

**PROPUESTA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS URBANOS DE DRENAJE
SOSTENIBLE (SUDS) Y ADECUACIÓN EN LA RED DE DRENAJE PLUVIAL CERCANA AL
COLEGIO FEDERICO GARCÍA LORCA SEDE B EN EL BARRIO YOMASA SEGUNDO
SECTOR EN LA LOCALIDAD DE USME**

Camila Rodríguez Murillo

Yeison Antonio Molano Ríos



UNIVERSIDAD
La Gran Colombia

Vigilada MINEDUCACIÓN

Ingeniería Civil, Facultad de Ingenierías

Universidad La Gran Colombia

Ciudad

2024

**Propuesta para la implementación de sistemas urbanos de drenaje
Sostenible (SUDS) y adecuación en la red de drenaje pluvial cercana al
Colegio Federico García Lorca Sede B en el barrio Yomasa Segundo
Sector en la localidad de Usme**

Camila Rodríguez Murillo

Yeison Antonio Molano Ríos

Trabajo de Grado presentado como requisito para optar al título de Ingeniero Civil

Director Luis Efrén Ayala Rojas



Ingeniería Civil, Facultad de Ingenierías

Universidad La Gran Colombia

Ciudad

2024

Tabla de contenido

RESUMEN	10
ABSTRACT	12
INTRODUCCIÓN	14
OBJETIVOS	16
OBJETIVO GENERAL	16
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	16
PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	17
PREGUNTA PROBLEMA	18
JUSTIFICACIÓN	19
ANTECEDENTES.....	21
1. CAPÍTULO 1: MARCO CONCEPTUAL	25
1.1. SISTEMA CONVENCIONAL DE DRENAJE	25
1.2. SISTEMA DE DRENAJE SOSTENIBLE (SUDS)	28
1.2.1 MEDIDAS NO ESTRUCTURALES	29
1.2.2 MEDIDAS ESTRUCTURALES	29
1.3 TIPOS DE SUDS	30
1.3.1 DRENAJES FILTRANTES	30
1.3.1.1 VENTAJAS Y DESVENTAJAS.	32
1.3.2 ALCORQUES INUNDABLES	32
1.3.2.1 VENTAJAS Y DESVENTAJAS.	34
1.3.3 CUNETAS VERDES	34
1.3.3.1 VENTAJAS Y DESVENTAJAS.	36
1.3.4 ZONAS DE BIORRETENCIÓN	36
1.3.4.1 VENTAJAS Y DESVENTAJAS.	38
1.4. SISTEMA DE ALCANTARILLADO	38

PROPUESTA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS URBANOS DE DRENAJE SOSTENIBLE (SUDS)	4
1.4.1. ESTRUCTURAS DEL ALCANTARILLADO PLUVIAL	40
1.4.3 SUMIDERO	41
1.4.4 TUBERÍAS	45
1.4.5 CABEZAL DE DESCARGA	45
1.4.6 CUNETAS Y CANALES ABIERTOS	46
1.4.7 ALCANTARILLADO EN BOGOTÁ	47
1.5 RELACIÓN DE SUDS EN EL ALCANTARILLADO Y SU IMPORTANCIA	51
2. CAPÍTULO 2: ASPECTOS METODOLÓGICOS	51
2.1 INSPECCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO	51
2.1.1 DELIMITACIÓN GEOGRÁFICA	52
2.1.2 DESCRIPCIÓN DE MOVILIDAD	53
2.1.3 HIDROLOGÍA Y SUELO	54
2.2 REVISIÓN DEL ESTUDIO HIDROLÓGICO	56
2.2.1 RECOPIACIÓN DE DATOS	60
2.2.2 ANÁLISIS DEL ALCANTARILLADO PLUVIAL EXISTENTE	60
2.3 CÁLCULOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO PLUVIAL EXISTENTE	63
2.3.1 COEFICIENTE DE RETARDO	63
2.3.2 COEFICIENTE DE RETORNO	63
2.3.3 TIEMPO DE CONCENTRACIÓN – ENTRADA	64
2.3.4 TIEMPO DE CONCENTRACIÓN – RECORRIDO	65
2.3.5 COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA	65
2.3.6. INTENSIDAD DE PRECIPITACIÓN	66
2.3.7 CAUDAL DE DISEÑO	67
2.3.7 PENDIENTE	68
2.3.8. DIÁMETRO A TUBO LLENO	68
2.3.9 CAUDAL A TUBO LLENO	70

2.3.10. RELACIONES HIDRÁULICAS	70
2.3.11 VELOCIDAD A TUBO LLENO – VO	72
2.3.12. PROFUNDIDAD DE LA LÁMINA DE AGUA – D.....	72
2.3.13 RADIO HIDRÁULICO – R	73
2.3.14 PROFUNDIDAD HIDRÁULICA – H	73
2.3.15 FUERZA TRACTIVA - T	73
2.3.16. ENERGÍA ESPECÍFICA – E	74
2.3.17. NÚMERO DE FROUDE – NF	74
2.3.18. CÁLCULO DE COTAS	75
3.3.19. PROFUNDIDAD DEL TRAMO	76
2.3.20. EMPATES POR ENERGÍA	76
2.4. RECOPIACIÓN DE DATOS	77
3. CAPÍTULO 3: DESARROLLO DE LA PROPUESTA.....	84
3.1. PRIMERA PARTE DE LA PROPUESTA	84
3.1.1. DATOS CALCULADOS	85
3.1.2. MEJORA DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO PLUVIAL EXISTENTE	86
3.2. SEGUNDA PARTE DE LA PROPUESTA	90
3.2.1. MANEJO DE LA ESCORRENTÍA AL INTERNO DEL COLEGIO.....	91
3.2.1.1. ZONAS DURAS.....	93
3.2.1.2. ZONAS VERDES.....	95
4. CONCLUSIONES	98
5. RECOMENDACIONES	102
6. REFERENCIAS.....	103
7. ANEXOS.....	109

Lista de Figuras

Figura 1 Representación Gráfica de Sistemas de Drenaje Convencionales.....	26
Figura 2 Representación Gráfica de Sistema de Alcantarillado Independiente	27
Figura 3 Aplicación Práctica de Drenes Filtrantes.....	31
Figura 4 Representación de Alcorques Inundables.....	33
Figura 5 Ejemplo de Cunetas Verdes	35
Figura 6 Representación de zonas de Bioretención.....	37
Figura 7 Cámara de Caída Típica de American Society of Civil Engineers (1970)	40
Figura 8 Representación Gráfica de la Localización de Sumidero de Tipo Lateral	42
Figura 9 Representación Gráfica de la localización de Sumidero de Tipo Rejilla	43
Figura 10 Representación Gráfica de la Localización de Sumidero de Tipo Mixto	43
Figura 11 Fotografía de Localización y Posición de un Sumidero Transversal en una vía Vehicular	44
Figura 12 Representación de Alcorques Inundables.....	45
Figura 13 Fotografía de Vertedero de Aguas Lluvias en Mosquera.....	46
Figura 14 Cuneta Va-75 Implementada con Máquina Power Border Rh-400 en Trueba, Cantabria	47
Figura 15 Mapa de Bogotá con las Conexiones Erradas	48
Figura 16 Seguimiento de Conexiones Corregidas 2020-2023	49
Figura 17 Seguimiento de Conexiones Corregidas 2020-2023	49
Figura 18 Seguimiento de Conexiones Verificadas 2020-2023.....	50
Figura 19 Localización del Colegio Federico Lorca Sede B en Isometría.....	52
Figura 20 Estado del Pavimento Rígido en la Calle 81S Frente al Colegio en la Parada del SITP.....	53
Figura 21 Localización de la Zona de Estudio desde el Geo portal del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IG)	55

Figura 22 Localización General del Colegio, con la Identificación de las Fuentes Hídricas Naturales del Sector.	56
Figura 23 Precipitación de la Ciudad de Bogotá por Mes Durante el Año 2023.....	57
Figura 24 Estado de la Intersección de la Calle 81 con Carrera 6	59
Figura 25 Estado de Las zonas Verdes del Colegio Federico García Lorca Sede B.....	59
Figura 26 Localización General del Colegio Federico García Lorca Sede B.....	61
Figura 27 Sistema de Alcantarillado Actual en la Locación de Estudio.....	62
Figura 28 Sistema de Alcantarillado Actual en la Locación de Estudio	62
Figura 29 Curvas de Intensidad - Duración - Frecuencia (IDF).....	67
Figura 30 Diagrama de Cotas de un Tramo de Alcantarillado Pluvial.....	75
Figura 31 Perfil Longitudinal del Tramo Principal Pozos 1 al 10 (Tramo 1 Al 9)	82
Figura 32 Perfil Longitudinal del Sub cabezal Pozos 11 al 12 & 13 al 14 (Tramo 10 al 11 & 12 al 13).....	83
Figura 33 Perfil Longitudinal de los Tramos Independientes Pozos 15, 16 Y 17 (Tramo 14, 15 Y 16)	84
Figura 34 Propuesta de Alcantarillado Pluvial	87
Figura 35 Esquema de Posición de Sumideros y Señales Horizontales en Intersección.....	88
Figura 36 Detalle de Conexión de Propuesta de Alcantarillado con el Sistema Existente	89
Figura 37 Plano de la Propuesta de Alcantarillado	89
Figura 38 Perfil Longitudinal de la Propuesta de Alcantarillado.....	90
Figura 39 Escala Evaluativa de la Matriz Multicriterio	92
Figura 40 Aplicación de la Matriz Multicriterio.....	92
Figura 41 Evidencia Fotográfica de las Inmediaciones del Colegio Federico García Lorca	93
Figura 42 Representación de la Propuesta	94
Figura 43 Representación Gráfica de la Propuesta de Drenaje	95
Figura 44 Representación Gráfica de las Propuestas de Drenajes Sostenibles	96

Figura 45 Visualización de la Aplicación de los Drenajes	96
--	----

Figura 46 Visualización de la Aplicación de los Drenajes	97
--	----

Lista de Tablas

Tabla 1 Cuadro Comparativo de las Ventajas y Desventajas de los Drenos Filtrantes	32
Tabla 2 Cuadro Comparativo de las Ventajas y Desventajas de Alcorques Inundables	34
Tabla 3 Cuadro Comparativo de las ventajas y Desventajas de las Cunetas Verdes	36
Tabla 4 Cuadro Comparativo de las Ventajas y Desventajas de las Zonas de Bioretención	38
Tabla 5 Comparación de diámetros de las Tuberías	41
Tabla 6 Precipitación del Año 2023 en la Estación Pluviométrica del Colegio Ofelia Uribe, Usme	58
Tabla 7 Coeficiente de Retardo m	63
Tabla 8 Periodos de Retorno Recomendados Según el Grado de Protección del Sistema.....	64
Tabla 9 Datos del Coeficiente de Escorrentía por Tipo de Superficie.....	66
Tabla 10 Diámetros Comerciales	69
Tabla 11 Tabla de Relaciones Hidráulicas	71
Tabla 12 Ejemplo de Lectura de las Relaciones Hidráulicas	71
Tabla 13 Tabla de Datos Básicos para Realizar los Cálculos	78
Tabla 14 Tabla de Datos, Cotas, Pendientes y Diámetros	79
Tabla 15 Tabla de Datos de Cotas.....	80
Tabla 16 Tabla de Datos de Cotas de Energía, Bateas y Profundidad Promedio del Tramo	81
Tabla 17 Tabla de Datos Básicos para Realizar los Cálculos de la Propuesta	85
Tabla 18 Tabla de Datos de Cotas, Pendientes y Diámetros de la Propuesta	85
Tabla 19 Tabla de Datos de Cotas de la Propuesta.....	86
Tabla 20 Tabla de Datos de Cotas de Energía, Bateas y Profundidad Promedio del Tramo de la Propuesta	86

Resumen

Actualmente, el recurso hídrico es crucial en el desarrollo de las comunidades, dentro de los objetivos y metas de desarrollo sostenible, se tiene el número 6. Que contempla el agua limpia y el saneamiento, desde la ingeniería se identifican las alternativas para proteger el agua, y aprovechar al máximo el recurso, por este motivo, se desarrolla este estudio, para identificar los diversos tipos de sistemas de drenajes sostenibles (SUDS), y aplicarlo en un caso real donde se evidencie problemáticas con los sistemas pluviales.

