

ANÁLISIS DE PATRONES Y CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS EN ESTRUCTURAS  
DE DRENAJE PARA LA FORMULACIÓN DE NORMATIVA TÉCNICA DE DRENAJE  
URBANO LOCAL, COMPARACIÓN VILLAVICENCIO - TUNJA



JUAN DAVID RESTREPO BARRETO



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
VILLAVICENCIO

2023

ANÁLISIS DE PATRONES Y CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS EN ESTRUCTURAS  
DE DRENAJE PARA LA FORMULACIÓN DE NORMATIVA TÉCNICA DE DRENAJE  
URBANO LOCAL, COMPARACIÓN VILLAVICENCIO - TUNJA

JUAN DAVID RESTREPO BARRETO

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Ingenieros Civiles

Director

Ing. MÓNICA YINETH LARA PÉREZ.

Magister en Ingeniería civil, con énfasis en Hidroambiental

Coodirector

Ing. MELQUISEDEC CORTÉZ ZAMBRANO

PhD Ingeniería y Ciencia de los Materiales

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
VILLAVICENCIO

2023

**Autoridades Académicas**

**P. Álvaro José ARANGO RESTREPO, O. P.**

Rector General

**P. Eduardo GONZALEZ GIL, O. P.**

Vicerrector Académico General

**P. José Antonio BALAGUERA CEPEDA, O. P.**

Rector Seccional Villavicencio

**P. Rodrigo GARCÍA JARA, O. P.**

Vicerrector Académico Seccional Villavicencio

**Mg. JULIETH ANDREA SIERRA TOBÓN MSc.**

Secretaria General Seccional Villavicencio

**Mg. LUIS FERNANDO DIAZ CRUZ MSc.**

Decano de la Facultad de Ingeniería Civil

### **Dedicatoria**

A Dios, fuente de sabiduría y fortaleza, a quien dedico este logro académico, por ser mi guía y mi fuente de inspiración en cada paso de este camino.

A mi querida familia, por su amor incondicional, apoyo constante y sacrificio incansable a lo largo de este camino. Gracias por ser mi refugio en tiempos de duda y mi motivación en tiempos de desafío.

A mi padre, un ejemplo de tenacidad y dedicación, por inculcarme los valores del esfuerzo y la perseverancia, y por ser mi faro en la consecución de mis metas. Su legado siempre me ha inspirado a superar mis límites y alcanzar mis sueños.

### **Agradecimiento**

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a la ingeniera Mónica Yineth Lara Pérez por su invaluable apoyo, guía y dirección durante todo el desarrollo de este proyecto. Su conocimiento experto y compromiso en el campo de la Ingeniería Civil, con énfasis en Hidroambiental, han sido fundamentales para el éxito de esta iniciativa., su orientación constante y dedicación en cada etapa del proyecto han sido una fuente de inspiración y motivación para mí. Su capacidad para desglosar conceptos complejos, proporcionar claridad en las ideas y ofrecer soluciones efectivas ha sido verdaderamente impresionante, gracias a su mentoría, he tenido la oportunidad de crecer tanto profesional como personalmente. No solo he adquirido conocimientos técnicos significativos, sino que también he desarrollado habilidades de resolución de problemas y pensamiento crítico que me serán de gran utilidad en mi carrera, valoraré siempre el tiempo y esfuerzo que ha invertido en mí y en este proyecto. Espero que podamos mantener una relación profesional en el futuro y continuar colaborando en más desafíos, nuevamente, gracias por su generosidad, paciencia y compromiso. Su contribución ha sido fundamental y no podría estar más agradecido/a por tener la oportunidad de aprender y crecer bajo su tutela.

Agradezco a la universidad Santo Tomas por el invaluable apoyo que me han brindado a lo largo de mi trayectoria académica y profesional. Mi experiencia en esta institución ha sido realmente enriquecedora y transformadora, y eso se debe en gran parte a la dedicación de sus profesores y al ambiente de aprendizaje que han creado.

También quiero expresar mi agradecimiento a mi padre, José Edilberto Restrepo Benjumea por todo el apoyo incondicional que me ha brindado a lo largo de mi vida, tanto en mi crecimiento humano como en mi desarrollo profesional. Su presencia constante, sus sabios consejos y su amor inquebrantable fueron fundamentales para llevarme a donde estoy hoy. Siempre fue un modelo de esfuerzo, dedicación y coraje, y tus enseñanzas han forjado en mí un carácter fuerte y una determinación constante, a mi madre, Rocío Barreto Rodríguez, por su invaluable apoyo en mi crecimiento humano, inculcándome importantes valores que han guiado mis pasos a lo largo de mi vida. Su amor, paciencia y dedicación han sido la brújula moral que me ha ayudado a tomar decisiones sabias y éticas.

## Contenido

	<b>Pág.</b>
Resumen.....	9
Abstract.....	10
Introducción .....	11
1. Formulación del problema .....	12
2. Justificación .....	14
Prevención de Daños y Riesgos:.....	15
Conservación Ambiental.....	15
Promoción de Planificación Urbana Sostenible:.....	16
Prevención de Conflictos:.....	16
3. Objetivos .....	17
3.1 Objetivo general.....	17
3.2 Objetivos específicos .....	17
4. Alcance .....	18
5. Marco de referencias.....	19
5.1 Marco teórico .....	19
5.2 Estado del arte.....	20
5.3 Marco normativo.....	21
5.3.1 Normativa Bogotá D.C. ....	21
5.3.2 Norma técnica EPM Medellín .....	23
6. Metodología .....	26
6.1 Definir el alcance del proyecto .....	26
6.2 Identificar temas clave .....	27
6.3 Búsqueda de tesis y documentos académicos.....	29
6.3.1 Modelación de Calidad de Agua del Drenaje Urbano, en Software SWMM, Sector Nororiental - Santa Inés – Tunja.....	29
6.3.2 Importancia de los Sumideros, su Funcionamiento y Diseño en Redes de Alcantarillado, Caso de Estudio Sector Nororiental Tunja.....	29

6.3.3	Modelización Hidráulica de Drenaje Urbano, Aplicación Sector Nororiental Distrito Santa Inés Tunja-Boyacá .....	30
6.4	Búsqueda de normativas .....	30
6.4.1	EPM Medellín.....	31
6.4.2	Acueducto agua y alcantarillado de Bogotá.....	32
6.5	Filtrar la información .....	33
7.	Resultados .....	35
7.1	Analizar y recopilar información sobre el sistema de alcantarillado existente teniendo así un panorama de inicio de trabajo.....	35
7.2	Evaluar la capacidad hidráulica de las estructuras de drenaje actual definiendo e identificando las principales problemáticas .....	35
7.3	Revisión de Fundamentos Teóricos para sustentar las posibles soluciones .....	36
7.4	Propuesta de Normativa Técnica teniendo en cuenta la aplicación de SUDS y eficiencia hidráulica .....	37
7.4.1	Cunetas y canaletas de drenaje superficial.....	37
	.....	38
7.4.2	Geotextiles, geos compuestos de drenaje, geomembranas y geomallas .....	38
7.4.3	Criterios para diseño y construcción de sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS)	39
7.4.4	Aspectos técnicos para diseño y construcción de redes de alcantarillado ....	41
8.	Análisis de resultados .....	42
	Conclusiones .....	47
	Referencias bibliográficas.....	48

**Lista de figuras**

	Pág.
Figura 1. Inundación de calles en Tunja .....	28
Figura 2 Talado de arboles.....	28
Figura 3 Norma de diseño de sistemas de alcantarillado de las Empresas Públicas de Medellín E.S.P.....	32
Figura 4 Sistema de Información de Normalización Técnica.....	33
Figura 5 Tabla de limites permisibles de cunetas en vías urbanas. ....	38

## Resumen

El proyecto tiene como objetivo analizar las características hidráulicas de las estructuras de drenaje en sistemas de alcantarillado urbano en la zona de estudio de Tunja. Se llevará a cabo una investigación exhaustiva para identificar diferentes tipos de estructuras, sus patrones de flujo y propiedades hidráulicas. Utilizando esta información, se creará una normativa técnica que establecerá pautas claras para la construcción, mantenimiento y reparación de estas estructuras.

El proyecto también se basará en fundamentos teóricos como la hidráulica de flujo en canales abiertos y cerrados, la dinámica de fluidos computacional (CFD), la modelización hidrológica y la evaluación de riesgos en sistemas de alcantarillado. Integrar principios y prácticas de sistemas de drenaje sostenible (SUDS) como parte integral del enfoque del proyecto se utilizarán para diseñar soluciones de drenaje urbano que sean más sostenibles desde la perspectiva ambiental promoviendo la gestión responsable del agua en la zona de Tunja. En resumen, el objetivo principal es mejorar la eficiencia del drenaje urbano, reducir el riesgo de inundaciones y mitigar los efectos ambientales negativos relacionados con los sistemas de alcantarillado en la zona de Tunja.

**Palabras clave:** Características hidráulicas, Estructuras de drenaje, Patrones de flujo, Normativa técnica, Mantenimiento.

### **Abstract**

The project aims to analyze the hydraulic characteristics of drainage structures in urban sewer systems in the Tunja study area. A comprehensive investigation will be carried out to identify different types of structures, their flow patterns, and hydraulic properties. Using this information, a technical regulation will be developed, establishing clear guidelines for the construction, maintenance, and repair of these structures.

The project will also be based on theoretical fundamentals such as open and closed-channel hydraulic flow, computational fluid dynamics (CFD), hydrological modeling, and risk assessment in sewer systems. Integrating principles and practices of Sustainable Urban Drainage Systems (SUDS) as an integral part of the project's approach will be used to design urban drainage solutions that are more environmentally sustainable, promoting responsible water management in the Tunja area. In summary, the main objective is to improve urban drainage efficiency, reduce the risk of flooding, and mitigate negative environmental effects related to sewer systems in the Tunja area.

**Keywords:** Hydraulic characteristics, Drainage structures, Flow patterns, Technical regulations, Maintenance.

## **Introducción**

La ciudad de Tunja, ubicada en el departamento de Boyacá, se enfrenta a desafíos significativos en su sistema de alcantarillado. Estos desafíos surgen debido a la presencia de patrones y características hidráulicas inadecuadas en las estructuras de drenaje que componen este sistema. Estas deficiencias en el diseño y funcionamiento de las infraestructuras de drenaje pueden acarrear consecuencias perjudiciales, como la amenaza constante de inundaciones, el colapso de tuberías esenciales y el deterioro progresivo de las instalaciones existentes.

