

IMPLEMENTACION DEL CONCRETO PERMEABLE EN EL BARRIO PARDO
RUBIO EN LA CALLE 47ª CON CRA 3 ESTE

Daniel Felipe Páez González

Ivan camilo Prada Palacios

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

IMPLEMENTACION DEL CONCRETO PERMEABLE EN EL BARRIO PARDO
RUBIO EN LA CALLE 47ª CON CRA 3 ESTE

Monografía presentada para optar por el título de ingenieros civiles

Daniel Felipe Páez González
Ivan camilo Prada Palacios

Director
Ing. Alexandra Morales Rey

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

Nota de aceptación:

Nombre director, orientador, asesor

Firma jurados (Nombre)

Firma jurados (Nombre)

Firma jurados (Nombre)

Bogotá D.C., ____ de Noviembre de 2020

DEDICATORIA

El presente trabajo de grado lo dedicamos a:

Consuelo González, mi madre por ser perseverante y brindarme todo el apoyo necesario para iniciar y terminar la carrera.

Sandra Páez, mi hermana que me brindo su hogar para vivir mientras culminaba la carrera.

Ana Palacios, mi madre que con su comprensión y apoyo fue fundamental a lo largo de toda la carrera.

Humberto Prada, mi padre que con su constante trabajo y sacrificio, me ayudo a cumplir un logro que se convierte en un título para los dos.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a nuestras familias por todo su apoyo económico, moral y físico a lo largo de esta etapa, a pesar de cualquier dificultad siempre contamos con ellos. También agradecemos a la vida por permitirnos escoger y estudiar esta profesión, a la Universidad Antonio Nariño por transmitirnos los valores que nos forjaron para ser Ingenieros éticos y responsables, a los docentes que transmitieron sus conocimientos y nos acompañaron en todo este proceso, a la Ingeniera Alexandra por desempeñar su profesión con la entereza que lo hace y guiarnos con su sabiduría para terminar el presente documento. Por último y sin ser los menos importantes, a nuestros compañeros de estudio con los cuales compartimos algún tipo de enseñanza ya que todo los días estábamos en un constante aprendizaje, a todos muchas gracias.

TABLA DE CONTENIDO

LISTA DE ILUSTRACIONES	9
LISTA DE TABLAS.....	10
1. RESUMEN.....	11
2. ABSTRACT.....	12
3. INTRODUCCIÓN	13
4. OBJETIVOS	15
Objetivo General	15
Objetivos Específicos.....	15
5. MARCO TEÓRICO.....	16
5.1 Antecedentes	16
5.2 Sistemas porosos	18
5.3 Concreto permeable.....	19
5.4 Dosificaciones del concreto permeable	19
5.4.1 Granulometría:.....	20
5.4.2 Relación Agua – Cemento:	20
5.4.3 Permeabilidad	21
5.5 Pavimento con revestimiento drenante y pavimentos con revestimiento impermeable.....	22
5.6 Propiedades del concreto permeable.....	22
5.6.1 Prueba de resistencia simple a la compresión	23
5.7 Relación y porcentaje de vacíos.....	24
5.8 Sistemas de drenaje en vías	25
5.8.1 Cunetas	25
5.8.2 Contra-cunetas	26
5.8.3 Tubos.....	26
5.8.4 Cajones	26
5.8.5 Sumideros.....	27
5.8.6 Dren francés	27
5.9 Hidrología	29
5.9.1 Intensidad de lluvia.....	29
5.9.2 Datos de precipitación de la estación OBS MET NACIONAL	29

5.10	Localización de la vía	30
5.10.1	Bombeo	31
5.10.2	Calzada	31
5.10.3	Carril.	31
5.10.4	Pavimento Rígido.	32
5.11	Empresas Colombianas distribuidoras de concreto permeable.	32
5.11.1	Argos.....	32
5.11.2	Holcim Colombia.	33
5.11.3	Cemex.	34
6	ESTADO DEL CONOCIMIENTO	36
6.1	Impacto del tipo y tamaño de agregado y los aditivos minerales en las propiedades del concreto permeable.	36
6.2	Desarrollo de concreto permeable con altos índices de resistencia usando altos porcentaje de residuos de vidrio.	37
6.3	Análisis de metodologías para la medición en la tasa de infiltración en concretos porosos.	39
6.4	Infiltración en bloques de pavimentos con la relación de suelo-cemento.	40
6.5	Una evaluación para la determinación en el ciclo de la vida de pavimentos permeables analizando diferentes casos.	42
6.6	Reducción de contaminación en la escorrentía superficial teniendo en cuenta el concreto poroso y el uso de dióxido de titanio.	43
6.7	Diseño de mezcla de concreto permeable para pavimentos con adición de tiras de polipropileno.	45
6.8	Un experimento sobre cómo el pavimento permeable se puede ver afectado por la obstrucción y evitándola mediante el uso de poliuretano.	45
6.9	Pavimentos permeables. Una aproximación convergente en la construcción de vialidades urbanas y en la preservación del recurso agua.	47
6.10	Aplicación de concreto permeable en vías de Bogotá para tráfico medio.	48
6.11	Utilización de granulado de caucho reciclado como adición para concreto permeable para uso en estacionamientos vehiculares.	48
7	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	50
8	METODOLOGIA	52
8.1	Metodología para la generación de resultados	52
9	CONCLUSIONES	54

10	RECOMENDACIONES	57
11	ANEXOS	58
12	BIBLIOGRAFIA.....	61

LISTA DE ILUSTRACIONES

Figura 1: Imagen de la vía en estudio	28
Figura 2: Curvas intensidad duración frecuencia – IDF.....	29
Figura 3: Toma aérea de la vía en estudio.....	31
Figura 4: Vía localizada en el barrio Pardo Rubio sentido Occidente – Oriente.....	32
Figura 5: Concreto permeable implementado en ciclo vía en Barranquilla.....	33
Figura 6: Concreto permeable de Holcim Colombia.....	34
Figura 7: Concreto permeable empleado en pista de BMX, Francia.....	35
Figura 8: Montaje prueba de permeabilidad.....	38
Figura 9: Diseño transversal de la estructura de la vía.	41
Figura 10: Tomografía de rayos x al muestreo	46
Figura 11: Respuesta solicitud estación meteorológica	58
Figura 12: Vista aérea de la vía con medidas longitudinales	59

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Dosificaciones de mezcla	21
Tabla 2: Relación duración y periodo de retorno	30
Tabla 3: Análisis de costos de materiales concreto poroso.	58
Tabla 4: Análisis de costos de materiales concreto convencional	59
Tabla 5: Análisis de precios unitarios	60

1. RESUMEN

Con la presente monografía se pretende abordar temas importantes que en la actualidad son relevantes para la sostenibilidad de los recursos del planeta tierra y sus habitantes, son múltiples áreas las que están involucradas como la ingeniería civil que debe generar nuevas estructuras que sean amigables con el medio ambiente y sobre todo que sigan cumpliendo las especificaciones para que sean seguras al momento de utilizar.

El concreto permeable se presenta como una oportunidad para cambiar ciertos sistemas de construcción que ayuden a mejorar la escorrentía superficial de las vías cuando estas se encuentran bajo fuertes intensidades de lluvia, y así mejorar la experiencias de los usuarios cuando se presentan estos eventos, aparte de dar un mejor trato a las aguas lluvias sin que estas estén dirigidas al alcantarillado público.

Es importante partir de la vía ubicada en la Calle 47ª con Cra3 Este, ya que cuando los eventos pluviales se presentan en este sector las aguas lluvias de gran parte del Barrio pasan por las cunetas de esta vía y en ocasiones se presentan grandes flujos de agua que no pueden ser evacuados por la pendiente de diseño y presenta inseguridad para los usuarios, es por esto que se busca implementar un nuevo modelo para mejorar la escorrentía superficial de la vía y así mismo ser un punto de partida para nuevos diseños en todas las vías de Bogotá.

2. ABSTRACT

This monograph aims to address important issues that are currently relevant to the sustainability of the resources of the planet earth and its inhabitants, are multiple areas that are involved as the civil engineering that should generate new structures that are friendly to the environment and above all that continue to meet the specifications to be safe to use.

The permeable concrete is presented as an opportunity to change certain construction systems that help improve the surface runoff of the roads when these are under heavy rain, and thus improve the experience of users when these events occur, apart from giving better treatment to rainwater without these are directed to the public sewerage.

It is important to start with the road located on 47th Street and Cra3 East because when rainwater events occur in this sector, the rainwater from a large part of the neighborhood passes through the ditches of this road and sometimes there are large flows of water that cannot be evacuated because of the design slope and presents insecurity for users.

3. INTRODUCCIÓN

Para el crecimiento de una sociedad son necesarias las vías, estas a lo largo de la historia han tenido un papel importante ya que su objetivo fue fundamental para el desarrollo de diferentes actividades, como la comunicación de poblaciones y el intercambio de mercancías o elementos culturales, desde que existieron los primeros caminos siempre se visualizó una estructura en su composición, la idea de tener una estructura es que se prolongara su duración y no se tuvieran que hacer mantenimientos de manera constante.

En la actualidad las vías son influyentes para la comunicación interna de sus habitantes, cuando se presentan lluvias muy intensas y no se ha realizado el debido mantenimiento en vías o alcantarillado, la recolección de estas aguas tiende a verse lento y afecta la movilidad de los usuarios que la utilizan aumentando los tiempos de desplazamientos de los mismos.

Con esta monografía se pretende proponer el concreto permeable en la vía ubicada en el Barrio Pardo Rubio para mejorar la recolección de aguas lluvias, evitando costos de mantenimiento sobre la vía, retrasos en la movilidad, mejorando la experiencia de los usuarios en momentos que se presenten altas intensidades de lluvia.

Se pretende encontrar las propiedades del concreto permeable como son: sus dosificaciones, las variaciones que sufre respecto al concreto para vías, sus propiedades físicas como la resistencia a la compresión, la estructura de una vía y como se puede alterar para incluir el concreto permeable y obtener la manera de cómo se pretende

realizar la recolección del agua que ingresa a las capas inferiores del suelo para que estas no pierdan sus propiedades.

4. OBJETIVOS

Objetivo General

Elaborar una recopilación de información del concreto permeable con finalidad de proponer dicho material como solución para mejorar la escorrentía superficial en el Barrio Pardo Rubio Calle 47^a con Cra3 Este.

