



**UNIVERSIDAD LAICA VICENTE ROCAFUERTE
DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

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

TEMA

**“EVALUACIÓN DE UN SISTEMA DE CUNETA PERMEABLE CON
SUBDREN FRANCÉS COMO MEDIDA DE CONTINGENCIA PARA
REDUCCIÓN DE ESCORRENTÍA”**

TUTOR

Mgtr. KEVIN ANGEL MENDOZA VILLACIS

AUTORES

**HELEN LISBETH CORREA BERSOSA
WILSON JOSUE MARTINEZ BONILLA**

GUAYAQUIL

2025

REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

FICHA DE REGISTRO DE TESIS

TÍTULO Y SUBTÍTULO:

“Evaluación De Un Sistema De Cuneta Permeable Con Subdren Francés Como Medida De Contingencia Para Reducción De Escorrentía”

AUTOR/ES:

Correa Bersosa Helen Lisbeth
Martinez Bonilla Wilson Josue

TUTOR:

Mgtr. Mendoza Villacis Kevin Ángel

INSTITUCIÓN:

Universidad Laica Vicente
Rocafuerte de Guayaquil

Grado obtenido:

INGENIERO CIVIL

FACULTAD:

FACULTAD DE INGENIERÍA
INDUSTRIA Y
CONSTRUCCIÓN

CARRERA:

INGENIERÍA CIVIL

FECHA DE PUBLICACIÓN:

2025

N. DE PÁGS:

123

ÁREAS TEMÁTICAS: Arquitectura y Construcción

PALABRAS CLAVE: Hormigón – Alcantarillado – Escorrentía -Drenaje

El proyecto de titulación aborda la evaluación de un sistema de cuneta permeable con subdren francés como medida de contingencia para la reducción de escorrentía. La problemática del drenaje pluvial es insuficiente en las vías durante altas intensidades de lluvia, donde los sistemas convencionales no logran ser efectivos para mitigar las inundaciones.

El objetivo principal consistió en evaluar un hormigón permeable en cunetas como alternativa para mejorar el drenaje pluvial, determinado una resistencia requerida de 210 kg/cm² para hormigón permeable, este sistema se complementa con subdren francés constituido por material grueso filtrante, tubería perforada y geotextil protector.

El desarrollo del proyecto se basa a los resultados del laboratorio obtenidos, demostrándonos que en la edad de 28 días superó la resistencia máxima requerida y que un hormigón permeable debe tener una dosificación del 70-80% agregado grueso y del 20-30% agregado fino, para obtener la resistencia requerida para el proyecto.

Así mismo, la permeabilidad del hormigón alcanzó una filtración en su totalidad. Tendiendo así un coeficiente de permeabilidad $K = 0.000357$ m/s, valor que, aunque es funcional, se encuentra

por debajo del rango estándar óptimo (0.002-0.005 m/s) para un sistema de cuneta de hormigón permeable.

De esta manera se determinó que este sistema es óptimo siempre que se llegue a un coeficiente de permeabilidad estándar, para que así el agua que llegue a filtrar en el hormigón sea de un 93% de eficacia y cumpla el objetivo de drenar el agua hacia el subdren francés y así el valor mínimo sea escorrentía.

N. DE REGISTRO (en base de datos):	N. DE CLASIFICACIÓN:
---	-----------------------------

DIRECCIÓN URL (Web):

ADJUNTO PDF:	SI ☒	NO ☐
---------------------	--	------------------------------------

CONTACTO CON AUTOR/ES: Correa Bersosa Helen Lisbeth Martinez Bonilla Josue Wilson	Teléfono: 0959164977 0992307500	E-mail: hcorreab@ulvr.edu.ec wmartinezb@ulvr.edu.ec
--	--	--

CONTACTO EN LA INSTITUCIÓN:	PhD. Marcial Sebastián Calero Amores Decano de la facultad de Ingeniería, Industria y Construcción. Teléfono: (04) 2596500Ext. 241 E-mail: mcaleroa@ulvr.edu.ec Mgtr. Jorge Enrique Torres Rodríguez Director de Carrera de Ingeniería Civil. Teléfono: (04) 2596500 Ext. 242 E-mail: etorresr@ulvr.edu.ec
------------------------------------	--

CERTIFICADO DE SIMILITUD



CERTIFICADO DE ANÁLISIS
magister

TT_2025A_CORREA-
MARTÍNEZ

6%
Textos
sospechosos

6% Similitudes
= 1% similitudes entre conlillas
= 1% entre las fuentes mencionadas
2% Idiomas no reconocidos (ignorado)
18% Textos potencialmente generados por la IA
(ignorado)

Nombre del documento: TT_2025A_CORREA-MARTÍNEZ.pdf
ID del documento: 2ed504907ee83811c5386674a7341c04c2f50514
Tamaño del documento original: 1,76 MB

Depositante: KEVIN ANGEL MENDOZA VILLACIS
Fecha de depósito: 24/9/2025
Tipo de carga: interface
fecha de fin de análisis: 24/9/2025

Número de palabras: 21,064
Número de caracteres: 146,176

Ubicación de las similitudes en el documento:



Fuentes principales detectadas

N°	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	humeingenieria.es Drenaje francés: diferencias con el drenaje común https://humeingenieria.es/Blog/drenaje-francés-diferencias-con-el-drenaje-común/	< 1%		Palabras idénticas: 4 (22%) 1% palabras
2	repositorio.uia.edu.ec https://repositorio.uia.edu.ec/server/api/core/bitstreams/75a05-1909-4153-84d8-f940a8b1...	< 1%		Palabras idénticas: 1 (134%) 1% palabras
3	repositorio.uia.edu.ec http://repositorio.uia.edu.ec/bitstream/44000/71932/1/IT-ULVR-5894.pdf 1 fuente similar	< 1%		Palabras idénticas: 1 (132%) 1% palabras
4	repositorio.uia.edu.ec http://repositorio.uia.edu.ec/bitstream/44000/71935/1/IT-ULVR-5897.pdf 1 fuente similar	< 1%		Palabras idénticas: 1 (132%) 1% palabras
5	www.uia.edu.ec https://www.uia.edu.ec/wp-content/uploads/2024/07/fle_1800323977-1.docx 2 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas: 1 (132%) 1% palabras

Fuentes con similitudes fortuitas

N°	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	revistadigital.uce.edu.ec Determinación del parámetro hidrológico número de ... https://revistadigital.uce.edu.ec/index.php/RevFIS/articulo/view/53	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (20 palabras)
2	renati.sunedu.gob.pe Registro Nacional de Trabajos de Investigación: Mejorami... https://renati.sunedu.gob.pe/handle/renati/561526?locale=en	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (17 palabras)
3	Documento de otro usuario #44405 Viene de otro grupo	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (16 palabras)
4	repositorio.ug.edu.ec https://repositorio.ug.edu.ec/bitstreams/5f63ae52b-2d05-4d21-ab89-8c3d642f9e7c/download	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (14 palabras)
5	Documento de otro usuario #24462 Viene de otro grupo	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (11 palabras)

Fuentes mencionadas (sin similitudes detectadas)

 Estas fuentes han sido citadas en el documento sin encontrar similitudes.

- <https://www.guayaquil.gob.ec/wp-content/uploads/Documentos/A/PPE>
- <https://repositorio.cuc.edu.co/server/api/core/bitstreams/cee8b728-7821>
- https://colombia.argos.co/fichas_tecnicas/Cartilla-Cunetas-soluciones
- <https://hormibal.cl/stio/product/respaldo/>
- <https://www.ingcivilfree.org/2018/09/hidrocalculus-11-2014-calculo-basico>

KEVIN
ANGEL
MENDOZA
VILLACIS

Firmado
digitalmente por
KEVIN ANGEL
MENDOZA VILLACIS
Fecha: 2025.09.24
06:21:15 -05'00'

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS PATRIMONIALES

El (Los) estudiante(s) egresado(s) HELEN LISBETH CORREA BERSOSA y WILSON JOSUE MARTINEZ BONILLA, declara (mos) bajo juramento, que la autoría del presente Trabajo de Titulación, Evaluación De Un Sistema De Cuneta Permeable Con Subdren Francés Como Medida De Contingencia Para Reducción De Escorrentía, 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: 

WILSON JOSUE MARTINEZ BONILLA

C.I.0958430134

Firma: 

HELEN LISBETH CORREA BERSOSA

C.I. 0953872082

CERTIFICACIÓN DE ACEPTACIÓN DEL DOCENTE TUTOR

En mi calidad de docente Tutor del Trabajo de Titulación Evaluación De Un Sistema De Cuneta Permeable Con Subdren Francés Como Medida De Contingencia Para Reducción De Escorrentía, designado(a) por el Consejo Directivo de la Facultad de INGENIERÍA 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: Evaluación De Un Sistema De Cuneta Permeable Con Subdren Francés Como Medida De Contingencia Para Reducción De Escorrentía, presentado por el (los) estudiante (s) HELEN LISBETH CORREA BERSOSA y WILSON JOSUE MARTINEZ BONILLA como requisito previo, para optar al Título de INGENIERO CIVIL, encontrándose apto para su sustentación.

Firma: FIRMA

Mgtr. Kevin Ángel Mendoza Villacis

C.C. 0922290010

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios y a la vida, por darme la oportunidad de hoy llegar aquí, por la fortaleza en los momentos más difíciles y por guiarme hacia un buen camino.

Agradezco a mis padres quienes han sido mi pupila de enseñanza y amor incondicional, quienes me han brindado sus mayores aprendizajes de vida, a jamás rendirme y seguir con perseverancia hasta alcanzar mis metas.

Agradezco a mi pareja y amigos quienes me han brindado su respeto y cariño puro, quienes con su compañía me animaron en momentos difíciles y compartieron conmigo este logro.

Extiendo mi gratitud a mi tutor y docentes, quienes me ha brindado su conocimiento y experiencias, que fueron fundamentales para la culminación de este trabajo académico.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a Dios, por ser mi guía y fortaleza en cada paso de vida.

A mi familia, que con su amor y apoyo incondicional me han impulsado a seguir adelante.

A mis amigos y seres cercanos con quienes comparto este logro.

Correa Bersosa Helen Lisbeth

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por la existencia, la salud y la inteligencia que me ha otorgado cada día. A Él le agradezco la fuerza que me ha permitido alcanzar este instante tan significativo y lograr mi primer gran objetivo académico.

A mi familia, pilar de mi vida y mi más grande inspiración. En especial a mi madre, Ana Bonilla, por su amor incondicional, su guía constante y por ser mi mayor ejemplo de esfuerzo y dedicación. Gracias, mamá, por cada palabra de aliento y por tu fe inquebrantable en mí. A mí hermana, sobrina, abuelos, tíos y primos, les agradezco por su apoyo incondicional, por su paciencia y por ser parte fundamental de este triunfo, que también es de ustedes.

Expreso mi gratitud a mis profesores, quienes con su dedicación y conocimiento me formaron profesionalmente y me inspiraron a ser mejor cada día.

Finalmente, a mis amigos y a todas las personas que contribuyeron con su ayuda y apoyo para la culminación de este trabajo investigativo.

DEDICATORIA

Dedico este logro a Dios y a mi familia, en especial a mi madre, Ana Bonilla, por siempre apoyarme y creer en mí.

Martinez Bonilla Wilson Josue

RESUMEN

El proyecto de titulación aborda la evaluación de un sistema de cuneta permeable con subdren francés como medida de contingencia para la reducción de escorrentía. La problemática del drenaje pluvial es insuficiente en las vías durante altas intensidades de lluvia, donde los sistemas convencionales no logran ser efectivos para mitigar las inundaciones.

El objetivo principal consistió en evaluar un hormigón permeable en cunetas como alternativa para mejorar el drenaje pluvial, determinado una resistencia requerida de 210 kg/cm² para hormigón permeable, este sistema se complementa con subdren francés constituido por material grueso filtrante, tubería perforada y geotextil protector.

El desarrollo del proyecto se basa a los resultados del laboratorio obtenidos, demostrándonos que en la edad de 28 días superó la resistencia máxima requerida y que un hormigón permeable debe tener una dosificación del 70-80% agregado grueso y del 20-30% agregado fino, para obtener la resistencia requerida para el proyecto.

Así mismo, la permeabilidad del hormigón alcanzó una filtración en su totalidad. Tendiendo así un coeficiente de permeabilidad $K = 0.000357 \text{ m/s}$, valor que, aunque es funcional, se encuentra por debajo del rango estándar óptimo (0.002-0.005 m/s) para un sistema de cuneta de hormigón permeable.

De esta manera se determinó que este sistema es óptimo siempre que se llegue a un coeficiente de permeabilidad estándar, para que así el agua que llegue a filtrar en el hormigón sea de un 93% de eficacia y cumpla el objetivo de drenar el agua hacia el subdren francés y así el valor mínimo sea escorrentía.

Palabras Clave: Hormigón – Alcantarillado – Escorrentía -Drenaje

ABSTRACT

The degree project addresses the evaluation of a permeable gutter system with French subdrain as a contingency measure for the reduction of runoff. The problem of rainwater drainage is insufficient on the roads during high intensities of rain, where conventional systems fail to be effective in mitigating floods.

The main objective was to evaluate a permeable concrete in ditches as an alternative to improve rainwater drainage, determined a required resistance of 210 kg/cm² for permeable concrete, this system is complemented with a French subdrain consisting of thick filtering material, perforated pipe and protective geotextile.

The development of the project is based on the laboratory results obtained, demonstrating to us that at the age of 28 days it exceeded the maximum resistance required and that a permeable concrete must have a dosage of 70-80% coarse aggregate and 20-30% fine aggregate, to obtain the resistance required for the project.

Likewise, the permeability of the concrete reached a filtration in its entirety. Thus, having a permeability coefficient $K = 0.000357 \text{ m/s}$, a value that, although it is functional, is below the optimal standard range (0.002-0.005 m/s) for a permeable concrete gutter system.

In this way, it was determined that this system is optimal whenever a standard permeability coefficient is reached, so that the water that filters into the concrete is 93% efficiency and meets the objective of draining the water to the French subdrain and thus the minimum value is runoff.

Keywords: Concrete – Sewerage – Runoff – Drainage

INDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I.....	2
ENFOQUE DE LA PROPUESTA.....	2
1.1 Tema:	2
1.2 Planteamiento del Problema:	2
1.3 Formulación del Problema:	3
1.4 Objetivo General.....	3
1.5 Objetivos Específicos	3
1.6 Hipótesis:.....	3
1.7 Línea de Investigación Instituciona	3
CAPÍTULO II.....	5
MARCO REFERENCIAL.....	5
2.1 Marco Teórico.....	5
2.1.1 Antecedentes	5
2.1.2 Hormigón permeable.....	6
2.1.3 Las ventajas del hormigón poroso incluyen:	7
2.1.4 Problemática de la escorrentía en infraestructura vial	10
2.1.5 Impactos ambientales de la escorrentía superficial	10
2.1.6 Limitaciones en la gestión de escorrentía.....	11
2.1.7 Parámetros que influyen en la escorrentía	11
2.1.8 Sistemas tradicionales de drenaje fluvial.....	13
2.1.8.1 Cunetas.....	13
2.1.8.2 Clasificación de las cunetas según su forma.	14
2.1.8.3 Sección transversal de las cunetas..	17
2.1.9 Selección y análisis del tipo de cuneta a evaluar.....	17
2.1.10 Cunetas permeables.....	20
2.1.11 Definición y principios de funcionamiento	20
2.1.12 Materiales utilizados	21
2.1.13 Sistema de drenaje.....	25
2.1.14 Subdren francés	26
2.1.14.1 Descripción y funcionamiento.....	26
2.1.14.2 Componentes básicos..	26

2.1.14.3	Diferencias con el drenaje común y drenaje Frances.	27
2.1.14.4	Drenaje común.	27
2.1.14.5	Drenaje francés.	28
2.1.15	Modelos o experiencias análogas:	28
2.1.16	Integración de cuneta permeable y subdren francés.	32
2.1.17	Estudios previos y casos de éxito	33
2.2	Marco Legal:	35
2.2.1	Constitución	35
2.2.2	Reglamento de titulación de la Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil.	36
2.2.3	Legislación y normativa aplicable.	38
2.2.4	Normativa de Uso y Regulación - Agua Pluvial	38
2.2.5	Normativa Ambiental	39
2.2.6	Legislación y normativa aplicable.	40
2.2.7	Normativas y Recomendaciones Técnicas	40
2.2.7.1	Normas Técnicas de Diseño Hidráulico.	41
2.2.7.2	Recomendaciones sobre Materiales y Construcción.	41
CAPÍTULO III.		42
MARCO METODOLÓGICO		42
3.1	Enfoque de la investigación	42
3.2	Alcance de la investigación.	43
3.3	Técnica e instrumentos para la obtención de datos en la elaboración del hormigón permeable.	43
3.4	Instrumentos utilizados en los ensayos (descripción y figuras)	45
3.5	Ensayo de compresión en cilindros de hormigón permeable	47
3.5.1	Resultados obtenidos	48
3.5.2	Representación Gráfica de Resultados	48
3.6	Prueba de filtración de agua en hormigón permeable	49
3.7	Procedimientos	50
3.7.1	Prueba de filtración y coeficiente de permeabilidad real (Basado en el ensayo realizado)	51
3.7.2	Desarrollo del Caudal de Diseño para un sistema de drenaje	52
3.7.3	Parámetros de Diseño.	53

3.7.3.1 Parámetros para el cálculo del Caudal de Escorrentía Total (Q_{Total})..	54
3.7.3.2 Cálculo del Caudal Filtrado por la cuneta ($Q_{Filtrado}$).	54
3.7.3.3 Cálculo del Caudal Excedente Para Gestionar ($Q_{Excedente}$)..	54
3.7.3.4 Evaluación del volumen de escorrentía y volumen filtrado..	55
3.7.3.5 Cálculo de eficiencia de filtración hidráulica en la cuneta..	55
3.7.3.6 Evaluación del caudal filtrado por la cuneta con un coeficiente de permeabilidad típico $K = 0.005ms$	55
3.7.3.7 Evaluación del caudal excedente a gestionar ($Q_{Excedente}$)..	56
3.7.3.8 Evaluación de los volúmenes..	56
3.7.3.9 Evaluación de la eficiencia de filtración hidráulica en la cuneta.	56
3.7.3.10 Cálculo de la pendiente adecuada y el caudal máximo..	56
3.7.4. Evaluaciones alternativas para el Sistema de cuneta permeable con Subdren Frances	58
3.7.4.1 Alternativa A.....	59
3.7.4.2 Alternativa B.....	60
3.8. Población y muestra	61
3.8.1 Población	61
3.8.2 Muestra	61
3.9. Diagrama metodológico	62
3.9.1. Títulos objetivos específico.....	62
3.9.2. Desarrollo metodológico.....	62
3.10. Proceso y materiales para el ensayo	63
3.10.1 Ensayo de compresión a los 7 días cilindros de hormigón permeable	67
3.10.2 Ensayo de compresión a los 14 días cilindros de hormigón permeable	68
3.10.1 Ensayo de compresión de cilindros de hormigón permeable a los 28 días	69
3.10.2. Prueba de filtración del hormigón permeable	71
CAPÍTULO IV	72
PROPUESTA Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	72
4.1 Introducción a la propuesta.....	72
4.2 Objetivo de la propuesta	73