Frente a esta problemática, resulta imperativo abordar estos inconvenientes de manera integral y proactiva. Una estrategia clave en este sentido radica en la formulación de un conjunto exhaustivo de normas técnicas que regule de manera precisa y detallada el proceso de diseño, la construcción y el mantenimiento de las diversas estructuras de drenaje que conforman el sistema de alcantarillado de la ciudad.

La implementación de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) emerge como una estrategia innovadora para abordar los desafíos de manejo de aguas pluviales en Tunja. Los SUDS son enfoques basados en la naturaleza que integran soluciones respetuosas con el entorno en el tejido urbano. Incluir los SUDS en las normas técnicas podría revolucionar la gestión de aguas pluviales al aprovechar características como permeabilidad del suelo, áreas verdes y reutilización de aguas. La integración de SUDS en el diseño de infraestructuras de drenaje puede aumentar la resiliencia ante inundaciones, reducir la carga en estructuras convencionales y mejorar la calidad ambiental. La convergencia de prácticas tradicionales y soluciones innovadoras de SUDS puede crear un sistema de alcantarillado eficiente y sostenible en Tunja, beneficiando a la comunidad y protegiendo el entorno urbano de desafíos hidráulicos presentes y futuros.

Investigación desarrollada como parte del proyecto “Manejo integral en sistemas de drenaje urbano mediante la aplicación de modelos numéricos y técnicas SUDS” que fue aprobado en III convocatoria FODEIN Multicampus 2023

## 1. Formulación del problema

La ciudad de Tunja, en el departamento de Boyacá, presenta problemas en el sistema de alcantarillado debido a patrones y características hidráulicas inadecuadas en las estructuras de drenaje. Estos problemas pueden generar riesgos de inundaciones, colapsos de tuberías y deterioro de las infraestructuras existentes. Para abordar estos problemas, es necesario formular un conjunto de normas técnicas que regulen el diseño, construcción y mantenimiento de las estructuras de drenaje en el sistema de alcantarillado de la ciudad.

El problema técnico que enfrenta la ciudad de Tunja, ubicada en el departamento de Boyacá, radica en su sistema de alcantarillado, específicamente en las estructuras de drenaje. Se ha identificado la presencia de patrones y características hidráulicas inadecuadas en estas estructuras, lo que compromete su funcionamiento eficiente. La combinación de patrones de flujo inapropiados y propiedades hidráulicas deficientes dificulta la adecuada gestión de las aguas pluviales y residuales en el sistema de alcantarillado.

Esta situación plantea diversas preocupaciones técnicas. En primer lugar, la falta de patrones hidráulicos adecuados puede llevar a la acumulación de aguas en puntos específicos del sistema, aumentando el riesgo de inundaciones en áreas urbanas y generando daños a la propiedad y la infraestructura. Además, las características hidráulicas inadecuadas pueden dar lugar a colapsos de las tuberías debido a la presión y el flujo irregular de las aguas, lo que resulta en la interrupción del flujo de aguas residuales y pluviales.

Además de los riesgos de inundaciones y colapsos, esta problemática también puede acelerar el deterioro de las infraestructuras existentes, incluyendo las propias estructuras de drenaje y las tuberías del sistema de alcantarillado. Las fuerzas hidráulicas irregulares pueden provocar erosión y corrosión prematura, lo que disminuye la vida útil de las instalaciones y aumenta los costos de mantenimiento y reparación.

Para abordar de manera integral estos desafíos técnicos, se requiere la formulación y aplicación de un conjunto de normas técnicas específicas. Estas normas deben regular minuciosamente aspectos relacionados con el diseño, construcción y mantenimiento de las estructuras de drenaje en el sistema de alcantarillado de la ciudad. Estas directrices técnicas deberían abarcar desde la selección de materiales resistentes y duraderos, hasta la optimización de los patrones de flujo y la gestión adecuada de las aguas pluviales y residuales. Su implementación

adecuada no solo mejoraría el funcionamiento hidráulico del sistema de alcantarillado, sino que también reduciría los riesgos de inundaciones, minimizaría los colapsos de tuberías y prolongaría la vida útil de las infraestructuras existentes

## 2. Justificación

La normativa técnica en el ámbito del drenaje y las características hidráulicas de las estructuras de alcantarillado es de suma importancia en Tunja, Boyacá, La normativa técnica establece estándares de diseño que garantizan la adecuada capacidad de drenaje de las estructuras en relación con las condiciones hidráulicas locales. Esto ayuda a prevenir problemas como inundaciones, desbordamientos y daños a la infraestructura urbana, al contar con diseños adecuados, se puede gestionar de manera más eficiente el flujo de agua y minimizar los riesgos asociados, se pueden incluir pautas para la implementación de prácticas sostenibles de gestión del agua en el sistema de alcantarillado. Promover la conservación del agua, la reutilización de aguas grises y la infiltración natural del agua en el suelo da un enfoque sostenible que reducen los impactos ambientales y se promueve una gestión más eficiente y responsable de los recursos hídricos.

Un sistema de alcantarillado correctamente diseñado y construido evita la contaminación del agua potable y reduce los riesgos para la salud pública, La normativa técnica establece requisitos para la selección de materiales de construcción adecuados y especificaciones técnicas para la instalación y mantenimiento de las estructuras de drenaje. Esto asegura la calidad y durabilidad de las infraestructuras, evitando el deterioro prematuro, los colapsos y los costos adicionales de reparación. De esta misma manera, promueve la utilización de técnicas de construcción y materiales resistentes a los desafíos hidráulicos y climáticos específicos de la región. Esto proporciona un marco coherente y uniforme para el diseño, construcción y mantenimiento de las estructuras de drenaje en el sistema de alcantarillado.

En Colombia, la Ley 1523 de 2012, conocida como la Ley de Gestión del Riesgo de Desastres, establece disposiciones sobre la gestión integral del riesgo de desastres y la reducción del riesgo en el país. Aunque esta ley no se enfoca específicamente en establecer una normativa técnica de drenaje, sienta las bases para la implementación de medidas y regulaciones que contribuyan a prevenir y mitigar los impactos de inundaciones y otros eventos relacionados con la gestión de aguas pluviales.

La Ley 1523 de 2012 establece la creación del Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (SNGRD) y determina las responsabilidades y competencias de las autoridades en la gestión integral del riesgo. A través de este marco legal, se busca promover la adopción de

políticas, planes, programas y acciones que reduzcan la vulnerabilidad de la población y los territorios ante eventos adversos, como las inundaciones que pueden resultar de problemas en el sistema de drenaje.

Aunque no existe una ley específica que hable exclusivamente de una normativa técnica de drenaje, la Ley 1523 de 2012 puede proporcionar un contexto legal para la implementación de regulaciones técnicas relacionadas con la gestión de aguas pluviales y el drenaje urbano. Las autoridades competentes pueden utilizar esta ley como base para promulgar disposiciones que regulen los aspectos técnicos del diseño, construcción y mantenimiento de las estructuras de drenaje, en línea con los principios de prevención y mitigación de riesgos establecidos en la legislación colombiana.

Algunos argumentos legales que respaldan la creación y aplicación de esta normativa:

*Prevención de Daños y Riesgos:* La regulación de patrones de drenaje busca prevenir daños a la propiedad y riesgos para la vida humana al evitar inundaciones y colapsos en las infraestructuras de drenaje. Esta justificación se basa en el derecho a la seguridad y a un ambiente saludable, reconocido en muchas legislaciones nacionales e internacionales.

*Conservación Ambiental:* La normativa técnica puede promover prácticas de drenaje sostenible que minimicen la erosión del suelo, la sedimentación y la contaminación del agua. Esto es congruente con la legislación de protección ambiental y conservación de recursos naturales.

*Cumplimiento de Estándares de Construcción:* La regulación de patrones de drenaje puede establecer estándares técnicos para el diseño y construcción de infraestructuras de drenaje. Esto asegura que las estructuras cumplan con criterios de seguridad y calidad, como se requiere en las leyes de construcción y edificación.

*Uso Racional del Agua:* La normativa puede promover la gestión adecuada de las aguas pluviales, evitando el derroche y favoreciendo su reciclaje y reutilización. Esto se alinea con leyes que buscan la conservación y uso eficiente del agua.

*Responsabilidad Gubernamental:* Al establecer una normativa de patrones de drenaje, las autoridades gubernamentales asumen la responsabilidad de regular y supervisar el desarrollo urbano y la infraestructura de drenaje, lo que puede estar en línea con los deberes de cuidado y bienestar que tienen hacia la comunidad.

*Promoción de Planificación Urbana Sostenible:* **La** regulación de patrones de drenaje puede ser parte de estrategias más amplias de planificación urbana sostenible, promoviendo el desarrollo ordenado de las ciudades y la mitigación de impactos negativos en el entorno.

*Prevención de Conflictos:* Una normativa clara y aplicable puede prevenir conflictos entre partes involucradas en la construcción y mantenimiento de estructuras de drenaje. Estos conflictos pueden afectar la seguridad pública y la calidad de vida de los ciudadanos.

### **3. Objetivos**

#### **3.1 Objetivo general**

- Identificar patrones y características hidráulicas de estructuras de drenaje en sistemas de alcantarillado, continuando con el fundamento teórico para la formulación en normativa técnica de drenaje local.

#### **3.2 Objetivos específicos**

- Analizar y recopilar información sobre el sistema de alcantarillado existente teniendo así un panorama de inicio de trabajo.
- Evaluar la capacidad hidráulica de las estructuras de drenaje actual definiendo e identificando las principales problemáticas.
- Revisión de Fundamentos Teóricos para sustentar las posibles soluciones.
- Propuesta de Normativa Técnica teniendo en cuenta la aplicación de SUDS y eficiencia hidráulica.

