



**ESTUDIO DE ALTERNATIVAS PARA EL DISEÑO DE UN SISTEMA DE DRENAJE
DE LA VÍA UBICADA EN LA CARRERA 11 B ENTRE LAS CALLES 7 Y 8 BARRIO
CUNDINAMARCA DE DUITAMA BOYACÁ**

TIBADUIZA GARCÍA, OSCAR JAVIER

CÓDIGO: 20481923358

UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO

PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL

DUITAMA, COLOMBIA

2022

**ESTUDIO DE ALTERNATIVAS PARA EL DISEÑO DE UN SISTEMA DE DRENAJE
DE LA VÍA UBICADA EN LA CARRERA 11 B ENTRE LAS CALLES 7 Y 8 BARRIO
CUNDINAMARCA DE DUITAMA BOYACÁ**

TIBADUIZA GARCÍA, OSCAR JAVIER

TRABAJO PRESENTADO COMO REQUISITO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE:

INGENIERO CIVIL

Director

Ing. CELIS PARRA, SERGIO DAVID

UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO

PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL

DUITAMA, COLOMBIA

2022

Nota de aceptación

Presidente del jurado

Jurado

Jurado

Dedicatoria

Este trabajo es dedicado de corazón a mis hijos Oscar Julián y Sol Camila, las personas que día a día están conmigo impulsándome a seguir adelante.

A mi madre mi “Maru”, quien, a pesar de las dificultades de una época, nos sacó adelante.

A mi esposa Marcela Infante, la incondicional, mi apoyo y mi docente de cabecera.

A la persona que me inculcó los conocimientos y amor por las obras civiles, el ser que sin saber leer ni escribir tenía una experiencia y conocimientos similares a los de un ingeniero: José Domingo García. (Q.E.P.D)

A mis hermanos, a mis tíos maternos, a mis tíos políticos y demás familiares. A mis amigos que siempre confiaron en mis capacidades.

Agradecimientos

Agradezco a Dios principalmente, el Único Ser capaz de hacer estos logros posibles.

Agradezco al Ingeniero Sergio Celis por ser mi guía en este proyecto.

A la Universidad Antonio Nariño por permitirme ser parte de ella y por brindarme la oportunidad de poder darle continuidad a mis estudios y a mis sueños.

A toda la planta docente de la universidad, a los Ingenieros Félix Cuevas, Ramón Manrique y Julio Riaño grandes exponentes de la ingeniería y personas excepcionales, gracias por compartir conmigo sus conocimientos y experiencias que llevare a partir de que comience mi vida profesional.

Tabla de contenido

Introducción	10
1. Problemática	12
1.1 Descripción del problema	12
1.2 Formulación del problema	13
2. Justificación	14
3. Objetivos	15
3.1 Objetivo general	15
3.2 Objetivos específicos	15
4. Marcos de referencia	16
4.1 Marco Teórico	16
4.2. Marco conceptual	22
4.3 Marco legal	27
5. Metodología	30
6. Caracterización general del proyecto	33
6.1 Generalidades del municipio	33
6.1.1 Localización del municipio	34
6.1.2 Plan de Ordenamiento Territorial (POT) del Municipio de Duitama	34
6.2 Diagnóstico actual de la vía	35

	7
6.2.1 Ubicación de la vía	36
6.2.2 Topografía	36
6.2.3 Hidrología	38
7. Alternativas de Sistemas de drenaje	43
7.1 Drenaje superficial	44
7.1.1 Diseño de cunetas	44
7.1.2 Diseño de alcantarillas	53
7.2 Drenaje subsuperficial	60
8. Construcción alternativa de drenaje del proyecto en estudio	71
9. Presupuesto	75
10. Conclusiones	84
11. Recomendaciones	85
12. Bibliografía	86
Anexos	92

Lista de figuras

Figura 1 Drenajes viales.	22
Figura 2 Esquema del proyecto.	32
Figura 3 Localización del municipio	34
Figura 4 Estado actual de la vía	35
Figura 5 Ubicación de la zona de estudio	36
Figura 6 Pendientes.	37
Figura 7 Perfil longitudinal.	38
Figura 8 Estaciones hidrologicas.	39
Figura 9 Temperaturas	40
Figura 10 Curvas intensidad duración frecuencia	41
Figura 11 Caudales.	42
Figura 12 Bordillos de seguridad.	46
Figura 13 Secciones de cunetas típicas	47
Figura 14 Expresión.	48
Figura 15 Caja colectora	51
Figura 16 Partes principales de una alcantarilla.	52
Figura 17 Alternativas para localización en planta de alcantarillas.	54
Figura 18 Condiciones de flujo en alcantarillas	55
Figura 19 ecuación.	56
Figura 20 Tipos de filtros.	61
Figura 21 Drenes longitudinales.	62

Figura 22 Drenes transversales.	63
Figura 23 Drenaje.	64
Figura 24 Tabla 673 – 3. Requisitos del material granular drenante	66
Figura 25 Tabla 673 – 1. Propiedades mecánicas del geotextil en términos de VMPR	68
Figura 26 Tabla 673 – 2. Propiedades hidráulicas y de filtración mínimas del geotextil en términos de VMPR	68
Figura 27 Sección típica de la posición del sub dren	73
Figura 28 Detalle en alzada de la salida del sub dren	74
Figura 29 Detalle orificios de la tubería del sub dren	74

Lista de tablas

Tabla 1 Criterios de diseño.	67
Tabla 2 Presupuesto 1	71
Tabla 3 Presupuesto 2-1	72
Tabla 4 Presupuesto 2.2	73
Tabla 5 Presupuesto 2.3	74
Tabla 6 Presupuesto 2.4	75
Tabla 7 Presupuesto 3.1	76
Tabla 8 Presupuesto 3.2	77
Tabla 9 Presupuesto 4.1	78
Tabla 10 Presupuesto general	79

Introducción

Las vías son consideradas como espacios destinados al tránsito de personas y vehículos, además de ser el medio de comunicación entre un lugar y otro, por lo tanto, se requiere que estas cumplan unos factores necesarios de seguridad, comodidad, eficiencia y calidad.

El elemento que más pone en riesgo dichas características necesarias en las vías, sin lugar a dudas es el agua, por eso se determinan unos elementos capaces de mitigar el impacto hidráulico negativo en las vías. Las carreteras destapadas hacen parte de la mayor red vial del país, y estas no son ajenas a este enemigo, ya que reciben menor presupuesto para su diseño y mantenimiento, convirtiéndose en las más abandonadas por las administraciones nacionales; en la actualidad no existe una normativa clara que indique los criterios de diseño, mantenimiento y construcción para este tipo de vías.

Como medida de mitigación de este impacto negativo hidráulico, aparecen los sistemas de drenaje, considerados un medio para evitar los daños que puede causar la invasión del agua a la estructura de la vía. Las obras de drenaje son muy importantes para el funcionamiento de las vías en general, pero especialmente en carreteras destapadas, ya que, al tener una capa de rodadura altamente sensible al efecto del agua, requieren de mayor consideración; el agua afecta directamente el comportamiento y efectividad de los materiales utilizados en carreteras de este tipo, ocasionando inestabilidad e inseguridad para los usuarios.

En este trabajo se pretende investigar los diferentes diseños de drenajes para vías, buscando brindar una alternativa de los sistemas de drenajes convencionales más utilizados para este tipo de vías y realizar un adecuado diseño de drenaje; planteando el diseño de obras de arte en vías como la rama de la ingeniería civil que planifica, proyecta y construye las obras hidráulicas que cumplen con la función de captar, conducir y regular las aguas que puedan hacer

daño a la vía. Para el diseño del sistema de drenaje, debe tenerse en cuenta las normas hidráulicas. Es un factor determinante a considerar los registros hidrológicos de la zona, así como también, las características topográficas del terreno donde se desarrolla el proyecto.

1. Problemática

1.1 Descripción del problema

En la actualidad, la importancia de la calidad de la malla vial local es sinónimo de la calidad y eficiencia de las administraciones municipales, además que se afianza el buen vivir de los ciudadanos; por ello, las vías de acceso residenciales son factor fundamental para mejorar la calidad de vida de las familias. Partiendo de lo anterior surge la idea del presente trabajo al ver que la carrera 11B entre las Calles 7 y 8 Barrio Cundinamarca en la ciudad de Duitama, Boyacá, presenta graves problemas en su adecuación, como en el deterioro, en la falta de definición geométrica y en la falta de un mecanismo de drenaje superficial o subsuperficial, tales como cunetas, sumideros, alcantarillas, bordillos, canales y filtros, que ayuden a fluir de manera correcta el agua lluvia. Estas fallas están causando afectaciones considerables a los habitantes del barrio.

El deterioro de la malla vial causa problemas de salud por el polvo contaminante que produce afectaciones respiratorias y accidentes de tránsito (Gutiérrez et al., 2020), p.8). Según las apreciaciones de los residentes, a ellos se les dificulta el acceso y el transporte, situación que hace que la calidad de vida de las familias que viven allí se vea amenazada, porque cuando llueve se presenta altos niveles de lodo y cuando se presenta verano los índices de polución suben significativamente.

Por otra parte, a causa del mal estado de la carretera es imposible que el vehículo de recolección de basuras entre al lugar, lo que provoca que los funcionarios de URBASER no realicen de mejor manera su labor. Gutiérrez et al., (2020) establece que, de acuerdo al Plan de Desarrollo de Boyacá, Duitama no cuenta con una malla vial adecuada en los barrios para la

movilidad tanto de vehículos, de habitantes como de visitantes, por lo que se requiere la recuperación de la malla vial alineando planes y diseños que aporten soluciones a los problemas de circulación dentro de la ciudad.

Cabe resaltar que uno de los factores que afecta el estado actual de la callejuela es el agua lluvia que se filtra y discurre por el suelo y produce socavaciones que afectan las características mecánicas del suelo, cambiando la resistencia, produciendo deformaciones y asentamientos diferenciales a lo largo de la vía y erosión sobre la superficie. Se concluye que un drenaje inadecuado en la calzada permite la afectación en diversas actividades que realiza el ser humano como la economía, la recreación, el turismo y el transporte.

1.2 Formulación del problema

¿Cuál es la alternativa de drenaje que permite mejorar la calidad de la vía ubicada en la carrera 11 B entre las calles 7 y 8 Barrio Cundinamarca de la ciudad de Duitama del departamento de Boyacá?

2. Justificación

La propuesta es relevante, ya que se presenta una solución para la comunidad al mejorar el diseño de la vía, mediante una propuesta que mejoraría la entrada y salida de cada una de las viviendas del barrio. Es necesario tener diferentes alternativas de drenaje para la vía, que permita obtener economía, funcionalidad y durabilidad. La necesidad de las vías en buen estado es un derecho que se tiene como ciudadano, ya que garantiza el bienestar y la dignidad de las personas. La propuesta tiene el fin de propiciar una vía segura, cómoda y de larga vida útil, que ofrezca calidad de vida a las personas que residen en el lugar.

Los productos de este trabajo tienen como referencia beneficiar a los residentes del barrio Cundinamarca de la ciudad de Duitama, Boyacá, compuesta por más de 16 familias de estrato 2. Beneficios que se pueden resumir en una mejora del acceso vehicular, una mejor salubridad, una mejor accesibilidad peatonal y una recolección oportuna de las basuras.

3. Objetivos

3.1 Objetivo general

Proponer una alternativa de diseño de un sistema de drenaje para la vía ubicada en la carrera 11 b entre las calles 7 y 8 barrio Cundinamarca de Duitama, Boyacá

3.2 Objetivos específicos

- Describir el estado actual de la calzada y analizar el sistema de drenaje de la zona de estudio.
- Identificar las especificaciones técnicas necesarias para la construcción de obras de drenaje y desarrollar una alternativa al diseño y drenaje de la vía

4. Marcos de referencia

4.1 Marco Teórico

La conexión vial en cualquier parte del mundo es un tema importante, pues la construcción de vías que conecten a la población son sinónimo de progreso. Colombia no escapa a la necesidad de construir una muy buena malla vial para ir progresando en lo social, en lo económico y en las posibilidades de una mejor comunicación entre regiones. La conexión vial en Colombia se ha dado de muchas maneras, desde lo más rudimentario a lo más sofisticado, ejemplo de lo primero son los caminos de herradura y de lo segundo son las mega construcciones que se han inaugurado últimamente en el país como viaductos y túneles que comunican a las ciudades principales del país. Lo cierto es que todas estas construcciones se han dado para resolver problemas de intercambio comercial y desplazamiento humano (González y Alba, 2006).

La red vial colombiana es de 164.000 km aproximadamente, de los cuales 16.776 son de red primaria, de los que 13.296 están encargadas al INVÍAS, y 3.380 km están concesionados; 147.500 km son de Red secundaria y terciaria distribuidos así: 72.761 km encargados a los departamentos, 34.918 km encargados a los municipios, 27.577 al Instituto Nacional de Vías, y 12.251 km a privados (Liz y Rúgeles, 2018). Dentro del país hay distintas formas de concebir una carretera, según INVÍAS, que es el ente encargado de regular y supervisar la construcción de vías en el país, las carreteras se clasifican en: primarias, secundarias y terciarias.

Las primarias: Las carreteras primarias son el acceso vial a capitales y a las principales zonas de producción y consumo del país, en ellas hay un alto flujo del tránsito vehicular continuo o controlado, entre las distintas áreas de una ciudad. Además, son las principales conexiones con

las demás fronteras, es decir, son la conexión con los demás países. Las vías estimadas como primarias siempre deben estar pavimentadas.

Las vías secundarias: Estas conectan unas con otras a las cabeceras municipales y ayudan a conectar con vías primarias. Son carreteras locales que no tienen flujo vehicular continuo, éstas pueden funcionar pavimentadas o en afirmado.

Las terciarias: Son aquellas vías de acceso que unen las cabeceras municipales con sus veredas o unen veredas entre sí, éstas deben funcionar en afirmado. En caso de pavimentarse deberán cumplir con las condiciones geométricas estipuladas para las vías Secundarias (INVIAS, 2016).

Las vías secundarias y terciarias, por ser aquellas vías que llegan a las zonas más alejadas del país, han jugado un papel significativo en todos los planes de rehabilitación social y económica que se han llevado a cabo en las zonas de conflicto y violencia en el país, ejemplo de ello es lo diseñado en los planes de rehabilitación en 1983, en el plan de vías para la paz en el año 2000, y uno más reciente que son los Caminos para la Prosperidad. (Peñaranda, Ríos y Sierra, 2019)

La importancia de mejorar la cobertura y la calidad de las vías secundarias y terciarias de un país tiene como resultado impulsar del desarrollo económico y social del campo y de diversos pueblos que están apartados de las grandes ciudades. No obstante, para que este tipo de intenciones logren el éxito se necesita de buenos diseños geométricos y de pavimentos, además de esto también contar con una tecnología adecuada que se acomode a los patrones de calidad internacional, pero más aún que se adapten a las realidades locales.

Según el Departamento Nacional de Planeación (DNP), la cuarta parte de todas las vías terciarias están en tierra, y pese a que el hecho de que no tengan pavimento no es un mal indicador, de las que no tienen asfalto, 45,4% está en mal estado y 36,1% en estado regular. Aunque el INVIAS afirma que el 96% de estas calzadas están en condiciones inadecuadas y pavimentadas está poco menos de 8.000 kilómetros. (Vargas, Carreño y Uhia, 2019) Siete de cada 10 kilómetros de la red de carreteras que tiene Colombia pertenecen a una vía terciaria. Sin embargo, son este tipo de carretera las que menos presupuesto reciben para su mantenimiento o reconstrucción, afectando así la calidad de vida de muchos colombianos.

En su inicio las carreteras pavimentadas se trazaban para unir las ciudades que por su economía eran importantes para el país, su costo de inversión era alto y era una necesidad mayor para el progreso nacional, lo que ocasionó que se dejaran de lado las vías rurales. Fue hasta 2007 que se inició un proceso constructivo y de recuperación de los senderos rurales. En esos nuevos proyectos juega un papel importante la calidad del drenaje, pues estos sistemas ayudan a que la carretera se mantenga en buen estado contrarrestando las exigencias del clima, lo que motivó un proceso tanto económico como estético, en las vías apartadas del sector rural del país (Correa y Suarez, 2019). Para un mejor tránsito y accesibilidad de una carretera, es necesario el mantenimiento de éstas, sin importar el tipo de superficie observada. De ese modo, el uso de nuevos productos y materiales regionales que perfeccionan el equilibrio del suelo o de técnicas sencillas, como los sistemas de drenajes, deben fomentarse para tener nuevas formas de entender la infraestructura vial.

El buen estado de una carretera se encuentra ligado al desempeño de las obras de arte y drenaje. Un buen sistema de drenaje evita el colapso de una carretera, pues de lo contrario el deterioro de la obra puede ser a mediano o a largo plazo, lo que ocasionaría un gasto económico,

problemas de flujo vial y una baja calidad de vida para las gentes que vivan alrededor. Por ende, en cualquier proyecto de carretera es fundamental los estudios hidrológicos, porque ayudan a dimensionar y diseñar de manera adecuada las obras hidráulicas. El correcto conocimiento del comportamiento hidrológico de un lugar es fundamental para poder establecer las áreas vulnerables a los eventos hidrometeorológicos extremos; así como para prever un correcto diseño de obras de infraestructura vial (Vargas, 2018). Los problemas con el agua en una carretera se pueden dar de varias maneras, en vías secundarias y terciarias por lo general los problemas con el agua son que están cerca de ríos, quebradas y lagos que a veces por la inclemencia de las lluvias estos se desbocan y causan daños grandes a la vía. En zonas urbanas los problemas son más que todo por la lluvia que ponen a prueba todo el sistema de alcantarillado de una ciudad, pero de manera más individual ponen a prueba los sistemas de drenaje de las carreteras urbanas, que en la mayoría de veces terminan deteriorándose por los malos diseños que se hacen de los drenajes. En definitiva, en una calle, el sistema de drenaje es el grupo de obras que permite manejar adecuadamente los fluidos, por ello se debe tener en cuenta el desarrollo de la captación, conducción y evacuación del agua.

En la zona urbana, durante épocas de lluvias, surge la necesidad de evacuar el agua para reducir los riesgos, tanto para la población como para las construcciones. Las construcciones urbanas como los son los edificios, las casas, las calles, entre otras, han hecho que el entorno natural cambie, lo que produce que haya sitios poco permeables que incrementan los problemas de filtraciones y de averías a causa del agua que se filtra por entre estos lugares, y esto hace necesario el diseño de sistemas de drenaje para solucionar el problema. Un sistema de drenaje urbano es importante debido a que busca disminuir el deterioro que las aguas lluvia pueden ocasionar a la gente y a las propiedades del medio urbano. Un sistema de drenaje no es solo una

etapa de una construcción, sino que también es un medio para asegurar la tranquilidad de las personas y de un buen tránsito vehicular en tiempos difíciles por el clima.

