



**UNIVERSIDAD LAICA VICENTE ROCAFUERTE  
DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y  
CONSTRUCCIÓN  
CARRERA DE INGENIERIA CIVIL**

**TRABAJO DE TITULACIÓN  
PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERO CIVIL**

**TEMA**

**“IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE HORMIGÓN  
PERMEABLE PARA EVITAR INUNDACIÓN EN LA AVENIDA 39,  
SECTOR NORTE DE GUAYAQUIL”**

**TUTOR**

**Ing. KEVIN ANGEL MENDOZA VILLACIS**

**AUTORES**

**BERNIE DAVID CASTRO PIGUAVE  
JOSEPH PATRICK SUAREZ SALINA**

**GUAYAQUIL**

**2025**

**REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA**

**FICHA DE REGISTRO DE TESIS**

**TÍTULO Y SUBTÍTULO:**

IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE HORMIGÓN PERMEABLE PARA EVITAR INUNDACIÓN EN LA AVENIDA 39, SECTOR NORTE DE GUAYAQUIL

**AUTOR/ES:**

Castro Piguave Bernie David  
Suarez Salina Joseph Patrick

**TUTOR:**

Ing. Mendoza Villacis Kevin Ángel

**INSTITUCIÓN:**

**Universidad Laica Vicente  
Rocafuerte de Guayaquil**

**Grado obtenido:**

Ingeniero Civil

**FACULTAD:**

INGENIERÍA, INDUSTRIA Y  
CONSTRUCCIÓN

**CARRERA:**

INGENIERIA CIVIL

**FECHA DE PUBLICACIÓN:**

2025

**N. DE PÁGS:**

108

**ÁREAS TEMÁTICAS:** Arquitectura y Construcción.

**PALABRAS CLAVE:** Hormigón, Inundación, Medio urbano, Materiales de construcción, Suelo

**RESUMEN:**

El caso práctico presentado en el documento trata sobre el diseño de un prototipo de hormigón permeable que servirá para evitar inundación en la avenida 39, sector norte de guayaquil.

El objetivo principal es evaluar la viabilidad técnica, económica y ambiental de este material como una solución sostenible para el manejo de aguas pluviales en el sector ya mencionado.

El hormigón permeable se destaca por su capacidad para permitir el paso del agua a través de su superficie, lo que ayuda a controlar la escorrentía superficial, previniendo inundaciones y mejorando la infiltración de agua en el suelo. Esta tecnología no solo es beneficiosa desde el punto de vista medioambiental, sino que también contribuye a la creación de espacios verdes, promoviendo un entorno urbano más sostenible y resiliente.

El proyecto incluye la realización de pruebas de rotura, permeabilidad, y un análisis costo-beneficio en comparación con el hormigón convencional. Los resultados obtenidos ayudarán a determinar la eficacia del hormigón permeable y su potencial implementación a mayor escala en el sector, incentivando el desarrollo de investigaciones futuras en áreas similares.

<b>N. DE REGISTRO (en base de datos):</b>	<b>N. DE CLASIFICACIÓN:</b>	
<b>DIRECCIÓN URL (Web):</b>		
<b>ADJUNTO PDF:</b>	<b>SI</b> <input checked="" type="checkbox"/>	<b>NO</b> <input type="checkbox"/>
<b>CONTACTO CON AUTOR/ES:</b> Castro Piguave Bernie David Suárez Salina Joseph Patrick	<b>Teléfono:</b> 0993618668 0986550701	<b>E-mail:</b> bcastrop@ulvr.edu.ec jsuarezsu@ulvr.edu.ec
<b>CONTACTO EN LA INSTITUCIÓN:</b>	PhD. Marcial Sebastián Calero Amores Decano de Facultad de Ingeniería, Industria y Construcción <b>Teléfono:</b> 2596500 Ext. 241 <b>E-mail:</b> mcaleroa@ulvr.edu.ec Mgtr. Jorge Torres Rodríguez Director de Carrera de Ingeniería Civil <b>Teléfono:</b> 2596500 Ext. 242 <b>E-mail:</b> jtorresr@ulvr.edu.ec	

## CERTIFICADO DE SIMILITUD

### IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE HORMIGÓN PERMEABLE PARA EVITAR INUNDACIÓN EN LA AVENIDA 39, SECTOR NORTE DE GUAYAQUIL

#### INFORME DE ORIGINALIDAD

<b>7</b> %	<b>8</b> %	<b>0</b> %	<b>2</b> %
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

#### FUENTES PRIMARIAS

<b>1</b>	<b>repositorio.umsa.bo</b> Fuente de Internet	<b>2</b> %
<b>2</b>	<b>repository.ugc.edu.co</b> Fuente de Internet	<b>1</b> %
<b>3</b>	<b>repositorio.upn.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>1</b> %
<b>4</b>	<b>1library.co</b> Fuente de Internet	<b>1</b> %
<b>5</b>	<b>www.dspace.uce.edu.ec:8080</b> Fuente de Internet	<b>1</b> %
<b>6</b>	<b>repositorio.uasf.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>1</b> %



Excluir citas

Apagado

Excluir coincidencias < 1%  
Kevin Mendoza Villacís

Excluir bibliografía

Apagado

## DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS PATRIMONIALES

El (Los) estudiante(s) egresado(s) BERNIE DAVID CASTRO PIGUAVE Y JOSEPH PATRICK SUAREZ SALINAS, declara (mos) bajo juramento, que la autoría del presente Trabajo de Titulación, ("IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE HORMIGÓN PERMEABLE PARA EVITAR INUNDACIÓN EN LA AVENIDA 39, SECTOR NORTE DE GUAYAQUIL"), corresponde totalmente a el(los) suscrito(s) y me (nos) responsabilizo (amos) con los criterios y opiniones científicas que en el mismo se declaran, como producto de la investigación realizada.

De la misma forma, cedo (emos) los derechos patrimoniales y de titularidad a la Universidad Laica VICENTE ROCAFUERTE de Guayaquil, según lo establece la normativa vigente.

Autor(es)

Firma:   
BERNIE DAVID CASTRO PIGUAVE

C.I. 0930480090

Firma:   
JOSEPH PATRICK SUAREZ SALINAS

C.I. 0927061648

## **CERTIFICACIÓN DE ACEPTACIÓN DEL DOCENTE TUTOR**

En mi calidad de docente Tutor del Trabajo de Titulación Implementación de un prototipo de hormigón permeable para evitar inundación en la avenida 39, sector norte de guayaquil, designado por el Consejo Directivo de la Facultad de INGENIERIA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN de la Universidad Laica VICENTE ROCAFUERTE de Guayaquil.

### **CERTIFICO:**

Haber dirigido, revisado y aprobado en todas sus partes el Trabajo de Titulación, titulado: Implementación de un prototipo de hormigón permeable para evitar inundación en la avenida 39, sector norte de guayaquil, presentado por los estudiantes BERNIE DAVID CASTRO PIGUAVE Y JOSEPH PATRICK SUAREZ SALINAS como requisito previo, para optar al Título de INGENIERO CIVIL, encontrándose apto para su sustentación.



Firma:

ING, KEVIN ANGEL MENDOZA VILLACIS

C.C. 0922290010

## **AGRADECIMIENTO**

En primer lugar, le doy gracias a Dios, quién me ilumino en cada paso y me llenó de su Espíritu para seguir adelante a pesar de las dificultades que se iban presentando en el camino, enseñándome a ofrecer todo de mi para cumplir sus mandatos en toda circunstancia.

Agradezco a mi querida madre Dra. Cecilia Piguave Jama, por su apoyo y amor incondicional, por sus consejos y paciencia ante mi falta de tiempo y mis malas noches.

A mi hermana Diana Castro Piguave, por ser ejemplo de profesional exitoso. A mi familia que a pesar no los vea mucho sé que siempre puedo contar con ellos y con su apoyo.

A una persona muy importante en mi vida, Lisbeth Zamora Morocho, quien ha estado a mi lado desde el inicio de mi carrera apoyándome siempre, por su comprensión y amor.

A mis amigos, por estar pendientes de mi día a día en el transcurso de mi carrera. Igualmente, a mis compañeros y todas esas personas que están siempre compartiendo conmigo.

A mi tutor de tesis, Ing. Kevin Ángel Mendoza Villacis por su dedicación y compromiso con mi trabajo de titulación y sus ideas impartidas generosamente.

A la Universidad, tutores, autoridades y a sus áreas técnicas, por su pronta ayuda con mi proyecto prestándome los laboratorios y la información necesaria para elaborar mi trabajo de grado.

**Bernie David Castro Piguave**

## **DEDICATORIA**

Este trabajo de grado se lo dedico a mi madre Dra. Cecilia Piguave Jama y Lisbeth Zamora Morocho, quienes no dejaron de creer en mí y sin su apoyo, no hubiera logrado lo que ahora tengo; me han dejado los mejores legados que son la educación, los valores, los principios, la lealtad y el respeto, en sí, mi formación y perseverancia.

A mi tutor Ing. Kevin Ángel Mendoza Villacis, quien me ha encaminado en la correcta elaboración de este proyecto.

También, a mi Universidad ULVR, que me dio la oportunidad de realizar mis estudios en su prestigiosa institución; a mis profesores que me dieron cátedra, los cuales me fueron formando y brindado sus conocimientos adecuadamente.

**Bernie David Castro Piguave**

## **AGRADECIMIENTO**

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a mis padres y hermanas, quienes han sido mi pilar fundamental a lo largo de este camino. Su amor, sacrificio y constante apoyo han sido la fuerza que me ha impulsado a superar cada obstáculo y alcanzar mis metas. Gracias por creer en mí, por ser mi motivación diaria y por demostrarme que con esfuerzo y perseverancia todo es posible.

Extiendo mi gratitud a toda mi familia, quienes, de una u otra manera, han sido parte de este proceso. Su aliento incondicional, palabras de ánimo y respaldo en los momentos más difíciles han sido esenciales en mi formación tanto personal como profesional. Sin ustedes, este logro no tendría el mismo significado.

Un agradecimiento especial al Máster Carlos Francisco Montalván Suárez, por su invaluable guía, por estar siempre pendiente de mi desarrollo académico y profesional, y por brindarme su apoyo incondicional en cada etapa de este proceso. Su orientación y confianza en mis capacidades han sido clave para mi crecimiento.

Finalmente, quiero agradecer a todas las personas que han depositado su confianza en mí, que han creído en mi potencial y que han contribuido a mi desarrollo en el ámbito laboral. Me he esforzado por desempeñarme con excelencia y dedicación, y valoro profundamente cada oportunidad y enseñanza que me han brindado.

Este logro no es solo mío, sino de todos aquellos que han estado a mi lado en este viaje.

**Joseph Patrick Suarez Salinas**

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo con todo mi ser a mis padres y hermanas, quienes han sido la razón de mi fortaleza, el aliento constante que me ha impulsado a seguir adelante, incluso cuando las fuerzas parecían flaquear. A ustedes les debo la perseverancia que me ha permitido superar cada desafío en el camino. Su amor incondicional ha sido la base sobre la cual he construido mis sueños. Gracias por ser mis pilares, por su confianza inquebrantable en mí, y por enseñarme que la verdadera grandeza reside en la constancia y el esfuerzo diario.

A mi familia, que es el núcleo que me sostiene, mi refugio en los días de incertidumbre y mi fuente constante de inspiración. Cada uno de ustedes ha aportado una chispa de luz en mi vida, brindándome el apoyo y la seguridad que necesitaba en cada etapa de este viaje. Su fe en mí, sus palabras de ánimo y su inquebrantable amor han sido mi mayor motivación. Este logro es tan suyo como mío, porque sin su amor y dedicación, no habría sido posible alcanzar esta meta.

A Dios, por ser mi guía en cada paso, por darme sabiduría y paciencia para enfrentar las dificultades, y por ofrecerme siempre su consuelo en los momentos más oscuros. A Él le debo la serenidad en los momentos de duda y la claridad en los momentos de incertidumbre. Gracias por darme la fuerza para seguir, por iluminar mi camino y por llenarme de esperanza.

De manera muy especial, también quiero dedicar este logro a esas dos personas muy especiales que hicieron de mi 2024 un año inolvidable. Su apoyo, amor y presencia en mi vida me dieron la fuerza y motivación necesarias para seguir adelante, y su influencia hizo de este año un capítulo único y lleno de aprendizaje.

Este logro es un testimonio de todo el amor, sacrificio y apoyo que he recibido de cada uno de ustedes. Este es solo el principio, y seguiré luchando por hacerlos sentir orgullosos, porque cada uno de ustedes es una parte fundamental de este éxito.

**Joseph Patrick Suarez Salinas**

## RESUMEN

El caso práctico presentado en el documento trata sobre el diseño de un prototipo de hormigón permeable que servirá para evitar inundación en la avenida 39, sector norte de guayaquil.

El objetivo principal es evaluar la viabilidad técnica, económica y ambiental de este material como una solución sostenible para el manejo de aguas pluviales en el sector ya mencionado.

El hormigón permeable se destaca por su capacidad para permitir el paso del agua a través de su superficie, lo que ayuda a controlar la escorrentía superficial, previniendo inundaciones y mejorando la infiltración de agua en el suelo. Esta tecnología no solo es beneficiosa desde el punto de vista medioambiental, sino que también contribuye a la creación de espacios verdes, promoviendo un entorno urbano más sostenible y resiliente.

El proyecto incluye la realización de pruebas de rotura, permeabilidad, y un análisis costo-beneficio en comparación con el hormigón convencional. Los resultados obtenidos ayudarán a determinar la eficacia del hormigón permeable y su potencial implementación a mayor escala en el sector, incentivando el desarrollo de investigaciones futuras en áreas similares.

**Palabras clave:** Hormigón, Inundación, Medio urbano, Materiales de construcción, Suelo

## **ABSTRACT**

The practical case presented in the document deals with the design of a permeable concrete prototype that will serve to prevent flooding on 39th Avenue, in the northern sector of Guayaquil.

The main objective is to evaluate the technical, economic and environmental viability of this material as a sustainable solution for the management of rainwater in the aforementioned sector.

Permeable concrete stands out for its ability to allow the passage of water through its surface, which helps control surface runoff, preventing flooding and improving water infiltration into the soil. This technology is not only beneficial from an environmental point of view, but also contributes to the creation of green spaces, promoting a more sustainable and resilient urban environment.

The project includes the performance of breakage and permeability tests, and a cost-benefit analysis compared to conventional concrete. The results obtained will help determine the effectiveness of permeable concrete and its potential implementation on a larger scale in the sector, encouraging the development of future research in similar areas.

**Keywords:** Concrete, Flooding, Urban environment, Construction materials, Soil

## INDICE GENERAL

<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>CAPÍTULO I</b> .....	<b>2</b>
<b>ENFOQUE DE LA PROPUESTA</b> .....	<b>2</b>
1.1 Tema: .....	2
1.2 Planteamiento del Problema: .....	2
1.3 Formulación del Problema:.....	4
1.4 Objetivo General.....	4
1.5 Objetivos Específicos .....	4
1.6 Idea a Defender / Hipótesis .....	5
1.6.1 Argumentos:.....	5
1.7 Línea de Investigación Institucional / Facultad.....	6
<b>CAPÍTULO II</b> .....	<b>7</b>
<b>MARCO REFERENCIAL</b> .....	<b>7</b>
2.1 Marco Teórico: .....	7
2.1.1 Antecedentes del Problema.....	7
2.1.2 Origen y Evolución del Hormigón Permeable .....	8
2.1.3 Casos Exitosos de Implementación .....	8
2.2 Características del Hormigón Permeable.....	9
2.2.1 Composición .....	9
2.2.2 Propiedades Físico-Mecánicas .....	9
2.2.3 Reducción de Inundaciones Urbanas.....	9
2.2.4 Mejora en la Infraestructura Vial .....	9
2.2.5 Beneficios Ambientales y Sostenibilidad .....	10
2.2.6 Beneficio para la Movilidad Urbana.....	10
2.2.7 Viabilidad Económica a Largo Plazo.....	10
2.2.8 Implementación en Guayaquil: Desafíos y Consideraciones .....	11
2.3 Problemática del Drenaje Urbano.....	13
2.4 Beneficios de los Pavimentos Porosos .....	13
2.5 Factores de Diseño e Implementación.....	14
2.6 Limitaciones y Retos.....	14
2.7 Causas de las inundaciones urbanas .....	17
2.7.1 Inundaciones urbanas y su impacto .....	17

2.7.2	<i>Consecuencias de las inundaciones</i> .....	17
2.8	Propiedades del hormigón permeable.....	18
2.9	Aplicaciones del hormigón permeable.....	18
2.10	Materiales empleados en la fabricación de hormigón.....	19
2.10.1	<i>Cemento</i> .....	19
2.10.2	<i>Composición química del cemento</i> .....	19
2.10.3	<i>Clasificación del cemento</i> .....	20
2.11	Agregados en el hormigón .....	20
2.11.1	<i>Agregado grueso</i> .....	21
2.12	<i>Efecto de la forma de los agregados en el concreto</i> .....	21
2.12.1	<i>Efecto de la forma de los agregados en las propiedades del concreto fresco</i> .....	21
2.12.2	<i>Efecto de la forma de los agregados en las propiedades del concreto endurecido</i> .....	22
2.13	Agua.....	22
2.14	Hormigón permeable .....	22
2.14.1	<i>Características Técnicas del Hormigón Permeable</i> .....	23
2.14.2	<i>Composición del Hormigón Permeable</i> .....	23
2.15	Propiedades de los Materiales .....	24
2.15.1	<i>Cemento Portland</i> .....	24
2.15.2	<i>Agregado Grueso</i> .....	24
2.15.3	<i>Agua R Y E</i> .....	24
2.15.4	<i>Aditivos</i> .....	24
2.16	Relación Agua-Cemento y Permeabilidad.....	25
2.17	Diseño de Mezcla para Hormigón Permeable.....	25
2.18	Comparación con el Hormigón Convencional .....	26
2.19	Factores que Afectan la Composición del Hormigón Permeable.....	27
2.19.1	<i>Tipo y Calidad de los Materiales</i> .....	27
2.19.2	<i>Control de la Dosificación</i> .....	27
2.19.3	<i>Proceso de Compactación y Curado</i> .....	27
2.20	<i>Mejoras y Tecnologías en el Diseño de Hormigón Permeable</i> .....	27
2.21	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	27
2.21.1	<i>Comparación con materiales convencionales</i> .....	28
2.22	Estudios Comparativos.....	28
2.22.1	<i>Nuevas Tecnologías en Pavimentos Permeables</i> .....	28
2.22.2	<i>Casos Adicionales de Implementación</i> .....	29

2.22.3 Beneficios Ambientales y Económicos .....	30
2.22.4 Comparaciones con Otros Materiales Sostenibles .....	30
2.22.5 Retos y Consideraciones Futuras .....	30
2.23 Pruebas de Desempeño .....	31
2.24 Diseño y Construcción del Prototipo.....	31
2.24.1 Análisis de Costos y Beneficios .....	32
2.24.2 Desafíos y Consideraciones .....	32
2.25 Usos y aplicaciones.....	32
2.26 Ventajas y desventajas.....	33
2.26.1 Ventajas.....	33
2.26.2 Desventajas .....	34
2.27 Propiedades.....	34
2.27.1 Propiedades en estado fresco .....	34
2.27.2 Propiedades en estado endurecido .....	35
2.28 Referentes Teóricos y Estudios Previos.....	35
2.28.1 Hormigón permeable como material sostenible .....	36
2.28.2 Gestión de aguas pluviales y sistemas de recolección .....	36
2.29 Marco Legal: .....	36
2.30 Normativa y legislación aplicable.....	36
2.30.1 Normativas de diseño de hormigón simple de acera .....	36
2.31 Normativas locales en Ecuador (Ejemplo): .....	38
2.32 Normativa Nacional.....	38
2.33 Normativa Regional y Local .....	39
2.34 Normativa Internacional (Referencial).....	40
2.35 Casos de estudio internacionales.....	40
2.36 Justificación Teórica .....	40
2.37 Propiedades Mecánicas .....	41
2.38 Capacidad de Permeabilidad.....	41
2.39 Justificación Hidráulica y Ambiental.....	41
2.40 Reducción del Riesgo de Inundaciones .....	41
2.41 Recarga de Acuíferos.....	42
2.42 Reducción del Efecto Isla de Calor .....	42
2.43 Enfoque Sostenible y Cambio Climático.....	42
2.44 Material Sostenible y Reducción de Contaminación .....	42

2.45 Adaptabilidad al Cambio Climático .....	42
2.46 Justificación Económica y de Infraestructura.....	43
2.47 Reducción de Costos de Mantenimiento Urbano .....	43
2.48 Aplicaciones en la Infraestructura Urbana.....	43
2.49 Fundamentación en Estudios y Normativas.....	43
2.50 Normativas Internacionales .....	44
2.51 Estudios de Caso.....	44
<b>CAPÍTULO III .....</b>	<b>45</b>
<b>MARCO METODOLÓGICO .....</b>	<b>45</b>
3.1 Enfoque de la investigación: (cuantitativo, cualitativo o mixto).....	45
3.2 Alcance de la investigación: (Exploratorio, descriptivo o correlacional) .....	45
3.2.1 <i>El alcance de esta investigación incluirá:</i> .....	46
3.3 Técnica e instrumentos para obtener los datos.....	46
3.3.1 <i>Técnicas de recolección de datos</i> .....	46
3.3.2 <i>Instrumentos de recolección de datos</i> .....	47
3.4 Población y muestra .....	48
3.4.1 Tipos de Muestra en investigación cualitativa .....	49
<b>CAPÍTULO IV .....</b>	<b>50</b>
<b>PROPUESTA O INFORME .....</b>	<b>50</b>
4.1 Propuesta de solución .....	50
4.1.1 Diseño e implementación del sistema de hormigón permeable.....	50
4.1.2 Integración con el sistema de drenaje pluvial.....	50
4.1.3 <i>Evaluación y seguimiento del desempeño</i> .....	51
4.2 Presentación y análisis de resultados .....	51
4.2.1 <i>Materiales para la elaboración del hormigón permeable</i> .....	51
4.2.2 <i>Dosificaciones de los materiales</i> .....	52
4.3 Desarrollo del trabajo práctico experimental .....	52
4.4 Análisis de resultados de prueba de filtración en el hormigón permeable .....	54
4.5 Propuesta .....	57
4.5.1 <i>Diagnóstico del Problema</i> .....	57
4.5.2 <i>Revisión de Experiencias Exitosas</i> .....	57
4.5.3 <i>Justificación y Objetivos</i> .....	58
4.5.4 Diseño Técnico del Prototipo .....	61
4.5.5 <i>Análisis Hidráulico y Estructural</i> .....	67