Esta monografía se desarrolla en torno al Colegio Federico García Lorca Sede B, en el barrio Yomasa segundo sector, en la localidad de Usme, donde se evidencian problemáticas en el sistema de alcantarillado pluvial en la periferia de la institución educativa, como fallas del sistema de drenaje, falta de filtración, erosión de la estructura de los andenes, acumulación de sedimentos y residuos sólidos, daño en los pavimentos rígidos, al interior del colegio el mal manejo y falta de previsión de problemas arquitectónicos y civiles desde su concepción, por lo que se realiza el estudio del sistema de alcantarillado existente, analizando la información y planteando una alternativa, que permita subsanar las falencias y mejore la calidad de vida de la comunidad del barrio Yomasa.

Al implementar sistemas de drenaje sostenible, no solo se aporta al cuidado y reducción de los contaminantes presentes en el agua, sino también a reducir la impermeabilidad de las zonas duras que se tienen en las ciudades, al tener sistemas adicionales a los convencionales, ayuda a de su preservación, mitigando los efectos generados por los picos de lluvias y mejorando al bienestar de la comunidad y a poder brindar una educación de calidad para los estudiantes del colegio (TheCircularLab, 2023).

De acuerdo a las variables reconocidas en el estudio, se determinará una propuesta integral para dar solución a problemáticas actuales, al incorporar un subcabezal y posicionar los sumideros al sistema de alcantarillado pluvial existente, adaptaciones en la arquitectura y el paisajismo del colegio, evitando la

acumulación de residuos sólidos por parte de la comunidad, al interior de la institución educativa se plantea un sistema de canales y bajantes para la conducción de las aguas de las cubiertas de los edificios del colegio a las zonas verdes, donde se realiza la implementación de sistemas de Aquacell, los cuales permiten almacenar el agua y una infiltración al terreno de forma controlada tanto de zonas verdes como las zonas duras hechas con concretos permeables.

Palabras clave: Recursos hídricos, Drenaje, Alcantarillado, Saneamiento, Agua residual, Precipitación, Escorrentía.

Abstract

Currently, water resources are crucial in the development of communities, within the objectives and goals of sustainable development, it is number 6. Which contemplates clean water and sanitation, from engineering the alternatives are identified to protect the water, and make the most of the resource, for this reason, this study is developed, to identify the various types of sustainable drainage systems (SUDS), and apply it in a real case where problems with rainwater systems are evidenced.

This monograph is developed around the Federico García Lorca Headquarters B School, in the Yomasa second sector neighborhood, in the town of Usme, where problems in the storm sewer system on the periphery of the educational institution are evident, such as failures of the drainage system, lack of filtration, erosion of the structure of the platforms, accumulation of sediments and solid waste, damage to the rigid pavements, inside the school poor management and lack of foresight of architectural and civil problems since its conception, so the study of the existing sewerage system is carried out, analyzing the information and proposing an alternative, which allows correcting the shortcomings and improving the quality of life of the community of the Yomasa neighborhood.

By implementing sustainable drainage systems, it not only contributes to the care and reduction of the pollutants present in the water, but also to reduce the impermeability of the hard areas that are in the cities, by having additional systems to the conventional ones, it helps to preserve them, mitigating the effects generated by rainfall peaks and improving the well-being of the community and to be able to provide quality education for the students of the school (TheCircularLab, 2023).

According to the variables recognized in the study, a comprehensive proposal will be determined to provide a solution to current problems, by incorporating a subhead and positioning the drains to the existing storm sewer system, adaptations in the architecture and landscaping of the school, avoiding the accumulation of solid waste by the community, within the educational institution a system of channels and downspouts is proposed for the conduction of water from the roofs of the school

buildings to the green areas, where the implementation of Aquacell systems is carried out, which allow water to be stored and an infiltration into the ground in a controlled way of both green areas and hard areas made with permeable concrete.

Keywords: Water resources, Drainage, Sewers, Sanitation, Waste water, Precipitation, Runoff.

Introducción

Las aplicaciones a nivel de diseño, tecnología e innovación se adaptan a los diferentes contextos socioculturales y a las necesidades de las poblaciones, es fundamental entender que la evolución humana y los cambios por los que atraviesa el planeta hacen necesario buscar diversas opciones para dar respuesta; por tal razón, la ingeniería civil adopta nuevos conocimientos, tecnologías y herramientas, orientadas a la generación de bienestar y al desarrollo integral tanto de los individuos como de la sociedad.

Se considera a la ingeniería civil, como una rama de la ingeniería dedicada a transformar materiales y elementos de la naturaleza en construcciones, cuyo objetivo se enfoca en la mejora la calidad de vida de las personas dentro de las comunidades; no obstante, es vital, reconocer que estos procesos constructivos tienen considerables impactos en el medio ambiente, si no hay una planeación y ejecución adecuada. (Casto Vargas, 2020).

La responsabilidad de la ingeniería civil y de los profesionales con el medio ambiente, debido a que la construcción potencia la aparición de factores como la contaminación a nivel hídrico, atmosférico, de suelos y el agotamiento de los recursos naturales, entre otros, dichas alteraciones son causadas por la actividad humana, por tal razón se identifica la necesidad de implementar alternativas constructivas que tengan mayor sostenibilidad y a su vez no afecten la funcionalidad ni la vida útil de las construcciones y que se reduzcan costes.

De acuerdo a lo anterior, los SUDS (Sistemas Urbanos de Drenajes Sostenibles), constituyen un elemento significativo en el desarrollo constructivo sustentable; está determinado por la implementación de componentes de tipo vegetal y artificial, incorporados a las estructuras urbanísticas, hidrológicas y paisajísticas. A modo general las principales funciones son el manejo del agua lluvia, ayuda a mitigar la contaminación, optimiza el rendimiento de los sistemas de alcantarillado, etc. (Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS), s/f)

Del mismo modo, la implementación de un SUDS requiere trabajar de manera integral con los sistemas de alcantarillados, comprendido como la combinación de mecanismos para la recepción, transporte, salida y deposición de las aguas servidas, como resultado de las actividades humanas de tipo doméstico e industrial, así como aquellas que provienen de las precipitaciones en determinada ubicación geográfica. (Rivera, 2021)

La presente monografía realiza una revisión de literatura analizando las características, conceptos y condiciones necesarios para la implementación de Sistemas de Drenaje Urbano Sostenible (SUDS), analizando y determinando el estado del alcantarillado pluvial existente de la zona de estudio, con el fin de realizar el diseño de las adecuaciones del sistema de alcantarillado pluvial existente y desarrollando una propuesta integral aplicando estrategias para gestionar de manera adecuada la escorrentía al interno de la institución Educativa Distrital Colegio Federico García Lorca Sede B y las áreas circundantes.

Objetivos

Objetivo General

Diseñar una propuesta para el drenaje pluvial en las zonas adyacentes del colegio Federico García Lorca Sede B, mediante adecuaciones en el sistema de alcantarillado e implementación de Sistemas Urbanos de drenaje sostenible.

Objetivos Específicos

Evaluar las condiciones del alcantarillado pluvial para estimar la capacidad de drenaje de la zona de estudio.

Establecer los sistemas de drenaje sostenible (SUDS) más adecuados para el manejo de escorrentías del Colegio Federico García Lorca Sede B.

Diseñar las condiciones necesarias que requieren modificaciones en el sistema de alcantarillado actual.

Problema de investigación

Las alteraciones de tipo climático, tienen consecuencias negativas en los diferentes asentamientos y Bogotá no es la excepción, para el manejo del agua, viene haciendo uso de sistemas tradicionales, que en la actualidad se consideran antiguos e inefectivos. El avance urbanístico y constructivo ha afectado el sistema de drenaje natural proveniente de los humedales y lagos de la ciudad, influyendo negativamente en la biodiversidad y disminuyendo las zonas verdes, en donde en los últimos veinte años se presenta una reducción de 31 % a un 19%. Otro factor relevante se enfoca en el establecimiento de las urbanizaciones con bajos niveles socioeconómicos, en terrenos con condiciones complejas a nivel geomorfológico, como: desbordamientos, encharcamientos y derrumbes de tierra. (Torres et al., 2019).

En este trabajo, el área de estudio se centra en el colegio IED Federico García Lorca sede B, el cual, se encuentra limitado por la Calle 81 sur, calle 81A sur y la carrera 2C Este, se tiene una bocacalle en forma triangular. La estructura presta sus servicios como institución educativa para menores de edad en el rango de cursos entre primero a cuarto de primaria, cuenta con zonas destinadas a las actividades educativas y de esparcimiento que incluye zonas verdes, este último presenta un mal manejo de drenaje pluvial y mobiliario recreativo en mal estado. En el sector no presentan cunetas ni un bombeo considerable para el tránsito de los drenajes pluviales, así mismo presentan patologías relacionadas con la fatiga de los materiales del pavimento rígido, acumulación material sedimentario y otros residuos sólidos, taponamientos en la red de alcantarillado y socavación en el punto de convergencia de las aguas. Por esta razón, el proyecto mejorará las condiciones a nivel urbanístico y de alcantarillado, permitiendo un ambiente óptimo en cuanto a salubridad, espacios de esparcimiento, mejorando su bienestar mediante la reducción de contaminación, eliminación de zonas de estancamiento de aguas y disminución de enfermedades, aportando al desarrollo sostenible de salud y bienestar, educación de calidad y saneamiento.

Pregunta problema

¿Cómo mejorar la gestión de la escorrentía y de alcantarillado, en el barrio Yomasa (localidad de Usme), en las zonas cercanas y al interno del Colegio Federico García Lorca Sede B, empleando Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible?

Justificación

El cambio climático es una problemática global, caracterizada por el aumento de los gases de efecto invernadero y la alteración del comportamiento natural del planeta, el ambiente, la atmósfera y las temperaturas, esto es el resultado de las actividades productivas y económicas de la sociedad tal como lo afirma Díaz Cordero (2012), el ritmo de vida actual ha generado que la subsistencia de todos los seres vivos sea más compleja, en donde prima el deterioro del medio ambiente, sin importar si son países desarrollados o en proceso de desarrollo. Debido a esto, surgen esfuerzos para la preservación del medio ambiente y el aseguramiento de una calidad de vida para las diversas poblaciones, en donde no exista vulneración de los derechos humanos, lo anterior se puede sintetizar en los objetivos de desarrollo sostenible (ODS), que buscan de manera integral abordar los ámbitos económicos, social, cultural y medioambiental, es decir que se busca la satisfacción de las necesidades de modo responsable y con la premisa del desarrollo sostenible. (Objetivos de Desarrollo Sostenible - ODS -, 2021)

Es pertinente establecer que los SUDS, son una herramienta innovadora para el manejo del agua lluvia, estrechamente relacionada con el desarrollo sostenible, en la que se hace inherente un compromiso con el medio ambiente y el mejoramiento de las condiciones urbanísticas. (Perales Momparler, 2008).

El aumento de los proyectos constructivos, que incluyen elementos como la vivienda, la salud, la industria, el esparcimiento, la educación, etc., propician la impermeabilización del suelo, alterando el ciclo hidrológico, aumentando la cantidad de escorrentía en donde hay rebosamientos y descargas incontroladas, disminuyendo la capacidad de infiltración, potenciando la contaminación con material particulado, metales pesados, grasas y aceites, entre otros, lo que a su vez afecta el reabastecimiento de los depósitos subterráneos de agua. Los sistemas actuales buscan minimizar la cantidad de agua en la parte urbana, pero trasladan el problema a otras zonas (aguas abajo), por tal razón los SUDS, trabajan desde una perspectiva integral, uniendo variables urbanísticas, hidrográficas y paisajísticas.