Los beneficios de un buen sistema de drenaje son variados como, por ejemplo: en la salud porque evitan empozamientos que después pueden ser un centro de infecciones, en lo ambiental ayudan a evitar contaminación de fuentes hídricas importantes para la estabilidad social, al igual que ayudan a la recolección de agua lluvia que puede ser reutilizada en momentos de sequía. En lo que se refiere a la seguridad vial ayuda a evitar accidentes de tránsito, permite un flujo vial y peatonal en tiempos de precipitaciones, permite el alivio de un sistema de alcantarillado que colapsa en momentos de lluvias. En lo urbano beneficia mucho al embellecimiento de los lugares, evita daños grandes a las edificaciones y aumenta el valor de las zonas, porque asegura la calidad de vida de las personas que viven allí. Los sistemas de drenaje se clasifican según la función que cumplan. Están los sanitarios que transportan las aguas residuales y los pluviales cuando conducen solamente agua de lluvia. Por otro lado, también hay sistemas de drenajes combinados que desalojan ambos tipos de aguas (Niño y García, 2021).

Entre los tipos de drenajes que se pueden construir están las denominadas obras de arte menor y arte mayor. Las obras de drenaje menores son aquellas que drenan el agua de las carreteras, en donde están los drenajes superficiales que se construyen sobre la superficie de la vía, para mejorar el equilibrio de la pendiente de un terreno minimizando la filtración y mitigando el desgaste. En este tipo de obras se encuentran estructuras como las cunetas, las cunetas de coronación, bombeo, lavaderos, zampeados, y alcantarillas. Dentro de estas obras menores también está el drenaje subsuperficial que ayuda a eliminar la humedad con el fin de eliminar el agua del suelo que puede llegar afectar la estabilidad y la estructura del pavimento de

la carretera. En cuanto a las obras de arte mayor son estructuras que exceden las dimensiones de carreteras comunes, entre estas estructuras están los puentes o viaductos (INVIAS,2009).

Ahora bien, un sistema de drenaje tiene ciertos componentes que son indispensables a la hora de plantearse dicho sistema. Entre estos componentes están las estructuras de captación, de conducción y de vertido. Las de captación son las obras que extraen o recolectan el agua y dentro de estas estructuras se colocan rejillas que evitan el ingreso de materiales que pueden llegar a obstruir los conductos y empeorar el funcionamiento del sistema de drenaje. Las estructuras de conducción llevan el agua desde el punto de recolección hasta el punto de almacenamiento, estas estructuras se forman por canales y tuberías. Por último, las estructuras de vertido son esas estructuras que protegen el proceso final del drenaje, pues son las encargadas de manejar la descarga final de la red de desagüe. Por otro lado, uno de los momentos fundamentales del sistema de drenaje es la disposición final, la cual se señala antes de empezar la construcción del proyecto para saber muy bien a dónde va ir a dar el agua que pasa por el sistema de drenaje y así evitar daños en la descarga del agua (Niño y García, 2021).

No sobra saber que para cumplir con estos objetivos es importante que el diseño de las obras de drenaje debe ser llevado a cabo por una empresa que cuente con la experiencia suficiente en ingeniería civil y en construcciones de este tipo, ya que una mala planificación puede traer pérdidas económicas y hasta humanas. En definitiva, un buen sistema de drenaje en carreteras urbanas o rurales hacen la diferencia frente a los posibles daños que se puedan causar por el agua. Lo sistemas de drenajes son una de las tantas herramientas de ingeniería civil que ha creado el hombre para enfrentar las inclemencias climáticas, con el fin de buscar el bienestar y el progreso en sociedad.

4.2. Marco conceptual

Figura 1 Principales elementos de drenajes viales.



Nota: En esta figura se observa los componentes y tipos de drenaje viales. Fuente de elaboración propia.

Para Perafán (2016), la infraestructura vial son los elementos vitales para el desplazamiento de peatones y vehículos de manera segura, y su mantenimiento previene daños en sus componentes. Por otra parte, el drenaje es el sistema de tuberías para desalojo de líquidos como lo establece Beteta y Valdez (2019). Con el crecimiento poblacional, se deben acondicionar las vías frente a la acumulación de lluvias de manera superficial, para lo cual se deben tener en cuenta componentes como la estructura de captación, traslado, conexión, mantenimiento, vertido y disposición final, entre otros.

En cuanto a las obras de drenaje, estas se diseñan con el fin de disminuir el mayor volumen de agua posible que llega a fundación de la carretera. Se tiene en cuenta el ingreso a la red de drenaje, la conducción y la salida del dispositivo final. Para ello es necesario favorecer la evaluación rápida de las aguas superficiales y reducir las filtraciones en las calzadas, andenes y zonas adyacentes drenando las aguas infiltradas y capas freáticas subterráneas de forma que se mantenga en el suelo un equilibrio hidráulico compatible con la estructura del pavimento.

Camargo y Lozada (2018), definen el drenaje superficial como la recolección de aguas lluvias haciendo uso de cajas y colectores. Por otra parte, Rojas (2018) define las alcantarillas como estructuras de evaluación de aguas ya sea de aguas lluvias o de otra índole.

Las variables a estudiar son el sistema de drenaje y la alternativa de diseño.

A continuación, se muestran los conceptos relevantes en el presente trabajo:

Afirmado: es una capa granular destinada para llevar las cargas con una granulometría específica para soportar las cargas del tránsito basada en los mismos principios y conceptos del diseño de estructuras de pavimento teniendo en cuenta la resistencia de la subrasante y el tránsito estimado para un periodo de diseño. (Camargo y Maldonado, 2020)

Alcantarilla: es una estructura subterránea que tiene como finalidad evacuar las aguas lluvias y éstas vienen protegidas en la parte superior y se presentan de varias formas (rectangular, cuadrada, circular) (INVIAS, 2009).

Berma: el propósito de esta estructura es proporcionar soporte de borde a la calzada del pavimento, asistencia a los vehículos en problemas, incrementar la seguridad y prevenir la erosión de las capas inferiores (Hillón López y Ortega, 2017).

Canales: “Son zanjas construidas en terreno natural o revestidas en concreto, vegetación o piedra” (Romero, Ronchaquira y Gómez, 2017, p. 17).

Carretera: Estructura del transporte cuyo objetivo es permitir la circulación de vehículos y personas en condiciones de continuidad en el espacio y el tiempo, con niveles adecuados de seguridad y de comodidad. (INVIAS, 2013).

Cemento: El cemento es un polvo fino, es una mezcla de piedra caliza, arcilla y mineral de hierro. El resultado de este proceso se llama Clinker, molido con yeso y otros agregados químicos para producir cemento (Cemex, s.f).

Concreto ciclópeo: “Este concreto en términos generales es un concreto simple en cuya masa se incorporan grandes piedras o bloques y que no contiene armadura; estas deben ser introducidas a la masa previa selección y lavado con el requisito indispensable de que cada piedra en su ubicación definitiva debe estar totalmente rodeada de concreto simple. Este tipo de concreto no es considerado estructural” (DNP, 2016, p. 5).

Concreto hidráulico: es una mezcla de cemento, agua, arena, grava y en algunos casos se utilizan aditivos. Es uno de los materiales más empleados en la construcción por sus ventajas en la duración, la resistencia, la impermeabilidad, la facilidad de producción y por lo económico (Carreño y Ospina 2020).

Conservación Vial: actividades que se realizan para mantener en buen estado las condiciones estructurales de los elementos que componen la vía, buscando así preservar lo invertido en la construcción de la vía, además de preservar lo económico, también es mantener la vía en condiciones óptimas para el uso de los usuarios (Liz y Rúgeles, 2018).

Contracuneta: “Las contra cunetas son zanjas, generalmente paralelas al eje de la carretera” (Romero, Ronchaquira y Gómez, 2017, p. 18).

Cuneta: Es una estructura que capta las aguas provenientes de la rodadura de la vía y de los taludes de corte, conduciéndolas longitudinalmente hasta asegurar su adecuada disposición, ayudando así al drenaje. (DNP, 2016).

Drenaje: sistema de tuberías o sumideros que se emplean para la eliminación de fluidos, generalmente pluviales, en una población determinada (DNP, 2016).

Escorrentía: “agua de lluvia que discurre por la superficie de un terreno” (DNP, 2016, p.

Estudio de suelos: esta clase de análisis permite dar a conocer las características físicas y mecánicas del suelo, es decir la composición de los elementos en las capas de profundidad, así como el tipo de cimentación más acorde con la obra a construir y los asentamientos de la estructura en relación al peso que va a soportar (Quintero, 2017).

Filtro: Elemento encargado de captar, controlar y evacuar las aguas provenientes a nivel sub superficial por la presencia de niveles freáticos altos o por infiltración ya sea a través del pavimento, afirmado o de los suelos de las laderas adyacentes en un tramo de la vía considerada (Programa Colombia Rural, 2019, p.14)

Flujo vehicular: se refiere al número de vehículos que pasan por un punto, sección de un camino o a una intersección en un determinado tiempo (INVIAS, 2015).

Obras de drenaje: el conjunto de obras que permiten un manejo adecuado de los fluidos, para la cual es indispensable considerar los procesos de captación, conducción, y evacuación de los mismos (INVIAS, 2009).

Subdrenaje: “Es un drenaje subterráneo construido para interceptar, conducir y/o desviar los flujos de agua subterráneos, que se encuentren en el suelo de fundación de la vía y/o provenientes de los taludes adyacentes” (Romero, Ronchaquira y Gómez, 2017, p. 18).

Supervisión técnica: actividad de coordinar la vigilancia y el apoyo para que los procesos se realicen de forma satisfactoria. De este tipo de supervisión depende que en la obra se cumplan con los tiempos, con las técnicas y con el presupuesto económico pactado entre quien ordena y financia la obra y quien la ejecuta (Quintero, 2017).

Tránsito: Numero de vehículos que transitan por un camino en un tiempo estimado, teniendo en cuenta las dimensiones, el peso y la funcionalidad del mismo. (Correa y Suarez, 2019).

Vía: espacio público por donde transitan las personas o vehículos. Estos espacios públicos se trazan teniendo en cuenta las normatividades locales, nacionales e internacionales, teniendo como base la preservación de derechos fundamentales como: la vida, la salud, la libertad, la propiedad, la movilidad, entre otros (Liz y Rúgeles, 2018).

Vías Terciarias: Son aquellas vías de acceso que unen las cabeceras municipales con sus Veredas o que comunican las Veredas entre sí, estas pueden estar en afirmado o capa de rodadura (INVIAS, 2015).

4.3 Marco legal

En cualquier proyecto de construcción es de suma importancia conocer la normatividad que rige este tipo de obras, todo ello con el fin de evitar sanciones o multas que pueden llegar a afectar el tiempo de la obra, lo que puede generar grandes retrasos y pérdidas económicas para los entes implicados. Sin embargo, hay que recordar que este proyecto es una propuesta de una alternativa de drenaje, lo que no evita que se hable de las normatividades vigentes para tenerlas claras en procesos de construcción de este tipo.

A continuación, se muestran las principales normatividades (Manuales, leyes, decretos y normas)

- Ley 09 de 1979 congreso de Colombia. Por la cual se expide el Código Sanitario.
- Norma NS-085 del SISTEC. Criterios de diseño de sistemas de alcantarillado.
- Norma técnica NTC colombiana 44. Tubos y juntas de asbesto-cemento para conducción de fluidos a presión.
- Constitución política de Colombia de 1991. Artículo 78. La ley regulará el control de calidad de bienes y servicios ofrecidos y prestados a la comunidad.
- Criterios para los diseños específicos para los pasos urbanos definidos en el decreto 2976 de 2010 (ANI, s.f., pág. 3).
- Decreto 302 de 2000. Por el cual se reglamenta la Ley 142 de 1994, en materia de prestación de los servicios públicos domiciliarios de acueducto y alcantarillado.
- Esquema de ordenamiento territorial de la ciudad de Duitama, Boyacá.

-Ley 1682 de 2013. Por la cual se adoptan medidas y disposiciones para los proyectos de infraestructura de transporte y se conceden facultades extraordinarias.

-Ley 373 de 1997 Sobre ahorro y uso eficiente del agua.

-Ley 388 de 1997. Vincula a los drenajes urbanos en los planes de ordenamiento territorial.

-Ley 400 del 19 de agosto de 1997. La presente ley establece criterios y requisitos mínimos para el diseño, construcción y supervisión.

-Ley 769 de 2002- Código Nacional de Tránsito Terrestre.

-Manual de diseño de pavimentos de concreto para vías con bajos, medios y altos volúmenes de tránsito, adoptado mediante Resolución 000803 de 2009 del Ministerio de Transporte (ANI, s.f., pág. 3).

-Manual de diseño geométrico para carreteras, adoptado mediante Resolución No. 000744 del 4 de marzo de 2009 del INVIAS (ANI, s.f., pág. 3).

-Manual de drenaje de carreteras, adoptado mediante Resolución 000024 de 2011 del Ministerio de Transporte (ANI, s.f., pág. 3).

-Manual de drenaje para carreteras (INVIAS, 2009)

-Manual de señalización – dispositivos para la regulación del tránsito en calles, carreteras y ciclorutas de Colombia. Adoptado por Resolución 4577 de 2009 del Ministerio de Transporte (ANI, s.f., pág. 3).

-Metodología general para la presentación de estudios ambientales, expedida por el ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial conforme resolución 1503 del 4 de agosto de 2010 (ANI, s.f., pág. 3).

-Norma Técnica Colombiana (NTC) 1504. Clasificación de suelos para propósitos de ingeniería (sistema de clasificación unificada de suelos).

-Norma Técnica Colombiana (NTC) 1257. Ingeniería Civil y Arquitectura. Instalación de tuberías para conducción de aguas sin presión.

-Normas técnicas de INVÍAS 2017.

-NSR 10 – Título H. Estudios geotécnicos.

-NSR 10 -Título C. Concreto estructural.

-NTC 121 - Especificación de desempeño para cemento hidráulico.

-RAS 2000 con su nueva actualización de la Resolución 0330 del año 2017. Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico título aspectos generales de los sistemas de agua potable y saneamiento básico.

-Resolución 000024 de 2011: Por el cual se adopta el Manual de Drenaje para Carreteras del Instituto Nacional de Vías (INVÍAS).

5. Metodología

En el desarrollo del proyecto “estudio de alternativas para el diseño de un sistema de drenaje de la vía ubicada en la carrera 11 b entre las calles 7 y 8 barrio Cundinamarca de Duitama, Boyacá, se tendrán en consideración las siguientes etapas.

Etapas 1: Planificación y determinación del diseño. En esta etapa se analiza el problema y se propone una solución de acuerdo a los lineamientos de drenaje en vías terciarias, detallada a continuación: descripción del problema, objetivos, justificación, marcos de referencia y recomendaciones.

Etapas 2. En esta etapa se desarrolla todas y cada una de las actividades según lo propuesto en las fases de planeación del proyecto.

Consulta de especificaciones técnicas de sistemas de drenaje

Efectuar la consulta ante los entes que manejan los datos estadísticos hidrológicos en la zona como la empresa de servicios públicos (Empoduitama) y el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM).

Descripción del estado actual de la calzada

Realizar una visita a la secretaría de planeación municipal para consultar la gaceta actualizada del POT y tenerlo como punto de partida para el desarrollo del proyecto.

Consulta de datos topográficos

Determinar por medio de consultas bibliográficas y visitas a la administración municipal y el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), toda la información topográfica para la plena realización del desarrollo del proyecto.

Consulta de datos hidrológicos

Consultar en la empresa de servicios públicos Empoduitama y búsqueda de datos estadísticos de precipitaciones e hidrología emitidos en la página del Ideam, de la ubicación de la vía en estudio.

Descripción de las posibles alternativas de sistema de drenaje

Para el desarrollo del proyecto, se propone un sistema de drenaje con características que se ajustan a la guía de diseño de sistemas de drenaje del Instituto Nacional de Vías (INVIAS), implementando las disposiciones del capítulo V: Recomendaciones para el diseño del drenaje superficial en vías.

Presentación de la alternativa del sistema de drenaje ajustada a la vía

Se realiza la descripción de la alternativa de sistema de drenaje que se ajuste a las características de la vía y costo-beneficio.

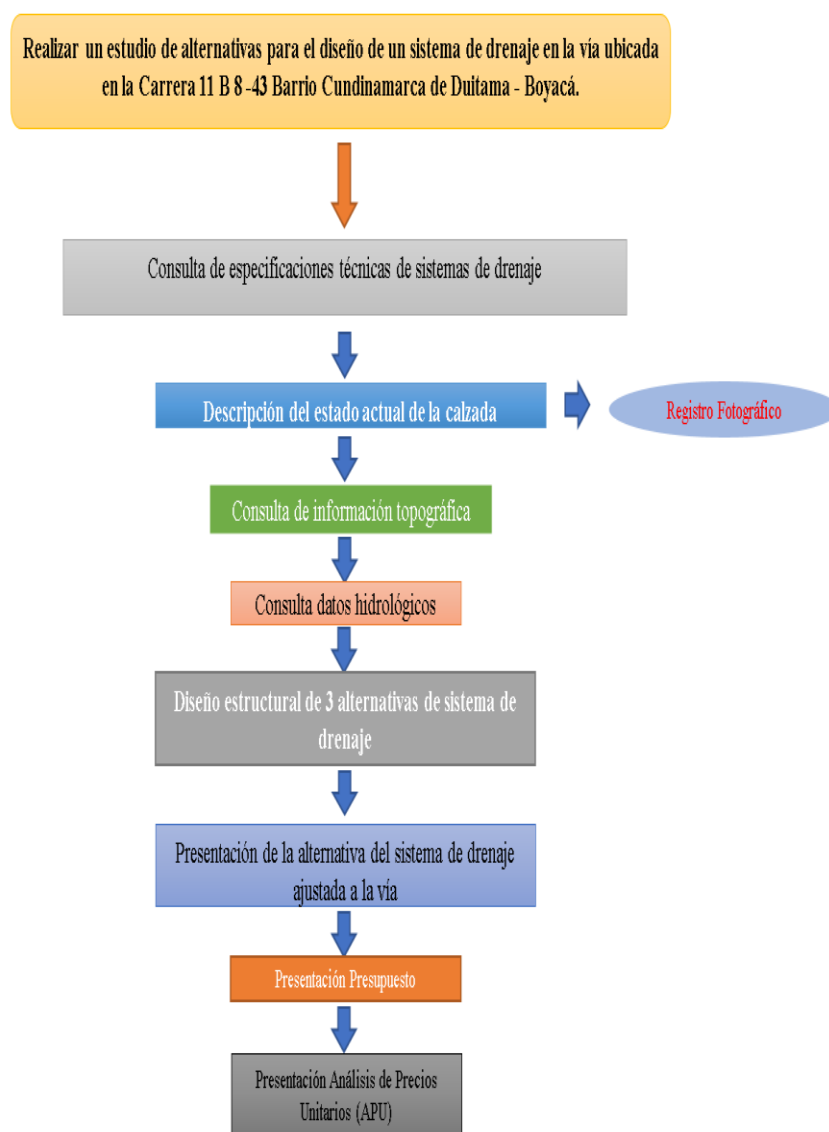
Presupuesto

Se presentará el presupuesto de la alternativa con el tipo de estructura dado y diseño de obra de drenaje propuesta.