<i>4.5.6 Presupuesto Estimado</i> .....	67
<i>4.5.7 Cronograma de Ejecución</i> .....	68
<i>4.5.8 Indicadores de Evaluación</i> .....	70
<i>4.5.9 Impacto Ambiental y Social</i> .....	71
<i>4.5.10 Propuesta de Replicabilidad</i> .....	71
<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>75</b>
<b>RECOMENDACIONES</b> .....	<b>76</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>77</b>
<b>ANEXOS</b> .....	<b>79</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Propiedades del hormigón permeable .....	18
Tabla 2 Composición del Hormigón Permeable .....	23
Tabla 3 Aditivos .....	25
Tabla 4 Relación Agua-Cemento y Permeabilidad .....	25
Tabla 5 Diseño de Mezcla para Hormigón Permeable .....	26
Tabla 6 Comparación con el Hormigón Convencional .....	26
Tabla 7 Comparación con materiales convencionales .....	28
Tabla 8 Estudios Comparativos .....	28
Tabla 9 Comparaciones con Otros Materiales Sostenibles .....	30
Tabla 10 Presentación de materiales y uso .....	51
Tabla 11 Designación de proporciones para los diferentes tipos de prueba.....	52
Tabla 12 Resultados de prueba de filtración.....	57

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Áreas designadas para la aplicación del Hormigón Permeable.....	3
Figura 2 Áreas designadas para la aplicación del Hormigón Permeable .....	3
Figura 3 Área designada vista aérea .....	3
Figura 4 Línea de investigación institucional .....	6
Figura 5 Composición química del cemento .....	19
Figura 6 Peso de las diferentes cantidades .....	52
Figura 7 Colocación de mezcla en los diferentes encofrados .....	53
Figura 8 Compactación de la mezcla .....	53
Figura 9 Curado y Reposo del hormigón permeable.....	53
Figura 10 En la muestra N°:1 en base a G/A: 100% Grava - 0% Arena.....	54
Figura 11 En la muestra N°:2 en base a G/A: 90% Grava - 10% Arena.....	55
Figura 12 En la muestra N°:3 en base a G/A: 85% - 15% Arena .....	55
Figura 13 En la muestra N°:4 en base a G/A: 80% - 20% Arena .....	56

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>Anexo 1.</b> El sector Google Maps .....	<b>83</b>
<b>Anexo 2.</b> Sector Google Maps-Satelital .....	<b>84</b>
<b>Anexo 3.</b> Ubicación del terreno Av. 39 .....	<b>85</b>
<b>Anexo 4.</b> Ubicación perspectiva 1 .....	<b>86</b>
<b>Anexo 5.</b> Ubicación perspectiva 2 .....	<b>87</b>
<b>Anexo 6.</b> Perspectiva auto 1 .....	<b>88</b>
<b>Anexo 7.</b> Perspectiva auto 2 .....	<b>89</b>
<b>Anexo 8.</b> Perspectiva auto 3 .....	<b>90</b>
<b>Anexo 9.</b> Vista previa del funcionamiento del hormigón permeable .....	<b>91</b>
<b>Anexo 10.</b> Prototipo simulado .....	<b>92</b>

## INTRODUCCIÓN

Las inundaciones urbanas representan un problema recurrente en muchas ciudades debido al crecimiento poblacional, la expansión de infraestructuras impermeables y la insuficiencia de sistemas de drenaje pluvial. En Guayaquil, específicamente en la Avenida 39, sector norte de la ciudad, los eventos de acumulación de agua pluvial afectan la movilidad, la seguridad vial y la calidad de vida de los habitantes.

Ante esta problemática, es necesario explorar alternativas sostenibles que contribuyan a mejorar la gestión del agua en áreas urbanas. Una de estas soluciones es el hormigón permeable, un material innovador que permite la infiltración del agua de lluvia, reduciendo el escurrimiento superficial y aliviando la carga de los sistemas de drenaje.

El presente estudio tiene como objetivo la implementación de un prototipo de hormigón permeable en la Avenida 39, evaluando su efectividad en la mitigación de inundaciones y su viabilidad técnica para su aplicación en el sector. Para ello, se analizarán las propiedades del material, su capacidad de drenaje y su impacto en la infraestructura vial.

A través de este trabajo, se busca contribuir al desarrollo de soluciones sostenibles para el manejo del agua pluvial en Guayaquil, promoviendo el uso de materiales innovadores que fortalezcan la resiliencia urbana frente a los efectos del cambio climático y el crecimiento urbano descontrolado.

# CAPÍTULO I

## ENFOQUE DE LA PROPUESTA

### 1.1 Tema:

Implementación de un Prototipo de Hormigón Permeable para Evitar Inundación en la Avenida 39, Sector Norte de Guayaquil.

### 1.2 Planteamiento del Problema:

El presente estudio aborda la problemática de inundaciones en la Avenida 39, sector norte de Guayaquil, debido a la falta de drenaje adecuado y la creciente impermeabilización del suelo. Se propone la implementación de un prototipo de hormigón permeable como solución viable para mejorar la infiltración del agua pluvial y reducir la acumulación de agua en la vía. La investigación incluye el diseño del prototipo, los materiales utilizados, su implementación en un área piloto y la evaluación de su desempeño. Los resultados muestran que el hormigón permeable permite un drenaje efectivo, disminuyendo el impacto de las lluvias en la zona.

La avenida 39, ubicada en el sector norte de Guayaquil, enfrenta problemas recurrentes de inundación debido a la acumulación de agua de lluvia. Este estudio propone el uso de hormigón permeable como una solución viable para mitigar estas inundaciones. El hormigón permeable permite la filtración del agua a través de su estructura, facilitando su absorción por el suelo y reduciendo la acumulación superficial (Smith, 2021).

En áreas urbanas con infraestructura de drenaje insuficiente, las inundaciones recurrentes generan problemas significativos tanto para los habitantes como para el funcionamiento de la ciudad. En particular, la combinación de pavimentos impermeables y sistemas de alcantarillado sobrecargados agrava la acumulación de agua en calles y avenidas, afectando la movilidad y la seguridad vial.

La implementación de hormigón permeable surge como una alternativa viable para mitigar este problema. Sin embargo, su adopción en zonas urbanas enfrenta desafíos técnicos y económicos, como la adecuación de su diseño a distintos niveles de tráfico, su integración con el drenaje pluvial existente y la evaluación de su durabilidad a largo plazo.

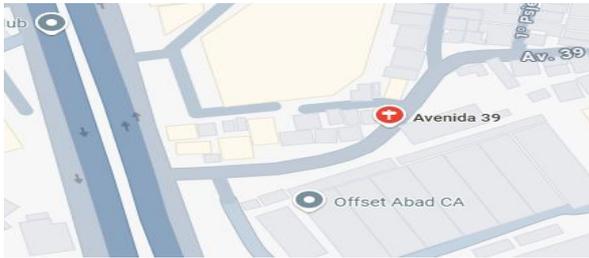
Para abordar estos retos, es necesario analizar el desempeño del hormigón permeable en entornos urbanos, evaluando su capacidad de filtración, resistencia estructural y beneficios ambientales. Este estudio busca determinar la viabilidad de su implementación como una solución efectiva para reducir inundaciones y mejorar la gestión de aguas pluviales en zonas críticas de la ciudad.

Figura 1  
Áreas designadas para la aplicación del Hormigón Permeable



Fuente: Google Maps (2025)

Figura 2  
Áreas designadas para la aplicación del Hormigón Permeable



Fuente: Google Maps (2025)

Figura 3  
Área designada vista aérea



Fuente: Google Maps (2025)

Las inundaciones urbanas son un desafío significativo en muchas ciudades, particularmente en áreas con infraestructura insuficiente para el manejo de aguas

pluviales. Guayaquil, con su clima tropical y fuertes lluvias, es especialmente susceptible a estos problemas (Pascale, 2022)

En la avenida 39, las inundaciones no solo causan inconvenientes a los residentes y transeúntes, sino que también deterioran la infraestructura y aumentan los costos de mantenimiento.

Se espera que la implementación del hormigón permeable reduzca significativamente la escorrentía superficial, disminuyendo la frecuencia y severidad de las inundaciones. Además, se anticipa una mejora en la calidad del agua infiltrada, ya que el hormigón permeable actúa como un filtro natural, removiendo algunos contaminantes.

### **1.3 Formulación del Problema:**

¿Cómo puede la implementación de un prototipo de hormigón permeable mitigar las recurrentes inundaciones en la Avenida 39, sector norte de Guayaquil, mejorando así la gestión del agua pluvial y reduciendo los costos de mantenimiento de la infraestructura urbana?

### **1.4 Objetivo General**

Diseñar un prototipo de hormigón permeable que permita la filtración de la lluvia y contribuya a mitigar las inundaciones, como medida de contingencia del alcantarillado pluvial en Guayaquil.

### **1.5 Objetivos Específicos**

- Diseñar una mezcla de hormigón permeable que cumpla con las normas técnicas para su aplicación como pavimento rígido en vías o aceras.
- Simular físicamente el comportamiento del hormigón permeable bajo condiciones de lluvia intensa, considerando escenarios críticos en Guayaquil.
- Incorporar un sistema de recolección que permita dirigir el agua filtrada hacia el alcantarillado pluvial o un sistema de almacenamiento temporal.

- Representar gráficamente el diseño del hormigón permeable implementado en la acera del sector.

## **1.6 Idea a Defender / Hipótesis**

El enfoque de la presente investigación es mixto debido a que se ha elaborado un proceso de recolección y análisis de datos tanto de investigaciones en torno al problema, la implementación de un prototipo de hormigón permeable en el sector norte de Guayaquil.

El uso de hormigón permeable, en combinación con un sistema de recolección y drenaje, es una solución efectiva y sostenible para mitigar las inundaciones urbanas en la Avenida 39, sector norte de Guayaquil. Esta tecnología permite la infiltración del agua pluvial en el subsuelo, reduciendo la sobrecarga del alcantarillado y disminuyendo la acumulación superficial de agua.

### **1.6.1 Argumentos:**

- Eficiencia en la gestión de agua pluvial: El hormigón permeable facilita la filtración del agua y su almacenamiento en sistemas de captación, evitando encharcamientos.
- Reducción de riesgos de inundación: Al mejorar la absorción del agua, se minimiza el impacto de lluvias intensas en zonas urbanas.
- Sostenibilidad ambiental: Permite la recarga de acuíferos y evita la contaminación por escorrentía superficial.
- Durabilidad y resistencia estructural: Con el diseño adecuado, el hormigón permeable soporta cargas vehiculares sin comprometer su funcionalidad.
- Aplicabilidad en otras zonas urbanas: Su implementación en la Avenida 39 puede servir como modelo para proyectos similares en Guayaquil y otras ciudades con problemas de drenaje.

## 1.7 Línea de Investigación Institucional / Facultad.

Figura 4

Línea de investigación institucional

<b>Campo de Conocimiento</b>	<b>Línea de Investigación</b>	<b>Sub-Línea de Investigación</b>
Ingeniería, Industria y Construcción	Territorio	HÁBITAT Y VIVIENDA
	Materiales de Construcción	MATERIALES INNOVADORES EN LA CONSTRUCCIÓN

Fuente: Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil (2024)

## CAPÍTULO II

### MARCO REFERENCIAL

#### **2.1 Marco Teórico:**

##### ***2.1.1 Antecedentes del Problema***

El hormigón permeable no es un material nuevo, pero su aplicación en pavimentos urbanos ha cobrado mayor relevancia en los últimos años debido a los problemas de inundaciones y el cambio climático. Su origen y evolución han estado ligados a la búsqueda de soluciones sostenibles para la gestión del agua pluvial.

El crecimiento urbano acelerado ha provocado un aumento en la impermeabilización del suelo debido al uso extensivo de pavimentos convencionales como el asfalto y el hormigón tradicional. Este fenómeno impide la absorción natural del agua de lluvia, lo que genera escorrentías superficiales excesivas y sobrecarga los sistemas de drenaje urbano, resultando en frecuentes inundaciones.

En muchas ciudades con climas tropicales o estaciones lluviosas prolongadas, los problemas de acumulación de agua en calles y avenidas han afectado la movilidad, la seguridad vial y la calidad de vida de los habitantes. Adicionalmente, el exceso de agua estancada contribuye a la erosión del pavimento, al deterioro de la infraestructura urbana y a la contaminación de cuerpos hídricos cercanos debido al arrastre de sedimentos y residuos.

La necesidad de implementar soluciones innovadoras y sostenibles para la gestión de aguas pluviales ha llevado a explorar tecnologías como el hormigón permeable. Este material, al permitir la infiltración del agua en el subsuelo, ofrece una alternativa eficiente para mitigar los efectos negativos de la impermeabilización del suelo, reducir la carga en los sistemas de drenaje y mejorar la resiliencia de las ciudades ante eventos climáticos extremos.

### **2.1.2 Origen y Evolución del Hormigón Permeable**

- El concepto de hormigón con alta porosidad se remonta a principios del siglo XX, cuando se empezó a utilizar en proyectos de drenaje en Europa (Gómez, 2022).
- En la década de 1970, el hormigón permeable comenzó a aplicarse en Estados Unidos y Japón como una alternativa para el control de escorrentías en zonas urbanas (Rodríguez, 2021).
- En las últimas décadas, su aplicación se ha extendido a países como Alemania, Francia, China y Australia, debido a sus beneficios en infraestructura y medioambiente (Martínez, 2021).
- La Agencia de Protección Ambiental de EE.UU. (EPA) ha promovido su uso como una estrategia clave en el desarrollo de ciudades sostenibles y resilientes al cambio climático (Kim, 2022).

### **2.1.3. Casos Exitosos de Implementación**

A nivel internacional, el hormigón permeable ha sido probado con éxito en diversas ciudades para reducir problemas de acumulación de agua y mejorar la calidad del pavimento.

- Tokio, Japón: Implementación en calles y estacionamientos para evitar encharcamientos debido a lluvias torrenciales (Liu, 2021).
- Portland, EE.UU.: Se ha utilizado en proyectos urbanos como alternativa al asfalto tradicional, disminuyendo el impacto de inundaciones (Liu, 2021).
- Londres, Reino Unido: Ha sido incorporado en aceras y parques urbanos para mejorar la gestión del agua de lluvia (Johnson, 2021).
- Bogotá, Colombia: Se han desarrollado proyectos piloto en zonas con alto riesgo de inundación, demostrando una reducción del 80% en acumulaciones de agua (Johnson, 2021).

Guayaquil es una ciudad con un clima tropical donde las lluvias pueden generar serios problemas de inundación, especialmente en zonas con deficiencias en el sistema de drenaje pluvial. La implementación de hormigón permeable puede traer múltiples beneficios:

## **2.2 Características del Hormigón Permeable**

### **2.2.1. Composición**

El hormigón permeable se compone de los mismos materiales que el hormigón convencional, con algunas diferencias clave:

**Cemento Portland:** Actúa como aglutinante.

**Agua:** Esencial para la hidratación del cemento.

**Agregado grueso (grava o piedra triturada de 6-20 mm):** Principal componente estructural.

**Poca o ninguna arena:** Reduce la cantidad de finos para mantener la porosidad.

**Aditivos:** Se pueden emplear plastificantes y retardadores para mejorar trabajabilidad y resistencia.

### **2.2.2 Propiedades Físico-Mecánicas**

**Porosidad:** Entre 15% y 35%, permitiendo la infiltración del agua.

**Resistencia a la compresión:** Generalmente menor que el hormigón tradicional, variando entre 2.8 y 28 Mpa según la aplicación.

**Permeabilidad:** Puede alcanzar valores de 2 a 6 mm/s, facilitando un drenaje eficiente.

**Durabilidad:** Resistente a ciclos de congelación y deshielo debido a su capacidad de drenaje.

### **2.2.3 Reducción de Inundaciones Urbanas**

- Guayaquil sufre de inundaciones recurrentes, especialmente en la temporada invernal.
- La Avenida 39, ubicada en el sector norte, es una de las zonas más afectadas por la acumulación de agua.
- Con el uso de hormigón permeable, se permitiría una mejor infiltración del agua de lluvia, reduciendo la carga en los sistemas de alcantarillado y evitando la acumulación de agua en las calles.

### **2.2.4 Mejora en la Infraestructura Vial**

- El uso de materiales convencionales como el asfalto y el hormigón tradicional contribuye al desgaste rápido de las calles debido al agua estancada.

- Con el hormigón permeable, se evita la formación de charcos y erosión en la capa de rodadura, prolongando la vida útil del pavimento.
- Su estructura permite un menor deterioro y menor necesidad de reparaciones constantes, lo que se traduce en ahorro de costos de mantenimiento.

### ***2.2.5 Beneficios Ambientales y Sostenibilidad***

- Permite la recarga de acuíferos subterráneos, lo que es crucial para la gestión hídrica en la ciudad.
- Reduce el efecto isla de calor, ya que permite la evaporación del agua acumulada y mantiene temperaturas más bajas en las superficies urbanas.
- Filtra contaminantes del agua, evitando que sustancias tóxicas lleguen a ríos y estuarios.

### ***2.2.6 Beneficio para la Movilidad Urbana***

- Menos accidentes viales: La acumulación de agua en las calles puede generar hidroplaneo y aumentar el riesgo de accidentes. Con el hormigón permeable, se mejora la seguridad vial.
- Mayor comodidad para peatones y ciclistas: Se pueden implementar aceras y ciclovías con este material, reduciendo los problemas de charcos y mejorando la movilidad sostenible.

### ***2.2.7 Viabilidad Económica a Largo Plazo***

- Aunque el costo inicial del hormigón permeable puede ser ligeramente superior al del pavimento convencional, su durabilidad y menor necesidad de mantenimiento lo hacen más rentable a largo plazo.
- Se reducen costos por reparación de daños viales causados por inundaciones.
- Se evita la inversión constante en mejoras del sistema de drenaje, ya que el pavimento mismo contribuye a la absorción del agua

### **2.2.8 Implementación en Guayaquil: Desafíos y Consideraciones**

Si bien los beneficios del hormigón permeable son evidentes, su implementación en Guayaquil requiere un análisis detallado para garantizar su éxito:

- ❖ Selección de Zonas Prioritarias:
  - Calles con mayor índice de inundaciones.
  - Vías con alto tráfico peatonal o ciclovías.
  - Estacionamientos y parques urbanos.
- ❖ Análisis del Suelo:
  - La capacidad de drenaje del suelo en la zona debe ser evaluada para determinar la efectividad del material.
- ❖ Mantenimiento Adecuado:
  - Aunque el hormigón permeable es resistente, requiere limpieza periódica para evitar que los poros se obstruyan con sedimentos y residuos urbanos.
- ❖ Costos y Viabilidad Financiera:
  - Se debe evaluar la inversión inicial frente a los beneficios a largo plazo para justificar su aplicación en proyectos municipales.

En zonas urbanas como Guayaquil, las inundaciones representan un problema recurrente, especialmente en sectores con sistemas de alcantarillado pluvial insuficientes. En particular, la avenida 39, ubicada en el sector norte de la ciudad, ha enfrentado acumulaciones significativas de agua durante temporadas de lluvias intensas. Estas situaciones generan afectaciones en la movilidad urbana, deterioro de infraestructuras y riesgos para la salud pública.

El crecimiento urbano acelerado de Guayaquil ha generado un aumento en la impermeabilización del suelo debido al uso extensivo de pavimentos convencionales. Esto impide la absorción natural del agua de lluvia, lo que sobrecarga los sistemas de alcantarillado y provoca inundaciones recurrentes. La Avenida 39 es una de las zonas

más afectadas por estos eventos, generando problemas de tráfico, daños a la infraestructura y riesgos sanitarios (Urbanas, 2025).

El uso de hormigón permeable surge como una solución innovadora y sostenible para mitigar estos problemas. Este material permite la filtración de agua, reduciendo el flujo superficial y aliviando la carga sobre el sistema de alcantarillado. Casos de éxito en ciudades como Portland (EE. UU.) y Sapporo (Japón) han demostrado su efectividad en áreas urbanas con alta densidad poblacional y precipitaciones significativas (Pavyurba, 2024).

El rápido crecimiento urbano ha incrementado significativamente las superficies impermeables en las ciudades, lo que ha generado una serie de problemas relacionados con el manejo del agua de lluvia, como inundaciones, contaminación de cuerpos hídricos y deterioro de los sistemas de drenaje tradicionales. En este contexto, los pavimentos porosos surgen como una solución sostenible y eficiente para gestionar las aguas pluviales y mitigar los impactos negativos del desarrollo urbano.