Los Sistemas Urbanos de Desarrollo Sostenible, se centran en la recepción, filtración, contención, desplazamiento, conservación e infiltración del agua a la superficie, buscando reducir el impacto al medio ambiente, mitigar la carga contaminante de la escorrentía y tratar de emular el comportamiento del ciclo hidrológico natural, mejorando la calidad de las aguas y los requerimientos de agua potable del agua mediante la reutilización. (Perales Momparler, 2008).

Dentro de los beneficios de los SUDS, se tiene el uso de mecanismos innovadores, ayudando al establecimiento de procesos eco-adaptables en la gestión de los recursos hídricos, energéticos y materiales, contrarrestan las consecuencias de la expansión urbana, restauran el comportamiento del agua, acrecienta el control adecuado de la escorrentía y reduce su grado de contaminación. (Lara García & Prieto Thomas, 2014).

Es vital reconocer que la zona donde se plantea la propuesta, es un punto importante para los residentes, ya que, en primera medida, los más beneficiados sería la comunidad educativa; no obstante, el sector en cuestión, es un punto estratégico, en el que coexisten los factores de tipo residencial y comercial, como también las inmediaciones del colegio constituyen las principales vías de acceso. La implementación de este proyecto, como se ha descrito permitiría tener una gestión del agua lluvia y del alcantarillado más adecuado, reduciendo las inundaciones y con ello optimizando la movilidad, minimizando el impacto con la transmisión de vectores que afectan la salud de las personas y mejorando la calidad de vida.

Antecedentes

El cuidado del medio ambiente, el uso eficiente del agua y la gestión de escorrentías superficiales se han convertido en una de las principales preocupaciones a nivel urbano, a causa del crecimiento de las construcciones, la reducción de zonas permeables y la concentración de las personas hacia las ciudades, ocasionando dificultades con el flujo de la escorrentía, causando inundaciones, generando complicaciones de tipo ambiental, en la calidad de vida de los habitantes y deteriorando la infraestructura. (Cubides & Santos, 2018).

Con el objeto de mejorar el manejo de las aguas lluvias y reducir los impactos negativos, se implementan los Sistemas de Drenaje Urbano Sostenibles. Cubides & Santos (2018) realizan un análisis de agua lluvia y el comportamiento del agua en las redes de alcantarillado en la ciudad de Bogotá; así mismo se tiene un caso de estudio ubicado en la localidad de Fontibón, entre las calles 13 y 17, la Avenida Ciudad de Cali y la Carrera 96B, en un área de 6.2 Ha, considerado a nivel hídrico, el Río Fucha y el Canal de Cundinamarca, la exploración se realiza mediante modelación hidráulica e hidrológica con el software EPA-SWMM (Storm Water Management Model). Los autores describen que, para dicho sector, es necesario implementar los pozos y zanjas, sin embargo, es fundamental, desarrollar un previo estudio técnico evaluando el tipo de terreno, tasa de infiltración, nivel freático y el análisis del impacto contra las construcciones aledañas.

Por otra parte, se requiere estudiar el comportamiento a nivel hidrológico, evaluando las estaciones hidrometeorológicas, probabilidad de que se presenten tormentas, humedad, intensidad solar, curva de intensidad, duración y frecuencia IDF para evaluar la intensidad de la precipitación en el lugar de estudio. (Cubides & Santos, 2018).

Del mismo modo, los autores realizan un análisis hidráulico basado en la metodología Storm Water Management Model Reference Manual (SWMM) emitido por la EPA, en dicho estudio se describen los parámetros, que para el caso se enfocó en los pozos y zanjas de infiltración. En este tipo de

valoración se requiere considerar la estructura de la tubería, cotas de empate, las condiciones de desplazamiento de material particulado, cálculo de caudales y lluvia comparando con el desempeño de las redes de drenaje sostenible. (Cubides & Santos, 2018).

Se realizaron 37 perforaciones sobre el tramo de tubería, determinando que la profundidad está en un rango de 5 m a 9 m, la cual es una base fundamental para el rango freático que afectan las zanjas de infiltración y se establecieron mediciones para la saturación del suelo. Con base a la información requerida se definieron aquellos elementos necesarios para la modelación, de lo cual se obtiene un hidrograma de todos los conductos evaluados dentro de la zona de estudio, se requiere observar el control LID dentro del programa SWMM, para las fosas de filtración y la disminución del nivel de agua tras su implementación. (Cubides & Santos, 2018).

Tras realizar la modelación se determinaron dos panoramas orientados a dar respuesta a la implementación del SUDS más adecuada para el área, la primera se destaca el uso de mecanismos para recopilar agua de fuentes pluviales acorde al comportamiento del agua, en la segunda opción se analizó las mismas variables que en el caso anterior, estudiando la implementación de controles LID (Controles para modelar en SWMM), para los pozos de infiltración. (Cubides & Santos, 2018).

La aplicación de la mejor alternativa para sistemas urbanos de drenaje dependerá de las características específicas del área a intervenir. Ramírez & Chamorro, (2018), exponen que el sector de la calle 127 con Autopista Norte, no dispone de sumideros, ni datos sobre la estructura del drenaje actual, por lo cual, este sector se distingue por tener inundaciones y acumulación del agua proveniente de la lluvia en los separadores de la vía principal, impactando de manera negativa el flujo vehicular de la zona, además de la generación de daños en bienes públicos y privados. Los autores describen que esta situación se presenta a raíz del embotellamiento del sistema de drenaje actual por actividades de mantenimiento no coherentes a las necesidades del sector y potencial hidráulico insuficiente, ocasionando un drenaje ineficaz por el aumento del área impermeable.

El principal objetivo de los autores se centró en la implementación de trenes de SUDS (agrupaciones de sistemas de drenaje) por filtración de agua. Con respecto a la selección del sitio más adecuado se realizaron análisis basados en guías publicadas por la Universidad de los Andes; adicionalmente, se estudiaron variables como la clase de suelo, examinando la permeabilidad y las necesidades del terreno. (Ramírez & Chamorro, 2018).

Otro elemento clave radicó en la tasa de infiltración, porque de acuerdo a esta se establecen medidas complementarias para mejorar la permeabilidad, para esto se implementan ensayos de anillos de infiltración. Posteriormente, se estudia la magnitud de la cuenca, para orientar a la selección del tipo de SUD con mayor afinidad, dadas las características del ciclo hidrológico de la zona, así mismo, se dictamina el tamaño de la estructura y delimita la extensión de terreno en la que se adaptaran los trenes de SUDS. (Ramírez & Chamorro, 2018).

Se realizó una revisión de la escala freática de esta zona, en la que se describe que para la calle 127, en la calzada mixta, no se presentan condiciones freáticas y se denota la presencia de ciertos tipos de arcillas expansivas, que afectan la adaptación de los SUDS. Por otra parte, los autores exponen que es importante evaluar factores urbanísticos, sociales, las intervenciones, las restricciones de tipo espacial, geográficas y topográficas, adicionalmente el cumplimiento de la legislación y normatividad aplicable. (Ramírez & Chamorro, 2018).

De acuerdo con Ramírez & Chamorro, (2018) para establecer los SUDS más adecuados al sector, se requiere: entender el objetivo, necesidad o solución que se generará tras su implementación, comprender las implicaciones en cuanto al costo beneficio y de diseño urbanístico, compilar y estudiar la información relevante para la selección del área a intervenir, examinar las cuestiones relativas de las escorrentías y las particularidades de las masas acuáticas.

Tras el estudio realizado, los autores proponen que las opciones más acertadas consisten en la adecuación e instalación de cinco alcorques inundables, posicionados en el segmento este del separador

de la calzada mixta de TransMilenio, recibiendo el agua lluvia en el tramo occidental se sugiere el levantamiento de zanjas de infiltración, en donde se direccionará el agua proveniente de los alcorques. (Ramírez & Chamorro, 2018).

Hernández Idárraga & Silva Ojeda, (2023) proponen la implementación de SUDS para controlar la escorrentía en punto de conexión del canal Castilla y el Río Bogotá, basado en los análisis de las cuencas, las escorrentías, el grado de magnitud de la tasa de precipitación, los estudios topográficos, el comportamiento del agua subterránea, las condiciones de flora y los sistemas de drenajes actuales. Con base a esto, se obtiene como resultado la adopción de diferentes sistemas, de acuerdo a las características del terreno. En la primera zona, dispuesta en el canal Castilla, se tiene en cuenta la implementación de 240 alcorques inundables, distribuidos en 1200 m, buscando la recolección del agua. En la segunda zona, ubicada en el ingreso del canal con un área de 1957 m², se sugiere la construcción de dos cunetas verdes con un tamaño de 78 m cada una. En cuanto al tercer tramo, localizado en el parque del bolsillo, se requiere el establecimiento de una cuenca seca de drenaje extendido, en la que se realice una conexión con el segundo sector; por último, se tiene el último tramo ubicado en el humedal el Burro, allí, se requiere la adopción de zanjas de infiltración a los lados del humedal, con el objeto de aumentar el flujo de agua.

1. Capítulo 1: Marco Conceptual

Colombia en la actualidad cuenta con un sistema convencional de sistemas de drenaje, el cual está bastante arraigado, esta practicidad es tan ambigua y tradicional debido a la falta de información o incluso del músculo financiero que se deba tener para implementación de nuevas metodologías que hagan el manejo de la escorrentía de las aguas lluvias, para darle continuidad a este trabajo es importante mencionar grosso modo que se tiene en la actualidad, como funciona, y cómo poder potenciarlo a un sistema sostenible que adicional de prestar un servicio garantizando el buen funcionamiento y siendo amigable con el medio ambiente.

1.1. Sistema Convencional de Drenaje

De acuerdo al marco normativo de Empresas Públicas de Medellín (2013), los alcantarillados convencionales son los sistemas tradicionales utilizados para la recolección y transporte de aguas residuales y/o lluvias hasta los sitios de disposición final o hasta las plantas de tratamiento de aguas residuales. Los tipos de sistemas convencionales son:

El alcantarillado combinado: sistema en el que tanto las aguas residuales domésticas e industriales como las aguas lluvias son recolectadas y transportadas por el mismo sistema de tuberías. (Empresas Públicas de Medellín, 2013, p. 29).

Figura 1

Representación Gráfica de Sistemas de Drenaje Convencionales



Nota. Representación del sistema de alcantarillado combinado, se evidencia la recolección, tratamiento y descarga de las aguas residuales. Tomado de “Estimación básica del presupuesto de la red de alcantarillado sanitario para la comunidad de Santiago Mitepec, municipio de Jolalpan, en el estado de Puebla.” A. Larrauri Castro.

2021.<http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/jspui/bitstream/RepoFi/17613/5/Tesis.pdf>

Alcantarillados separados, las aguas residuales y las aguas lluvias corren por sistemas de tuberías independientes. (Empresas Públicas de Medellín, 2013, p. 29).

Figura 2*Representación Gráfica de Sistema de Alcantarillado Independiente*

Nota. Representación del sistema de alcantarillado separado, mostrando los ductos empleados para el transporte independiente de agua residual y pluvial. Tomado de "¿Cuál es la diferencia entre alcantarillas Sanitarias y Pluviales"? BS Engineers. 2020. <https://www.batesengineers.com/es/cual-es-la-diferencia-entre-alcantarillas-sanitarias-y-pluviales/>

Los sistemas actuales de alcantarillado apuestan por gestionar el drenaje del agua de manera separada, de manera que aquellas que son residuales no contaminen las que provienen de lluvias, debido a que desembocan en fuentes hídricas; es necesario que se realice previo un proceso filtración y limpieza de impurezas y contaminantes presentes en el recorrido de la tubería hasta el desemboque en el río.