Análisis de precios unitarios

Además, se realizará la entrega de los análisis de precios unitarios (APU) de los ítems dados para el diseño de obra de drenaje propuesta.

Figura 2 Descripción del Esquema del proyecto.



Nota: La figura describe el orden que se tiene en cuenta para desarrollar el proyecto. Elaboración propia.

6. Caracterización general del proyecto

6.1 Generalidades del municipio

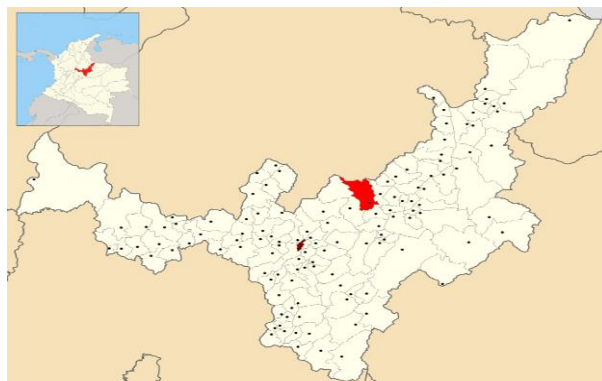
Duitama es un municipio ubicado en el departamento de Boyacá, en el centro-este de Colombia. Es la capital y el centro urbano más grande de la provincia de Tundama. Es conocida como “la capital cívica de Boyacá” y “la perla de Boyacá”. Es el puerto de transporte por tierra o más importante del oriente del país y se ubica sobre varias vías importantes de la región, como la carretera troncal central del norte, lo que la transforma en punto neurálgico para la prestación de servicios y desarrollo de la actividad industrial. Según el DANE, solo el 3,36 % de la población posee necesidades básicas insatisfechas (DANE,2008) lo que la convierte en uno de los municipios con mejor calidad de vida del país. Posee 127.000 habitantes aproximadamente, según las proyecciones del censo del 2018.

Su ubicación geográfica la convierte en una de las ciudades con mayor área proyectada del oriente colombiano. Es uno de los primeros centros urbanos de la provincia de Boyacá, es parte esencial del corredor industrial de Boyacá, la principal zona económica de la provincia.

Exhibe una diversidad de producción, principalmente en actividades educativas, comerciales, de transporte industrial y de servicios, formando una metrópolis de hecho con Sogamoso y otros municipios de las provincias del Tundama y Sugamuxi.

6.1.1 Localización del municipio

Figura 3 Localización del municipio de Duitama, Boyacá



Nota: En esta figura se observa la ubicación geográfica del municipio donde se desarrolla el proyecto. Tomada de Wikipedia.

6.1.2 Plan de Ordenamiento Territorial (POT) del Municipio de Duitama

La ordenación del territorio es una herramienta fundamental que adopta un municipio o ciudad para crecer. Por un lado, tiene que ver con la organización política donde el Estado adopta la gestión de aspectos económicos, sociales, políticos y la cultura del municipio. Por otro lado, cambia a medida que las ocupaciones de los habitantes evolucionan junto con la región, como resultado de la intervención de las personas sobre la naturaleza. Estos dos elementos de la planificación del uso del suelo son interdependientes, con el objetivo de lograr más productividad, justicia social y sostenibilidad ambiental. La planificación del uso de la tierra también promueve el desarrollo como herramienta de gestión, planificación y supervisión, además del desarrollo físico del territorio.

Teniendo en cuenta lo anterior, se hizo una revisión del Plan de Ordenamiento Territorial del Municipio de Duitama para verificar los aspectos técnicos correspondientes a la

implementación de Sistemas de Drenaje, pero no se encontró literatura específica respecto al tema.

En el Capítulo IX, Artículos 278 y 279 se refiere a las obras de drenaje como “medidas estructurales para mitigar el riesgo de inundación en el área urbana” y como sistemas de drenaje de alcantarillado previstas por Empoduitama que permitirán la evacuación de las aguas lluvias y residuales de la ciudad disminuyendo el riesgo de inundación. (Gaceta oficial POT 2009. p 87).

6.2 Diagnóstico actual de la vía

Cabe resaltar que uno de los elementos que afecta la condición actual de la callejuela es el agua en forma de lluvia que se filtra y corre por el suelo y produce socavaciones que afectan las características mecánicas del suelo, cambiando la resistencia, produciendo deformaciones y asentamientos diferenciales a lo largo de la vía y erosión sobre la superficie como se observa en la figura 4. Se concluye que un drenaje inadecuado en la calzada permite la afectación en diversas actividades que realiza el ser humano como la economía, la recreación, el turismo y el transporte. De este modo, se formula el siguiente problema: ¿Cuál es la mejor alternativa de drenaje para la vía ubicada en la carrera 11B entre las Calles 7 y 8 Barrio Cundinamarca de Duitama Boyacá?

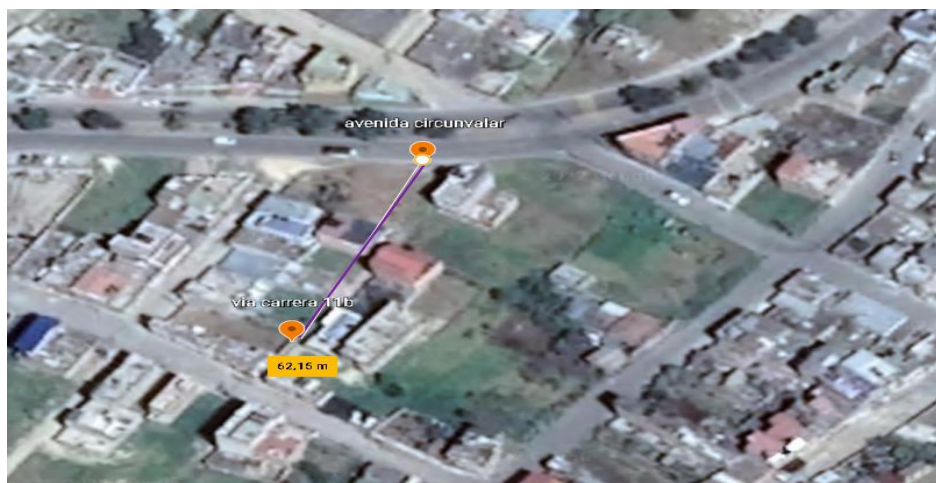
Figura 4 Estado actual de la vía



Nota: En esta figura se observa el estado de la vía hasta mayo del 2022. Registro fotográfico tomado por el autor.

6.2.1 Ubicación de la vía

Figura 5 Ubicación de la zona de estudio



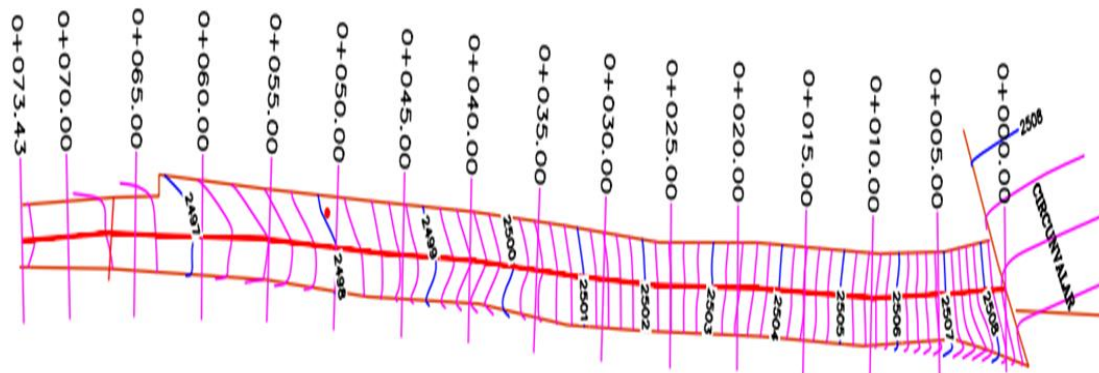
Nota: Se representa la ubicación de la zona del desarrollo del proyecto. Esta figura es tomada de Google Earth, 2022.

6.2.2 Topografía

Según el Manual de Diseño de Carreteras de INVIAS, se propone como principal criterio de diseño identificar la topografía del terreno donde está ubicada la vía, esta topografía permite conocer las características del terreno y permite graficar niveles y formas de la superficie terrestre.

Se realiza el levantamiento topográfico de la vía con coordenadas arbitrarias, tomando datos de bordillo, eje y bordillo cada 5 metros hasta completar los 73 metros de longitud de la vía, este levantamiento muestra evidentemente que la vía presenta porcentajes de pendientes muy altas como se evidencia en la figura.

Figura 6 *levantamiento topográfico de la vía en estudio.*



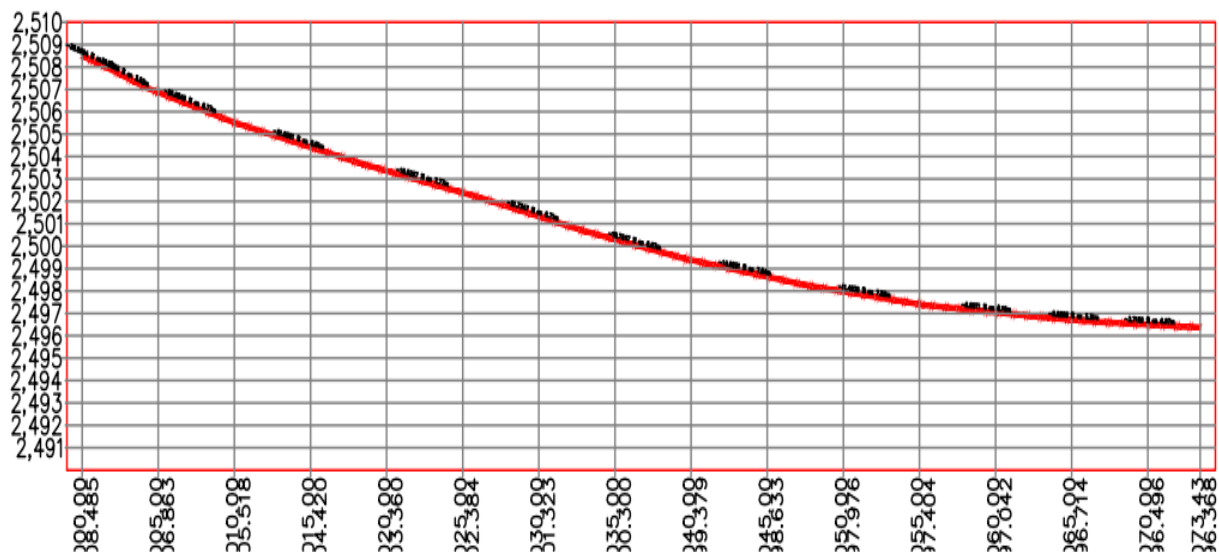
Nota: Se observa la inclinación con respecto a la sección transversal y longitudinal de la calzada.

La anterior figura es tomada del levantamiento topográfico realizado por el autor.

Perfil longitudinal

Las nivelaciones y perfiles longitudinales son levantamientos topográficos realizados para describir en detalle la forma del terreno. Para realizar cualquier obra civil es necesario conocer las características del terreno sobre el que se proyecta, donde la plenitud y la sección longitudinal son muy importantes. La nivelación consiste en determinar el nivel del terreno, conociendo el nivel inicial o de salida. Estos niveles reflejarán el desnivel entre puntos. La nivelación ayudará a resolver incógnitas de desniveles, determinar el nivel de trabajo de andenes, taludes de drenaje en vías públicas (Santa, Giraldo y Herazo, 2019).

Figura 7 Perfil longitudinal de la vía



Nota: Se aprecia las alturas respectivas de los puntos de bordillo y eje de vía tomados del levantamiento topográfico. Figura realizada por el autor en AUTOCAD.

Como la imagen muestra, se puede observar con detalle los desniveles que presenta la vía en estudio, además, este perfil longitudinal muestra que la pendiente de la vía llega hasta el 30 por ciento.

6.2.3 Hidrología

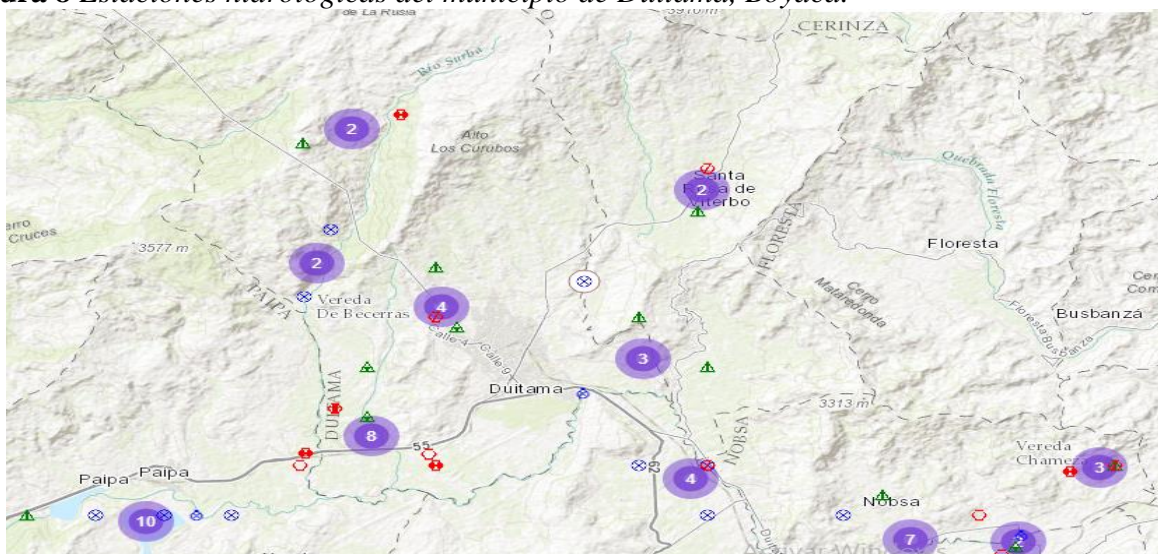
Las carreteras destapadas presentan mayor vulnerabilidad ante las precipitaciones causando daño por la falta de implementación de sistemas de drenaje adecuados, para esto es de vital importancia conocer y consultar los factores hidrológicos e hidráulicos con el fin de poder prevenir estos daños.

En el diseño de los diferentes sistemas de drenaje se necesita conocer tres aspectos esenciales para su diseño garantizando su funcionalidad y durabilidad, dichos elementos son:

- Diseño hidrológico
- Diseño hidráulico
- Diseño estructural

En estos tres componentes se pueden determinar coeficientes de escorrentía, intensidad de la lluvia, tiempos de concentración, periodos de retorno, tipos de flujo, velocidad del flujo, coeficientes de rugosidad, ya que con estos datos se puede hacer una aproximación de la forma y el diseño del sistema de drenaje adecuado y ajustado a los factores de estos temas hidráulicos e hidrológicos.

Figura 8 Estaciones hidrológicas del municipio de Duitama, Boyacá.



Nota: Figura tomada del IDEAM

En la figura anterior, se observan las estaciones meteorológicas físicas activas y actuales de las cuales dispone el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, detallando las estaciones pluviométricas, pluviográficas, radiosonda, meteorológica especial entre otras, cerca de la zona de estudio.

Teniendo en cuenta que las obras de drenaje influyen en la durabilidad de las vías terciarias, ya que permiten canalizar las aguas de manera tal que estas no las deterioren a través del tiempo, principalmente en los periodos de invierno, es importante tener una estadística clara, precisa y actualizada de factores hidrológicos presentes en las precipitaciones, como se puede observar en la siguiente figura, donde se evidencia la consulta estadística de las lluvias, las temperaturas y las precipitaciones del municipio, mes a mes.

Figura 9 Información temperaturas mensuales municipio de Duitama, Boyacá

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Temperatura media (°C)	13.9	14.3	14.2	13.9	13.7	13.3	13	13.2	13.7	13.7	13.6	13.7
Temperatura min. (°C)	9.5	10	10.1	10.1	9.9	9.2	8.7	8.6	8.9	9.7	9.9	9.6
Temperatura máx. (°C)	19.4	19.8	19.4	18.6	18.2	17.8	17.8	18.3	18.9	18.7	18.4	18.8
Precipitación (mm)	43	66	123	183	147	92	86	74	75	112	107	60
Humedad(%)	70%	70%	74%	80%	81%	79%	78%	77%	75%	78%	80%	76%
Días lluviosos (días)	9	11	16	18	19	17	17	16	15	17	14	10
Horas de sol (horas)	7.0	6.8	6.3	5.9	6.3	6.5	6.4	6.4	7.0	6.4	6.0	6.6

Nota: Descripción estadística mensual de la temperatura ambiental del Municipio de Boyacá, figura tomada del sitio web Climate-Data.org¹

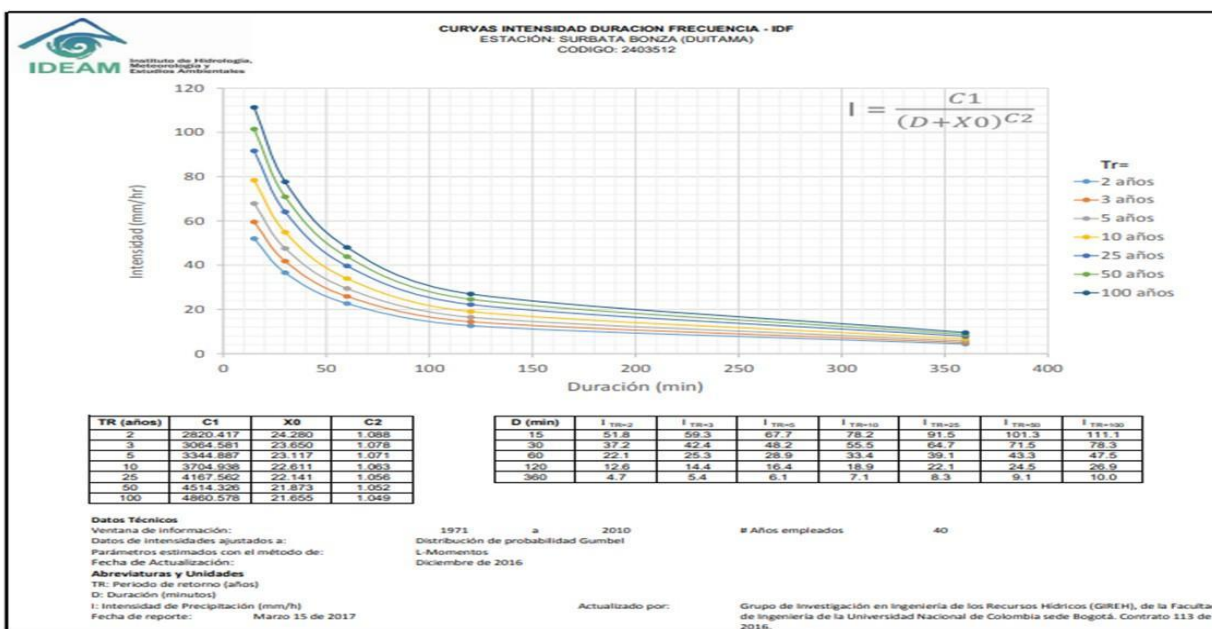
Para determinar el caudal hidrológico en la proyección de la alternativa de sistema de drenaje para la vía ubicada en la Carrera 11, entre calles 7 y 8 del Municipio de Duitama, se debe

¹ TOMADO DE: <https://es.climate-data.org/>

tener en cuenta la Curva IDF, emitida por la estación SURBATA-BONZA, ubicada en el Municipio.