#### 4. Alcance

La investigación teórica sobre patrones de drenaje es un papel esencial en el desarrollo de la normativa técnica que regula y orienta la planificación, diseño y gestión de sistemas de drenaje en entornos urbanos y rurales. Al explorar en profundidad los factores que influyen en la formación y evolución de los patrones de drenaje, esta investigación proporciona fundamentos científicos y legales sólidos para establecer criterios y directrices en la disposición eficiente y sostenible de infraestructuras hidráulicas. Los análisis teóricos permiten comprender cómo la topografía, geología, climatología y otros elementos interaccionan para influir en la configuración de los sistemas fluviales y pluviales, lo que resulta crucial para definir dimensiones adecuadas de canales, embalses, alcantarillado y estructuras de control de inundaciones. Además, esta investigación contribuye a anticipar posibles cambios en los patrones de drenaje debido a fenómenos naturales o cambios en el uso del suelo, lo que aporta valiosa información para la formulación de normativas resilientes y adaptables a diferentes contextos.

La aplicación de los hallazgos derivados de la investigación teórica sobre patrones de drenaje en la elaboración de normativas técnicas promueve la optimización de recursos, la minimización de riesgos y la protección del entorno. Estas normativas pueden abarcar desde especificaciones de diseño hidráulico hasta criterios de ubicación y mantenimiento de infraestructuras de drenaje. Asimismo, permiten establecer estándares para la captación y manejo de aguas pluviales, la prevención de inundaciones y la conservación de ecosistemas acuáticos. En resumen, la investigación teórica de patrones de drenaje en el contexto de la formulación de normativas técnicas contribuye a la creación de marcos regulatorios sólidos y eficaces que garantizan la funcionalidad, seguridad y resiliencia de los sistemas de drenaje en diversas condiciones y localizaciones.

## 5. Marco de referencias

### 5.1 Marco teórico

- **Sumideros:** Los sumideros son estructuras que tienen por objeto realizar la recolección de las aguas de lluvia de escorrentía e impedir el ingreso de elementos sólidos de gran tamaño que discurren por la superficie de vías o terrenos al sistema de alcantarillado pluvial o combinado, además incorporan corrientes de agua que se vierten al rebasar su depósito o cauces naturales o artificiales. Estos pueden ser diseñados para captar las aguas de manera lateral o transversal a la dirección del flujo. “epm medellín,(2019)( pag. 4)”
- **Cunetas/Zanjas:** Las cunetas son zanjas longitudinales ubicadas a ambos lados de la carretera o, en su defecto, a un solo lado, revestidas o no revestidas, con el objeto de captar, conducir, y evacuar en forma adecuada los flujos de agua superficial.
- **Alcantarillas:** Estructuras subterráneas que permiten que el agua fluya debajo de carreteras, caminos u otras superficies. Pueden ser de diferentes tipos, como alcantarillas de tubos, alcantarillas de caja o alcantarillas pluviales.
- **Barreras de Contención de Agua:** Tales como diques, presas y sistemas de retención de agua que evitan inundaciones al detener o desviar el flujo de agua.
- **Sistemas de Drenaje Urbano:** Redes de tuberías y conductos subterráneos que recolectan y transportan aguas pluviales y aguas residuales fuera de áreas urbanas.
- **Canales:** Grandes canales artificiales construidos para dirigir el flujo de agua a través de áreas específicas, como sistemas de riego o drenaje agrícola.
- **Drenaje Subsuperficial:** Utiliza drenajes subterráneos, como tubos drenantes, para eliminar el exceso de agua en el suelo y mantener los niveles de agua adecuados para la vegetación.
- **Sistemas de Drenaje Sostenible:** Diseñados para imitar los procesos naturales de absorción y filtración del agua, utilizando características como zonas verdes, techos verdes y superficies permeables.
- **Terrazas y Laderas Modificadas:** Se construyen en terrenos inclinados para minimizar la erosión y el flujo de agua, permitiendo la retención y absorción gradual.

- **Filtros y Medios de Drenaje:** Se utilizan para filtrar el agua antes de que entre en un sistema de drenaje o alcantarillado, reduciendo la cantidad de sedimentos y contaminantes.
- **Balsas de Retención:** Estanques artificiales diseñados para retener temporalmente el agua y permitir que se infiltre gradualmente en el suelo, evitando inundaciones.
- **Canalización y Rectificación de Ríos:** Modificación del curso de los ríos y arroyos para mejorar el flujo de agua y prevenir inundaciones en áreas habitadas.
- **Desvíos de Flujo de Agua:** Redirigir temporalmente el flujo de agua lejos de áreas vulnerables mediante la construcción de canales temporales o zanjas.

## 5.2 Estado del arte

Para algunos parámetros, es posible establecer rangos de variación y valores promedio para aguas procedentes de la escorrentía superficial. Generalmente la escorrentía es generada por las precipitaciones, y contribuye a que las aguas residuales se mezclen con grandes volúmenes de agua de mejor calidad. Debido a los grandes sucesos de lluvias, áreas de drenaje, características del agua residual, las características de las aguas residuales mezcladas suelen variar altamente en distintos lugares (Tejero & Temprano, 1993).

El hidrograma de escorrentía de la lluvia en una cuenca rural presenta diferencias respecto a una cuenca urbana con las mismas características, en la primera la duración es mayor y la caudal punta es menor en diferentes tiempos, debido al distinto grado de permeabilidad. Además de esto por los fuertes caudales punta en periodos de tiempo cortos conduce a que los sistemas de drenaje sean de gran tamaño, y para el exceso de escorrentía de agua pluvial es necesario su almacenamiento en un suelo urbano previo a la entrada principal del sistema (Sharon, 1989).

Se realizó una modelación integrada de la calidad del agua del río Bogotá y el sistema de drenaje urbano de la ciudad de Bogotá, debido a que el sistema de drenaje urbano cuenta con un gran número de conexiones errada, presentaron dos escenarios hipotéticos, resaltando que estos no representan con exactitud las opciones del tratamiento evaluados por la ciudad de Bogotá. El modelo no solo permitió evaluar opciones de tratamiento, sino también de implementación de sistemas de drenaje urbano sostenible. Los resultados de cantidad del agua son válidos, pero deben analizarse con cautela, debido a que el modelo aun no representa de forma adecuada el fenómeno

de lavado de contaminantes en la superficie de la ciudad en eventos de precipitación (Rodríguez N, 2014)

### **5.3 Marco normativo**

#### **5.3.1 Normativa Bogotá D.C.**

##### **5.3.1.1 NS-057 (ALCANTARILLADO), Cunetas y canaletas de drenaje superficial.**

Al proyectar una cuneta, mediante los cálculos hidráulicos se deben tener en cuenta su sección transversal, su pendiente longitudinal y los puntos de drenaje, así como el tipo de revestimiento, en caso de requerirse.

La velocidad de circulación del agua debe limitarse para evitar erosión, sin reducirla tanto que pueda dar origen a depósitos de sedimentos. La velocidad mínima recomendable 0.35 m/s.

El cálculo hidráulico de las cunetas debe realizarse según los requisitos establecidos en la norma ""NS-085 Criterios de diseño de sistemas de alcantarillado""

#### **ASPECTOS NORMATIVOS CONSTRUCTIVOS**

- Preparación del Terreno
- Juntas de Dilatación
- Cunetas y Canaletas de Concreto Fundido en Sitio
- Cunetas y Canaletas de Concreto Prefabricado

##### **5.3.1.2 EG-112(GENERAL), Geotextiles, geos compuestos de drenaje, geomembranas y geomallas**

**5.3.1.3 NS-166(GENERAL), Criterios para diseño y construcción de sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS) .** Se debe satisfacer dos objetivos Fundamentales: (1) reducir los volúmenes de escorrentía que son descargados directamente a los cuerpos de agua receptores o al sistema de drenaje convencional luego de un evento de precipitación, minimizando a su vez impactos asociados a eventos de inundación y (2) mejorar la calidad del agua pluvial durante su captación. detención, conducción infiltración y/o retención. No obstante, con la implementación

de estos sistemas se pueden alcanzar de manera simultánea objetivos como mejorar la amenidad del área urbana, incrementar el urbanismo y paisajismo de la ciudad, e incentivar el reúso de agua pluvial. Los SUDS pueden diseriarse para proyectos de diferentes escalas, desde una escala de control en la fuente hasta una de tipo racional.

**5.3.1.4 NS-088(GEOTECNIA), Geotextiles y geocompuestos de drenaje.** "La presente norma aplica a pozos de inspección de altura menor o igual a 7m y/o donde se conecten tuberías de diámetro menor a 0.9 m (36"). En los sitios donde se conecten tuberías de diámetros mayores o iguales a 0.9 m (36") y/o donde la altura del pozo sea mayor a 7 m se construirán cámaras en concreto reforzado según la norma "NP-074 Cámara de Inspección Prefabricada para Alcantarillado" (Considerándose el alcance de ésta) ó con diseños aprobados por la E.A.A.B - E.S.P. que cumplan con las normas "NS-002 Criterios de Diseño Estructural" y "NS-085 Criterios de Diseño de Sistemas de Alcantarillado" Los pozos deben ser construidos cada vez que se presente cualquiera de las siguientes situaciones:

Al inicio de un tramo (así no existan colectores que lleguen a él)

- Cada 80 - 120 m.
- Cambios de dirección
- Cambios de pendiente
- Intersección de tuberías
- Cambios en los diámetros de las tuberías
- Cambios en el material de las tuberías
- En conexiones domiciliarias de conjuntos residenciales, según la norma NS-068"Conexiones domiciliarias de alcantarillado"

En esta norma se considera que el pozo de inspección está dividido en las siguientes partes:

- Placa de fondo o base
- Cilindro o cuerpo del pozo
- Cono de Reducción (cuando aplique)
- Cubierta y acceso

La carga viva de diseño del pozo de inspección debe ser el camión C 4095 establecido por Instituto Nacional de Vías."

**5.3.1.5 ns-122(geotecnia), aspectos técnicos para diseño y construcción de subdrenajes.**"Durante la realización de los trabajos de construcción de subdrenajes deben cumplirse los requisitos de las normas del ACUEDUCTO DE BOGOTA, ""NS-107 requisitos mínimos de higiene y seguridad industrial para el manejo de equipos empleados en labores de construcción de sistemas de acueducto y alcantarillado"" ""NS-038 Manual de manejo del impacto urbano""

los subdrenajes para el alivio de la supresión pueden ser:

- Subdrenaje
- Geodren

### **5.3.2 Norma técnica EPM Medellín**

**5.3.2.1 canales en sistemas de drenaje.** "En relación al diseño de canales para aguas lluvias, se pueden utilizar canales abiertos o cerrados, siempre que se mantenga el flujo a superficie libre. La forma de la sección del canal puede ser variada, incluyendo canales prismáticos, pero su elección debe estar justificada y basada en ecuaciones hidráulicas adecuadas. Sin embargo, no se permiten para aguas residuales.