4.3	Análisis de resultados	73
4.3.1	Análisis de resultados de materiales, mezcla y resistencia a compresión.	73
4.3.2	Filtración y permeabilidad	74
4.3.3	Sistema constructivo	75
4.3.4	Dosificación empleada en la cuneta	77
4.3.5	Análisis de la Carga Hidráulica de Diseño	77
4.3.6	Coeficiente de escurrimiento	77
4.3.7	Eficiencia hidráulica.....	78
CONCLUSIONES		79
RECOMENDACIONES		80
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		82
ANEXOS.....		87

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tabla de clasificación para la elaboración hormigón permeable.....	44
Tabla 2. Tabla de instrumentos utilizados	45
Tabla 3. Tabla de especificación y detalles para la prueba a compresión	47
Tabla 4. Tabla de edades del desarrollo de las probetas	48
Tabla 5. Tabla del desarrollo de la prueba de filtración del hormigón permeable ...	50
Tabla 6. Tabla Dosificación por metro cúbico (m ³) de hormigón es la siguiente:	77

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Hormigón permeable	6
Figura 2. Hormigón poroso	7
Figura 3. Cuneta triangular	14
Figura 4. Cuneta trapezoidal.....	15
Figura 5. Cuneta rectangular	15
Figura 6. Cuneta parabólica.....	16
Figura 7. Cuneta bordillo.....	16
Figura 8. Bordillo cuneta construida con hormigón simple	19
Figura 9. Bordillo cuneta construida con hormigón simple	19
Figura 10. Balanza.....	46
Figura 11. Moldes metálicos cilíndricos.....	46
Figura 12. Grafico de comportamientos de resistencia de edades de las probetas .	49
Figura 13. Coeficiente de escurrimiento.....	53
Figura 14. Coeficiente de parametrización.....	53
Figura 15. Diagrama Metodológico	62
Figura 16. Materiales para elaborar el hormigón permeable	64
Figura 17. Material grueso para mezcla de hormigón (piedra)	64
Figura 18. Material fino utilizado para la elaboración del hormigón permeable (arena)	65
Figura 19. Adición de agua potable a la mezcla de hormigón	65
Figura 20. Preparación de cilindros para vaciado de mezcla de hormigón.....	66
Figura 21. Cilindros de hormigón permeable (Muestras).....	66
Figura 22. Cilindro de hormigón en prensa hidráulica (a los 7 días de fundido)	67
Figura 23. Rotura de cilindro de hormigón permeable (ensayo de compresión).....	67
Figura 24. Resultado ensayo de compresión en cilindro de hormigón permeable ...	68
Figura 25. Cilindro de hormigón permeable listo para el ensayo de compresión día 14	68
Figura 26. Prensa hidráulica utilizada para ensayo de compresión en cilindros de hormigón permeable a los 14 días de fundido.....	69
Figura 27. Ensayo de compresión en cilindro a los 28 días de fundido	69
Figura 28. Rotura de cilindro a los 28 días.....	70
Figura 29. Resultado de la rotura del cilindro a los 28 días	70

Figura 30. Volumen 200 ml de agua en recipiente para ser filtrado en hormigón permeable.....	71
Figura 31. Prueba de filtración de agua en hormigón permeable	71

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1. Equipo de balanza.....	87
ANEXO 2. Material grueso y fino listo para la mezcla de hormigón.....	88
ANEXO 3. Adición de cemento a la mezcla	89
ANEXO 4. Mezcla elaborada con todos los materiales que intervienen en el hormigón permeable.....	90
ANEXO 5. Vaciado de mezcla en cilindros para hormigón.....	91
ANEXO 6. Preparación de moldes para paneles de hormigón permeable	92
ANEXO 7. Cilindros de hormigón permeable (Muestras)	93
ANEXO 8. Cilindros elaborados con hormigón permeable	94
ANEXO 9. Colocación de cilindros en piscina para curado de hormigón	95
ANEXO 10. Piscina para curado de hormigón	96
ANEXO 11. Cilindros de hormigón listos para el ensayo de compresión.....	97
ANEXO 12. Cilindro 7 días de fundido listo para ensayo de compresión	98
ANEXO 13. Cilindro 7 días de fundido listo para ensayo de compresión	99
ANEXO 14. Ensayo de compresión de cilindros de hormigón permeable a los 14 días	100
ANEXO 15. Resultado ensayo de compresión a los 14 días.....	101
ANEXO 16. Prensa hidráulica utilizada para ensayo de compresión a los 28 días de fundido.....	102
ANEXO 17. Rotura de cilindro a los 28 días.....	103
ANEXO 18. Prueba de filtración de agua en hormigón permeable.....	104
ANEXO 19. Ensayo de resistencia a la compresión de Cilindros de Concreto	105

INTRODUCCIÓN

Para este proyecto de titulación se propone la implementación del hormigón permeable en cunetas para mejorar el drenaje pluvial en las vías.

Nuestro proyecto de investigación presenta un hormigón que permite la filtración del agua pluvial. Complementándose con un subdren francés, el cual está constituida por material grueso, tubería perforada y geotextil.

En el capítulo uno: Se desarrolla exponiendo el caso del problema que son los drenajes pluviales, planteamiento de problema, objetivos generales, específico e hipótesis, planteando la solución al problema y línea de investigación

En el capítulo dos: Se desarrolla la teórica donde hace referencia a todos los autores que se dedicaron a investigar temas similares de nuestro proyecto.

En el capítulo tres: Se desarrolla la metodología a utilizar en nuestro proyecto de investigación

Explicando el por qué nuestra investigación es de carácter cuantitativo con un enfoque descriptivo al desarrollo del tema. Se explica los instrumentos utilizados en el laboratorio Arnaldo Ruffili de la Universidad de Guayaquil, técnica por medio de los ensayos de compresión y filtración de agua en el hormigón permeable. Así mismo, se determina la población y muestra para nuestro caso sobre las cunetas construidas en el territorio ecuatoriano teniendo.

En el capítulo cuatro: Se desarrolla la investigación ya en forma práctica dentro del laboratorio de hormigón de la Universidad de Guayaquil

Por medio de una resistencia de hormigón permeable de 210 kg/ cm² elaborando cilindros para su prueba de ensayo de compresión a los 7,14,28 días, dando como resultados efectivos de acuerdo a lo planteado en nuestros tres objetivos específicos

CAPÍTULO I

ENFOQUE DE LA PROPUESTA

1.1 Tema:

Evaluación de un sistema de cuneta permeable con subdren francés como medida de contingencia para reducción de escorrentía.

1.2 Planteamiento del Problema:

En Ecuador, el incremento en la frecuencia e intensidad de las lluvias vinculado al cambio climático y al crecimiento urbano no planificado ha superado la capacidad funcional de los sistemas de drenaje pluvial.

Las cunetas convencionales, son construidas en hormigón simple o tierra, presentando serias limitaciones técnicas, al no estar bien diseñadas para conducir el agua el agua, se obstruyen con facilidad, mayormente se agrava con secciones hidráulicas inadecuadas, pendientes mal diseñadas, frecuentes obstrucciones por residuos sólidos y, sobre todo, nula capacidad de infiltración. Estas limitaciones provocan inundaciones, deteriorando el espacio urbano afectando la movilidad peatonal y vehicular.

Ante esta problemática, se ha propuesto la evolución de un sistema de las cunetas de hormigón permeable con la incorporación al implementar un subdren francés con medida de contingencia que garanticen su funcionamiento en condiciones adversas. No obstante, la efectividad del sistema puede verse comprometida en zonas con niveles freáticos elevados, donde la capacidad de infiltración del suelo se reduce y aumenta el riesgo de saturación persistente.

Una solución viable es la implementación de un subdren francés, una estructura subterránea de drenaje que recoge y redirige el exceso de agua filtrada como sistema auxiliar que actúe cuando el nivel freático impide la infiltración natural.

Por lo tanto, se requiere evaluar el sistema de cuneta permeable con subdren francés, con el objetivo de establecer alternativas de drenaje que no solo respondan a los principios de sostenibilidad, eficiencia hidráulica y la capacidad operativa en condiciones hidrogeológicas locales.

1.3 Formulación del Problema:

¿De qué manera el hormigón permeable en un sistema de cuneta con subdren francés puede contribuir a mitigar el escurrimiento superficial?

1.4 Objetivo General

Evaluar la efectividad técnica del hormigón permeable en un sistema de cuneta con subdren francés.

1.5 Objetivos Específicos

Determinar los materiales que intervienen en la construcción de una cuneta de hormigón permeable incorporando subdren francés para su clasificación.

Calcular la dosificación de los materiales del hormigón permeable en la cuneta para su elaboración.

Comprobar la filtración de agua en el hormigón permeable para la evaluación en una cuneta

1.6 Hipótesis:

El sistema de cunetas de hormigón permeable con subdren francés contribuirá a disminuir el escurrimiento superficial en zonas afectadas por lluvias intensas.

1.7 Línea de Investigación Institucional

"Territorio, medio ambiente y materiales innovadores para la construcción"
(UNIVERSIDAD LAICA VICENTE ROCAFUERTE [ULVR], s.f.)

CAPÍTULO II

MARCO REFERENCIAL

2.1 Marco Teórico

2.1.1 Antecedentes

La problemática del manejo inadecuado del drenaje pluvial, especialmente en zonas vulnerables a lluvias intensas, ha sido ampliamente documentada.

En Ecuador, el crecimiento urbano no planificado, sumado al aumento de intensidad de lluvias, ha generado serios problemas de escorrentía superficial que sobrepasan la capacidad de los sistemas de drenaje pluvial convencionales. Estudios previos han muestran que las cunetas convencionales presentan limitaciones significativas, como secciones insuficientes y ausencia de capacidad de infiltración, lo que incrementa la frecuencia y magnitud de las inundaciones urbanas. Esta realidad refleja la incapacidad de la infraestructura pluvial convencional para adaptarse al ritmo acelerado de expansión urbana y a la creciente intensidad de los fenómenos meteorológicos.

En consecuencia, el drenaje es un factor esencial para canalizar de forma adecuada las condiciones de escurrimiento esto pone de relieve la necesidad urgente de explorar nuevas alternativas, en la actualidad se ha adquirido una popularidad el denominado hormigón permeable, su antecesor es el conocido hormigón poroso, que tiene como virtud principal el adecuado manejo del agua de lluvia. Este hormigón se usa principalmente en aplicaciones viales, pavimentos, bermas, áreas de estacionamiento, etc. Teorías que utilizará:

- Estudio de la gestión de drenaje en zonas urbanas Este artículo analiza las soluciones innovadoras para el drenaje urbano, destacando las cunetas permeables como una opción efectiva frente a las obstrucciones y las limitaciones de los sistemas convencionales.

- Teoría del Escurrimiento Superficial y la Infiltración El estudio se centra en cómo el tipo de suelo y las características de la infraestructura afectan la capacidad de infiltración del agua y cómo las soluciones como las cunetas permeables pueden ser efectivas en la reducción del escurrimiento superficial. (Gutierrez et al., 2017).

2.1.2 Hormigón permeable

El hormigón permeable es un tipo de hormigón con una alta porosidad que permite que el agua de lluvia se filtre a través de él hacia el subsuelo. Esta capacidad se logra al reducir la cantidad de arena en la mezcla, lo que crea espacios vacíos entre los agregados de piedra que componen el material.

El hormigón permeable es un tipo especial de hormigón que se caracteriza por su alta porosidad, permitiendo la filtración del agua a través de su estructura. Está compuesto principalmente por cemento, agregado grueso (sin o con muy poco agregado fino), agua en una relación agua-cemento de entre 0,28 y 0,40, contenido de huecos del 15 al 25%

El hormigón permeable es la solución viable para la gestión de aguas pluviales, ya que reduce la escorrentía, filtra contaminantes y disminuye la necesidad de grandes infraestructuras hidráulicas, lo que ayuda a una gestión más eficiente en áreas urbanas. (Navarrete, 2024).

Figura 1.

Hormigón permeable



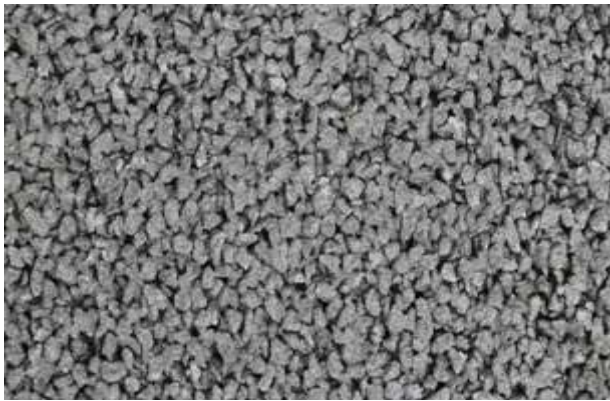
Fuente: Istock (2010)

2.1.3 Las ventajas del hormigón poroso incluyen:

Permite la filtración de aguas de lluvia, disminuyendo así la presencia de contaminantes. Minimiza la erosión al bajar considerablemente la escorrentía de estacionamientos y otras áreas pavimentadas. Disminuye la necesidad de contar con bordillos y sistemas de alcantarillado pluvial.

Figura 2.

Hormigón poroso



Fuente: Pavi (s.f.)

Según Chango (2020) realizado para la Escuela Politécnica Nacional, se enfocó en desarrollar un diseño de hormigón permeable para pavimentos. La meta era lograr una doble propiedad: una alta capacidad de drenaje y una resistencia a la flexión de 4 MPa. Para ello, se emplearon agregados de distintas zonas de la provincia de Pichincha (Pifo, San Antonio y Guayllabamba) y se tomaron como guía las recomendaciones del informe ACI 522R (2010).

Un pavimento con alta permeabilidad puede ofrecer varias ventajas, como ayudar a recargar los acuíferos, reducir los costos en la construcción de sistemas de drenaje urbano y prevenir accidentes o problemas en carreteras que no tengan un buen sistema de filtración o drenaje para aguas lluvias u otras fuentes. Para verificar la permeabilidad, se realiza el ensayo normado ASTM C1701/C1701M en losas de 850 milímetros de largo, 850 milímetros de ancho y 200 milímetros de espesor, utilizando diferentes diseños de hormigón permeable como pavimento (Chango, 2020).

La capacidad del hormigón para ser utilizado en pavimentos se evalúa a través de su resistencia a la flexión, mediante el uso de vigas de hormigón que se prueban siguiendo lo establecido en la norma ASTM C78/C78M (Chango, 2020).

En su trabajo de investigación para la Universidad Estatal de Milagro, Paredes et al. (2024) centró su atención en la creación de un modelo de hormigón permeable destinado a las zonas de ocio de la UNEMI. En este análisis, el autor menciona que:

El caso práctico presentado en el documento se refiere al desarrollo de un prototipo de hormigón permeable destinado a zonas recreativas en la Universidad Estatal de Milagro (UNEMI) (Paredes et al., 2024).

El propósito principal es analizar la factibilidad técnica, económica y ecológica de este material como una opción sostenible para gestionar las aguas de lluvia en el campus universitario (Paredes et al., 2024).

El hormigón permeable se caracteriza por su capacidad de permitir que el agua pase a través de su superficie, lo que ayuda a gestionar la escorrentía superficial, evitando inundaciones y favoreciendo la infiltración del agua en el suelo (Paredes et al., 2024).

Este tipo de tecnología no solo ofrece ventajas para el medio ambiente, sino que también ayuda a establecer zonas verdes, contribuyendo a un entorno urbano más sostenible y resistente (Paredes et al., 2024).

La escorrentía, también conocida como escurrimiento, es el flujo de agua que se produce cuando un reservorio o canal, ya sea natural o artificial, se desborda. En hidrología, este término describe la capa de agua que fluye sobre la superficie dentro de una cuenca de drenaje, es decir, la cantidad de agua de lluvia que, distribuida, alcanza determinada altura medida en milímetros. Generalmente, se calcula restando de la precipitación total la evapotranspiración efectiva y la cantidad de agua que se infiltra en el suelo (Cervantes, 2020).

Según la teoría de Horton, la escorrentía se forma cuando las precipitaciones superan la capacidad del suelo para absorber el agua, situación que es más común en zonas áridas con lluvias intensas. Esta condición puede corregirse con la teoría de la saturación, que se aplica en áreas con lluvias frecuentes y abundantes, donde la escorrentía ocurre cuando los compartimentos del suelo están completamente saturados de agua (Chango, 2020).

La escorrentía es uno de los procesos fundamentales del ciclo del agua. Se refiere al flujo de agua proveniente de lluvias o derretimiento de nieve que circula sobre la superficie del suelo, especialmente cuando esta agua supera la capacidad de evaporación y de infiltrarse en el suelo, según explica el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). Existen diferentes tipos, como la superficial, la hipodérmica y la subterránea (Chango, 2020).

La escorrentía superficial es una de las causas más importantes de erosión en todo el mundo. Resulta especialmente perjudicial en suelos con baja permeabilidad, como los de tipo arcilloso, y en regiones con poca cobertura vegetal.

El trayecto que sigue el agua está determinado por diferentes factores del ambiente, incluyendo el clima, la pendiente del terreno y el tipo de roca existente. De igual forma, en áreas que están formadas por materiales sueltos o con alta porosidad, es común que una considerable cantidad de agua se absorba y permanezca en vez de desplazarse.

La escorrentía superficial constituye un problema importante para la infraestructura vial, ya que puede provocar inundaciones y daños en áreas urbanas. Por ello, una gestión adecuada de esta escorrentía es fundamental para reducir efectos adversos como la erosión, la contaminación y deterioro de infraestructuras.

La gestión de la escorrentía comprende el conjunto de técnicas y sistemas destinados a regular el agua de lluvia que no logra infiltrarse en el suelo y que, en su lugar, circula sobre la superficie. El proceso de urbanización, al aumentar las superficies impermeables como pavimentos y edificaciones, aumenta

significativamente el volumen de escorrentía superficial, superando la capacidad de los sistemas de drenaje convencionales y provocando inundaciones en zonas urbanas como en vías de comunicación.

En Ecuador, la combinación de precipitaciones intensas y un crecimiento urbano desordenado ha intensificado esta problemática lo que resalta la necesidad de implementar Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) que promuevan la infiltración y que gestionen de manera eficiente el flujo de aguas pluviales

2.1.4 Problemática de la escorrentía en infraestructura vial

La escorrentía intensa y mal gestionada genera una serie de problemas en infraestructura vial, tales como:

- Erosión del suelo y deterioro prematuro de pavimentos y bordillos.
- Inundaciones que afectan la movilidad y la seguridad vial.
- Sobrecarga y colapso de sistemas convencionales de drenaje, causantes de daños estructurales.

Según Flores (2017) Por estas dificultades, se vuelve necesario crear sistemas alternativos que ayuden a reducir la cantidad y la velocidad del agua de lluvia, protegiendo la infraestructura.

2.1.5 Impactos ambientales de la escorrentía superficial

Consuegra (2025) Cuando la escorrentía no se controla, arrastra contaminantes como sedimentos, aceites, metales pesados y basura hacia ríos, lagunas y quebradas, lo que deteriora la calidad del agua y afectando ecosistemas acuáticos. Además, altera el ciclo hidrológico, disminuye la recarga de acuíferos y contribuye a la erosión en zonas naturales y urbanas. Por ello, la gestión integral de la escorrentía busca reducir estos efectos aplicando técnicas que favorezcan la infiltración y la retención del agua.

2.1.6 Limitaciones en la gestión de escorrentía

A pesar de los avances en técnicas y herramientas para controlar la escorrentía, as cunetas tradicionales presentan importantes limitaciones en la gestión de la escorrentía superficial, entre las que destacan:

- Carecen de capacidad para infiltrar el agua, por lo que no reducen volúmenes ni velocidades de escorrentía.
- Son susceptibles a obstrucciones por sedimentos y basura, lo que reduce su eficacia y puede empeorar inundaciones.
- Conducen el agua rápidamente, aumentando el riesgo de erosión aguas abajo.
- No contribuyen a la mejora de la calidad del agua pluvial ni a la recarga de acuíferos.