La siguiente gráfica describe la Curva Intensidad Duración Frecuencia, representa la intensidad (I) de una lluvia fuerte expresada en milímetros por hora que produce una duración (D) determinada que usualmente puede ser 30, 60, 90, 120 o 360 minutos y que se estima tiene una probabilidad de ocurrencia, o frecuencia (F) expresada en años, lo que también se conoce como periodo de retorno.²

Figura 10 Curvas intensidad duración frecuencia



Nota: Información curvas IDF. Figura tomada del IDEAM.

Después de analizar los datos hidrológicos que emite el IDEAM, según la curva IDF arrojada por la estación cercana al proyecto y la estadística de precipitaciones por año, dadas mes

² tomado de: [http://www.ideam.gov.co/curvas-idf#:~:text=La%20Curva%20Intensidad%20Duraci%C3%B3n%20Frecuencia,F\)%20expresada%20en%20a%C3%B1os%20%20lo](http://www.ideam.gov.co/curvas-idf#:~:text=La%20Curva%20Intensidad%20Duraci%C3%B3n%20Frecuencia,F)%20expresada%20en%20a%C3%B1os%20%20lo)

a mes, se estableció el análisis de caudales máximos mensuales, relacionados con los promedios de caudal anuales, como se muestra en la siguiente figura.

Figura 11 Caudales máximos de diseño

CAUDALES MAXIMOS MENSUALES (mm)													
AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	CAUDAL PROMEDIO ANUAL
2002	2	1,596	2,496	0,188	0,158	2,964	0,188	0,188	1,244	1,244	0,775	0,348	1
2003	0,14	0,464	0,33	6,06	1,41	1,21	2,96	1,28	3,05	7,23	13,42	7,23	4
2004	0,741	0,788	0,532	6,451	3,849	1,48	2,581	0,896	3,144	5,869	3,849	0,741	3
2005	0,464	0,566	0,498	1,412	2,675	1,644	4,216	4,743	1,972	3,972	2,136	1,276	2
2006	1,069	7,003	4,73	5,343	4,78	2,415	0,677	0,508	4,577	7,003	4,577	2,415	4
2007	0,508	0	0	8,291	2,315	4,293	1,423	1,72	1,423	7,003	2,712	1,069	3
2008	0,901	0	0	0,957	4,03	1,819	1,069	4,293	1,125	3,503	8,095	0,957	2
2009	0,677	0,901	9,076	2,117	2,811	3,109	0,621	1,069	2,315	2,811	2,811	0	2
2010	0	0	0	18,26	8,095	2,315	15,54	2,415	4,293	4,424	8,291	5,343	6
CAUDAL MAXIMO MES	7	11	18	49	30	21	29	17	23	43	47	19	26

Nota: Contiene información de los caudales máximos mensuales que se deben tener en cuenta para analizar el caudal de diseño de la vía. Realización propia.

En la tabla se registran los caudales máximos mensuales y los caudales promedios anuales, estos datos son esenciales a la hora de determinar un sistema de drenaje, ya que con estos datos estadísticos se puede tener los caudales de diseño.

7. Alternativas de Sistemas de drenaje

A continuación, se describe, de forma profunda, la función y proceso constructivo de los siguientes sistemas de drenaje, con el fin de analizar la opción que más se ajuste a las necesidades y dimensiones de la vía en cuestión, de acuerdo con los estudios topográficos, perfil longitudinal y sección transversal realizados. Los sistemas de drenaje son:

- Cuneta
- Alcantarilla
- Filtro subsuperficial

Un sistema de drenaje unidireccional se define como un dispositivo especialmente diseñado para recibir, dirigir y evacuar el agua que pueda afectar directamente las características funcionales de cualquier componente de la vía. El desagüe es uno de los elementos fundamentales en el diseño y construcción de carreteras, ya que su función es mantener el agua lejos de la misma, evitando su impacto negativo en la estabilidad y transitabilidad de la carretera, así como reducir sus costos de conservación y mantenimiento. El drenaje adecuado es esencial para evitar el continuo deterioro localizado de los caminos hasta la destrucción total y para reducir los impactos ambientales negativos debido a los cambios en el flujo a lo largo del camino.

Los objetivos de los sistemas de drenaje son desocupar de forma rápida el agua que se acopia en la calzada, minimizando o quitando el flujo de agua que se conduce hacia el camino y prevenir que el fluido cause daños estructurales a la calzada. Dependiendo del tipo de flujo de agua que transita por la vía se pueden considerar dos tipos de drenaje: superficial o subsuperficial.

7.1 Drenaje superficial

Comprende una serie de obras cuyo objetivo es captar las aguas lluvias para canalizarlas y evacuarlas a canales naturales, sistemas de alcantarillados o sobre la zona freática del suelo.

Actúan directamente sobre la vía y controlan la erosión., lo que es fundamental para la estabilidad de esta. Según la posición que tengan respecto al eje de la vía, las obras de drenaje superficial pueden ser longitudinales o transversales.

1. Drenaje longitudinal: Encauza las aguas que caen sobre la plataforma de la carretera de forma paralela a esta, llevándola al cauce que se requiera, ya sea natural o artificial. Este tipo de obras evitan que el agua permanezca sobre la vía. A este grupo pertenecen las cunetas, contra cunetas, bordillos y canales de encauzamiento. Para esta sección del trabajo, se profundizará solamente en el diseño de cunetas, ya que es una de las opciones de obra adecuada para la vía en estudio, según su descripción actual.
2. Drenaje transversal: Permite el flujo de agua a través del eje de la vía. Generalmente la interferencia se realiza perpendicularmente al eje y llevan la participación de la cuenca encontrada en la parte superior de la carretera, en dirección a la parte inferior los siguientes son tipos de drenaje transversal: los puentes, canales, bateas y alcantarillas. En esta sección del trabajo se profundizará en el diseño de alcantarillas, tomándolas como alternativa de diseño a estudiar para la vía en análisis.

7.1.1 Diseño de cunetas

Las cunetas están definidas por el INVIAS (2009) como estructuras de drenaje que captan las aguas de escorrentía superficial proveniente de la plataforma de la vía y de los taludes de corte, conduciéndolas longitudinalmente hasta asegurar su adecuada disposición. El Manual de Drenaje para Carreteras, norma que rige en Colombia, considera que el revestimiento de las

cunetas para vías de primer y segundo orden es necesario, mientras que para vías de tercer orden es opcional y se debe definir a partir de un análisis técnico y de costos, dentro del cual se incluya el mantenimiento. La forma o sección transversal de la cuneta, la cual bajo un punto de vista exclusivamente hidráulico debe ser óptima, es decir, que para un área determinada se tenga el mayor caudal, lo que implica que la sección tenga el menor perímetro mojado (Instituto Nacional de Vías, 2009).

En un corredor de la red terciaria, la cuneta corresponde al elemento longitudinal de drenaje de la corona con ancho de calzada de 6.0 metros o superior y que, de acuerdo con el Manual de Diseño Geométrico, 2008, tabla 5.4, dependiendo del tipo de terreno y de la velocidad de diseño se debe proyectar como berma - cuneta con anchos que oscilan entre 0.50 a 1.0m. Según el Manual de drenaje (2009), el revestimiento de dicho elemento en vías de tercer orden es opcional y se debe definir a partir de un análisis técnico y de costos, dentro del cual se incluya el mantenimiento. Los aspectos relacionados para su diseño como localización, caudal de diseño, tipos de sección, seguridad vial, descole, etc., y el desarrollo de un ejemplo se presentan en el numeral 4.2 del Manual de Drenaje para carreteras (2009).

Para el diseño de los elementos de drenaje longitudinal se propone inicialmente una visita de campo al sitio. Una vez seleccionado el tipo de canalización que se va a diseñar, se verificará que sea adecuado a las condiciones del sitio. El área tributaria de la zanja se representará por un trapecioide donde se encuentra la zanja superior, y en caso contrario, se sería representado por un triángulo correspondiente a un área entre cuencas. En cualquier caso, se conoce la base del trapecioide o triángulo, ya que representa el espaciamiento entre estructuras transversales o la longitud máxima recomendada de canalización (100 m). Según Vélez et al (2013), la verificación consiste en obtener el valor teórico de la longitud máxima en la proyección horizontal que

desemboca en la línea, que equivale a la altura de un trapecioide o triángulo, según sea y compárelo con la longitud real que se muestra en el campo-

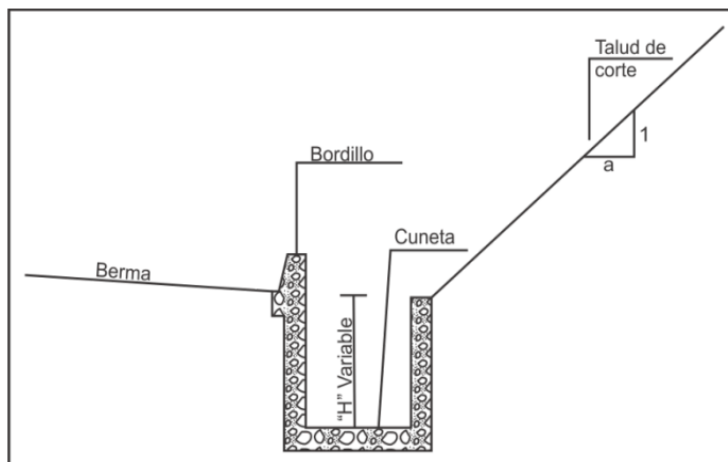
Para obtener la máxima longitud teórica, se deben igualar el caudal máximo que transporta la cuneta elegida y la ecuación del método racional, que calcula el caudal a partir del coeficiente de escorrentía, la magnitud de la lluvia y el área de drenaje. De lo anterior es posible despejar la máxima longitud teórica en la proyección horizontal. En el caso en que esta longitud sea menor que la longitud visualizada en campo, se debe diseñar o elegir otra cuneta con una capacidad mayor.

Tipos de secciones de cunetas:

Son posibles diferentes formas en su sección, incluyendo trapecioide, triángulo, rectángulo y parábola; estos últimos son los más recomendados para la protección de las personas que usan la carretera, pero provocan obstáculos de construcción y baja capacidad hidráulica. Las cunetas de geometría triangular son las más populares debido a la facilidad de construcción y sus capacidades hidráulicas, no obstante, se debe tener precaución con su profundidad, ya que cuanto más profunda es este tipo de cuneta, más peligroso es para los actores viales, porque un vehículo que pasa accidentalmente por la sección puede perder fácilmente el control y tener un accidente.

Las cunetas trapecoidales o rectangulares son las menos recomendadas ya que no garantizan la seguridad del vehículo, pero si su uso es inevitable, se deben implementar sistemas de protección como protectores de ruedas o bordillos para evitar que los vehículos caigan, como se muestra en la figura; alternativamente, se puede usar malla de alambre u hormigón en su superficie, en la misma medida que la superficie de la carretera.

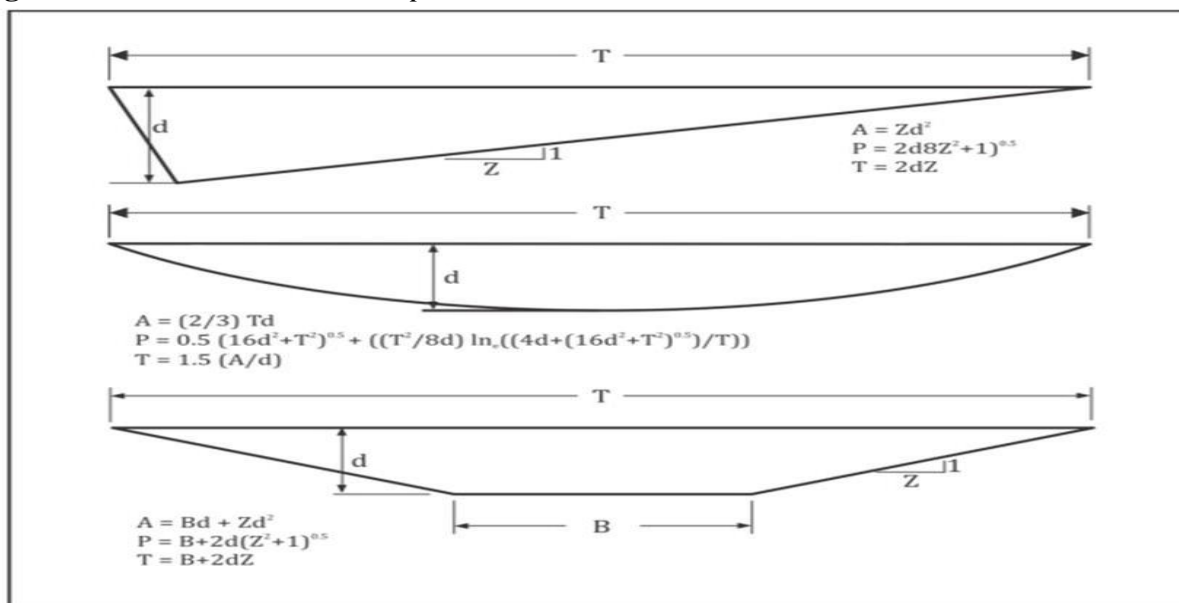
Figura 12 Bordillos de seguridad.



Nota: MINISTERIO DE TRANSPORTE, Instituto Nacional de Vías. Manual De Drenaje Para Carreteras. 2009. p. 4-19.

Teniendo en cuenta lo anterior, las secciones más recomendadas son los tramos parabólicos (de construcción compleja y baja capacidad hidráulica), que son las más adecuadas en los tramos de carretera con acceso frecuente de vehículos (estaciones de servicios, instalaciones comerciales, etc.) y las secciones triangulares (las más fáciles de construir), donde el tráfico rodado es esporádico o inexistente.

En la siguiente figura se pueden observar las secciones de cunetas típicas y sus propiedades geométricas.

Figura 13 Secciones de cunetas típicas

Nota: MINISTERIO DE TRANSPORTE, Instituto Nacional de Vías. Manual De Drenaje Para Carreteras. 2009. p. 4-20.

Funcionamiento hidráulico: El diseño hidráulico de obras de drenaje longitudinales como las cunetas empieza con la verificación que la capacidad hidráulica de la estructura, estimada con la expresión de Manning, sea superior al caudal de diseño. Dicha expresión se observa en la siguiente figura:

Figura 14 Expresión.

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

Siendo:

- Q: Caudal de diseño, en metros cúbicos por segundo (m^3/s).
- n: Coeficiente de rugosidad de Manning.
- A: Área mojada, en metros cuadrados (m^2).
- R: Radio hidráulico, en metros (m).
- S: Pendiente, en metros por metro (m/m).

Nota: MINISTERIO DE TRANSPORTE, Instituto Nacional de Vías. Manual De Drenaje Para Carreteras. 2009. p. 4-21.

La pendiente suele coincidir con la pendiente longitudinal de la calzada, excepto donde se requiera una capacidad hidráulica superior a la estimada o para facilitar que el drenaje se proyecte a la zanja contra el talud en un tramo corto. En estos casos particulares, es necesario comprobar que la pendiente sea, al menos, la más baja recomendada por INVIAS, es decir 0.5% y 0.3% en un área plana.

Teniendo en cuenta la Ecuación de Manning ilustrada en el apartado anterior, se puede obtener la profundidad y la velocidad del agua en la sección transversal de diseño. El nivel del agua debe ser menor o igual a la profundidad de la cuneta y la velocidad debe ser menor que la velocidad máxima aceptada para el material de la sección, pero mayor que la velocidad que promueve la sedimentación y el crecimiento de plantas. También es necesario comprobar que la velocidad a la salida o descole esté dentro del orden establecido, sin causar sedimentos o inestabilidad en el suelo receptor.

Criterios de diseño de cunetas:

Para proyectar el diseño de una cuneta, se debe tener en cuenta los cálculos hidráulicos que fijan su sección transversal, la pendiente longitudinal, puntos de desagüe y tipo de revestimiento a utilizar. La descripción de la determinación del caudal de diseño, capacidad hidráulica y dimensionamiento de secciones se presenta a continuación:

- Caudales de diseño o escorrentía: Se calcula con base en la fórmula racional en forma de módulo de drenaje (gasto unitario) y se debe tener en cuenta las características físicas del tramo.
- Cálculos hidráulicos y dimensionamiento de las secciones: Se calculan con base en la forma de las secciones, (que pueden ser triangulares, rectangulares, trapezoidales o en V)

los caudales de escorrentía, coeficientes de talud interno y externo y la pendiente. Dichas variables dependen de cada estudio de caso de calzada en particular.

A continuación, se exponen algunos aspectos fundamentales a tener en cuenta en el diseño de cunetas, como obras de drenaje longitudinal, y que deben ser tenidas en cuenta según el terreno de la vía en la cual se proponga construirlas.

★ **Revestimiento:** Una cuenta, o cualquier tipo de canal que se use para el drenaje de agua debe revestirse con el fin de:

- Minimizar la infiltración, ya que puede afectar la estructura del pavimento o material de afirmado de la vía.
- Reducir el área húmeda, ya que la canalización de agua permite mayor velocidad de flujo de esta.
- Eliminar el crecimiento de material vegetal.
- Reducir los costos de mantenimiento de la calzada.
- Maximizar la vida útil de la cuneta.
- Generar más estabilidad en la sección longitudinal de la vía.

Por lo anterior, se considera que las cunetas que se usan en vías primarias y secundarias deben siempre estar revestidas; mientras que el revestimiento de las cunetas que se construyen en vías terciarias es opcional, pero esto debe decidirse después de realizar estudios y análisis técnicos y de costos, incluido allí su mantenimiento.

★ **Refuerzo estructural:** Cuando se tiene la certeza que habrá vehículos circulando sobre la cuneta o en cruces y entradas a terrenos adyacentes a la calzada, las cunetas siempre deben estar reforzadas estructuralmente. Cuando se implementa berma-cunetas, el

refuerzo debe hacerse respecto a la existencia de sobre anchos en la vía, y siempre teniendo en cuenta las condiciones particulares de esta y el tránsito y parqueo de vehículos.