1.2. Sistema de Drenaje Sostenible (SUDS)

Los sistemas urbanos de drenaje sostenibles (SUDS), se consideran como las nuevas herramientas encaminadas a modernizar y adaptar los sistemas convencionales de alcantarillado, en la que se consideran como factores relevantes en su diseño e implementación, algunos de estos son aspectos climáticos, la tipología de suelos, los cuidados medioambientales, entre otros. El uso de SUDS da prioridad a la captación de las aguas lluvias para su reutilización y correcto desagüe al río, adicionalmente ha sido implementado en mayor parte para tratar problemas de inundaciones (Subdirección de Ecourbanismo y Gestión Ambiental Empresarial (SEGAE), 2011).

La implementación de los SUDS, requiere identificar las propiedades del suelo y evaluar el volumen de escorrentía a gestionar, con el objeto de mejorar la calidad del agua. La Subdirección de Ecourbanismo y Gestión Ambiental Empresarial (Subdirección de Ecourbanismo y Gestión Ambiental Empresarial (SEGAE), 2011) describen el comportamiento de estas en la ciudad de Bogotá y específicamente en la zona norte, en la que se describe que el terreno está dado por arcillas plásticas con un nivel de permeabilidad bajo.

De acuerdo a lo anterior, se proponen ciertas alternativas para SUDS, las cuales son coherentes al comportamiento del suelo y del recurso hídrico de Bogotá y del área Norte de esta. (Subdirección de Ecourbanismo y Gestión Ambiental Empresarial (SEGAE), 2011).

Dentro de las alternativas de SUDS para la ciudad, se tienen los tanques dispuestos para la recolección y almacenaje de agua proveniente de las lluvias es la primera alternativa, el principio básico, se caracteriza por la construcción a cierto nivel de profundamente, de dispositivos diseñados para la recepción y depósito de agua proveniente de cubiertas o superficies de parqueaderos (filtros y trampas de grasas para la separación de material particulado). El agua recogida (No potable) se emplea en actividades de limpieza de medios de transportes y sanitarios, mantenimiento de jardines y zonas

verdes. Es preciso que el diseño evite la proliferación de microorganismos infecciosos. (Subdirección de Ecourbanismo y Gestión Ambiental Empresarial (SEGAE), 2011).

Se consideran como opciones de carácter innovador, en la que se busca mejorar la gestión del agua, convirtiendo a las ciudades en mecanismos dedicados a la absorción y aprovechamiento de la escorrentía. Los SUDS son definidos como la articulación de diversas metodologías y herramientas amigables con el medio ambiente, adaptadas a los sistemas de drenaje actuales, logrando imitar o asemejar el ciclo natural del agua, para así reducir los eventos adversos a nivel hidrológico. (Secretaría de Ambiente de Bogotá, 2020).

1.2.1 Medidas No Estructurales

Son las medidas que se usan con la principal finalidad de proteger el agua de la contaminación, está basado en una metodología pedagógica, donde se invitan a la comunidad a implementar programas de limpieza y mantenimiento de los diferentes colectores, canales a superficie libre, cunetas viales, entre otros; evitar que la escorrentía de agua entre en contacto con sustancias químicas como pueden ser productos que se usen para fumigación en zonas verdes o de parques, también que arrastre sedimentos y evitando la conexión ilegal de sistemas de drenaje. Es importante implementar dentro de la conciencia ciudadana el cuidado por los vertimientos de agua, aprehender a aprovechar las aguas lluvias recogiéndolas y usándolas en la vida cotidiana para diferentes actividades como el riego de plantas, descargas del baño, lavado de pisos en locales, centros comerciales, etc. (Medidas no estructurales, 2013).

1.2.2 Medidas Estructurales

Estas se implementan y ayudan a darle un rumbo fijo a las escorrentías contaminadas, mediante fachadas, cubiertas y techos verdes, estos son adaptados para mantener vegetación, este tipo de SUDS coloca variedades de plantas en las zonas del exterior de la edificación, las cuales toman el agua que

necesitan de las precipitaciones, la flora utilizada debe ser diversa, fuertes ante tiempos de sequía y humedad, del mismo modo es necesario tener presente otras condiciones ambientales como las temperaturas, vientos, capacidad de subsistir en terrenos con pocos nutrientes, resistencia al fuego. Se debe contar con un sistema de filtración mediante tubería para gestionar los excesos de agua en las plantas, en donde es necesario contar con una inclinación mayor de 2%; los techos y fachadas deben ser impermeabilizados, para así evitar el daño a la estructura. (Subdirección de Ecurbanismo y Gestión Ambiental Empresarial (SEGAE), 2011).

1.3 Tipos de SUDS

Existen diversos tipos de sistemas urbanos de drenajes sostenibles, estos varían de acuerdo a la utilidad que se le quiera dar, las ventajas que pueda ofrecer, también es fundamental el presupuesto asignado, teniendo en cuenta estos factores, aquí se describirán grosso modo los SUDS más usados aportando al ambiente y el paisajismo urbanístico.

1.3.1 Drenajes Filtrantes

Son perforaciones poco hondas, variando entre 1 m a 2 m, llenas de piedras y rocas que genera una acumulación provisional del agua por debajo de la superficie, con una forma cóncava dirigiendo el líquido a un punto específico, permitiendo la concentración del agua, a su vez, se busca que este tipo de SUDS, reciban la esorrentía originada en las calles o de colectores, sea filtrada y que posteriormente mediante tuberías se envíe el agua hacia el alcantarillado. Este sistema requiere mantenimiento, renovando el material pétreo usado como relleno, separación con las áreas circundantes para garantizar la estabilidad de las mismas; por otra parte, los drenajes se adaptan en sitios donde la esorrentía no tenga un alto contenido de sedimentos, ni un alto flujo hídrico. (Subdirección de Ecurbanismo y Gestión Ambiental Empresarial (SEGAE), 2011).

Este tipo de sistema es más usado en vías, este tiene un sistema constructivo o tipo de especificación técnica donde implica la utilización de geotextiles que ayuden a filtrar el agua, de tal manera que no pasen otros elementos que no corresponden al sistema de drenaje, este tipo de sistema debe quedar aislado de tal manera que permita el mantenimiento periódico y el cambio de tipo de relleno en la parte superior del dren, adicionalmente se debe garantizar la estabilidad del terreno y de la infraestructura colindante, es imprescindible que el nivel freático este mínimo a 1 metro de profundidad de la tubería SUDS. (Subdirección de Ecourbanismo y Gestión Ambiental Empresarial (SEGAE), 2011).

Figura 3

Aplicación Práctica de Drenes Filtrantes



Imagen 11 Dren filtrante vegetado en separador
Fuente: lineamientos del componente paisajístico EAAB



Imagen 12 Dren filtrante con capas granulares Fuente: lineamientos del componente paisajístico EAAB

Nota. Representación del sistema de drenes filtrantes, en donde se observa su aplicación en una vía y se visualizan sus capas internas. Tomado de “Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible”. Subdirección de Ecourbanismo y Gestión Ambiental Empresarial (SEGAE).2011. <https://www.sdp.gov.co/sites/default/files/anexo91.pdf>

Como se evidencia en la figura 3, se presentan la aplicación de los drenes, y cómo se conforman, es indispensable usar elementos granulares para filtrar impurezas y siempre tener en cuenta la vegetación que aparte de dar un aspecto paisajístico agradable, también desecha impurezas.

1.3.1.1 Ventajas y Desventajas. Como cualquier sistema, estos cuentan con algunas ventajas y desventajas, a continuación, se presenta en la tabla 1 con estos:

Tabla 1

Cuadro Comparativo de las Ventajas y Desventajas de los Drenes Filtrantes

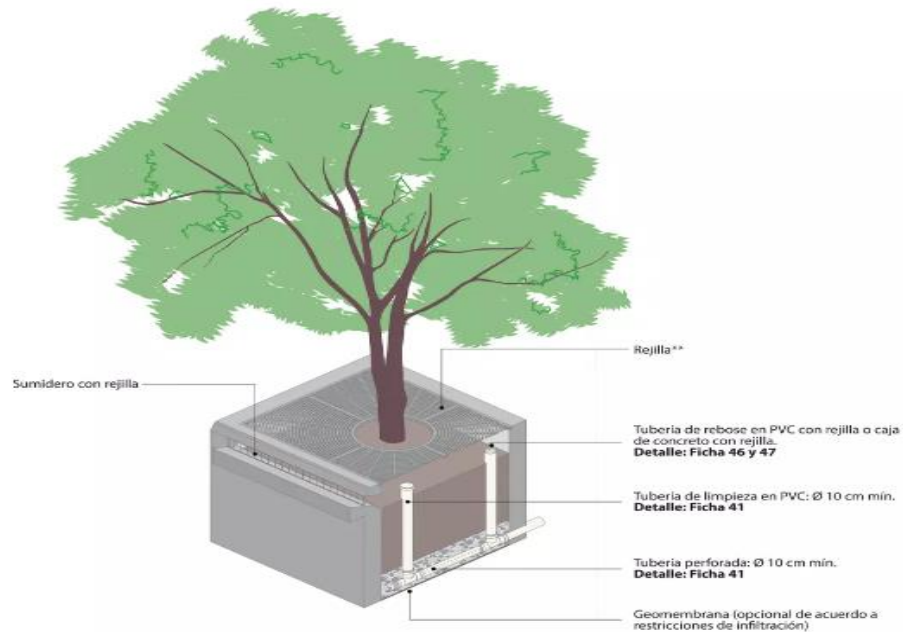
Ventajas	Desventajas
Esorrentía de grandes superficies.	Las aguas que ingresen al sistema no deben estar cerca de zonas de acuíferos.
Facilita la exploración de agua.	
Bajo costo.	No es útil en zonas de alta pendiente.
Primera medida de solución ante implementación de suds.	Las aguas que ingresan al sistema no deben estar contaminadas.

Nota. Descripción de factores positivos y negativos de los drenes filtrantes. Adaptado de “Franjas filtrantes”. A. Abella. Portal: SUD Sostenible. 2013.. <http://sudsostenible.com/tipologia-de-las-tecnicas/medidas-estructurales/franjas-filtrantes/>

1.3.2 Alcorques Inundables

Este sistema se caracteriza por el uso de elementos de biorretención, en el que se dispone de una caja de concreto, en la que se contiene materiales de tipo poroso para así separar la carga contaminante del agua mediante filtro de vegetación y los microorganismos presentes en esta. Este sistema consta de capas de material destinado para la filtración del agua, un árbol o cualquier vegetación resistente a periodos de inundación largos y de grandes magnitudes, para así finalmente mecanismos de drenaje para evacuar los excesos de agua; para ello se cuenta con rejillas a la entrada del drenaje para evitar el ingreso de material sólido. (Borrero García et al., 2016).

Dentro de los beneficios de este tipo de sistema se destaca la retención de contaminantes, mediante la interacción vegetal, mejorando el paisaje y mejorando las condiciones ambientales, al aumentar las zonas verdes donde se coloque, aumentando la humedad y disminuyendo la temperatura. (Borrero García et al., 2016).

Figura 4*Representación de Alcorques Inundables*

Nota. Representación del sistema de alcorques inundables. Tomado de “¿Los has visto? Estos son los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible de Bogotá”. J. Calvo. s/f. <https://bogota.gov.co/mi-ciudad/movilidad/sistemas-urbanos-de-drenaje-sostenible-en-bogota>

De acuerdo a la figura 4, este estilo de alcorque inundable, cuenta un sistema de drenaje de sumidero de rejilla por donde capta las aguas lluvias, adicionalmente también hace captación por medio de la rejilla que a su vez protege la raíz del árbol; cuenta un sistema de tuberías que están en posición vertical recogiendo las aguas. (Borrero García et al., 2016).

1.3.2.1 Ventajas y Desventajas. Algunas de las ventajas y desventajas encontradas en el sistema de los alcorques inundables, descritos en la tabla 2.