Objetivos Específicos

1. Comprender la composición del concreto permeable, dosificaciones y relaciones de agua cemento.
2. Identificar el porcentaje de vacíos que permite la permeabilidad en el concreto y la cantidad de agua que podrá recoger en diferentes intensidades de lluvia.
3. Examinar la intensidad de lluvia en el barrio Pardo Rubio para definir la viabilidad del uso del concreto permeable.
4. Analizar la distribución del sistema de recolección de aguas lluvias que se presentan en la vía.

5. MARCO TEÓRICO

5.1 Antecedentes

La aparición y uso del concreto permeable se remonta al año 1800 en el continente europeo siendo utilizado como revestimiento para pavimentos y muros de carga. El éxito que tuvo en ese entonces dicho material fue importante debido a que se comprobó que era un material rentable y de bajo costo debido a que el uso de cemento es menor comparándolo con los concretos comunes. En 1920 cobró nuevamente popularidad en Inglaterra y Escocia para la construcción de viviendas no máximo de 2 plantas. En Europa tomó gran importancia luego de la segunda guerra mundial debido a la poca existencia de cemento en el momento.

Después del éxito que tuvo el uso del concreto permeable para la construcción de viviendas, una asociación escocesa de vivienda de fácil acceso adopto el uso de este tipo de concreto para la construcción de viviendas siendo así que entre los años de 1930 y 1940 se construyeron cerca de 900 casas familiares en ese país.

La segunda guerra mundial no solo genero escases de cemento sino que también fomento la falta de viviendas para muchas personas que las perdieron y es así como en la década de 1940 se intensifico el uso de concreto permeable en toda Europa para la realización de casas pero no en edificios.

Alemania realizo avances en cuanto al uso del uso de concretos con permeabilidad debido a que posteriormente a la guerra la eliminación de los escombros era un problema por lo cual adoptaron dicho tipo de concreto como material de construcción y

determinaron de manera muy notable que su uso era más rentable debido a su fácil aplicación, bajos costos operativos y disminución de mano de obra (Torres, 2010).

Hacia los años 1900 la rama de las obras civiles en Europa reconocía el uso de concreto con permeabilidad para la aplicación en compuesto netamente estructurales y aislante para los mismos; 20 años después su uso comenzó a ser aplicado en vías llegando a la actualidad donde el hormigón poroso (concreto permeable) es un material para usos varios y de gran rentabilidad sobre todo el avance que se ha generado en Estados Unidos donde su aplicación es de suma importancia (Anónimo, 2015).

En México el uso de hormigón poroso se ha intensificado debido a las sequías que azotan el país a lo largo de su extensión, y se realizan superficie en dicho material con la finalidad de aprovechar la escorrentía superficial para la recarga de acuíferos y así evitar inundaciones o encharcamiento en lugares donde se puedan presentar (Cárdenas, Rodríguez & Jaramillo, 2016).

En la historia colombiana no se tienen datos relevantes donde se pueda evidenciar el uso de concretos permeables como material de suma importancia en las construcciones civiles, sin embargo cabe resaltar la investigación realizada por CETACA, Un grupo de la universidad javeriana que realizó aportes al análisis del comportamiento de concretos porosos agregando tiras plásticas y posteriormente estudiando el comportamiento en cuanto a resistencia. También existe registro del uso de concretos permeables en la realización de algunos andenes o parques infantiles donde la infiltración es poca o se presentan encharcamientos en ciudades como Barranquilla (Castañeda & Moujir, 2014).

5.2 Sistemas porosos

Como medida de sostenibilidad es importante que en la construcción de proyectos referentes a las obras civiles (puentes, carreteras, vías etc.) se debe tener en cuenta el reciclaje, reutilización y recuperación de materiales tratando de minimizar los impactos de tipo ambiental y económicos, adoptando medidas necesarias para desarrollar tecnologías efectivas, que sean viables y que se puedan llevar a cabo.

Los sistemas porosos en concreto son aquellos que tienen una gran capacidad de infiltración del agua u otro fluido debido a que su realización o fabricación consta de la mezcla de un material cementante. Bajas cantidades de agua en comparación con los concretos convencionales y agregados gruesos con ausencia o escasos de agregados finos debido a que el espaciamiento existente entre las partículas de agregado gruesos logrando un porcentaje de vacíos entre el 15 y 20 % permitirán a los fluidos (agua) su rápida infiltración hacia capas inferiores (Silletta, 2011).

Una de las tecnologías que tiene gran relevancia dentro de la ingeniería civil es la de los concretos porosos por varios motivos; en primer lugar como medida medio ambiental debido a que la capacidad de infiltración existente permite su colocación en lugares de recarga de acuíferos subterráneos o la libre circulación de agua, también se puede realizar su colocación donde la topografía es algo compleja, en segundo lugar tiene ventajas económicas debido a la poca utilización de agregados finos y los bajos niveles de agua para su realización.

La tecnología de concretos porosos es utilizada usualmente en la realización de pavimentos siendo una gran alternativa para la reducción en la construcción de sistemas

de drenajes en las vías haciendo posible que el espacio en las vías sea más amplio y brindando una mayor seguridad para los vehículos evitando el hidropneumático ya que el encharcamiento es casi nulo o no existe en los sistemas de concretos porosos.

5.3 Concreto permeable

El concreto permeable es un diseño de mezcla que busca la absorción de aguas de manera rápida, esto se debe a los cambios en las dosificaciones de las mezclas en sus diferentes resistencias, $f'c$, ya que se busca la eliminación de agregados finos en su totalidad o de manera parcial, permitiendo que se generen unos vacíos en la mezcla los cuales serán los conductos o vías por donde el agua se va a infiltrar a través de la mezcla.

Para este tipo de mezclas se le pueden dar diferentes tipos de usos, aunque se va a ver limitado al lugar donde se ubique, al eliminar los agregados finos de la mezcla se modifica la resistencia del concreto, esto supone inconvenientes al momento de utilizar en vías ya que es donde se pueden observar que se podría aprovechar de mejor manera para la recolección de aguas lluvias. Pero con nuevos avances o bocetos en el diseño de pavimentos es posible adaptar este tipo de mezclas para mejorar la escorrentía superficial de las vías (EPA, 1980).

5.4 Dosificaciones del concreto permeable

Para la dosificación del concreto permeable se puede abordar de dos maneras: eliminando por completo los agregados finos o trabajar con una parte mínima o reducida de agregados finos para la mezcla. Para este caso se utilizara una mezcla sin

agregados finos buscando la mayor relación de vacíos que permita la máxima filtración de agua.

Para este tipo de mezcla se deben tener en cuenta los valores máximos y mínimos de material granular que va a tener la mezcla para la mayor relación de vacíos posible y la relación agua-cemento que va a tener debido a los cambios en su composición.

5.4.1 Granulometría:

Para la granulometría de la mezcla los agregados gruesos a utilizar únicamente se tendrán en cuenta los que sean mayores a 5 mm y no superen los 10 mm, esto para permitir que se genere una buena relación de vacíos en la mezcla que permita la absorción rápida del agua (Crouch *et al.* 2005).

Como los agregados finos no se tendrán presentes en la mezcla debido al interés de esta, y cabe recordar que los agregados finos que pasen el tamiz No. 200 pueden resultar perjudiciales para la mezcla ya que no permitiría que el cemento y el agregado grueso tengan la mejor unión.

5.4.2 Relación Agua – Cemento:

Para la cantidad de agua a utilizar se debe tener en cuenta la cantidad de cemento utilizada y el tamaño máximo utilizado en agregados grueso, para determinar la relación el agua utilizada se adhiere hasta que el cemento tome un color metálico brillante que normalmente tiene un valor que oscila entre 0,3 y 0,6.

5.4.3 Permeabilidad

Para comprender los valores de permeabilidad se debe tener en cuenta que no va a estar relacionada directamente con la porosidad (Solis *et al*, 2006), se deben tener presentes otros factores como la relación de agua-cemento, la absorción de los materiales, la conexión que tendrá el agregado grueso en la mezcla, esto es necesario para determinar la permeabilidad del concreto permeable.

Según estudios, se llegó a determinar que la permeabilidad puede representarse en la capacidad de agua filtrada en un tiempo determinado, es por esto que teniendo en cuenta los componentes ya mencionados, la permeabilidad para una relación de vacíos de 11%, resistencia de 33 MPa con dosificación de cemento de 350 kg/m³ y variando la relación agua cemento, esta permeabilidad es de 2,342 mm/s (Vélez, 2010).

Tabla 1: Dosificaciones de mezcla
Adaptado de (Toxement, 2017)

Contenido de material en la mezcla	
MATERIALES	Kg/m ³
Cemento	356
Grava	1543
Agua	95
Agua-Cemento	0,27

La dosificación varía dependiendo el uso final que se le da al concreto permeable, las anteriores son las más recomendadas para el uso de parqueaderos, que en su caso es para obtener la resistencia más alta.

5.5 Pavimento con revestimiento drenante y pavimentos con revestimiento impermeable

Los pavimentos con revestimiento drenante son aquéllos que en su totalidad estructural permiten el paso del agua directamente a la base donde se realizó la colocación del concreto haciendo que el encharcamiento en vías sea nulo y el drenaje sea rápido.

Los pavimentos con revestimiento impermeable tienen la característica principal, en la cual la mayoría de los casos el revestimiento lateral en vías sea impermeable con la finalidad de que el agua que se infiltre a través del pavimento sea conducida hacia un punto en específico para darle un uso posterior.

Para la colocación en vías, los pavimentos permeables tienen un espesor mínimo de 7 cm, ya sea con revestimiento drenante o impermeable con base de material de 15 mm de diámetro apisonado o compactado para su posterior colocación, tratándose de pavimentos para vías donde transitan vehículos pequeños o donde el tráfico sea de nivel medio y bajo. (Trujillo & Quiroz, 2013).

5.6 Propiedades del concreto permeable

Según estudios de Nader Ghafoori, variando la cantidad de material grueso, la cantidad cemento y la cantidad de agua, un concreto permeable a pesar de la ausencia de agregados finos puede llegar a obtener resistencias considerables entre 400 psi y 4000 psi, pero lo más común en este tipo de concretos es que su resistencia se encuentre entre los 600 psi y 1500 psi, estas últimas resistencias no son las óptimas para utilizarse en

parqueaderos y zonas de alto flujo vehicular pero si para implementar en parques o ciclovias.