Los pavimentos porosos son superficies de pavimentación diseñadas para permitir la infiltración de agua a través de su estructura. A diferencia de los pavimentos tradicionales impermeables, los porosos están compuestos por materiales que crean espacios vacíos conectados, facilitando el paso del agua hacia el subsuelo (Novak, 2017).

Entre los tipos más comunes se incluyen:

- **Concreto poroso:** Una mezcla de cemento, agua y agregados gruesos con poco o nada de material fino.
- **Asfalto permeable:** Similar al concreto poroso, pero con betún como aglutinante.
- **Adoquines intertrabados con juntas abiertas:** Bloques de concreto o piedra con espacios entre ellos rellenos de arena o grava.
- **Gravilla estabilizada:** Una mezcla de grava y material ligante que permite la permeabilidad.

### 2.3 Problemática del Drenaje Urbano

El incremento de superficies impermeables en las ciudades ha reducido la capacidad del terreno para absorber el agua de lluvia, lo que resulta en un aumento del escurrimiento superficial. Este fenómeno genera diversos problemas:

- **Inundaciones urbanas:** Sobrecarga de los sistemas de alcantarillado.
- **Contaminación hídrica:** Arrastre de contaminantes hacia los cuerpos de agua.
- **Erosión:** Incremento de la velocidad del flujo de agua.
- **Desabastecimiento de acuíferos:** Disminución de la recarga natural.

Los pavimentos porosos son una alternativa que permite abordar estos problemas al gestionar las aguas pluviales en el punto de generación.

### 2.4 Beneficios de los Pavimentos Porosos

- a) **Control de Inundaciones** Al permitir que el agua de lluvia se infiltre en el suelo, los pavimentos porosos reducen el volumen de escurrimiento superficial que llega a los sistemas de drenaje.
- b) **Recarga de Acuíferos** Facilitan la infiltración de agua hacia las capas freáticas, contribuyendo a la sostenibilidad hídrica.
- c) **Mejora de la Calidad del Agua** Actúan como un filtro natural que retiene sedimentos y contaminantes, mejorando la calidad del agua que llega al subsuelo.
- d) **Reducción del Efecto de Isla de Calor** Al ser menos reflectantes y permitir la evaporación del agua, los pavimentos porosos contribuyen a la regulación térmica en zonas urbanas.
- e) **Sostenibilidad Económica**, Aunque su instalación inicial puede ser costosa, a largo plazo reducen la necesidad de sistemas de drenaje convencionales y su mantenimiento.

## 2.5 Factores de Diseño e Implementación

- a) **Permeabilidad del Suelo** Es fundamental evaluar las condiciones del suelo subyacente para determinar si este puede absorber adecuadamente el agua infiltrada.
- b) **Carga de Tráfico** Los pavimentos porosos son más adecuados para áreas de bajo tráfico, como estacionamientos, senderos y calles residenciales.
- c) **Mantenimiento** Es esencial realizar un mantenimiento regular para prevenir la colmatación (obstrucción de los poros por sedimentos).
- d) **Condiciones Climáticas** En regiones con climas fríos, se debe considerar el impacto del ciclo de congelamiento y descongelamiento en la durabilidad del material.

## 2.6 Limitaciones y Retos

- **Colmatación:** La acumulación de sedimentos puede reducir la eficiencia del sistema.
- **Durabilidad:** Menor resistencia estructural en comparación con pavimentos tradicionales.
- **Costos iniciales:** Aunque son más costosos al inicio, se compensan con beneficios a largo plazo.
- **Conciencia y Capacitación:** La falta de conocimiento y experiencia en su diseño e instalación puede limitar su implementación.

Los pavimentos porosos representan una alternativa sostenible al drenaje urbano tradicional, ofreciendo soluciones efectivas para controlar las inundaciones, mejorar la calidad del agua y promover un desarrollo urbano sostenible. Sin embargo, su implementación requiere un enfoque integral que contemple el diseño adecuado, el mantenimiento regular y la evaluación de las condiciones locales. Su adopción puede transformar la forma en que las ciudades gestionan el agua de lluvia, alineándose con los principios de urbanismo sostenible y resiliente (Novak, 2017).

El principio de funcionamiento de los pavimentos porosos radica en la capacidad de sus materiales para absorber y filtrar el agua. Estos pavimentos están compuestos por agregados gruesos, con una mínima o nula cantidad de material fino, lo que permite crear espacios vacíos interconectados. El agua que penetra en estos poros puede ser dirigida hacia el subsuelo, recargando acuíferos, o almacenada temporalmente en capas de base especialmente diseñadas para liberar el agua lentamente hacia el sistema natural o el drenaje urbano. Este enfoque contribuye al ciclo hidrológico urbano, promoviendo un balance más natural entre infiltración, evaporación y escurrimiento.

Una de las principales ventajas de los pavimentos porosos es su capacidad para mitigar el impacto del escurrimiento superficial. Al permitir que el agua de lluvia se infiltre directamente en el suelo, se reduce la acumulación de agua en las calles y se previenen inundaciones locales. Además, este tipo de pavimentos actúa como un filtro natural, reteniendo sedimentos y contaminantes, lo que mejora la calidad del agua que llega al subsuelo. Asimismo, los pavimentos porosos son una herramienta eficaz para la recarga de acuíferos, especialmente en áreas urbanas donde la impermeabilización del terreno limita la infiltración natural (Rivera Ildelfonso, 2021).

Sin embargo, como cualquier tecnología, los pavimentos porosos presentan desafíos y limitaciones que deben considerarse durante su implementación. Uno de los principales problemas es la colmatación, que ocurre cuando los poros se obstruyen con sedimentos y residuos, reduciendo la capacidad de infiltración. Por esta razón, es fundamental realizar un mantenimiento regular, que incluya la limpieza con agua a presión o el uso de aspiradoras especiales para remover las partículas acumuladas. Además, estos pavimentos pueden tener una menor resistencia mecánica que los tradicionales, lo que los hace más adecuados para áreas de tráfico ligero, como estacionamientos, aceras y parques. En regiones con climas fríos, los ciclos de congelación y descongelación también pueden afectar su durabilidad, por lo que es necesario utilizar materiales adecuados y diseños específicos para estas condiciones.

Los materiales utilizados en la construcción de pavimentos porosos incluyen concreto permeable, asfalto permeable, adoquines con juntas abiertas, gravilla estabilizada y resinas permeables. Cada tipo tiene sus propias aplicaciones y características. Por ejemplo, el concreto permeable y el asfalto permeable son ideales para calles y estacionamientos, mientras que los adoquines y las resinas permeables son más comunes en aceras y senderos peatonales. Además de su capacidad de

infiltración, estos materiales tienen propiedades térmicas que contribuyen a reducir el efecto isla de calor urbano, ya que reflejan menos radiación solar y permiten la evaporación del agua almacenada.

Desde el punto de vista ambiental, los pavimentos porosos representan una solución sostenible para el manejo del agua en ciudades densamente pobladas. Al reducir el escurrimiento y fomentar la infiltración, ayudan a minimizar la contaminación hídrica al retener partículas contaminantes antes de que lleguen a los cuerpos de agua. También permiten una mejor adaptación a los efectos del cambio climático, como lluvias más intensas y frecuentes. Además, su uso en combinación con otras estrategias de infraestructura verde, como techos verdes y jardines de lluvia, crea un sistema integral de gestión sostenible de aguas pluviales.

En términos de diseño urbano, los pavimentos porosos desempeñan un papel fundamental en el desarrollo de ciudades más resilientes y sostenibles. Su implementación no solo mejora la funcionalidad de los sistemas de drenaje, sino que también aporta beneficios estéticos y recreativos. Al ser empleados en parques, plazas y otros espacios públicos, contribuyen a la creación de entornos más agradables para los habitantes, al tiempo que mejoran la biodiversidad al permitir la infiltración de agua en áreas vegetadas. Por todo ello, los pavimentos porosos se presentan como una alternativa prometedora para abordar los desafíos del manejo del agua en las ciudades modernas.

Las inundaciones en ciudades se deben, en gran parte, a la impermeabilización del suelo, lo que impide la absorción del agua de lluvia y genera acumulaciones en calles y avenidas. Estas situaciones afectan la infraestructura, el tránsito y la calidad de vida de los habitantes.

## 2.7 Causas de las inundaciones urbanas

Las principales causas de las inundaciones urbanas incluyen:

- **Impermeabilización del suelo:** Uso de materiales como asfalto y hormigón convencional.
- **Deficiencias en el drenaje urbano:** Infraestructura obsoleta o insuficiente.
- **Cambio climático:** Lluvias más intensas y frecuentes.
- **Deforestación:** Reducción de la vegetación que absorbe el agua.

### 2.7.1 Inundaciones urbanas y su impacto

Las inundaciones en ciudades se deben, en gran parte, a la impermeabilización del suelo, lo que impide la absorción del agua de lluvia y genera acumulaciones en calles y avenidas. Estas situaciones afectan la infraestructura, el tránsito y la calidad de vida de los habitantes.

### 2.7.2 Consecuencias de las inundaciones

- Daños a la infraestructura vial y viviendas.
- Problemas de movilidad y seguridad vial.
- Riesgos sanitarios por agua estancada.
- Incremento en los costos de mantenimiento urbano.

El hormigón permeable es un material compuesto por cemento, agregados gruesos y una reducida cantidad de arena, lo que genera porosidad en su estructura. Sus principales ventajas incluyen la mejora del drenaje, la reducción del efecto isla de calor y la sostenibilidad ambiental.

## 2.8 Propiedades del hormigón permeable

- **Alta permeabilidad:** Permite la infiltración rápida del agua de lluvia.
- **Resistencia estructural adecuada:** Puede soportar tráfico vehicular moderado.
- **Durabilidad:** Vida útil prolongada con mantenimiento adecuado.

Tabla 1

Propiedades del hormigón permeable

Propiedad	Valor Aproximado
Permeabilidad	2-5 mm/s
Resistencia a compresión	10-20 Mpa
Porosidad	15-25%

Elaborado por: Castro y Suarez (2024)

## 2.9 Aplicaciones del hormigón permeable

- Pavimentación de calles y avenidas.
- Estacionamientos.
- Aceras y parques.
- Campos deportivos.

## 2.10 Materiales empleados en la fabricación de hormigón

El hormigón es un material indispensable en la rama de la construcción, su fabricación se realiza mediante la mezcla de los siguientes materiales: cemento, agregado grueso (piedra), agregado fino (arena) y agua. Se puede adicionar aditivos si se desea modificar o mejorar algunas de sus propiedades (Decreto, 2008).

### 2.10.1 Cemento

El cemento, considerado como un conglomerante hidráulico, es un material conformado por la mezcla de clinker y yeso, material que es finamente molido y, al tener contacto con el agua, forma una pasta de amasado que fragua y se endurece formando un material aglutinante.

### 2.10.2 Composición química del cemento

El cemento Portland está constituido principalmente por silicatos y aluminatos de calcio, compuestos formados por la asociación química de diferentes óxidos, tales como; el óxido de calcio (Ca O), dióxido de silicio (Si O<sub>2</sub>), óxido de aluminio (Al<sub>2</sub> O<sub>3</sub>) y el óxido de hierro (Fe<sub>2</sub> O<sub>3</sub>). Son cuatro los compuestos resultantes del proceso de fusión química en el horno, a continuación, se detallará sus nombres, formulas químicas y abreviaciones comunes:

Figura 5  
Composición química del cemento

<b>Nombre</b>	<b>Formula Química</b>	<b>Abreviación Común</b>
Silicato tricálcico	3 Ca O · Si O <sub>2</sub>	C <sub>3</sub> S
Silicato dicálcico	2 Ca O · Si O <sub>2</sub>	C <sub>2</sub> S
Aluminato tricálcico	3 Ca O · Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	C <sub>3</sub> A
Aluminato dicálcico	4 Ca O · Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> · Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	C <sub>4</sub> AF

Fuente: Elaboración propia

### **2.10.3 Clasificación del cemento**

Las normativas NTE INEN, con referencia a su equivalente en las normas ASTM (2380, 2011), tienen como más destacadas las siguientes clasificaciones para el cemento:

#### **❖ Puros (NTE INEN 152/ASTM C150):**

- Tipo I: Uso común.
- Tipo II: Moderada resistencia a los sulfatos y moderado calor de hidratación.
- Tipo III: Elevada resistencia inicial.
- Tipo IV: Bajo calor de hidratación.
- Tipo V: Alta resistencia a la acción de los sulfatos.
- Tipo IA, IIA, IIIA: Incorporadores de air

#### **❖ Por Desempeño (NTE INEN 2380/ASTM C1157)**

- Tipo GU: Uso general.
- Tipo HE: Elevada resistencia inicial.
- MS: Moderada resistencia a los sulfatos.
- HS: Alta resistencia a los sulfatos.
- MH: Moderado calor de hidratación.
- LH: Bajo calor de hidratación.

#### **❖ Compuesto (NTE INEN 490/ASTM C595)**

- IS: Pórtland con escoria de altos hornos.
- IP: Pórtland puzolánico.
- P: Pórtland puzolánico (cuando no se requiere resistencias iniciales altas).
- I (PM): Pórtland puzolánico modificado.
- I (SM): Pórtland con escoria modificado. 9
- S: Cemento de escoria.

### **2.11 Agregados en el hormigón**

Los agregados (finos y gruesos) ocupan entre el 65 – 75% del volumen del hormigón, y proporcionalmente entre el 75 – 90%, en peso. Los agregados también son responsables de las variaciones en las propiedades que el hormigón desarrolle tanto en su estado fresco, como endurecido.

### **2.11.1 Agregado grueso**

Se denomina agregado grueso a la grava natural o artificial retenida en el tamiz No. 4 (4,75 mm), estas pueden ser: grava de cantera, grava triturada o canto rodado.

2.1.2.2 Agregado fino El agregado o árido fino, es el material resultante de la desintegración y abrasión natural o artificial de la roca, son partículas de tamaños entre 75 micras y 4,75 mm, estas pueden ser: arena de río, arena de mar o algún material triturado (Pinto, 2018).

### **2.12 Efecto de la forma de los agregados en el concreto**

Las características de los agregados tienen un efecto significativo en el comportamiento del concreto en estado fresco y endurecido. Las principales características de los agregados que afectan las propiedades del concreto son forma y textura, gradación, absorción, mineralogía, resistencia y módulo de elasticidad, tamaño máximo, gravedad específica, resistencia al ataque de sulfatos y dureza. En la medida en que se determine la influencia de cada una de estas propiedades en el comportamiento del concreto, será posible realizar diseños de mezclas más económicos. Para lograr una mezcla de concreto óptima se requieren entre otras condiciones que la compactación de la mezcla de agregados sea la máxima posible con una trabajabilidad adecuada de forma que se minimice la cantidad de pasta de cemento requerida para la pega de los agregados. Igualmente se requiere que sus componentes satisfagan características que permitan que la mezcla de concreto sea durable y cumpla con los requisitos de trabajabilidad y resistencia establecidos durante el diseño (Pinto, 2018).

#### **2.12.1 Efecto de la forma de los agregados en las propiedades del concreto fresco**

La forma de las partículas afecta la trabajabilidad y colocación del concreto en estado fresco. El requerimiento de pasta de cemento de la mezcla de concreto está asociado a la superficie específica de los agregados. Las partículas con una superficie específica menor como las de forma cúbica o redondeada requieren menos pasta de cemento para alcanzar la misma trabajabilidad que una mezcla de concreto producida con agregados de mayor superficie específica como aquellos que contienen partículas elongadas y aplanadas (Shilstone, 1999). Adicionalmente, las partículas aplanadas,

alargadas, angulares y rugosas al acomodarse tienen un alto contenido de vacíos, que hacen que la mezcla requiera de más arena para proporcionar un concreto manejable. Cuando esto sucede, la finura de la mezcla de agregados es mayor, es decir que tiene una superficie específica mayor, y por ende el requerimiento de pasta incrementa (Legg, 1998). Además de tener un efecto directo sobre la trabajabilidad de la mezcla, las partículas aplanadas, alargadas, angulares y rugosas producen mezclas que dificultan el acabado superficial del concreto, así como su compactación (Pinto, 2018).

### ***2.12.2 Efecto de la forma de los agregados en las propiedades del concreto endurecido***

La forma y la textura de los agregados además de afectar significativamente la trabajabilidad del concreto en estado fresco, tienen un efecto en la resistencia y la durabilidad de concreto endurecido. La textura afecta la adherencia entre las partículas gruesas y la matriz de mortero reflejándose en la variación de la resistencia. Las partículas rugosas tienden a generar mayores resistencias que las partículas lisas (Kaplan, 1959), especialmente la resistencia a la flexión (Galloway, 1994). Sin embargo, las partículas rugosas incrementan la demanda de agua para una trabajabilidad dada reduciendo de esta forma la resistencia y la durabilidad.

### **2.13 Agua**

Es el componente que aporta a la hidratación del cemento, produciendo la pasta de material aglutinante que se mantendrá unida a los áridos formando el hormigón en estado fresco y próximo a endurecerse. El agua empleada en la mezcla debe de estar libre de contaminación y de sustancias perjudiciales, tales como: ácidos, álcalis, sales minerales orgánicas, aceites u otras sustancias.

### **2.14 Hormigón permeable**

Hormigón de tipo especial, también llamado hormigón poroso, elaborado con cemento, agua, agregado grueso y poco o nada agregado fino. La ausencia de finos es la que permite que se desarrolle su principal característica, que es la permeabilidad.

### 2.14.1 Características Técnicas del Hormigón Permeable

El hormigón permeable es un material de construcción diseñado para permitir el paso del agua a través de su estructura porosa. Sus principales características incluyen:

- **Porosidad:** Entre el 15% y el 25%, lo que facilita la infiltración del agua de lluvia.
- **Tamaño de los agregados:** Generalmente entre 4.75 mm y 12.5 mm.
- **Relación agua-cemento:** Varía entre 0.27 y 0.40 para lograr una estructura con suficiente resistencia sin comprometer la permeabilidad.
- **Resistencia a compresión:** Oscila entre 10 Mpa y 20 Mpa, dependiendo del diseño de mezcla y la carga de tráfico esperada.
- **Capacidad de infiltración:** Puede alcanzar entre 2 mm/s y 5 mm/s, mucho más alta que los materiales convencionales.

### 2.14.2 Composición del Hormigón Permeable

El hormigón permeable se compone de materiales similares al hormigón tradicional, pero con una formulación optimizada para garantizar la porosidad y la capacidad de drenaje. Sus principales componentes son:

Dado que el hormigón permeable contiene poco o nada de arena, se obtiene una estructura porosa que permite la filtración del agua.

Tabla 2  
Composición del Hormigón Permeable

Material	Función en la Mezcla	Porcentaje Aproximado en la Mezcla
Cemento Portland	Actúa como aglutinante, uniendo los agregados.	10-20%
Agregado grueso (grava)	Proporciona estructura y resistencia mecánica.	70-80%
Agua	Activa la hidratación del cemento para la fraguación.	10-15%
Aditivos (superplastificantes, estabilizadores)	Mejoran la trabajabilidad y durabilidad.	< 5%

Elaborado por: Castro y Suarez (2024)

## **2.15 Propiedades de los Materiales**

### **2.15.1 Cemento Portland**

El cemento es el componente responsable de la cohesión en la mezcla. Se recomienda el uso de **cemento Portland Tipo I o II**, ya que proporcionan buena resistencia sin comprometer la permeabilidad.

**Cantidad óptima:** Entre el 10% y 20% del peso total de la mezcla.

**Resistencia final:** Dependerá de la relación agua-cemento y del tipo de cemento utilizado.

### **2.15.2 Agregado Grueso**

Los agregados gruesos son la base de la estructura porosa del hormigón permeable. Deben tener una granulometría uniforme para permitir la formación de poros interconectados.

- **Tamaño recomendado:** 4.75 mm a 12.5 mm.
- **Forma ideal:** Agregados redondeados mejoran la trabajabilidad, mientras que los angulares aumentan la resistencia.
- **Proporción en la mezcla:** 70-80% del volumen total.

### **2.15.3 Agua R Y E**

El agua juega un papel crucial en la reacción de hidratación del cemento. Se usa en cantidades controladas para evitar el exceso de finos que podrían obstruir los poros (Moya, 2022).

**Relación agua-cemento (A/C):** Entre 0.27 y 0.40, dependiendo del diseño de mezcla.

**Exceso de agua:** Puede reducir la permeabilidad al generar una pasta densa que tapa los poros.

### **2.15.4 Aditivos**

Se utilizan aditivos para mejorar la trabajabilidad, resistencia y durabilidad del hormigón. Algunos de los más usados son:

Tabla 3  
Aditivos

Tipo de Aditivo	Función	Proporción en la Mezcla
<b>Superplastificantes</b>	Mejoran la fluidez sin aumentar la cantidad de agua.	< 1%
<b>Estabilizadores de mezcla</b>	Evitan la segregación de materiales.	< 1%
<b>Selladores superficiales</b>	Protegen contra obstrucciones y desgaste.	< 2%

Elaborado por: Castro y Suarez (2024)

### 2.16 Relación Agua-Cemento y Permeabilidad

Uno de los factores clave en la composición del hormigón permeable es la **relación agua-cemento (A/C)**, ya que determina la resistencia y capacidad de infiltración del material.

Tabla 4  
Relación Agua-Cemento y Permeabilidad

Relación A/C	Efecto en la Mezcla
<b>&lt; 0.27</b>	Mezcla seca, difícil de trabajar, baja resistencia.
<b>0.27 – 0.35</b>	Equilibrio entre resistencia y permeabilidad.
<b>0.35 – 0.40</b>	Mayor trabajabilidad, pero riesgo de reducción de porosidad.
<b>&gt; 0.40</b>	Exceso de agua que puede obstruir los poros.