2.1.7 Parámetros que influyen en la escorrentía

Los factores más relevantes que influyen en la escorrentía:

- La intensidad de la precipitación.
- La impermeabilización de grandes áreas en ciudades y zonas metropolitanas ha modificado de forma notable el balance hídrico, reduciendo la infiltración del agua en el suelo y favoreciendo el aumento de la escorrentía (Bernilla, 2021).
- La humedad preexistente en el suelo o la roca.
- Las características de evacuación del material en sí.

La comparación entre estas variables permite obtener información sobre los procesos que se pueden presentar bajo diferentes situaciones. Es importante señalar que el comportamiento del escurrimiento o escorrentía está relacionado con las características del suelo en el momento en que ocurre la precipitación. De hecho, factores como el grado de humedad previa, la capacidad de infiltración y la compactación del terreno pueden modificar de manera significativa la respuesta del

suelo frente a la lluvia. Según Bernilla (2021) la formación de escorrentía depende de cómo se vinculan la fuerza de la lluvia y el nivel de humedad del suelo. Para entender mejor esto, podemos observar los siguientes cuatro casos:

a) Si la intensidad de la precipitación es menor que la capacidad de infiltración y el nivel de humedad del suelo es menor a su capacidad máxima, casi no hay escurrimiento. El suelo, como una esponja sedienta, se bebe casi toda el agua que cae del cielo. Esta agua se queda ahí, quietecita, sin moverse mucho bajo la superficie, simplemente humedeciendo la tierra (Bernilla, 2021).

b) En situaciones donde la cantidad de lluvia que cae es inferior a lo que el suelo puede absorber y la humedad en el suelo se acerca o coincide con su límite máximo, una fracción de la lluvia terminará fluyendo sobre la superficie; no obstante, las cantidades seguirán siendo relativamente pequeñas.

El movimiento del agua debajo de la superficie será significativo. Es posible observar que esta segunda condición a menudo surge de la primera, cuando la lluvia perdura de manera continua durante un periodo determinado (Bernilla, 2021).

c) En caso de que la lluvia caiga con más fuerza de la que el terreno puede absorber, y si la tierra o la roca no están tan húmedas como podrían estar, el suelo actuará de forma peculiar. Aunque le cueste absorber el agua, si está bastante seco, aprovechará parte de la lluvia para humedecerse.

Solo una cantidad pequeña del agua terminará escurriendo superficialmente (Bernilla, 2021).

d) Finalmente, cuando la intensidad de la precipitación es mayor supera la habilidad de absorción y la cantidad de humedad en la tierra o roca es igual o superior a su límite. En esta situación, dado que el terreno está casi saturado, no permitirá una absorción significativa, de manera que la mayor parte del agua que cae se transformará en escurrimiento en la superficie.

Si la capa superior del suelo no permite que el agua se infiltre con facilidad, la saturación se producirá solo cerca de la superficie, impidiendo que la humedad llegue a mayor profundidad y favoreciendo que el agua fluya sobre el terreno como escorrentía (Bernilla, 2021).

2.1.8 Sistemas tradicionales de drenaje fluvial

Los sistemas tradicionales de drenaje pluvial, también conocidos como sistemas de alcantarillado pluvial, se enfocan en la recolección y transporte rápido de aguas de lluvia desde las áreas urbanas hacia cuerpos de agua como ríos, lagos o el mar. Estos sistemas, basados en el principio de transporte, buscan evacuar la mayor cantidad de agua posible en el menor tiempo.

2.1.8.1.Cunetas. Las cunetas son canales que pueden encontrarse en uno o ambos lados de una calle, vías o carretera, dependiendo de las características del terreno.

Estas cunetas o canales se encuentran ubicados a lo largo de la calle, vías o carretera, pueden estar revestidas o elaboradas con hormigón hidráulico, con el objetivo de recoger y conducir las corrientes de agua que corre sobre la superficie.

Cuando las cunetas están recubiertas de cemento se busca prevenir la erosión del suelo causada por la acción del agua. Aquí disponemos de dos clases distintas de cunetas.

1.- Cunetas de superficie: Son aquellas que recogen el agua que corre por la superficie del terreno, evitando acumulación y daños en la vía. Generalmente están diseñadas para transportar el agua de manera rápida hacia puntos de descarga o sistema de drenaje.

2.- Cunetas de drenaje: Estas cunetas están diseñadas no solo para conducir el agua superficial, sino también facilita la evacuación del agua a través de sistemas complementarios, para mejorar el manejo del agua y reducir los problemas de escurrimiento o erosión.

2.1.8.2. Clasificación de las cunetas según su forma. Entre ellas se tiene la triangular, trapezoidal, rectangular, parabólica y bordillo cuneta

1.- Triangular: Son utilizadas comúnmente en carreteras y en terrenos con pendiente o taludes pronunciados. Su forma triangular facilita el drenaje eficiente del agua en zonas inclinadas, permitiendo que el flujo de agua conduzca de manera rápida y evite acumulaciones que puedan causar daños como erosión o daños en la estructura vial. Su diseño facilita el drenaje del agua en áreas donde el terreno presenta desniveles fuertemente marcados.

Figura 3.

Cuneta triangular



Fuente: Hormibal (2025)

2.- Trapezoidal: Este tipo de cuneta se caracteriza por ofrecer una mayor capacidad de flujo de agua y proporciona una mejor estabilidad, mediante su base ancha y lados inclinados que permiten un caudal eficiente. Además, su forma proporciona una mejor estabilidad estructural en zonas donde se requiera mayor volumen de agua sin que la cuneta o el canal sufra daños por erosión o desplazamientos.

Figura 4.

Cuneta trapezoidal

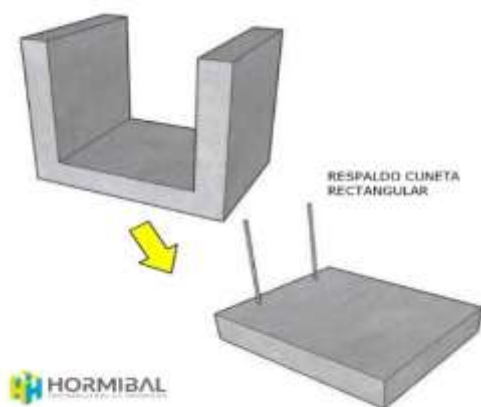


Fuente: Yellow Services (2023)

3.- Rectangular: Este tipo de cuenta es comúnmente usada en zonas urbanas y espacios reducidos donde el terreno limita el área disponible para el drenaje. Su diseño rectangular la hace fácil de construir. Sin embargo, presenta menor capacidad de autolimpieza, lo que requiere un mantenimiento más frecuente para evitar acumulaciones de sedimentos o residuos.

Figura 5.

Cuneta rectangular



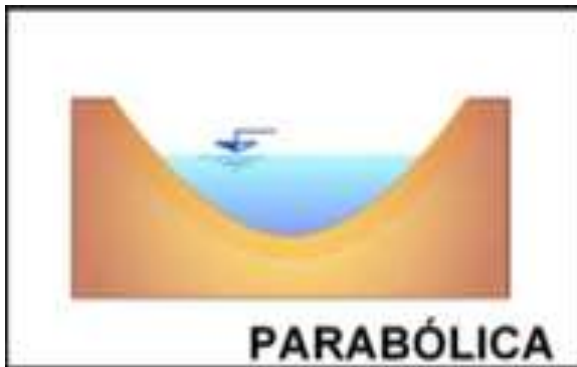
Fuente: Hormibal (2025)

4.- Parabólica: Este tipo de cuneta tiene una sección que brinda reducir la erosión causada por el flujo del agua, ya que con sección curva permite el paso del

agua y disminuye la velocidad en puntos críticos. Su diseño minimiza los riesgos. Sin embargo, tiende a tener una capacidad hidráulica menor a comparación de otros diseños, por lo que es adecuada en zonas donde el volumen del agua no es tan elevado.

Figura 6.

Cuneta parabólica

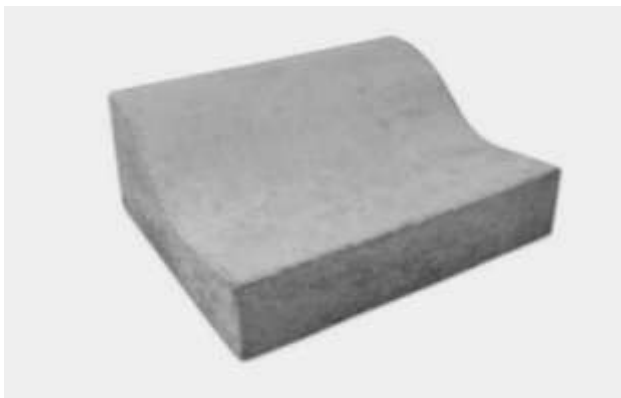


Fuente: Ing. Civil Free (2022)

5.- Bordillo cuneta: Esta cuneta integra el bordillo y la cuneta en un solo elemento, se construye directamente en la zona para conducir el agua de lluvia a lo largo de las calles, vías o carriles, facilitando su evacuación y evitando la acumulación de la calzada de las aceras o áreas peatonales. Este diseño es óptimo para su funcionalidad y eficiencia en el manejo del agua pluvial.

Figura 7.

Cuneta bordillo



Fuente: Konkret (2023)

2.1.8.3. Sección transversal de las cunetas. La sección transversal de una cuneta corresponde al perfil de su corte perpendicular, el cual define la manera en que el agua es conducida, así como su estabilidad y adecuación al terreno donde se instala. Dependiendo de su forma, que puede ser triangular, trapezoidal, parabólica, rectangular o tipo bordillo-cuneta, se busca optimizar el flujo del agua y minimizar la erosión causada por la escorrentía. Cada forma ofrece diferentes ventajas en términos de capacidad hidráulica y resistencia estructural, lo que permite adaptar las cunetas a distintas condiciones topográficas y funcionales.

La elección de la sección transversal debe considerar factores como la pendiente del terreno, el volumen esperado de agua, la facilidad de construcción y mantenimiento, así como la durabilidad frente a condiciones climáticas y carga vehicular. Una sección bien diseñada no solo mejora la evacuación de aguas pluviales, sino que también contribuye a la conservación del suelo y a la prevención de daños en la infraestructura adyacente.

Según Grupo Argos (2024) Las cunetas son componentes de drenaje que forman parte esencial de la calzada de una vía, ya que aseguran el funcionamiento adecuado de las mismas. Su ausencia puede provocar serios problemas durante la temporada de lluvias, causando inestabilidad en las estructuras viales.

2.1.9 Selección y análisis del tipo de cuneta a evaluar

En el proceso de investigación de los tipos de cunetas se evalúa el sistema del bordillo - cuneta de hormigón permeable con un subdren francés como medida de contingencia para reducción de escorrentía.

Esta combinación permite que el agua de lluvia se infiltre a través del hormigón permeable, disminuyendo el volumen y la velocidad de escorrentía, mientras que el subdren francés recoge el exceso de agua que atraviesa la cuneta, evitando saturaciones del suelo y posibles daños estructurales.

Se determina un sistema de bordillo – cuneta principalmente por su funcionalidad y adaptación a entornos urbanos. Este tipo de cuneta integra el bordillo y la cuneta en una sola pieza de hormigón, lo que permite delimitar la calzada mientras conduce el agua, protegiendo la vía y evitando que la escorrentía erosione los bordes. Además, ocupa menos espacio que cunetas trapezoidales o parabólicas, lo que la hace ideal en áreas urbanas con calles estrechas o pavimentos limitados.

Su diseño integrado mejora la durabilidad, disminuye las filtraciones y facilita el mantenimiento. Además, la bordillo-cuneta se adapta fácilmente a sistemas de drenaje, como el hormigón permeable con subdren francés, optimizando la infiltración y controlando eficazmente la escorrentía, lo que la convierte en la opción más práctica y eficiente frente a otros tipos de cunetas.

Los bordillos - cunetas, forman una barrera entre el pavimento y la franja natural. Proporcionan drenaje y evitan la entrada de agua bajo la superficie. Esto ayuda a mantener la carretera en buen estado al reducir la cantidad de baches y desperfectos.

La unión de los bordillos con la cuneta crea un canal en forma de triángulo, el cual puede generar un escurrimiento que es igual o menor al flujo de diseño sin afectar la circulación vehicular. Cuando esto sucede en caudal de diseño, se produce una expansión que no solo abarca el ancho de la cuneta, sino que también puede extenderse a algunas áreas de los espacios de estacionamiento o los lados de la carretera y partes del carril utilizado. (Nuñez, 2025).

La elección de este sistema responde a tres criterios principales: funcionalidad hidráulica, eficiencia espacial y adaptabilidad urbana.

El hormigón permeable permite la infiltración del agua de lluvia, reduciendo el volumen y la velocidad del escurrimiento superficial.

El subdren francés capta el exceso de agua que atraviesa la cuneta, evitando la saturación del terreno y disminuyendo riesgos de daños en la estructura vial.

El bordillo-cuneta integrado cumple una doble función: delimita la calzada y conduce el agua de forma controlada, protegiendo los bordes del pavimento contra erosión.

Figura 8.

Bordillo cuneta construida con hormigón simple



Fuente: Istock (2024)

Figura 9.

Bordillo cuneta construida con hormigón simple



Fuente: Istock (2024)

2.1.10 Cunetas permeables

Las cunetas permeables, construidas con hormigón permeable, se caracterizan por permitir que el agua de lluvia atraviese su superficie, facilitando así la infiltración del agua en el suelo y reduciendo la escorrentía superficial. Esta capacidad ayuda a prevenir inundaciones, disminuye el volumen y la velocidad del agua que fluye sobre la superficie, y contribuye a la recarga de los acuíferos. Además, las cunetas permeables contribuyen a mejorar la calidad del agua al filtrar contaminantes en el proceso de infiltración, representando una solución eficiente para la gestión integral de aguas pluviales en áreas urbanas.

2.1.11 Definición y principios de funcionamiento

Según Flores (2017) Las cunetas permeables son estructuras diseñadas con materiales que permiten y facilitan la infiltración directa de agua pluvial a través de sus materiales porosos, que ayuda a disminuir o retrasar el flujo del agua de lluvia que corre por la superficie y así reduce el flujo superficial de escorrentía.

Su principio es imitar el ciclo natural del agua previo a la urbanización, permitiendo que parte del agua se infiltre en el suelo y disminuyendo así el volumen y velocidad de escorrentía que llega a los sistemas de drenaje convencionales. Además, contribuyen a la mejora de la calidad del agua mediante procesos naturales de filtración.

Este proceso no solo reduce significativamente la cantidad y velocidad del agua que llega a los sistemas de drenaje convencionales, sino evita la saturaciones y posibles inundaciones, para así mejorar la calidad del proceso de conductividad de las aguas pluviales.

Este es un proceso innovador contribuye en el entorno urbano más funcional y flexible ante diversas condiciones. Su aplicación facilita un mejor manejo del agua pluvial.

Según Cervantes (2020) en su tesis titulada “Estudio de Factibilidad Del Concreto Permeable y Su Posible Aplicación en La Ciudad de Barranquilla, Colombia” expresa lo siguiente:

El presente trabajo tiene como finalidad analizar el impacto de implementar un concreto permeable, de manera que el agua de lluvia se pueda absorber sin afectar las características fundamentales y operativas (Cervantes, 2020).

2.1.12 Materiales utilizados

El material más común para cunetas permeables es el hormigón permeable, fabricado con una mezcla controlada de:

- Cemento
- Agregados gruesos (grava)
- Arena
- Agua en proporciones adecuadas para generar una red interconectada de poros abiertos

Flores (2017) Este material permite alta capacidad de infiltración mientras mantiene la resistencia estructural necesaria para la función vial. También se emplean geotextiles y materiales filtrantes para proteger la estructura y evitar la obstrucción por sedimentos.

Se llevó a cabo una investigación sobre 50 formulaciones de mezcla de concreto permeable realizados a nivel local e internacional, se utilizó la guía de la norma ACI 522-R para proponer el diseño de 2 concretos permeables y corroborar su aplicabilidad en la ciudad de Barranquilla, que actualmente presenta una falta en su sistema de drenaje, lo que provoca la formación de grandes corrientes de agua durante las lluvias (Cervantes, 2020).

El análisis de resultados se realizó por medio de tablas, gráficos y se empleó regresión lineal simple y múltiple como técnica estadística para identificar

la relación entre las diversas variables estudiadas. La regresión múltiple aplicada a los concretos permeables del grupo G_A_Tradicional mostró un coeficiente de correlación múltiple de 0,88, lo que indica una relación fuerte, y un R² ajustado de 0,54 (Cervantes, 2020).

Se determinó que la mezcla N1 puede soportar una intensidad de lluvia de 223,8 mm/h mientras que el N2 soporta 96 mm/h, esta diferencia se debe al contenido de vacíos calculado, de 24% y 20% respectivamente (Cervantes, 2020).

Dado los resultados obtenidos se puede afirmar que la aplicación de concretos permeables es una alternativa viable para la mitigación de la problemática planteada, además de resultar más económica en comparación con un concreto convencional (Cervantes, 2020).

Según Torres (2019) en su tesis “Diseño de mezcla de concreto permeable para la construcción de la superficie de rodadura de un pavimento de resistencia de 210 kg/cm²” de la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas expresa lo siguiente:

El concreto permeable es un tipo de concreto diseñado para facilitar la filtración de agua en su interior debido a su elevado porcentaje de poros, a diferencia del concreto convencional (Torres, 2019).

Esta característica del hormigón poroso soluciona el problema de la impermeabilidad en las construcciones convencionales de hormigón, previniendo así las fallas estructurales debido al encharcamiento y escurrimiento del agua (Torres, 2019).

En esta investigación se realizó el diseño de mezcla del concreto permeable con una resistencia de 210 kg/cm², utilizando el método ACI 522. R con el fin de considerarlo como una opción para la superficie de rodadura en pavimentaciones.

Para ello se realizaron diferentes diseños de mezcla en laboratorio hasta encontrar el diseño óptimo para obtener una resistencia a la compresión de 210

kg/cm². El diseño seleccionado tenía las siguientes propiedades: una relación agua/cemento de 0.38, un porcentaje de vacíos de 13%, 1.5% de aditivo superplastificante y 7% de arena (Torres, 2019).

Para comprobar la investigación, se construyó un prototipo siguiendo el diseño realizado en el laboratorio con un área total de 2.00 m² (1.00m x 2.00m). Se evaluaron las características de consistencia, densidad y contenido de vacíos del concreto en estado fresco; en su estado endurecido, se llevaron a cabo pruebas de compresión, permeabilidad y flexión, además de aplicarle una prueba de carga (Torres, 2019).

Los resultados indicaron que el diseño de mezcla utilizado en el prototipo presentó una resistencia a la compresión de 261.58 kg/cm² y permeabilidad de 0.01744 m/s puede usarse como alternativa de superficie de rodadura para un pavimento.

Según Torres (2019) en su tesis titulada “Análisis del comportamiento a compresión y corte puro de hormigón permeable para distintas relaciones agua/cemento con adición de fibras de polipropileno” de la Universidad Técnica de Ambato expresa lo siguiente:

El hormigón permeable es un material ampliamente utilizado como pavimento en capas superficiales, sin embargo, su uso está limitado a condiciones de carga menor debido a su estructura porosa. Su aplicación contribuye en reducir problemas generados por la escorrentía superficial como inundaciones, erosión del suelo, y disminución de recursos hídricos subterráneos. Aunque hay muchas investigaciones acerca de su diseño y características, se ha observado una falta de análisis sobre su comportamiento frente a esfuerzos cortantes (Nuñez, 2025).