- ★ **Descole de cunetas:** El descole de cuentas, y de toda obra de riego en general, deberá realizarse sin alterar significativamente el flujo de caudales de las aguas receptoras y sin ocasionar problemas de deterioro al sistema de canalización. Por lo tanto, en cada trazo de drenaje de la sección de la cuneta, se debe analizar el choque potencial sobre el agua en términos de velocidad y variación de flujo y mitigar el desgaste, es decir, con un mejor ángulo de descarga del canal y/o una velocidad igual o inferior a la de la corriente del colector. El resultado final es disminuir la inclinación de la cuneta de descarga o aumentar la rugosidad del revestimiento o la sección transversal del canal.
- ★ **Pocetas o cajas colectoras:** Estas se ubican en la estructura de entrada de las alcantarillas y son las encargadas de captar las aguas que vienen de cunetas de corte, bajantes o filtros. Permiten que el agua cruce bajo la vía, donde se desaguan acatando la reducción de impactos y socavación de la corriente que recibe. Así mismo, las pocetas limitan la vía y estabilizan el borde de la tubería, actuando como nivelación ante la aparición de fuerzas de supresión. Para calcular la dimensión de una caja colectora, se deben tener en cuenta las medidas y profundidad del tubo de la alcantarilla que recibe el flujo de la cuneta, la profundidad del filtro que entra o las medidas de la estructura de encole, así como la simplicidad que se genere en el mantenimiento de la obra.

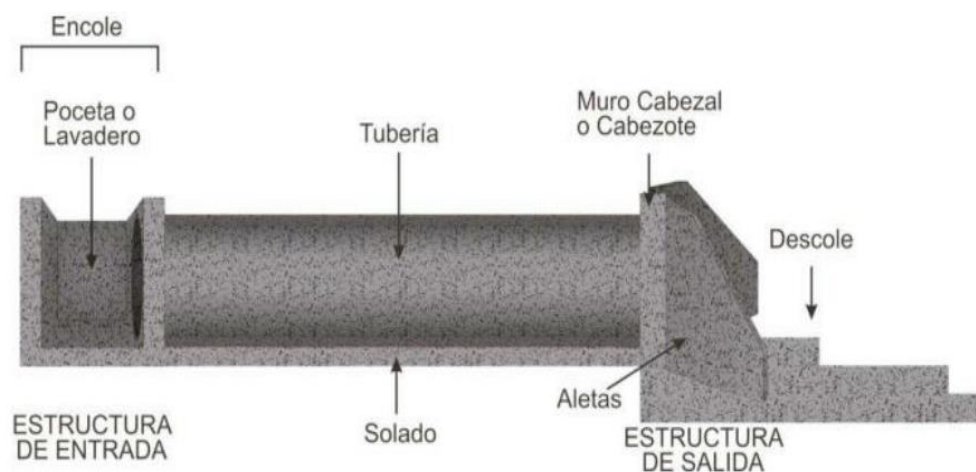
En la siguiente figura se puede observar el diseño de una caja colectora tradicional.

7.1.2 Diseño de alcantarillas

Según el Instituto Nacional de Vías (2009), una alcantarilla es un canal corto por el cual cruza el agua bajo la vía, permitiendo el desagüe normal de corrientes de agua suspendida por la infraestructura vial. Incluye redes elaboradas con cualquier sección geométrica: circulares y alcantarillas de cajón. Las alcantarillas se componen por estructuras de entrada y salida, el conducto de cruce propiamente dicho y obras complementarias de encoles y descoles que llevan el agua hacia o desde la alcantarilla, respectivamente. Para diseñar la alcantarilla se debe determinar el diámetro más ahorrador que permita pasar el caudal de diseño sin superar la carga máxima a la entrada (H_w), la cual corresponde a la profundidad del agua medida desde la batea, atendiendo también criterios de arrastre de sedimentos y de facilidad de mantenimiento. (INVIAS 2009).

Las partes principales de esta estructura se pueden observar en la siguiente figura.

Figura 16 Partes principales de una alcantarilla.



Fuente: Figueroa Infante, et al., 2008.

A continuación, se describe brevemente las partes de una alcantarilla:

- Estructura de entrada: Son todas las obras construidas con el fin de manejar el elemento hidráulico hacia la tubería y equiparar el terraplén de la vía o del terreno natural, tales como las aletas, el solado, el muro cabezal, etc.
- Encole: Es una armazón elaborada para minimizar la rapidez y distribuir la energía del flujo hidráulico a la entrada de las diversas obras de drenaje, entregando de modo seguro el agua a la tubería de la alcantarilla.
- Poceta o lavadero: Es la estructura receptora de las aguas recolectadas por las diferentes estructuras del drenaje longitudinal, en especial, de las cunetas. Se usa como encole, pero en ocasiones puede encontrarse en el descole acompañada de otras estructuras que conducen el flujo.
- Muro cabezal o cabezote: Contiene el material que sirve como estructura de la vía y protege la tubería.
- Aletas: Se usan para detener taludes que forman el terraplén de la vía o del terreno natural.
- Tubería: Se puede usar de concreto o de láminas metálicas, especialmente de acero. Garantiza la conducción del flujo de agua de un lado al otro de la vía, evitando infiltraciones que afecten los materiales de la estructura de pavimento. Los extremos de los tubos y el diseño de las uniones deben encajar adecuadamente entre las secciones, de manera que sea un conducto continuo, libre de irregularidades en la línea de flujo.
- Estructura de salida: Entregan el flujo hacia el descole o sitio de vertimiento de las aguas y estabilizan las zonas aledañas. Se debe garantizar un diseño adecuado para que no se

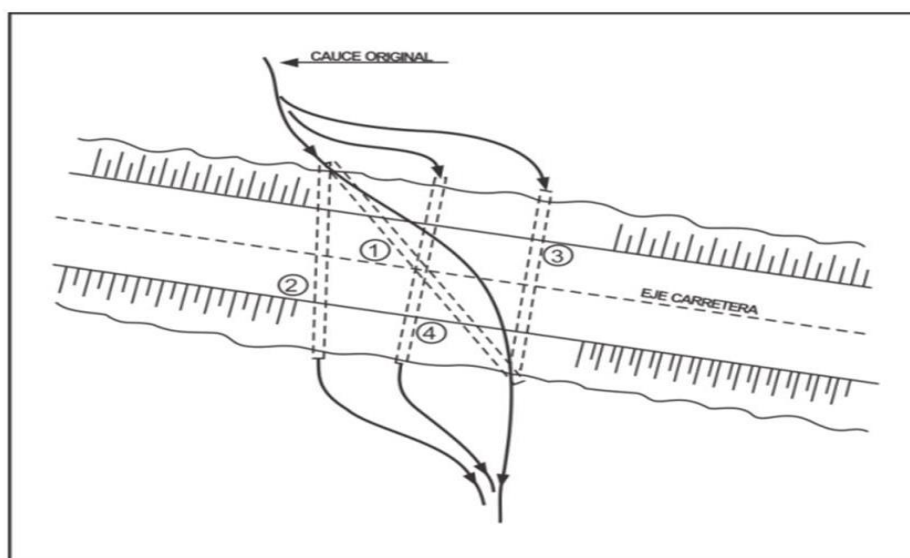
presente socavación del terreno donde se encuentre cimentada la alcantarilla.

Generalmente se conforma de los mismos elementos de la estructura de entrada.

- Descole: Obra realizada para reducir la velocidad y disipar la energía del flujo de agua en la salida del drenaje, entregando de manera segura las aguas a canales naturales u otros canales no naturales.

Con respecto al eje de la carretera, las alcantarillas son probablemente las diseñadas normalmente, aunque pueden tener desniveles o ángulos cuando se trata de cruces de cursos de agua donde se mantiene la dirección de drenaje natural o corriente, como se muestra en la figura. En caso de que no se pueda conservar el patrón de drenaje natural o que la estructura sea demasiado larga, es prioritario construir una alcantarilla perpendicular al eje de la carretera o con una desviación menor y construir las obras adicionales que se requieran como el canal, asegurando la línea y continuidad de la vía.

Figura 17 Alternativas para localización en planta de alcantarillas.

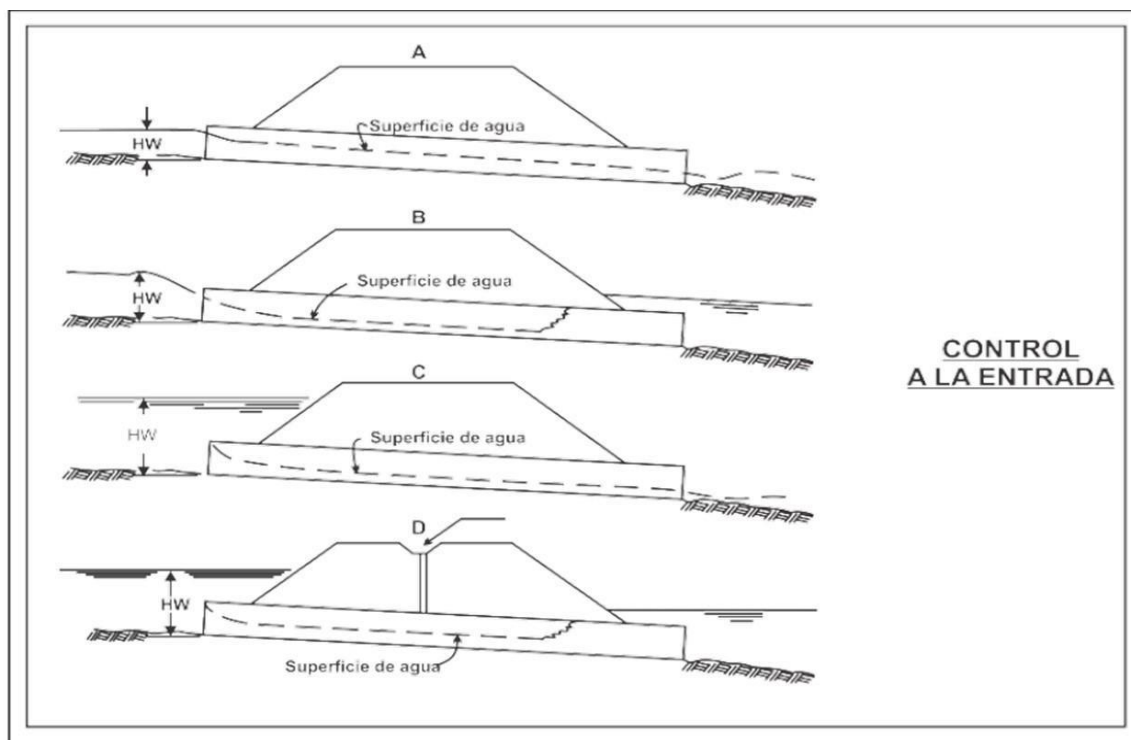


Nota: MINISTERIO DE TRANSPORTE, Instituto Nacional de Vías. Manual De Drenaje Para Carreteras. 2009. p. 4-34.

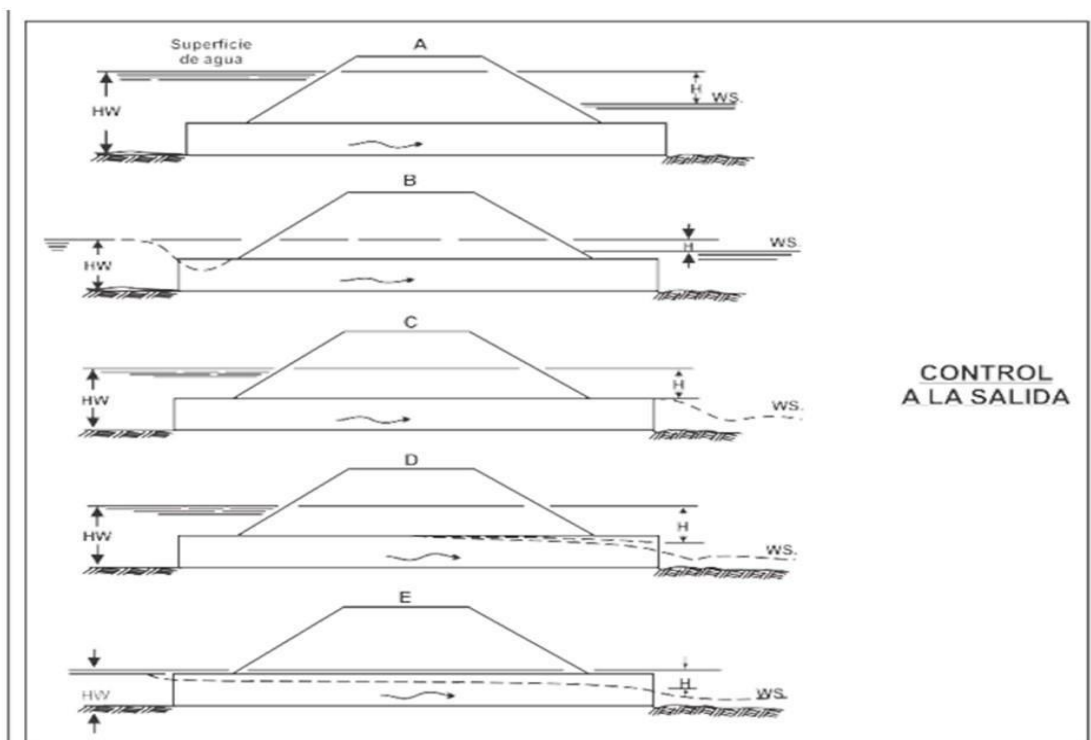
Funcionamiento hidráulico:

El flujo en las alcantarillas es generalmente heterogéneo, mostrando que las áreas de flujo cambian gradual y rápidamente, por lo que su análisis teórico es complicado y se desarrolló usando experimentos de laboratorio. Dependiendo de la posición de la parte del control en el drenaje, el fluido puede tener un control en la entrada o un control a la salida, dependiendo de si los extremos del conducto están inundados o no, y de las condiciones de flujo. Dichas condiciones de flujo a la entrada o salida se pueden detallar en la siguiente figura.

Figura 18 *Condiciones de flujo en alcantarillas*



Fuente: MINISTERIO DE TRANSPORTE, Instituto Nacional de Vías. Manual De Drenaje Para Carreteras. 2009. p. 4-38.



Fuente: MINISTERIO DE TRANSPORTE, Instituto Nacional de Vías. Manual De Drenaje Para Carreteras. 2009. p. 4-38.

Según el Instituto Nacional de Vías (2009), las alcantarillas tienen que trabajar con el 70% de su capacidad hidráulica, ya que no se permite que estas funcionen como ductos a presión, eludiendo totalmente el desbordamiento sobre la vía, además, con este valor se da un margen para el paso de material flotante y basuras.

Para determinar la capacidad hidráulica de la alcantarilla, generalmente se usa la Ecuación de Manning, detallada en la siguiente figura:

Figura 19 Ecuación.

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

Donde

Q: Caudal de diseño, en metros cúbicos por segundo (m³/s).

n: Coeficiente de rugosidad de Manning.

A: Área mojada, en metros cuadrados (m²).

Rh: Radio hidráulico, en metros (m).

S: Pendiente del ducto, en metros por metro (m/m).

Nota: MINISTERIO DE TRANSPORTE, Instituto Nacional de Vías. Manual De Drenaje Para Carreteras. 2009. p. 4-38.

Analizando la capacidad de las tuberías y los caudales de diseño, es posible obtener una relación mediante la ecuación presentada al final de este párrafo, la cual muestra cuáles de las estructuras están en la capacidad de llevar el caudal de diseño hidrológico y cuáles no están en capacidad de transportar dicho caudal.

$$\frac{\text{Caudal de diseño}}{\text{70\% de la capacidad hidráulica de la tubería}} < 1$$

De igual forma, Es importante realizar trabajos de mantenimiento, incluyendo pulverizar, excavar, remover, limpiar y transportar materiales depositados en el encole y descole o dentro de los cuerpos de las estructuras existentes, para restaurar su capacidad hidráulica y su función de drenaje adecuados, con el fin de que no se pueda afectar de alguna manera la estabilidad de la carretera.

Para evaluar la alternativa de diseño de alcantarilla como obra de drenaje en cualquier vía, se deben tener en cuenta el análisis de información en los siguientes criterios:

- Ubicación de la alcantarilla: Siempre se debe hacer en el lecho del canal existente, sin embargo, no siempre es posible. En algunas situaciones, el canal de la corriente debe ser reubicado para evitar la colocación de una alcantarilla de longitud irregular.
- Información del canal: Cuando se instala una alcantarilla para transportar un caudal a lo largo de un terraplén se reduce considerablemente la planicie de inundación. Para evaluar los impactos de dicha situación, se debe tener en cuenta información de la sección transversal, pendiente del cauce, coeficiente de rugosidad del canal y la profundidad de flujo o cabeza de salida.
- Información de la carretera: Se deben estudiar los planos de la vía para determinar el diseño de la sección transversal, el perfil y la longitud de la alcantarilla. Lo anterior se tiene en cuenta con el fin de evitar los costos de construcción o mantenimiento de la vía y las obras de drenaje, su capacidad hidráulica y su alineamiento.
- Longitud de la alcantarilla: El largo de la alcantarilla y sus características se establecen superponiendo el conducto propuesto de la alcantarilla en la sección transversal de la carretera donde se va a ubicar, estableciendo las cotas de batea de entrada y salida.

7.2 Drenaje subsuperficial

Partes de drenaje subterráneo que se elaboran con el fin de debilitar el nivel freático, eliminar aguas de filtración lateral y captar fuentes de agua ubicadas debajo de la Subrasante. Estas maniobras permiten el beneficio del pavimento facilitando la ejecución de las explanaciones, aumentando la capacidad portante de la Subrasante, previniendo la erosión interna y bombeo y contribuyendo en el equilibrio de la estructura y de los taludes.

El objetivo general del drenaje subsuperficial de una calzada es eliminar el agua del suelo o que puede filtrarse en él y que podría afectarlo, de modo que se asegure la estabilidad de la capa subyacente, la estructura del camino y de la pendiente de la carretera. También se puede observar que los drenajes subsuperficiales facilitan la ejecución de los movimientos de tierra durante la etapa de construcción de la carretera, porque el apropiado sistema de drenaje permite la circulación y funcionamiento de la maquinaria y facilita el uso de la tierra excavada en la construcción de terraplenes. Evita la saturación de la subcapa y el pavimento, aumenta la capacidad de carga del mismo, mejorando su capacidad de respuesta al reducir el espesor del pavimento requerido. Contribuye a la estabilidad de taludes favoreciendo la dirección de los flujos subterráneos, reduciendo la presión intersticial y mejorando así sus propiedades geotécnicas.

