia-principales-variables-para-el-diseo-de-pavimentos-permeables-udc>
- Saaly, Mostafa, & Golroo. (2018). Performance of Pervious Concrete Pavement under Various Raining Conditions. Road Materials and Pavement Design, 1653-1663. Obtenido de <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/14680629.2018.1474791>
- Sartipi. (2019). Stormwater Retention Using Pervious Concrete Pavement: Great Western Sydney Case Study. (Elsevier, Ed.) Case Studies in Construction Materials. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214509519303766?via%3Dihub>
- Šeslija, Radovic', Kukaras, Starcev, & Jokanovic. (2018). Possibilities of Pervious Concrete Application in Road Constructio6E. (Scopus, Ed.) (1330-3651). Obtenido de <https://hrcak.srce.hr/204472>
- Shabalala, & Ekolu. (2019). Quality of Water Recovered by Treating Acid Mine Drainage Using Pervious Concrete Adsorbent. Comisión de Investigación del Agua de Sudáfrica(03784738). Obtenido de 10.17159 / wsa / 2019.v45.i4.7545
- solpetroleo. (s.f.). Glosario de términos. Recuperado el 3 de Oct de 2019, de <http://www.solpetroleo.com/glosario-de-terminos>
- Sonebi, Bassuoni, & Yahia. (2016). Pervious Concrete: Mix Design, Properties and Applications. RILEM , 109-115. doi:<http://dx.doi.org/10.21809/rilemtechlett.2016.24>

Sriravindrarah, Huai, & Wen. (2012). Mix Design for Pervious Recycled Aggregate Concrete. Concrete Structures and Materials(1976-0485).

State Highway. (2013). Development of High Quality Pervious Concrete Specifications for Maryland Conditions. State Highway. Obtenido de [https://www.roads.maryland.gov/OPR\\_Research/MD-13-SP009B4F\\_Pervious-Concrete-Specifications\\_Report.pdf](https://www.roads.maryland.gov/OPR_Research/MD-13-SP009B4F_Pervious-Concrete-Specifications_Report.pdf)

Subramanian. (2008). Pervious Concrete – A 'Green' Material that Helps Reduce Water Run-Off and Pollution. The Indian Concrete Journal. Obtenido de [http://www.academia.edu/download/31781894/Pervious\\_Concrete-ICJ-Dec\\_08.pdf](http://www.academia.edu/download/31781894/Pervious_Concrete-ICJ-Dec_08.pdf)

Tabatabaeian, & Khaloo. (2019). An Innovative High Performance Pervious Concrete with Polyester and Epoxy Resins. (Elsevier, Ed.) Construction and Building Materials. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061819322500?via%3Dihub>

Tennis, Leming, & Akers. (2004). Previous Concrete Pavements. ResearchGate. Obtenido de <https://www.researchgate.net/publication/242722509>

Universidad Nacional Autónoma de México. (s.f.). CAPITULO I ASPECTOS GENERALES DEL CONCRETO PERMEABLE. Obtenido de DIVISIÓN DE INGENIERÍA CIVIL Y GEOMÁTICA. FACULTAD DE INGENIERÍA. UNAM.: <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/559/A4%20Capitulo%201%20Aspectos%20Generales%20Del%20Concreto%20Permeable.pdf?sequence=4>

Unknown, B. (15 de Junio de 2016). Concreto Permeable(Ecocreto). Obtenido de Concreto Permeable (Ecocreto):

- <http://concretopermeablestalinguita.blogspot.com/2016/06/concreto-permeableecocreto.html>
- Vargas Núñez, P. (13 de Septiembre de 2018). ‘Las licitaciones viales deben incluir el asfalto y el concreto’. Obtenido de Portafolio: <https://www.portafolio.co/economia/las-ventajas-de-pavimentar-con-concreto-521124>
- Vélez , L. (2010). Permeabilidad y Porosidad del Concreto. Instituto Tecnológico Metropolitano(0123-7799), 169-187. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/3442/344234320010.pdf>
- Vergara, F. (2016). Cemento y sus Especificaciones en las Normas ASTM. Obtenido de <https://revistas.utp.ac.pa/index.php/mente-y-materia/article/view/328/pdf>
- Volder, Viswanathan, & Watson. (2014). Pervious and Impervious Pavement Reduce Production and Decrease Lifespan of Fine Roots of Mature Sweetgum. *Urban Ecosyst*, 445-453. doi:10.1007/s11252-013-0330-3
- Wei, Kuei, & Yuan. (2019). Mix Design and Mechanical Properties of High-Performance Pervious Concrete. (Scopus, Ed.) *Materials*. Obtenido de <https://www.mdpi.com/1996-1944/12/16/2577>
- Wu, Liu, Sun, & Yin. (2016). Experimental Investigation on Freeze–Thaw Durability of Portland Cement Pervious Concrete (PCPC). (ELSEVIER, Ed.) *Construction and Building Materials*. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061816306857?via%3Dihub>
- Yousefi, & Matavos. (2018). Mix Design Optimization of Silica Fume-Based Pervious Concrete for Removal of Heavy Metals from Wastewaters. (Springer, Ed.) Obtenido de <https://link.springer.com/article/10.1007/s12633-017-9663-5>

Yu, Di, & Ke. (2012). Mechanical Properties of Pervious Cement Concrete. (Springer, Ed.) Construction and Environmental Engineering. doi:10.1007/s11771-012-1411-9

Yu, Ke-jin, & Wen-fang. (2013). Evaluation of Surface Textures and Skid Resistance of Pervious Concrete Pavement. (SPRINGER, Ed.) Construction and Environmental Engineering. doi:10.1007/s11771-013-1514-y

Zhong, Leng, & Poon. (2018). Research and Application of Pervious Concrete as a Sustainable Pavement Material: A state-of-the-Art and State-of-the-Practice Review. Construction and Building Materials. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061818315289?via%3Dihub>