En los concretos permeables es importante la resistencia que estos puedan llegar a alcanzar pero es de vital importancia también tener en cuenta el porcentaje de vacíos que se presenten debido a que de ello depende el éxito de la infiltración a través de la estructura que se desee diseñar; teniendo en cuenta lo mencionado anteriormente se verifica la densidad o el peso unitario óptimo de 800 kg/m^3 en estado fresco siguiendo los lineamientos de la norma ASTM-C29 usando el método “JIGGING” .Se debe tener en cuenta que las pruebas de contenido de aire y asentamiento no se aplican para los concretos permeables (González, 2015).

5.6.1 Prueba de resistencia simple a la compresión

La prueba de resistencia a la compresión es el ensayo más común empleados en la rama de la ingeniería civil con la finalidad de determinar que un concreto cumpla con los requerimientos necesarios para el diseño de estructuras. La resistencia a la compresión se determina fallando probetas de concreto con formas cilíndricas donde la máquina correspondiente al ensayo aplica una carga axial en las probetas hasta llegar al punto de falla, la resistencia a la compresión se mide a partir de la carga suministrada dividida en el área de la sección transversal de la probeta (kg/cm^2) o (Mpa) (Cabello *et al*, 2015).

Para determinar la resistencia optima del concreto es usual realizar 3 probetas con las mismas características y realizar su falla a los 7, 14 y 28 días siendo la última teniendo en cuenta cuando el concreto llega a su máxima

resistencia o se aproxima a tal valor, en el ensayo de resistencia existen dos criterios que de cumplirse es un caso de aceptación para la resistencia que se desee las cuales son:

- Promediando el resultado de 3 ensayos seguidos la resistencia es igual o mayor según las especificaciones.
- Ninguno de los ensayos realizados a 28 días dará como resultado resistencias menores a (3,45 Mpa).

5.7 Relación y porcentaje de vacíos

Según la norma ASTM C29 dice que la densidad total o peso unitario de los agregados donde se determina la densidad total de estos dividiendo el peso del agregado en estado seco (consolidado y compactado) y el volumen que ocupa (kg/m^3) el resultado del ensayo mencionado es de vital importancia para la dosificación y proporcionamiento de las mezclas de concreto, así mismo para conversiones relacionadas con la masa y el volumen (Sumanasooriya & Neithalath, 2011).

Con la finalidad de determinar el porcentaje de vacíos se requieren los valores de gravedad específica que se obtienen de los ensayos propuestos por la norma ASTM C128 O C127. El porcentaje de vacíos está dado por la siguiente ecuación.

$$\% \text{ de vacios} = 100 * (S\gamma(\text{agua}) - \rho m) / S\gamma(\text{agua}) \quad (1)$$

Dónde:

% de vacíos = porcentaje de vacíos

S = gravedad específica del agregado (grava)

(Agua)= densidad del agua

ρ_m = densidad del material

5.8 Sistemas de drenaje en vías

Los sistemas drenajes en vías se realizan con la finalidad de evacuar o impedir la llegada del agua hacia la estructura de esta manera no se verán afectadas por encharcamientos o fallas futuras por la saturación que pueda provocar la excesiva cantidad de agua. En las vías existen dos tipos de drenajes que dependen si el agua cruza o no las cortezas terrestres de las vías siendo transversal o longitudinal respectivamente (Gómez *et al*, 2007).

El drenaje longitudinal es aquel que tiene como finalidad evacuar el agua que pueda llegar a la vía. También sirven como estructuras que evitan la llegada de agua a la estructura de las carreteras, habitualmente este tipo de estructuras de drenaje se encuentran paralelas y a lo largo de las vías entre las obras de drenaje longitudinal se encuentran:

5.8.1 Cunetas

Las cunetas son zanjas que se construyen longitudinalmente y paralelas a las vías, según sea necesario o posible este tipo de obras de drenaje se construyen a uno o ambos lados de las vías; el objetivo principal que cumple las cunetas es recolectar las aguas que salen de la superficie de las vías o de las zonas adyacentes a la misma y conducir las a un lugar apropiado para que la estructura

vial no se vea afectada. Las cunetas pueden tener distintas geometrías según lo indique las especificaciones de construcción o el uso (Echeverry, 2004).

5.8.2 Contra-cunetas

Las contra-cunetas son zanjas construidas aguas arriba en zonas de ladera que tienen como función recolectar el agua que proviene de la escorrentía del suelo natural para que esta no llegue hasta las vías y de igual manera evitar la saturación hidráulica de las cunetas.

El drenaje transversal es aquel que tiene como finalidad evacuar el agua existente en la superficie de las vías. La gran mayoría de estas estructuras de drenaje tiene como semejanza que dejan pasar el agua de un lado a otro las vías en su parte inferior (Jaen & Romana, 2004).

En la realización de obras de drenaje transversal se pueden clasificar de mayor o menor dimensión, siendo las mayores cuando el claro de trabajo supera los 6 m de longitud. Entre las obras de drenaje horizontal se encuentran:

5.8.3 Tubos

Son alcantarillas con sección interior normalmente de geometría circular. se requiere que el terraplén de ubicación tenga mínimo 60 cm de espesor para su correcto funcionamiento (Carmona, 2013).

5.8.4 Cajones

Los cajones son obras de drenaje que normalmente tienen una forma geométrica rectangular. Pero de magnitudes considerables haciendo que en su interior se formen paredes, pisos y techos que son adyacentes entre sí para la formación de la estructura hidráulica. Los cajones normalmente van enterrados y permiten el paso del agua de un lado a otro de una vía (Rivadeneira, 2012).

5.8.5 Sumideros

Los sumideros son estructuras hidráulicas perpendiculares a las vías que tiene como finalidad evacuar el agua recolectada por los bordillos y las cunetas y depositarlas en otras estructuras hidráulicas (alcantarillas, cajones, tubos etc.) con el fin de que las aguas no estén en la vía o un terraplén donde se puedan generar daños estructurales o deslaves en el terreno (Rivadeneira, 2012).

5.8.6 Dren francés

Son zanjas las cuales contienen material drenante que previamente tuvo que haber sido compactado y acomodado para su correcto funcionamiento. Habitualmente el material drenante es complementado por tubos drenantes (tubería con perforación), dicha tubería debe ponerse con una pendiente mínima del 1 % para su correcto funcionamiento.

El dren francés es un sistema de drenaje y recolección de aguas pluviales provenientes de la escorrentía superficial y en algunos casos de la infiltración; la finalidad de este tipo de drenaje es evitar la erosión, prevenir el movimiento en masa de terrenos y reducir la sobresaturación en un área de terreno. El

diseño de los drenes pueden variar dependiendo la necesidad o el uso que este mismo pueda suplir, pero generalmente consiste en zanjas con espaciamiento entre ellas entre 15 a 30 metros normalmente realizadas en forma de espina de pescado formando una pequeña cuenca artesanal en la zona de ladera conduciendo el agua hacia un dren colector situado en el pie del talud. Para la formación de drenes franceses se realizan con una profundidad de 30 a 50 cm y un ancho de 60 cm a un metro de longitud (Soto, 2013).



Figura 1: Imagen de la vía en estudio
Fuente: Tomada en sitio

5.9 Hidrología

Se define la hidrología como “la ciencia que se encarga del estudio de las aguas naturales, su ocurrencia, circulación, distribución y los fenómenos y procesos que transcurren en la hidrosfera” (Espino, 1999, P.147).

5.9.1 Intensidad de lluvia

Se define la intensidad de lluvia como “la tasa de cambio de una cantidad de lluvia, en un tiempo dado, las unidades empleadas para esta definición son la de lámina de lluvia precipitada por unidad de tiempo”. (Espino, 1999, P.156).

5.9.2 Datos de precipitación de la estación OBS MET NACIONAL

Las curvas IDF son resultantes de la unión de distintos puntos que representan la intensidad media de las lluvias con diferentes duraciones, pero que corresponden a un mismo periodo de retorno o frecuencia (Témez, 1978).

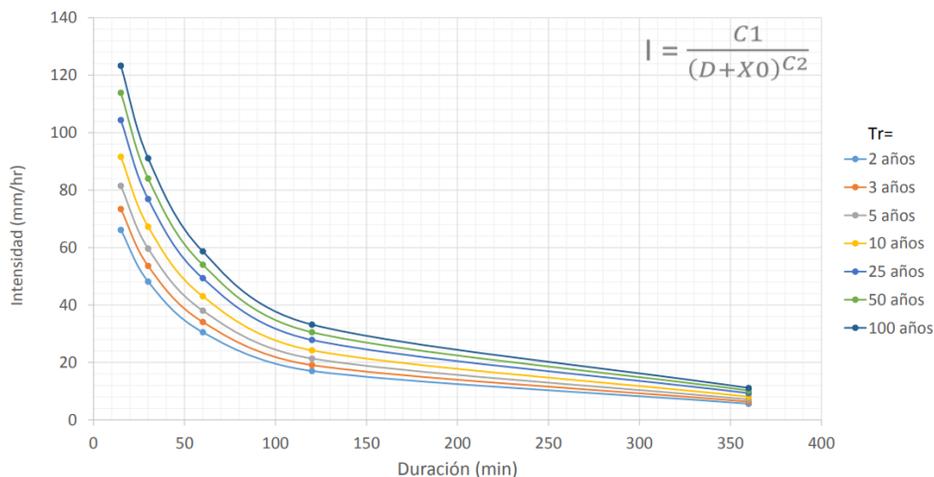


Figura 2: Curvas intensidad duración frecuencia – IDF
Tomado de IDEAM

Se presenta las curvas IDF de la estación OBS MET NACIONAL, de la cual se tiene diferentes periodos de retorno con variación de la duración en las lluvias.

Tabla 2: Relación duración y periodo de retorno
Adaptado de (IDEAM, 2017)

D (min)	$I_{TR=2}$	$I_{TR=3}$	$I_{TR=5}$	$I_{TR=10}$	$I_{TR=25}$	$I_{TR=50}$	$I_{TR=100}$
15	66.2	73.4	81.5	91.7	104.6	114.1	123.6
30	48.2	53.5	59.5	67.0	76.4	83.4	90.4
60	30.7	34.3	38.4	43.4	49.8	54.6	59.3
120	16.8	18.9	21.2	24.1	27.8	30.6	33.3
360	5.8	6.4	7.1	8.0	9.1	9.9	10.7

Con la anterior información es posible comprender la intensidad de lluvia que presenta la zona céntrica-oriental de la ciudad.