Esta característica es importante porque el concreto es vulnerable en esas condiciones, lo cual puede ocasionar fallas en su estructura. La investigación se centró en analizar la resistencia a compresión y corte puro de hormigón permeable

para relaciones agua/cemento de 0.30 y 0.35, y adición de microfibras de polipropileno en 2.50 y 4.00 kilogramos por metro cúbico (Nuñez, 2025).

La dosificación se realizó conforme a las recomendaciones del Comité ACI PRC-522-23, empleando ripio de 1/2 pulgada y 10 por ciento de arena. Previo a la obtención de las propiedades mecánicas, se determinaron las propiedades físicas como densidad, porosidad y permeabilidad (Nuñez, 2025).

Posteriormente, la resistencia a compresión se determinó en base a la normativa NTE INEN 1573/ASTM C39, mientras que la resistencia a corte se obtuvo mediante un procedimiento experimental a partir ensayos Push-Off, para lo cual se evaluaron tres configuraciones de viga con diferentes dimensiones y refuerzos a fin de identificar los mecanismos de fractura involucrados (Nuñez, 2025).

Los resultados mostraron que, un Existe un cambio en relación agua/cemento tuvo influencia sobre las propiedades mecánicas del hormigón permeable, incrementando la resistencia a compresión y corte en aproximadamente 31 y 70 por ciento respectivamente (Nuñez, 2025).

Por otra parte, el agregado de microfibras de polipropileno mostró una mayor incidencia sobre la resistencia al corte, mejorando en un 55 por ciento. Para llevar a cabo el análisis a corte, se eligió el modelo de viga La estructura cuenta con un refuerzo interno a base de varillas de 6 mm, mientras que externamente se fortalece con fibra de vidrio, la cual se adhiere a las caras laterales mediante una capa de mortero (Nuñez, 2025).

Según Pantoja (2024) Evaluación de pavimentos permeables como técnica para mitigar picos de escorrentía superficial de la Universidad de Colombia expresa lo siguiente.

Las lluvias intensas pueden generar inundaciones que ocasionan emergencias y daños en distintas ciudades del mundo. Las principales causas es que el suelo pierde su capacidad de absorber agua debido a la gran cantidad de superficies

impermeables. Este problema se vuelve más crítico en urbes como Manizales, que cuentan con pendientes medias y altas, ya que el agua de escorrentía circula con mayor velocidad y se acumula en mayores volúmenes, lo que aumenta la Intensidad de las Crecidas (Pantoja, 2024).

Para disminuir los efectos negativos han surgido los pavimentos permeables (PP) como infraestructura alternativa. Teniendo en cuenta lo anterior, la finalidad de este estudio fue evaluar la capacidad de los PP para reducir las tasas de escurrimiento superficial en cuencas con medias y altas pendientes (Pantoja, 2024).

La metodología empleada consistió en realizar una simulación hidrodinámica con SWMM en la cuenca experimental Palo Grande San Luis, en la cuenca que presenta las características mencionadas y está ubicada en la ciudad de Manizales, Colombia. Se utilizaron pavimentos porosos para vías vehiculares de tráfico ligero en asfalto permeable, parqueaderos en concreto permeable y áreas comunes en adoquines de concreto permeable (Pantoja, 2024).

Los pavimentos porosos propuestos para parqueaderos y estacionamientos y zonas comunes presentaron reducciones de escorrentía solo entre el 0 % y el 20 %. Se concluye que los PP propuestos en vías vehiculares reducen más la escorrentía superficial que aquellos propuestos en áreas comunes y en estacionamientos debido al área impermeable aportante que le corresponde a cada uno (Pantoja, 2024).

2.1.13 Sistema de drenaje

Es un sistema cuyo objetivo principal es garantizar la evacuación del agua generada por las lluvias en zonas habitadas o cuencas, con la finalidad de minimizar molestias, riesgos o daños a las personas, propiedades, el entorno natural y las estructuras existentes (Nuñez, 2025).

El sistema de drenaje comprende una red de tuberías, canales o dispositivos diseñados para remover el exceso de agua de un área específica, ayudando a prevenir inundaciones o acumulaciones no deseadas.

Esta infraestructura puede incluir desagües pluviales, alcantarillado, sistemas de bombeo y otros métodos que permiten conducir el agua lejos de zonas habitadas o áreas de interés (Nuñez, 2025).

Las fuentes de agua que alimentan estos sistemas pueden ser:

- El flujo superficial causado por el escurrimiento.
- El incremento del nivel del agua del subsuelo debido al riego por la elevación del río cercano.
- La lluvia directa en la región (Nuñez, 2025).

2.1.14 Subdren francés

2.1.14.1.Descripción y funcionamiento. El subdren francés es un sistema de drenaje subsuperficial empleado para captar y conducir el agua que se infiltra o se acumula bajo la superficie del terreno, con el fin de proteger estructuras, pavimentos, taludes o cimientos. Consiste en una zanja rellena con material granular (generalmente grava limpia y bien graduada) donde se coloca una tubería perforada en el fondo. Esta tubería permite la recolección y conducción del agua hacia puntos de descarga seguros, evitando acumulaciones perjudiciales.

El sistema funciona por infiltración del agua hacia la zanja, donde el filtro granular permite el paso del agua mientras retiene partículas finas para reducir la obstrucción. Un geotextil que cubre el relleno sirve como filtro adicional para evitar la entrada de finos al material drenante.

El agua captada por la tubería perforada se dirige gravitacionalmente hacia un punto de descarga como un colector, pozo de absorción o cauce natural.

2.1.14.2.Componentes básicos. Dichos componentes son zanja o excavación, material granular o medio drenante, tubería perforada, geotextil y sistema de salida.

- Zanja o excavación: De dimensiones adecuadas según el caudal a evacuar y el tipo de suelo.
- Material granular o medio drenante: Grava limpia, piedra triturada o arena gruesa que rodea la tubería para facilitar el flujo y filtración del agua.
- Tubería perforada: Normalmente de PVC u otro material resistente, colocada en el fondo de la zanja para recolectar y conducir el agua.
- Geotextil: Tela permeable que envuelve el material granular, evitando que partículas finas del terreno colmaten el sistema.
- Sistema de salida: Conducto o punto donde se descarga el agua recolectada de forma controlada.

2.1.14.3.Diferencias con el drenaje común y drenaje Frances. De entre todos los tipos de humedad existentes, la humedad ascendente es particularmente más difícil de solucionar, ya que es la humedad del lugar sobre la que está asentada nuestra casa es la que sube por las paredes. (Narvaez, 2013)

Los drenajes usados en las edificaciones de obra civil son estructuras creadas para recoger y filtrar el agua de lluvia de los terrenos y evitar que queden estancadas, con el riesgo de que se produzcan filtraciones en la estructura. (Narvaez, 2013).

2.1.14.4.Drenaje común. Como ya hemos explicado en nuestro artículo Drenaje y humedad por capilaridad, los drenajes comunes consisten en:

- Realizar una excavación perimetral a una edificación con la mayor profundidad posible (sin afectar a la base).
- Aislar la parte enterrada del muro en su capa exterior con una lámina drenante para evitar el contacto de la tierra con el muro.
- Colocar un tubo perforado, comúnmente denominado tubo de dren, y conectarlo a la red de alcantarillado.
- Rellenar la excavación con material drenante (normalmente se usan piedra de diferentes tamaños).
- Colocar tierra y pavimento.

2.1.14.5.Drenaje francés. En el drenaje francés el proceso es muy similar al del drenaje común, pero se introduce una protección de geotextil.

Hay que tener en cuenta que el tubo perforado es normalmente de material plástico, con agujeros cuya función es recoger el agua del terreno y hacerla llegar a un pozo donde es evacuada. El tubo debe colocarse con una pendiente mínima que garantice el flujo del agua, que normalmente nunca será inferior al 1%. (Narvaez, 2013).

Con el objetivo de proteger el tubo y evitar que se obstruya con tierra o piedra, el drenaje francés introduce un elemento adicional al drenaje común explicado más arriba con una protección de geotextil. El paso a paso del drenaje francés es el siguiente:

- Excavar la zanja.
- Impermeabilizar la parte enterrada del muro.
- Colocar la lámina geotextil.
- Introducir el material que permite el paso del agua, el tubo con perforaciones y de nuevo material que permite el paso del agua.
- Cerrar la lámina geotextil como un sobre.
- Colocar tierra y pavimento.

2.1.15 Modelos o experiencias análogas:

Experiencias a nivel local: En Ecuador, algunas ciudades han comenzado a explorar alternativas más sostenibles en drenaje. Por ejemplo, el proyecto de gestión de aguas pluviales en Guayaquil está evaluando la implementación de cunetas permeables para abordar los desafíos de escurrimiento superficial y las inundaciones urbanas.

Experiencias a nivel mundial: A nivel global, países como los Estados Unidos y Alemania han implementado exitosamente sistemas de drenaje con materiales permeables. En ciudades como Seattle y Berlín, se ha demostrado que las cunetas

permeables ayudan a mitigar el riesgo de inundaciones y la sobrecarga de sistemas de drenaje convencional.

Según Revelino (2014) en su tesis titulada Evaluación del sistema de drenaje de las alcantarillas y cunetas, y propuesta de replanteo de mejora en la trocha carrozable entre el sector Bellavista y Ccocha en el distrito de Haquira – Apurímac expresa:

El objetivo principal de esta investigación ha considerado como principal objetivo evaluar el sistema de drenaje de las alcantarillas y cunetas a lo largo del camino entre el sector Bellavista y Ccocha en el distrito de Haquira, para proponer un plan de mejora (Revelino, 2014).

La metodología empleada en el estudio fue de enfoque cuantitativo, de tipo aplicado con un nivel descriptivo y un diseño no experimental. El proceso se basó en la recolección de datos sobre las condiciones estructurales, funcionales e hidráulicas de las obras existentes. Para ello, se consultó el Manual de Mantenimiento o Conservación Vial del Ministerio de Transportes y se utilizó el programa HEC-RAS, con el cual se ha podido establecer si estos elementos se encuentran dimensionados correctamente; siendo necesario para ello, la consideración de información como la topografía, las secciones, el coeficiente de Manning, entre otros (Revelino, 2014).

La evaluación de la condición estructural del sistema, en lado derecho e izquierdo de la vía se registra un 81.82 % y 55.56 % de cunetas con un estado regular, pues existen tramos colmatados con la obstruidos por sedimentos, no obstante, no alcanzan una altura crítica que provoque saturación durante la temporada de lluvias (Revelino, 2014).

Desde el punto de vista hidráulico, se requiere el aumento de la sección de las cunetas, al igual que la alcantarilla. Con lo descrito, se concluye que a pesar de que las cunetas y alcantarillas cumplieran con los parámetros estándar de acuerdo con el Manual de Mantenimiento o Conservación Vial del Ministerio de transportes, al realizar

el análisis hidráulico se obtuvo una comprensión realista de su comportamiento frente a las precipitaciones máximas que ocurren (Revelino, 2014).

Según Revelino (2014) en su tesis titulada Implementación del sistema de drenaje tipo francés aplicado a la capa freática superficial para el mejoramiento de la infraestructura los servicios policiales de la comisaría PNP Catacaos – Piura 2021 de la Universidad Privada del Norte expresa lo siguiente:

Un estudio realizado en el año 2016 se realizó de mecánica de suelos, en cual concluye que el suelo es una arena limosa de capacidad portante de 0.61 kg/cm², también se revelo un 20% de humedad y con el nivel de capa freática 30 cm por debajo del nivel de cimentación (Bernilla, 2021).

Debido a estas razones que se explican en el presente trabajo, corresponde mejoras e implementar en el proyecto estructural en concordancia con el estado actual del terreno de la comisaría de Catacaos, para la cimentación el cual difiere de lo descrito en el EMS del expediente técnico, teniendo en cuenta la ocurrencia de fenómenos climáticos en la región norte del país; Para el adecuado funcionamiento de la cimentación se recomienda a implementación de un sistema de drenaje del agua subterránea, lo que evitaría problemas en el suelo en caso de un sismo importante (Bernilla, 2021).

Este trabajo se basa en un drenaje subterráneo, donde se propone los principios y la aplicación de las fórmulas que generalmente se utilizan para describir el flujo subsuperficial de agua en un en una red de tuberías de drenaje paralelas, en condiciones de régimen permanente y variable (Bernilla, 2021).

Tomando en cuenta el área de drenaje y en los planos del proyecto donde se indican la profundidad de cimentación y el nivel del agua subterránea. Se hace el trazo de las redes de recolección de agua subterránea a través de tuberías de drenaje corrugado y perforados de 110mm (Bernilla, 2021).

Para la ventilación de la red, se propuso pozos de inspección en cada cierto tramo (Bernilla, 2021).

Para la ventilación de la red, se propusieron pozos de inspección cada cierto tramo.

Según Narvaez (2013) en su tesis titulada Determinación de escorrentía superficial y calidad de agua en la cuenca de abastecimiento de la parroquia de Aloasí de la Universidad Politécnica Salesiana expresa lo siguiente:

Esta investigación se desarrolló en la cuenca del Rio Negro que pertenece a la parroquia de Aloasí cantón Mejía, ubicada en la provincia de Pichincha (Narvaez, 2013).

Para evaluar el diseño experimental de los parámetros generales de la cuenca oxígeno disuelto, pH, Temperatura, Turbidez, DBO5, DQO, Fosfatos, Nitratos, Solidos Disueltos y Coliformes Fecales. En el análisis se identificaron los índices de calidad del agua en la zona alta, media y baja de la cuenca del Rio Negro (Narvaez, 2013).

Se realizó un estudio socio económico mediante encuestas, se pudo revelar que a las comunidades de los Barrios Umbría y San Roque les faltaba conocer sobre el manejo de agua en su sector por los resultados de dicha encuesta (Narvaez, 2013).

Para el análisis de calidad del agua se tomó en cuenta los siguientes parámetros físicos, químicos y biológicos, arrojando como resultado el rango de índice de calidad de agua es de 74,4 a 75,93 unidades, indicando una buena calidad de agua para esta parroquia. Mediante el programa ArcGIS 10.5, que se utilizó para calcular el área, perímetro, longitud de la cuenca, ancho de la cuenca, altura máxima, altura mínima y desnivel altitudinal. (Narvaez, 2013).

Se generó un modelo para la obtención de desagüe de aguas. Los parámetros de forma parámetros de forma y relieve de la cuenca, junto con la curva hipsométrica en la que se pudo señalar que esta cuenca está en una etapa media, es decir que se

encuentra en fase de equilibrio entre su desarrollo inicial y su etapa de madurez. En cuanto a la red de drenaje en la que se estableció la red hídrica que corresponde a la cuenca es de orden tres, y la densidad de drenaje es de 0,32 Km/Km² (Narvaez, 2013).

Según lo calculado, la magnitud de la esorrentía superficial en la cuenca de estudio dio un valor de 618,09 mm por año, esto se debe a que su coeficiente de esorrentía este alrededor de 0,5 mm y representa una tasa de retención de agua media para esta cuenca (Narvaez, 2013).

2.1.16 Integración de cuneta permeable y subdren francés.

La combinación entre una cuneta permeable y un subdren francés genera sinergias hidráulicas que mejoran significativamente el manejo del agua pluvial y subterránea en infraestructura vial. La cuneta permeable actúa inicialmente como sistema de infiltración, permitiendo que el agua pluvial superficial penetre a través del material poroso de la cuneta, reduciendo el volumen y la velocidad de esorrentía superficial.

Posteriormente, el subdren francés, colocado estratégicamente bajo la cuneta o en la base del sistema, facilita la recogida y conducción eficiente del agua infiltrada dentro del terreno, evitando acumulaciones que puedan afectar la estabilidad estructural del pavimento o del terreno circundante. Esta doble funcionalidad permite:

- Disminuir la presión hidrostática en la base del pavimento, mejorando su durabilidad y resistencia.
- Evitar la saturación del suelo de fundación y posibles fallas estructurales.
- Controlar el nivel freático subterráneo y reducir la erosión interna.
- Prolongar la vida útil de la infraestructura vial al controlar tanto el flujo superficial como subterráneo de agua.

La integración también favorece la mitigación de impactos ambientales al reducir la escorrentía que puede transportar contaminantes hacia cuerpos de agua y al fomentar la recarga natural de acuíferos.

2.1.17 Estudios previos y casos de éxito

Diversas investigaciones y proyectos piloto en Latinoamérica y otras regiones han demostrado la eficacia de integrar cunetas permeables con subdren francés para el control de escorrentía y mejora de la infraestructura vial:

Vite (2019) Un estudio realizado en la carretera Alto Chira (Perú) aplicó subdrenaje tipo francés bajo una base permeable para controlar filtraciones de agua subterránea en suelos orgánicos y arenosos, demostrando mejoras sustanciales en la capacidad de soporte del suelo y reducción de daños en el pavimento.

Vite (2019) En proyectos urbanos, la implementación conjunta de cunetas permeables para captar agua y subdrenajes franceses para evacuar la infiltración ha mostrado reducciones significativas en caudales máximos y volúmenes de escorrentía, evidenciadas a través de modelaciones hidráulicas con software como SWMM y pruebas in situ.

Paredes (2023) La experiencia práctica en obras viales y desarrollos residenciales ha confirmado que esta integración permite un mejor control hídrico, tanto a nivel superficial como subterráneo, disminuyendo riesgos de inundación y daños estructurales, con beneficios ambientales añadidos por la mejora en la calidad del agua infiltrada.

Sanchez (2016) Innovaciones en diseño y materiales, incluyendo el uso de geotextiles de alta resistencia y mezclas especializadas de hormigón permeable, han optimizado el desempeño hidráulico y la durabilidad de estos sistemas integrados.

La evaluación del desempeño hidráulico de un sistema integrado de cuneta permeable con subdren francés se basa en medir varios parámetros clave:

Compresión: Se debe determinar la resistencia a la compresión del hormigón permeable fabricado para el proyecto, asegurando que cumpla con los valores mínimos requeridos para su uso en cunetas, lo que garantiza la durabilidad y resistencia estructural.

Coeficiente de escurrimiento: Sirve para cuantificar qué parte de la precipitación se transforma en escorrentía superficial, teniendo en cuenta las características hidráulicas del hormigón permeable y el área de captación, lo que ayuda a dimensionar correctamente el sistema.

Filtración (caudal de filtración): Consiste en calcular la cantidad de agua que puede pasar a través del hormigón permeable hacia el subdren francés, evaluando la eficiencia del drenaje subsuperficial y evitando saturaciones que puedan afectar la estabilidad.

Volumen de escorrentía: Se mide el volumen total de agua superficial generada durante un evento de lluvia para comprobar la reducción lograda con el uso de hormigón permeable en comparación con un sistema convencional, demostrando la efectividad del diseño.

Eficiencia hidráulica: Se evalúa como la relación entre el volumen de agua infiltrada y el total de lluvia captada, indicando el grado de éxito del sistema para manejar el agua pluvial.

Estos parámetros permiten asegurar que el sistema cumpla su función hidráulica, garantizando un control eficiente de la escorrentía, mejorando la estabilidad del terreno y prolongando la vida útil de la infraestructura vial.

Este enfoque integrado en el diseño y evaluación combina las ventajas del hormigón permeable en la superficie y del sistema de subdren francés para optimizar el manejo del agua, evitando problemas asociados a la saturación del suelo y la erosión (Vite, 2019).