La planificación de estos canales debe estar en consonancia con los Planes de Ordenamiento Territorial de los municipios servidos por EPM y las regulaciones asociadas, particularmente en lo que respecta a la disposición de vías y áreas verdes cercana

Al seleccionar la sección transversal del canal, es esencial considerar las dimensiones y la importancia de las vías, así como las características de las zonas verdes, ya que estas condiciones establecen limitaciones para el dimensionamiento adecuado.

- Vías, cunetas y pavimentos.
- Sumideros, cárcamos y redes de Alcantarillado de aguas lluvias.
- Almacenamientos temporales.
- Canalizaciones y coberturas.

El drenaje urbano debe preservar al máximo las condiciones naturales de infiltración para evitar la transferencia hacia aguas abajo del aumento de caudal, volumen y carga de contaminantes del escurrimiento pluvial y de la erosión del suelo."

**5.3.2.2 criterios para diseño y construcción de sistemas urbanos de drenaje sostenible (suds).** "Los SUDS, como tanques de almacenamiento, celdas de bioretención y pavimentos permeables, se consideran viables según las condiciones locales. Aunque el sistema de drenaje actual puede manejar lluvias promedio, se observa un desbordamiento del 3% para una lluvia de retorno de 5 años, aumentando al 9% con la expansión urbana.

La implementación máxima de SUDS en todas las subcuencas reduce la escorrentía en un 45% para lluvias promedio y un 41% para lluvias de retorno de 5 años. En las zonas de expansión, se logra reducir el desbordamiento del 22% al 11% para una lluvia de retorno de 5 años

Es esencial considerar la intensidad de la lluvia al establecer objetivos y alcances para mejorar el drenaje urbano. Las SUDS tienen un impacto positivo al retener y gestionar las aguas pluviales, reduciendo el riesgo de inundaciones, mejorando el entorno urbano y evitando gastos en sistemas de alcantarillado y canales. Comparar la inversión en SUDS con la reposición de la red de drenaje es valioso, considerando los beneficios adicionales que ofrecen estas infraestructuras sostenibles."

**5.3.2.3 cámaras de inspección.** "Las cámaras de inspección vaciadas en el sitio constan de elementos como losa inferior, cañuelas, panes, cilindro, cono de reducción, peldaños, losa superior (anillo, cuello) y tapa. En situaciones especiales con tuberías de alcantarillado de gran diámetro, se requiere una estructura dimensionada específicamente, con acceso seguro. Si el espacio es limitado para una cámara, se puede optar por una caja de inspección especial, así como referencia EPM.

En una cámara, el número de tuberías conectadas no debe exceder cuatro (4), y el ángulo entre la tubería de entrada dominante y la de salida no debe ser menor de 90°"

**5.3.2.4 guía para el diseño hidráulico de redes de alcantarillado.** "Al planificar hidráulicamente el funcionamiento de una red de alcantarillado, es esencial cumplir con los requisitos mínimos establecidos por las Normas de Diseño de Redes de Alcantarillado de EPM. Los parámetros hidráulicos mínimos considerados para obtener un buen comportamiento hidráulico y autolimpieza en las redes son:

- Diámetros nominales mínimos: 200 mm para aguas residuales y 250 mm para aguas lluvias y combinadas.

- Velocidad mínima: 0.45 m/s para aguas residuales y 0.75 m/s para aguas lluvias y combinadas.
- Velocidad máxima: 10 m/s para tuberías plásticas y 5 m/s para otros materiales.
- Esfuerzo cortante mínimo: 1.5 N/m<sup>2</sup> para redes de alcantarillado residual y 3.0 N/m<sup>2</sup> para pluviales en el caudal de diseño.
- Evitar flujo crítico: Mantener números de Froude fuera del rango de 0.7 a 1.5 en condiciones de flujo uniforme.
- Pendientes superiores al 10%: Considerar el factor  $\text{Cos}^2\theta$  en el análisis de flujo gradualmente variado y no permanente.
- Profundidad hidráulica máxima: Varía entre el 70% y el 85% del diámetro real interno de la tubería diseñada.
- Profundidad mínima a la cota clave: 1.20 m, con opción de diseño de protección adicional si no se puede cumplir.
- Diseño económico: Optar por una combinación de materiales que cumplan con las restricciones hidráulicas para lograr eficiencia en costos.

Además, se debe considerar la integralidad del drenaje urbano, seleccionando la ubicación del punto de tratamiento de aguas residuales y las características requeridas para entregar aguas residuales y pluviales a su efluente final."

## 6. Metodología

- **Recopilación de datos existentes:** Al tomar toda la información disponible sobre el sistema de alcantarillado y estudios relacionados en Tunja, como planos, diseños anteriores, informes técnicos, registros de mantenimiento, datos hidrológicos, tesis universitarias y cualquier otro dato relevante.
- **Revisión de normativas:** se realiza una revisión de las normativas existentes en relación con el drenaje y las características hidráulicas de las estructuras de alcantarillado en otras ciudades o regiones similares.
- Con base en el análisis realizado y la revisión de normativas existentes, se formula una normativa técnica específica para el sistema de alcantarillado de Tunja.
- **Formulación de normativa:** debe incluir estándares de diseño, especificaciones de materiales, requisitos de construcción y mantenimiento, y cualquier otra directriz necesaria para garantizar el buen funcionamiento, la seguridad y la sostenibilidad del sistema de alcantarillado. Una vez formulada la normativa técnica, se debe validar y consultar con expertos en el campo, autoridades locales, profesionales de la ingeniería y otros actores relevantes.

### 6.1 Definir el alcance del proyecto

Se pretende que la investigación teórica sobre patrones de drenaje en Tunja desempeñe un papel fundamental en el establecimiento de normativas técnicas que guíen la planificación, diseño y gestión de sistemas de drenaje en áreas urbanas y rurales. Al profundizar en los factores que afectan la formación y evolución de estos patrones, esta investigación proporciona bases científicas y legales sólidas para definir criterios y directrices en la implementación eficiente y sostenible de infraestructuras hidráulicas.

A través del análisis teórico, se comprende cómo elementos como la topografía, geología y clima interactúan para influir en la configuración de sistemas fluviales y pluviales. Esto es crucial para determinar tamaños adecuados de canales, embalses, alcantarillado y estructuras de control de inundaciones. Además, esta investigación ayuda a prever cambios en los patrones de drenaje debido a fenómenos naturales o cambios en el uso del suelo, lo que informa la creación de

normativas adaptables como son las normativas de epm Medellín y acueducto agua y alcantarillado Bogotá y resilientes.

La aplicación de los resultados de esta investigación en la creación de normativas técnicas fomenta el uso eficiente de recursos, la reducción de riesgos y la preservación del entorno. Estas normativas abarcan desde criterios de diseño hidráulico hasta pautas de ubicación y mantenimiento de infraestructuras de drenaje. También establecen estándares para la captación y manejo de aguas pluviales, la prevención de inundaciones y la protección de ecosistemas acuáticos.

## **6.2 Identificar temas clave**

Los sistemas de drenaje en la ciudad de Tunja han demostrado ser ineficientes y vulnerables ante las crecientes demandas de un entorno urbano en constante desarrollo, en el encuentro internacional de educación en ingeniería del 2015 se abarcó el tema de “CAUSAS DE INUNDACIONES EN TUNJA Y PROPUESTAS DE SOLUCIÓN” donde se realizaron mediciones de áreas utilizando imágenes satelitales desde 1985 hasta 2015 para evaluar la deforestación y los cambios en el uso de la tierra, como la expansión agrícola y áreas sin vegetación. También se examinó el crecimiento urbano y se llevaron a cabo visitas de campo para comprender la construcción en áreas cercanas a ríos y humedales, la sedimentación y la cota batea de los ríos en la ciudad.

Los estudios topográficos y de hidrología ayudaron a identificar la huella de inundación y las causas subyacentes de los desbordamientos. La falta de planificación integral y la infraestructura obsoleta han contribuido a una incapacidad crónica para gestionar de manera efectiva el exceso de agua durante las precipitaciones intensas. Las tuberías de alcantarillado, canales y otros componentes de drenaje no han sido adecuadamente dimensionados ni mantenidos para hacer frente a las cargas hídricas actuales, lo que se traduce en un flujo insuficiente y en la obstrucción de las vías de desagüe. Este escenario de ineficiencia se agrava debido a la conversión acelerada de áreas verdes en urbanizaciones y la eliminación de vegetación natural que actúa como una esponja, exacerbando la escorrentía superficial y la acumulación de agua en zonas urbanas.

Los resultados de esta ineficiencia son perjudiciales para la comunidad y la infraestructura de Tunja. Durante episodios de lluvias intensas, las calles inundan viviendas, comercios y vías de comunicación. Las aguas estancadas causan deterioro en las estructuras y daños en las viviendas,

además de generar condiciones propicias para la proliferación de enfermedades transmitidas por el agua. Las áreas bajas y los sectores cercanos a los ríos sufren especialmente, experimentando inundaciones recurrentes que afectan la seguridad de los. La ineficiencia de los sistemas de drenaje no solo pone en riesgo la calidad de vida de los residentes, sino que también limita el potencial de desarrollo sostenible de la ciudad al desalentar inversiones y generar un entorno poco propicio para la prosperidad económica.