Elaborado por: Castro y Suarez (2024)

El objetivo es encontrar un equilibrio entre permeabilidad y resistencia estructural, evitando el exceso de finos que puedan tapar los poros.

### 2.17 Diseño de Mezcla para Hormigón Permeable

Un diseño típico de mezcla para pavimentos con tráfico ligero-moderado puede ser el siguiente:

Tabla 5  
Diseño de Mezcla para Hormigón Permeable

<b>Material</b>	<b>Cantidad por m<sup>3</sup></b>
<b>Cemento Portland</b>	250 – 350 kg
<b>Agregado grueso (grava)</b>	1200 – 1400 kg
<b>Agua</b>	100 – 150 litros
<b>Aditivos</b>	Según especificación

Elaborado por: Castro y Suarez (2024)

Para tráfico pesado, se pueden añadir fibras de refuerzo o selladores superficiales para aumentar la resistencia sin comprometer la permeabilidad.

## 2.18 Comparación con el Hormigón Convencional

Tabla 6  
Comparación con el Hormigón Convencional

<b>Característica</b>	<b>Hormigón Convencional</b>	<b>Hormigón Permeable</b>
<b>Tamaño de agregados</b>	4.75 – 19 mm	4.75 – 12.5 mm
<b>Relación A/C</b>	0.40 – 0.50	0.27 – 0.40
<b>Presencia de arena</b>	Sí (30-40%)	No o muy poca (<10%)
<b>Permeabilidad</b>	Nula	2-5 mm/s
<b>Uso recomendado</b>	Estructuras, pavimentos de alto tráfico	Calles, estacionamientos, aceras

Elaborado por: Castro y Suarez (2024)

## **2.19 Factores que Afectan la Composición del Hormigón Permeable**

### **2.19.1 Tipo y Calidad de los Materiales**

Los agregados deben ser **duros, duraderos y limpios** para evitar obstrucciones en los poros.

Se recomienda usar **cementos de alta resistencia** para garantizar durabilidad.

El agua debe ser potable y libre de impurezas para evitar reacciones perjudiciales.

### **2.19.2 Control de la Dosificación**

Un exceso de cemento puede disminuir la permeabilidad.

Una mala distribución de los agregados puede afectar la resistencia mecánica.

### **2.19.3 Proceso de Compactación y Curado**

La compactación debe ser ligera para evitar el cierre de poros.

Se recomienda un **curado húmedo de al menos 7 días** para lograr la resistencia deseada.

## **2.20 Mejoras y Tecnologías en el Diseño de Hormigón Permeable**

Actualmente, se están desarrollando nuevas tecnologías para optimizar la composición del hormigón permeable:

**Uso de nanomateriales:** Mejora la resistencia y durabilidad.

**Incorporación de fibras sintéticas:** Reduce la fragilidad y mejora la tenacidad.

**Selladores inteligentes:** Permiten la **autorreparación de grietas**, prolongando la vida útil del pavimento.

## **2.21 RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

Los resultados preliminares indican que el hormigón permeable implementado en la Avenida 39 permite una rápida infiltración del agua de lluvia, reduciendo notablemente la acumulación en la superficie. Además, su resistencia mecánica es adecuada para soportar el tráfico vehicular liviano y moderado. Se agregarán estudios de comparación con materiales tradicionales.

### 2.21.1 Comparación con materiales convencionales

Tabla 7

Comparación con materiales convencionales

Material	Permeabilidad	Costo/m <sup>2</sup>	Durabilidad
Asfalto convencional	Baja	\$30	Alta
Hormigón convencional	Nula	\$35	Alta
Hormigón permeable	Alta	\$40	Media

Elaborado por: Castro y Suarez (2024)

### 2.22 Estudios Comparativos

Los estudios han demostrado que el hormigón permeable es altamente eficaz en comparación con otros materiales convencionales:

Tabla 8

Estudios Comparativos

Propiedad	Asfalto Convencional	Hormigón Tradicional	Hormigón Permeable
Permeabilidad (mm/s)	0.01	0	2-5
Costo de instalación (\$/m <sup>2</sup> )	30	35	40
Vida útil (años)	15-20	20-30	15-25
Mantenimiento	Alto	Medio	Bajo

Elaborado por: Castro y Suarez (2024)

Los resultados muestran que el hormigón permeable tiene un costo inicial mayor, pero reduce significativamente los costos de mantenimiento y manejo de agua pluvial.

#### 2.22.1 Nuevas Tecnologías en Pavimentos Permeables

Los avances en materiales de construcción han permitido mejorar las propiedades del hormigón permeable (UC, 2024). Algunas innovaciones incluyen:

**Nanotecnología:** Se está utilizando nanopartículas para mejorar la resistencia y durabilidad del hormigón sin afectar su permeabilidad.

**Aditivos Poliméricos:** Incorporación de resinas que optimizan la adherencia y reducen la fragilidad del material.

**Uso de Materiales Reciclados:** Investigaciones recientes han demostrado que la incorporación de plásticos reciclados en la mezcla mejora la flexibilidad del hormigón y prolonga su vida útil.

**Hormigón Autorreparable:** Desarrollo de mezclas con bacterias calcificantes que pueden sellar pequeñas grietas de manera autónoma, prolongando la vida útil del material.

**Sistemas de Captación Integrados:** Diseño de hormigón permeable con estructuras subterráneas para almacenar y reutilizar el agua de lluvia en sistemas de riego y abastecimiento.

### 2.22.2 Casos Adicionales de Implementación

El hormigón permeable no es por sí mismo más sostenible que el convencional, o que el hormigón bajo en carbono, pero sí permite un uso más sostenible del acabado final. Una acera permeable es más sostenible que una que impide el paso del agua. Pero la sostenibilidad final lograda con este material dependerá de cómo se use integrado junto a otras soluciones (Tomorrow.city, 2023).

A nivel mundial, varias ciudades han implementado con éxito el hormigón permeable:

**Sídney, Australia:** Implementación de pavimentos permeables en parques urbanos, reduciendo la escorrentía en un 45%.

**Toronto, Canadá:** Aplicación en ciclovías para minimizar el impacto de las lluvias y mejorar la seguridad vial.

**Barcelona, España:** Integración con jardines urbanos para mejorar la infiltración y la sostenibilidad de los espacios verdes.

**Tokio, Japón:** Uso en estacionamientos y áreas comerciales para reducir la acumulación de agua y mejorar la gestión de aguas pluviales.

**Copenhague, Dinamarca:** Integración de pavimentos permeables en corredores peatonales y ciclovías dentro de su plan de resiliencia climática urbana.

### 2.22.3 Beneficios Ambientales y Económicos

**Reducción del Consumo de Energía:** Al disminuir la necesidad de infraestructura de drenaje, se reduce el gasto en bombeo y tratamiento de agua.

**Mejora de la Calidad del Aire:** Al permitir la evaporación del agua, reduce la temperatura del entorno y disminuye la formación de ozono troposférico.

**Disminución de Costos de Mantenimiento:** A largo plazo, el hormigón permeable requiere menor mantenimiento en comparación con el asfalto tradicional.

**Recarga de Acuíferos:** Favorece la infiltración del agua de lluvia en el subsuelo, ayudando a la sostenibilidad hídrica de las ciudades.

**Reducción del Efecto Isla de Calor:** Gracias a su estructura porosa, disipa el calor y mejora el confort térmico en zonas urbanas densamente pobladas.

### 2.22.4 Comparaciones con Otros Materiales Sostenibles

Tabla 9  
Comparaciones con Otros Materiales Sostenibles

Material	Permeabilidad	Costo Inicial	Durabilidad
<b>Hormigón Permeable</b>	Alta	Medio-Alto	Medio
<b>Asfalto Permeable</b>	Media	Alto	Medio
<b>Adoquines Ecológicos</b>	Media	Medio	Alto
<b>Pavimentos con Resinas</b>	Alta	Alto	Medio-Alto

Elaborado por: Castro y Suarez (2024)

El hormigón permeable es competitivo en términos de costo-beneficio y destaca por su facilidad de aplicación en zonas urbanas.

### 2.22.5 Retos y Consideraciones Futuras

**Capacitación de Personal:** La aplicación efectiva requiere capacitación especializada para garantizar la durabilidad y funcionalidad del material.

**Investigación en Mezclas Optimizadas:** El desarrollo de nuevas composiciones podría mejorar la resistencia mecánica sin comprometer la permeabilidad.

**Mantenimiento Regular:** Es crucial diseñar planes de mantenimiento para evitar la obstrucción de los poros por sedimentos.

**Evaluación de Impacto a Largo Plazo:** Estudios sobre el comportamiento del hormigón permeable en climas extremos y su interacción con el entorno urbano.

**Regulación y Normativas:** Desarrollo de estándares y normativas que fomenten su adopción en proyectos urbanos a gran escala.

La expansión en el uso del hormigón permeable representa una solución viable para la gestión de aguas pluviales en entornos urbanos. Su implementación en Guayaquil podría marcar un precedente para futuras intervenciones en la infraestructura de la ciudad, mejorando la resiliencia frente a eventos climáticos extremos. Además, la integración con nuevas tecnologías y materiales innovadores permite ampliar su aplicabilidad y eficacia en la sostenibilidad urbana (INMOLEY.COM, 2019).

### 2.23 Pruebas de Desempeño

Para evaluar la efectividad del hormigón permeable, se realizan diversas pruebas:

- a) **Prueba de Permeabilidad:** Se mide la cantidad de agua que atraviesa la superficie en un tiempo determinado.
- b) **Prueba de Resistencia a la Compresión:** Evalúa la capacidad de carga del material en condiciones de tráfico.
- c) **Prueba de Durabilidad:** Se somete el hormigón a ciclos de congelamiento y descongelamiento para determinar su vida útil.
- d) **Prueba de Absorción de Agua:** Mide la capacidad del material para retener agua y evitar filtraciones excesivas.

### 2.24 Diseño y Construcción del Prototipo

Para implementar el hormigón permeable en la Avenida 39, se deben considerar los siguientes factores:

**Preparación del terreno:** Se retira el suelo impermeable y se coloca una capa de grava para mejorar la filtración.

**Colocación del hormigón:** Se vierte la mezcla y se compacta con rodillos vibratorios para mantener la porosidad.

**Mantenimiento inicial:** Se recomienda evitar el tráfico pesado durante las primeras semanas para permitir el fraguado adecuado.

#### ***2.24.1 Análisis de Costos y Beneficios***

Se estima que la implementación del hormigón permeable en la Avenida 39 costaría aproximadamente:

**Materiales y mano de obra:** \$40-\$50 por metro cuadrado.

**Mantenimiento anual:** \$2-\$5 por metro cuadrado, menor que el de los materiales tradicionales.

**Beneficios a largo plazo:** Reducción del 60% en costos de drenaje pluvial.

#### ***2.24.2 Desafíos y Consideraciones***

Si bien el hormigón permeable ofrece múltiples beneficios, existen desafíos a considerar:

**Menor resistencia estructural:** No es adecuado para carreteras de alto tráfico sin refuerzos adicionales.

**Posible obstrucción de poros:** Puede requerir limpieza periódica con agua a presión para mantener su capacidad de filtración.

**Mayor costo inicial:** Aunque el mantenimiento es más económico, la inversión inicial es más alta que la del asfalto convencional.

#### ***2.25 Usos y aplicaciones***

Contribuye a una gran variedad de usos, entre las cuales resaltan:

- Pavimentos de hormigón permeable para una baja carga de tráfico: muy seguro, ideal para evitar la escorrentía superficial que suelen ser ocasionadas por lluvias de grandes intensidades.

- Ciclovías: Mejor superficie de contacto entre las llantas de la bicicleta y la ciclovía.
- Áreas de parqueaderos: zona utilizada tanto para conductores como para peatones, ideal para evitar el empozamiento.
- Aceras: aplicación muy práctica ante una carga soportada.
- Canchas de uso múltiple: Evita el empozamiento de agua.
- Pisos de invernaderos: Este material evitará que el agua que reciben las plantas que se empoce en el piso del invernadero, y será de gran ayuda en el caso de una fuga o falla en las tuberías. (American Concrete Institute Committee 522, 2010,
- Base para vías: Se puede utilizar hormigón permeable como una base sobre la cual se construirán calles, vías, autopistas o incluso, con una mayor investigación, aeropuertos.

La idea es brindar una base resistente y permeable (Fogliatti, 2024).

## **2.26 Ventajas y desventajas**

### **2.26.1 Ventajas**

**Recarga de las aguas subterráneas:** su permeabilidad evita que el ciclo del agua se interrumpa. Los mantos acuíferos se pueden recargar y no desaparecen (EXPRESS, 2022).

**Absorción de calor:** los espacios vacíos del hormigón permiten que el calor se disipe en ellos evitando así el efecto invernadero. Un claro ejemplo se da en las vías, estas no estarán tan calientes como sucede lo estarían al usar hormigón convencional o asfalto (EXPRESS, 2022).

**Reducción de espacios de agua empozada:** el agua empozada es el principal enemigo de los vehículos por la cantidad de accidentes que ocasiona y también de los peatones, ya que estos no se salvan de sufrir caídas, especialmente si están practicando algún deporte o corriendo en una cancha construida con hormigón (EXPRESS, 2022).

**Decremento de las posibilidades de inundación:** la permeabilidad del hormigón permite al agua ser desalojada evitando o disminuyendo en un gran porcentaje las posibilidades de inundaciones (EXPRESS, 2022).

## **2.26.2 Desventajas**

**Baja resistencia:** mientras mayor sea la permeabilidad del hormigón, mayor será la porosidad y por ende la cantidad de vacíos en él. Mientras mayor cantidad de vacíos exista, menor será la resistencia que el hormigón pueda alcanzar.

**Tiempo de curado prolongado:** los primeros días de curado son muy importantes y se recomienda alargarlo durante mínimo 7 días.

**Mayor frecuencia de mantenimiento:** es necesario realizar mantenimiento periódico especialmente en pavimentos o losas de hormigón permeable para evitar que los vacíos se tapen y la permeabilidad del mismo se pierda.

## **2.27 Propiedades**

Las diversas propiedades de resistencia del concreto permeable dependen de los contenidos de cemento, de la relación agua – cemento (a/c), del nivel de compactación, la graduación y calidad del agregado.

### **2.27.1 Propiedades en estado fresco**

a) **Trabajabilidad** Es la propiedad que permite un manejo fácil del transporte, colocado y compactado del hormigón sin producir segregación (Bonicelli, 2015).

b) **Asentamiento** En general, es cero; sin embargo, se han usado valores en el rango de 20 a 50 mm. La prueba del revenimiento – que se puede realizar de acuerdo con la ASTM C143– no es una prueba que se considera para 16 fines de control de calidad, como en el caso del concreto convencional.

c) **Densidad o peso unitario** La densidad del hormigón recién mezclado se define como la masa por unidad de volumen, “en un hormigón permeable su densidad está en el orden del 70% del concreto convencional, en donde su densidad depende del porcentaje de vacíos el cual varía de 1600 a 2000 kg/m<sup>3</sup>”.

### **2.27.2 Propiedades en estado endurecido**

a) Porosidad La porosidad es una medida de los espacios vacíos entre los agregados. La condición para que un concreto sea permeable es su porosidad sea mayor al 15% (Concreto, 2024).

b) Permeabilidad La permeabilidad al igual que la porosidad depende de las propiedades de los materiales, la proporción de la mezcla y de los métodos de colocación y compactación. Una excesiva compactación reducirá la permeabilidad al sellar los poros necesarios para la filtración del agua. El hormigón permeable tiene un rango de 0,14 – 1,44 cm/s de permeabilidad. (Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto A.C., 2010).  
17

c) Durabilidad Es la capacidad que tiene el hormigón para resistir la acción de la intemperie, es decir, lluvia, humedad o cambios de temperatura, procurando que, sus propiedades mecánicas no se vean afectadas.

d) Absorción acústica Es la capacidad que tienen ciertos materiales para absorber el sonido cuando la superficie del mismo es golpeada, en donde la cantidad de sonido que absorba va a depender del tipo de material debido a que algunos materiales lo reflejan. El hormigón permeable es considerado como un tipo de concreto altamente eficaz a la absorción acústica debido a la presencia de un gran volumen de poros interconectados de tamaños considerables en su estructura. Este tipo de hormigón puede ser empleado para reducir el ruido generado por la interacción neumático pavimento en pavimentos de hormigón. (Concrete, 2010).

### **2.28 Referentes Teóricos y Estudios Previos**

El marco teórico de esta investigación se sustenta en estudios recientes y antecedentes clásicos sobre el diseño de materiales permeables y la gestión de aguas pluviales:

### **2.28.1 Hormigón permeable como material sostenible**

- **Pavimento perméable.**

Este estudio analizó la implementación de pavimentos permeables en áreas urbanas densas, concluyendo una reducción del 40% en las inundaciones.

- **Innovación en la infraestructura urbana.**

Pavimentos permeables en América Latina. El autor presenta casos en Colombia y Brasil, destacando la adaptabilidad de estos sistemas a climas tropicales.

### **2.28.2 Gestión de aguas pluviales y sistemas de recolección**

- **Performance of Permeable Pavement under Extreme Rainfall Events.**

Este artículo evalúa la capacidad de recolección y filtración de pavimentos permeables frente a tormentas intensas, destacando su integración con sistemas de almacenamiento subterráneos.

- **Diseño de sistemas pluviales en Guayaquil.**

Desafíos y oportunidades. Este trabajo de grado aborda la situación actual del sistema pluvial de la ciudad, enfatizando la necesidad de soluciones innovadoras como pavimentos permeables.

## **2.29 Marco Legal:**

### **2.30 Normativa y legislación aplicable**

#### **2.30.1 Normativas de diseño de hormigón simple de acera**

El diseño de hormigón simple para aceras está regulado por normas técnicas que garantizan seguridad, funcionalidad y durabilidad. Estas normativas varían según el país, pero en general, se basan en estándares internacionales como el ACI (American Concrete Institute) y códigos locales de construcción (Ecuatoriano, 2018) (International, 2020) (EPA, 2019) .

A continuación, se presentan aspectos clave que suelen incluirse en las normativas:

**Espesor de la acera:**

Mínimo recomendado: 7.5 cm (3 pulgadas) para tráfico peatonal ligero.

Para áreas con posibles cargas más altas (por ejemplo, bicicletas, carros de mano), el espesor puede aumentar a 10 cm (4 pulgadas).

**Resistencia del hormigón:**

Resistencia a compresión: Normalmente se especifica una resistencia mínima de 20 Mpa (3000 psi) a los 28 días.

Se recomienda usar hormigón con una relación agua/cemento baja (menor a 0.50) para mejorar la durabilidad.

**Juntas de expansión y contracción:**

Las juntas de contracción deben colocarse a intervalos regulares, generalmente cada 2-3 metros para evitar agrietamientos.

Las juntas de expansión se instalan cada 6-9 metros o donde la acera se encuentra con otras estructuras rígidas, como bordillos o muros.

**Pendiente y drenaje:**

La superficie debe tener una pendiente transversal de 1-2% (1-2 cm por metro) hacia la calle para garantizar un buen drenaje.

Se deben evitar áreas donde pueda acumularse agua estancada.

**Agregado y materiales:**

Tamaño del agregado máximo: 19 mm (3/4 pulgadas) es típico para aceras.

Los materiales deben cumplir con las especificaciones de calidad según las normativas nacionales (por ejemplo, NTE INEN en Ecuador o normas ASTM).

**Refuerzo (opcional):**

Si se esperan cargas adicionales o condiciones adversas, se pueden usar mallas de acero o fibras para reforzar el hormigón y controlar fisuras.

**Acabado y textura:**

El acabado debe ser antideslizante. Generalmente, se usa una textura de escoba para prevenir caídas, especialmente en zonas húmedas.

**Criterios ambientales:**

Usar aditivos para mejorar la resistencia a ciclos de congelación y deshielo (si aplica).

Garantizar que el proceso de curado sea adecuado, preferiblemente durante un mínimo de 7 días, para evitar grietas prematuras.

**2.31 Normativas locales en Ecuador (Ejemplo):**

**Norma Técnica Ecuatoriana (NTE INEN 1572):** Especificaciones para hormigones.

**Código de la Construcción Municipal:** Cada municipio puede tener regulaciones específicas para el diseño y construcción de aceras.

Para la implementación de un prototipo de hormigón permeable en la Avenida 39, sector norte de Guayaquil, es crucial considerar la legislación y normativa aplicable a nivel nacional, regional y local. Esto asegura que el proyecto cumpla con los requisitos legales, ambientales y técnicos establecidos por las autoridades competentes. A continuación, se detallan algunas de las normativas y regulaciones relevantes:

**2.32 Normativa Nacional****Ley de Gestión Ambiental (Ley No. 37):**

**Descripción:** Esta ley establece los principios y regulaciones para la protección del medio ambiente en Ecuador. Proporciona el marco para la evaluación de impacto ambiental y el manejo de los recursos naturales.

**Aplicación:** El proyecto debe realizar una Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) para identificar y mitigar posibles efectos adversos sobre el medio ambiente.

**Código Orgánico del Ambiente (COA):**

**Descripción:** Este código regula la gestión ambiental en el país, incluyéndola gestión de recursos hídricos, la conservación de la biodiversidad y la mitigación del cambio climático.

Aplicación: El uso de hormigón permeable debe alinearse con las disposiciones del COA sobre la gestión sostenible del agua y la infraestructura verde.