2.2 Marco Legal

2.2.1 Constitución

La Constitución de la República del Ecuador señala que el agua es un recurso estratégico y un derecho vital cuya gestión debe ser sostenible, eficiente y ambientalmente responsable. En su articulado se determina que el Estado es responsable de la gestión integrada de los recursos hídricos, garantizando el acceso, conservación y recuperación del recurso hídrico en cantidad y calidad para todos los ciudadanos (Ministerio de Ambiente, agua y Transición Ecológica, 2025).

Además, se establecen competencias claras para las entidades públicas, incluyendo gobiernos autónomos descentralizados y autoridades ambientales, para regular y controlar el uso y aprovechamiento del agua, lo cual es fundamental para la implementación de sistemas de drenajes sostenibles como cunetas permeables con subdren francés.

El gobierno tiene la responsabilidad sin discriminación alguna el efectivo goce de los derechos que se encuentran en la Constitución y en los acuerdos internacionales, sin ningún tipo de discriminación (decreto ejecutivo 742, 2019).

Artículo 26 Se establece que la educación es el derecho de las personas a lo largo de su vida y constituye a la prioridad política pública y de la inversión estatal (LOTAIP, 2013).

Artículo 27 Establece que la educación garantiza el respeto a los derechos humanos, al medio ambiente y a la democracia (LOTAIP, 2013).

Artículo 28 Nos indica que la educación responderá al interés público, y no estará al servicio de intereses individuales y corporativos (LOTAIP, 2013).

Artículo 344 es sobre el Régimen del Buen Vivir, determina que el sistema nacional de educación, así como acciones en los niveles de educación inicial, básica

y bachillerato, y estará articulado con el Sistema de Educación Superior (LOTAIP, 2013).

Artículo 350 señala que el Sistema de Educación Superior tiene como finalidad la formación académica y profesional con visión científica y humanista; la investigación científica y tecnológica; la innovación, promoción, desarrollo y difusión de los saberes y las culturas (LOTAIP, 2013).

Artículo 352 el Sistema de Educación Superior estará integrado por universidades y escuelas politécnicas; institutos superiores técnicos, tecnológicos y pedagógicos; y conservatorios superiores de música y artes, debidamente acreditados y evaluados (LOTAIP, 2013).

2.2.2 Reglamento de titulación de la Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil.

Que la unidad de titulación es la unidad curricular que incluye las asignaturas, cursos o sus equivalentes, que permiten la validación académica de los conocimientos, habilidades y desempeños adquiridos en la carrera para la resolución de problemas, dilemas o desafíos de una profesión (Universidad Laica Vicente Rocafuerte de guayaquil, 2019).

Que el resultado final de esta unidad curricular es:

- a) El desarrollo de un trabajo de titulación.
- b) La preparación y aprobación de un examen de grado de carácter complejo, con los cuales se realiza la validación académica de los conocimientos, habilidades y desempeños adquiridos en la carrera por los estudiantes (Universidad Laica Vicente Rocafuerte de guayaquil, 2019).

Que en ambas modalidades el estudiante deberá demostrar el manejo integral de los conocimientos adquiridos a lo largo de su formación profesional, así como las

destrezas alcanzadas al término de la misma, sin que le sea permitido realizar otra unidad curricular distinta a las señaladas en la Ley (Universidad Laica Vicente Rocafuerte de guayaquil, 2019).

Que en ejercicio de la autonomía universitaria establecida en el Art. 351 de la Constitución de la República y al amparo de la potestad reglamentaria ejercida por el Órgano Colegiado Superior (OCAS) de la Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil.

Art.17.-Proyecto de Investigación. - Es una propuesta que pretende encontrar resultados que den respuesta a un problema que surja de las prácticas preprofesionales, vinculación con la sociedad o de su experiencia laboral. En esta opción se puede hacer uso de cualquiera de los métodos y tipos de investigación existentes que apliquen al tema motivo de la propuesta, una investigación exploratoria y diagnóstica, la base conceptual, conclusiones y fuentes de consulta (Universidad Laica Vicente Rocafuerte de guayaquil, 2019).

En este estudio y trabajo a realizar emplearemos los criterios emitidos por MTOP Ministerio de Transporte y Obras Publicas de acuerdo MOP - 001-F 2002 Especificaciones Generales Especificaciones Generales Para La Construcción Para La Construcción De Caminos Y Puentes en el capítulo 400 estructura del pavimento, sección 404 bases, donde se emiten los lineamientos en cuanto al uso, procedimientos de trabajos, tipo de materiales a emplearse, de acuerdo con la medida considerada para obtener un diseño acorde a las normas establecidas para esta investigación.

Todos los ensayos se los realizará, mediante sus normas respectivas como son la Norma A.S.T.M. (Asociación Americana de Ensayos de Materiales), AASHTO (La Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes), NLT (No Less Than, no menor a) y INV (Instituto Nacional de Vías) Ministerio y Transporte de Obras Publicas en sus capítulos. • SECCION 404 Bases IV-50 Normas Técnicas Ecuatorianas.

Asociación Americana de Ensayo de Materiales (ASTM) Todos los ensayos se los realizará, mediante sus normas respectivas como son la Norma A.S.T.M. (Asociación Americana de Ensayos de Materiales), AASHTO (La Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes), NLT (No Less Than, no menor a) y INV (Instituto Nacional de Vías).

2.2.3 Legislación y normativa aplicable.

Resolución EPMAPS-2023-GG-048 – Norma Técnica de Drenaje Pluvial para Quito. Esta normativa técnica, emitida por la Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento de Quito (EPMAPS), establece criterios y directrices para el diseño y ejecución de sistemas de drenaje pluvial, alcantarillado sanitario y separación de caudales en el Distrito Metropolitano de Quito.

Decreto N.º 3609 – Reglamento General para la Aplicación de la Ley de Aguas. Este reglamento complementa la LEYODER, detallando procedimientos administrativos, derechos de agua, concesiones y gestión de recursos hídricos. Es esencial para entender el marco operativo de proyectos de drenaje.

Ley Orgánica de Empresas Públicas. Esta ley regula la constitución, organización y funcionamiento de las empresas públicas en Ecuador, incluyendo aquellas encargadas de la gestión de servicios como agua potable y saneamiento. Es pertinente para entender el marco legal de las entidades que ejecutan proyectos de drenaje.

2.2.4 Normativa de Uso y Regulación - Agua Pluvial

El manejo del agua pluvial en Ecuador está normado principalmente por:

Ministerio de Ambiente, agua y Transición Ecológica (2025) Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua (LORHUyAA): regula los usos y aprovechamientos del agua, incluyendo autorizaciones para captación y manejo de aguas pluviales, imponiendo principios de eficiencia, calidad y sustentabilidad. Esta

ley establece responsabilidades para el Estado y los usuarios en la gestión integrada por cuencas hidrográficas, incluyendo regulaciones técnicas para el diseño de infraestructuras de drenaje sostenible y el control de vertidos.

Ministerio de Ambiente, agua y Transición Ecológica (2025) Acuerdos y reglamentos ministeriales vigentes emitidos por el Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAATE) y la Agencia de Regulación y Control del Agua (ARCA) que regulan la autorización, uso, y gestión del agua, así como incentivos para buenas prácticas ambientales, promoción de tecnologías sostenibles y sanciones para incumplimiento.

Ministerio de Transporte y Obras Públicas (2025) Normas técnicas locales y municipales para drenaje pluvial y obras civiles, que reglamentan el diseño, construcción y mantenimiento de cunetas, drenajes y obras hidráulicas, garantizando que cumplan con parámetros de eficiencia hidráulica y ambiental. Por ejemplo, ciudades como Guayaquil y Quito cuentan con normativas específicas que impulsan la incorporación de tecnologías permeables y sistemas de infiltración para reducir escorrentía.

2.2.5 Normativa Ambiental

El Código Orgánico del Ambiente y la legislación complementaria establecen la protección de ecosistemas acuáticos y terrestres frente a impactos derivados de actividades humanas, incluyendo la gestión integral de cuencas hidrográficas y cuerpos de agua pluvial. Regulan el manejo de contaminantes y exigen estudios ambientales para proyectos que intervienen en recursos hídricos, promoviendo mejores prácticas como los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) (Lexis Finder, 2017).

Reglamentos en gestión de riesgos y emergencias ambientales tienen disposición especial para proteger infraestructura vial y urbana frente a eventos climáticos extremos, vigentes en planes y resoluciones nacionales que fortalecen el

marco normativo para la prevención y control de inundaciones. (Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos, 2025).

Las ordenanzas municipales y planes de desarrollo territorial incluyen disposiciones para el control, protección y uso sustentable del suelo y del agua en proyectos de infraestructura vial, incentivando el diseño sostenible y la mitigación de impactos ambientales locales. (Congope, 2019).

2.2.6 Legislación y normativa aplicable.

Resolución EPMAPS-2023-GG-048 – Norma Técnica de Drenaje Pluvial para Quito. Esta normativa técnica, emitida por la Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento de Quito (EPMAPS), establece criterios y directrices para el diseño y ejecución de sistemas de drenaje pluvial, alcantarillado sanitario y separación de caudales en el Distrito Metropolitano de Quito.

Decreto N° 3609 – Reglamento General para la Aplicación de la Ley de Aguas. Este reglamento complementa la LORHUyA, detallando procedimientos administrativos, derechos de agua, concesiones y gestión de recursos hídricos. Es esencial para entender el marco operativo de proyectos de drenaje.

Ley Orgánica de Empresas Públicas. Esta ley regula la constitución, organización y funcionamiento de las empresas públicas en Ecuador, incluyendo aquellas encargadas de la gestión de servicios como agua potable y saneamiento. Es pertinente para entender el marco legal de las entidades que ejecutan proyectos de drenaje.

2.2.7 Normativas y Recomendaciones Técnicas

En Ecuador y en muchos países, el diseño e implementación de sistemas de drenaje pluvial como cunetas permeables y subdren francés deben seguir normativas técnicas y ambientales vigentes para asegurar seguridad, sostenibilidad y durabilidad:

2.2.7.1. Normas Técnicas de Diseño Hidráulico. Entre las normas técnicas del desempeño hidráulico se establece lo siguiente.

- Se recomienda dimensionar cunetas y subdren considerando periodos de retorno adecuados (por ejemplo, 25 años para vías urbanas) y caudales de diseño basados en métodos hidrológicos reconocidos (p. ej., método racional, ecuaciones de Henderson, curva IDF locales).
- La capacidad hidráulica debe verificarse con la ecuación de Manning, asegurando que las secciones de cuneta y tuberías conduzcan el caudal máximo sin desbordes ni erosiones.
- Normas Ambientales: Cumplir con regulaciones de uso y gestión del agua establecidas por el Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica, promoviendo la infiltración y reducción de contaminantes.
- Integrar sistemas de drenaje sostenible (SUDS) reconocidos internacionalmente para mejorar la gestión hídrica urbana.

2.2.7.2. Recomendaciones sobre Materiales y Construcción. Entre las recomendaciones se menciona lo siguiente.

- Uso de hormigón permeable conforme a especificaciones de resistencia mínima y permeabilidad (ejemplo: dosificación de aproximadamente 210 kg/cm²).
- Geotextiles con características técnicas para evitar colmatación del subdren francés, manteniendo capacidad hidráulica a lo largo del tiempo.
- Mantenimiento y Operación: Establecer planes periódicos de limpieza y mantenimiento para preservar la eficiencia hidráulica, evitar obstrucciones y prolongar la vida útil del sistema.
- Regulaciones locales: En ciudades ecuatorianas como Quito, Guayaquil y Cuenca, existen ordenanzas y normativas específicas para la implementación de sistemas de infiltración y drenajes permeables, que deben respetarse para la aprobación de obras de drenaje.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1. Enfoque de la investigación

Este proyecto de titulación se realizó en base a un enfoque cuantitativo, evaluándose al desempeño hidráulico y mecánico del hormigón permeable en un sistema de cuneta complementándose con subdren francés. El desarrollo del proyecto se incluyeron metodologías en la elaboración de probetas, para la realización de ensayos, así como el considerar los cálculos numéricos que se utilizarán con la dosificación del hormigón permeable. Siendo así se determinó una dosificación que esté basada en un hormigón de resistencia de 210 kg/cm² de acuerdo con las resistencias utilizadas en hormigón para cunetas

La dosificación se estableció a partir de las cantidades convencionales, como; Cemento, piedra, arena, agua. Sin embargo, a diferencia del hormigón convencional, para la obtención de la permeabilidad se priorizó el uso de mayor cantidad de agregado grueso y se redujo la proporción de arena, esto para mantener niveles altos de porosidad y permeabilidad sin desvalorar la resistencia del hormigón establecida. (Tabla 1).

Este enfoque permitió obtener datos objetivos y numéricos que describieron el comportamiento de en un sistema de bordillo-cuneta con subdren francés. A través de ensayos y cálculos realizados se establecieron la resistencia de las probetas el volumen que la placa de hormigón puede filtrar y con ellos hacer un análisis técnico en base a la evaluación del sistema de drenaje propuesto.

De esta manera, se obtuvieron datos claves para evaluación integral del desempeño del sistema, considerando su comportamiento bajo condiciones de lluvias intensas.

3.2. Alcance de la investigación

El alcance de la investigación es descriptivo, analizándose la relación entre la implementación del hormigón permeable con subdren francés para mejorar la eficiencia del sistema de drenaje áreas residenciales

Este alcance permite analizar la reducción de encharcamiento se inundaciones causados por los problemas de drenaje pluvial y la acumulación de escorrentía superficial durante los eventos de lluvias intensas.

La relación entre estos componentes, se logra mejorar el problema de inundaciones, permitiendo que el agua filtre a través del hormigón permeable disminuyendo el volumen escorrentía que circula superficialmente en zonas afectadas, mientras que el subdren francés facilita la evacuación eficiente del agua filtrada a través del hormigón, evitando acumulaciones y posibles daños en las zonas.

Este enfoque permitió comprender las interacciones entre las diferentes variables y cómo la solución a un sistema de drenaje al incorporar un subdren francés en un bordillo cuneta, mejora de forma significativa la eficiencia del drenaje y la gestión del agua pluvial, con una solución técnica y aplicable.

3.3. Técnica e instrumentos para la obtención de datos en la elaboración del hormigón permeable.

Las técnicas se refieren a los métodos o procedimientos que se utilizaron para recolectar la información necesaria en la investigación del proyecto, mientras que los instrumentos son las herramientas concretas que se emplean para llevar a cabo esa recolección de datos.

En este proyecto, para la obtención de datos se empleó el uso de los procedimientos realizados en el laboratorio, donde se obtuvo datos precisos, como; El volumen de agua filtrado y tiempo de filtración a través del ensayo.

Además, se aplicaron cargas controladas para los ensayos a compresión en 7, 14, 28 días, con el propósito de verificar que el hormigón permeable alcanzara la resistencia requerida en función estructural para un sistema de bordillo cuneta.

Estas técnicas e instrumentos permitieron asegurar que los resultados fueran representativos y útiles para el análisis del comportamiento hidráulico del sistema evaluado para un bordillo cuenta de hormigón permeable con subdren francés.

Tabla 1.

Tabla de clasificación para la elaboración hormigón permeable

DESCRIPCIÓN	DETALLES
Enfoque y resistencia	Hormigón permeable con resistencia de diseño 210 kg/cm ²
Criterio de mezcla	70% – 80% grueso y 20% – 30% fino, para garantizar conectividad de vacíos y permeabilidad.
Dosificación de Hormigón permeable para una resistencia de diseño 210 kg/cm ²	Cemento: 50 kg Agua: 29 kg Piedra: 189kg Arena: 46 kg
Mezclado	Se mezclan manualmente en seco los agregados y cemento hasta homogeneidad; luego se agrega agua progresivamente hasta obtener consistencia uniforme.
Moldeo	Cilindros moldeados en 3 capas con varillado a nivel superficial.
Curado	Curado por inmersión hasta las edades de ensayo: 7, 14 y 28 días.

Elaborado por: Correa & Martínez (2025)

Con esta técnica, se logró una estructura permeable y uniforme, conservando la resistencia estructural necesaria para los ensayos y análisis.

3.4. Instrumentos utilizados en los ensayos (descripción y figuras)

Para nuestro proyecto de titulación los instrumentos de laboratorio utilizados para la elaboración del hormigón permeable se encuentran en la (Tabla 2)

Tabla 2.

Tabla de instrumentos utilizados

EQUIPO/MATERIAL	FUNCIÓN
Bandejas metálicas	Recepción y fraccionamiento de agregados.
Balanza	Pesado de cemento, agregados y agua para dosificación.
Cilindro volumétrico de vidrio	Medición precisa de agua.
Moldes metálicos cilíndricos	Conformación de probetas.
Varilla metálica	Compactación (varillado) por capas.
Cucharón metálico y martillo	Manejo de materiales y asistencia al desmoldeo.
Prensa hidráulica	Aplicación de carga en compresión.
Piscina de curado	Curado por inmersión a edades 7, 14 y 28 días.

Elaborado por: Correa & Martinez (2025)

Figura 10.

Balanza



Elaborado por: Correa & Martinez (2025)

Figura 11.

Moldes metálicos cilíndricos



Elaborado por: Correa & Martinez (2025)

3.5. Ensayo de compresión en cilindros de hormigón permeable

Se realizaron ensayos de compresión en las diferentes edades de 7, 14, 28 días para que el hormigón permeable alcanzara la resistencia requerida, en nuestro desarrollo de las probetas elaboradas en el laboratorio Arlando Ruffili en la Universidad de Guayaquil. (Tabla 4) Se determinó que la capacidad del hormigón permeable es capaz de resistir fuerzas que tienden a aplastarlo, mediante el ensayo de compresión, con el cual se calcula la resistencia del cilindro de hormigón.

En este procedimiento se aplica una carga creciente sobre un cilindro hasta que falla, proporcionando información sobre propiedades mecánicas clave, como la resistencia a la compresión, la cual es fundamental para garantizar la durabilidad y el desempeño del hormigón. (Tabla 3)

Tabla 3.

Tabla de especificación y detalles para la prueba a compresión

DESCRIPCIÓN	DETALLES
Equipamiento	Prensa hidráulica; cilindros moldeados y curados; medición del área de carga
Protocolo general	1.Extracción de la probeta del curado 2.Limpieza de caras 3.Centrado en la prensa 4.Aplicación de carga continua hasta la rotura 5. Registro de la carga máxima
Cálculo de resistencia	$F_c = \frac{P_{max}}{A}$

Elaborado por: Correa & Martinez (2025)

3.5.1. Resultados obtenidos

Los resultados de los ensayos de resistencia a la compresión se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 4.