*Figura 1. Inundación de calles en Tunja*



*Nota.* Tomado de (Diario Boyacá, 2022)

*Figura 2 Talado de arboles*



*Nota.* Tomado de (Caracol Radio, 2018)

### **6.3 Búsqueda de tesis y documentos académicos**

La investigación se guio por las siguientes tesis, que proporcionaron un marco conceptual y metodológico para abordar los desafíos en los sistemas de drenaje de Tunja:

#### ***6.3.1 Modelación de Calidad de Agua del Drenaje Urbano, en Software SWMM, Sector Nororiental - Santa Inés – Tunja***

Esta tesis proporcionó un marco conceptual y metodológico para explorar cómo la calidad del agua afecta el drenaje urbano. Se utilizaron técnicas de modelado en el software SWMM para simular cómo los factores de calidad del agua, como la contaminación, influyen en la eficacia del sistema de drenaje. Este enfoque permitió analizar el impacto de la calidad del agua en la capacidad de drenaje y su contribución a inundaciones.

“se llevó a cabo un análisis del agua midiendo la concentración de contaminantes que se entrega a los colectores de la zona nororiental de Tunja, para hacer una comparación con el agua entrante a la Planta de Tratamiento de Aguas Residual, (PTAR), realizando la modelación en el programa SWMM, y así analizar el comportamiento que tiene la red troncal del alcantarillado de esta zona. Se busca observar el efecto de la precipitación sobre los contaminantes y si las condiciones con las que se encuentra la tubería producen algún efecto sobre la calidad del agua en la red de esta zona.” (Lara Mónica, 2020)

#### ***6.3.2 Importancia de los Sumideros, su Funcionamiento y Diseño en Redes de Alcantarillado, Caso de Estudio Sector Nororiental Tunja***

En esta tesis, se exploró en profundidad la función de los sumideros en las redes de alcantarillado y su diseño. Se consideró el caso específico del sector Nororiental de Tunja, examinando cómo los sumideros capturan y manejan el flujo de agua superficial. Este enfoque proporcionó información clave sobre la eficiencia y la ubicación estratégica de los sumideros en la gestión de aguas pluviales.

“..estudiar e investigar la importancia de los sumideros, su diseño y construcción en las redes de drenaje pluvial de los sistemas de alcantarillados existentes, en el sector nororiental de la

ciudad de Tunja, con el fin de dar una alternativa a los distintos problemas presentados esencialmente en épocas de lluvia, para evitar las inundaciones y la baja captación del agua de escorrentía e introducir por medio de un modelo digital, el cual nos permitirá seleccionar la mejor configuración y selección de estos.” (Abaunza Karla, Chaparro Ferney, 2020)

### ***6.3.3 Modelización Hidráulica de Drenaje Urbano, Aplicación Sector Nororiental Distrito Santa Inés Tunja-Boyacá***

La tercera tesis se centró en la modelización hidráulica del drenaje urbano en el mismo sector. Utilizando técnicas de modelado hidráulico, se analizó el comportamiento del sistema de drenaje durante eventos de lluvia intensa. Esto permitió entender cómo el flujo de agua se comporta en condiciones de inundación y proporcionó información crucial para la planificación y diseño de medidas de mitigación.

"...Históricamente en la ciudad de Tunja se ha presentado un fenómeno de ocupación de los cauces naturales de aguas lluvias, alterando la hidrología de las cuencas naturales, afectando directamente la capacidad de drenaje de las mismas. En la actualidad la ciudad presenta un considerable y acelerado desarrollo urbano hacia la zona Nororiental, presentándose reboses en el sistema de drenaje e inundaciones, afectando a la ciudadanía” (Amaya Wilson, 2019)

La investigación siguió estas tesis como guía principal, utilizando su base conceptual y metodológica para abordar los desafíos del drenaje urbano en el sector Nororiental de Tunja. Se realizaron análisis de calidad del agua, evaluaciones de sumideros y modelización hidráulica para comprender mejor los factores que contribuyen a las inundaciones y para proponer soluciones efectivas. La combinación de estos enfoques permitió un enfoque integral y multidimensional en la investigación, brindando una perspectiva completa sobre cómo mejorar la gestión del drenaje urbano en la zona específica de estudio.

## **6.4 Búsqueda de normativas**

La adaptación de normativas de una ciudad a otra como ejemplo es una práctica común en la planificación y el desarrollo sostenible. Cuando dos ciudades tienen características geográficas, climáticas o demográficas similares, puede ser óptimo estudiar cómo una ciudad ha abordado

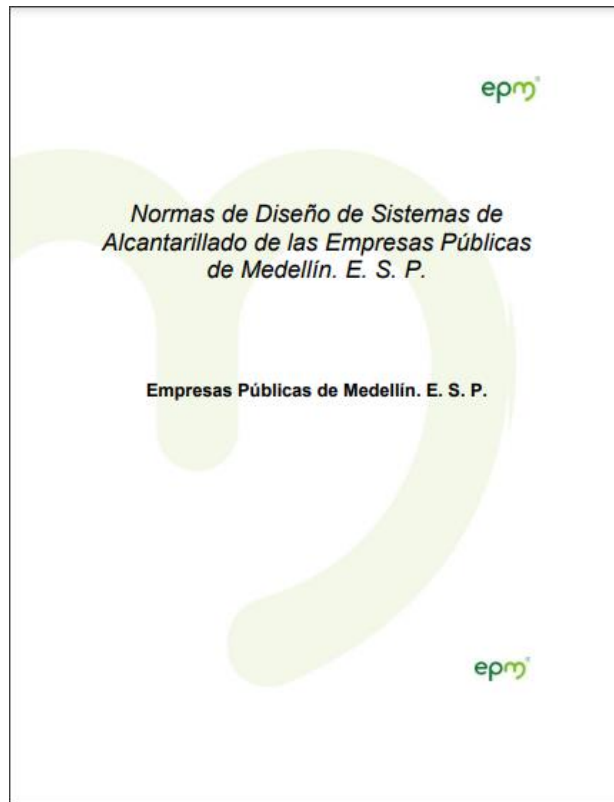
algunos desafíos urbanos y aplicar esos enfoques como referencia en otra ciudad, realizando la adaptación necesaria para tener en cuenta la diferencia local.

Si Tunja comparte similitudes geográficas con Medellín y Bogotá, podría referirse a aspectos como la topografía, el clima, la altitud, la vegetación y otros factores que influyen en la planificación urbana y el diseño de espacios públicos.

#### **6.4.1 EPM Medellín**

La presente norma de diseño de sistemas de redes de alcantarillado de EPM, es fijar los criterios básicos, los requisitos mínimos, los valores específicos y límites, las metodologías y las tecnologías que deben tenerse en cuenta en los diferentes procesos involucrados en la conceptualización y el diseño de sistemas de alcantarillado. Estos sistemas incluyen las redes de tuberías en alcantarillados separados (aguas residuales y aguas lluvias), las redes de tuberías en alcantarillados combinados, las estructuras complementarias, las estaciones elevadoras y de bombeo, y las redes de alcantarillado de agua lluvias y aguas residuales. Esto se hace con el fin de garantizar la seguridad, durabilidad, funcionalidad, calidad técnica, eficiencia de operación, sostenibilidad de los sistemas de alcantarillado y redundancia de éstos. El contenido específico de esta norma está basado en sus aspectos generales en el reglamento técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS, en su versión vigente, específicamente en sus títulos A “Aspectos Generales de los Sistemas de Agua Potable y Saneamiento Básico”, y D “Sistemas de Recolección y Evacuación de Aguas Residuales y Pluviales”.

*Figura 3 Norma de diseño de sistemas de alcantarillado de las Empresas Públicas de Medellín E.S.P*



*Nota.* Adaptado de (Empresas Públicas de Medellín E.S.P (EPM), 2013)

#### **6.4.2 Acueducto agua y alcantarillado de Bogotá**

La EAAB-ESP se compromete en el marco de Gestión del Conocimiento e Innovación (GCeI) a establecer estándares de referencia de obligatorio cumplimiento que corresponden a Normas y Especificaciones Técnicas definidas por consenso al interior de la empresa, para que su aplicación sea obligatoria y fundamento de las actividades relacionadas con el diseño, construcción, operación y mantenimiento de los servicios de acueducto y alcantarillado, permitiendo así su correcto funcionamiento, un adecuado control de cambios, una oportuna actualización tecnológica, la protección del medio ambiente, un mejor desempeño económico y el trabajo de todos los operarios y usuarios del sistema en condiciones seguras.

*Figura 4 Sistema de Información de Normalización Técnica*

*Nota.* Adaptado de (Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá. E.S.P (EAAB), 2024)

## 6.5 Filtrar la información

En cada normativa se muestra la norma que fue elegida para el diseño y construcción de sus respectivas áreas locales para afrontar cualquier percance ambiental o humano, sin embargo, entre estas dos se abarcan temas similares los cuales podemos aplicar en Tunja, estas normas con similitud son las seleccionadas cuidadosamente en el marco legal para lograr su aplicación, para esto se hizo el siguiente procedimiento:

- Recopilación de Normativas: Se obtuvieron las normativas vigentes de Medellín, así como la de Bogotá relacionadas con el diseño y construcción de áreas locales.
- Creación de una Base de Datos: Se creó un sistema de organización para almacenar y categorizar las normativas de ambas ciudades. Cada normativa fue desglosada en sus diferentes secciones y disposiciones.

- **Identificación de Temas Clave:** Se identificaron los temas clave o categorías en las que se enfocan las normativas, como seguridad ambiental, planificación urbana, infraestructura, entre otros.
- **Comparación de Disposiciones:** Se compararon las disposiciones de las normativas de Medellín y Bogotá en busca de similitudes en términos de contenido y enfoque. Se prestaría especial atención a aquellas secciones que abordan temas relevantes para la situación en Tunja.
- **Selección de Normas Similares:** Se seleccionaron aquellas normativas que mostraban una correspondencia significativa en cuanto a objetivos, enfoques y medidas. Estas normas similares podrían ser consideradas como posibles candidatas para su aplicación en Tunja.
- **Adaptación Contextual:** Las normas seleccionadas se adaptaron al contexto de Tunja, teniendo en cuenta las particularidades geográficas, demográficas, socioeconómicas y ambientales de la ciudad. Se podían realizar ajustes y modificaciones para asegurar su relevancia y efectividad en el nuevo entorno.

## 7. Resultados

### 7.1 Analizar y recopilar información sobre el sistema de alcantarillado existente teniendo así un panorama de inicio de trabajo

*Estructura Existente:* La infraestructura de alcantarillado envejecida enfrenta problemas significativos debido al deterioro de las tuberías, lo que resulta en obsolescencia y una capacidad insuficiente para satisfacer las demandas actuales.