Tabla 2

Cuadro Comparativo de las Ventajas y Desventajas de Alcorques Inundables

Ventajas	Desventajas
Urbanísticamente agradable.	Debe llevar un sistema de desagüe subterráneo para evacuar el reboso de agua.
Reduce el caudal pico.	Tratamiento y almacenamiento de volúmenes pequeños de aguas lluvias.
No requiere mano de obra calificada.	Mantenimiento periódico a la vegetación.
Maneja transporte de escorrentía y tratamiento de aguas lluvia.	

Nota. Descripción de factores positivos y negativos de los alcorques inundables. Adaptado de “Evaluación del tren de SUDS en el Parque Metropolitano San Cristóbal Sur,”. P. Celemin et al. 2017.

<https://repositorio.uniandes.edu.co/server/api/core/bitstreams/65781c20-425f-4252-bc7e-f09de2010865/content>

1.3.3 Cunetas Verdes

Pueden definirse conductos con plantas y vegetación, diseñados para permitir el paso del agua, conteniendo residuos como partículas en suspensión, disminuyendo la carga contaminante.

Para su implementación, es necesario analizar la magnitud de las capas acuáticas presentadas, debido a que se pueden ocasionar afectaciones en la vegetación o inundaciones en los terrenos adyacentes. (Subdirección de Ecorbanismo y Gestión Ambiental Empresarial (SEGAE), 2011).

Figura 5

Ejemplo de Cunetas Verdes



Nota. Evidencia fotográfica de Cuneta Verde en el parque San Cristóbal Sur. Tomada de “Evaluación del tren de SUDS en el Parque Metropolitano San Cristóbal Sur,”. P. Celemin et al. 2017.

<https://repositorio.uniandes.edu.co/server/api/core/bitstreams/65781c20-425f-4252-bc7e-f09de2010865/content>

En la Figura 5, se visualiza un ejemplo de cuneta verde, sistema implementado en el Parque Metropolitano San Cristóbal Sur, el cual cuenta con un tren de SUDS iniciando con un sumidero, transportando el agua a la cuneta verde y posteriormente a una cuenca seca.

Este sistema es más común en canales abiertos con revestimiento natural, estas deben tener una especificación que la velocidad de drenaje no debe ser mayor de 1 m/s con el fin de prevenir la posible erosión del terreno. A diferencia de los drenes filtrantes, el nivel freático de este debe ser elevado o suelos totalmente permeables, de tal manera que la vegetación se mantenga en estado húmedo. (Abellán, 2013).

1.3.3.1 Ventajas y Desventajas. Teniendo en cuenta la importancia de este tipo de SUDS, donde el agua ingresa por medio de algún tipo de tubería, aquí las ventajas y desventajas de este sistema.

Tabla 3

Cuadro Comparativo de las ventajas y Desventajas de las Cunetas Verdes

Ventajas	Desventajas
Urbanísticamente agradable.	Demanda de espacio significativa, espacios abiertos al público.
Facilidad de adaptación e implementación	
Reduce el coeficiente de escorrentía	
Bajos costos.	No usar en terrenos escarpados o inestables.
Reduce significativamente los agentes contaminantes.	Mantenimiento periódico a la vegetación.

Nota. Descripción de factores positivos y negativos de las cunetas verdes. Adaptada de “Evaluación del tren de SUDS en el Parque Metropolitano San Cristóbal Sur,”. P. Celemin et al. 2017.

<https://repositorio.uniandes.edu.co/server/api/core/bitstreams/65781c20-425f-4252-bc7e-f09de2010865/content>

1.3.4 Zonas de Biorretención

Se conocen como filtros de biorretención y se caracterizan como áreas con cierto grado de hundimiento con respecto a las zonas circundantes, poseen un sistema de tres capas con niveles con dren inferior, removiendo la carga contaminante y el caudal del agua, para luego transportarla a la red de alcantarillado. (Subdirección de Ecurbanismo y Gestión Ambiental Empresarial (SEGAE), 2011).

La primera capa es de tipo orgánica, que cuenta con ciertas condiciones para la reproducción de bacterias, que descomponen los hidrocarburos y el material orgánico, a su vez permite el paso del agua a las otras capas. El segundo nivel, está formado por vegetación, en donde los hidrocarburos descompuestos, metales pesados y nutrientes son absorbidos; la capa más profunda se compone de arena, permitiendo la entrada de aire hasta la primera capa. (Subdirección de Ecurbanismo y Gestión Ambiental Empresarial (SEGAE), 2011).

Figura 6

Representación de zonas de Biorretención



Nota. Aplicación de zonas de biorretención. Tomada de “Áreas de biorretención”. A. Abellán. Portal SUD Sostenible.2013.

<http://sudsostenible.com/tipologia-de-las-tecnicas/medidas-estructurales/areas-de-biorretencion/>

En la figura 6, se visualiza que en estas zonas son reconocidas por su alta vegetación, adicionalmente se encuentran con un cerramiento en hormigón ayudando a controlar la cantidad de escorrentía que ingresa al sistema, al igual que los alcorques inundables cuenta con tuberías de rebose, limpieza y perforadas.

Al ser una estructura cóncava no requiere mantenimiento continuo, por lo que permite captar aguas y tenerlas, tiene limitaciones en su área efectiva a 2 hectáreas con unas dimensiones estándar, al tener un área mayor, se requiere aumentar la profundidad, y puede llegar al nivel freático, afectando su funcionamiento y generando efectos contrarios a su función principal. (Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático, 2020).

Adicionalmente, facilita el establecimiento de sinergia con paisajes urbanos y rurales, así mismo, permite gran flexibilidad para su instalación; al ser una estructura relativamente simple en su construcción, los procesos de mantenimiento son sencillos y económicos, en los que se favorece una

identificación de fallas más oportuna. (Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático, 2020).

Su instalación no funciona de forma adecuada en zonas escarpadas o con pendientes considerable, debido a que puede afectar su geometría y su estructura por capas, impidiendo el uso de vegetación de gran tamaño, como lo son árboles y plantas que tengan raíces de gran tamaño.

1.3.4.1 Ventajas y Desventajas. A continuación, se mencionan algunas de las ventajas y desventajas del sistema de áreas de biorretención, donde ayudará a comprender los aspectos más importantes y/o llamativos.

Tabla 4

Cuadro Comparativo de las Ventajas y Desventajas de las Zonas de Biorretención

Ventajas	Desventajas
Contribuye a recarga de acuíferos.	Demanda de mantenimiento periódico y cuidadoso.
Mínimiza el fenómeno de isla de calor urbana.	No usar en terrenos escarpados o inestables.
Reduce contaminación acústica.	No recomendado en áreas de alto drenaje.
Embellece el entorno natural, transformando el espacio disponible.	

Nota. Ventajas y desventajas de las zonas de biorretención. Tomada de “Áreas de biorretención”. A. Abellán. Portal SuD Sostenible.2013. <http://sudsostenible.com/tipologia-de-las-tecnicas/medidas-estructurales/areas-de-biorretencion/>

1.4. Sistema de Alcantarillado

Un sistema de alcantarillado pluvial, son aquellas estructuras encargadas de la captación, transporte y disposición de las aguas lluvias hacia algún afluente cercano de forma enterrada, mediante un sistema a gravedad que evacua las aguas y las dispone en un canal natural como ríos y lagos, en donde se busca optimizar la evacuación de aguas lluvias, en función de las condiciones climáticas, topográficas y del propio funcionamiento del sistema de drenaje. (Avellaneda, 2018).

Los sistemas de alcantarillado pluvial deben permitir una evacuación rápida de las aguas superficiales en las vías públicas, mitigar la invasión de las aguas en zonas públicas o privadas, evitar el colapso o la parada de los flujos peatonales y vehiculares, minimizar las conexiones erradas y evitar la contaminación de fuentes hídricas, aportando a los objetivos de desarrollo sostenible: tener acceso a agua limpia y saneamiento básico, el mantenimiento de biodiversidad en los diferentes ecosistemas y con ello tener ciudades eco amigables. (ONU, 2015).

La efectividad de un sistema de alcantarillado pluvial está en función de la planificación, diseño, la construcción, interventoría, funcionamiento y posteriormente el mantenimiento a todos los componentes del sistema.

Como parámetros de diseño se establecen las variables climáticas que afectan los sistemas de alcantarillados pluviales, y su mitigación desde el diseño de los componentes del sistema, el principal es el período de diseño, el cual, da las variaciones y las características de la cuenta, en función del tiempo. Cabe aclarar que en la resolución 2320 del año 2020. Expedida por el Ministerio de Ambiente, establece los periodos de diseño según el nivel de complejidad de los sistemas (Número de personas proyectadas al periodo de diseño), 30 años para sistemas de complejidad alta, y 25 para los demás. (Ministerio de Vivienda, 2016).

Dentro de la resolución 0330 del 2017 y 0799 del 2021, en el título D, se establecen los parámetros básicos de diseño, que debe cumplir el estudio hidráulico, como los diámetros mínimos, distancia entre alcantarillado, velocidades máximas y mínimas, valor de las pendientes, profundidad de los tramos, cálculos de caudales (Diseño, y características geométricas del sistema entre otros. (Ministerio de Vivienda, 2016).

1.4.1. Estructuras del Alcantarillado Pluvial

Los sistemas de recolección de aguas lluvias están constituidas principalmente por cajas o alcantarillas y un sistema de tuberías, los cuales, existen diferentes tipos de estructuras que cumplen una función específica, con el fin de garantizar el buen funcionamiento del sistema de alcantarillado pluvial, por lo que se deben tener los conceptos y el uso de cada componente del sistema.

1.4.2 Estructuras de Conexión y/o Inspección (Pozo o alcantarilla)

Son aquellos elementos que cumplen la función de interconectar 2 o 3 tuberías dentro del sistema de alcantarillado. Así mismo como de las conexiones con los sumideros, permitiendo las labores de inspección y de mantenimiento por zonas, sus cualidades geométricas están dadas según la topografía, al superar las velocidades permitidas, se debe realizar una entrada diferente (Cámara de caída) así mismo según el régimen del fluido que se tenga (Crítico o subcrítico). (Ministerio de Vivienda, 2016).

Figura 7

Cámara de Caída Típica de American Society of Civil Engineers (1970)

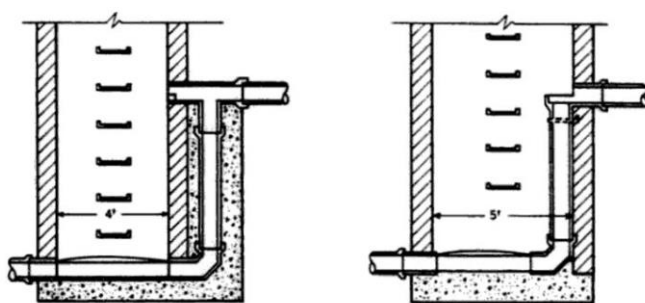


Figura 3.1 Cámara de caída típica de American Society of Civil Engineers (1970)

Nota. Esquema típico de alcantarillado o pozos con cámara de caída, permite disminuir la energía y la velocidad del fluido antes de llegar a la cámara. Tomada de “Diseño de cámaras de caída en sistemas de alcantarillado basados en materiales plásticos”.

C. Palacios. 2019. <https://repositorio.uniandes.edu.co/server/api/core/bitstreams/6a8e6f27-b9d5-4845-88de-e6e491aa8248/content>

Su localización se da de acuerdo a cambios de dirección del flujo, cambio de diámetros, cambios de pendientes de las tuberías, cambios de sección, y los parámetros de limpieza, si son manuales, la longitud máxima del ramo puede llegar hasta 120 m, para métodos hidráulicos, puede llegar a 200 m. Por lo general, en zonas urbanas se tiene una limitante de 100 m de la longitud de la tubería.