Tabla de edades del desarrollo de las probetas

Cilindro N	Dia	Área(cm2)	Carga(kg)	Resistencia
1	7	81	8500	104,94
2	14	81	12500	154,32
3	28	81	18500	228,4

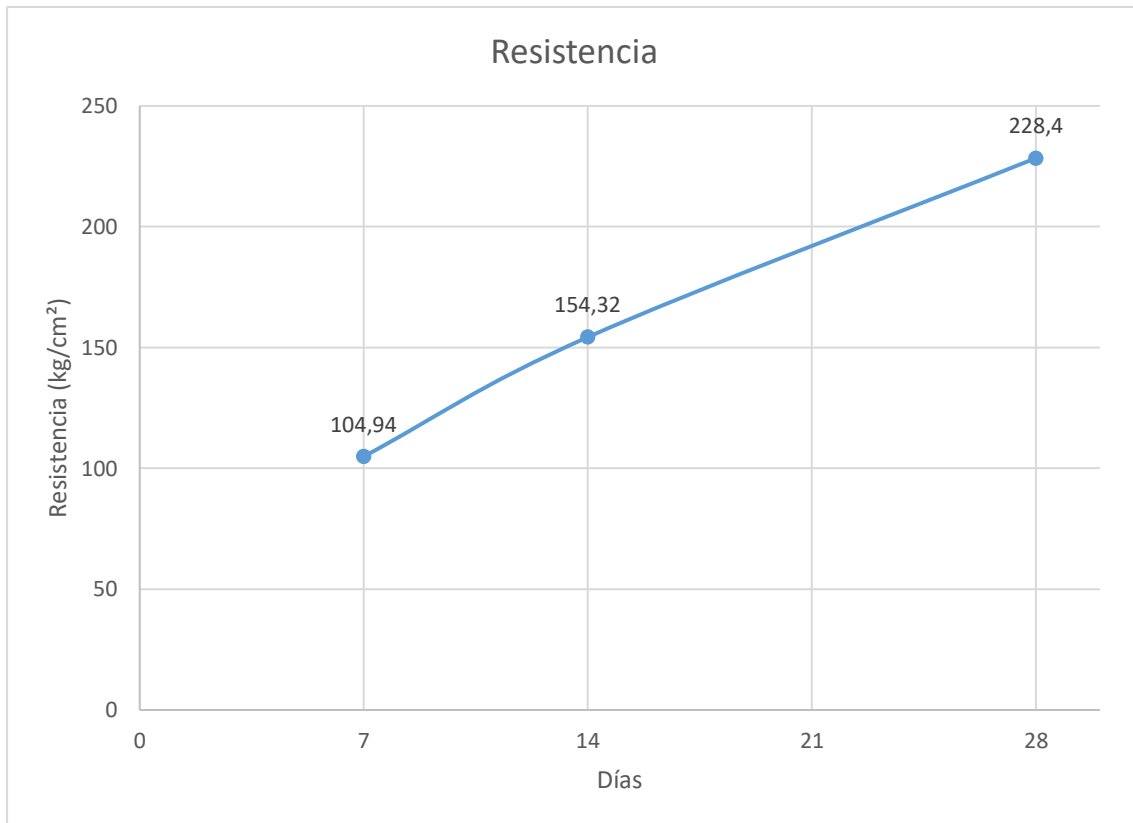
Elaborado por: Correa & Martinez (2025)

3.5.2. Representación Gráfica de Resultados

Para una mejor representación de análisis de resultados, se presenta grafico de la evolución de la resistencia a compresión del hormigón permeable en las diferentes edades. (Figura 1) permitiendo analizar el valor de diseño y el cumplimiento de la resistencia requerida para el uso del hormigón permeable en un sistema de bordillo cuneta.

Figura 12.

Grafico de comportamientos de resistencia de edades de las probetas



Fuente: Correa & Martinez (2025)

3.6. Prueba de filtración de agua en hormigón permeable

El tiempo registrado durante la prueba fue de gran importancia ya que este permitió calcular cuánto caudal pasa realmente a través del hormigón permeable.

A partir de esos datos se determina el caudal de filtración, el coeficiente de escurrimiento y la eficiencia hidráulica, los cuales son indicadores fundamentales para evaluar el desempeño del hormigón permeable.

Estos resultados no solo permiten validar como el agua fluyó a través del hormigón, sino que, afirma que el material es adecuado para el uso en un sistema de drenaje y así garantizar la eficacia en la aplicación en un sistema de drenaje.

Mediante el desarrollo de la prueba de filtración corroboramos el tiempo y el volumen del agua que filtro a través del hormigón permeable.

Tabla 5.

Tabla del desarrollo de la prueba de filtración del hormigón permeable

DESCRIPCIÓN	DETALLES
Montaje	Probeta de hormigón permeable (cilindro), embudo/soporte, recipiente colector, cronómetro
Volumen de agua para prueba	200ml
Procedimiento	1. Verter el volumen de agua sobre la cara superior de la probeta 2. Medir el tiempo que tarda en filtrarse completamente
Datos medidos (Ensayo)	200ml filtrados en 14 s → 100 % del volumen
Variables	Volumen $V = 200ml$ Tiempo $t = 14 s$

Elaborado por: Correa & Martinez (2025)

3.7. Procedimientos

Este proyecto de titulación evaluó el sistema de cuneta permeable con subdren francés como medida de contingencia para reducción de escorrentía, el desarrollo del contenido se centró en el análisis de estudio del hormigón permeable mediante el ensayo a compresión y filtración a través de las pruebas de laboratorio realizadas Arlando Ruffili en la Universidad de Guayaquil.

Dándonos como resultados la resistencia del hormigón permeable mediante ensayos de compresión realizados a los 7, 14 y 28 días, logrando valores de hasta 228 kg/cm², lo que indica una buena resistencia del hormigón.

Se analizó la capacidad de filtración mediante pruebas de laboratorio, obteniendo un coeficiente de permeabilidad experimental que refleja como el agua puede filtrarse a través de la placa de hormigón permeable.

Con el objetivo de comprobar la funcionalidad y eficiencia del sistema de bordillo cuneta con subdren francés, se llevó a cabo un proceso practico basado en un evento de lluvia, donde se emplearon los datos obtenidos en las pruebas.

Por medio de datos obtenidos se determinó la cantidad de agua que el hormigón permeable podía filtrar y que posteriormente sería drenada de manera eficiente por el subdren francés. Se examinó la eficiencia del sistema mediante distintos parámetros de diseño, notándose diferencias en función de los valores empleados.

3.7.1. Prueba de filtración y coeficiente de permeabilidad real (Basado en el ensayo realizado)

El ensayo de filtración se realizó para observar cómo el agua atravesó la muestra de hormigón permeable bajo condiciones controladas, registrando el tiempo de infiltración. Este proceso físico permitió medir la capacidad del material para dejar pasar el agua.

A partir de los resultados del ensayo obtenidos, se calculó el coeficiente de permeabilidad (K), que cuantificó numéricamente esa capacidad de filtración y reflejó las características de la mezcla del hormigón, como porosidad, granulometría y nivel de compactación, aspectos que influyen directamente en el comportamiento hidráulico del material.

El coeficiente de permeabilidad obtenido se representó en la “huella hidráulica” del hormigón permeable y sirvió como base para dimensionar el sistema de drenaje. Además, permitió evaluar la eficiencia del sistema de reducción del escurrimiento, para así validar la propuesta como una solución adecuada en la reducción de escorrentía superficial.

Datos del Ensayo:

- Volumen de Agua (V): $200\text{ ml} = (0.0002\text{ m}^3)$
- Dimensiones de la Placa: La muestra tenía un grosor de 20 cm. Para el ensayo se utilizó un área superficial de $(20\text{ cm} \times 20\text{ cm})$
- Área de la Muestra (A): $400\text{ cm}^2 = (0.04\text{ m}^2)$
- Tiempo de Filtración (t): 14 segundos
- Lámina de agua (L)

Prueba de Filtración (Q_{Filtrado}):

$$Q_{\text{Filtrado}} = \frac{V}{t} = \frac{0.0002\text{ m}^3}{14\text{ s}} = 1.43 \times 10^{-5} \approx 0.0000143 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Cálculo de la Lámina de Agua (L):

$$L = \frac{V}{A} = \frac{0.0002\text{ m}^3}{0.04\text{ m}^2} = 5 \times 10^{-3} \approx 0.005\text{ m}$$

Cálculo del Coeficiente de Permeabilidad (K):

$$K = \frac{L}{t} = \frac{0.005\text{ m}}{14\text{ s}} = 3.57 \times 10^{-4} \approx 0.000357 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

3.7.2. Desarrollo del Caudal de Diseño para un sistema de drenaje

En este proyecto se evaluó con un coeficiente de escorrentía para zonas residenciales con baja densidad de 0.40, representa la parte de la lluvia que escurre superficialmente de forma efectiva y está en función del tipo de suelo, grado de permeabilidad, pendiente del terreno entre otros datos importantes, considerando un período de retorno de 10 años y la intensidad de lluvia 10 min en base a nuestra evaluación.

Se analizó el comportamiento de una cuneta de hormigón permeable empleando el coeficiente de permeabilidad obtenido en el ensayo, lo que permitió infiltrar parte del agua de lluvia. A partir de este análisis, se determinó el caudal excedente que debía ser gestionado mediante un subdren francés.

Figura 13.

Coeficiente de escurrimiento

Tipo de Zona	Valores de C
Zonas centrales densamente construidas, con vías y calzadas pavimentadas.	0.7-0.9
Zonas adyacentes al centro de menor densidad poblacional con calles pavimentadas.	0.7
Zonas residenciales medianamente Pobladas.	0.55-0.65
Zonas residenciales con baja densidad.	0.35-0.55
Parques, campos de deportes.	0.1-0.2

Fuente Alcaldía de Guayaquil (2024)

Figura 14.

Coeficiente de parametrización

T (Años)	c	e	f
2	742.53	5.47	0.63
5	570.75	2.35	0.5
10	521	1.49	0.45
25	486.47	0.88	0.4
50	471.72	0.59	0.37
100	468.15	0.38	0.35

Fuente Alcaldía de Guayaquil (2023)

3.7.3. Parámetros de Diseño

- Área para drenar: $1ha = 10,000 m^2$
- Área de bordillo – cuneta: $50ml (largo) \times 0.50cm (ancho) = 25 m^2$
- Período de Retorno: 10 años – 10 min
- Coeficiente de Escorrentía: 0.40 (Residencial baja densidad)

- Intensidad de Lluvia: $i = \frac{c}{t_d^f + e} = \frac{521}{10^{0.45} + 1.49} = 120.93 \frac{mm}{h}$

3.7.3.1. Parámetros para el cálculo del Caudal de Escorrentía Total (Q_{Total}).

Con este cálculo determinamos se determina la máxima cantidad de agua que el sistema debe manejar durante un evento de lluvia de diseño.

- Área para drenar: $1ha = 10,000 m^2$
- Intensidad de Lluvia: $i = 120.93 \frac{mm}{h}$
- Coeficiente de Escorrentía: 0.40 (*Residencial baja densidad*)

$$Q_{Total} = \frac{(C \times i \times A)}{3,600}$$

$$Q_{Total} = \frac{(0.40 \times 120.93 \times 10,000)}{3600}$$

$$Q_{Total} = 134.37 \frac{L}{s}$$

3.7.3.2. Cálculo del Caudal Filtrado por la cuneta ($Q_{Filtrado}$). Con este cálculo determinamos se evalúa cuánta agua logra filtrarse directamente a través de la cuneta

- Área de bordillo – cuneta: $25 m^2$
- Coeficiente de permeabilidad (Ensayo): $K = 0.000357 \frac{m}{s}$

$$Q_{filtrado} = K \times A_{cuneta}$$

$$Q_{filtrado} = 0.000357 \times 25$$

$$Q_{filtrado} = 0.008925 \frac{m^3}{s} \approx 8.93 \frac{L}{s}$$

3.7.3.3. Cálculo del Caudal Excedente Para Gestionar ($Q_{Exedente}$). Con este cálculo determinamos el caudal que debe evacuar el subdren francés para evitar inundaciones y garantizar la seguridad del sistema.

- Caudal de Escorrentía Total: $Q_{Total} = 134.37 \frac{L}{s}$
- Capacidad de filtración de la Cuneta: $Q_{Filtrado} = 8.93 \frac{L}{s}$

$$Q_{Exedente} = Q_{Total} - Q_{Filtrado}$$

$$Q_{Exedente} = 134.37 - 8.93 = 125.44 \frac{L}{s}$$

3.7.3.4.Evaluación del volumen de escorrentía y volumen filtrado. Con este cálculo evaluamos los volúmenes reales de agua filtrada y evacuada, base para dimensionar la zanja y subdren.

- Volumen total: $V_t = Q_t \times t = 0.13437 \frac{m^3}{s} \times 600 s = 80.62 m^3$
- Volumen Filtrado: $V_i = Q_f \times t = 0.008925 \frac{m^3}{s} \times 600 s = 5.36 m^3$
- Volumen excedente: $V_e = V_t - V_f = 80.62 - 5.36 = 75.26 m^3$

3.7.3.5.Cálculo de eficiencia de filtración hidráulica en la cuneta. Con esto medimos qué porcentaje del agua de lluvia logra filtrarse a través de la cuneta, evaluando su rendimiento como sistema de drenaje.

$$\eta = \frac{Q_f}{Q_t} = \frac{8.93}{134.37} = 0.0664 \times 100 = 6.64\%$$

3.7.3.6.Evaluación del caudal filtrado por la cuneta con un coeficiente de permeabilidad típico $K = 0.005 \frac{m}{s}$. El coeficiente $K = 0.000357 m/s$ se obtuvo de un ensayo con una muestra pequeña, por lo que reflejaba poca infiltración **6.64%** al aplicarlo en un sistema de cuneta con mayor dimensión.

En la práctica, los valores típicos de K para hormigón permeable utilizado en cunetas, estacionamientos o drenaje ligero se encuentran entre $0.2 cm/s$ ($120 L/m^2 \cdot min$) y $0.5 cm/s$ ($300 L/m^2 \cdot min$), aunque en laboratorio se han registrado hasta $1.2 cm/s$ ($720 L/m^2 \cdot min$) o más. (Spalvier et al., 2021).

$$Q_{filtrado} = K \times A_{cuneta}$$

$$Q_{filtrado} = 0.005 \times 25 = 0.125 \frac{m^3}{s} \approx 125 \frac{L}{s}$$

3.7.3.7.Evaluación del caudal excedente a gestionar ($Q_{Exedente}$). Con este K, la mayoría del agua se infiltra, por lo que el subdren francés.

$$Q_{Exedente} = Q_{Total} - Q_{filtrado}$$

$$Q_{Exedente} = 134.37 - 125 = 9.37 \frac{L}{s}$$

3.7.3.8.Evaluación de los volúmenes. Escorrentía y filtrado.

- Volumen total: $V_t = Q_t \times t = 0.13437 \frac{m^3}{s} \times 600 s = 80.62 m^3$
- Volumen filtrado: $V_i = Q_f \times t = 0.125 \frac{m^3}{s} \times 600 s = 75 m^3$
- Volumen excedente: $V_e = V_t - V_i = 80.62 - 75 = 5.62 m^3$

3.7.3.9.Evaluación de la eficiencia de filtración hidráulica en la cuneta. Con este cálculo se determinó que aproximadamente el 93% del agua se filtra directamente a través del hormigón permeable hacia la capa de grava inferior, y el subdren francés se encarga de evacuarla de manera controlada, mientras que el 7% restante que no se infiltra permanece en la superficie y se descarga como escorrentía para evitar acumulaciones.

$$\eta = \frac{Q_f}{Q_t} = \frac{125}{134.37} = 0.93 \times 100 = 93\%$$

3.7.3.10.Cálculo de la pendiente adecuada y el caudal máximo. Para calcular nuestra pendiente y caudal máximo que puede transportar la cuneta se trabajó en lo siguiente.

- Área para drenar: $A = 10,000 \text{ m}^2$
- Área de la cuneta (bordillo): $A = 25 \text{ m}^2$
- Coeficiente de escorrentía $C=0.40$ (zona residencial baja densidad)
- Intensidad de precipitación: $i = \frac{0.12093\text{m}}{3600\text{s}} = 3.36 \times 10^{-5} \approx 0.0000336 \frac{\text{m}}{\text{s}}$
- Coeficiente de permeabilidad (Ensayo): $K = 0.000357 \frac{\text{m}}{\text{s}}$
- Coeficiente de permeabilidad (Diseño): $K = 0.005 \frac{\text{m}}{\text{s}}$
- Rugosidad tipo concreto (Manning) estimada $n = 0.015$
- Anchura de la cuneta: $b = 0.50\text{m}$
- Profundidad de la cuneta: $h = 0.20\text{m}$
- Pendiente 1%: $S = 0.01$

Calcular el caudal de la escorrentía:

$$Q_{Total} = C \times i \times A$$

$$Q_{Total} = 0.40 \times 0.0000336 \times 10.000$$

$$Q_{Total} = 0.1344 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \approx 134.4 \frac{\text{L}}{\text{s}}$$

Calcular la sección transversal:

$$A = b \times h = 0.50 \times 0.20 = 0.1\text{m}^2$$

Calcular el perímetro mojado:

$$P = b + 2h = 0.50 + 2 \times 0.20 = 0.9\text{m}$$

Calcular el radio hidráulico:

$$R = \frac{A}{P} = \frac{0.1}{0.9} = 0.111\text{m}$$

Calcular velocidad del agua con fórmula de Manning:

$$V = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}}$$

$$V = \frac{1}{0.015} \times (0.111)^{\frac{2}{3}} \times 0.1^{\frac{1}{2}}$$

$$V = 6.67 \times 0.231 \times 0.1 = 0.154 \frac{m}{s}$$

Calcular el caudal transportado por la cuneta:

$$Q = A \times V = 0.1 \times 0.154 = 0.0154 \frac{m^3}{s} \approx 15.4 \frac{L}{s}$$

Calcular el caudal efectivo:

Con una pendiente del 1%, la cuneta puede transportar aproximadamente 15.4 L/s, que es mucho menor al caudal total esperado 134.4 $\frac{L}{s}$

Sin embargo, considerando que 93% del agua se filtra en la cuneta permeable con $K=0.005m/s$, el caudal superficial efectivo:

$$Q_{Efectivo} = Q_{Total} \times (1 - \eta)$$

$$Q_{Efectivo} = 134.4 \times (1 - 0.93)$$

$$Q_{Efectivo} = 134.4 \times 0.07 = 9.4 \frac{L}{s}$$

Este caudal sí podría ser manejado por la cuneta con la pendiente y sección calculadas

3.7.4. Evaluaciones alternativas para el Sistema de cuneta permeable con Subdren Frances

Para cumplir con los objetivos del proyecto, se evaluaron dos diseños técnicamente viables. Ambas utilizan la cuneta de hormigón permeable como

elemento de captación, pero difieren fundamentalmente en la estrategia para gestionar el caudal excedente.

- Caudal filtrado desde la cuneta: $Q = 0.125 \frac{m^3}{s}$
- Coeficiente de rugosidad Manning para PVC: $n = 0.009$
- Pendiente de la tubería: $S = 0.01$ (1%)
- Longitud de la zanja: $L = 50m$
- Espesor de grava diseño 1: $E_g = 0.20m$
- Espesor de grava diseño 2: $E_g = 0.40m$
- Recubrimiento altura de capa superior: $h_{cs} = 0.15m$

3.7.4.1. Alternativa A. Dimensionamiento del subdren francés con zanja y grava recomendable.

- Ecuación de Manning para hallar el diámetro de tubería

$$Q = \frac{1}{n} A R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}}$$

- A= área transversal de la tubería
- r= radio hidráulico = D/4 para tubería circular lleno
- D= diámetro de la tubería
- S= pendiente
- n= coeficiente de rugosidad estimada

$$A = \frac{\pi D^2}{4}, \quad R = \frac{D}{4}$$

$$Q = \frac{1}{n} \times \frac{\pi D^2}{4} \times \frac{D^{\frac{2}{3}}}{4} S^{\frac{1}{2}}$$

$$D = \left(\frac{0.125 \times 4^{\frac{5}{3}} \times 0.009}{\pi \times 0.01^{\frac{1}{2}}} \right)^{\frac{3}{8}} = 0.29m \approx 29cm$$

Área de la tubería y velocidad del agua:

$$A_t = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{\pi(0.29)^2}{4} = 0.066 m^2$$

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{0.125}{0.066} = 1.89 \frac{m}{s}$$

Dimensión de zanja

$$B_{zanja} = D + 2 \times E_g = 0.29 + 2 \times 0.20 = 0.69 m$$

$$h_{zanja} = D + h_{cs} + E_g = 0.29 + 0.15 + 0.20 = 0.64 m$$

$$V_{\frac{zanja}{metro}} = B \times h \times 1 m (longitud) = 0.69 \times 0.64 \times 1 = 0.44 \frac{m^3}{m}$$

$$V_{\frac{tubería}{metro}} = A \times 1m = 0.066 \frac{m^3}{m}$$

$$V_{\frac{grava}{metro}} = V_z - V_t = 0.44 - 0.064 = 0.38 \frac{m^3}{m}$$

$$V_g \times 50 = 0.38 \times 50 = 19 m^3$$

3.7.4.2. Alternativa B. Dimensionamiento menor del subdren francés con zanja y grava aumentada.

Reducir el diámetro de la tubería y aumentar el volumen de grava alrededor, para que el agua pase más despacio a la tubería y se retenga parte del flujo.