5.10 Localización de la vía

Se pretende hacer un estudio en el barrio Pardo Rubio ubicado en los cerros orientales de Bogotá para la vía ubicada en la Carrera 3 este con Calle 47 b, para determinar cómo se puede mejorar la escorrentía superficial para ocasiones en la que se presentan fuertes intensidades de lluvia.

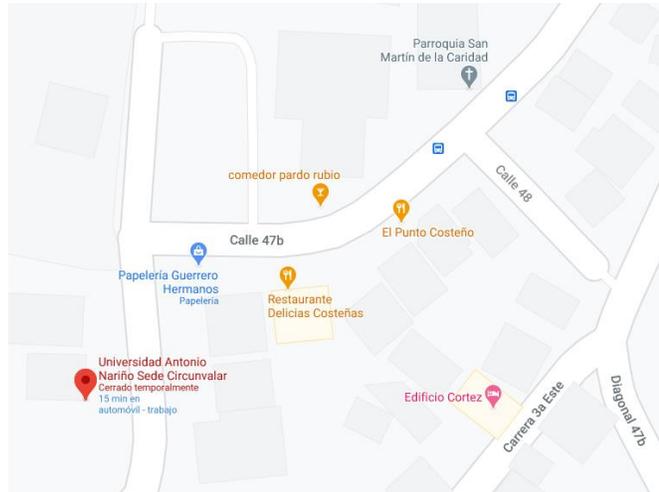


Figura 3: Toma aérea de la vía en estudio
Fuente: Tomada de Google mapas

5.10.1 Bombeo

Se entiende por bombeo la pendiente necesaria para evacuar el agua superficial cuando se presenta sobre la vía, normalmente estas se diseñan desde el eje de la vía hacia los bordes (INVIAS, 2013).

5.10.2 Calzada.

Se define a la calzada como la zona destinada para la circulación de los vehículos en una vía, normalmente éstas son de algún tipo de material afirmado o pavimentada (INVIAS, 2013).

5.10.3 Carril.

Es la parte de una calzada destinada para el tránsito de vehículos en un mismo sentido (INVIAS, 2013).

5.10.4 Pavimento Rígido.

Se entiende como pavimento rígido a la losa de concreto que se coloca directamente sobre la base o subrasante de una vía, que transmite los esfuerzos de manera directa al suelo (DNP, 2017).

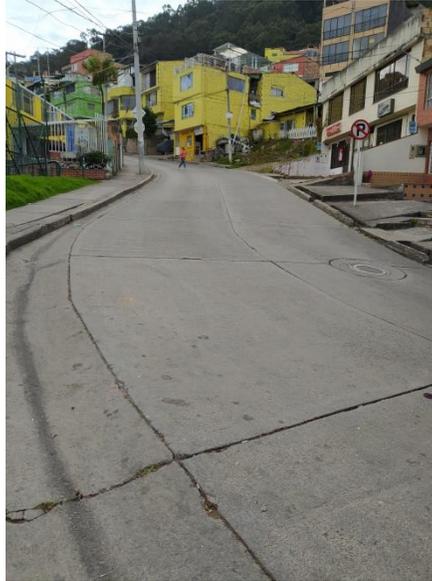


Figura 4: Vía localizada en el barrio Pardo Rubio sentido Occidente – Oriente
Fuente: Tomada en sitio

5.11 Empresas Colombianas distribuidoras de concreto permeable.

A nivel nacional se distinguen 3 grandes empresas que han desarrollado concreto permeable según criterios de dosificaciones y técnicas de colocado.

5.11.1 Argos.

Empresa colombiana importante en la fabricación de materiales de construcción resaltando el cemento ha realizado avances importantes en la fabricación de concretos porosos estando en la búsqueda del mejoramiento de sistemas de infiltración favoreciendo el ciclo natural del agua y la no saturación de

sistemas de alcantarillado; dichos avances se han realizado continuos a partir del año 2015 (ArchiDaily, 2016).



Figura 5: Concreto permeable implementado en ciclo vía en Barranquilla.
Fuente: Biblioteca de obras Argos.

5.11.2 Holcim Colombia.

Holcim ha desarrollado un concreto permeable denominado dreña Premium el cual es una mezcla de cemento, aditivos y agregados netamente gruesos especificados en la ficha técnica, dreña Premium especifica su uso en lugares como pavimentos para plazoletas, gaviones, espacios deportivos, filtros, elementos prefabricados y andenes. Cabe resaltar que para dicho material el grado de resistencia difiere en el grado de compactación del material (Holcim, 2017).



Figura 6: Concreto permeable de Holcim Colombia
Fuente: Ficha técnica de concreto permeable Holcim

5.11.3 Cemex.

Cemex realiza un producto de poros conectados unos con otros que permite el drenaje de aguas apropiado para estructuras verticales y horizontales donde se presentan bajo tráfico vehicular en el caso de pavimentos. El material es una medida de desarrollo sostenible que busca facilitar la recarga de reservas subterráneas. En el caso de la pavimentación tiene una característica importante que busca fomentar mayor agarre debido a su aspecto rugoso (Cemex, 2016).



Figura 7: Concreto permeable empleado en pista de BMX, Francia
Fuente: Comunicados Cemex

6 ESTADO DEL CONOCIMIENTO

En la actualidad el concreto permeable no tiene una gran difusión comercial como los otros concretos existentes y menos en la utilización de vías de gran flujo vehicular, se tiene evidencia a nivel nacional que es utilizado en parqueaderos de conjuntos residenciales o parqueaderos a cielo abierto para la recolección de aguas lluvias, en ciclo rutas debido al poco peso que estas deben soportar para prestar el servicio, los parques también son uso frecuente para instalar este tipo de concreto para evitar el encharcamiento en las canchas o senderos que estos puedan tener y dirigir sus aguas a las zonas verdes que este contenga.

Es posible pensar que el uso de este tipo de mezcla este limitada por la resistencia ultima que pueda presentar, pero de manera adecuada se puede incorporar en las vías de bajo, medio y alto tráfico que pueda presentar la ciudad de Bogotá, es evidente que lo que se busca es mejorar la escorrentía superficial y evitar el encharcamiento o hidroplaneo en las vías.

6.1 Impacto del tipo y tamaño de agregado y los aditivos minerales en las propiedades del concreto permeable.

Es de gran importancia entender que los concretos permeables cumplen una función importante debido a que estos mismos facilitan la recarga de acuíferos y por ende mantiene el nivel de las agua del nivel freático. Para que estos concretos sean funcionales debe existir una equidad entre la permeabilidad y la resistencia a la compresión lo cual es importante para mantener los estándares a los cuales se

someten los concretos para pavimentos para lo cual el tamaño, agregados y aditivos son compuestos que influyen en la resistencia del hormigón.

En el estudio se realizaron 56 ensayos de hormigón permeable cada uno de ellos con diferente tipo de agregados y tamaño de los mismos y también variando los aditivos que se usaban; observando que se obtiene una mayor resistencia a la compresión con agregado dolerita comparando con agregado granito. En cuanto a la porosidad para el concreto permeable para la dolerita y el granito es del 18% y 0,25% respectivamente (Huang *et al*, 2020).

Según la experimentación en el uso del granito la permeabilidad es menor a medida que se aumentan el tamaño de las partículas. También se evidencia un aumento en la resistencia a la compresión con el aumento del nivel de humo sílice pero disminuyendo las cenizas volantes haciendo el reemplazo de 6% y 10% respectivamente para así determinar que la resistencia a la compresión de los concretos permeable es mayor con el aumento de humos sílice y es menor cuando se aumenta las cenizas volantes.

6.2 Desarrollo de concreto permeable con altos índices de resistencia usando altos porcentaje de residuos de vidrio.

Debido a la intensificación del uso de nuevas tecnologías para la construcción se han realizado avances en cuanto a concretos permeables que a su vez estos mismos se han pretendido relacionar con otro tipo de materiales de manera que sean más económicos, seguros y amables con el medio ambiente. En el estudio se toma como materia de uso innovador el vidrio residual con la finalidad de que su uso en

concretos sea mayor para lo cual se determinó que pueda usarse como material agregado y también existe una relación como un material aglutinante mostrando efectos en cuanto propiedades esenciales en concretos permeables (conductividad térmica, propiedades mecánicas, permeabilidad, estructura porosa).

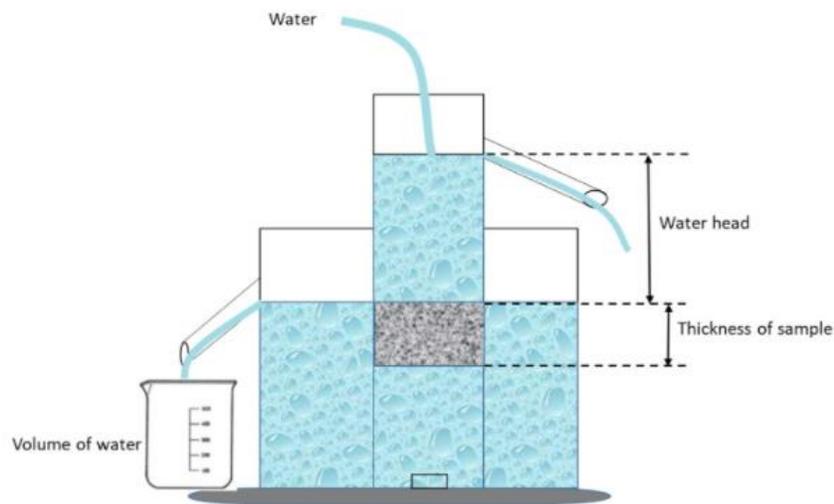


Figura 8: Montaje prueba de permeabilidad
Tomado de Cement and Concrete Composites

Realizaron un ensayo sin inmersión de NaOH a 80 grados Celsius mostrando como resultado que la resistencia a la compresión es menor cada vez que se aumenta la relación de vidrio residual pero la permeabilidad es de mejor calidad teniendo en cuenta la relación existente con el material aglutinante, lo que indica que la permeabilidad es mejor si existe mayor presencia de vidrio residual como agregado en un concreto permeable debido a que la superficie de este material es lisa (Peiliang *et al*, 2020).