Su tamaño interno está dado según el máximo diámetro nominal de la tubería que le llegue, de acuerdo a la resolución 0330 del 2017 y la 0799 del 2021, se establecen los parámetros de la siguiente tabla, para casos especiales donde la tubería sea igual o supere los 900 mm (36") se debe hacer el diseño para una estructura diferente.

Tabla 5

Comparación de diámetros de las Tuberías

Mayor diámetro de las tuberías conectadas (mm)	Diámetro interno de la estructura (m)
200 - 600	1,20
Mayor de 600 - 750	1,50
Mayor de 750 - 900	1,80

Nota. Diámetros internos en las estructuras de alcantarillado o pozos. Tomada de "Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS. Título D". Ministerio de Vivienda.2016.

2016.https://www.minvivienda.gov.co/sites/default/files/documentos/titulo_d.pdf

1.4.3 Sumidero

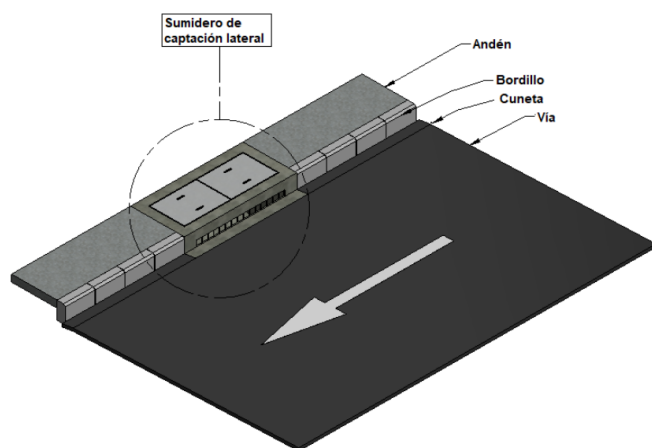
Son estructuras que se encargan de captar las aguas de escorrentía superficial, se localizan en los costados de las calzadas viales o peatonales, conectados a los pozos del alcantarillado por un tubo con el diámetro mínimo, deben ubicarse de tal forma que capten las aguas, evitando inundaciones o encharcamientos, ya que deben estar en los puntos bajos o depresiones de la vía y en los bordes, para ello se hace uso del bombeo de la calzada, según las condiciones topográficas; de acuerdo a esto se

pueden usar 4 diferentes tipos de sumideros, los cuales varían con respecto al comportamiento y el tipo de captación:

Sumideros de ventana (Captación lateral), consiste en una brecha localizada en la superficie vertical del bordillo del andén, no se ve afectada por el tránsito vehicular, pero es susceptible a saturarse de residuos sólidos y de sedimentos, no funciona de forma adecuada con topografías mayores al 3%, debido a que funciona por acumulación del agua, la pendiente que tiene en la vía. (Ministerio de Vivienda, 2016).

Figura 8

Representación Gráfica de la Localización de Sumidero de Tipo Lateral

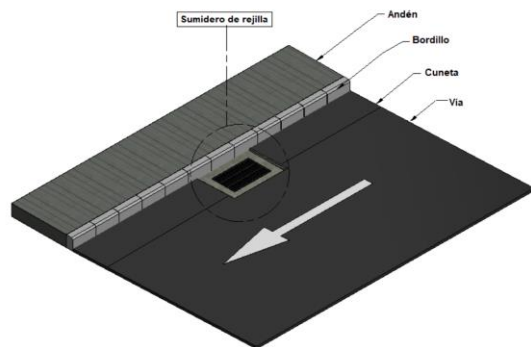


Nota. Representación de la posición del sumidero con abertura lateral en la vía. Tomado de “NORMA DE CONSTRUCCIÓN SUMIDEROS”. EMP. 2019. https://cu.epm.com.co/Portals/proveedores_y_contratistas/proveedores-y-contratistas/normas-tecnicas/documentos/NC_AS_IL02_17_Sumideros.pdf

Sumideros de rejilla en cuneta: Están localizados en los extremos de la calzada adyacente al andén o al bordillo, funciona de forma adecuada, sin embargo, es muy propenso a sufrir taponamientos debido a acumulación de sedimentos, basura o escombros en la parte superior de la rejilla que tiene en la parte superior. (Ministerio de Vivienda, 2016).

Figura 9

Representación Gráfica de la localización de Sumidero de Tipo Rejilla



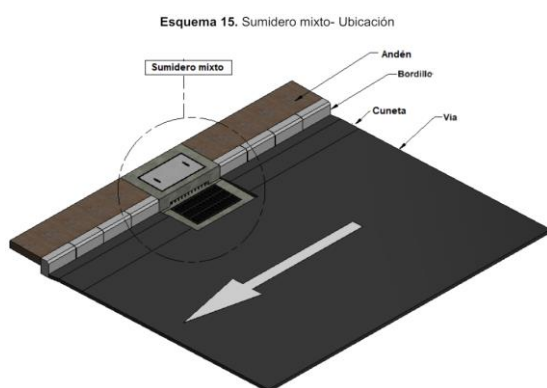
Nota. Representación de la posición del sumidero de rejilla en la vía. Tomado de “NORMA DE CONSTRUCCIÓN SUMIDEROS”.

EMP. 2019. https://cu.epm.com.co/Portals/proveedores_y_contratistas/proveedores-y-contratistas/normas-tecnicas/documentos/NC_AS_IL02_17_Sumideros.pdf

Sumideros mixtos, son la combinación de los dos anteriores tipos, mejorando la captación al combinar ambos tipos, permite el uso en zonas con pendientes mayores, y una menor invasión de la calzada. (Ministerio de Vivienda, 2016).

Figura 10

Representación Gráfica de la Localización de Sumidero de Tipo Mixto



Nota. Representación de la posición del sumidero mixto en la vía. Tomado de “NORMA DE CONSTRUCCIÓN SUMIDEROS”. EMP.

2019. https://cu.epm.com.co/Portals/proveedores_y_contratistas/proveedores-y-contratistas/normas-tecnicas/documentos/NC_AS_IL02_17_Sumideros.pdf

Sumideros transversales: Se caracteriza por ser una caja transversal a toda la vía, cubierta por una rejilla, su principal problema es el peso de los vehículos, que afectan el funcionamiento de la rejilla y sufren acumulación de sedimentos y basura, reduciendo su área útil de captación. (Ministerio de Vivienda, 2016).

Figura 11

Fotografía de Localización y Posición de un Sumidero Transversal en una vía Vehicular



Nota. Representación de la posición del sumidero mixto en la vía. Tomado de “En Yopal continua el trabajo de recuperación de rejillas y sumideros”. Portal Syversión, com.co 2019. <https://suversion.com.co/home/en-yopal-continua-el-trabajo-de-recuperacion-de-rejillas-y-sumideros/>

1.4.4 Tuberías

Son las arterias del sistema de alcantarillado pluvial, conectan los pozos de tal forma, que lleven las aguas con una velocidad y energía específica, por lo que debe tener una pendiente, por lo general va en función de la topografía, dependiendo del material que se usa, tiene diferentes coeficientes que afectan el comportamiento del fluido, su profundidad de esta a 1.2 m en la parte superior de la tubería, dependiendo el tipo de suelo y tráfico puede variar esta distancia.

Figura 12

Representación de Alcorques Inundables



Nota. Representación de la instalación de tubería del alcantarillado pluvial en Sabanera. Tomado de “Así funciona el sistema de alcantarillado pluvial en la doble calzada de acceso a Saravena” R. Vega. 2020. <https://elnuevooriente.com/asi-funciona-el-sistema-de-alcantarillado-pluvial-en-la-doble-calzada-de-acceso-a-saravena/>

1.4.5 Cabezal de descarga

Son estructuras que permiten llevar el agua a ríos, canales, o lagos, mediante una tubería abierta, que vierte en el cauce.

Figura 13

Fotografía de Vertedero de Aguas Lluvias en Mosquera



Nota. Instalación de tubería del alcantarillado pluvial en Sabanera. Tomado de “INSTRUCTIVO DEL PROCESO CONSTRUCTIVO DE UNA RED DE ALCANTARILLADO PLUVIAL”. J Avellaneda. 2018.

<https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/14215/SanchezAvellanedaJohnEdisonAnexo-1.pdf;jsessionid=60E33D7E886F0954A6DF39827EA91671?sequence=2>

1.4.6 Cunetas y Canales Abiertos

Son estructuras con sección triangular que se localizan en los extremos de la sección longitudinal de una vía, ya sea contra el bordillo o en el extremo de la carpeta de rodadura, con el propósito de captar las aguas de forma superficial y conducir las hasta un sumidero. Su diseño tiene los parámetros de un canal a superficie libre, donde se requiere saber la pendiente, la rugosidad de los materiales y los factores geométricos.

Figura 14

Cuneta Va-75 Implementada con Máquina Power Border Rh-400 en Trueba, Cantabria



Nota. Cuneta longitudinal de VA-75 para carreteras en montaña “Estacas de Trueba en Cantabria”. Tomado de CUNETAS VA-75 CANTABRIA. H. Álvarez. 2020. <https://cunetaguas.es/cuneta-va-75-cantabria/>

1.4.7 Alcantarillado en Bogotá

Dentro del área de la ciudad de Bogotá se tienen 3 cuencas, río Bogotá, Río Blanco y Río Sumapaz, por lo que se cuenta con el recurso hídrico; la ciudad dispone de la infraestructura de abastecimiento de agua potable y de saneamiento de las aguas provenientes de consumo humano (Aguas pluviales y residuales). La empresa de Acueducto y alcantarillado de Bogotá ESP, es la entidad encargada del control y administración del agua y de las redes asociadas a las mismas. (Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, 2019).

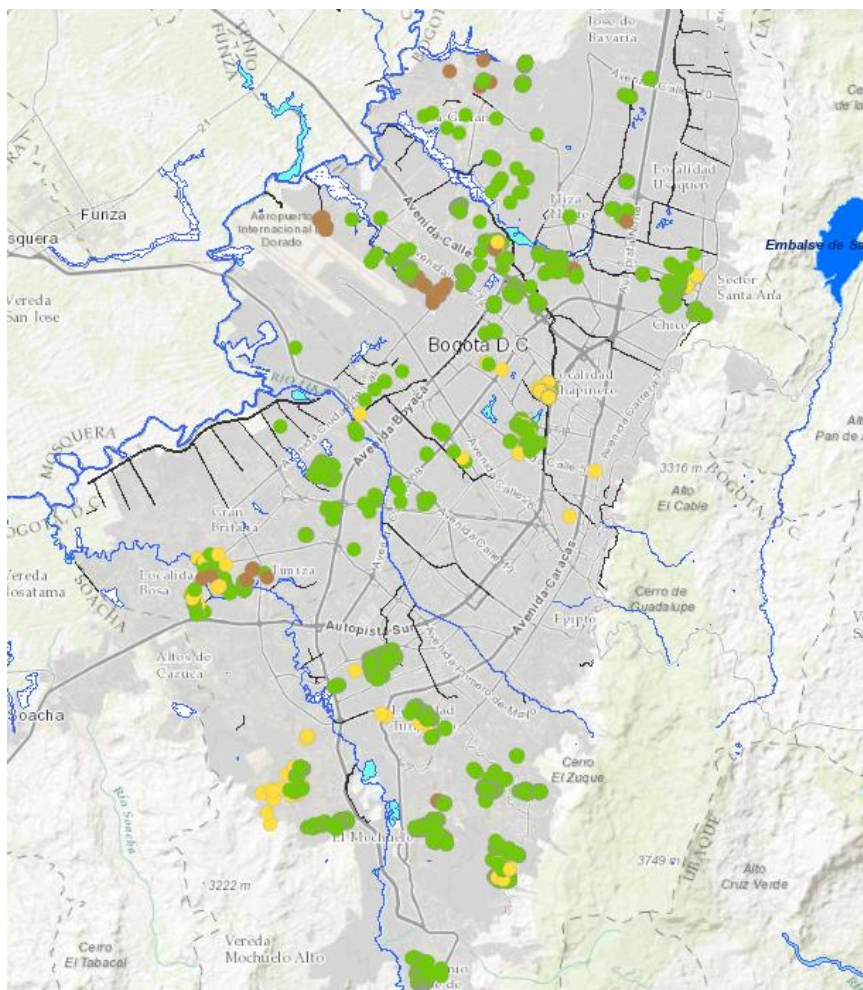
La empresa tiene los sistemas de alcantarillado sanitario, pluvial y combinado, para el drenaje pluvial dispone de cabezales cortos que descargan a cuerpos de agua superficiales, tales como riachuelos, quebradas, ríos canalizados o naturales, humedades entre otros. (Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, 2019).