*Problemas y Desafíos:* El crecimiento urbano acelerado supera la capacidad de la estructura existente, así como las resientes deforestación, provocando que el agua del exterior del casco urbano no pueda retenerse y se dirige a este, por consecuencia se dan inundaciones experimentando desbordamientos en la estructura existente durante lluvias intensas creando la necesidad de abordar y modernizar la infraestructura de alcantarillado para garantizar su eficiencia y sostenibilidad a largo plazo.

### 7.2 Evaluar la capacidad hidráulica de las estructuras de drenaje actual definiendo e identificando las principales problemáticas

*Infraestructura obsoleta & Falta de Mantenimiento:* La falta de información detallada sobre el mantenimiento de las redes de drenaje en Tunja desde 2021 muestra un desafío en la transparencia y comunicación en la gestión de infraestructura crítica. Este problema se atribuye a la ausencia de prácticas de divulgación proactivas y al acceso limitado a informes detallados, lo que dificulta que la comunidad y otras partes interesadas comprendan el estado actual de las redes de drenaje. La restricción de los recursos financieros y humanos también juega un papel crucial al limitar la capacidad de llevar a cabo inspecciones periódicas, mantenimiento y documentación detallada de estas actividades. La falta de personal calificado y de equipos especializados afecta la recolección y actualización sistemática de la información necesaria. En este contexto, es fundamental abogar por la modernización de las prácticas de gestión de la infraestructura urbana, promover la asignación adecuada de recursos para el mantenimiento y monitoreo de las redes de drenaje y fomentar la participación ciudadana.

*Crecimiento urbano no planificado:* La dinámica social, económica y urbana de la ciudad juegan un papel esencial en el progreso de la ciudad, actualmente la capital del departamento se encuentra en un estancamiento social producto de fenómenos como la ciudad dormitorio y el corredor industrial, dando como resultado que la ciudad no establezca una infraestructura hidráulica que pueda adaptarse a la intervención urbana en materia de sanidad actual y futura.

*Intervención no controlada del ecosistema & Eventos climáticos extremos:* Se han identificado construcciones a menos de tres metros del cauce de los ríos, lo que evidencia un descontrol en zonas inundables. La contaminación de los ríos y las altas temperaturas generan olores desagradables, proliferación de mosquitos y roedores, aumentando el riesgo de enfermedades infecciosas. Se destaca la urgente necesidad de intervención de las autoridades para evitar nuevas construcciones y canalizar los ríos, reduciendo así las posibilidades de inundaciones, la necesidad de sistemas de alerta temprana y medidas de largo plazo, como la construcción de estructuras de contención y reforestación de cuencas, para atender los 12 puntos críticos identificados en los ríos Jordán y La Vega.

### **7.3 Revisión de Fundamentos Teóricos para sustentar las posibles soluciones**

La información recopilada con el fin de tener una similitud territorial en este documento proviene exclusivamente de fuentes confiables, específicamente del Acueducto de Bogotá y Empresas Públicas de Medellín (EPM). Ambas entidades son reconocidas por su compromiso con la transparencia y la calidad de la información que brindan. La selección de estas fuentes se realizó con el objetivo de garantizar la precisión y veracidad de los datos recolectados, basado en las similitudes y diferencias en cuanto a su suelo y ecosistema. En términos generales, comparten características propias geográficas y climáticas del país.

En cuanto al suelo, las tres ciudades se ubican en la zona andina de Colombia, lo que implica la presencia de suelos de origen volcánico y una topografía montañosa, en términos de vegetación, la presencia de paramos y bosques andinos es común en las tres regiones, sin embargo, la intervención humana y la urbanización pueden afectar significativamente la biodiversidad local.

## **7.4 Propuesta de Normativa Técnica teniendo en cuenta la aplicación de SUDS y eficiencia hidráulica**

### **7.4.1 Cunetas y canaletas de drenaje superficial**

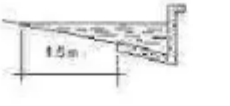


Las cunetas longitudinales deben proyectarse para satisfacer una o varias de las finalidades siguientes:

- Recoger las aguas de escorrentía procedentes de calzadas, de taludes de corte y de laderas adyacentes.
- Recoger las aguas infiltradas en base, subbase y terrenos adyacentes.
- Controlar el nivel freático.

La velocidad de circulación del agua debe limitarse para evitar erosión, sin reducir tanto que pueda dar origen a depósitos de sedimento recomendando una velocidad mínima de 0.35m/s. Las cunetas deben presentar alineamientos y pendientes uniformes, sin que se presenten quiebres que den mal aspecto o causen empozamientos, la longitud de las cunetas no debe exceder de 80 m, si sobrepasa esta longitud, debe construirse una obra de alivio, que conduzca el caudal aguas abajo, las cunetas deben ser impermeables, a fin de evitar filtraciones. y resistentes a la erosión causada por el agua corriente, para garantizar un adecuado funcionamiento, las cunetas deben tener una pendiente mínima del 0.3%. Cuando se considere necesario, los espaldares de las cunetas deben proveerse de orificios de diámetro 13 mm (1/2\*), espaciados cada metro, para facilitar el drenaje de los taludes.

El cálculo hidráulico de las cunetas debe realizarse según los requisitos establecidos en la norma "NS-085 Criterios de diseño de sistemas de alcantarillado", donde se expresan el cálculo de escorrentía, o sea, caudales a eliminar y la determinación de la capacidad hidráulica de la cuneta, con el fin de definir sus dimensiones, los límites tolerables de inundación de cunetas en vías urbanas se indican en la siguiente figura:

Figura 5 Tabla de límites permisibles de cunetas en vías urbanas.

CARACTERÍSTICAS DEL DRENAJE	LÍMITE PERMISIBLE DE LA ZONA INUNDABLE	FRECUENCIA DE LA LLUVIA DE DISEÑO. (años)			
		VÍAS RAPIDAS	AVENIDAS	CALLES	
Sardineles, cunetas.		Un metro y medio del ancho de la calzada	15	10	10
Sumideros ubicados en puntos bajos y depresiones.		Un metro y medio del ancho de la calzada	50	25	15
Sumideros de rejilla vertical en isleta central.		Un metro del ancho de la calzada	15	10	—

*Nota.* El drenaje superficial de las vías en zonas urbanas debe ser coordinado con las autoridades competentes de la zona local, Normas de Diseño de Sistemas de Alcantarillado de las Empresas Públicas de Medellín. E. S. P. (2019).

Para los sumideros de rejillas en cunetas urbanas se establece una abertura con rejilla colocada sobre el piso de la cuneta. Su capacidad de captación es óptima cuando las barras de las rejillas son dispuestas de manera paralela a las líneas de flujo. Sin embargo, cuando la separación entre estas sea mayor a 2.5cm se debe colocar de manera oblicua con el objetivo de evitar riesgos a los ciclistas, en todos los casos, el sumidero debe quedar ubicado en la zona que esta entre el bordillo de la vía y la acera, y entre 2cm a 3 cm por debajo de la rasante de la vía, donde su capacidad de captación es mayor.

#### 7.4.2 Geotextiles, geos compuestos de drenaje, geomembranas y geomallas

Si bien el diseño en las obras hidráulicas este sujeto a él la especificación de quien ejecuta la obra, se requiere:

*Selección de geotextil:* se debe seleccionar un geotextil apropiado en función de las condiciones del sitio y los requisitos específicos del trabajo de drenaje. La selección debe considerar las propiedades de filtración, resistencia mecánica y durabilidad.

*Ubicación y aplicación:* Los geotextiles deben colocarse de acuerdo con las especificaciones de diseño y las recomendaciones del fabricante. Deben aplicarse en zonas críticas para garantizar la eficacia en la prevención de la erosión, la filtración de sedimentos y el refuerzo del suelo.

*Control de Calidad:* Se establecerán procedimientos para el control de calidad durante la instalación de geotextiles, incluyendo inspecciones visuales, pruebas de resistencia y cualquier otro criterio relevante.

Para el diseño de estas mismas se hace recomendación en los siguientes ítems:

*Filtración:* Se debe asegurar que los geotextiles seleccionados proporcionen la capacidad de filtración adecuada para evitar la obstrucción del sistema de drenaje.

*Separación:* Se deben utilizar geotextiles para evitar la mezcla de diferentes capas y materiales del suelo, asegurando una separación adecuada y la integridad del sistema.

*Refuerzo:* En áreas que requieran refuerzo del suelo, se deben especificar geotextiles con propiedades de resistencia mecánica adecuadas para mejorar la estabilidad.

*Canalización de agua:* Cuando sea necesario, se deben utilizar geotextiles para dirigir y canalizar el flujo de agua de manera controlada para evitar la erosión y la formación de canales no deseados.

#### **7.4.3 Criterios para diseño y construcción de sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS)**

La aprobación de la construcción de las tipologías de SUDS es la siguiente:

*Estudio topográfico y geotécnico de la zona a intervenir:* Para la ejecución de los trabajos topográficos y geotécnicos se seguirán los procedimientos detallados en la normativa de referencia, Se presentará un informe detallado que incluye los resultados de los estudios, descripción de la topografía, características del suelo y cualquier otro aspecto relevante para la implementación del SUDS. los requisitos y procedimientos para la realización de estudios topográficos y geotécnicos en proyectos que involucren Sistemas de Drenaje Urbano Sostenible (SUDS). Esta norma se complementa de las normas. “NS-030 Guía para trabajos topográficos” , “NS-010 Requisitos para

la elaboración y presentación de estudios geotécnicos” y “NS-166 Criterios para diseño y construcción de sistemas urbanos de drena sostenible(SUDS)”

Condiciones específicas para estudios geotécnicos en SUDS:

El número mínimo de sondeos o exploraciones de campo de determinar siguiendo las siguientes especificaciones

- a. Una (1) encuesta o examen por cada tipo de SUDS que conforma el tren de tratamiento.
- b. Si se construye una única tipología, el número de tipologías de tren es igual a 1.
- c. El número de sondas se calculará aproximando al número entero superior la división entre la dimensión más larga del tren SUDS a implementar (en metros) y 50 m.
- d. A los efectos de este cálculo se considera tipología aquella parte del SUDS que tiene un tratamiento hidráulico diferenciado.