Realizando un cambio total (100%) del material residual y aumentando dos veces el material aglutinante la resistencia a la compresión del concreto permeable y su permeabilidad aumentaron hasta el punto de rebasar los estándares

convencionales; otro resultado positivo demostró que con el aumento de fibra de vidrio se evidencia una reacción de álcali sílice lo que disminuye las proporciones de agua aglutinante y proporciona otros materiales cementantes en el concreto.

6.3 Análisis de metodologías para la medición en la tasa de infiltración en concretos porosos.

En la realización de pavimentos y concretos permeables es de suma importancia tener en cuenta la tasa de infiltración debido a que este dato es de gran vitalidad para alcanzar la calidad que se quiere encontrar en un producto final de este tipo de materiales y también poder comprender como un pavimento podrá ser eficaz a la hora de realizar el drenaje de las aguas que en su superficie puedan encontrarse.

En la actualidad existe una metodología para poder medir la tasa de infiltración como método estandarizado para la toma de dicho dato en la realización de pavimentos de concretos permeables el cual esta patentado por la norma (ASTM C1701); pero esta norma no tiene un procedimiento estandarizado para la medición de la tasa de infiltración de solo el concreto permeable.

Con la investigación se quiere lograr llegar a comparar varias metodologías donde se pueda medir la tasa de infiltración de concretos permeables de manera unánime en cuanto al material relacionado con el pavimento. Carga descendente, constante y un ensayo de la norma ASTM C-701 previamente con cambios en su procedimiento se compararon en relación en de carga constante pero de manera horizontal, haciendo los ensayos con cilindros de concreto permeable con la misma composición de materiales y agregados.

Según el análisis pudieron determinar que el cambio o variación de muestra a otra muestra en la tasa de infiltración es evidentemente mayor que la duda experimental existente en métodos de prueba existentes. El análisis pudo concluir que la tasa de infiltración en sistemas porosos está dada por fluidos (agua) que se encuentran como laminares turbulentos o en transición, por lo que los resultados de los ensayos están dados por términos de tasas de infiltración y variables sustituida en la ley de Darcy (Lederle *et al*, 2020).

6.4 Infiltración en bloques de pavimentos con la relación de suelo-cemento.

La escorrentía superficial es uno de los grandes problemas presentes en la pavimentación de vías debido a que las grandes cantidades de agua existentes en la superficie de los mismos pueden causar daños estructurales o generaría inseguridad al momento de hacer uso del pavimento. El artículo realiza un análisis en la reducción de la escorrentía superficial en bloques de suelo-cemento en la conformación de un pavimento de la manera como se muestra en la siguiente figura.

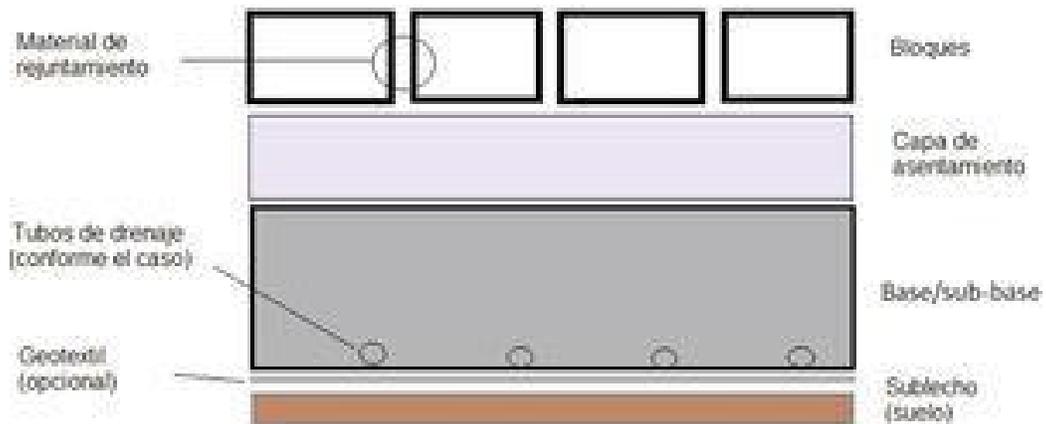


Figura 9: Diseño transversal de la estructura de la vía.
Tomado de Ingeniería, Investigación y Tecnología- Elsevier

Para los ensayos se realizaron bloques de pavimento que contiene un área de 2500 cm^2 , de geometría cuadrada ($50 \text{ cm} * 50 \text{ cm}$), y para la simulación de escurriendo se pusieron en posición inclinada con pendientes del 3% y 5%; para la simulación de precipitación se hizo uso de intensidades promedio de 77 mm/h y 118 mm/h los cuales son valores aproximados tomados por una curva de intensidad, duración y frecuencia de precipitaciones en la ciudad del salvador (Brasil) con un periodo de retorno de 2 y 5 años respectivamente y se pudo determinar lo siguiente:

Coeficiente de escurrimiento promedio = 0,61

Coeficiente de pavimento en bloque de concreto = 0,78

El análisis determina que si las áreas en bloques de pavimento son mayores a 2500 cm^2 se componen por acoplamiento en unidades área de $50 \text{ cm} * 50 \text{ cm}$, generan entonces que las pérdidas producidas por el salpicamiento sean parte del la

escorrentía superficial, obteniendo un coeficiente con valores de 0,74 y 0,88 los cuales se encuentra que estos valores son similares a los que se pueden relacionar los bloques de pavimento de cemento que es de 0,78 y menores al coeficiente de pavimento de concreto el cual es de 0,95.

El estudio llego a la conclusión que teniendo en cuenta factores como la rugosidad del suelo base, la evaporación, el deslizamiento de la capa de pavimento etc.; pueden generar que es coeficiente de escurrimiento sea menor en los bloques de pavimento de cemento determinando este tipo de pavimento como semipermeable. (Zegarra-Tarqui *et al*, 2015)

6.5 Una evaluación para la determinación en el ciclo de la vida de pavimentos permeables analizando diferentes casos.

El uso de pavimentos permeables ha limitado su uso debido al servicio que esta clase de pavimento puede prestar teniendo en cuenta sus propiedades y características particulares. Una de sus mayores características como bien se ha sabido es que este tipo de pavimentos es amigable con el medio ambiente en comparación con los concretos y/o pavimentos convencionales. Pero uno de los objetivos del estudio es realizar una revisión al comportamiento y tiempo útil que los pavimentos permeables puedan brindar, ya que no hay existencia suficiente sobre la evaluación al ciclo de vida de ese tipo de pavimentos.

El presente artículo tiene como objetivo realizar una metodología para hacer un análisis sobre el ciclo de vida de pavimentos permeables y los beneficios que estos

pueden brindar a lo largo de uso teniendo en cuenta ámbitos económicos y más aún el impacto que pueda generar en el ámbito medioambiental.

En el ámbito económico y ambiental del pavimento permeable asfáltico (PA) y pavimento asfalto denso (DA), realizando ensayos con diferentes volúmenes de tráfico y diferentes volúmenes en estructuras, pero bajo las mismas condiciones ambientales y de unidades de función. El estudio llega a la conclusión que PA es una inversión considerable en cuanto a mantenimiento y materiales primordiales para la fabricación genera que su costo económico sea mayor al DA pero el impacto ambiental es alentador ya que estos son mínimos. Pero se debe tener en cuenta el uso de PA cuando las condiciones medioambientales no son concretas o son inestables. (Liu *et al*, 2020)

El estudio y análisis presente en el artículo puede ser un soporte fundamental para futuras investigaciones sobre el ciclo de la vida de pavimentos permeables, y la recolección de aguas lluvias para destinar a diferentes usos no vitales como cocinar, también puede proporcionar conceptos teóricos o bien sea el caso puede tomarse como referencia para su aplicación o la promoción del mismo.

6.6 Reducción de contaminación en la escorrentía superficial teniendo en cuenta el concreto poroso y el uso de dióxido de titanio.

En el crecimiento de las ciudades es de gran importancia tener en cuenta que la escorrentía superficial es un tema que debe ser tratado con mucha complejidad debido a que el manejo de las mismas es importante para que no generen problemas

futuros. Uno de los grandes problemas del agua pluvial y su escorrentía como tal es la manera como estas aguas se contamina.

El estudio que se ha realizado analiza la manera del uso de tecnologías para mitigar o eliminar dicha contaminación en las aguas de las escorrentías superficiales por el método fotovoltaico mediante dióxido de titanio. Lo anterior pudo demostrar un efecto positivo en cuanto a la eliminación de contaminantes existentes en el agua post-escorrentía.

Se tuvo en cuenta el concreto poroso junto con el dióxido de titanio ya que el trabajo de investigación observa el comportamiento de los dos componentes frente a los contaminantes comunes como el amoníaco, fósforo y azul de metileno que en conjunto pueden llegar a eliminar, para llegar a un resultado óptimo se tomaron diferentes cantidades (3) junto con concreto permeable para ver el comportamiento resultante.

El estudio tuvo como resultado determinar que el uso de dicha tecnología genera poca toxicidad además de que en cuanto a la capacidad de eliminación de contaminantes mostró una efectividad entre el 60% y el 90%, por último se tiene en cuenta que el concreto poroso y el dióxido de titanio para el estudio se usó en condiciones climáticas reales mostrando efectividad en la purificación de las aguas pluviales. (Liang *et al*, 2019)

6.7 Diseño de mezcla de concreto permeable para pavimentos con adición de tiras de polipropileno.

La investigación se centra en la adición de tiras de plástico al concreto permeable para una dosificación de $f'c$ 175 kg/cm² y ver como variaba la resistencia ultima de este concreto, se utilizaron dos tipos de agregados grueso para la mezcla, el primer material con dimensiones de 2,36 mm a 37,5 mm, el segundo material con dimensiones de 12,5 mm a 37,5 mm, evidenciando que la mejor opción para incluir en la dosificación era el segundo junto con tiras de polipropileno con dimensiones de 3 mm x 30 mm, estas tiras se adicionan en porcentajes de 0,05, 0,10 y 0,15 % del peso por metro cúbico del concreto permeable, los resultados arrojaron que el segundo material grueso junto con las tiras de plástico en cantidades de 0,05 y 0,10 % aumentaron la resistencia a la compresión a los 20 días en 16,7 y 4,2 % respectivamente. (Flores & Pacompia, 2015).