La ciudad presenta conexiones erradas, lo cual, se traduce a conexiones que se conectan al sistema equivocado. Un ejemplo de tal situación se presenta cuando se conecta el drenaje sanitario al

drenaje pluvial, contaminando directamente las fuentes hídricas; aunque la empresa de alcantarillado de Bogotá ha trabajado para corregir dichas situaciones, aún se tienen zonas con un gran porcentaje de la ciudad con estas características identificadas y sin identificar. (Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, 2019).

Figura 15

Mapa de Bogotá con las Conexiones Erradas



Nota. Verde: Conexiones corregidas - Amarillo: Conexiones diseñadas - Café: Conexiones verificadas, desde el año 2020.

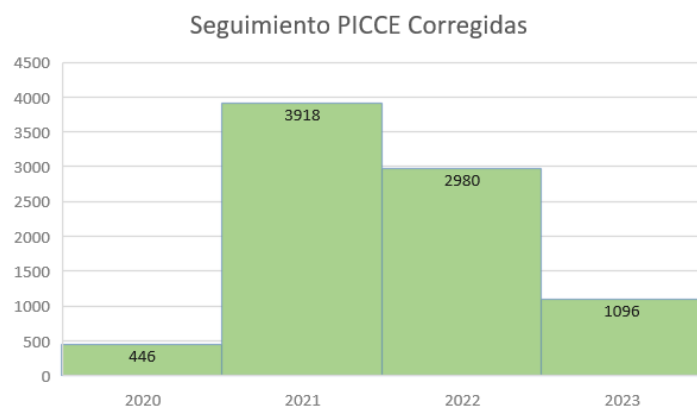
Tomado de “Avance anual de las conexiones erradas”.

https://www.acueducto.com.co/wps/portal/EAB2/Home/ambiente/saneamiento/plan_de_identificacion_y_correccion_de_conexiones_erradas/avance_anual_conexiones_erradas

En la siguiente gráfica se evidencia una disminución de la corrección de las conexiones erradas:

Figura 16

Seguimiento de Conexiones Corregidas 2020-2023



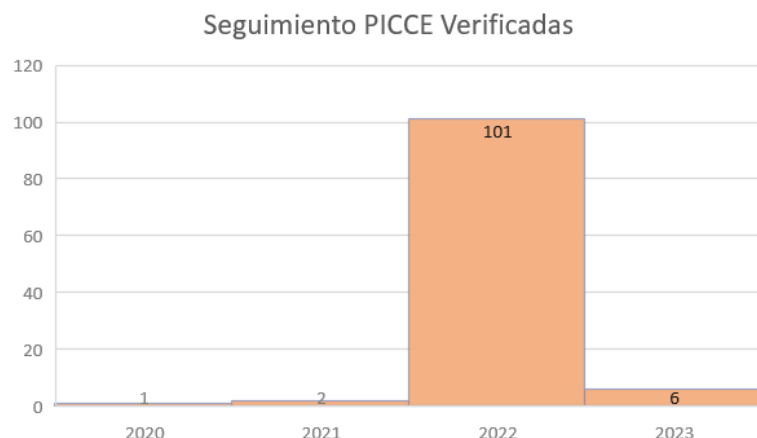
Nota. Cantidad de conexiones erradas controladas en la ciudad de Bogotá. Tomado de “ Avance anual de las conexiones erradas”.
https://www.acueducto.com.co/wps/portal/EAB2/Home/ambiente/saneamiento/plan_de_identificacion_y_correccion_de_conexiones_erradas/avance_anual_conexiones_erradas

Figura 17

Seguimiento de Conexiones Corregidas 2020-2023



Nota. Cantidad de conexiones diseñadas en la ciudad de Bogotá. Tomado de “Avance anual de las conexiones erradas”.
https://www.acueducto.com.co/wps/portal/EAB2/Home/ambiente/saneamiento/plan_de_identificacion_y_correccion_de_conexiones_erradas/avance_anual_conexiones_erradas

Figura 18*Seguimiento de Conexiones Verificadas 2020-2023*

Nota. Cantidad de conexiones erradas verificadas en la ciudad de Bogotá. Tomado de “Avance anual de las conexiones erradas”.

https://www.acueducto.com.co/wps/portal/EAB2/Home/ambiente/saneamiento/plan_de_identificacion_y_correccion_de_conexiones_erradas/avance_anual_conexiones_erradas

Dentro del mapa de la figura 15, se tienen zonas donde no se han realizados estudios de verificación de las conexiones erradas, por lo que se pueden presentar casos de contaminación que no han sido identificados por parte de la empresa de alcantarillado de la ciudad, afectando las redes del alcantarillado pluvial, donde con mayor frecuencia se presentan en zonas o barrios no legalizados por descargas, en las partes superiores de las cuencas, y en el desarrollo de actividades industriales, al hacer vertimientos de aguas contaminadas dentro de las fuentes hídricas.

Aunque la ciudad de Bogotá y la empresa de alcantarillado han realizado inversiones para la restauración del recurso hídrico y recuperar la calidad de los ríos y el desarrollo de normativa para la protección de los cuerpos de agua, los problemas actuales del sistema se deben por falta de planeación y de regulación, así como dirigir las políticas hacia el cuidado y el desarrollo de proyectos de mejora de la calidad del agua, según lo considera Peña Guzmán et al., (2016).

1.5 Relación de SUDS en el alcantarillado y su importancia

Los SUDS proponen una alternativa a los sistemas de drenaje pluviales tradicionales, mediante la imitación de las condiciones naturales antes de la intervención humana para restaurar el ciclo hidrológico, mediante el uso de estructuras que permitan captar las aguas de escorrentía y distribuirlas por infiltración y transpiración, reduciendo la contaminación y las partículas suspendidas solubles e insolubles en el agua, mejorando la calidad del agua, e implementando nuevos métodos para potenciar el uso de ambientes verdes dentro de las zonas urbanas como el de la ciudad de Bogotá. (Subdirección de Ecourbanismo y Gestión Ambiental Empresarial (SEGAE), 2011)

2. Capítulo 2: Aspectos Metodológicos

En este capítulo, se realizará el análisis de las condiciones que tiene el colegio Federico García Lorca Sede B, y sus aspectos topográficos, demográficos, hídricos entre otros, se realizará el análisis cuantitativo y cualitativo del sistema de alcantarillado existente y de las propiedades al interno de la institución educativa.

2.1 Inspección de la zona de Estudio

Se realiza una recolección de información, adquisición de planimetría de los sistemas de recolección de agua pluvial, levantamiento, datos sobre el estado de los sumideros que aportan al sistema principal aledaño al Colegio Federico García Lorca sede B, análisis del sistema con el Reglamento Técnico para el Sector Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS, Resolución 0330 del año 2017 y 0799 del año 2021), determinar si se requiere una intervención y mejoramiento del sistema existente.

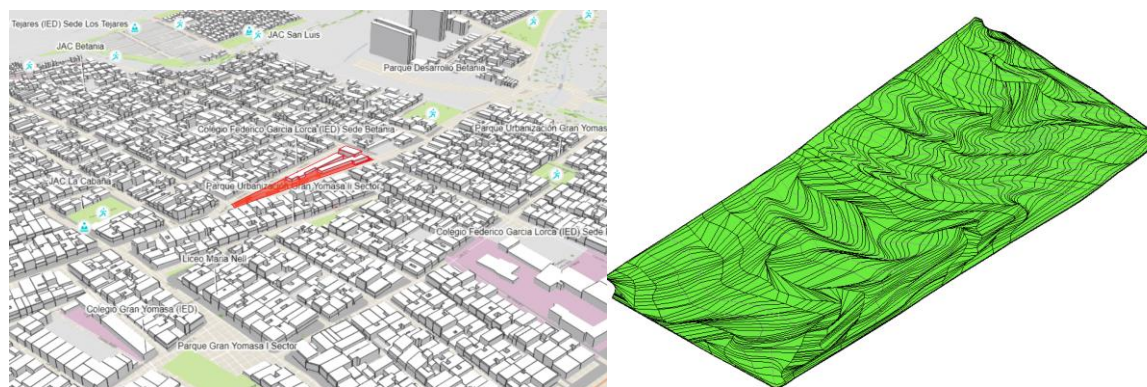
La inspección se realiza por la parte externa del colegio, no fue posible acceder al interior de la institución, se realizan diversas visitas en condiciones de lluvia, enmarcando la problemática de drenaje en el momento. La información existente del sistema de alcantarillado se tomó de la plataforma del Geo portal del Acueducto de Bogotá.

2.1.1 Delimitación Geográfica

El Colegio Federico García Lorca Sede B se encuentra localizado en el sur de la ciudad de Bogotá, en la localidad 5 de Usme, en el barrio Yomasa Segundo Sector en la dirección Cl. 80a Sur #2C Este-2 A 2C Este-98, limita con la Calle 80ª sur al norte y al sur con la Calle 81 sur y al este con la Carrera 4. Pertenece a la Cuenca del Río Tunjuelito, y a la Subcuenca Santa Librada (128,73 Ha), con una elevación promedio de 2745 M.S.N.M, donde se tiene una topografía relativamente inclinada.

Figura 19

Localización del Colegio Federico Lorca Sede B en Isometría



Nota. La figura presenta un mapa de la zona a intervenir barrio Yomasa II Sector. Se resalta el colegio Federico García Lorca, Sede B y La figura de la derecha presenta las características topográficas de los alrededores del colegio Federico García Lorca, Sede B. Elaboración propia mediante software AutoCAD basado en los datos del portal Topoexport.. Adaptado de Portal Mapas Bogotá por Alcaldía de Bogotá. (s/f). <https://mapas.bogota.gov.co/>

La información fue extraída de Topoexport, se llevó la información hacia AutoCAD, donde se creó la superficie de la imagen, que corresponde a un área de 2 km², esta fue usada para determinar las elevaciones de la zona de estudio, debido a que la información disponible del Acueducto de Bogotá no corresponde a las elevaciones reales, de esta forma se obtuvo la información de forma más aproximada a la real, los cálculos y los diseños posteriores se realizan con la información creada.

2.1.2 Descripción de Movilidad

En la calle 81 sur se tiene flujo vehicular de alimentadores del sistema de TransMilenio y rutas del SITP, sirve como vía alterna de la Autopista al Llano (Calle 84 sur A Este), al ser una zona con una posición estratégica, se tiene mayor movimiento en el comercio, lo que genera vehículos sobre las calzadas la mayor parte del tiempo, impidiendo la fluidez y generando un aumento del tráfico, generando fallas en el asfalto rígido que compone la calle 81 S.

Figura 20

Estado del Pavimento Rígido en la Calle 81S Frente al Colegio en la Parada del SITP



Nota. La figura presenta el deterioro de las vías en el pavimento rígido. Elaboración propia.

. Estado del pavimento rígido en la parada de sistema SITP, localizada en la calle 81s en frente del colegio Federico García Lorca Sede B. Elaboración propia.

En cuanto a la movilidad peatonal, se tiene flujo constante de personas, en especial de estudiantes en las horas de inicio (6 am), cambio (12 pm) y fin de jornada de clases (5 a 6 pm), donde se evidencia la falta de señalización, control de velocidad, falta de semáforos entre otros.