Tal que para un tren SUDS con cinco pozos en serie: el número mínimo de sondeos es 1, para un tren SUDS con fosa de infiltración, zona de biorretención y tanque de almacenamiento: el número mínimo de sondas es 3, ya que existen 3 tipologías diferentes a implementar, para un tren SUDS con tres fosos en serie y un tanque de almacenamiento, con una dimensión más larga del tren de 170 m: el número mínimo de sondeos es 4 y para una cuenca de drenaje seca extendida con una dimensión superior a 90 m: el número mínimo de perforaciones es 2.

Plano del área a intervenir en donde se identifiquen tuberías de alcantarillado pluvial y sanitario, sumideros, hidrantes, conexiones erradas (si aplica). Se debe evaluar la capacidad remanente del sistema de alcantarillado existente, de tal forma que la conexión de la tipología de SUDS al dicho sistema cumpla con los requerimientos de conexión al sistema de alcantarillado convencional, se debe entregar un esquema y/o manual de operación y mantenimiento para la tipología o tren de SUDS y estructuras anexas diseñadas.

En el caso de proyectos que permitan construir prácticas de infiltración dentro de la tipología o tren de Sistemas de Drenaje Urbano Sostenible (SUDS), se deberá aportar un informe que presente los resultados de al menos tres pruebas de infiltración realizadas en la superficie de las tipologías previstas. En proyectos con una superficie superior a 1000 m<sup>2</sup> se realizará una prueba adicional por cada 250 m<sup>2</sup> de superficie a intervenir. Se incluirá un plano georreferenciado que especifique la ubicación y tipo de prueba realizada en la zona a intervenir, cuando la tipología requiera cobertura vegetal, se presentará un informe que justifique la elección del tipo de vegetación a utilizar.

Finalmente, como consideración importante debe anotarse que, de acuerdo con el "Decreto 1076 de 2015", es obligación de los usuarios para los cuales se requiera la prestación de servicio comercial, industrial, oficial y/o especial por parte del prestador del servicio de alcantarillado, que se realice la caracterización de los vertimientos realizados, en términos de cantidad y calidad, según lo indicado en la norma de la Empresa de Acueducto

Para los sumideros de ventana y mixto se recomienda que:

*Sumidero de ventana:* Abertura a manera de ventana colocada sobre la cara vertical del bordillo de la vía, que puede estar colocada sobre los bordillos de los andenes. Debido a la localización de este sumidero, también conocido como de captación lateral, es posible colocar la ventana con una ligera depresión, con el objetivo de aumentar la captación mediante la acumulación del agua en esta zona de depresión. Localizado de manera lateral, no interfiere ni se ve afectado por el tránsito de vehículos. La posibilidad de taponamiento puede ser disminuida con la utilización de rejillas en la ventana.

Nota: su capacidad de captación se ve afectada cuando están localizados en vías con pendientes longitudinales muy pronunciadas, por lo general mayores que el 3%. Su longitud mínima es de 1.5 m y la depresión debe tener un ancho entre 0.3 y 0.6 metros con una pendiente hasta del 8%.

*Sumidero mixto (Sumidero de ventana & Sumidero de rejillas en cunetas):* En este tipo de sumideros se recomienda que estén ubicados en aquellos lugares en donde, por cuestiones de tráfico, es preferible utilizar uno de ventana, pero cuya eficiencia, debido a la pendiente de la vía, sería menor que el 70%.

#### ***7.4.4 Aspectos técnicos para diseño y construcción de redes de alcantarillado***

### CAPITULO 4 -10 EPM

### ANEXO C NS-166

Los documentos aquí relacionados han sido utilizados para la elaboración de esta norma y servirán de referencia y recomendación; por lo tanto, no serán obligatorios, salvo en casos donde expresamente sean mencionados.

## 8. Análisis de resultados

Al recopilar las respectivas normativas en una base de datos alimentadas por las normas de EPM Medellín y Acueducto de Bogotá las cuales permitieron una fácil organización, búsqueda y actualización se pudo apreciar que en el contexto de Tunja la implementación de obras de drenaje, incluyendo sumideros y aliviaderos conectados al sistema SUDS (Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible), emerge como la solución más viable y eficaz. Estas estructuras permiten la gestión sostenible de las aguas pluviales al incorporar prácticas de infiltración y retención, reduciendo el riesgo de inundaciones y mitigando los impactos ambientales. Al combinar técnicas naturales con la infraestructura urbana, se logra un sistema resiliente que optimiza la gestión del agua en Tunja, fomentando la sostenibilidad y la adaptación al cambio climático, para esto podemos ver puntos clave.

Optimizando la Eficiencia y la Sostenibilidad del diseño y construcción de sistemas de drenaje, son elementos cruciales en la gestión eficaz de las aguas pluviales y residuales en entornos urbanos. Estos sistemas no sólo garantizan la evacuación segura de aguas pluviales y residuales, sino que también desempeñan un papel fundamental en la preservación del medio ambiente natural y la calidad del agua. En este contexto, se exploran diferentes aspectos clave, que van desde el diseño hidráulico hasta las normas de construcción, con el objetivo de garantizar sistemas de drenaje eficientes y sostenibles.

Para diseñar adecuadamente zanjas y canales, es fundamental realizar cálculos hidráulicos detallados que consideren la sección transversal, la pendiente longitudinal y los puntos de drenaje. Estos cálculos permiten dimensionar las estructuras con precisión, asegurando un flujo de agua eficiente. Sin embargo, es necesario mantener un delicado equilibrio limitando la velocidad de circulación del agua para evitar la erosión, sin reducirla demasiado, lo que podría provocar depósitos de sedimentos. La velocidad mínima recomendada de 0,35 m/s se convierte en un parámetro crítico.

En este proceso de diseño, la norma “NS-085 Criterios de diseño de sistemas de alcantarillado” actúa como guía fundamental, estableciendo las normas y requisitos necesarios para garantizar la funcionalidad y seguridad de alcantarillados y canalones. Además de los aspectos hidráulicos, los aspectos regulatorios de la construcción, como la preparación del sitio y

la selección de materiales, desempeñan un papel igualmente importante en la creación de una infraestructura duradera y resiliente.

La gestión sostenible de las aguas pluviales en entornos urbanos se ha convertido en una prioridad cada vez mayor. Los sistemas de drenaje urbano sostenible (SUDS) son la respuesta a este desafío, centrándose en reducir los volúmenes de escorrentía y mejorar la calidad de las aguas pluviales. Las tipologías SUDS, que incluyen fosos inundables, tanques de almacenamiento y pavimentos permeables, se presentan como soluciones efectivas para lograr estos objetivos. Sin embargo, la implementación de SUDS no sólo requiere una planificación cuidadosa, sino también el cumplimiento de los objetivos establecidos por las entidades locales del agua. Cualquier desviación de las directrices de diseño debe estar respaldada por justificaciones técnicas sólidas.

Los pozos de registro juegan un papel vital en la gestión de los sistemas de alcantarillado. Su construcción debe cumplir condiciones específicas, incluida la altura máxima y el diámetro de las tuberías conectadas. La estructura de un pozo, que comprende la placa inferior, el cuerpo del pozo, el cono reductor y la tapa de acceso, debe diseñarse con precisión para garantizar su funcionalidad y durabilidad. Además, los subdrenajes, que incluyen subdrenajes y geodrenajes, son componentes esenciales en el manejo de la depresión en los sistemas de alcantarillado. El cumplimiento de las normas de seguridad industrial es imperativo durante la construcción.

La planificación hidráulica de una red de alcantarillado debe cumplir unos requisitos mínimos para garantizar un rendimiento óptimo. Parámetros como los diámetros nominales, las velocidades mínima y máxima, el esfuerzo cortante y la profundidad son esenciales para un funcionamiento eficaz. Se debe evitar el flujo crítico y la selección de materiales debe cumplir con las restricciones hidráulicas para lograr rentabilidad. Además, la integralidad del drenaje urbano y la ubicación adecuada del punto de tratamiento de aguas residuales son consideraciones esenciales para una gestión eficiente y sostenible del agua en entornos urbanos. En resumen, el diseño y la construcción de sistemas de drenaje son procesos interdisciplinarios altamente regulados que requieren una atención meticulosa a los detalles. Al apearnos a estándares técnicos y considerar aspectos hidráulicos, constructivos y ambientales, podemos asegurar sistemas de drenaje eficientes y sustentables que promuevan la seguridad y calidad del agua en nuestras ciudades.

En el diseño de cunetas y canales para el manejo de aguas pluviales, se prioriza considerar diversos factores que por mínimo que sean pueden ser claves. Esto incluye cálculos hidráulicos que integren la sección transversal, la pendiente longitudinal, los puntos de drenaje y el posible

uso de utilizar revestimientos, en casos necesarios. La limitación de la velocidad del agua para prevenir erosión y sedimentación es vital, una velocidad mínima de 0.35 m/s es recomendada para este fin. El proceso de cálculo hidráulico debe adherirse a los requisitos definidos en la norma "NS-085 Criterios de diseño de sistemas de alcantarillado". los aspectos normativos y constructivos como la preparación del terreno, las juntas de dilatación y las opciones de cunetas y canaletas, ya sea de concreto fundido en sitio o prefabricado, son fundamentales para garantizar una gestión y manejo adecuado de las aguas pluviales con su integración en el entorno urbano; en términos de diseño de canales para aguas pluviales, la elección entre canales abiertos o cerrados debe mantener el flujo en superficie libre y basarse en ecuaciones hidráulicas apropiadas. Sin embargo, se limita su uso para aguas residuales. La planificación de los canales debe estar alineada en proyección con los planes de ordenamiento territorial y regulaciones municipales, considerando las áreas verdes y dimensiones de la sección transversal. La preservación de la infiltración natural en el drenaje urbano es esencial para evitar el aumento del caudal y contaminantes en aguas abajo. Este enfoque garantiza un manejo eficiente y sostenible de las aguas pluviales, integrando aspectos técnicos, normativos y urbanísticos en la planificación y construcción de las siguientes obras:

- Vías, cunetas y pavimentos.

- Sumideros, cárcamos y redes de alcantarillado de aguas lluvias.
- Almacenamientos temporales.
- Canalizaciones y coberturas.