**Normas INEN (Instituto Ecuatoriano de Normalización):**

Descripción: Las normas INEN proporcionan especificaciones técnicas y estándares de calidad para materiales y procesos de construcción en Ecuador.

Aplicación: Es fundamental que el hormigón permeable cumpla con las normas INEN pertinentes para asegurar su durabilidad, seguridad y eficacia.

### **2.33 Normativa Regional y Local**

**Ordenanzas Municipales de Guayaquil:**

Descripción: El municipio de Guayaquil tiene ordenanzas específicas que regulan la construcción, el urbanismo y la gestión de aguas pluviales en la ciudad.

Aplicación: El proyecto debe obtener los permisos necesarios del municipio y cumplir con las regulaciones locales sobre la gestión de aguas pluviales y el uso de pavimentos permeables.

**Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial (PDOT):**

Descripción: El PDOT de Guayaquil establece las directrices para el desarrollo urbano y la gestión ambiental en la ciudad.

Aplicación: La implementación del hormigón permeable debe estar alineada con las estrategias y objetivos del PDOT para la sostenibilidad urbana y la mitigación de riesgos ambientales.

**Reglamento de Construcciones del Municipio de Guayaquil:**

Descripción: Este reglamento establece las normativas técnicas y de seguridad para las construcciones en la ciudad.

Aplicación: El diseño y la instalación del hormigón permeable deben cumplir con los requisitos técnicos y de seguridad especificados en el reglamento.

## **2.34 Normativa Internacional (Referencial)**

### **Directivas Europeas sobre Gestión de Aguas Pluviales:**

Descripción: Las directivas de la Unión Europea sobre gestión de aguas pluviales y la infraestructura verde proporcionan estándares y mejores prácticas para la implementación de soluciones sostenibles.

Aplicación: Aunque no son de cumplimiento obligatorio, estas directivas pueden servir como referencia para asegurar que el proyecto siga las mejores prácticas internacionales en gestión de aguas pluviales.

### **LEED (Leadership in Energy and Environmental Design):**

Descripción: LEED es un sistema de certificación de edificios sostenibles que establece criterios para la eficiencia energética, el uso sostenible de recursos y la gestión de aguas pluviales.

Aplicación: Adoptar principios y criterios LEED puede ayudar a maximizar los beneficios ambientales y de sostenibilidad del proyecto.

## **2.35 Casos de estudio internacionales**

En Portland, EE. UU., el programa Green Streets ha integrado pavimentos permeables en más de 200 intersecciones urbanas, logrando una disminución del 50% en las inundaciones locales.

En Tokio, Japón, se ha utilizado hormigón permeable junto con sistemas de almacenamiento subterráneos, mejorando la capacidad de infiltración y recarga de acuíferos urbanos.

## **2.36 Justificación Teórica**

El hormigón permeable se fundamenta en los principios estructurales y de materiales de la ingeniería civil. Su diseño y composición permiten lograr una estructura resistente y, al mismo tiempo, porosa, lo que facilita la infiltración del agua pluvial.

La implementación del prototipo de hormigón permeable para la avenida 39 se fundamenta en la necesidad de mitigar las inundaciones recurrentes en el sector, mediante un enfoque sostenible y técnicamente viable. La revisión de estudios previos respalda la capacidad del material para:

- Facilitar la infiltración de agua y reducir escorrentías.
- Aliviar la carga del sistema de alcantarillado en eventos de lluvia intensa.
- Mejorar la durabilidad de la infraestructura vial en climas tropicales.
- Además, la legislación ecuatoriana y los casos internacionales demuestran la viabilidad de esta solución en contextos urbanos similares, reforzando la pertinencia del proyecto.

### **2.37 Propiedades Mecánicas**

La resistencia del hormigón permeable es menor que la del hormigón convencional, pero suficiente para su aplicación en pavimentos de tráfico ligero y moderado.

La adecuada selección de agregados y la proporción cemento/agua permiten optimizar la resistencia sin comprometer la permeabilidad.

Estudios han demostrado que, con un mantenimiento adecuado, el hormigón permeable tiene una vida útil prolongada.

### **2.38 Capacidad de Permeabilidad**

Su diseño genera una red interconectada de poros que permite el paso del agua, reduciendo la acumulación superficial y facilitando su absorción en el subsuelo.

Dependiendo del diseño de la mezcla, la permeabilidad puede alcanzar entre **2 mm/s y 5 mm/s**, permitiendo que grandes volúmenes de agua se filtren en cuestión de minutos.

### **2.39 Justificación Hidráulica y Ambiental**

Desde el punto de vista hidráulico, el hormigón permeable favorece el **ciclo hidrológico urbano**, evitando problemas de escorrentía y sobrecarga en sistemas de drenaje pluvial.

### **2.40 Reducción del Riesgo de Inundaciones**

Al permitir la infiltración del agua, disminuye el volumen de escorrentía superficial y reduce la carga en los sistemas de drenaje urbano.

Su aplicación en zonas propensas a inundaciones puede evitar encharcamientos y erosión del suelo.

## **2.41 Recarga de Acuíferos**

En entornos urbanos, la impermeabilización del suelo impide que el agua alcance los acuíferos subterráneos.

El hormigón permeable permite que el agua de lluvia se filtre y recargue las capas freáticas, promoviendo el equilibrio ecológico del subsuelo.

## **2.42 Reducción del Efecto Isla de Calor**

Las superficies tradicionales de asfalto y hormigón convencional absorben calor y elevan la temperatura urbana.

El hormigón permeable, debido a su estructura porosa, retiene menos calor y permite la evaporación del agua, ayudando a mitigar el efecto isla de calor urbano.

## **2.43 Enfoque Sostenible y Cambio Climático**

La construcción sostenible busca minimizar el impacto ambiental de los materiales de construcción. El hormigón permeable es una solución **ecoeficiente** que contribuye a la resiliencia urbana.

## **2.44 Material Sostenible y Reducción de Contaminación**

Se pueden utilizar agregados reciclados en su fabricación, reduciendo el impacto ambiental.

Disminuye la contaminación del agua, ya que filtra contaminantes y evita la acumulación de sustancias tóxicas en las calles.

## **2.45 Adaptabilidad al Cambio Climático**

Con el aumento de lluvias intensas debido al cambio climático, la implementación de pavimentos permeables es clave para evitar desastres urbanos.

Ciudades como Tokio, Londres y Portland han integrado el hormigón permeable en su planificación urbana para prevenir inundaciones.

#### **2.46 Justificación Económica y de Infraestructura**

Desde el punto de vista económico y de infraestructura, el hormigón permeable representa una **inversión a largo plazo** con beneficios en la reducción de costos de mantenimiento y reparación de daños por inundaciones.

#### **2.47 Reducción de Costos de Mantenimiento Urbano**

Menos daños en infraestructuras viales debido a inundaciones.

Menos gastos en limpieza y desazolve de alcantarillado.

Disminución de costos por reparación de pavimentos deteriorados por acumulación de agua.

#### **2.48 Aplicaciones en la Infraestructura Urbana**

El hormigón permeable se puede implementar en:

- Pavimentos de calles y avenidas.
- Estacionamientos.
- Plazas y parques.
- Aceras y ciclovías.

#### **2.49 Fundamentación en Estudios y Normativas**

El uso del hormigón permeable está respaldado por estudios científicos y normativas internacionales que validan su efectividad en la gestión del agua pluvial y la sostenibilidad urbana.

## 2.50 Normativas Internacionales

**ASTM C1701** – Método estándar para determinar la permeabilidad de pavimentos de concreto permeable.

**ACI 522R** – Código del Instituto Americano del Concreto sobre pavimentos permeables.

**EPA (Environmental Protection Agency)** – Recomienda su uso como estrategia de desarrollo sostenible.

## 2.51 Estudios de Caso

- En **Portland (EE.UU.)**, se han reducido inundaciones en zonas críticas con la implementación de hormigón permeable.
- En **Japón**, se ha incorporado en parques y aceras para mitigar el impacto de las lluvias torrenciales

## **CAPÍTULO III**

### **MARCO METODOLÓGICO**

#### **3.1 Enfoque de la investigación: (cuantitativo, cualitativo o mixto)**

El presente estudio se enmarca dentro de un enfoque cuantitativo y experimental, dado que busca analizar el comportamiento del hormigón permeable en condiciones reales para evaluar su eficacia en la reducción de inundaciones en la Avenida 39, sector norte de Guayaquil.

Desde el punto de vista metodológico, la investigación se basará en la recopilación de datos medibles sobre la capacidad de drenaje del hormigón permeable, su resistencia mecánica y su impacto en la gestión del agua pluvial. Para ello, se llevará a cabo la construcción e implementación de un prototipo a escala, seguido de pruebas de permeabilidad, resistencia y comportamiento estructural.

Además, se aplicará un enfoque aplicado, ya que la finalidad del estudio es proporcionar una solución práctica y viable a una problemática urbana específica. La investigación también tendrá un componente descriptivo y explicativo, pues busca caracterizar las causas de las inundaciones en el sector, así como demostrar la funcionalidad del hormigón permeable como alternativa para la mejora del drenaje urbano.

Con este enfoque, el estudio no solo contribuirá al conocimiento técnico sobre el uso del hormigón permeable en zonas urbanas, sino que también servirá como base para futuras aplicaciones en otras áreas de Guayaquil con problemas similares de acumulación de agua pluvial.

#### **3.2 Alcance de la investigación: (Exploratorio, descriptivo o correlacional)**

El presente estudio se enfocará en la implementación y evaluación de un prototipo de hormigón permeable como una alternativa para mitigar las inundaciones en la Avenida 39, sector norte de Guayaquil. La investigación abarcará tanto el diseño y fabricación del material como su desempeño en condiciones reales.

### **3.2.1 El alcance de esta investigación incluirá:**

**Diagnóstico del problema:** Identificación de las causas principales de la acumulación de agua en la Avenida 39 mediante observaciones de campo y análisis de factores como la topografía, el tipo de suelo y la infraestructura de drenaje existente.

**Diseño y construcción del prototipo:** Desarrollo de una mezcla de hormigón permeable con propiedades óptimas de resistencia y permeabilidad, adecuada para soportar el tránsito urbano.

**Pruebas experimentales:** Evaluación del comportamiento del material mediante ensayos de permeabilidad, resistencia mecánica y durabilidad, con el fin de determinar su viabilidad técnica.

**Análisis de impacto:** Comparación de los resultados obtenidos con los sistemas de pavimentación convencional en términos de manejo de agua pluvial y reducción del riesgo de inundaciones.

El estudio se limitará a una escala experimental dentro de un área específica de la Avenida 39, sin abordar la implementación a gran escala en otras zonas de la ciudad. Sin embargo, los resultados obtenidos servirán como referencia para futuras investigaciones y posibles aplicaciones en el ámbito urbano de Guayaquil.

## **3.3 Técnica e instrumentos para obtener los datos**

Para garantizar un análisis preciso sobre la efectividad del hormigón permeable en la mitigación de inundaciones, esta investigación empleará un enfoque **cuantitativo y experimental**, utilizando diversas técnicas e instrumentos de recolección de datos.

### **3.3.1 Técnicas de recolección de datos**

#### **Observación de campo**

Se realizará un reconocimiento de la Avenida 39, sector norte de Guayaquil, para identificar las zonas más afectadas por acumulación de agua.

Se registrarán aspectos como la pendiente del terreno, la infraestructura de drenaje y las condiciones del pavimento existente.

## **Ensayos de laboratorio**

Se llevarán a cabo pruebas de caracterización del hormigón permeable, enfocadas en su permeabilidad, resistencia mecánica y durabilidad.

Se realizarán mediciones previas y posteriores a la implementación del prototipo para evaluar su desempeño.

## **Pruebas experimentales en campo**

Se instalará un prototipo en un área determinada para medir su capacidad de drenaje en condiciones reales.

Se analizará la eficiencia del material mediante pruebas de infiltración de agua y comparación con pavimentos convencionales.

### **3.3.2 Instrumentos de recolección de datos**

**Cámaras fotográficas y drones:** Para documentar el estado inicial y final de la zona intervenida.

**Pluviómetro:** Para medir la cantidad de precipitación en la zona y relacionarla con la capacidad de absorción del hormigón permeable.

**Penetrómetro de cono:** Para evaluar la compactación del suelo y su influencia en el comportamiento del agua.

**Permeámetro de carga constante:** Para determinar la velocidad de infiltración del agua en el hormigón permeable.

**Máquina de compresión:** Para medir la resistencia mecánica del material y su capacidad para soportar cargas vehiculares.

**Software de modelado y análisis (como AutoCAD o Civil 3D):** Para la representación gráfica del área de estudio y simulaciones de flujo de agua.

La combinación de estas técnicas e instrumentos permitirá recopilar datos fiables que sustenten la viabilidad del hormigón permeable como solución efectiva para reducir inundaciones en la Avenida 39.

### **3.4 Población y muestra**

La población de estudio estará compuesta por el sector de la Avenida 39, específicamente las áreas donde se presentan mayores problemas de acumulación de agua. Se incluirán calles, intersecciones y espacios urbanos representativos de la problemática.

Para la selección de la muestra, se utilizará un muestreo por conveniencia, delimitando un área específica dentro del sector para la instalación del prototipo de hormigón permeable. Esta muestra será seleccionada con base en criterios técnicos como la topografía del terreno, la intensidad de las inundaciones registradas y la accesibilidad para la implementación del experimento.

Además, se considerará la planificación urbana y gestión del agua pluvial, quienes aportarán información clave sobre el impacto del material en el entorno urbano. La muestra también incluirá registros históricos de precipitaciones y reportes de emergencias urbanas asociadas a inundaciones en la zona.

El análisis de la muestra permitirá evaluar de manera precisa el rendimiento del hormigón permeable en un contexto real, proporcionando resultados aplicables a futuras intervenciones en Guayaquil y otras ciudades con problemas similares.

La determinación de la población deberá estar ajustada al objeto de estudio, y determinar el tipo de muestreo representativo.

En la investigación cualitativa el muestreo responde a diversas opciones que permitan analizar y profundizar en los sujetos, situaciones o documentos de estudio, sin que ello implique ninguna pérdida de rigurosidad científica.

### 3.4.1 Tipos de Muestra en investigación cualitativa

- Muestreo de casos extremos: Se seleccionan áreas con problemas críticos de inundación.
- Muestreo de casos típicos: Se elige un sector representativo de la avenida para evaluar condiciones generales.
- Muestreo teórico: Se escoge la muestra en función de criterios que permitan contrastar con teorías previas sobre drenaje urbano y pavimentación permeable.
- Muestreo de conveniencia: Se selecciona un tramo accesible para la implementación y medición del prototipo.
- Muestreo por cuotas: Se establecen segmentos de estudio con base en factores como tipo de suelo, infraestructura y nivel de afectación por inundaciones.

Estos métodos permitirán obtener datos significativos y representativos sobre la efectividad del hormigón permeable en la mitigación de inundaciones urbanas.

## **CAPÍTULO IV**

### **PROPUESTA O INFORME**

#### **4.1 Propuesta de solución**

En función de los resultados obtenidos, se presenta la siguiente propuesta para la implementación del hormigón permeable como medida de mitigación de inundaciones en la Avenida 39:

##### **4.1.1 Diseño e implementación del sistema de hormigón permeable**

Desarrollar un sistema de pavimentación con hormigón permeable en zonas estratégicas identificadas en el estudio de campo.

Diseñar una mezcla óptima con propiedades mecánicas y de drenaje adecuadas.

Establecer criterios de mantenimiento para garantizar su efectividad a largo plazo.

##### **4.1.2 Integración con el sistema de drenaje pluvial**

Incorporar el pavimento permeable como complemento a la infraestructura de drenaje existente.

Implementar reservorios subterráneos para almacenar y redistribuir el agua de lluvia.

Evaluar la factibilidad de replicar este sistema en otras zonas con problemas de inundación.

### 4.1.3 Evaluación y seguimiento del desempeño

Realizar monitoreos periódicos para medir la capacidad de infiltración y la resistencia estructural.

Comparar el comportamiento del hormigón permeable en diferentes condiciones climáticas.

Documentar los beneficios obtenidos para futuras mejoras en el diseño e implementación.

Esta propuesta tiene como objetivo mejorar la gestión del agua pluvial en la Avenida 39, reduciendo el riesgo de inundaciones y promoviendo soluciones sostenibles para la infraestructura urbana.

## 4.2 Presentación y análisis de resultados

### 4.2.1 Materiales para la elaboración del hormigón permeable

Tabla 10  
Presentación de materiales y uso

<b>Materiales</b>	<b>Uso</b>
Tubo Policloruro de vinilo (“4”)	Empleado para el sistema de filtración de agua.
Tornillos	Usado para fijar los moldes de madera.
Madera de Plywood	Utilizado para construcción de moldes.
Arena	Necesario para la creación de concreto.
Cemento Tipo GU – Cemento de uso general	Mezcla de materiales para la cohesión de hormigón.
Grava ¾	Proporcionar resistencia y volumen.
Agua	Esencial para la mezcla de concreto.
Carretilla	Trasporte y realización de la mezcla.
Baldes	Usado para transportar los diferentes tipos de materiales ya pesados.
Balanza	Utilizado para el peso de las diferentes cantidades.
Pala	Trasporte y desplazamiento de los diferentes materiales.

Nota: Ensayo para la elaboración del hormigón permeable  
Elaborado por: Castro y Suarez (2024)

## 4.2.2 Dosificaciones de los materiales

Tabla 11

Designación de proporciones para los diferentes tipos de prueba

<b>Dosificaciones para el prototipo de Hormigón Permeable.</b>					
<b>Relación G/A</b>		<b>Cemento (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Arena (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Grava (m<sup>3</sup>)<sup>3/4</sup></b>	<b>Agua (L)</b>
100% - 0%	Prueba #1	0,002	0	0,01389	1.9
90% - 10%	Prueba #2	0,002	0,001523	0,0125	1.7
85% - 15%	Prueba #3	0,002	0,002284	0,0118	1.7
80% - 20%	Prueba #4	0,002	0,00304	0,0111	1.6

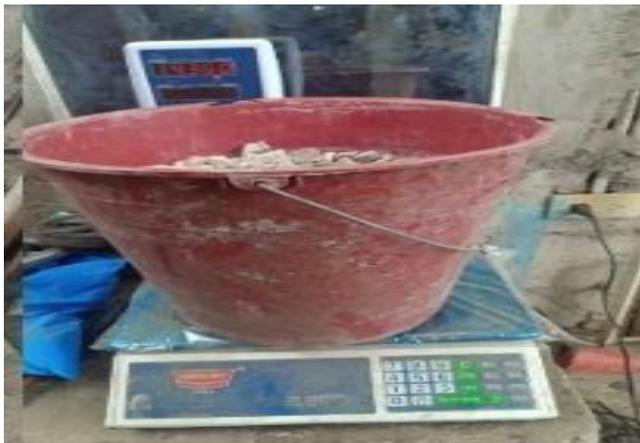
Nota: Resultados de las dosificaciones para el prototipo del hormigón permeable

Elaborado por: Castro y Suarez (2024)

## 4.3 Desarrollo del trabajo práctico experimental

Figura 6

Peso de las diferentes cantidades



Elaborado por: Castro y Suarez (2024)

Medición de las diferentes cantidades de agregado para la preparación del hormigón permeable.

Figura 7  
Colocación de mezcla en los diferentes encofrados



Elaborado por: Castro y Suarez (2024)

Se realiza la colocación de las diferentes concentraciones en los respectivos moldes de prueba. Se compacta la mezcla para evitar que formen vacíos los cuales afectan su resistencia.

Figura 8  
Compactación de la mezcla



Elaborado por: Castro y Suarez (2024)

Figura 9  
Curado y Reposo del hormigón permeable



Elaborado por: Castro y Suarez (2024)

Muestras de hormigón puesta en las respectivas mezclas: (M1) en el cual la proporción G/A es 100% - 0%, (M2): 90% - 10%, (M3): 85% - 15%, (M4): 80% - 20%.

#### 4.4 Análisis de resultados de prueba de filtración en el hormigón permeable

Con el objetivo de evaluar la capacidad de filtración del hormigón permeable en función de las diferentes dosificaciones empleadas, se llevó a cabo un ensayo experimental.

En este ensayo se vertió una cantidad de 2 litros de agua sobre cada una de las placas elaboradas. A través de este procedimiento se determinó el tiempo de filtración de cada

mezcla, de esta manera, fue posible establecer cuál de las cuatro muestras presenta un mejor rendimiento en términos de capacidad de filtración.

Figura 10

En la muestra N°:1 en base a G/A: 100% Grava - 0% Arena



Elaborado por: Castro y Suarez (2024)

En la primera placa de hormigón permeable elaborada sin arena y con un 100% de grava se observó una filtración completa del agua en un tiempo de 24 segundos, este resultado preliminar se considera favorable, ya que; evidencia una alta capacidad de filtración del hormigón.

En el caso de una mezcla de hormigón permeable compuesta únicamente por grava (100% grava), se plantea la posibilidad de aumentar la proporción de cemento para mejorar la resistencia y adherencia entre los elementos del hormigón.

Figura 11

En la muestra N°:2 en base a G/A: 90% Grava - 10% Arena



Elaborado por: Castro y Suarez (2024)

En la segunda placa de hormigón permeable elaborada con una dosificación de 90% de grava y 10% de arena se registró una filtración completa del agua en un tiempo de 11 segundos.

Este resultado representa el menor tiempo de filtración entre las muestras evaluadas, lo que denota una alta capacidad de infiltración; la incorporación de un pequeño porcentaje de arena en la mezcla parece haber contribuido favorablemente a este desempeño.