Diámetro de tubería propuesto: $D = 0.25m$

Caudal filtrado: $Q_{filtrado} = 0.125 \frac{m^3}{s}$

Área de la tubería y velocidad del agua

$$A_t = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{\pi(0.25^2)}{4} = 0.049 m^2$$

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{0.125}{0.049} = 2.55 \frac{m}{s}$$

Dimensión de zanja:

$$B_{zanja} = D + 2 \times E_g = 0.25 + 2 \times 0.40 = 1.05 m$$

$$h_{zanja} = D + h_{cs} + E_g = 0.25 + 0.15 + 0.40 = 0.8 m$$

$$V_{\frac{zanja}{metro}} = B \times h \times 1 m (longitud) = 1.05 \times 0.8 \times 1 = 0.84 \frac{m^3}{m}$$

$$V_{\frac{tubería}{metro}} = A \times 1m = 0.049 \frac{m^3}{m}$$

$$V_{\frac{grava}{metro}} = V_z - V_t = 0.84 - 0.049 = 0.79 \frac{m^3}{m}$$

$$V_g \times 50 = 0.79 \times 50 = 39.50 m^3$$

La tubería más pequeña genera mayor velocidad, por eso necesitamos más grava para amortiguar el flujo antes de que llegue a la tubería.

3.8. Población y muestra

3.8.1. Población

La población de este proyecto de titulación está constituida por todos los sistemas de drenaje que emplean cunetas de hormigón. En este estudio, se evalúa específicamente el sistema bordillo-cuneta para la evacuación de aguas lluvias, complementado con un sistema de subdrenaje.

Este sistema esta evaluado ampliamente en zonas urbanísticas, para mejorar el problema sobre el escurrimiento superficial, ya que este afecta a la zona provocando encharcamientos e inundaciones.

3.8.2. Muestra

La muestra seleccionada para este estudio corresponde al sistema de cuneta permeable con subdren francés, evaluado específicamente la necesidad de analizar un método innovador que no solo canalice el agua pluvial, sino que facilite la filtración del agua a través del sistema bordillo-cuneta de hormigón permeables hacia el subdren francés.

Este sistema fue escogido debido a su relevancia en la mejora y optimización tanto de la infiltración del agua lluvia como la evacuación eficiente de las aguas

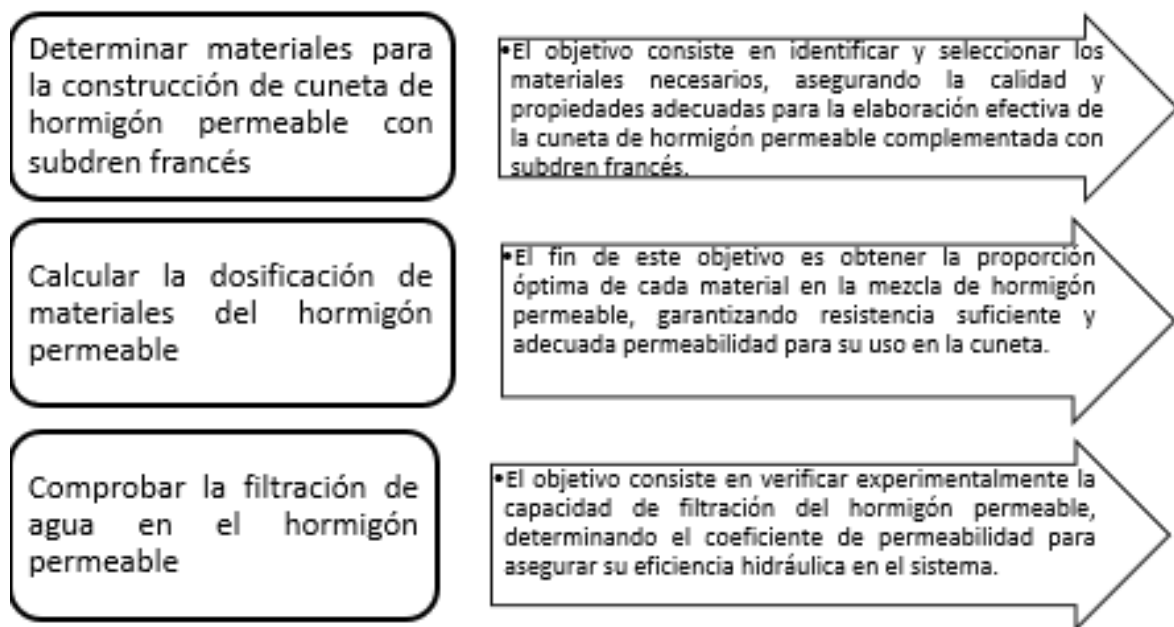
pluviales, permitiendo evaluar y analizar directamente la eficiencia hidráulica y de infiltración dentro de una evaluación de sistema de drenaje pluvial.

3.9. Diagrama metodológico

3.9.1. Títulos objetivos específico

Figura 15.

Diagrama Metodológico



Elaborado por: Correa & Martinez (2025)

3.9.2. Desarrollo metodológico

Determinar materiales para la construcción de cuneta de hormigón permeable con subdren francés: Para alcanzar este objetivo se realizó primero una revisión bibliográfica y normativa (ASTM, AASHTO, INEN) con el fin de identificar los materiales recomendados para sistemas de drenaje sostenible. Posteriormente se elaboró una lista de insumos básicos, entre ellos: cemento, agregados gruesos de granulometría controlada, arena en menor proporción, agua en relación adecuada, tubería PVC perforada para el subdren, geotextil filtrante y grava limpia.

Finalmente, los materiales fueron clasificados según sus propiedades: mecánicas (resistencia a la compresión), hidráulicas (permeabilidad, capacidad de infiltración) y de durabilidad (resistencia a la obstrucción y desgaste), de modo que se garantizó que cumplieran con los estándares técnicos para cunetas viales.

Calcular la dosificación de materiales del hormigón permeable: Se aplicó el método del American Concrete Institute (ACI 522R) para diseñar mezclas de hormigón permeable. En laboratorio se prepararon varias combinaciones con distinta proporción agua/cemento y porcentaje de vacíos, a fin de obtener un equilibrio entre resistencia y permeabilidad. Se fabricaron probetas cilíndricas que fueron sometidas a ensayos de resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días, verificando que alcanzaran la resistencia mínima propuesta de 210 kg/cm².

En base a los resultados, se seleccionó la mezcla óptima, validando que cumpliera con las especificaciones técnicas y que pudiera ser aplicada de manera práctica en la construcción de la cuneta permeable.

Comprobar la filtración de agua en el hormigón permeable: Se realizaron ensayos de permeabilidad siguiendo los lineamientos establecidos en la normativa ASTM C1701/C1701M, tanto en probetas cilíndricas elaboradas en laboratorio como en un prototipo a escala de cuneta de hormigón permeable con subdren francés. Para la ejecución del procedimiento se colocó un recipiente calibrado sobre la superficie de la probeta, en el cual se vertió un volumen controlado de agua (200 ml), registrando el tiempo requerido para la infiltración total mediante un cronómetro.

Este proceso permitió calcular el caudal de infiltración y, posteriormente, el coeficiente de permeabilidad del material. Como resultado, se observó que en un tiempo de 14 segundos se filtró el 100 % del volumen aplicado lo que corresponde a un caudal promedio de $0.0143 \frac{L}{s}$.

3.10. Proceso y materiales para el ensayo

Figura 16.

Materiales para elaborar el hormigón permeable



Elaborado por: Correa & Martinez (2025)

Figura 17.

Material grueso para mezcla de hormigón (piedra)



Elaborado por: Correa & Martinez (2025)

Figura 18.

Material fino utilizado para la elaboración del hormigón permeable (arena)



Elaborado por: Correa & Martinez (2025)

Figura 19.

Adición de agua potable a la mezcla de hormigón



Elaborado por: Correa & Martinez (2025)

Figura 20.

Preparación de cilindros para vaciado de mezcla de hormigón



Elaborado por: Correa & Martinez (2025)

Figura 21.

Cilindros de hormigón permeable (Muestras)



Elaborado por: Correa & Martinez (2025)

3.10.1. *Ensayo de compresión a los 7 días cilindros de hormigón permeable*

Figura 22.

Cilindro de hormigón en prensa hidráulica (a los 7 días de fundido)



Elaborado por: Correa & Martinez (2025)

Figura 23.

Rotura de cilindro de hormigón permeable (ensayo de compresión)



Elaborado por: Correa & Martinez (2025)

Figura 24.

Resultado ensayo de compresión en cilindro de hormigón permeable



Elaborado por: Correa & Martinez (2025)

Resultados de ensayo

- Carga: 8.500kg
- Área de cilindro: 81cm²
- Resistencia: 104,94 kg/cm²

3.10.2. *Ensayo de compresión a los 14 días cilindros de hormigón permeable*

Figura 25.

Cilindro de hormigón permeable listo para el ensayo de compresión día 14



Elaborado por: Correa & Martinez (2025)

Figura 26.

Prensa hidráulica utilizada para ensayo de compresión en cilindros de hormigón permeable a los 14 días de fundido



Elaborado por: Correa & Martinez (2025)

Resultados de ensayo

- Carga: 12500kg
- Área de cilindro: 81cm²
- Resistencia: 154,32 kg/cm²

3.10.1. Ensayo de compresión de cilindros de hormigón permeable a los 28 días

Figura 27.

Ensayo de compresión en cilindro a los 28 días de fundido



Elaborado por: Correa & Martinez (2025)

Figura 28.

Rotura de cilindro a los 28 días



Elaborado por: Correa & Martinez (2025)

Figura 29.

Resultado de la rotura del cilindro a los 28 días



Elaborado por: Correa & Martinez (2025)

Resultados de ensayo

- Carga: 18500kg
- Área de cilindro: 81cm²
- Resistencia: 228,40 kg/cm²
- 3.11 Prueba de filtración de agua

3.10.2. *Prueba de filtración del hormigón permeable*

Figura 30.

Volumen 200 ml de agua en recipiente para ser filtrado en hormigón permeable



Elaborado por: Correa & Martinez (2025)

Figura 31.

Prueba de filtración de agua en hormigón permeable



Elaborado por: Correa & Martinez (2025)

Resultados de ensayo

- Cantidad de agua por filtrar: 200ml
- Cantidad de agua filtrada 200 ml
- Hormigón permeable: 210 kg/cm²
- Resultado: filtro el agua al 100%
- Tiempo de filtración: 14s

CAPÍTULO IV

PROPUESTA Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1. Introducción a la propuesta

El trabajo de titulación presentará una propuesta de solución al problema de drenaje pluvial en zonas urbanas, mediante la evaluación de un sistema adecuado.

La propuesta brinda una solución practica para mejorar el drenaje pluvial mediante el uso de un sistema de bordillo cuneta de hormigón permeable con subdren francés. Este enfoque busca mitigar el escurrimiento superficial a través de la incorporación de un hormigón permeable que permite la filtración directa del agua lluvia a través de él y se complementa con incorporación del subdren francés que garantizara la evacuación controlada del agua filtrada.

El objetivo principal es que el hormigón permita que el agua filtre a través de la cuneta, reduciendo así la cantidad de escurrimiento superficial que comúnmente genera inundaciones o encharcamientos.

Este proyecto busca mejorar la eficiencia del drenaje y reducir los riesgos de inundaciones o encharcamientos. Además, se evaluará el impacto de estas cunetas en la recarga de acuíferos y la sostenibilidad urbana. La propuesta está orientada a ofrecer una solución técnica y adaptable para las zonas afectadas, especialmente que sea aplicable en las áreas urbanísticas afectadas por lluvias intensas, proporcionando un modelo adaptable para mejorar la infraestructura urbana.

Con base al desarrollo del Capítulo III, se planteó la implementación de un sistema de bordillo cuneta con hormigón permeable y subdren francés. Determinándose datos como, un hormigón permeable diseñado para una resistencia de $\frac{210Kg}{cm^2}$, donde los ensayos realizados en las diferentes edades de la probeta superaros la resistencia mínima requerida en esta evaluación.

4.2. Objetivo de la propuesta

El objetivo fue determinar si la cuneta permeable, complementada con un subdren, puede reducir de forma efectiva la escorrentía superficial, mejorar la infiltración y garantizar la evacuación controlada del excedente, evitando acumulaciones de agua y disminuyendo el riesgo de inundaciones.

Este proyecto evalúa el desempeño estructural e hidráulica bajo condiciones de niveles de lluvias altos, con el objetivo de obtener una solución técnica y viable al mitigar los problemas de escorrentía urbana.

4.3. Análisis de resultados

El desarrollo de este proyecto se basa en los resultados obtenidos que permitieron confirmar la viabilidad técnica y la funcionalidad del sistema de cuneta de hormigón permeable con subdren francés.

El ensayo de filtración realizado mostró que la muestra de hormigón permeable permitió la filtración en su totalidad de 200ml de agua en un tiempo de 14 segundos, brindándonos un coeficiente de permeabilidad del ensayo de $K = 0.000357 \frac{m}{s}$.

Este valor nos brindó un alto nivel de permeabilidad evidenciando la capacidad del material que facilita la filtración del agua. Así mismo, se comprobó la resistencia del hormigón mediante ensayo de compresión promedio $\frac{228,40 Kg}{cm^2}$ en sus 28 días.

Mediante el desarrollo del proceso como método racional y parámetros pluviométricos obtenidos hemos concluido con una Intensidad de Lluvia de $i = 120.93 \frac{mm}{h}$, para un periodo de retorno de 10 años por 10 minutos.

4.3.1. Análisis de resultados de materiales, mezcla y resistencia a compresión.

La dosificación empleada en este proyecto para un hormigón permeable está relacionada con 70% - 80% de material grueso y 20%-30% de material fino, esta proporción busca un balance del hormigón donde se obtenga vacíos que permitan al agua filtrar el agua sin perder resistencia.

Mediante el desarrollo de las pruebas a compresión con las diferentes edades de las probetas, el hormigón permeable no solo cumplió con su resistencia mínima de $\frac{210Kg}{cm^2}$, sino que superó su resistencia llegando a $\frac{228,40 Kg}{cm^2}$, de tal manera que este pueda usarse en un sistema de cunetas sometidas a cargas urbanas.

4.3.2. Filtración y permeabilidad

En la prueba de filtración realizada en el laboratorio, se vertió 20ml de agua sobre la placa de hormigón permeable, material que lo filtró en 14 segundos, con un coeficiente de permeabilidad del ensayo de $K = 0.000357 \frac{m}{s}$, esto equivale a que cada metro cuadrado de hormigón permeable deje pasar aproximadamente 0.357 litros de agua por segundo, bajo las condiciones del ensayo.

En comparación con suelos naturales este valor es cercano a una arena fina a media (Permeabilidad moderada), lo que significa que el hormigón si filtra el agua, aunque no con la rapidez esperada. Significando que los poros no son vacíos totalmente continuos sino hay áreas donde el hormigón se encuentra sellado.

Con estos datos se realizó un análisis de evaluación usando el coeficiente de permeabilidad en un planteamiento simulado, con un evento de lluvia calculado de $i = 120.93 \frac{mm}{h}$ y así obtener cuanta agua logra filtrar el hormigón permeable en una cuneta bordillo de un área de $25 m^2$ y un área a drenar de $1ha = 10,000 m^2$.

Como resultado se determina que el hormigón con el coeficiente obtenido en el ensayo no es capaz de filtrar en su totalidad en eventos de condición de lluvias reales, con un total de eficiencia de filtración en la cuneta de 6.64%, con un total a filtrar de $Q_{Filtrado} = 8.93 \frac{L}{s}$.

A este modo, se desarrolló un planteamiento donde se evalué con en base a los mismos datos obtenidos optando por un coeficiente de hormigón permeable típico utilizado en cunetas, estacionamiento o drenaje ligero de $K = 0.005 \frac{m}{s}$, permitiendo un mayor alcance de filtración llegando a un 93% de filtración con un $Q_{filtrado} = 125 \frac{L}{s}$.

Sin embargo, en el desarrollo de la evaluación del sistema, se debe evaluar cuan el caudal y a qué velocidad máxima puede transportar la cuneta planteada. Como resultado se indicó que el caudal que puede transportar una cuneta con el cálculo de la velocidad de agua de Manning es de $0.154 \frac{m}{s}$, lo que quiere decir que el caudal que puede transportar la cuneta es $15.4 \frac{L}{s}$.

En este caso se debe mencionar que al tratarse de una cuneta de hormigón permeable y que 93% de agua se va a filtrar, lo que quiere decir es que, el caudal total que drenará en toda el área de la cuenta será de $Q_{Total} = 134.37 \frac{L}{s}$ y lo que realmente se filtrará será de $Q_{filtrado} = 125 \frac{L}{s}$.

Como resultado el caudal excedente correspondiente al 7% del $Q_{Exedente} = 9.37 \frac{L}{s}$, por tanto, el caudal que puede transporta el sistema de cuneta es menor a lo solicitado.

4.3.3. Sistema constructivo

El proceso constructivo combina técnicas de excavación y de hormigonado especializado en base al desarrollo de la metodología del capítulo III. En este proceso se evalúan dos alternativas:

Alternativa A: Para el desarrollo de esta propuesta se determinó que es la opción más recomendable para este sistema de cuneta.

Esta propuesta consiste en una excavación de zanja de $B_{zanja} = 0.69$ m de ancho y una profundidad de $h_{zanja} = 0.64$ m. Donde se implementará la colocación del Geotextil para que recubre completamente la zanja (base y paredes). Este paso es crítico para evitar que los finos del suelo circundante migren y colmaten (obstruyan) la capa de grava, asegurando la vida útil del sistema.

Posteriormente en la base de la zanja ya revestida, se instala la tubería perforada de PVC, asegurando una pendiente mínima del 1% para garantizar el flujo por gravedad, con diámetro de tubería de $D = 29cm \approx 30cm$ recomendable. De tal manera que esta se encuentre recubierta con grava limpia y de granulometría uniforme hasta la cota de sub-base de la cuneta con un $V_{\frac{grava}{metro}} = 0.38 \frac{m^3}{m}$ dando como resultado un total de grava $V_g \times 50ml = 19m^3$. Este material conforma la capa de almacenamiento la alternativa A.