6.8 Un experimento sobre cómo el pavimento permeable se puede ver afectado por la obstrucción y evitándola mediante el uso de poliuretano.

El uso de concreto permeable es una alternativa sostenible y amigable con el medio ambiente debido a que una de sus mayores ventajas es la facilitación de recarga de acuíferos teniendo en cuenta la porosidad del material.

Con el paso del tiempo y teniendo en cuenta la cantidad de agua que un pavimento permeable recibe a lo largo de su vida útil es importante observar que los poros del pavimento se pueden ver obstruidos lo cual puede reducir la vida útil y por lo tanto se puede generar fallas estructurales a temprana edad.

El estudio tiene como objeto contundente determinar de manera cuantitativa el comportamiento de los pavimentos permeables y la obstrucción que ellos pueden generar y así determinar de manera investigativa el desarrollo de la permeabilidad y porosidad en los pavimentos. Para lo cual se fusionó el pavimento permeable y poliuretano y se analizó el comportamiento.

En el experimento se tomaron cilindros muestra fundidos con el material y por medio de la observación como método contundente se analizó el nivel de obstrucción en cada una de las muestras. Para realizar la observación se realizaron tomografías a las muestras por medio de rayos x como se observa en la imagen.

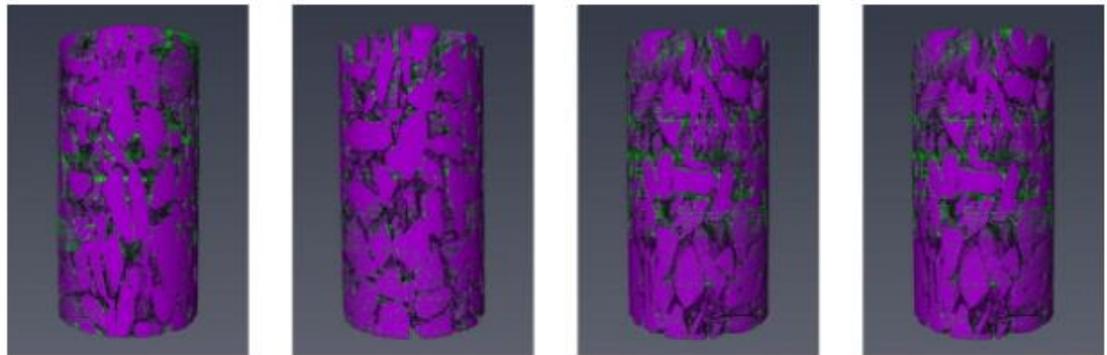


Figura 10: Tomografía de rayos x al muestreo
Tomado de Construction and Building Materials

El estudio pudo determinar una reducción en el taponamiento de los poros usando poliuretano junto con el pavimento permeable con una reducción en dicho efecto en un 43 % en comparación con el pavimento permeable convencional. (Xu *et al*, 2020).

6.9 Pavimentos permeables. Una aproximación convergente en la construcción de vialidades urbanas y en la preservación del recurso agua.

En los últimos años se ha vuelto evidente los efectos que tiene el cambio climático en la tierra y las consecuencias que esto podría traer consecuencias irreversibles para la humanidad. Es conocido que los pavimentos para las vías están diseñados para ser impermeables ya que si el agua ingresara la estructura o capas inferiores de la vía se verían afectadas por el agua y tendría que realizarse un mantenimiento periódico y esto a su vez generaría gastos elevados, además de esto también se conoce un efecto como lo es la isla de calor por los rayos de sol que aumentan la temperatura de las ciudades (Haselbach *et al*, 2011).

Para el diseño de vías se utilizan dos variables principales e independientes: la primera es la carga que producen los vehículos y la resistencia del suelo, estos dos factores son los que determinan el tipo, los materiales y dimensiones que después del diseño da como resultado la resistencia y permeabilidades del pavimento (Choconta, 2004).

Si se modificara alguna de las variables principales de diseño y se añadiera uno en el cual tuviera como objetivo la preservación del agua o el manejo de estas mismas, se deberían añadir diferentes características o procesos que hagan posible la construcción del pavimento permeable, siempre y cuando, cumpla con los requisitos para que sea una obra segura. (Cadenas *et al*, 2017).

6.10 Aplicación de concreto permeable en vías de Bogotá para tráfico medio.

Estudios realizados por estudiantes de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas dan resultados satisfactorios para mejorar la escorrentía superficial pero se ve con resultados no positivos para la resistencia del concreto ya que al no llevar agregado fino esta resistencia se ve reducida en un 40%, es decir que para diseño de mezcla de 4000 psi y siguiendo todas las normas para su perfecta elaboración se obtiene como resultados mezclas de 2500 psi y como resultado final no es posible utilizar para capa de rodadura para vías de tráfico medio. Con estos estudios también se ha concluido que es posible y parten como punto de investigación para que sea utilizado de manera mixta con los concretos rígidos o que sean incluidos en la diseño de la estructura de la vía para mejorar la escorrentía superficial (Mendoza & Ospina, 2018).

6.11 Utilización de granulado de caucho reciclado como adición para concreto permeable para uso en estacionamientos vehiculares.

El presente proyecto, tiene como finalidad “Analizar la utilización de granulado de caucho reciclado como adición para concreto permeable para uso en estacionamientos vehiculares.”, para lo anterior, se evidencia en el proyecto un paso a paso, en cual se justifica esta técnica desde el punto de la ingeniería, realizando un aporte significativo al medio ambiente.

Como primer momento se plantea el uso del granulado reciclado para concreto en el uso de obras vehiculares, allí se evidencia el aporte de este en el cuidado del medio ambiente.

Según el artículo “Los neumáticos son una gran fuente de contaminación por plástico” de la National Geographic el caucho de una llanta no aporta al medio ambiente, ya que, interviene en la deforestación continua y además gasta en promedio 32 litros de petróleo y una de camión aproximadamente 100 litros (González, 2017).

Teniendo en cuenta los datos anteriores y la presente tesis planteada, se puede observar que el planteamiento de usar este material en construcción, realiza un aporte significativo al planeta, sin embargo, se realiza la aclaración que este método, solo minimizaría este daño.

Basado en lo anterior, la presente tesis aborda dos grandes problemáticas, la primera una infiltración mínima de agua a la tierra y el mal uso del caucho, a partir de estas dos variantes se genera la hipótesis de poder usar este caucho mal utilizado, en el concreto permeable, generando así una reacción en las propiedades mecánicas (resistencia a la tensión, resistencia a la compresión y capacidad de infiltración).

Con lo anterior, lo que se pretende es dar conocer el beneficio y uso del concreto con caucho, a diferencia del concreto convencional, en lo cual se logró evidenciar la resistencia y compresión de este concreto amigable con el ambiente a diferencia del convencional.

7 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En los últimos años se ha evidenciado en el planeta, la necesidad de nuevas tecnologías que contribuyan a la disminución del calentamiento global, en la ingeniería civil al ser un importante ítem en el desarrollo interno de las ciudades y la gran cobertura de temas que puede abarcar, hacen en esta que se desarrollen nuevas maneras de construcción sostenible.

En las vías se presentan diferentes problemas cuando estas no se realizan de la manera adecuada o presentan altas temperaturas por la absorción de la luz en los pavimentos, para disminuir estos impactos se ha estado trabajando en nuevas maneras de construcción o cambiar la composición de sus materiales ya sea en cantidad o probar nuevos elementos en su dosificación.

Para el concreto permeable han utilizado nuevas composiciones en sus dosificaciones para crear vacíos en su constitución, eliminando la arena utilizada para crear estos espacios. Se tienen estándares para la dosificaciones de distintas resistencias para concretos y usos, eliminando materiales en su composición la resistencia a la compresión disminuye pero se gana una absorción de agua que en caso de utilizarse en vías estas tendrían una permeabilidad alta y se mejoraría la absorción de aguas lluvias para conducir a los alcantarillados.

Para la determinación de la viabilidad del concreto permeable se generan dudas sobre la resistencia última que tendría este concreto a la compresión y las vías de bajo, mediano o alto tráfico donde se podría emplear, o algún otro lugar que se podría utilizar para sacar el mejor rendimiento, es por esto se plantea que es posible incluir el concreto

permeable para mejorar la esorrentía superficial de la vía en el Barrio Pardo Rubio.

¿Cómo se podría realizar la implementación del concreto permeable para mejorar la experiencia de los usuarios cuando se presentan altas intensidades de lluvia?

8 METODOLOGIA

Con la finalidad de lograr el objetivo mencionado en el presente documento, es de suma importancia saber que se realizó una previa investigación del tema a tratar con la finalidad de poder abordar la problemática de manera más afectiva. Siguiendo los siguientes requerimientos.

- La realización de un marco conceptual (teórico) donde se encuentra conceptos y temas relacionados con el desarrollo del documento, de esta manera el lector podrá relacionarse mejor con la problemática y entender conceptos que lleguen a parecer complejos.
- Se realiza una breve descripción del lugar elegido para la realización del proyecto o investigación teniendo en cuenta las condiciones del sitio, evaluando de manera visual y analítica la necesidad de implementar la idea contemplada en el presente documento.
- Estado del conocimiento donde busca como finalidad evidenciar el desarrollo en cuanto investigación del tema en que se está abordando; además la relación con artículos e información que son referentes para culminación del documento.
- Toma de datos del IDEAM con la finalidad de conocer específicamente el promedio de cantidad de agua lluvia que cae en el sitio, de esa manera se pueden relacionar la viabilidad del proyecto y determinar qué tan necesario es la implementación del pavimento permeable.

8.1 Metodología para la generación de resultados

- Análisis de diseños actuales de concretos permeables y su usos comunes para determinar la viabilidad de su utilización en el lugar de preferencia.
- Por medio de la comparación de los concretos permeables y convencionales se concluirá la importancia del uso de concreto permeable.
- Realización de conclusiones teniendo en cuenta la previa investigación, el análisis de los datos y la viabilidad del proyecto.