Para optimizar la capacidad de filtración del agua en el hormigón permeable, se recomienda incorporar un pequeño porcentaje de arena en la mezcla, la presencia de arena fina mejora la compactación del material, lo que a su vez genera una estructura más densa y uniforme con poros de tamaño adecuado para permitir el flujo eficiente del agua. Además, la arena contribuye a mejorar la adherencia entre los áridos, lo que aumenta la resistencia y durabilidad del hormigón permeable.

Figura 12

En la muestra N°:3 en base a G/A: 85% - 15% Arena



Elaborado por: Castro y Suarez (2024)

En la tercera placa de hormigón permeable elaborada con una dosificación de 85% de grava y 15% de arena, se registró una filtración completa del agua en un tiempo de 64 segundos (1 minuto y 4 segundos).

Los resultados obtenidos evidencian una disminución en la capacidad de drenaje en comparación con la placa de hormigón evaluada previamente. Esta observación se atribuye a una reducción de la permeabilidad del hormigón, la cual se ve afectada por la inadecuada cantidad de arena empleada en la mezcla.

No obstante, la mezcla actual presenta una permeabilidad menor a la de las mezclas anteriores, sin observar una anulación total de la capacidad de filtración, sin embargo, esta eficiencia de filtración reducida debe ser considerada en el diseño y aplicación del hormigón, tomando en cuenta las condiciones específicas de uso previstas.

Figura 13

En la muestra N°:4 en base a G/A: 80% - 20% Arena



Elaborado por: Castro y Suarez (2024)

En la cuarta placa de hormigón permeable elaborada con una dosificación de 80% de grava y 20% de arena, se registró una filtración completa del agua en un tiempo de 137 segundos (2 minutos y 17 segundos).

Este resultado asegura la tendencia observada en las placas anteriores, evidenciando una disminución progresiva en la capacidad de filtración a medida que aumenta la proporción de arena en la mezcla. Esta reducción en la permeabilidad se atribuye a la menor cantidad de espacios vacíos o poros generados por la presencia de arena fina, lo que limita el flujo del agua a través del material.

## Resultados finales de la prueba de filtración

Como resultados de las pruebas realizadas a las placas de hormigón permeable con diferentes relaciones de grava/arena, se puede observar que el tiempo de filtración aumenta significativamente a medida que aumenta la proporción de arena en la mezcla. Esto se debe a que la arena ocupa un volumen mayor que la grava, lo que reduce la cantidad de poros disponibles para que el agua fluya a través del material.

Tabla 12  
Resultados de prueba de filtración

<b>Resultados de la prueba de filtración de las cuatro muestras</b>		
<b>Numero de prueba</b>	<b>Relación G/A</b>	<b>Tiempo de filtración</b>
Prueba #1	100% - 0%	24 segundos
Prueba #2	90% - 10%	11 segundos
Prueba #3	85% - 15%	64 segundos
Prueba #4	80% - 20%	137 segundos

Elaborado por: Castro y Suarez (2024)

## 4.5 Propuesta

### 4.5.1 Diagnóstico del Problema

La avenida 39 en el sector norte de Guayaquil se ha convertido en una zona crítica durante las temporadas de lluvia debido a la deficiente infraestructura de drenaje pluvial, la falta de mantenimiento en las rejillas y sumideros, y la alta impermeabilidad del pavimento asfáltico. Como resultado, la escorrentía superficial se acumula rápidamente, generando inundaciones que interrumpen el tránsito, afectan comercios, viviendas y ponen en riesgo la salud pública.

La zona presenta una vulnerabilidad creciente ante el cambio climático, con un incremento en la intensidad de lluvias. Las estimaciones sugieren que las precipitaciones podrían aumentar un 30% en los próximos 10 años, exacerbando los problemas de drenaje.

### 4.5.2 Revisión de Experiencias Exitosas

A nivel internacional, el uso de pavimentos permeables ha demostrado ser eficaz para el manejo de aguas pluviales urbanas. Ciudades como Portland (EE.UU.), Tokio (Japón) y Curitiba (Brasil) han adoptado tecnologías de pavimentación permeable para reducir la escorrentía, mejorar la infiltración y evitar inundaciones.

En Ecuador, existen experiencias piloto en Cuenca y Quito que validan su aplicabilidad en contextos urbanos con alta pluviosidad. En estas ciudades, el impacto en la reducción de inundaciones ha sido positivo, especialmente en áreas de alta densidad vehicular y viviendas vulnerables a desbordamientos.

#### **4.5.3 Justificación y Objetivos**

El uso de un pavimento permeable se justifica por su capacidad de mitigar los efectos de las lluvias intensas, facilitar el manejo del agua y contribuir al desarrollo urbano sostenible.

Esta propuesta responde al objetivo general de diseñar e implementar un prototipo funcional adaptado a las condiciones del sector norte de Guayaquil.

Objetivos específicos:

#### **Evaluar las condiciones hidráulicas y geotécnicas del sitio de intervención:**

La evaluación de las condiciones hidráulicas y geotécnicas del sitio de intervención constituye una etapa fundamental en el diseño e implementación de soluciones de infraestructura, especialmente aquellas orientadas a la gestión del agua, como en el caso de sistemas de pavimento permeable. Este análisis permite comprender el comportamiento del agua en superficie y en el subsuelo, así como las características físicas y mecánicas del terreno, lo cual es esencial para garantizar la viabilidad técnica y funcional del proyecto.

Desde el punto de vista hidráulico, se analiza el régimen de lluvias, la capacidad de drenaje del área, el comportamiento del escurrimiento superficial, la presencia de zonas inundables y el nivel freático. Esta información permite identificar los factores que contribuyen a la acumulación de agua y evaluar la efectividad de soluciones basadas en la infiltración.

Por otro lado, el análisis geotécnico se enfoca en estudiar las propiedades del suelo mediante exploraciones in situ y ensayos de laboratorio. Se evalúan aspectos como la textura del suelo, su granulometría, la permeabilidad, la capacidad portante, el contenido de humedad y la estabilidad general del terreno. Estos datos permiten determinar si el suelo es adecuado para permitir la infiltración del agua de lluvia y soportar la estructura del pavimento permeable sin comprometer su integridad.

En conjunto, estas evaluaciones proporcionan una base sólida para tomar decisiones informadas sobre el diseño, ubicación y viabilidad de las soluciones

hidráulicas sostenibles, permitiendo adaptar la propuesta a las condiciones reales del entorno y optimizar su funcionamiento a largo plazo.

### **Diseñar el prototipo con criterios de eficiencia estructural e hidráulica:**

El diseño de un prototipo con criterios de eficiencia estructural e hidráulica implica la integración de principios de ingeniería que garanticen tanto la resistencia mecánica del sistema como su capacidad para gestionar eficazmente el agua de escorrentía. Este enfoque dual permite que el prototipo cumpla con funciones estructurales —como soportar cargas vehiculares o peatonales— al mismo tiempo que facilita la infiltración del agua de lluvia hacia el subsuelo, reduciendo el riesgo de inundaciones.

Desde la perspectiva estructural, el diseño debe considerar aspectos como la capacidad portante del pavimento permeable, la resistencia de los materiales utilizados (hormigón permeable, base granular estabilizada, subbase filtrante, etc.), el espesor de cada capa, y las condiciones de carga a las que estará sometido. Se aplican criterios normativos y de diseño estructural que aseguren la durabilidad del sistema y su comportamiento ante esfuerzos repetitivos.

En el componente hidráulico, el diseño busca maximizar la eficiencia de infiltración del agua a través del sistema. Para ello, se considera el coeficiente de permeabilidad del hormigón y del suelo, la pendiente superficial, la capacidad de almacenamiento temporal dentro del sistema (porosidad) y la velocidad de drenaje hacia las capas inferiores. También se analiza la interacción con el nivel freático y se evalúa la posibilidad de incorporar drenes o cámaras de retención si el suelo es poco permeable.

La eficiencia en ambos ámbitos se logra al seleccionar adecuadamente los materiales, calcular correctamente las dimensiones de cada componente y prever mecanismos de mantenimiento que aseguren la funcionalidad del prototipo en el tiempo. Este enfoque integral garantiza una solución sostenible y funcional para el control de inundaciones urbanas mediante tecnologías permeables.

### **Simular el comportamiento del pavimento ante eventos de lluvia:**

La simulación del comportamiento del pavimento ante eventos de lluvia es una herramienta clave para predecir y analizar la eficiencia hidráulica del sistema propuesto bajo condiciones climáticas reales o extremas. A través de esta simulación, se puede

evaluar la capacidad del pavimento permeable para infiltrar, almacenar y evacuar el agua de escorrentía, así como su respuesta ante precipitaciones intensas o prolongadas.

Este proceso se lleva a cabo mediante el uso de modelos hidrológicos y herramientas computacionales, como HEC-HMS, SWMM (Storm Water Management Model), o software especializado en diseño de pavimentos permeables. Estos modelos permiten reproducir virtualmente las condiciones del sitio, considerando variables como la intensidad y duración de la lluvia, la pendiente del terreno, la textura del suelo, el nivel freático, la capacidad de almacenamiento del sistema y el coeficiente de infiltración.

Además, se analiza el rendimiento hidráulico del sistema en diferentes escenarios de lluvia, lo cual permite validar el diseño propuesto o hacer ajustes en sus dimensiones y materiales. Se pueden comparar situaciones con y sin pavimento permeable para demostrar su eficacia en la reducción del volumen de escorrentía, la disminución del tiempo de concentración del agua, y el alivio del sistema de drenaje pluvial convencional.

De manera complementaria, la simulación también permite identificar puntos críticos donde podría haber saturación o encharcamiento, facilitando la implementación de medidas correctivas como drenes adicionales, pozos de absorción o ajustes en el espesor de las capas filtrantes. En resumen, esta etapa es esencial para garantizar el funcionamiento eficiente, seguro y sostenible del prototipo de pavimento bajo condiciones reales de lluvia.

### **Establecer lineamientos para la replicación del sistema:**

Establecer lineamientos para la replicación del sistema implica definir una serie de criterios técnicos, constructivos y operativos que permitan implementar el prototipo de pavimento permeable en otros sectores con condiciones similares. Esta etapa busca garantizar la escalabilidad y adaptabilidad del sistema, promoviendo su aplicación como una solución sostenible y eficiente en la gestión de aguas pluviales urbanas.

Los lineamientos consideran tanto aspectos técnicos como contextuales. En el ámbito técnico, se detallan las especificaciones mínimas del diseño estructural e hidráulico del pavimento permeable, incluyendo tipos de materiales, espesores de capas, pendientes recomendadas, requerimientos de permeabilidad del suelo base, y niveles aceptables del manto freático. También se incluyen directrices para el dimensionamiento según el régimen pluviométrico de la zona.

Asimismo, se establecen parámetros para la evaluación previa del terreno, como estudios geotécnicos e hidrológicos, que garanticen que el sitio es apto para este tipo de

infraestructura. En contextos donde los suelos son arcillosos o el nivel freático es elevado, se recomiendan alternativas o soluciones complementarias como drenes subterráneos, sistemas de retención o filtros geotextiles.

Desde el punto de vista constructivo, se definen prácticas estandarizadas para la ejecución del sistema, que aseguren la calidad y durabilidad de la obra. Esto incluye procedimientos para el manejo de materiales, la compactación de capas, el control de calidad y los tiempos adecuados de fraguado del hormigón.

Por último, se plantean recomendaciones para el mantenimiento periódico y la educación comunitaria, con el fin de preservar el correcto funcionamiento del sistema y fomentar su aceptación social. De esta manera, los lineamientos propuestos permiten replicar la intervención con eficiencia, reduciendo los riesgos de fallos y optimizando los beneficios ambientales y urbanos.

#### **4.5.4 Diseño Técnico del Prototipo**

El prototipo contempla las siguientes capas:

##### **Subrasante natural compactada al 95% Proctor:**

La subrasante natural compactada al 95% Proctor constituye la capa inferior del sistema de pavimentación, formada por el suelo original del terreno que ha sido tratado y compactado para alcanzar una densidad adecuada que asegure su estabilidad y capacidad de soporte. Esta compactación al 95% del Proctor Modificado según la norma ASTM D1557 garantiza que el suelo se encuentra en condiciones óptimas para recibir las cargas transmitidas por las capas superiores del pavimento, sin sufrir deformaciones excesivas o asentamientos diferenciales.

El ensayo Proctor es un procedimiento de laboratorio que determina la relación entre el contenido de humedad del suelo y su densidad máxima posible bajo una energía de compactación específica. Al compactar la subrasante al 95% de esta densidad máxima, se asegura un equilibrio entre resistencia y permeabilidad, evitando una compactación excesiva que limite la infiltración de agua en sistemas permeables.

Una subrasante bien compactada cumple varias funciones clave:

- ❖ Proporciona un soporte estructural estable para las capas superiores (subbase, base y losas de hormigón).
- ❖ Minimiza la presencia de huecos o bolsas de aire que podrían provocar asentamientos.

- ❖ Reduce el riesgo de falla estructural prematura del pavimento.
- ❖ Permite una infiltración controlada en sistemas de pavimento permeable, siempre que el suelo tenga la permeabilidad adecuada.

En el caso del diseño de pavimentos permeables, la evaluación de la subrasante incluye ensayos de permeabilidad, clasificación del suelo (SUCS o AASHTO), y determinación del contenido de humedad óptima. Si el suelo no cumple con los requisitos mínimos de infiltración o estabilidad, se recomienda mejorar la subrasante con materiales granulados o incorporar capas drenantes.

### **Sub-base granular de 15 cm de espesor:**

La sub-base granular de 15 cm de espesor es una capa intermedia dentro del sistema estructural del pavimento, ubicada sobre la subrasante compactada y por debajo de la base o del pavimento permeable. Esta capa cumple funciones estructurales e hidráulicas, siendo esencial para distribuir cargas, mejorar la capacidad portante del terreno y facilitar el drenaje del agua infiltrada a través del sistema.

Desde el punto de vista estructural, la sub-base actúa como una capa de transición que distribuye las cargas vehiculares hacia la subrasante, evitando deformaciones y asentamientos diferenciales. Debe estar compuesta por materiales granulares seleccionados, como grava o piedra triturada, con buena graduación y resistencia al desgaste, para garantizar su estabilidad bajo cargas repetidas.

En cuanto a su función hidráulica, en sistemas de pavimento permeable, la sub-base también permite el almacenamiento temporal del agua de escorrentía que se infiltra a través de las capas superiores, gracias a su alta porosidad. Esta capacidad de almacenamiento ayuda a controlar el flujo superficial, reducir el volumen de escorrentía y promover la recarga del acuífero. En algunos diseños, se utiliza una sub-base de tipo drenante o con material de granulometría abierta para maximizar esta función.

El espesor de 15 cm es determinado en función de las condiciones de carga del proyecto, el tipo de suelo subyacente, la capacidad de infiltración requerida y las normativas técnicas aplicables. La correcta compactación y nivelación de esta capa es fundamental para asegurar la durabilidad y funcionalidad del pavimento permeable.

### **Capa filtrante de grava triturada de 20 mm:**

La capa filtrante de grava triturada de 20 mm se encuentra ubicada directamente sobre la sub-base y debajo de la losa de hormigón permeable, desempeñando un papel fundamental en el sistema de drenaje y en la mejora de la capacidad de infiltración del pavimento. Esta capa está diseñada para actuar como un filtro, facilitando la separación de partículas finas del agua que se infiltra a través del pavimento, lo que previene el taponamiento de los poros y asegura la funcionalidad a largo plazo del sistema.

Desde el punto de vista hidráulico, la capa filtrante de grava tiene una gran permeabilidad, permitiendo el paso rápido de agua a través de los espacios intersticiales entre los granos de grava. Esta acción mejora la eficiencia del drenaje y contribuye a una rápida evacuación del agua, evitando la acumulación de agua superficial y reduciendo el riesgo de inundaciones. El uso de grava triturada, que tiene bordes angulares, mejora la interconexión entre las partículas, proporcionando una estructura estable y duradera.

En cuanto a la granulometría de la grava, la elección de un diámetro de 20 mm es crítica para proporcionar el equilibrio adecuado entre permeabilidad y filtración. Los granos de 20 mm permiten que el agua fluya sin dificultad, pero a la vez actúan como un filtro eficaz que impide que partículas finas, como arcilla o limo, ingresen al sistema de drenaje o a las capas inferiores. Además, este tamaño asegura que la capa no se obstruya fácilmente con el tiempo.

Es importante destacar que la compactación de esta capa debe ser moderada, para garantizar que conserve su capacidad de filtración sin comprometer la estabilidad estructural. Una capa filtrante bien diseñada prolonga la vida útil del pavimento permeable, manteniendo su capacidad de drenaje eficiente a lo largo del tiempo.

### **Capa de rodadura de hormigón permeable de 15 cm:**

La capa de rodadura de hormigón permeable de 15 cm constituye la capa superior del sistema de pavimento permeable y es la que entra en contacto directo con las cargas vehiculares y peatonales. Esta capa no solo proporciona una superficie funcional y resistente para el tránsito, sino que también juega un papel crucial en la gestión del agua de escorrentía, permitiendo que el agua de lluvia se infiltre a través de ella y llegue al subsuelo, contribuyendo a la reducción de inundaciones urbanas.

El hormigón permeable es un material especialmente diseñado con una estructura porosa, que permite el paso del agua sin comprometer la resistencia necesaria para

soportar el tráfico. Su composición incluye una mezcla de cemento, agua, agregados gruesos (como grava de mayor tamaño) y aditivos que permiten crear vacíos en el material, asegurando su alta permeabilidad.

El espesor de 15 cm de la capa de rodadura es elegido para equilibrar la capacidad estructural y la capacidad de infiltración. Este grosor es suficiente para soportar las cargas de tráfico pesado sin sufrir deformaciones, mientras que permite una infiltración adecuada del agua hacia las capas inferiores del sistema. Además, el espesor debe garantizar la durabilidad de la capa ante el desgaste provocado por el tránsito continuo, especialmente en zonas con un alto volumen vehicular.

Desde el punto de vista estructural, el hormigón permeable debe ser diseñado con un índice de porosidad adecuado, que permita una infiltración eficiente sin perder la integridad mecánica. Esto se logra utilizando una mezcla de agregados gruesos de tamaños uniformes y ajustando el contenido de agua para evitar la compactación excesiva del material.

En términos hidráulicos, esta capa es esencial para el desempeño del sistema de pavimento permeable, ya que permite que el agua de lluvia se infiltre rápidamente y sin obstrucción hacia las capas de filtrado y drenaje debajo. Esto no solo reduce el volumen de escorrentía, sino que también ayuda a recargar los acuíferos subterráneos, promoviendo un sistema urbano más sostenible.

### **Características del hormigón permeable:**

#### **Relación agua/cemento: 0.30-0.40:**

La relación agua/cemento (w/c) es un parámetro clave en la fabricación del hormigón permeable, ya que influye directamente en sus propiedades mecánicas, de durabilidad y de permeabilidad. En el caso del pavimento permeable, se recomienda una relación agua/cemento entre 0.30 y 0.40, que es considerada óptima para lograr un equilibrio entre las características estructurales y la capacidad de infiltración del agua.

Una relación agua/cemento más baja (0.30-0.40) asegura un hormigón más resistente y duradero al reducir la cantidad de agua en la mezcla, lo que resulta en una mayor compactación y mayor fuerza de unión entre los agregados. Esto es fundamental para garantizar la resistencia a las cargas vehiculares y la durabilidad del pavimento frente al tránsito intenso y las condiciones climáticas adversas.

Desde el punto de vista hidráulico, esta relación también tiene un impacto positivo en la permeabilidad del hormigón. Un bajo contenido de agua permite la formación de vacíos de mayor tamaño entre los agregados gruesos, lo que facilita la infiltración del agua a través de la capa de rodadura sin comprometer la estabilidad estructural. La relación agua/cemento de 0.30 a 0.40 es ideal para asegurar que el hormigón siga siendo permeable, evitando que se cierre o sature con el tiempo.

Sin embargo, es importante destacar que una relación agua/cemento demasiado baja puede dificultar el proceso de mezclado y colocación del hormigón, debido a la baja trabajabilidad de la mezcla. Por esta razón, se deben utilizar aditivos plastificantes o fluidificantes para mejorar la manejabilidad del hormigón sin comprometer sus propiedades.

En resumen, una relación agua/cemento de 0.30 a 0.40 proporciona un hormigón permeable de alta calidad, con un equilibrio adecuado entre resistencia estructural, durabilidad y capacidad de infiltración del agua, que es fundamental para el éxito del sistema de pavimento permeable.

### **Contenido de vacíos: 15% - 25%:**

El contenido de vacíos en el hormigón permeable es un parámetro crucial que determina la capacidad de la mezcla para permitir la infiltración de agua a través del pavimento, lo que es esencial para el desempeño hidráulico del sistema. En el caso del pavimento permeable, el contenido de vacíos debe estar en el rango de 15% a 25%, lo cual es ideal para lograr una alta permeabilidad sin comprometer la resistencia estructural del material.

El contenido de vacíos hace referencia al volumen de espacios intersticiales (poros) entre los agregados dentro del hormigón. Un mayor contenido de vacíos facilita la infiltración del agua a través de la capa de rodadura, permitiendo que el agua de lluvia se filtre rápidamente hacia las capas inferiores del sistema de drenaje. Este proceso es fundamental para reducir la escorrentía superficial y prevenir inundaciones, ya que permite que el pavimento actúe como un sistema de almacenamiento y drenaje en el lugar.