Principios generales del drenaje subsuperficial:

Para proyectar sistemas de drenaje subsuperficial específicos, se debe tener en cuenta los siguientes principios básicos:

- Pavimento: El sistema de drenaje debe facilitar la evacuación de agua del pavimento que presente fisuras o que tenga limitaciones al acceso a la red de drenaje.

- Explanaciones: El sistema de drenaje debe captar los orígenes de agua que aparezcan durante las obras de construcción u operación de la carretera para facilitar las explanaciones.

Labores básicas del drenaje subsuperficial:

Los sistemas de drenaje subsuperficial tienen que cumplir las siguientes tareas para reducir las huellas del agua en las vías:

- Reducir el nivel freático de la carretera en los taludes, rellenos, terraplenes y demás estructuras viales.
- Obstruir las filtraciones subterráneas impidiendo la aparición de corrientes ascendentes al pavimento.
- Descargar el agua superficial que pueda llegar a filtrarse en el pavimento y estructuras de contención.
- Captar los flujos descargados desde los diversos sistemas de drenaje.

Para esta sección del trabajo, y con el fin de definir la alternativa de diseño de sistema de drenaje para la vía ubicada en la carrera 11, entre calles 7 y 8, del Municipio de Duitama, se estudiará a fondo el sistema de drenaje subsuperficial correspondiente a los filtros.

7.2.1 Diseño de filtros

Este modelo de obras de drenaje sub superficial se determinan por captar y conducir aguas sub superficiales o subterráneas desde el pavimento o afirmado de una vía. Evitan que las cubiertas de los materiales que conforman la estructura vial entre en contacto con flujos de agua que conllevan al deterioro temprano de la calzada. Entre otros objetivos de los filtros, se pueden encontrar:

- Reducir fuerzas de poros
- Limitar el nivel piezométrico
- Acortar inclinaciones marcadas de energía en flujos de agua
- Obstruir corrientes de flujo subterráneo.

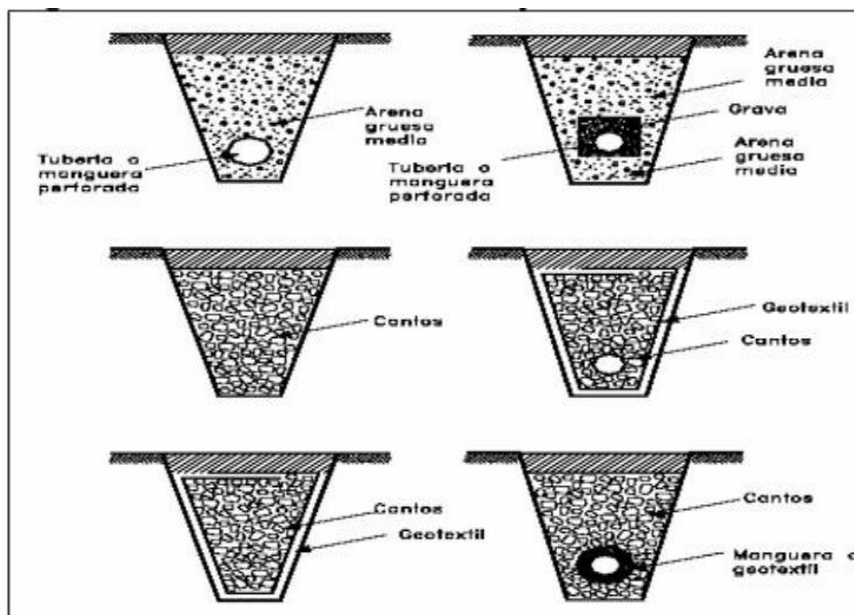
En este apartado se pueden apreciar los filtros más utilizados, de acuerdo al material usado en su diseño y su función varía de acuerdo a las diversas funciones en la infraestructura de la vía:

- + Con elementos de filtro y tubo colector.
- + Con componente grueso permeable sin tubo, conocido como filtro francés.
- + Con geotextil como filtro, componente grueso y tubo colector.
- + Con geotextil, agregado grueso y sin tubo.
- + Tubo colector con cubierta gruesa de geotextil
- + Dren sintético con geomalla, geotextil y tubo colector.

Es normal que los diversos tipos de filtros se tapen por el transporte y depósito de los componentes finos del suelo; un diseño adecuado debe prever esta alternativa y tomar medidas correctivas necesarias, sin impedir que el filtro cumpla con su fundamental tarea: permitir una

filtración del agua rápida y eficiente. En la figura presentada a continuación se puede apreciar gráficamente los tipos de filtros descritos en el párrafo anterior.

Figura 20 Tipos de filtros según el manual para drenajes de vías



Nota: SUAREZ, Jaime. Deslizamientos y estabilidad de taludes. Universidad Industrial de Santander. 1998.

Desde un punto de vista funcional, los factores del sistema de drenaje subsuperficial se pueden determinar en dos categorías: los que controlan la infiltración y los que controlan las aguas subterráneas. El primero está diseñado y construido para evitar y eliminar el ingreso de agua a la corona debido a precipitaciones o escorrentías superficiales, mientras que el último está diseñado para bajar el nivel freático y mitigar el movimiento del agua en subrasantes y pavimentos.

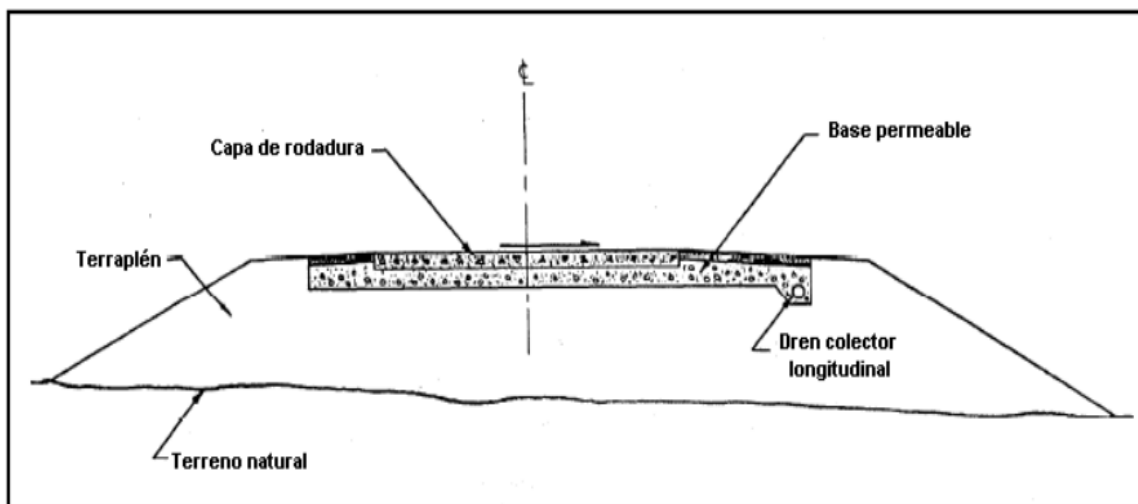
La forma más común de definir elementos de drenaje subterráneo es en términos de ubicación y geometría. Las clasificaciones de este tipo incluyen: drenajes verticales, drenajes

horizontales, drenajes horizontales, lechos de permeación, sistemas de pozos y otros más complejos.

Drenes longitudinales:

Como sugiere el nombre, este tipo de dren se ubica en sentido paralelo al eje de la carretera tanto horizontal como vertical. Está formado por un foso de cierta profundidad, varios filtros protectores y, posiblemente, una tubería de recogida. Cuando se instalan para ayudar específicamente a drenar el agua que se filtra en los pavimentos, se denominan drenajes de base lateral o drenes colectores de forma longitudinal. Cuando se utilizan para cortar la infiltración sobre pendientes o bajar el nivel freático, se los conoce como interceptores verticales o simplemente como drenes longitudinales. En la siguiente figura se ilustra el esquema de este último.

Figura 21 *Drenes longitudinales.*

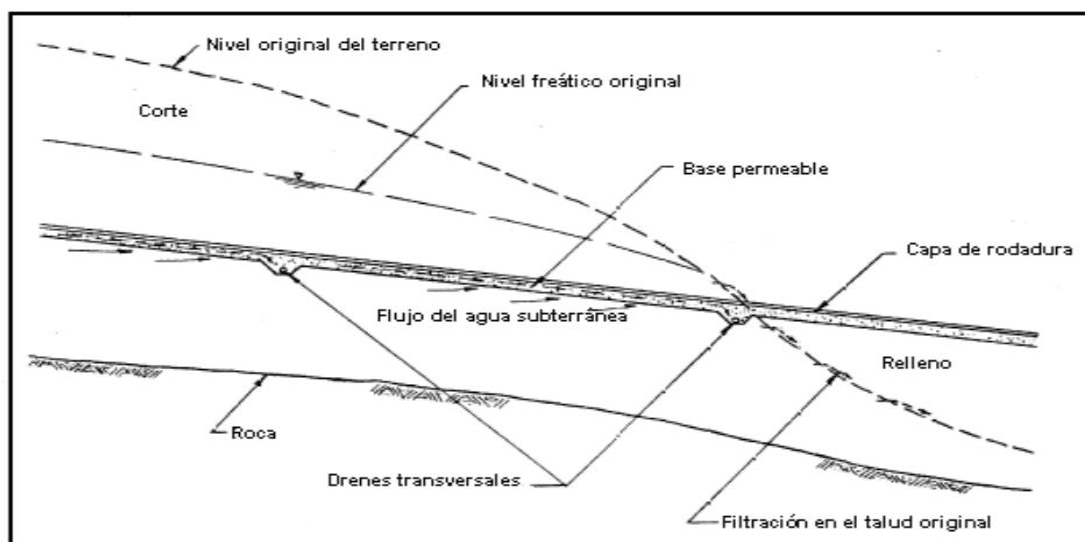


Nota: MINISTERIO DE TRANSPORTE, Instituto Nacional de Vías. Manual De Drenaje Para Carreteras. 2009. p. 5-9.

Drenes transversales:

Los drenes sub superficiales que cruzan la calle de un lado a otro tienen una calificación de transversales. Casi siempre se cruzan en dirección perpendicular, aunque a veces se cruzan en ángulo o incluso en figura de espina de pescado. La construcción de este tipo de dren es parecida a la de uno longitudinal: una zanja, tubería y filtro de protección. En la siguiente figura se puede apreciar la vista de perfil de un dren transversal.

Figura 22 *Drenes transversales.*



Nota: MINISTERIO DE TRANSPORTE, Instituto Nacional de Vías. Manual De Drenaje Para Carreteras. 2009. p. 5-11.

Drenes horizontales:

El dren horizontal, también conocido como drenaje subhorizontal o penetrante, está hecho de tuberías de pequeño diámetro con pequeños agujeros o ranuras, instaladas con una ligera pendiente hacia arriba en los taludes o terraplenes para drenar el agua interna y reducir la presión del agujero, lo que resulta en una mayor estabilidad. Una de las ventajas del dren horizontal es su

capacidad para conducir el agua y/o reducir la presión de los poros a profundidades que otros elementos no pueden llegar con sistemas de drenaje más convencionales.

Figura 23 *Drenaje horizontal*



.Nota: Observación desagüe filtro. Figura tomada del sitio web Anclajes y Perforaciones. ³

Criterios de diseño de filtros: Para elaborar un filtro de buena calidad, que cumpla con los objetivos propuestos como sistema de drenaje sub superficial, este debe cumplir con los siguientes criterios:

1. Criterio de filtración: Hace referencia a la relación entre los diversos parámetros granulométricos del suelo y del filtro, los cuales deben cumplirse y así garantizar el funcionamiento del filtro. ⁴

³ TOMADO DE: <https://anclajesyperforaciones.co/drenes-horizontales>

⁴ SUAREZ, Jaime. Deslizamiento y estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales. Bucaramanga 1998. p. 440.

El material de filtro no debe tener más del 5% de pasa tamiz No 200.

En 1960, Terzaghi y Peck, basados en los ensayos de Bertran, establecieron la relación de:

D15: Diámetro de partículas correspondientes al 15% de material pasa, en la curva granulométrica

D85: Diámetro de partículas correspondientes al 85% de material pasa, en la curva granulométrica

Los subíndices f y s hacen referencia al material de filtro y material del suelo respectivamente

2. Criterio de permeabilidad: Con este se garantiza la facilidad de drenaje del agua, este criterio contempla los siguientes componentes:

D15: Diámetro de partículas correspondientes al 15% de material pasa, en la curva granulométrica

D85: Diámetro de partículas correspondientes al 85% de material pasa, en la curva granulométrica

Los subíndices f y s hacen referencia al material de filtro y material del suelo respectivamente.

De esta forma, el material granular drenante debe cumplir con las especificaciones dadas en la siguiente figura, según el INVIAS:

Figura 24 Tabla 673 – 3. Requisitos del material granular drenante

CARACTERISTICA	NORMA DE ENSAYO INVIAS	VALOR
Desgaste en la maquina de los Angeles (%)	E-219	≤ 40
DURABILIDAD (O)		
Perdidas en ensayo de solidez en sulfatos -Sulfato de Sodio (%) -Sulfato de magnesio (%)	E-220	≤ 12 ≤ 18
Limpieza (F)		
Terrones de arcilla y partículas deleznable, máximo (%)	E-211	0,25
Partículas livianas, máximo (%)	E-211	1
Contenido de materia orgánica (%)	E-211	0

Nota: Especificaciones Materiales del Instituto Nacional de Vías INVIAS, Artículo 673-06, Subdrenes con Geotextil y Material Granular.

- Tamaño del orificio de la tubería: En los filtros con material filtrante siempre se usa un tubo con perforaciones. Se recomienda que la relación entre la dimensión del filtro y el diámetro del orificio sea en función de la forma, así:

Ecuación para el cálculo de orificios circulares:

$$\frac{D_{85f}}{\text{Diámetro orificio}} > 1$$

Ecuación para el cálculo de ranuras:

$$\frac{D_{85f}}{\text{Ancho ranura}} > 1.2$$

Los orificios necesitan ubicarse en la mitad inferior del tubo para obtener mayor cantidad de agua previniendo que esta quede en la base de la zanja y la pueda colmatar.

4. Criterios de diseño para el geotextil: Para la elección del geotextil que recubre la tubería perforada, se deben tener en cuenta los criterios de retención, permeabilidad, colmatación, supervivencia y durabilidad, como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 1. *Criterios de diseño.*

RETENCIÓN	PERMEABILIDAD	COLMATACIÓN	SUPERVIVENCIA	DURABILIDAD
El tamaño de la abertura debe evitar el paso de material fino del suelo hacia la dirección del flujo.	El geotextil debe permitir un flujo adecuado de agua, teniendo en cuenta el flujo que recibe.	Para evitar que las partículas componentes del suelo taponen algunos vacíos del geotextil, se recomienda usar uno no tejido punzonado por agujas.	Debe cumplir con valores mínimos de resistencia que le permitan soportar actividades de instalación y manipulación.	Debe resistir al tiempo, agentes biológicos y químicos, de acuerdo al sitio de su instalación. Cuando son expuestos a rayos UV, el geotextil debe tener propiedades adicionales de protección.

Nota: Factores elementales para diseño de drenajes elaboración propia.

Así mismo, el geotextil debe cumplir con las siguientes propiedades mecánicas e hidráulicas, según el INVIAS, como lo muestran las siguientes figuras:

Figura 25 Tabla 673 – 1. Propiedades mecánicas del geotextil en términos de VMPR

CARACTERISTICA	NORMA DE ENSAYO ASTM	REQUISITO (VMPR)	
		GEOTEXTILES TEJIDOS	GEOTEXTILES NO TEJIDOS
Elongación	D4632	< 50 %	≥ 50
Resistencia a la tensión grab (N), valor mínimo	D4633	1100	700
Resistencia a la costura (N), valor mínimo	D4634	990	630
Resistencia a la penetración con pistón de 50mm de diámetro (N), valor mínimo	D6241	2200	1375
Resistencia al rasgado trapezoidal (N), valor mínimo	D4533	400	250

Nota: Especificaciones para Materiales del Instituto Nacional de Vías INVIAS, Artículo 673-07, Subdrenes con Geotextil y Material Granular.

Figura 26 Tabla 673 – 2. Propiedades hidráulicas y de filtración mínimas del geotextil en términos de VMPR

CARACTERISTICA	NORMA DE ENSAYO ASTM	PORCENTAJE DE SUELO PASA TAMIZ 0.075 mm (No.200)		
		< 15	15 a 50	> 50
		REQUISITO (VMPR)		
Permitividad, valor mínimo (s^{-1}).	D 4491	0.5	0.2	0.1
Tamaño de abertura aparente (TAA), valor máximo (mm).	D 4751	0.43 (Tamiz No 40)	0.25 (Tamiz No 60)	0.22 (Tamiz No 70)
Estabilidad ultravioleta después de 500 h de exposición, valor mínimo.	D 4355	50%		

Nota: Especificaciones para Materiales del Instituto Nacional de Vías INVIAS, Artículo 673-07, Subdrenes con Geotextil y Material Granular.

8. Construcción alternativa de drenaje del proyecto en estudio

Después de analizar a fondo la información recogida en el capítulo inmediatamente anterior sobre las funciones y los procesos técnicos de obras de drenaje superficial y subsuperficial; y comparando este análisis con las características físicas y topográficas, la falta de pavimento rígido y el tipo de suelo de material de afirmado de la vía ubicada en la carrera 11, entre calles 7 y 8 del municipio de Duitama, se opta por la alternativa de diseño de obra de drenaje subsuperficial del FILTRO CON DREN LONGITUDINAL.

Esto se define a partir de analizar que las alcantarillas reducen dimensiones en la vía y serían un obstáculo de movilización de vehículos y transeúntes. Por otra parte, las cunetas, por su funcionalidad, deben ampliarse a los lados de la calzada, lo cual también reduce las dimensiones de esta.