9 CONCLUSIONES

Teniendo en cuenta la información recopilada a lo largo del presente escrito y realizando un análisis de dicha información se pudo llegar a la conclusión de lo siguiente:

- Actualmente sobre la vía en estudio en épocas de lluvia se presenta una gran escorrentía superficial sobre está, generando riesgos para el tránsito como el hidroplaneo de los vehículos; es por esto que se plantea que es una solución la inclusión del concreto permeable en la cuneta ubicada a un costado de la vía y en el otro costado implementar bloques de concreto permeable para evitar que por mala visibilidad, los vehículos caigan en la obra de drenaje existente en la vía.
- El proyecto mencionado es viable con ciertas limitaciones debido a que el concreto permeable el cual se quiere implementar, tiene características muy distintas a la del pavimento (flexible, rígido) normalmente utilizado para el tipo de obras en cuestión; lo cual difiere en la resistencia última del concreto, se puede determinar que la implementación puede llegar a usarse en obras que no se vean altamente comprometidas con el tráfico pero que puedan complementar el estado de la vía. El tipo de obras que pueden hacer uso del concreto permeable sin que existan mayores averías en la estructura vial son las estructuras de drenaje de la vía tales como cunetas y bordillos.
- A lo largo del presente documento se ha podido determinar la gran importancia del concreto permeable en cuanto a sostenibilidad y viabilidad ya que según los estudios y/o análisis que se han realizado respecto al material mencionado ha podido determinar que el nivel de porosidad en cuanto a concretos convencionales

es altamente efectivo proporcionando o ayudando a la infiltración que naturalmente se pueda encontrar en el sitio, beneficiando a la recarga de acuíferos.

- La viabilidad del concreto permeable es alta debido a que existen dos factores que no se han tenido en cuenta para la construcción de obras viales: el primer factor, aunque ya se mencionó, es la relación en cuanto a costo de producto final que generaría beneficios económicos para proyectos de magnitud considerable. El segundo factor es la posibilidad de generar nuevas maneras o procesos de construcción que sean incluyentes con el concreto permeable y como resultado final se obtengan obras ambientalmente amigables.
- Frente a la evidencia e información recopilada la presente monografía sirve como punto de referencia para futuras investigaciones donde su principal objetivo consista en cómo manejar las aguas lluvias cuando estas son absorbidas por el concreto permeable, en obras de drenaje como las cunetas o bordillo, y así mejorar la escorrentía superficial y dar un mejor tratamiento a las aguas lluvias evitando el saturación del alcantarillado público.
- Uno de los aspectos más importantes del uso de concretos permeables es el beneficio económico que este tipo de material puede brindar. una de las características por lo que dicho material es más económico en comparación con los concretos comunes se debe a que en su procesamiento, el uso de agregados finos (arena) es mínimo o nulo lo que puede generar que en grandes cantidades de concreto a realizar se pueda evidenciar un costo económico bajo.
- En el territorio colombiano el uso de concreto permeable es mínimo debido a la falta de aspectos que a lo largo del documento se pudieron evidenciar; uno de los

aspectos es el conocimiento deficiente en cuanto el uso del material y los beneficios ambientales y económicos que puede brindar; otro aspecto es la falta de investigación en cuanto al tema y por lo tanto el desconocimiento de una nueva alternativa para la generación de obras civiles que se puedan beneficiar con el uso de concretos porosos.

- Según los antecedentes de investigaciones respecto a los concretos permeables y análisis que han presentado los respectivos estudios es de importancia resaltar el uso de dicho material en pavimentación teniendo en cuenta que se presenta una resistencia mecánica menor que en los concretos convencionales por lo que limita el uso en pavimentos hasta el punto de su utilidad donde el tráfico sea bajo o no se presenten cargas de gran magnitud (vehículos de tamaño considerable).
- Según el estado del arte y teoría previamente consultada se determina que el material en cuestión es mucho más poroso que los concretos comunes ya que el pavimento permeable presenta un porcentaje de vacíos que puede variar entre el 15% y 20 % mientras que en los concretos convencionales el porcentaje de vacíos habitualmente es del 5%.
- Para determinar la viabilidad del concreto permeable con relación a la permeabilidad, se escoge de las curvas obtenidas el periodo de retorno de 100 años y una duración de 15 minutos para obtener una intensidad de lluvia de 0.034 mm/s y así determinar que en el evento de mayor cantidad de agua precipitaba posible esta no podrá saturar un diseño de mezcla de 33 MPa con relación de vacíos de 11 % y una permeabilidad de 2.342 mm/s.

10 RECOMENDACIONES

- Con la finalidad de implementar concreto permeable para la vía en discusión se debe tener en cuenta las especificaciones de fabricación y utilización del mismo; evidenciado a lo largo del documento.
- Es necesario saber las características fundamentales del concreto permeable como la resistencia, su composición, porosidad, curado etc. Debido a que dichas características son diferentes frente a los concretos comunes por lo que el uso del concreto permeable tiene limitaciones que se deben apreciar.
- Usar el concreto permeable en obras de drenaje donde la estructura a realizar no esté expuesta a grandes esfuerzos, pero que maneje grandes cantidades de agua debido a que dicho material aporta al proceso de infiltración del agua en el suelo.
- Debido al mínimo conocimiento en cuanto a concretos permeables es recomendable asesorarse y realizar un análisis de la información existente del material para realizar una buena colocación del material y posteriormente que su funcionamiento sea óptimo, también se recomienda pedir asesoría de las empresas que suministran el material.
- Se recomienda realizar los cálculos apropiados para la solicitud del material antes del vaciado y así saber con exactitud la cantidad volumétrica para que los desperdicios sean mínimos.

11 ANEXOS

- Solicitud correspondiente para obtener la información necesaria para determinar la intensidad de lluvia en el área de estudio escogida, la entidad encargada es el IDEAM, pero según respuesta la estación meteorológica ubicada en este sector no corresponde a las vigiladas por este ente.

Referencia: Solicitud Información 20209050080582

En cumplimiento a lo previsto en el artículo 23 de la Constitución Política, artículo 13, 14 y ss de la ley 1437 del 2011 modificada por la Ley 1755 del 2015, Resolución interna 2628 del 18 de noviembre del 2016 y demás normas concordantes y complementarias, se da respuesta a la solicitud de información.

Señor (a) usuario (a) la estación de la cual requiere información, no hace parte del catálogo nacional de estaciones del IDEAM, favor realizar dicha solicitud a la entidad correspondiente.

En nuestros procesos de mejora continua, para nosotros es importante conocer su opinión sobre el servicio. Por lo cual lo invitamos a diligenciar una pequeña encuesta sobre el servicio, le agradecemos responder, según su apreciación experiencia. <https://forms.gle/6xmkSMoDpcR6Rgw69>

Agradecemos no contestar este correo, y en caso de requerir realizar una solicitud adicional efectuarla únicamente siguiendo este enlace <http://www.ideam.gov.co/web/atencion-y-participacion-ciudadana/pgrs>

Es para nosotros un gusto trabajar por Colombia, por medio del suministro de información técnico científica el servicio de la planificación sectorial y al servicio de cada uno de los ciudadanos como usted.

NOTA: Los requerimientos correspondientes a solicitud de información, son respondidos única y exclusivamente conforme a la información disponible en nuestra base de datos y el IDEAM no se responsabiliza de la interpretación dada por terceros.

El IDEAM pone este material a disposición de los usuarios en forma individual, estando vedado toda comercialización o usufructo de la información aquí contenida.

Figura 11: Respuesta solicitud estación meteorológica
Recursos propios

- Se añaden tablas de los precios del concreto permeable de 28 Mpa y concreto convencional para diseños de mezcla de 28 Mpa.

Tabla 3: Análisis de costos de materiales concreto poroso.
Adaptado de (Moujir, Y. & Castañeda, L., 2014)

MATERIALES CONCRETO POROSO 28 MPa				
Descripción	Unidad	Cantidad	P. Unitario	P. Total
Triturado de ½”	M3	0.84	\$ 40.000	\$ 33.600
Cemento	Kg	350	\$ 420	\$ 147.000
Agua	M3	0.18	\$ 2.200	\$ 396
			Total	\$ 180.996

Tabla 4: Análisis de costos de materiales concreto convencional
Adaptado de (Moujir, Y. & Castañeda, L., 2014)

MATERIALES CONCRETO 28 MPa				
Descripción	Unidad	Cantidad	P. Unitario	P. Total
Agua	M3	0.21	\$ 2.210	\$ 464
Cemento	Kg	350	\$ 590	\$ 206.500
Grava	M3	0.32	\$ 90.000	\$ 28.800
Arena	M3	0.354	\$ 99.000	\$ 35.046
			Total	\$ 270.810

- Se añade tabla de análisis de precios unitarios (APU) para la adaptación de la cuneta izquierda en concreto permeable para la vía en estudio.

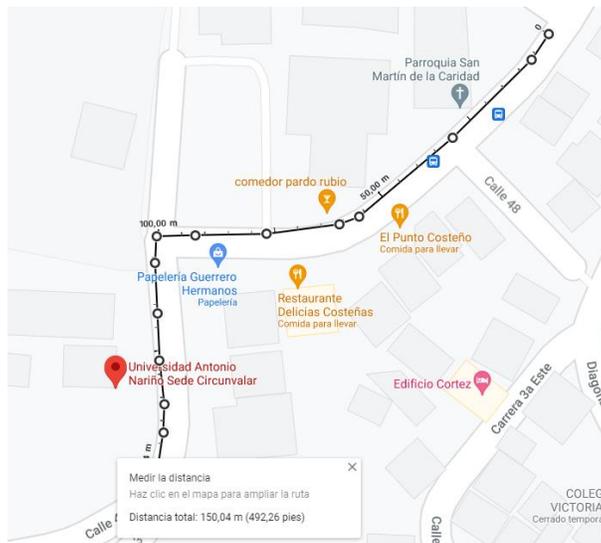


Figura 12: Vista aérea de la vía con medidas longitudinales
Tomado de Google Maps

Tabla 5: Análisis de precios unitarios
Recursos propios

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	Vr. Unitario	Vr. Total
1.1	Demolición Concreto Rígido	M2	30	\$ 50525	\$ 1.515.750
1.2	Instalación Geotextil	M2	75	\$ 1461	\$ 109.575
1.3	Concreto Permeable 28 Mpa	M3	4.5	\$ 180.996	\$ 814.482
				Total	\$ 2.439.807