Un contenido de vacíos de 15% a 25% es suficiente para proporcionar una permeabilidad adecuada sin comprometer la resistencia mecánica del hormigón. Si el contenido de vacíos es demasiado bajo (por debajo del 15%), el pavimento puede volverse demasiado denso, reduciendo su capacidad de infiltración y afectando

negativamente su funcionalidad hidráulica. Por el contrario, si el contenido de vacíos es demasiado alto (por encima del 25%), el hormigón puede perder parte de su resistencia estructural, lo que podría generar problemas como fisuras o deformaciones bajo cargas vehiculares.

Para lograr este contenido de vacíos, se emplean agregados gruesos de tamaños uniformes, lo que permite la creación de vacíos controlados entre las partículas, facilitando la infiltración sin comprometer la resistencia. Además, se pueden utilizar aditivos y técnicas de mezclado específicas para asegurar que la mezcla de hormigón mantenga la porosidad adecuada.

En resumen, un contenido de vacíos de 15% a 25% garantiza que el hormigón permeable tenga un equilibrio entre alta permeabilidad y resistencia estructural, lo que lo convierte en un material óptimo para pavimentos permeables que requieren un rendimiento eficiente tanto en términos hidráulicos como de durabilidad.

### **Resistencia a compresión: 10-20 Mpa:**

La resistencia a compresión es una propiedad fundamental del hormigón que mide la capacidad del material para soportar cargas que tienden a comprimirlo. En el contexto de hormigón permeable, la resistencia a compresión es crucial para garantizar que el pavimento sea lo suficientemente fuerte como para soportar el tráfico vehicular y las cargas dinámicas sin sufrir fallos estructurales.

La resistencia a compresión de 10-20 MPa es el rango recomendado para el hormigón permeable utilizado en pavimentos, ya que proporciona un equilibrio entre resistencia estructural y capacidad de infiltración del agua. En este rango, el hormigón sigue siendo lo suficientemente fuerte para resistir las cargas de vehículos pesados, pero mantiene una permeabilidad adecuada debido a la estructura porosa de la mezcla.

Este rango de resistencia 10-20 MPa es adecuado para aplicaciones urbanas donde el pavimento está expuesto a un tráfico moderado a pesado. Si la resistencia fuera demasiado baja por debajo de 10 MPa, el pavimento podría ser susceptible a fisuras y deformaciones bajo el peso de los vehículos. Si, por el contrario, la resistencia fuera excesivamente alta (más de 20 MPa), se comprometería la permeabilidad del pavimento, ya que una mezcla más densa con menor contenido de vacíos dificultaría la infiltración de agua.

La resistencia a compresión se obtiene mediante un adecuado diseño de la mezcla, controlando aspectos como la relación agua/cemento, el contenido de vacíos y

el tipo de agregados utilizados. Además, el uso de aditivos especiales puede mejorar tanto la resistencia como la manejabilidad del hormigón sin reducir su capacidad de infiltración.

En resumen, un rango de resistencia de 10-20 MPa para el hormigón permeable es óptimo para asegurar que el pavimento sea suficientemente resistente a las cargas vehiculares y, al mismo tiempo, mantenga sus propiedades de permeabilidad para un drenaje eficiente.

Para optimizar la eficiencia hidráulica y estructural del pavimento permeable, se utilizarán mezclas de cemento con aditivos especiales para mejorar la permeabilidad sin comprometer la resistencia a la compresión. Además, se incluirá una capa adicional de material filtrante para garantizar una adecuada infiltración del agua.

#### **4.5.5 Análisis Hidráulico y Estructural**

Se empleará el software Hydrus 2D para simular la infiltración de agua en el pavimento permeable y analizar el comportamiento del subsuelo. Para el análisis estructural, se utilizará el método del Módulo Resiliente para evaluar la capacidad de carga bajo tránsito ligero.

El análisis hidráulico mostrará cómo el sistema es capaz de reducir el riesgo de inundaciones mediante la mejora de la absorción de agua en el subsuelo.

#### **4.5.6 Presupuesto Estimado**

El presupuesto contempla los siguientes rubros:

- Excavación y nivelación de terreno
- Adquisición de materiales en cemento, grava, áridos
- Mano de obra y equipos
- Ensayos de laboratorio
- Supervisión técnica

Costo total estimado: \$12,500 USD

Este presupuesto es preliminar y se ajustará conforme se avance con el diseño detallado y la cotización de materiales. El costo incluye los insumos, la mano de obra, y las pruebas de calidad necesarias para asegurar la eficiencia del sistema.

#### **4.5.7 Cronograma de Ejecución**

El proyecto tendrá una duración estimada de 3 meses:

##### **1. Mes 1: Estudios preliminares y diseño del prototipo:**

Objetivos:

- ❖ Realizar una evaluación inicial del sitio de intervención, con un análisis detallado de las condiciones hidráulicas y geotécnicas. Esto incluye la recolección de datos sobre el tipo de suelo, la capacidad de infiltración del terreno y la composición del agua de escorrentía en la zona.

Actividades:

- ❖ Revisión de normativas y legislación aplicable al diseño de pavimentos permeables.
- ❖ Diseño técnico del prototipo de pavimento permeable, considerando materiales como el hormigón permeable, las capas filtrantes y el sistema de drenaje.
- ❖ Elaboración de planos y especificaciones técnicas del pavimento.
- ❖ Selección de materiales adecuados para cada capa del sistema subrasante, sub-base, capa filtrante, capa de rodadura.
- ❖ Planificación de la ejecución de obra.

##### **2. Mes 2: Ejecución de obra y curado del pavimento:**

Objetivos:

- ❖ Llevar a cabo la construcción del prototipo de pavimento permeable, asegurando que se cumplan las especificaciones técnicas y de diseño. Esta fase incluye la colocación y el curado del pavimento para asegurar su resistencia y durabilidad.

Actividades:

- ❖ Preparación del sitio de intervención, incluyendo la limpieza del terreno y la compactación de la subrasante al 95% Proctor.

- ❖ Colocación de las capas de sub-base y capa filtrante de acuerdo con los criterios de diseño.
- ❖ Colocación de la capa de rodadura de hormigón permeable con la relación agua/cemento adecuada y el contenido de vacíos establecido.
- ❖ Curado del pavimento durante el tiempo recomendado para asegurar su resistencia final. Esto incluye métodos de curado como el curado húmedo o el uso de membranas.
- ❖ Monitoreo del proceso de compresión y permeabilidad para verificar que el pavimento cumpla con las especificaciones del diseño.

### **3. Mes 3: Monitoreo y evaluación del desempeño:**

#### Objetivos:

- ❖ Evaluar el comportamiento del pavimento permeable bajo condiciones de uso real, realizando un seguimiento de su desempeño en términos de capacidad de infiltración, resistencia a cargas y funcionamiento hidráulico.

#### Actividades:

- ❖ Realización de pruebas de permeabilidad periódicas para evaluar la capacidad de infiltración del pavimento.
- ❖ Monitoreo de fisuras y deformaciones en el pavimento para garantizar que se mantenga estable ante el tráfico y las cargas.
- ❖ Evaluación del comportamiento hidráulico del sistema, con especial atención al manejo de escorrentías y la efectividad del sistema de drenaje.
- ❖ Recopilación de datos sobre el desempeño general del pavimento, incluyendo la evaluación de la funcionalidad del prototipo a largo plazo.
- ❖ Elaboración de informes de seguimiento y recomendaciones para mejorar el sistema si es necesario.

Este cronograma proporciona una estructura clara para la implementación del prototipo de pavimento permeable y puede ser incluido en tu plan de trabajo dentro de tu tesis, mostrando cómo se abordarán cada una de las fases de la ejecución y evaluación.

El cronograma se desarrollará bajo las fases de ejecución de obra civil y pruebas de laboratorio. El equipo encargado se coordinará para cumplir con los plazos establecidos, asegurando que todas las actividades se realicen dentro del tiempo previsto.

#### **4.5.8 Indicadores de Evaluación**

Los principales indicadores de éxito serán:

##### **Reducción del tiempo de acumulación de agua en minutos:**

La reducción del tiempo de acumulación de agua es un factor clave en el diseño de pavimentos permeables, ya que la eficiencia del sistema depende de su capacidad para drenar y evacuar rápidamente las aguas pluviales, evitando así la formación de charcos o inundaciones. Este parámetro se refiere al tiempo que tarda el agua en acumularse en una determinada área antes de ser infiltrada o drenada de manera efectiva.

El tiempo de acumulación de agua se puede reducir mediante el diseño adecuado del sistema de drenaje y el uso de materiales permeables que permitan una rápida infiltración del agua. En un pavimento permeable, este tiempo es crucial para la eficiencia del sistema, especialmente en áreas urbanas con alta cantidad de precipitación y limitada capacidad de drenaje.

##### **Disminución del volumen de escorrentía en litros:**

La disminución del volumen de escorrentía se refiere a la capacidad del pavimento permeable para reducir la cantidad de agua que fluye superficialmente sobre el suelo escorrentía, permitiendo que el agua sea absorbida o infiltrada en el terreno. Este parámetro es crítico para la prevención de inundaciones y la mejora de la gestión del agua en áreas urbanas.

En condiciones urbanas, donde gran parte del suelo está cubierto por superficies impermeables asfalto, concreto, etc., el agua de lluvia no se infiltra y se convierte en escorrentía superficial. El pavimento permeable reduce significativamente este volumen de escorrentía al permitir que el agua se infiltre directamente a través de su estructura, disminuyendo el caudal de agua que fluye hacia los sistemas de drenaje y evitando la saturación de las alcantarillas.

### **Índice de aceptación ciudadana:**

El índice de aceptación ciudadana se refiere a la percepción positiva o negativa de los residentes o usuarios del área intervenida respecto a una solución implementada. En proyectos urbanos, este índice es clave para evaluar el grado en que los ciudadanos consideran útil, eficiente y adecuado un sistema de infraestructura, en este caso, el pavimento permeable, para resolver problemas como las inundaciones o la gestión del agua de lluvia.

### **Eficiencia de infiltración en % respecto al diseño:**

La eficiencia de infiltración se refiere a la capacidad del pavimento permeable para permitir que el agua de lluvia se infiltre en el suelo a través de su estructura, en lugar de generar escorrentía superficial. Este indicador es crucial para evaluar el desempeño del pavimento en función de su diseño y su capacidad para reducir inundaciones y mejorar la gestión del agua pluvial.

La eficiencia de infiltración mide la cantidad de agua infiltrada en relación con la cantidad total de agua que se espera que sea infiltrada según el diseño del pavimento permeable. Es un indicador de cómo el sistema responde a las condiciones de lluvia reales en comparación con el diseño inicial que se había planeado. Este parámetro puede ayudar a determinar si el pavimento está cumpliendo con sus objetivos y si necesita ajustes en su estructura o en el diseño para optimizar su desempeño.

La evaluación del proyecto se llevará a cabo mediante la medición de estos indicadores, lo cual permitirá determinar la efectividad del pavimento permeable en la reducción de inundaciones.

#### ***4.5.9 Impacto Ambiental y Social***

El proyecto contribuirá a la sostenibilidad ambiental al permitir la recarga de acuíferos y reducir la erosión del suelo. Socialmente, mejorará la movilidad y calidad de vida de los habitantes del sector, promoviendo una cultura de resiliencia urbana. Además, la implementación de este sistema favorecerá la biodiversidad local al reducir la urbanización del agua de lluvia.

#### ***4.5.10 Propuesta de Replicabilidad***

De ser exitoso, el prototipo podrá aplicarse en otras calles y avenidas con problemas similares. Se elaborará una guía técnica de implementación y se recomendará su inclusión en los planes municipales de gestión de infraestructura urbana. La

replicabilidad será clave para extender los beneficios en otras zonas vulnerables de Guayaquil.

### **Objetivo de la Replicabilidad:**

El propósito de la replicabilidad es asegurar que el prototipo de pavimento permeable diseñado no solo sea efectivo en la ubicación específica del proyecto Avenida 39, sector norte de Guayaquil, sino que también pueda ser implementado en otras áreas urbanas con condiciones geotécnicas e hidráulicas similares. Esta propuesta de replicabilidad proporcionará los lineamientos técnicos, económicos y operacionales necesarios para que este tipo de pavimento permeable pueda ser adoptado en otras ciudades o sectores con alta eficiencia.

### **Lineamientos para la Replicabilidad:**

#### **1. Condiciones del sitio para la replicabilidad:**

**Condiciones geotécnicas:** El pavimento permeable puede ser replicado en áreas donde la subrasante tenga características similares a las del sitio original (por ejemplo, suelos no altamente arcillosos y con capacidad de infiltración adecuada). En áreas con suelos con alta susceptibilidad a licuefacción o baja permeabilidad, podrían ser necesarias adaptaciones en el diseño de las capas filtrantes y el sistema de drenaje.

**Condiciones climáticas:** El pavimento permeable es ideal en zonas con precipitaciones moderadas a altas, donde la gestión de la esorrentía es un desafío. Para zonas con menor lluvia, la replicabilidad debe evaluar si la capacidad de infiltración sigue siendo necesaria.

**Uso del suelo y tráfico vehicular:** Este tipo de pavimento es adecuado para áreas urbanas con tráfico moderado a pesado. En zonas de tráfico ligero o donde no haya necesidad de drenaje, se pueden ajustar los parámetros del diseño para lograr una mayor eficiencia en costos.

#### **2. Diseño técnico replicable:**

**El diseño de las capas del pavimento subrasante,** sub-base, capa filtrante, capa de rodadura debe ser ajustable según las especificaciones del sitio de intervención. El uso de materiales locales en cada capa del sistema contribuirá a reducir costos y mejorar la sostenibilidad del proyecto.

**Relación agua/cemento y contenido de vacíos:** Las características del hormigón permeable relación agua/cemento de 0.30-0.40 y contenido de vacíos entre

15-25% son replicables, pero pueden necesitar ajustes si las condiciones climáticas o la resistencia del material varían en otras zonas.

### **3. Proceso de ejecución replicable:**

**La ejecución de la obra debe seguir un proceso estandarizado**, incluyendo las fases de preparación limpieza del terreno y compactación, instalación de las capas sub-base y filtrante, y la colocación del hormigón permeable. Es importante que los equipos de construcción sean capacitados en las mejores prácticas para garantizar que el pavimento tenga las propiedades hidráulicas y estructurales adecuadas.

**Control de calidad y monitoreo:** Se debe implementar un sistema de control de calidad que garantice que el pavimento cumple con los requisitos de permeabilidad, resistencia y durabilidad. Además, se debe establecer un protocolo de monitoreo post-implementación para evaluar el desempeño del pavimento a lo largo del tiempo.

### **4. Estrategias de mantenimiento replicables:**

Los pavimentos permeables requieren un mantenimiento regular para preservar su capacidad de infiltración. Esto incluye la limpieza periódica de las superficies permeables para evitar la obstrucción de los poros por sedimentos, hojas o basura.

El monitoreo de la estructura a lo largo de los primeros años de implementación es esencial para garantizar que la permeabilidad y la resistencia del pavimento se mantengan a lo largo del tiempo.

### **5. Costos y viabilidad económica:**

El diseño replicable debe incluir un análisis de costos que permita ajustar el presupuesto dependiendo de las características locales. Esto incluye la adquisición de materiales, el costo de mano de obra, y los costos asociados con el mantenimiento y evaluación post-implementación.

El uso de materiales locales y la optimización de las técnicas de ejecución contribuirán a reducir los costos y hacer el sistema más accesible para su implementación en otros lugares.

## **6. Formación y capacitación:**

Para garantizar la replicabilidad, es fundamental ofrecer capacitación a los operarios y técnicos encargados de la construcción e implementación del pavimento permeable. La capacitación debe cubrir desde las fases de diseño hasta el mantenimiento, con especial énfasis en los aspectos hidráulicos y geotécnicos del sistema.

Además, se debe crear un manual técnico con instrucciones claras y procedimientos para la replicación del proyecto.

## **7. Evaluación de impacto ambiental y social:**

El pavimento permeable no solo debe cumplir con los aspectos técnicos, sino también con los requisitos ambientales y sociales. La replicabilidad debe considerar cómo este tipo de pavimento contribuye a la reducción de inundaciones, el aumento de la recarga de acuíferos y la mejora de la calidad del agua. Además, debe tener en cuenta el impacto en la movilidad y en la seguridad vial en las zonas donde se implemente.

## CONCLUSIONES

Se ha demostrado que el hormigón permeable es una solución viable para mejorar el drenaje urbano y reducir el riesgo de inundaciones en la Avenida 39, sector norte de Guayaquil.

Los resultados experimentales confirmaron que el material presenta una adecuada resistencia mecánica y una capacidad de filtración óptima para soportar condiciones climáticas adversas, también la posible implementación del prototipo permitirá identificar los beneficios y limitaciones de su uso en entornos urbanos, proporcionando información valiosa para futuras aplicaciones a mayor escala.

Se evidencia la necesidad de complementar este tipo de pavimentación con un sistema de recolección de agua eficiente para maximizar su impacto en la gestión hídrica de la ciudad.

Según las encuestas realizadas a 100 personas se reveló que un gran porcentaje desconoce totalmente del tema del hormigón permeable, por otro lado, después de la breve introducción al tema un 83% se mostró a favor de su aplicación en el sector, teniendo como resultado una aceptación considerable, presentando la opción a futuro de la implementación de un proyecto piloto para el estudio de los beneficios de este hormigón.

Si bien tiene un costo inicial ligeramente superior, este se compensa con menores costos de mantenimiento, mayor vida útil y significativos beneficios ambientales, mediante el estudio realizado se demuestra la viabilidad técnica, económica y ambiental. El hormigón permeable al ser una alternativa innovadora y sostenible trae muchos beneficios cuidando el recurso hídrico sin que se vea afectado el ciclo del agua, también, promoviendo la creación de microclimas agradables y frescos para la comunidad.

## RECOMENDACIONES

- Se recomienda continuar con estudios a largo plazo para evaluar la durabilidad del hormigón permeable en condiciones reales de tráfico y clima.
- Es importante diseñar estrategias de mantenimiento para evitar la obstrucción de los poros del material y garantizar su efectividad a lo largo del tiempo.
- Se sugiere la colaboración con entidades municipales y privadas para la aplicación de esta tecnología en otros sectores con problemas de acumulación de agua pluvial más abundantes.
- Se debe considerar la integración del hormigón permeable con otros sistemas de drenaje sostenible, como zanjas de infiltración o depósitos de recolección, para optimizar su impacto en la gestión del agua urbana.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

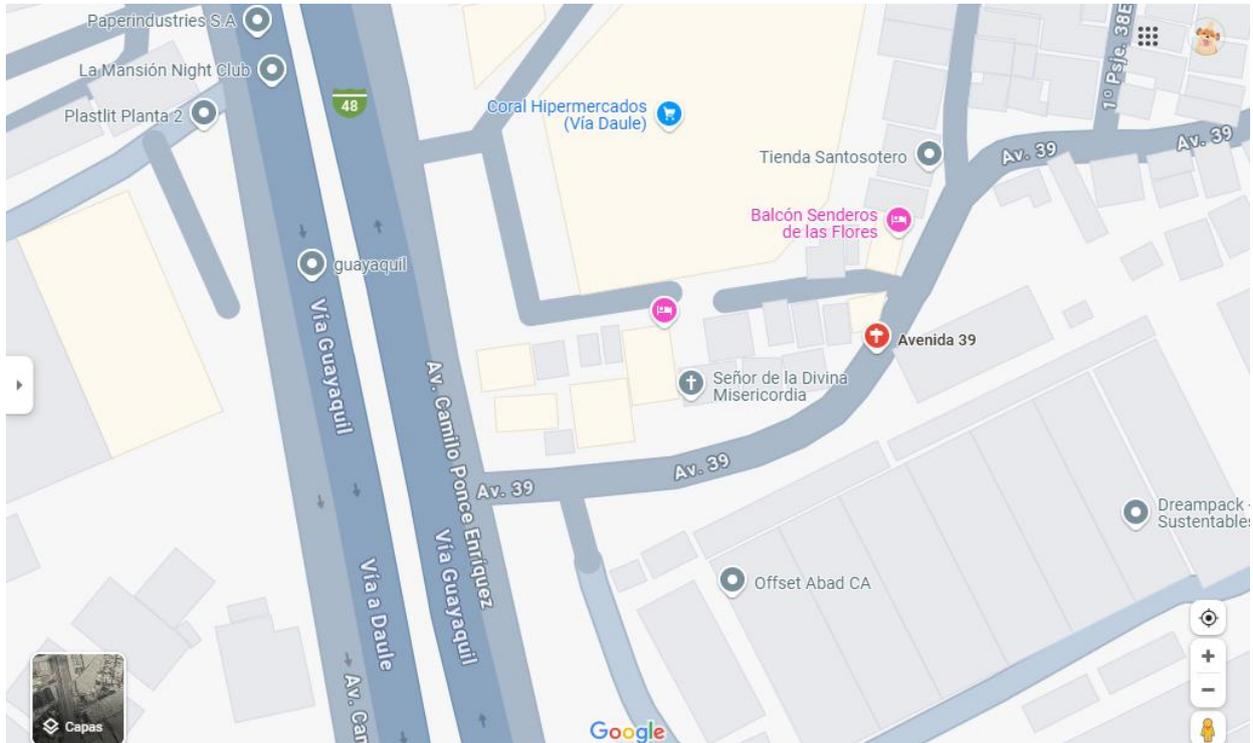
- 2380, N. I. (2011). *Cementos hidráulicos. Requisitos de desempeño para cementos hidráulicos. Ecuador*. PDF. Obtenido de <https://ia802907.us.archive.org/17/items/ec.nte.2380.2011/ec.nte.2380.2011.pdf>
- Bonicelli, A. G. (2015). *Estudio experimental sobre los efectos de la adición de arena fina sobre hormigón permeable compactado diferencialmente*. Obtenido de Materiales de Construcción y Construcción: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061815005097?via%3Dihub>
- Concrete, A. (2010). *American Concrete*. Obtenido de [https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/62123845/Journal120200217-89712-rw600r.pdf?1738393785=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DPervious\\_concrete\\_An\\_overview.pdf&Expires=1743031222&Signature=V6OWBQtRfA63yzEJtUSdkKhfPdyMu1H3t24ajcSRkA90m1AgA](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/62123845/Journal120200217-89712-rw600r.pdf?1738393785=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DPervious_concrete_An_overview.pdf&Expires=1743031222&Signature=V6OWBQtRfA63yzEJtUSdkKhfPdyMu1H3t24ajcSRkA90m1AgA)
- Concreto, I. M. (2024). *Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto A.C.* Obtenido de <https://www.imcyc.com.mx/>
- Decreto, R. (2008). *Instrucción de hormigón. España*. EHE 08 versión en castellano. Obtenido de <https://www.transportes.gob.es/organos-colegiados/mas-organos-colegiados/comision-permanente-del-hormigon/cph/instrucciones/ehe-08-version-en-castellano>
- Ecuatoriano, I. (. (2018). *Normas Técnicas para Pavimentos Permeables*. INEN (Quito, Ecuador).
- EPA. (2019). *Stormwater Management and Permeable Pavements*. U.S. Environmental Protection Agency.
- EXPRESS, H. (7 de 1 de 2022). *HORMIGON EXPRESS*. Obtenido de <https://www.hormigonexpress.com/es/noticias/hormigon-ecologico-40>
- Fogliatti, F. (2024). *AJEA*. Obtenido de <https://rtyc.utn.edu.ar/index.php/ajea/article/view/1585>
- Gómez, P. (2022). *Impacto del Hormigón Permeable en la Gestión del Agua Urbana*. Ingeniería y Desarrollo.
- INMOLEY.COM. (8 de 11 de 2019). *EL HORMIGÓN PERMEABLE COMO REMEDIO CONTRA LAS INUNDACIONES*. Obtenido de <https://www.inmoley.com/NOTICIAS/1912345/2019-1-inmobiliario-urbanismo-vivienda/011-19-inmobiliario-8-22.html>
- International, A. (2020). *ASTM C1701: Standard Test Method for Infiltration Rate of In-Place Pervious Concrete*. ASTM International.
- Johnson, K. &. (2021). *Case Studies of Permeable Concrete in Urban Planning*. Sustainable Infrastructure.
- Kim, D. &. (2022). *Permeable Concrete in High-Rainfall Areas: A Comparative Study*. Construction Research Journal.
- Liu, X. (2021). *Case Studies of Permeable Concrete in Urban Planning*. Sustainable Infrastructure.