En el cumplimiento y aplicación de los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) donde se enfoca en dos objetivos primordiales como: la reducción de volúmenes de escorrentía que terminan en cuerpos de agua adyacentes y sistemas de drenaje pluviales, disminuyendo los riesgos de inundación presentes actualmente, junto a la mejora de la calidad del agua pluvial durante su captación y retención a través de métodos de conducción e infiltración. Estos sistemas no solo cumplen con funciones hidráulicas, sino que simultáneamente contribuyen ingenieril y arquitectónicamente a embellecer áreas urbanas, promoviendo la sustentabilidad y reutilización del agua pluvial, y mejorar el paisajismo urbano llegando a ser representativo en la zona. Los SUDS, como alcorques inundables, tanques de almacenamiento, celdas de bio-retención y pavimentos permeables, pueden ser considerados viables en la ciudad de Tunja tomando como ejemplo a su vecino Bogotá el cual cuenta con clima y topografía similar, siempre y cuando que se respeten los lineamientos definidos por la norma técnica y se justifiquen técnicamente otras

tipologías. Estos sistemas reducen significativamente la escorrentía y el desbordamiento, lo que disminuye el riesgo de inundaciones, mejora el entorno urbano y puede ser más costo-efectivo que la expansión de sistemas de alcantarillado y canales tradicionales. Al final, los SUDS ofrecen una solución sostenible para el manejo de aguas pluviales en áreas urbanas, acorde con los objetivos hidráulicos, ambientales y económicos.

Para la ejecución de estas obras de drenaje tanto la normativa de Medellín como la de Bogotá hacen énfasis en un diseño adecuado de posos o cajas de inspecciones donde se aconseja que la norma aplicable a pozos de inspección se ajuste a parámetros específicos como la construcción de cámaras en concreto reforzado para conexiones de tuberías de diámetros mayores o iguales a 0.9 metros y una altura de pozos superiores a 7 metros, según estándares establecidos. Los pozos se construirán en varios casos tales como; al inicio de un tramo vial, cada 80 m -120 m, cambios de dirección o altura, pendientes, intersección de tuberías de alcantarillado, diámetros o material, y en conexiones domiciliarias, siguiendo normas definidas ya establecidas en el municipio. Se estructura en partes específicas donde la caja cumple con su diseño en totalidad como: placa de fondo, cilindro, cono de reducción, cubierta y acceso, cumpliendo con cargas de diseño establecidas, en algunos casos específicos, se crean estructuras adaptadas a tuberías grandes con acceso seguro garantizando el suficiente espacio de mantenimiento. Se recomienda cajas de inspección en espacios limitados, y se limita el número de tuberías conectadas en una cámara a cuatro evitando posibles sobrecargas a las cajas, con un ángulo mínimo de 90° entre la tubería de entrada y salida.

Al final algunos de los aspectos técnicos para diseño y construcción de subdrenajes que aportan las ciudades de Bogotá y Medellín por separado a Tunja donde la realización de los trabajos de construcción de subdrenajes debe cumplirse los requisitos de las normas del ACUEDUCTO DE BOGOTÁ, "NS-107 requisitos mínimos de higiene y seguridad industrial para el manejo de equipos empleados en labores de construcción de sistemas de acueducto y alcantarillado" y "NS-038 Manual de manejo del impacto urbano" como principales ejemplos en la adaptabilidad de las obras en el entorno urbano, junto a la planificación hidráulica en el funcionamiento de una red de alcantarillado esencial para cumplir con los requisitos mínimos establecidos por las Normas de Diseño de Redes de Alcantarillado de EPM. Los parámetros hidráulicos mínimos considerados para obtener un buen comportamiento hidráulico y autolimpieza en las redes son:

- Diámetros nominales mínimos: 200 mm para aguas residuales y 250 mm para aguas lluvias y combinadas.

- Velocidad mínima: 0.45 m/s para aguas residuales y 0.75 m/s para aguas lluvias y combinadas.

- Velocidad máxima: 10 m/s para tuberías plásticas y 5 m/s para otros materiales.

- Esfuerzo cortante mínimo: 1.5 N/m<sup>2</sup> para redes de alcantarillado residual y 3.0 N/m<sup>2</sup> para pluviales en el caudal de diseño.

- Evitar flujo crítico: Mantener números de Froude fuera del rango de 0.7 a 1.5 en condiciones de flujo uniforme.

- Pendientes superiores al 10%: Considerar el factor  $\text{Cos}^2\theta$  en el análisis de flujo gradualmente variado y no permanente.

- Profundidad hidráulica máxima: Varía entre el 70% y el 85% del diámetro real interno de la tubería diseñada.

- Profundidad mínima a la cota clave: 1.20 m, con opción de diseño de protección adicional si no se puede cumplir.

- Diseño económico: Optar por una combinación de materiales que cumplan con las restricciones hidráulicas para lograr eficiencia en costos.

Además, se debe considerar la integralidad del drenaje urbano, seleccionando la ubicación del punto de tratamiento de aguas residuales y las características requeridas para entregar aguas residuales y pluviales a su efluente final.

## Conclusiones

En conclusión, la adaptación de la normativa urbana de Bogotá y Medellín en función de su similitud en condiciones climatológicas y geográficas puede generar una serie de ventajas significativas. Estas dos ciudades colombianas comparten características topográficas y climáticas que las hacen únicas en términos de desarrollo urbano sostenible. Al ajustar las regulaciones de construcción, el suelo y planificación urbana para reflejar estas condiciones locales, se puede lograr un equilibrio más armonioso entre el entorno natural y el crecimiento urbano.

En primer lugar, al adaptar la normativa a las condiciones climáticas, como la altitud y la variabilidad en las precipitaciones, se puede mejorar la eficiencia energética de los edificios y las infraestructuras de la zona. La orientación solar y la implementación de sistemas de captación de agua de lluvia pueden maximizar el uso de recursos naturales, reduciendo los costos operativos y disminuyendo el impacto ambiental. Además, la consideración de riesgos específicos, como deslizamientos de tierra en zonas montañosas e inundaciones, puede mejorar la seguridad de las construcciones y la infraestructura urbana.

En segundo lugar, la adaptación de la normativa puede fomentar la conservación de áreas verdes y espacios públicos, teniendo en cuenta la topografía y las necesidades de drenaje de la ciudad de Tunja. La promoción de obras de drenaje y áreas de recolección y reutilización de aguas pluviales en lugares estratégicos puede no solo mejorar la calidad de vida de los ciudadanos, sino también contribuir a la regulación del clima local y la mitigación de los efectos del calentamiento global.

Por último, la adaptación normativa puede catalizar la innovación y el desarrollo económico en sectores relacionados con la sostenibilidad ambiental. La implementación de regulaciones que fomenten la construcción sostenible, la movilidad verde y la gestión eficiente de recursos puede estimular la creación de empleos y la inversión en tecnologías limpias, potenciando así la economía local y atrayendo inversiones con enfoque en el desarrollo sostenible. En resumen, la adaptación de la normativa en función de las condiciones climatológicas y geográficas similares de Bogotá y Medellín representa una oportunidad valiosa para moldear el futuro urbano de manera coherente en Tunja con su entorno natural y las necesidades de sus habitantes.

### Referencias bibliográficas

- Abaunza Tabares, K. V., & Chaparro Andrade, F. G. (2021). Importancia de los sumideros, su funcionamiento y diseño en redes de alcantarillado caso de estudio sector Nororiental Tunja. [*Tesis de Maestría, Universidad Santo Tomás*]. *Repositorio Institucional*. Obtenido de <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/33896>
- Amaya Tequia, W. E. (2019). Modelización hidráulica de drenaje urbano. aplicación sector nororiental distrito Santa Inés Tunja-Boyacá. [*Tesis de Maestría; Universidad Santo Tomás*]. *Repositorio Institucional*. Obtenido de <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/22086>
- Caracol Radio. (16 de febrero de 2018). Tres capturados por tala de 320 hectáreas de bosque en el Valle. Obtenido de [https://caracol.com.co/emisora/2018/02/16/cali/1518803830\\_033692.html](https://caracol.com.co/emisora/2018/02/16/cali/1518803830_033692.html)
- Diario Boyacá. (7 de junio de 2022). Estos fueron los sectores de Tunja afectados por el aguacero de hoy. Obtenido de <https://periodicoeldiario.com/estos-fueron-los-sectores-de-tunja-afectados-por-el-aguacero-de-hoy/>
- Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá. E.S.P (EAAB). (2024). *Gestión de Normas y Especificaciones Técnicas*. Obtenido de [acueducto.com.co: https://www.acueducto.com.co/wps/portal/EAB2/Home/acueducto-y-alcantarillado/normalizacion-tecnica/gestion-de-normas-y-especificaciones-tecnicas](https://www.acueducto.com.co/wps/portal/EAB2/Home/acueducto-y-alcantarillado/normalizacion-tecnica/gestion-de-normas-y-especificaciones-tecnicas)
- Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá. E.S.P (EAAB). (2023). Desarrollo del Conocimiento - Proceso Gestión del Conocimiento e Innovación. Normalización Técnica. Dirección de Ingeniería Especializada. Gerencia de Tecnología.
- Empresas Públicas de Medellín E.S.P (EPM). (2013). *Norma de diseño de sistemas de alcantarillado de las Empresas Públicas de Medellín E.S.P*. EPM. Obtenido de [https://cu.epm.com.co/Portals/proveedores\\_y\\_contratistas/proveedores-y-contratistas/normas-tecnicas/documentos/normas-diseno-alcantarillado.pdf](https://cu.epm.com.co/Portals/proveedores_y_contratistas/proveedores-y-contratistas/normas-tecnicas/documentos/normas-diseno-alcantarillado.pdf)
- Lara Perez, M. Y. (2020). Modelación de calidad de agua del drenaje urbano, en software SWMM, sector nororiental Santa Inés-Tunja. [*Tesis de Maestría, Universidad Santo Tomás*]. *Repositorio Institucional*. Obtenido de <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/30481>

Plata, E. (2004). “Protección y recuperación de nacimientos y márgenes hídricas o rondas en la estructura ecológica principal de una cuenca”, Revista Ciencia Tecnología Ambiente. 3. Universidad Santo Tomás.