12 BIBLIOGRAFIA

- AlphaNouvelles. (2015). *Historia de concreto permeable*. Recuperado de: <http://es.alpha-nouvelles.com/article/historia-de-concreto-permeable>
- ArchiDaily. (2016). *Concreto permeable Argos*. Recuperado de: <https://www.archdaily.co/catalog/co/products/8344/concreto-permeable-argos>
- Cabello, S., Zapata, P., Pardo, A., Romo, A., Campuzano, L., Espinoza, J., & Sánchez, C. (2015). Concreto poroso: constitución, variables influyentes y protocolos para su caracterización. Recuperado de <http://186.3.32.121/handle/48000/4996>
- Cadenas, E., Rodríguez, Á., & Jaramillo, J. (2017). Pavimentos permeables. Una aproximación convergente en la construcción de vialidades urbanas y en la preservación del recurso agua. *CIENCIA ergo-sum*, 24(2), 173-180. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6046445>
- Cardenas. E, Rodriguez. A & Jaramillo. J. (2016). *Pavimentos permeables. Una aproximación convergente en la construcción de vialidades urbanas y en la preservación del recurso agua*. México. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/jatsRepo/104/10450491009/movil/index.htm>
- Carmona, R. (2013). *Diseño y construcción de alcantarillados sanitario, pluvial y drenaje en carreteras*. Ecoe Ediciones.
- Castañeda, L. & Moujir, Y. (2014). *Diseño y aplicación de concreto poroso para pavimentos*. Bogotá. Recuperado de: http://vitela.javerianacali.edu.co/bitstream/handle/11522/3082/Dise%C3%B1o_aplicacion_concreto.pdf?se-quence=1

- Castañeda, L. F., & Moujir, Y. F. (2014). *Diseño y aplicación de concreto poroso para pavimentos*. Pontificia Universidad Javeriana, Facultad De Ingeniería, 75.
- Cemex. (2016). *Concreto Pervia Permeable por diseño*. Recuperado de: <https://www.cemexcolombia.com/documents/45752949/45757466/concreto-pervia.pdf/b71d485b-b082-7730-cd2e-dd49001d792e>
- Choconta, P. (2004). *Diseño geométrico de vías*. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería. Recuperado de <http://dspace.ucbscz.edu.bo/dspace/bitstream/123456789/22942/1/11993.pdf>
- Crouch, L & Smith, Nathan & Walker, Adam & Dunn, Tim & Sparkman, Alan. (2006). *Pervious PCC Compressive Strength in the Laboratory and the Field: The Effects of Aggregate Properties and Compactive Effort*. *Proceedings of Concrete Technology Forum*. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/267386744_Pervious_PCC_Compressive_Strength_in_the_Laboratory_and_the_Field_The_Effects_of_Aggregate_Properties_and_Compactive_Effort
- Dirección Nacional de Planeación. (2017). *Construcción de pavimento rígido en vías urbanas de bajo tránsito*. Bogotá. Recuperado de <https://proyectostipo.dnp.gov.co/images/pdf/pavimento/PTpavimento.pdf>
- Echeverry, C. (2004). *Manual de drenaje de carreteras* (Master's thesis, Bogotá-Uniandes).
- EPA. (1980). *Porous Paviment: Phase I, Design and Operational Criteria*. United States. Recuperado de: <https://books.google.com.co/books?hl=es&lr=&id=sVMqMEi0fY8C&oi=fnd&pg=>

PR8&dq=Porous+Pavement+EPA&ots=L2GK4_5sDV&sig=gSFPa9TRO5t_MeCH
l8IJFjc7RpY#v=onepage&q=Porous%20Pavement%20EPA&f=false

- Espino. G, Caceres. C, Martinez. S & Hernandez. S. (1999). *Diccionario de hidrología y ciencias afines*. México. Recuperado de: <https://books.google.com.co/books?id=My27250twg0C&pg=PA147&dq=hidrologia&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwiQ7OOBh-zrAhUkx1kKHSOLD54Q6AEwAHoECAEQAg#v=onepage&q=hidrologia&f=false>
- Flores, C. & Pacompia, I. (2015). *Diseño de mezcla de concreto permeable con adición de tiras de plástico para pavimentos $F'c$ 175 kg/cm² en la Ciudad de Puno*. Perú.
- González Quiñonez, J. G. (2017). *Utilización de granulado de caucho reciclado como adición para concreto permeable para uso en estacionamientos vehiculares*. (Doctoral dissertation, Universidad de San Carlos de Guatemala). Recuperado de <http://www.repositorio.usac.edu.gt/8594/>
- González, J. (2015). *Estudio y evaluación de las características físicas y propiedades mecánicas del concreto polimérico permeable para su utilización en proyectos con fines ambientales* (Doctoral dissertation, Universidad de San Carlos de Guatemala). Recuperado de <http://www.repositorio.usac.edu.gt/1800/>
- Haselbach, L., Boyer, M., Kevern, J., & Schaefer, V. (2011). Cyclic heat island impacts on traditional versus pervious concrete pavement systems. *Transportation research record*, 2240(1), 107-115. Recuperado de <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.3141/2240-14>

- Holcim Colombia. (2017). *Drena Premium*. Recuperado de: https://www.holcim.com.co/sites/colombia/files/documents/Drena_premium.pdf
- Huang, L, Luo, Z & Ehsan. M. (30 de diciembre de 2020). Impact of aggregate type and size and mineral admixtures on the properties of pervious concrete: An experimental investigation. *Construction and Buildings Materials*. Volumen (265). Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061820327641#!>
- IDEAM. (2017). Curvas intensidad duración frecuencia – IDF.
- INVIAS. (2013). Glosario de Manual de diseño geométrico de carreteras. Recuperado de: <https://www.invias.gov.co/index.php/archivo-y-documentos/glosarios/1017-glosario-manual-diseno-geometrico-carretera/file>
- Jaén, P. & Romana, M. (2004). Diseño de obras de drenaje transversal. *CARRETERAS, REVISTA TECNICA DE LA ASOCIACION ESPANOLA DE LA CARRETERA*, (136). Recuperado de <https://trid.trb.org/view/944023>
- Lederle, R, Shepard, T & Meza, V. (30 de mayo de 2020). Comparison of methods for measuring infiltration rate of pervious concrete. *Construction and Building Materials*. Volumen (244). Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061820303445>
- Liang, X., Cu, S., Li, H., Abdelhay, A., Wang., H. & Zhou, H. (Agosto de 2019). *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. Volumen 7, (34-45). Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1361920919300227>

- Liu. J, Li. H, Wang. Y & Zhang. H. (Agosto de 2020). Integrated life cycle assessment of permeable pavement: Model development and case study. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. Volumen 85. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S136192092030568X>
- Mendoza. E & Ospina. J. (2018). *Mezcla de concreto permeable como parte de la estructura del pavimento rígido, Aplicado a vías de trafico medio*. Bogotá. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/11349/14127>
- Peiliang. S, Haibing. Z, Songhui. L, Jian-Xin. L & Chi. P. (Noviembre de 2020). Development of high-strength pervious concrete incorporated with high percentages of waste glass. *Cement and Concrete Composites*. Volumen (1114). Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0958946520302961>
- Rivadeneira Molina, J. P. (2012). *Diseño del sistema de alcantarillado pluvial del barrio La Campiña del Inca, cantón Quito, provincia de Pichincha* (Bachelor's thesis, Pontificia Universidad Católica del Ecuador).
- Silletta, E. V. (2011). *Visualización de gradientes internos en sistemas porosos* (Bachelor's thesis). Recuperado de <http://documents.famaf.unc.edu.ar/institucional/biblioteca/trabajos/621/15870.pdf>
- Solis, R. & Moreno, E. (2006). *Análisis de la porosidad del concreto con agregado calizo*. Revista de la Facultad de Ingeniería Universidad Central de Venezuela. 21. 57-68. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/262668945_Analisis_de_la_porosidad_de_l_concreto_con_agregado_calizo/citation/download

- Soto, A. (2013). *Diseño y evaluación comparativa de sistemas de drenaje de tipo dren francés y tipo sintético en el sector de Quintanillapampa.*
- Sumanasooriya, M. S., & Neithalath, N. (2011). Pore structure features of pervious concretes proportioned for desired porosities and their performance prediction. *Cement and Concrete Composites*, 33(8), 778-787. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0958946511001016>
- Témez, J. 1978. Cálculo Hidrometeorológico de caudales máximos en pequeñas cuencas naturales. Dirección General de Carreteras. Madrid. España. 111p.
- Torres. L. (2010). *Tecnología del concreto permeable o ecológico en la construcción.* México. Recuperado de: <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/8684/Tesis.pdf?sequence=1#:~:text=En%201852%2C%20el%20concreto%20permeable,permeab>
- Toxement. (2017). Concreto poroso o concreto permeable. Recuperado de http://www.toxement.com.co/media/3812/concreto_poroso.pdf
- Trujillo, A. & Quiroz, D. (2013). *Pavimentos porosos utilizados como sistemas alternativos al drenaje urbano.* Bogotá. Recuperado de <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/11174/TrujilloLopezAlejandra2013.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Valentín, M. G., Ripollés, J. D., Alonso, R. L., Escobar, L. N., Tueros, H. S., Malgrat, P., ... & Jopia, R. C. (2007). *Hidrología Urbana.* Grupo FLUMEN, Barcelona.

- Vélez, L. M. (2010). Permeabilidad y porosidad en concreto. Recuperado de <http://repositorio.itm.edu.co/bitstream/handle/20.500.12622/869/131-Manuscrito-245-1-10-20170208.pdf;jsessionid=99524542DDB0F0367F0F4D5D4064FB18?sequence=1>
- Xu, S., Lu, G., Hong, B., Jiang, X., Peng, G., Wang, D. & Oeser, M. (Septiembre de 2020). *Construction and Building Materials*. Volume 258. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061820323837>
- Zegarra-Tarqui J, Santos de Brito. J, De Fátima-Carvalho M. (Marzo de 2015) Ecurrimiento en pavimentos de bloques de suelo-cemento: un abordaje experimental. *Ingeniería Investigación y Tecnología*. Volumen (16). Recuperado de <https://www.elsevier.es/es-revista-ingenieria-investigacion-tecnologia-104-articulo-escurrimiento-pavimentos-bloques-suelo-cemento-un-S1405774315721050?referer=buscador>