EL proceso constructivo de la alternativa que se adapta a la carretera, FILTRO CON DREN LONGITUDINAL, se describe a continuación:

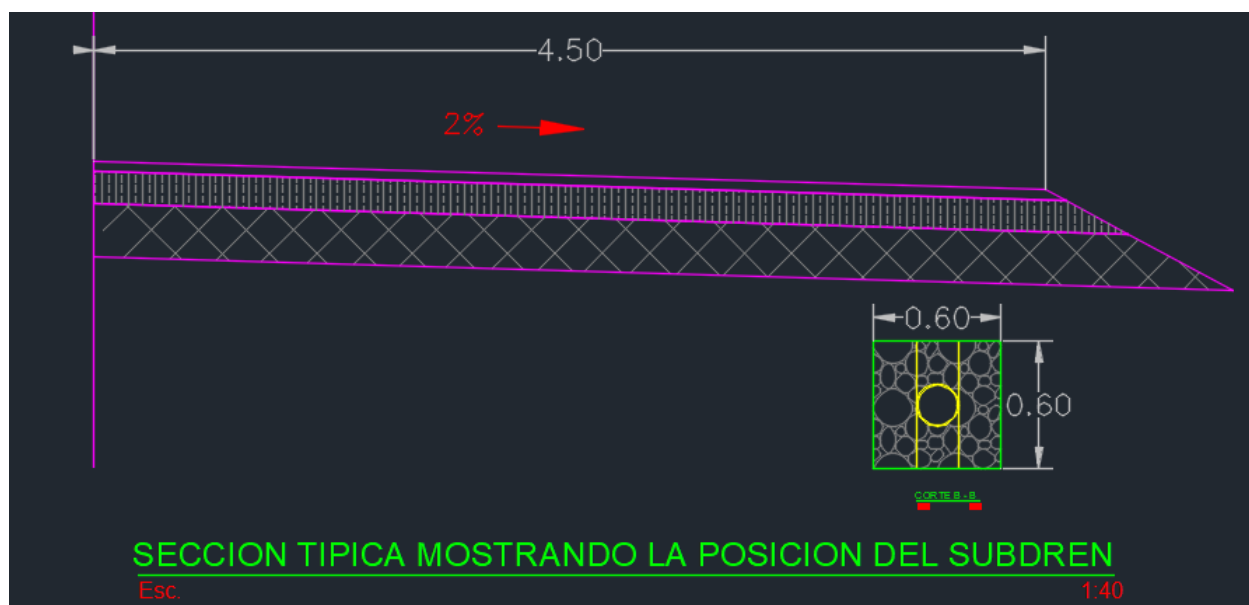
1. Localización y replanteo topográfico: En esta etapa preliminar se hace una observación física detallada de la zona, teniendo en cuenta las áreas, las inclinaciones, las cotas y las rasantes indicadas en el estudio topográfico realizado. Se fijan la ubicación y la profundidad de las líneas del filtro. Se replantea el ancho de la excavación del canal donde se fijará el filtro y la profundidad de dicho canal.
2. Selección del material granular drenante y geotextil: Para esta selección se toma en consideración las características del suelo. Para este caso en particular, como el suelo es limo arcilloso, se tendrá en cuenta un geotextil no tejido y como material granular drenante se usará la grava, con tamaño máximo de 19 mm.

3. Caudales de diseño: Para determinar este criterio, se considera el cálculo de caudal de diseño con el caudal de infiltración y el caudal por abatimiento, reflejados en las siguientes ecuaciones:
4. Excavación de material común: Se realiza la excavación para la construcción del filtro, de forma mecánica, usando retroexcavadora, con una canal de ancho de 0,60 mts y profundidad de 0,60 mts. Se garantiza que el nivel de diseño y las paredes del canal queden verticales.
5. Relleno y compactado: Se agrega el agregado de relleno sub base, con un espesor de 0.20 mts. Se compacta mecánicamente usando rana compactadora.
6. Instalación del geotextil: Una vez afirmado y nivelado el canal excavado, se extiende una capa de geotextil sobre esta, teniendo la precaución de eliminar cualquier material extraño que haya podido entrar en el geotextil y pueda quedar escondido allí. El geotextil se coloca cubriendo totalmente la parte inferior y las paredes laterales de la excavación, evitando que se produzcan arrugas y asegurando el contacto permanente con el suelo, sin que queden vacíos entre geotextil y suelo.
7. Disposición del material granular drenante: Se coloca dentro del geotextil una capa de material granular de 0,05 mts, libre de cualquier impureza y con la gradación establecida.
8. Posicionamiento de la tubería: Se coloca el tubo perforado con orificios de 0.005 mts. y se continúa llenando la zanja con el material granular hasta el nivel preestablecido.
9. Cosido del geotextil: El geotextil se cose cuidando que quede bien sellado para evitar el traspaso de finos hacia el material granular. La costura debe hacerse con hilo Kevlar o de polietileno, con puntada de seguridad y de 150 a 200 puntadas por metro lineal. La tensión del hilo se debe ajustar de tal forma que no corte el geotextil, pero que sea suficiente para asegurar una unión permanente entre las superficies a coser.

10. Capa superior material granular drenante: Después que se tiene ubicado el geotextil, incorporado el tubo perforado y cosido el geotextil, se coloca el material granular drenante, en este caso grava de tamaño máximo 19 mm.
11. Material de cobertura: Se ubica sobre el ancho y largo total del canal que ya tiene el filtro dispuesto, la sub base granular para cubrir.

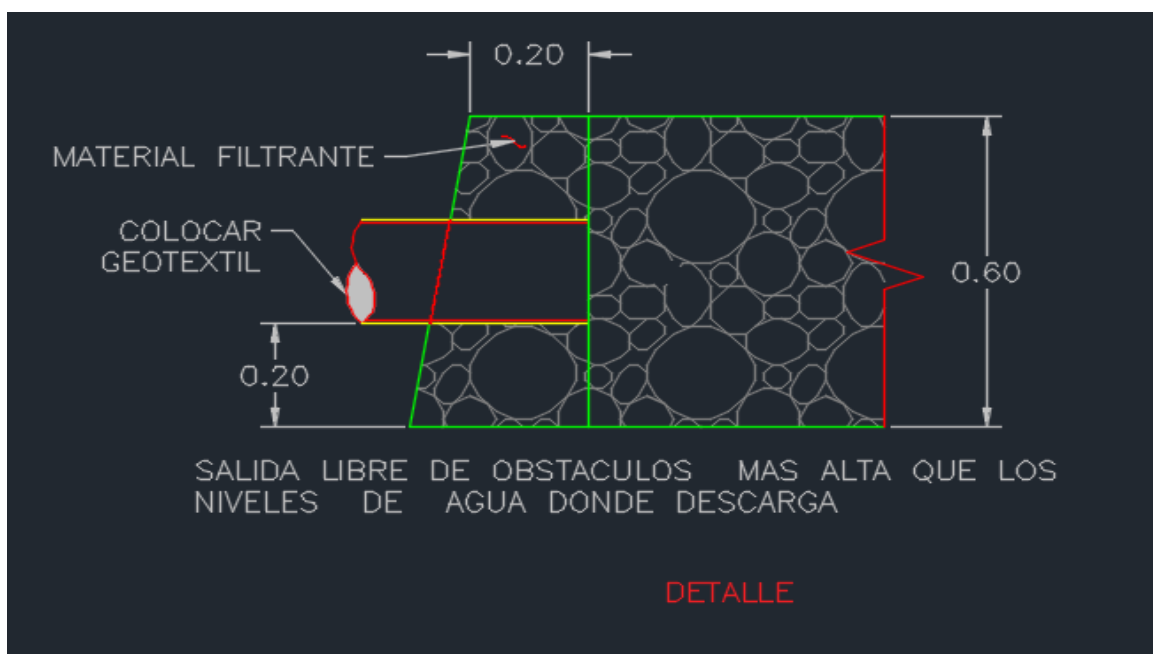
A continuación, se presenta el detalle de la sección típica del filtro, como alternativa escogida para el drenaje de la carrera 11, entre calles 7 y 8, del Barrio Cundinamarca, Duitama, Boyacá.

Figura 27 Sección típica de la posición del sub dren



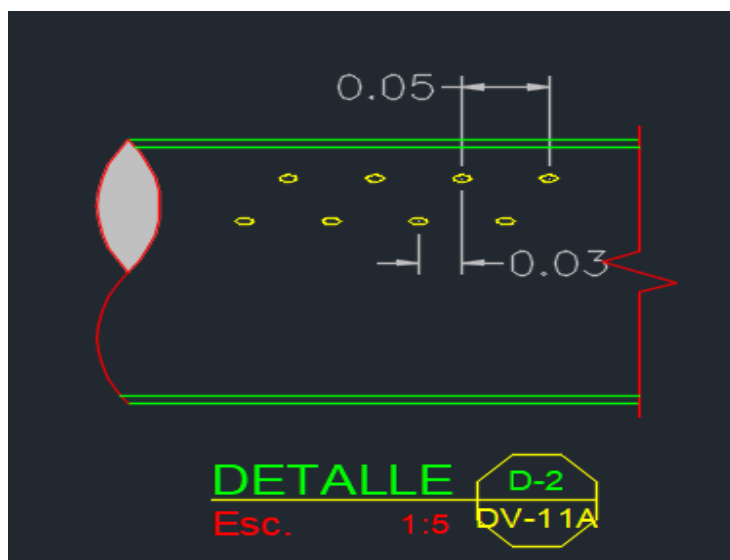
Nota: La figura muestra la sección típica de la posición del sub dren. Fuente: Elaboración propia.

Figura 28 *Detalle en alzada de la salida del sub dren*



Nota: La figura muestra la salida de descarga de agua del sub dren. Fuente: elaboración propia.

Figura 29 *Detalle orificios de la tubería del sub dren*



Nota: La figura muestra el detalle de los espaciamientos de orificios del tubo del sub dren.

Fuente: elaboración propia.

9. Presupuesto

Este presupuesto se realiza en base al Análisis de Precios Unitarios emitidos por la Gobernación de Boyacá, del año 2020, como última actualización. De igual forma, se articula dicho análisis con el detalle de la sección típica del filtro para obtener las cantidades de obra representadas en los APU y en el presupuesto.

Tabla 2 *Presupuesto 1*

		PRESUPUESTO ALTERNATIVA DE DISEÑO DE UN SISTEMA DE DRENAJE DE LA VIA UBICADA EN LA CARRERA 11B ENTRE LAS CALLES 7 Y 8 BARRIO CUNDINAMARCA, DUITAMA, BOYACA				
		ANÁLISIS DE PRECIO UNITARIO				
CAPÍTULO 1:		LOCALIZACIÓN Y REPLANTEO TOPOGRAFICO				
Item	1.1			Unidad	KM	
MATERIALES		UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL	
1				\$	-	
2				\$	-	
				SUBTOTAL MATERIALES	\$	-
EQUIPOS Y HERRAMIENTAS		UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL	
1	Estación topográfica		10%	14.000.000,00	1.400.000,00	
2	Herramienta menor (% mano de obra)	glb	10%	\$ 6.000.000,00	\$ 600.000,00	
				SUBTOTAL EQUIPOS	\$	2.000.000,00
TRANSPORTE		UNIDAD	DISTANCIA km	VR. UN. (\$/ m³*km)	VALOR TOTAL	
	No aplica				\$ -	
				SUBTOTAL TRANSPORTE	\$	-
MANO DE OBRA		UNIDAD	CANTIDAD	VALOR HORA	VALOR TOTAL	
1	Cuadrilla AA (1 OFICIAL+1 AUXILIAR)	h	4,00	\$ 13.750,00	\$ 55.000,00	
				SUBTOTAL MANO DE OBRA	\$	55.000,00
				COSTO DIRECTO	\$	2.055.000,00

Nota: En esta tabla se describe materiales, equipos y mano de obra a utilizar en dicha actividad.

Fuente de elaboración propia.

Tabla 3 Presupuesto 2-1

		PRESUPUESTO ALTERNATIVA DE DISEÑO DE UN SISTEMA DE DRENAJE DE LA VIA UBICADA EN LA CARRERA 11B ENTRE LAS CALLES 7 Y 8 BARRIO CUNDINAMARCA, DUITAMA, BOYACA				
		ANÁLISIS DE PRECIO UNITARIO				
CAPÍTULO 2:		EXCAVACION DE MATERIAL				
		COMUN A MAQUINA INCLUYE CARGUE Y ACARREO LIBRE DE 5 KM				
Item	2.1	0			Unidad	M3
MATERIALES		UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL	
1	Excavación de material común	m3	1	8.000,00	8.000,00	
2						
3				\$ -	\$ -	
4				\$ -	\$ -	
SUBTOTAL MATERIALES					\$ 8.000,00	
EQUIPOS Y HERRAMIENTAS		UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL	
1	Herramienta menor (% mano de obra)	gib	10%	\$ 100.000,00	\$ 10.000,00	
SUBTOTAL EQUIPOS					\$ 10.000,00	
TRANSPORTE		UNIDAD	DISTANCIA km	VR. UN. (\$/ m ³ *km)	VALOR TOTAL	
	No aplica				\$ -	
SUBTOTAL TRANSPORTE					\$ -	
MANO DE OBRA		UNIDAD	CANTIDAD	0	VALOR TOTAL	
1	Cuadrilla AA (1 OFICIAL+1 AUXILIAR)	h	0,20	\$ 13.750,00	\$ 2.750,00	
					\$ -	
SUBTOTAL MANO DE OBRA					\$ 2.750,00	
COSTO DIRECTO					\$ 20.750,00	

Nota: En esta tabla se describe materiales, equipos y mano de obra a utilizar en dicha actividad.

Fuente de elaboración propia.

Tabla 4 Presupuesto 2.2

CAPÍTULO 2:		RELLENO SUBBASE GRANULAR COMPACTADO CON PLANCHA VIBRADORA			
Ítem	2.2	0			
MATERIALES		UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
1	Material sub-base granular no especificada	m ³	1	18.000,00	18.000,00
2	Puntillas	lb	3	3.000,00	9.000,00
3	Madera	unidad	10,00	\$ 1.700,00	\$ 17.000,00
4				\$ -	\$ -
SUBTOTAL MATERIALES					\$ 44.000,00
EQUIPOS Y HERRAMIENTAS		UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
1	Rana compactadora	día	0,1	70.000,00	7.000,00
2	Herramienta menor (% mano de obra)	g/lb	10%	\$ 220.000,00	\$ 22.000,00
SUBTOTAL EQUIPOS					\$ 29.000,00
TRANSPORTE		UNIDAD	DISTANCIA km	VR. UN. (\$/ m ³ *km)	VALOR TOTAL
No aplica					\$ -
SUBTOTAL TRANSPORTE					\$ -
MANO DE OBRA		UNIDAD	CANTIDAD	0	VALOR TOTAL
1	Cuadrilla AA (1 OFICIAL+1 AUXILIAR)	h	0,50	\$ 13.750,00	\$ 6.875,00
SUBTOTAL MANO DE OBRA					\$ 6.875,00
COSTO DIRECTO					\$ 79.875,00

Nota: En esta tabla se describe materiales, equipos y mano de obra a utilizar en dicha actividad.

Fuente de elaboración propia.

Tabla 5 Presupuesto 2.3

		PRESUPUESTO ALTERNATIVA DE DISEÑO DE UN SISTEMA DE DRENAJE DE LA VIA UBICADA EN LA CARRERA 11B ENTRE LAS CALLES 7 Y 8 BARRIO CUNDINAMARCA, DUITAMA, BOYACA					
		ANÁLISIS DE PRECIO UNITARIO					
CAPÍTULO 2:		RELLENO SUBBASE GRANULAR COMPACTADO MANUAL					
Ítem	2.3	0			M3		
MATERIALES		UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL		
1	Material sub-base granular no especificada	m3	1	18.000,00	18.000,00		
2	Puntillas	lb	3	3.000,00	9.000,00		
3	Madera	unidad	8,00	\$ 1.700,00	\$ 13.600,00		
4				\$ -	\$ -		
SUBTOTAL MATERIALES					\$ 40.600,00		
EQUIPOS Y HERRAMIENTAS		UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL		
1	Rana compactadora	día	0,1	70.000,00	7.000,00		
2	Herramienta menor (% mano de obra)	gib	10%	\$ 250.000,00	\$ 25.000,00		
SUBTOTAL EQUIPOS					\$ 32.000,00		
TRANSPORTE		UNIDAD	DISTANCIA km	VR. UN. (\$/ m³*km)	VALOR TOTAL		
No aplica					\$ -		
SUBTOTAL TRANSPORTE					\$ -		
MANO DE OBRA		UNIDAD	CANTIDAD	0	VALOR TOTAL		
1	Cuadrilla AA (1 OFICIAL+1 AUXILIAR)	h	0,50	\$ 13.750,00	\$ 6.875,00		
					\$ -		
SUBTOTAL MANO DE OBRA					\$ 6.875,00		
COSTO DIRECTO					\$ 79.475,00		

Nota: En esta tabla se describe materiales, equipos y mano de obra a utilizar en dicha actividad.

Fuente de elaboración propia.

Tabla 6 Presupuesto 2.4

CAPÍTULO 2:		RELLENO MANUAL DE MATERIAL COMUN DEL SITIO COMPACTADO			
Ítem	2.4	0			M3
MATERIALES		UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
1					0,00
2					0,00
3					\$ -
4				\$ -	\$ -
SUBTOTAL MATERIALES					\$ -
EQUIPOS Y HERRAMIENTAS		UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
1	Rana compactadora	día	0,1	70.000,00	7.000,00
2	Herramienta menor (% mano de obra)	g/b	10%	\$ 100.000,00	\$ 10.000,00
SUBTOTAL EQUIPOS					\$ 17.000,00
TRANSPORTE		UNIDAD	DISTANCIA km	VR. UN. (\$/ m³*km)	VALOR TOTAL
No aplica					\$ -
SUBTOTAL TRANSPORTE					\$ -
MANO DE OBRA		UNIDAD	CANTIDAD	0	VALOR TOTAL
1	Cuadrilla AA (1 OFICIAL+1 AUXILIAR)	h	0,10	\$ 13.750,00	\$ 1.375,00
SUBTOTAL MANO DE OBRA					\$ 1.375,00
COSTO DIRECTO					\$ 18.375,00

Nota: En esta tabla se describe materiales, equipos y mano de obra a utilizar en dicha actividad.

Fuente de elaboración propia.

Tabla 7 Presupuesto 3.1

CAPÍTULO 3:		SUMINISTRO E INSTALACIÓN TUBERIA PVC D=6" DRENAJE FILTRO			
Ítem	3,1	0			ML
MATERIALES		UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
1	TUBERIA PVC D=6" DRENAJE FILTRO	ML	0,1	265.900,00	26.590,00
2	Limpiador para tuberías PVC	und	1	7.000,00	7.000,00
3	Soldadura PVC	und	1	\$ 7.000,00	\$ 7.000,00
4				\$ -	\$ -
SUBTOTAL MATERIALES					\$ 40.590,00
EQUIPOS Y HERRAMIENTAS		UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
1					0,00
2	Herramienta menor (% mano de obra)	gfb	10%	\$ 150.000,00	\$ 15.000,00
SUBTOTAL EQUIPOS					\$ 15.000,00
TRANSPORTE		UNIDAD	DISTANCIA km	VR. UN. (\$/ m³*km)	VALOR TOTAL
No aplica					\$ -
SUBTOTAL TRANSPORTE					\$ -
MANO DE OBRA		UNIDAD	CANTIDAD	0	VALOR TOTAL
1	cuadrilla AAA (2 OFICIAL+1 AUXILIAR)	h	0,10	\$ 13.750,00	\$ 1.375,00
SUBTOTAL MANO DE OBRA					\$ 1.375,00
COSTO DIRECTO					\$ 56.965,00

Nota: En esta tabla se describe materiales, equipos y mano de obra a utilizar en dicha actividad.

Fuente de elaboración propia.