Alternativa B: Para el desarrollo de esta propuesta se determinó que es la opción de un diámetro mínimo de $D = 25cm$, con una mayor dimensión de zanja $B_{zanja} = 1.05$ m de ancho y una profundidad de $h_{zanja} = 0.80$ m, de igual manera se implementará la colocación del Geotextil para que recubra completamente la zanja (base y paredes). Posteriormente ya revestida la base del material de geotextil se instala la tubería mínima requerida de $D = 25cm$, perforada de PVC, asegurando una pendiente mínima del 1% de manera que se encuentre recubierta con mayor volumen de grava limpia ya que mientras menor sea el diámetro de tubería mayor será la velocidad, por lo que se requiere mayor volumen de grava para que este amortigüe el flujo de agua antes que llegue a la tubería con un $V_{\frac{grava}{metro}} = 0.79 \frac{m^3}{m}$ dando como resultado un total de grava $V_g \times 50ml = 39.5m^3$.

Finalmente, se vierte y se enrasa la capa superficial de hormigón permeable (la cuneta) con el espesor de diseño. Es fundamental un curado adecuado para que el hormigón alcance la resistencia proyectada de 210 kg/cm^2 .

4.3.4. Dosificación empleada en la cuneta

La dosificación utilizada para la elaboración del hormigón permeable en una cuneta fue la misma que se validó en los ensayos de laboratorio. El objetivo era alcanzar una resistencia a la compresión de 210 kg/cm².

Tabla 6.

Tabla Dosificación por metro cúbico (m³) de hormigón es la siguiente:

Material	Cantidad
Cemento	50 kg
Agua	29 kg
Piedra (Agregado Grueso)	189 kg
Arena (Agregado Fino)	46 kg

Elaborador por: Correa & Martinez (2025)

4.3.5. Análisis de la Carga Hidráulica de Diseño

Este resultado cuantifica el desafío real durante una determinada intensidad de lluvia, simulando condiciones donde se debe comprobar si el sistema de cuneta permeable con subdren francés funciona de manera adecuada.

El análisis del sistema con coeficiente de permeabilidad del $K = 0.000357 \frac{m}{s}$, no es capaz de filtrar o drenar una cantidad considerable para la implementación de este sistema, por lo que se debe considerar llegar a un coeficiente de permeabilizad típico para que este tenga una mayor eficacia.

4.3.6. Coeficiente de escurrimiento

Para este proyecto se utilizó un Coeficiente de Escorrentía (C) de 0.40, este valor es el estándar de diseño para una zona residencial de baja densidad, que es el tipo de área especificada en la investigación. Representa una mezcla de superficies,

donde se estima que el 40% de la lluvia se convierte en escorrentía que llega a la cuneta, mientras que el 60% se infiltra o se retiene en áreas verdes.

Al implementar una cuneta de hormigón permeable con subdren francés, se observó que el agua efectivamente llega a filtrarse hasta un 93% utilizando un coeficiente de permeabilidad típico. Por lo que gran parte del agua lluvia que llega a la cuneta será evacuada de forma controlada hacia el subdren reduciendo la escorrentía.

4.3.7. Eficiencia hidráulica

La eficiencia del sistema se refleja se refleja en qué tan bien puede el agua de lluvia filtrarse a través del hormigón permeable en un sistema de bordillo cuneta y cuanto de esa agua de lluvia logra filtrarse a través del hormigón para ser evacuada por el subdren.

Midiendo la capacidad del sistema para permitir que el agua filtre y drene adecuadamente, evitando escurrimientos que afecta a las vía, calle o carril por encharcamientos o inundaciones.

Para ello mediante el desarrollo el proyecto se evaluó el uso un coeficiente de permeabilidad bajo, dado que en el ensayo solo permite un 6.64% en un sistema de cuneta con datos reales de lluvia. Sin embargo, si se el hormigón llega a tener un coeficiente de permeabilidad típico $K = 0.005 \frac{m}{s}$ este puede llegar a un 93% de permeabilidad directa del agua con los datos utilizados.

CONCLUSIONES

El hormigón permeable laborado con una dosificación particular que consiste en 70-80% de agregado grueso y 20-30% de fino, superó la resistencia mínima exigida de 210 kg/cm², alcanzando 228,40 kg/cm² a los 28 días, lo que garantiza su capacidad estructural para aplicaciones en cunetas vehiculares.

Los ensayos de filtración demostraron que el hormigón permeable permite la filtración completa del agua aplicada en laboratorio, presentando un coeficiente de permeabilidad experimental de $K = 0.000357 \text{ m/s}$. Aunque este valor resulta funcional, se encuentra por debajo del rango estándar para el uso de un hormigón permeable eficiente en cunetas (0.002 a 0.005 m/s), lo que limita su eficacia de filtración bajo condiciones reales.

El diseño de la cuneta permeable, combinado con el subdren, permite que el sistema opere eficientemente para altas intensidades de lluvia, asegurando la durabilidad y funcionalidad del drenaje urbano.

RECOMENDACIONES

Se recomienda el uso del 80 % de material grueso y el 20% de material fino para la elaboración del hormigón permeable en cunetas con el fin de mejorar la escorrentía de las aguas superficiales.

Se recomienda la dosificación de los materiales del hormigón permeable en la cuneta para su elaboración con una resistencia de 210 Kg/cm², utilizando una dosificación de:

- Cemento 50 kg
- Agua 29 kg
- Piedra 189 kg
- Arena 46 kg

Evitar la instalación del sistema en áreas donde exista contacto directo con el nivel freático.

Realizar mantenimiento periódico para prevenir obstrucciones que disminuyan la permeabilidad.

Se recomienda el uso del hormigón permeable en cuneta para mejorar la escorrentía superficial de las aguas lluvias

Cualquier alternativa a escoger según los objetivos del Proyecto: Se demuestra que ambos son eficientes hidráulicamente cumpliendo con estándares como el coeficiente de permeabilidad estándar entre 0.2 cm/s (120 L/m²·min) y 0.5 cm/s (300 L/m²·min), esto se entiendo que la porosidad del hormigón depende del tiempo de filtración del agua.

Se recomienda el uso de la alternativa A en áreas urbanas donde el espacio para excavar es limitado y se necesita una solución práctica que permita gestionar correctamente el agua filtrada. Es especialmente útil en calles residenciales, vías internas o áreas con restricciones de construcción, ya que ofrece un buen equilibrio entre la capacidad de drenaje y el aprovechamiento eficiente del espacio.

Se recomienda el uso de la alternativa B para áreas con mayor disponibilidad de espacio. Resulta ideal en zonas con riesgo elevado de saturación, suelos de baja permeabilidad o donde se busque optimizar la retención y filtración del agua para un mejor control del flujo como parques o áreas verdes urbanas cercanas a las calles.

En ambos casos, es fundamental emplear adecuadamente el geotextil, para evitar la colmatación del sistema y garantizar su vida útil

Se deben respetar pendientes mínimas del 1% o menores en la tubería del subdren para asegurar un correcto flujo por gravedad.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alcaldía de Guayaquil. (2023). "PROYECTO 4 - POLÍGONO 6 - PAVIMENTACIÓN, INCLUYE CONSTRUCCIÓN DE ACERAS Y BORDILLOS E IMPLEMENTACIÓN DE ALCANTARILLADO PLUVIAL - (COOP. FLOR DE BASTIÓN BLOQUE 9,10,11,12) - PROGRAMA CAF XV. Obtenido de <https://www.guayaquil.gob.ec/wp-content/uploads/Documentos/UPFE-CAF/UPFE%202022/LICO-MIMG-061-2022/Memoria%20Tecnica%20Hidrosanitaria.pdf>
- Alcaldía de Guayaquil. (Julio de 2024). FORTALECIMIENTO DE LA RED VIAL URBANA CON LA IMPLEMENTACIÓN DE SOLUCIONES VIALES EN LA CIUDAD DE GUAYAQUIL: SOLUCIÓN VIAL 3 INTERSECCIÓN AV. JUAN TANCA MARENGO CON LA AV. RODRIGO CHAVEZ GONZALEZ Y OBRAS COMPLEMENTARIAS - PROGRAMA CAF XVI. 29. Obtenido de <https://www.guayaquil.gob.ec/wp-content/uploads/Documentos/UPFE-CAF/UPFE%202024/PE-MIMG-2024-9/PREPARATORIA/11.%20MEMORIAS/2.%20COMPONENTE%202/3.%20HIDROSANITARIO/MemoriaHidrosanitariarev2PasoJTMyOC-OC-signed-signed-signed.pdf>
- Bernilla. (2021). *"Implementación del sistema de drenaje tipo francés aplicado a la napa freática superficial para el mejoramiento de la infraestructura los servicios policiales de la comisaría PNP Catacaos – Piura 2021"*.
- Cervantes, A. F. (2020). *Estudio de factibilidad del concreto permeable y su posible aplicación en la ciudad de Barranquilla, Colombia*. Barranquilla: Universidad de la Costa 1970. Obtenido de <https://repositorio.cuc.edu.co/server/api/core/bitstreams/cee8b728-7821-4b50-8432-731c07dbccde/content>
- Chango, R. D. (2020). *OBTENCIÓN DE UN HORMIGÓN CON ALTA PERMEABILIDAD PARA UTILIZACIÓN EN PAVIMENTOS RESISTENCIA A FLEXIÓN DE 4MPA, USANDO MATERIALES DE LA PROVINCIA DE*

- PICHINCHA. Quito: ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL. Obtenido de <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/21208/1/CD%2010728.pdf>
- Congope. (2019). *Plan de desarrollo vial integral de la provincia de los Ríos*. Quito. Obtenido de <https://www.congope.gob.ec/wp-content/uploads/2024/08/Los-Rios-plan-vial-integral.pdf>
- Consuegra, J. P. (2025). *Diseño de asfalto permeable en el sector Plaza Narcisa de Jesús, Guayaquil*. Guayaquil: Univesidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil. Obtenido de <http://repositorio.ulvr.edu.ec/bitstream/44000/7935/1/T-ULVR-5897.pdf#:~:text=aumento%20de%20superficies%20impermeablesfile:///C:/Users/wilson.martinez/Downloads/TESIS%20GONZALEZ%20AGUILAR%20JENNY%20GORETTY%20009.pdf>
- Correa, & Martinez. (2025). *Diagrama metodológico*. Guayaquil.
- Flores, A. H. (2017). *Diseño de un sistema de drenaje sostenible para la gestión de agua lluvia en el Valle de los Chillos*. Quito: Universidad Internacional SEK. Obtenido de <https://repositorio.uisek.edu.ec/bitstream/123456789/2733/1/ARTICULO%20Disen%C3%B1o%20de%20un%20sistema%20de%20drenaje%20sostenible%20para%20la%20gesti%C3%B3n%20de%20agua%20lluvia%20en%20el%20Valle%20de%20los%20Chillos.pdf>
- Grupo Argos. (18 de Diciembre de 2024). *Grupo Argos*. Obtenido de https://colombia.argos.co/fichas_tecnicas/Cartilla-Cunetas-soluciones-viales.pdf
- Gutierrez, D. C., Méndez, D. P., & Salto, R. A. (s.f.). Determinación del parámetro hidrológico número de curva en la cuenca de la quebrada El Batán, usando sistemas de información geográfica y percepción remota. 2017. UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR, QUITO. Obtenido de <https://revistadigital.uce.edu.ec/index.php/RevFIG/article/view/53>
- Hormibal. (2025). *Hormibal*. Obtenido de <https://hormibal.cl/sitio/product/respaldo/>

- Ing. Civil Free. (2022). *Ing. Civil Free*. Obtenido de <https://www.ingcivilfree.org/2018/09/hidrocalculus-11-2014-calculo-basico-de.html>
- Istock. (2010). *Istock*. (Kozmoat98, Productor) Obtenido de Istock: <https://www.istockphoto.com/es/foto/construcci%C3%B3n-de-hormig%C3%B3n-curb-gm182919712-13834201>
- Konkret . (2023). *Konkret* . Obtenido de <https://konkret.com.ec/product/bordillo-cuneta/>
- Lexis Finder. (2017). *Texto unificado de legislación secundaria de medio ambiente*. Obtenido de <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/05/TULSMA.pdf>
- LOTAIP. (2013). NORMAS CONSTITUCIONALES. *NORMAS CONSTITUCIONALES*. MINISTERIO DE EDUCACION, ECUADOR. Obtenido de https://educacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/01/TRANSP-NORMAS_CONSTITUCIONALES.pdf#:~:text=vida
- Ministerio de Ambiente, agua y Transición Ecológica. (2025). *ACUERDO Nro. MAATE-MAATE-2025-0036-A*. Quito. Obtenido de <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2025/05/ACUERDO-Nro.-MAATE-MAATE-2025-0036-A.pdf>
- Ministerio de Transporte y Obras Públicas. (2025). *EJE VIAL 4 CARRETERA BELLAVISTAZUMBA-LA BALSA, PROVINCIA ZAMORA CHINCHIPE*. Quito. Obtenido de https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2025/08/IV-EJE-VIAL_Informe-ejecutivo-agosto-25.pdf
- Narvaez. (2013). *“Determinación de escorrentía superficial y calidad de agua en la cuenca de abastecimiento de la parroquia de Aloasí “*.

- Navarrete, I. (30 de Agosto de 2024). *Pontificia Universidad Católica de Chile* .
Obtenido de <https://www.uc.cl/noticias/que-es-el-hormigon-permeable-y-como-puede-contribuir-a-conservar-el-agua-en-las-napas-subterraneas/>
- Núñez. (2025). *“Análisis del comportamiento a compresión y corte puro de hormigón permeable para distintas relaciones agua/cemento con adición de fibras de polipropileno “*.
- Pantoja. (2024). *Evaluación de pavimentos permeables como tecnica para mitigar picos de escorrentia superficial*.
- Paredes Cerón, A. C. (19 de Abril de 2023). *SCRIBD*. Obtenido de Sistemas de Subdrenaje y Control: <https://es.scribd.com/document/781917507/3-0-Sistemas-de-Subdrenaje-y-Control>
- Paredes, S. F., García, L. A., & Sánchez, V. X. (2024). *“Diseño de prototipo de hormigón permeable para áreas recreativas en la Universidad de Milagro (UNEMI). Milagro*. Obtenido de <https://ciencialatina.org/index.php/cienciala/article/view/12999/18764>
- Pavi Real. (s.f.). *Pavi Real*. Obtenido de <https://www.pavireal.es/hormigon-poroso/>
- Revelino. (2014). *“Evaluación del sistema de drenaje de las alcantarillas y cunetas, y propuesta de replanteo de mejora en la trocha carrozable entre el sector Bellavista y Ccocha en el distrito de Haquira – Apurímac”*.
- Sanchez Sabogal, F. (2016). Obtenido de Consideraciones sobre el drenaje en los pavimentos: <https://vagosdeunisucrev2.wordpress.com/wp-content/uploads/2016/11/modulo-5-consideraciones-sobre-el-drenaje-en-los-pavimentos.pdf>
- Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos. (2025). *RESOLUCIÓN Nro. SNGR-160-2025*. Samborondón. Obtenido de <https://www.gestionderiesgos.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2025/04/Resol.SNGR-160-2025.pdf>
- Spalvier, Díaz, Marrero, Baliosian, Pielarisi, & Segura. (2021). Recomendaciones sobre pavimentos de hormigón permeable. 2021. Grupo de hormigón estructural, Instituto de Estructuras y Transporte, Facultad de Ingeniería,

Universidad de la república de Uruguay, Uruguay. Obtenido de https://www.gub.uy/ministerio-ambiente/sites/ministerio-ambiente/files/documentos/publicaciones/Pavimentos%20de%20hormig%C3%B3n%20permeable_FING.pdf

Torres. (2019). *“Diseño de mezcla de concreto permeable para la construcción de la superficie de rodadura de un pavimento de resistencia de 210 kg/cm²”*.

Universidad Laica Vicente Rocafuerte de guayaquil. (2019). ULVR. Obtenido de <https://www.ulvr.edu.ec/wp-content/uploads/2024/06/file>

Vite, J. E. (2019). *Mejoramiento de capacidad de soporte de fundación por incorporación de sistema de subdrenaje en el Km 8+500 al Km 9 +500 con problemas de filtraciones en la carretera alto Chira-Sullana-Piura*. Piura: Universidad Nacional de Piura. Obtenido de <https://core.ac.uk/download/pdf/328027482.pdf#:~:text=uso%20de%20un%20sistema%20de%20sub%20drenes%20longitudinales%20y%20transversales>

Yellow Services. (2023). *Yellow Services*. Obtenido de <https://yellowservicespanama.com/proyectos/cuneta-trapezoidal-base-de-0-30/>

ANEXOS

ANEXO 1.

Equipo de balanza



ANEXO 2.

Material grueso y fino listo para la mezcla de hormigón



ANEXO 3.

Adición de cemento a la mezcla



ANEXO 4.

Mezcla elaborada con todos los materiales que intervienen en el hormigón permeable



ANEXO 5.

Vaciado de mezcla en cilindros para hormigón



ANEXO 6.

Preparación de moldes para paneles de hormigón permeable



ANEXO 7.

Cilindros de hormigón permeable (Muestras)



ANEXO 8.

Cilindros elaborados con hormigón permeable



ANEXO 9.

Colocación de cilindros en piscina para curado de hormigón



ANEXO 10.

Piscina para curado de hormigón



ANEXO 11.

Cilindros de hormigón listos para el ensayo de compresión



ANEXO 12.

Cilindro 7 días de fundido listo para ensayo de compresión



ANEXO 13.

Cilindro 7 días de fundido listo para ensayo de compresión



ANEXO 14.

Ensayo de compresión de cilindros de hormigón permeable a los 14 días



ANEXO 15.

Resultado ensayo de compresión a los 14 días



ANEXO 16.

Prensa hidráulica utilizada para ensayo de compresión a los 28 días de fundido



ANEXO 17.

Rotura de cilindro a los 28 días



ANEXO 18.

Prueba de filtración de agua en hormigón permeable



ANEXO 19.

Ensayo de resistencia a la compresión de Cilindros de Concreto

Ensayo de Resistencia a la Compresión de Cilindros de Concreto



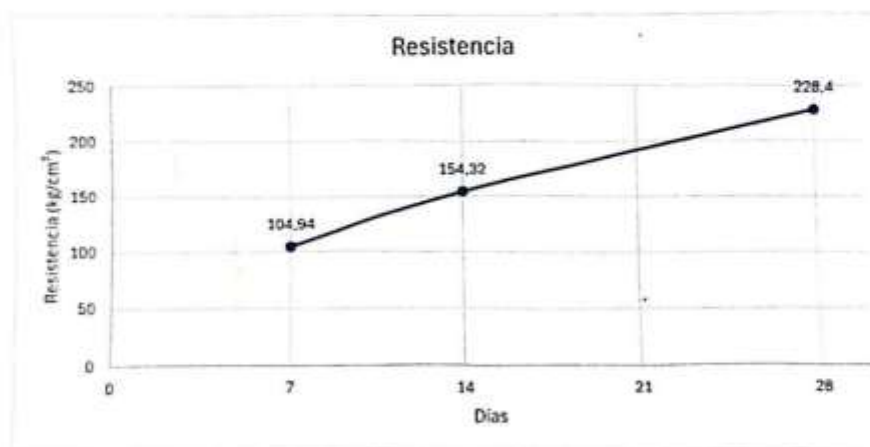
Nombre del
proyecto:

EVALUACIÓN DE UN SISTEMA DE CUNETAS PERMEABLES CON SUBDREN
FRANCÉS COMO MEDIDA DE CONTINGENCIA PARA REDUCCIÓN DE
ESCORRENTÍA

Lugar de
ensayo:

Laboratorio Arnaldo Ruffili de la Universidad de Guayaquil

Cilindro N	Día	Area(cm ²)	Carga(kg)	Resistencia
1	7	81	8500	104,94
2	14	81	12500	154,32
3	28	81	18500	228,4



UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL
Carlos Carbo V.
TEC. LABORATORIO G1