- Martínez, R. &. (2021). *Desempeño mecánico de pavimentos permeables en vías urbanas*. Revista de Materiales de Construcción.
- Moya, J. G. (2022). *Diseño de Hormigón Permeable Para el Aprovechamiento de Agua Lluvia en Superficies de Uso Peatonal*. . Obtenido de Global Journal of Researches in Engineering: <https://gjre.org/index.php/gjre/article/view/185>
- Normalización), I. (. (2018). *Normas Técnicas para Pavimentos Permeables*. INEN (Quito, Ecuador).
- Novak, M. (2017). *Innovations in Permeable Concrete and Climate Change Adaptation*. Urban Planning Press.
- Pascale, L. &. (2022). *Permeable Pavements: A Sustainable Urban Drainage Solution*. Journal of Urban Hydrology.
- Pascale, L. &. (2022). *Permeable Pavements: A Sustainable Urban Drainage Solution*. Journal of Urban Hydrology.
- Pascale, L. &. (2022). *Permeable Pavements: A Sustainable Urban Drainage Solution*. Journal of Urban Hydrology.
- Pavyurba. (4 de 11 de 2024). *Pavyurba*. Obtenido de <https://pavyurbapavimentos.com/pavimentos-de-hormigon-permeable/>
- Pinto, M. R. (2018). *Estudio y análisis en la dosificación del concreto poroso*. Obtenido de Portal de Revistas UTP: <https://revistas.utp.ac.pa/index.php/memoutp/article/view/1791>
- Rivera Ildelfonso, J. C. (2021). *DISEÑO DEL HORMIGON PERMEABLE*. REPOSITORIO INSTITUCIONAL. Obtenido de <https://repositorio.unheval.edu.pe/item/7e329953-136c-4740-886a-9b06bc46d469>
- Rodríguez, F. &. (2021). *Análisis de la absorción de agua en pavimentos permeables*. Revista de Ingeniería Hidráulica.
- Smith, R. J. (2021). *Flood Management Strategies in Urban Environments*. Environmental Engineering Review.
- Tomorrow.city. (27 de 9 de 2023). *TOMORROW.CITY*. Obtenido de <https://www.tomorrow.city/es/que-es-el-hormigon-permeable-y-como-puede-ser-utilizado-en-las-ciudades/>
- UC, I. (5 de 7 de 2024). *Departamento de Ingeniería y Gestión*. Obtenido de <https://www.ing.uc.cl/ingenieria-y-gestion-construccion/innovacion-en-el-hormigon-permeable/>
- Urbanas, O. (7 de 1 de 2025). *BRUGG*. Obtenido de Geobrugg: <https://obrasurbanas.es/guia-pavimentos-hormigon-urbanos-rurales/>

# ANEXOS

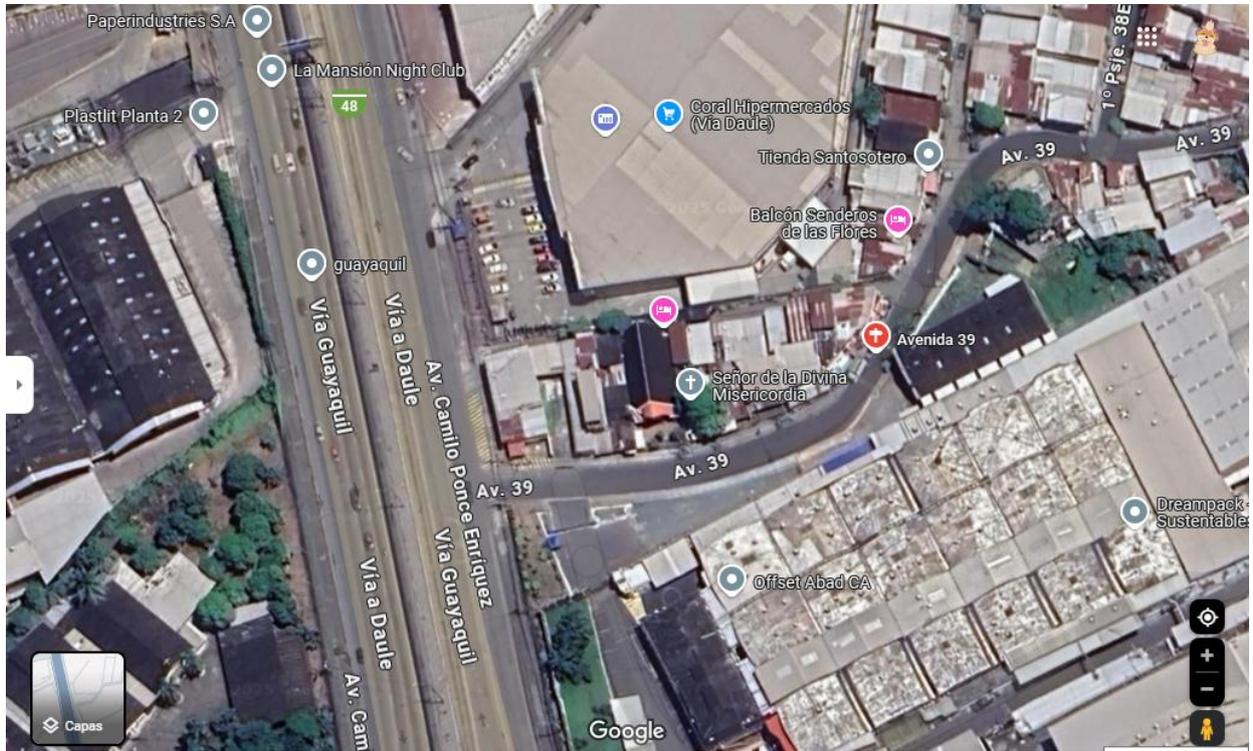
## Anexo 1.

### El sector Google Maps



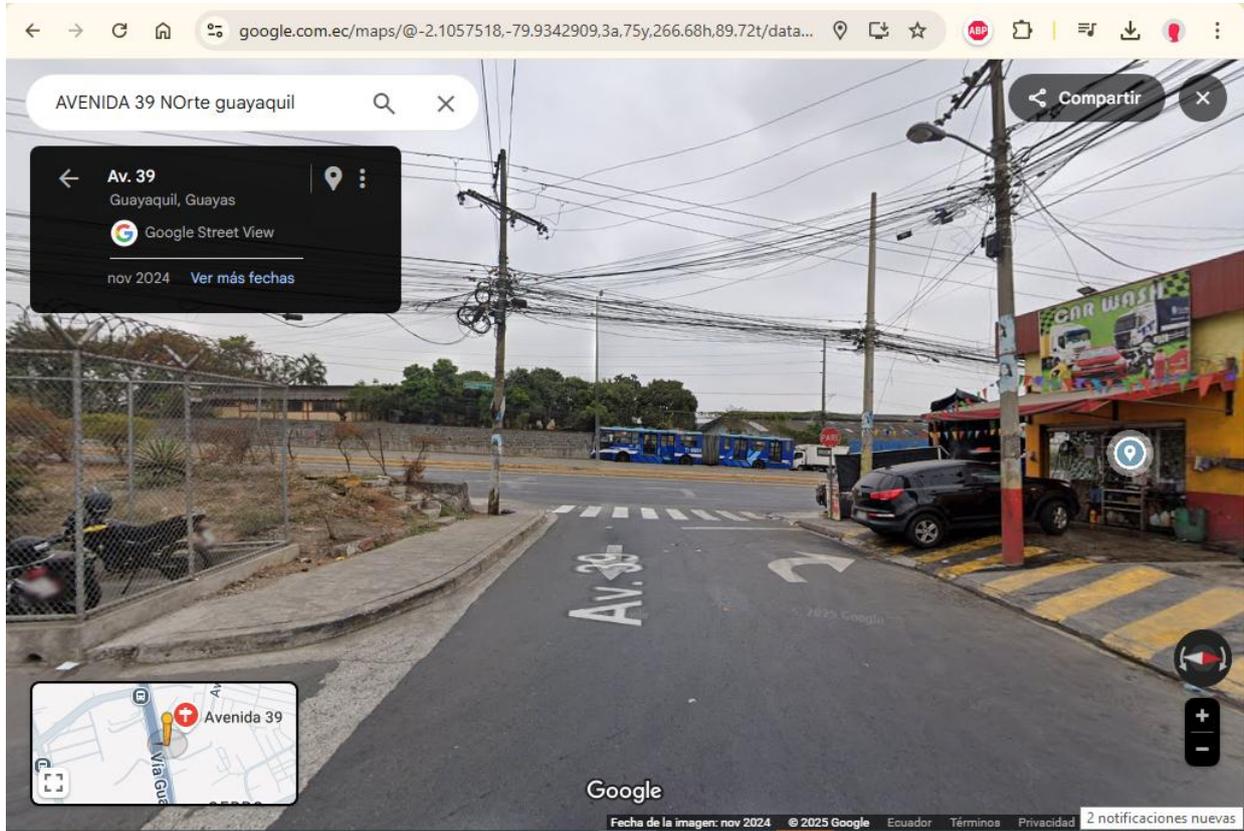
**Anexo 2.**

Sector Google Maps-Satelital



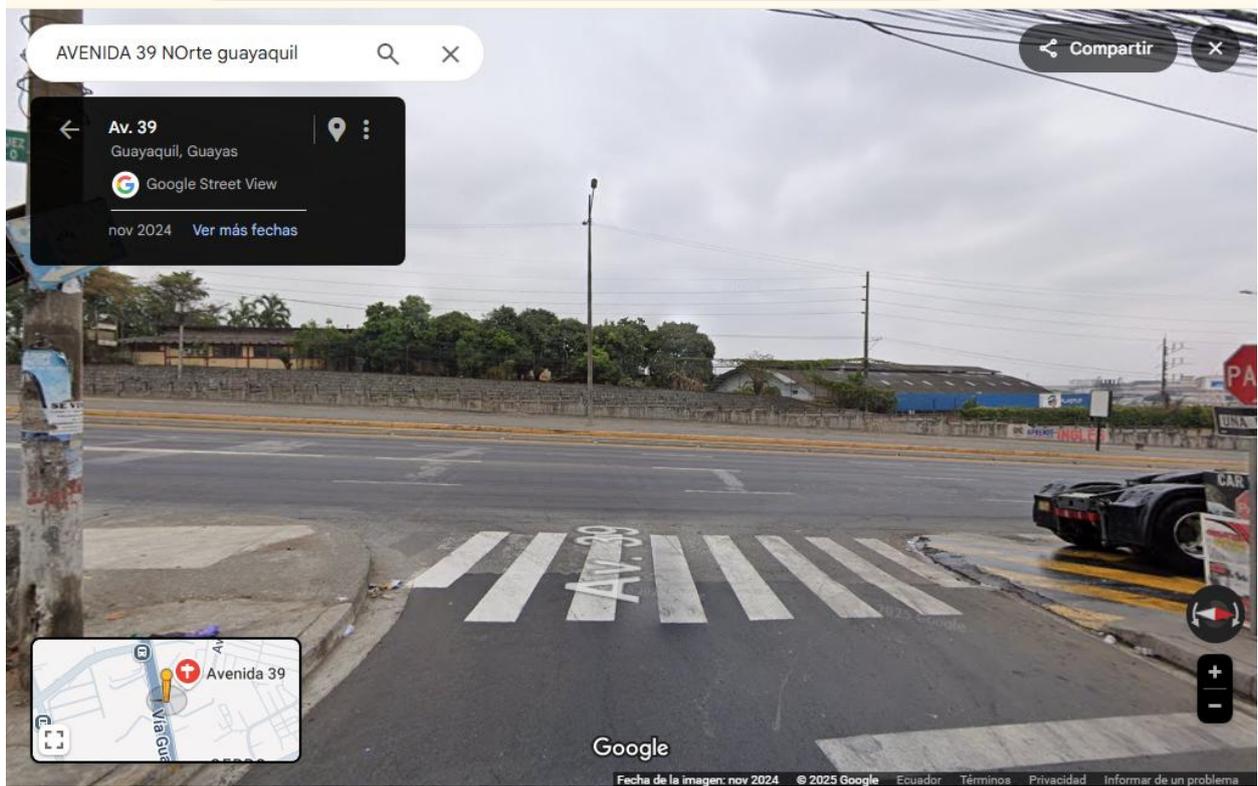
**Anexo 3.**

Ubicación del terreno Av. 39



**Anexo 4.**

Ubicación perspectiva 1



**Anexo 5.**

Ubicación perspectiva 2



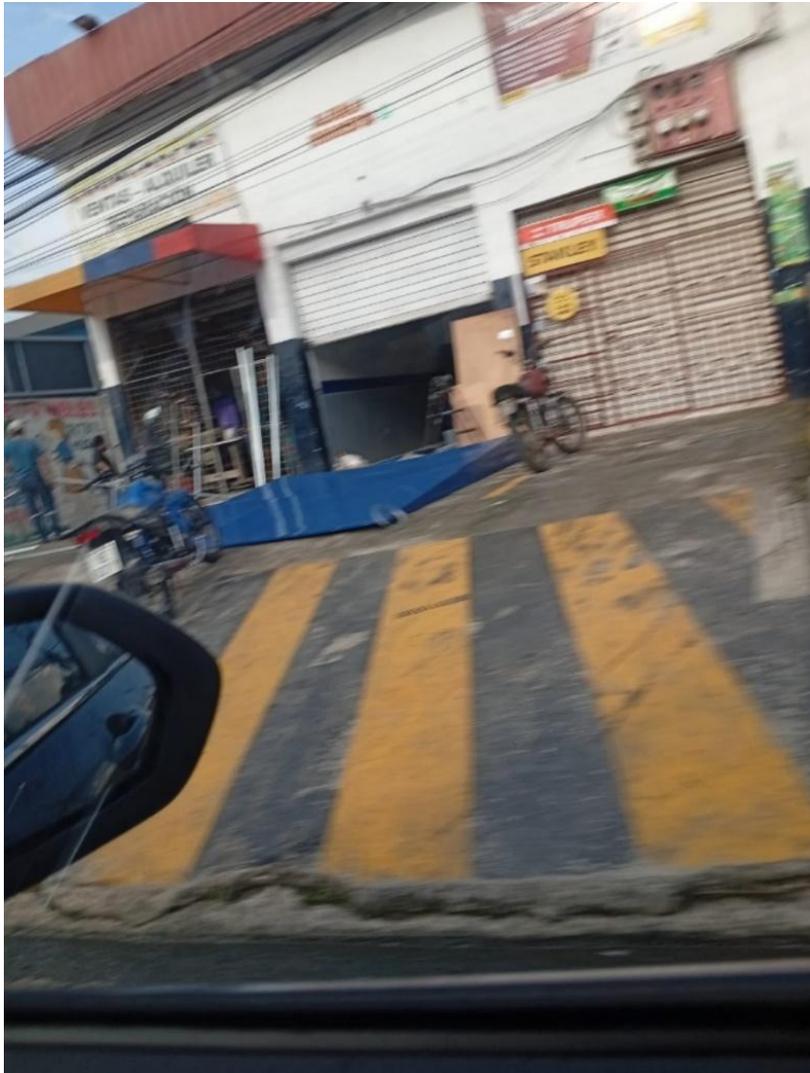
**Anexo 6.**

Perspectiva auto 1



**Anexo 7.**

Perspectiva auto 2



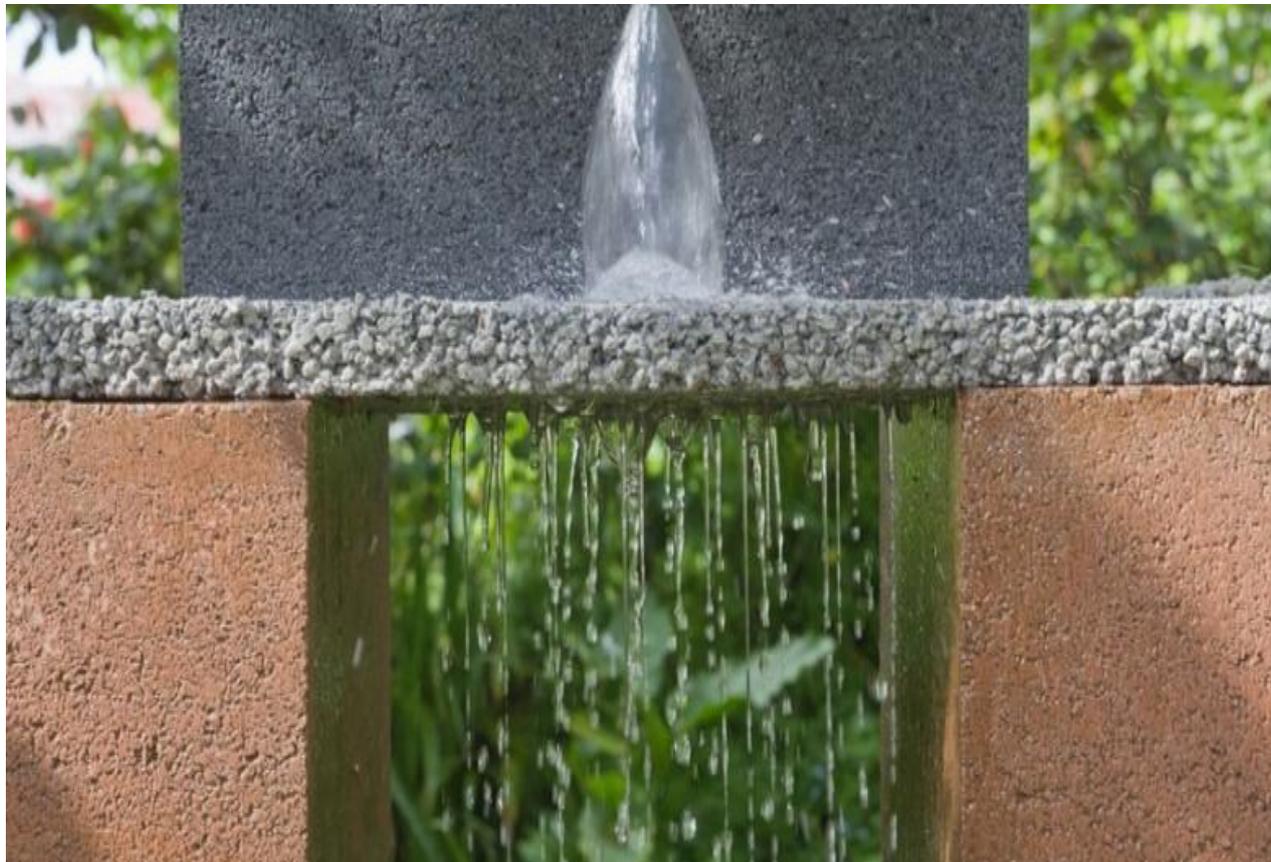
**Anexo 8.**

Perspectiva auto 3



**Anexo 9.**

Vista previa del funcionamiento del hormigón permeable



**Anexo 10.**

Prototipo simulado