Tabla 8 Presupuesto 3.2

		PRESUPUESTO ALTERNATIVA DE DISEÑO DE UN SISTEMA DE DRENAJE DE LA VIA UBICADA EN LA CARRERA 11B ENTRE LAS CALLES 7 Y 8 BARRIO CUNDINAMARCA, DUITAMA, BOYACA					
		ANÁLISIS DE PRECIO UNITARIO					
CAPÍTULO 3:		SUMINISTRO E INSTALACION DE GEOTEXTIL NT 2000 PARA SEPARACION SUBRASANTE/CAPAS GRANULARES Y/O SUBDRENES/FILTRO					
Ítem	3,2	0			M2		
MATERIALES		UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL		
1	geotextil nt 2000	M2	1	5.470,00	5.470,00		
2					0,00		
3					\$ -		
4				\$ -	\$ -		
SUBTOTAL MATERIALES					\$ 5.470,00		
EQUIPOS Y HERRAMIENTAS		UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL		
1					0,00		
2	Herramienta menor (% mano de obra)	glb	10%	\$ 50.000,00	\$ 5.000,00		
SUBTOTAL EQUIPOS					\$ 5.000,00		
TRANSPORTE		UNIDAD	DISTANCIA km	VR. UN. (\$/ m ³ *km)	VALOR TOTAL		
No aplica					\$ -		
SUBTOTAL TRANSPORTE					\$ -		
MANO DE OBRA		UNIDAD	CANTIDAD	0	VALOR TOTAL		
1	cuadrilla AA (1 OFICIAL+1 AUXILIAR)	h	0,10	\$ 13.750,00	\$ 1.375,00		
SUBTOTAL MANO DE OBRA					\$ 1.375,00		
COSTO DIRECTO					\$ 11.845,00		

Nota: En esta tabla se describe materiales, equipos y mano de obra a utilizar en dicha actividad.


Fuente de elaboración propia.

Tabla 9 Presupuesto 4.1

		PRESUPUESTO ALTERNATIVA DE DISEÑO DE UN SISTEMA DE DRENAJE DE LA VIA UBICADA EN LA CARRERA 11B ENTRE LAS CALLES 7 Y 8 BARRIO CUNDINAMARCA, DUITAMA, BOYACA				
		ANÁLISIS DE PRECIO UNITARIO				
CAPÍTULO 4:		MATERIAL FILTRANTE CON TAMAÑO MAXIMO 19mm				
Ítem	4.1	0				
				Unidad	M3	
MATERIALES		UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL	
1				24.470,00	0,00	
2	Grava	m3	1	80.000,00	80.000,00	
3				\$ 68.000,00	\$ -	
4	madera	und	2,00	\$ 1.700,00	\$ 3.400,00	
SUBTOTAL MATERIALES					\$ 83.400,00	
EQUIPOS Y HERRAMIENTAS		UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL	
1					0,00	
2	Herramienta menor (% mano de obra)	glb	10%	\$ 500.000,00	\$ 50.000,00	
SUBTOTAL EQUIPOS					\$ 50.000,00	
TRANSPORTE		UNIDAD	DISTANCIA km	VR. UN. (\$/ m ³ *km)	VALOR TOTAL	
	No aplica				\$ -	
SUBTOTAL TRANSPORTE					\$ -	
MANO DE OBRA		UNIDAD	CANTIDAD	0	VALOR TOTAL	
1	Cuadrilla AA (1 OFICIAL+1 AUXILIAR)	h	3,50	\$ 13.750,00	\$ 48.125,00	
					\$ -	
SUBTOTAL MANO DE OBRA					\$ 48.125,00	
COSTO DIRECTO					\$ 181.525,00	

Nota: En esta tabla se describe materiales, equipos y mano de obra a utilizar en dicha actividad.
Fuente de elaboración propia.

Tabla 10 Presupuesto general Filtro con Dren Longitudinal

					
PRESUPUESTO ALTERNATIVA DE DISEÑO DE UN SISTEMA DE DRENAJE DE LA VIA UBICADA EN LA CARRERA 11B ENTRE LAS CALLES 7 Y 8 BARRIO CUNDINAMARCA, DUITAMA, BOYACA					
CAPITULO/ ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	VALOR TOTAL
1	PRELIMINARES				
1.2	LOCALIZACIÓN Y REPLANTEO TOPOGRAFICO	km	0,073	\$ 2.055.000	\$ 1.500.000
2	EXCAVACIONES				
2.1	EXCAVACION DE MATERIAL COMUN A MAQUINA INCLUYE CARGUE Y ACARREO LIBRE DE 5 KM	m3	25,72	\$ 20.750	\$ 533.690
2.2	RELLENO SUBBASE GRANULAR COMPACTADO CON PLANCHA VIBRADORA	m3	8,76	\$ 79.875	\$ 699.705
2.3	RELLENO SUBBASE GRANULAR COMPACTADO MANUAL	m3	5,83	\$ 79.475	\$ 463.339
2.4	RELLENO MANUAL DE MATERIAL COMUN DEL SITIO COMPACTADO	m3	8,76	\$ 18.375	\$ 160.965
3	DESAGÜES				
3.1	SUMINISTRO E INSTALACIÓN TUBERIA PVC D=6" DRENAJE FILTRO	mL	73	\$ 56.965	\$ 4.158.445
3.2	SUMINISTRO E INSTALACION DE GEOTEXTIL NT 2000 PARA SEPARACION SUBRASANTE/CAPAS GRANULARES Y/O SUBDRENEOS/FILTRO	m2	43,8	\$ 11.845	\$ 518.811
4	AGREGADOS				
4.1	MATERIAL FILTRANTE CON TAMAÑO MAXIMO 19mm	M3	2,92	\$ 181.525	\$ 530.053
SUBTOTAL					\$ 8.565.008
ADMINISTRACION					\$ 1.541.701
IMPREVISTOS					\$ 513.900
UTILIDAD					\$ 428.250
IVA					\$ 1.627.352
TOTAL					\$ 12.676.212

Nota: En esta tabla se describe materiales, equipos y mano de obra a utilizar en dicha actividad.

Fuente de elaboración propia.

10. Conclusiones

- Los filtros son obras de drenaje subsuperficial que generan seguridad, economía y durabilidad teniendo en cuenta su práctica instalación para este tipo de vía, además, cumple con los criterios de mantenimiento y durabilidad de la misma.
- Con la implementación e investigación de los diferentes sistemas de drenajes se llega a un análisis hidrológico e hidráulico, y además se determina la opción más viable en cuanto economía, funcionalidad y durabilidad, factores que influyen de manera directa a la hora de la correcta selección de un sistema de drenaje, ya que para las vías en afirmado no se dispone de los recursos necesarios y se requiere hacer con pocos recursos obras efectivas.
- Los sistemas de drenaje son elaborados con precisión y cálculos previos con el fin de satisfacer las exigencias de las personas y mejorar su calidad de vida. Por ello, también es determinante la óptima elección de los materiales.
- En la mayoría de los casos se construyen cunetas o zanjas para el desagüe de las aguas superficiales de una calzada; para la carretera en estudio, el filtro se convierte en una opción rápida cómoda y segura para las características de esta vía.
- La elaboración del presente trabajo servirá como posible punto de partida de un sistema de drenaje, el cual beneficiará de manera directa a todas las personas de la zona de estudio mejorando su calidad de vida.

11. Recomendaciones

- Sería interesante realizar un monitoreo e inventario de las vías de estas características que posean un sistema similar de drenaje al que se propuso, y poder determinar la durabilidad y eficiencia del sistema, teniendo en cuenta los aspectos propios de las zonas para poder obtener un conocimiento no tan teórico, sino más una implementación práctica. Todo esto sería posible con la implementación de un programa y colaboración de la universidad.
- Es de vital importancia el conocimiento adecuado de la zona o vía donde se quiera implementar estos sistemas de drenaje, ya que en la mayoría de ocasiones las administraciones municipales y las empresas de servicios públicos de los municipios no poseen la información hidrológica, hidráulica y topográfica de dichas zonas y estos factores afectan directamente el diseño de los sistemas de drenaje.
- Se recomienda realizar un sistema de pavimentación rígido (placa huella), ya que las características de la calzada como vía terciaria y sus rasgos topográficos, se ajustan para este modelo de pavimento. También el flujo de tránsito y las características poblacionales de los habitantes permiten que este modelo sea el adecuado.

12. Bibliografía

Agencia Nacional de Infraestructura [ANI]. (s.f.). *Apéndice técnico especificaciones generales*.

Recuperado de

ftp://ftp.ani.gov.co/Iniciativas%20Privadas/IP%20CesarGuajira/Tec_Construcci%C3%B3n/5.1.3.7.EstudioAmbienta,SocialyPredial/5.1.3.7.3%20Predial/Anexos/Contrato%20Estandar%20y%20Apendices/Ap%C3%A9ndice%20T%C3%A9cnico%203%20Especificaciones%20Generales.pdf

Amaya, W. (2019). *Modelización hidráulica de drenaje urbano. Aplicación sector nororiental distrito Santa Inés Tunja-Boyacá* [Universidad Santo Tomas. Colombia]. Archivo digital.

<https://repository.usta.edu.co/handle/11634/22086?show=full>

Barrero, S. (2020). *Elaboración de los estudios de suelos para el diseño de la estructura de pavimento tipo placa huella para algunas vías terciarias ubicadas en los municipios de Pereira, y Dosquebradas del departamento de Risaralda* [tesis de pregrado, Universidad nacional abierta y a distancia, Colombia].

Beteta, A., y Valdez, V. (2019). *Manual de take off para obras horizontales, aplicado al proyecto mejoramiento vial y obras de drenaje pluvial del barrio Carlos Núñez* [Trabajo de grado, Universidad Nacional de Ingeniería]. Archivo digital

<https://core.ac.uk/download/pdf/336876889.pdf>

Camargo, A y Maldonado, D. (2020). *Diseño de una alternativa de mejoramiento para la vía terciaria que comunica las veredas la vega Apulo – San Antonio Anapoima Cundinamarca* [titulo pregrado, Universidad Piloto de Colombia, Girardot, Colombia].

- Camargo, E., y Lozada, J. (2018). *Diseño de un sistema urbano de drenaje sostenible en Bogotá, calle 127 con autopista norte* [Tesis de grado, Universidad Católica de Colombia].
Archivo digital. <https://core.ac.uk/download/pdf/160741336.pdf>
- Carreño, O., y Ospina, E. (2020). *Propuesta de diseño geométrico tipo placa huella para vía terciaria en la vereda el hospicio del municipio de la mesa Cundinamarca* [título pregrado, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia].
- CEMEX. (s.f.). *CEMEX sobre el cemento*. Recuperado de <https://www.cemex.com/es/productos-servicios/productos/cemento>
- Chávez, R., y Quevedo, P. (2021). *Evaluación y caracterización del material filtrante cercano a la vereda la cumbre en Villavicencio – meta y obras de subdrenaje para el mejoramiento de la capacidad portante del suelo para la estructura de pavimento en placa huella de la vía* [título de pregrado, Universidad Santo Tomás, Villavicencio, Colombia].
- Chumbe, B., y Rojas, J. (2018). *Propuesta de diseño de pavimentos y obras de drenaje pluvial en la reconstrucción de jirones y/o pasajes (jr. Francisco Bolognesi cda. 10 – 17, jr. Perú cda. 04 – 15, jr. España cda. 09 – 13....), principales vías de acceso al sector Partido Alto y la Hoyada, distrito de Tarapoto, provincia y región de San Martín* [Trabajo de grado, Universidad Nacional de San Martín Tarapoto]. Archivo digital.
<http://repositorio.unsm.edu.pe/handle/11458/2664>
- Correa, D. y Suarez, T. (2019). *Formulación del diseño geométrico y uso de placa-huella para la vía alterna entre los municipios de la mesa y tena (Cundinamarca)* [título de Maestría, Universidad Santo Tomás, Bogotá, Colombia].

Departamento Nacional de Planeación [DPN]. (2016). *Mejoramiento de vías terciarias mediante el uso de placa huella*. Recuperado de

https://proyectostipo.dnp.gov.co/index.php?option=com_k2&view=item&id=125:15-rehabilitacion-de-vias-terciarias-mediante-el-uso-de-placa-huella&Itemid=207

González, A. (2006). *Infraestructura vial en Colombia: un análisis económico como aporte al desarrollo de las regiones 1994-2004*. Recuperado de:

<https://ciencia.lasalle.edu.co/economia/430/>

Gutiérrez, J., Hernández, D., y González, I. (2020). *La corrupción como un problema en las vías de Duitama Estado de la malla vial en el mandato 2016-2019* [Universidad Pedagógica y Tecnológica De Colombia]. Archivo digital

https://www.researchgate.net/publication/325828438_LA_CORRUPCION_COMO_UN_PROBLEMA_EN_LAS_VIAS_DE_DUITAMA_Estado_de_la_malla_vial_en_el_mandato_2016-2019

Hillón, A., Sarmiento, L., y Ortega, A. (2017). *Estudio patológico del pavimento rígido paso nacional por Ipiales carretera Guachucal - Ipiales pr 21+800 – pr 23+800. carrera 7 entre calles 24 y 34 Ipiales (Nariño)* [título de especialización, Universidad Santo Tomas, Pasto, Colombia]. Archivo digital.

<http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/12066/T10.06%20G589in.pdf?sequence=1>.

Instituto Nacional de Vías [INVIAS]. (2009) *Manual de drenaje para carreteras*. Recuperado de

<https://www.invias.gov.co/index.php/archivo-y-documentos/documentos-tecnicos/especificaciones-tecnicas/984-manual-de-drenaje-para-carreteras>

- Instituto Nacional de Vías [INVIAS]. (2013). *Especificaciones generales de construcción de carreteras y normas de ensayo para materiales de carreteras*. Recuperado de <https://www.invias.gov.co/index.php/informacion-institucional/139-documento-tecnicos>
- Instituto Nacional de Vías [INVIAS]. (2015). *Guía de Diseño de Pavimentos con Placa-huella*. Recuperado de <https://www.invias.gov.co/index.php/archivo-y-documentos/documentos-tecnicos/6644-guia-de-disenoo-de-pavimentos-con-placa-huella>
- Instituto nacional de vías [INVIAS]. (2016). *Clasificación de las carreteras*. Recuperado de <https://www.invias.gov.co/index.php/informacion-institucional/2-uncategorised/2706-clasificacion-de-las-carreteras>
- Instituto Nacional de Vías [INVIAS]. (2018). *Glosario*. Recuperado de <https://www.invias.gov.co/index.php/servicios-al-ciudadano/glosario/130-glosario-manual-diseno-geometrico-carreteras>
- Laguna, A., y García, D. (2019). *Estudio de drenaje urbano de la ciudad de Trinidad para el diseño de 850 metros de obras de drenaje pluvial en el barrio Villa Trinidad del municipio la Trinidad Departamento de Esteli*. [Monografía, Universidad Nacional de Ingeniería]. Archivo digital. <https://core.ac.uk/download/pdf/336876648.pdf>
- Liz, E. y Rúgeles, N. (2018). *Cartilla de procedimientos constructivos en infraestructura vial para placas huella de concreto hidráulico en el cerro el arbolito* [título de pregrado, Universidad Piloto de Colombia, Girardot, Colombia].
- Niño, J., y García, M. (2021). *Diseño y optimización del sistema de drenaje de las aguas pluviales de la urbanización El Chilcal* [tesis de grado, Universidad de Piura]. Archivo digital.

https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/4840/ICI_2103.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Perafán, W. (2016). *Guía para el mantenimiento rutinario de vías no pavimentada* [trabajo de grado, Universidad de Medellín]. Archivo digital.

<https://repository.udem.edu.co/bitstream/handle/11407/163/Gu%C3%ADa%20para%20el%20mantenimiento%20rutinario%20de%20v%C3%ADas%20no%20pavimentadas.pdf?sequence=1>

Quintero, B. (2017). *Apoyo técnico a algunas obras civiles (construcción placa huella Tunja y la pavimentación de las calles carretero, humaredas y Kennedy), producto de los contratos a ejecutar por parte de la alcaldía del municipio de Rio de oro – Cesar* [título de pregrado, Universidad Francisco de Paula Santander, Ocaña, Colombia].

Rojas, J. (2018). *Inspección de las obras de arte del contrato de obra n°- 00640 de 2017 para el mantenimiento y mejoramiento de la carretera Belen, Socha – Sacama la Cabuya ruta 64 tramo 6404 departamento de Boyacá entre los pr 45+00 al pr 46 +480* [Trabajo de grado, Universidad Pedagógica y Tecnológica De Colombia].

Romero, A., Ronchaquira, Y., y Gomez, L. (2017). *Propuesta de diseño de un sistema de drenaje vial para el tramo de carretera terciaria san Joaquín alto del Tigre en el municipio de la Mesa Cundinamarca* [Universidad La Gran Colombia]. Archivo digital.

<https://repository.ugc.edu.co/bitstream/handle/11396/5551/1.%20Tesis%20de%20grado.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Santa, J., Giraldo, J., y Herazo, J. (2019). *Diseño de un plan vial de vías terciarias para la construcción de placa huellas en el municipio de San Vicente Ferrer, departamento de*

Antioquia [tesis especialización, Corporación Universitaria Minuto de Dios, Bello, Colombia].

Vargas, s. (218). *Estudio hidrológico e hidráulico para el diseño del sistema de drenaje de la carretera departamental sm-110 metal – marcos, distrito shunte, provincia tocachi – san martín* [tesis de grado, Universidad de San Martín] Archivo digital.

<https://repositorio.unsm.edu.pe/bitstream/handle/11458/2950/CIVIL%20-%20Sally%20Banessa%20Diaz%20Vargas.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Anexos

Vélez, J. y Botero, A. (2011). Estimación del tiempo de concentración y tiempo de rezago en la cuenca experimental urbana de la quebrada San Luis, Manizales. *DYNA*, 165, 58-71.

Vélez Upegui, J. J. y otros, (2013). *Diseño hidrológico e hidráulico de obras de ingeniería para proyectos viales*. Manizales: Universidad Nacional de Colombia, pp. 0-220. Recuperado de https://www.researchgate.net/profile/Jorge-Velez-19/publication/271205569_DISENO_HIDRAULICO_E_HIDROLOGICO_DE_OBRAS_DE_INGENIERIA_PARA_PROYECTOS_VIALES/links/54c14ca20cf2d03405c523c7/DISENO-HIDRAULICO-E-HIDROLOGICO-DE-OBRAS-DE-INGENIERIA-PARA-PROYECTOS-VIALES.pdf

Figuroa, A. y otros, (2008). *En: Manual para el mantenimiento de la red vial secundaria (pavimentada y en afirmado)*. Bogotá: Ministerio de Transporte, pp. 1-76. Recuperado de https://www.academia.edu/6388436/MANUAL_PARA_EL_MANTENIMIENTO_DE_LA_RED_VIAL_SECUNDARIA_PAVIMENTADA_Y_EN_AFIRMADO_EQUIPO_DE_TRABAJO