2.1.3 Hidrología y Suelo

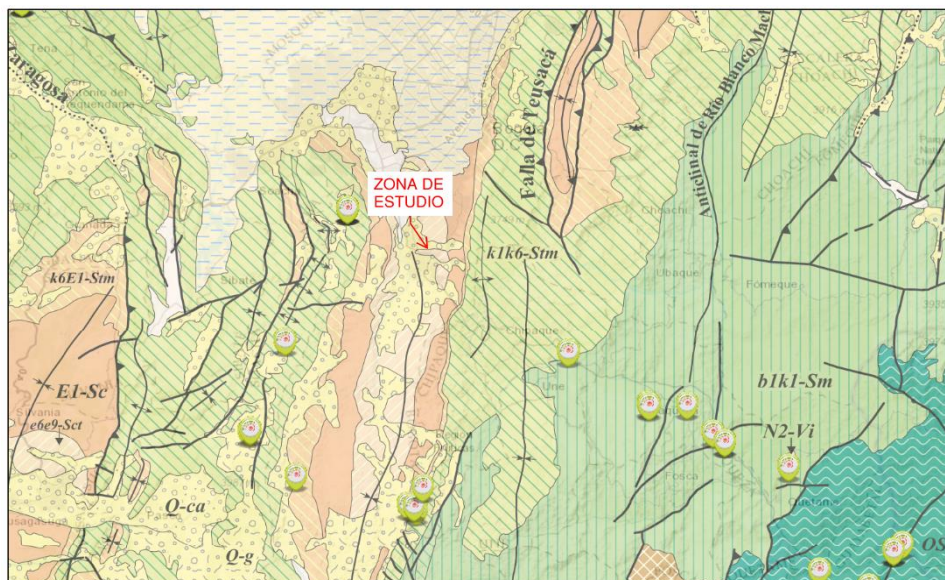
La zona tiene una probabilidad baja a intermedia de ocurrencia de avenidas y cuenta con un alto riesgo de deslizamiento en la zona norte, debido a las características topográficas y a las pendientes que se maneja, estos problemas se ven reflejados en las zonas circundantes al barrio Juan Rey, la Esperanza, la Flora, la Cabaña y Compostela, localizados al este y al noreste de la zona de estudio, en la periferia del Parque Entre Nubes. (Cruz López, 2013).

En la información encontrada en el Atlas Geológico de Colombia (2015) del Servicio Geológico Colombiano, indica que el barrio Yomasa se encuentra sobre la formación La Regadera, conformado por arenitas de grano fino a conglomeráticas, incluyendo componentes como las arcillolitas, limolitas, hierro y carbón. En las cercanías se cuentan con abanicos aluviales y depósitos coluviales al norte, y conglomerados de arenitas de grano fino a grano grueso, en conjunto con lodolitas y carbonosas.

No se encuentra sobre ningún tipo de falla, a 9.56 km hacia el noreste de la zona de estudio, se tiene la falla de Teusacá, la cual se encuentra en un estado de deslizamiento en un plano casi vertical (Barreras Cárdenas, 2020).

Figura 21

Localización de la Zona de Estudio desde el Geo portal del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC)



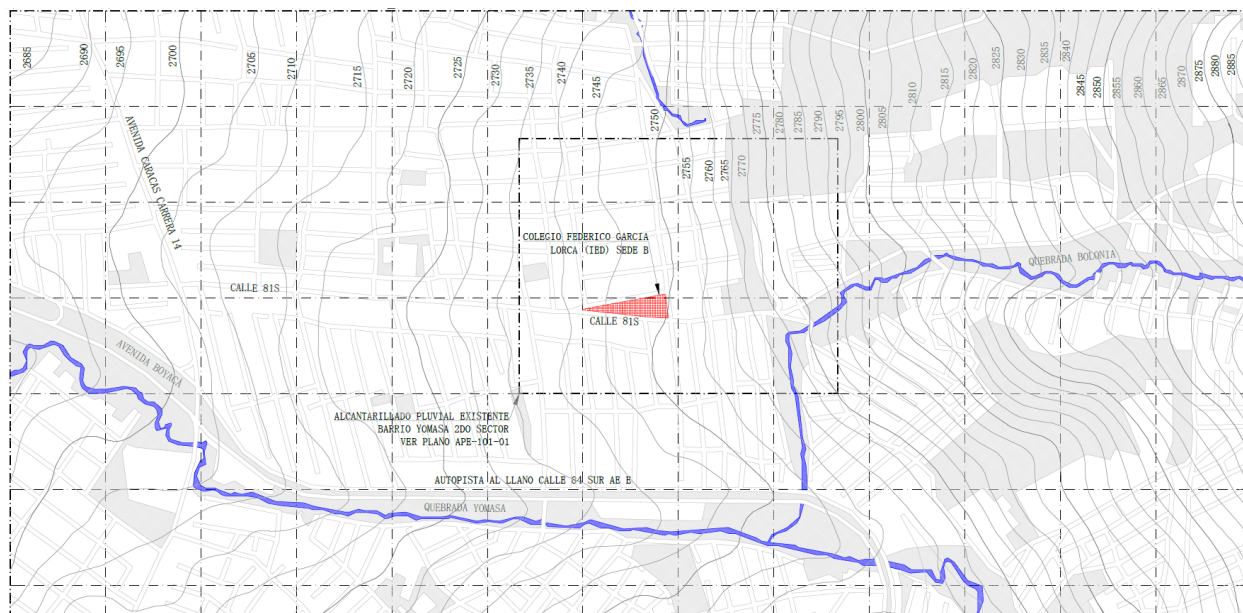
Nota. La figura muestra la ubicación del área de estudio. Se señala la zona de estudio. Adaptada de Mapa Geológico de Colombia. Servicio Geológico Colombiano. 2015. https://srvags.sgc.gov.co/JSViewer/Mapa_Geologico_colombiano_2015/

En cuanto al aspecto hídrico, cerca de la zona se tienen 3 quebradas, Yomasa, Bolonia y Santa Librada, las cuales pertenecen a la cuenca del Río Tunjuelito, con un área de extensión de 45.664 Ha, de los cuales 41.427 ha pertenecen a áreas urbanas, las 4.237 Ha restante pertenece a áreas rurales. La cuenca se divide en 3 sectores; origen del río hasta el Embalse de La regadera, del Embalse a Cantarrana y de Cantarrana hacia el río Bogotá, para el caso de estudio aplica el segundo sector. (Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, 2019).

De forma inicial se debe reconocer las fuentes hídricas de la zona, en el geo portal se identifican las quebradas que se encuentra localizadas dentro del barrio Yomasa, donde se ha evidenciado el desbordamiento de la quebrada Yomasa, Bolonia y Santa Librada, de acuerdo al video de publicado por el canal El Tiempo (2023) se visualiza la problemática anteriormente descrita, en la siguiente figura se muestra la posición de los afluentes con respecto a la zona de estudio:

Figura 22

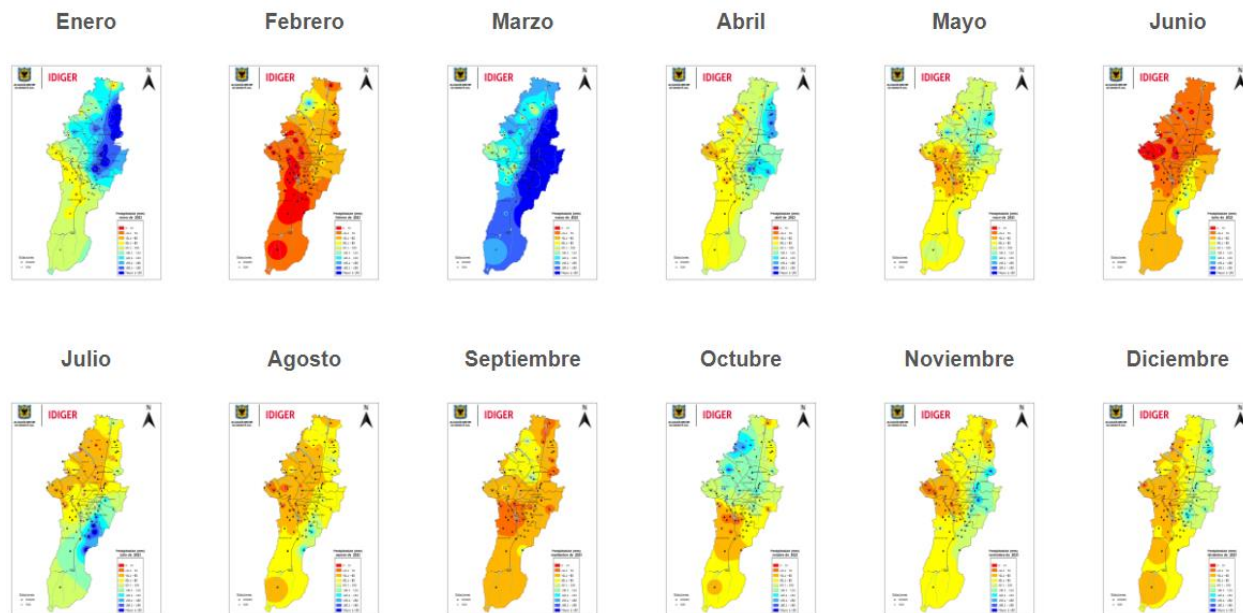
Localización General del Colegio, con la Identificación de las Fuentes Hídricas Naturales del Sector.



Nota. Ubicación Geográfica de la zona de intervención. Elaboración propia

2.2 Revisión del Estudio Hidrológico

De acuerdo con el objetivo del caso de estudio, se requiere conocer el estimado de precipitación, por lo tanto es necesario conocer los resultados arrojados por las estaciones pluviométricas que se encuentren aledañas al colegio Federico García Lorca; El instituto distrital de gestión de riesgos y cambio climático (IDIGER) cuenta con un recuento multianual de las precipitaciones presentadas en la ciudad de Bogotá, adicionalmente se presentarán datos con precisión ya que se cuenta con una estación cercana que está ubicada en el colegio Ofelia Uribe en la localidad de Usme.

Figura 23*Precipitación de la Ciudad de Bogotá por Mes Durante el Año 2023*

Nota. Recopilación de datos sobre los niveles de precipitación en el año 2023. Tomada de “Distribución espacial de la precipitación total mensual”. Sistema de alerta de Bogotá. 2023. <https://app.sab.gov.co/lluvias/faces/distribucion.xhtml>

La escala de colores de precipitación indica con colores rojos y naranja las precipitaciones que van desde 0 hasta 60 mm, los colores amarillos a verdes indican precipitaciones entre 60.1 a 120 mm y por último los azules representan precipitaciones superiores a 120.1 mm.

Se puede analizar que en la zona de estudio en los meses donde más se presentan lluvias durante el año 2023 fue en los meses de marzo y julio, con precipitaciones acumuladas que fueron desde los valores de 100 mm a más de 180 mm según la tabla de convenciones de precipitaciones; los meses de febrero, junio y septiembre demuestran periodos secos, donde las precipitaciones no superan los 60 mm mes; de esta manera representa que el resto de año se mantiene estable con precipitaciones que van desde los 60 mm a 100 mm.

Tabla 6

Precipitación del Año 2023 en la Estación Pluviométrica del Colegio Ofelia Uribe, Usme

Mes	Precipitación (mm)
Enero	75,3
Febrero	17,1
Marzo	183,9
Abril	82,5
Mayo	46,6
Junio	49,8
Julio	130,9
Agosto	83,1
Septiembre	42,4
Octubre	65,8
Noviembre	98,1
Diciembre	62,6

Nota. precipitaciones durante el 2023 estación pluviométrica del colegio Ofelia Uribe en la localidad de Usme. Tomado del Catálogo de estación Red Hidrometeorológica de Bogotá. 2013. <https://www.sire.gov.co/web/sab/informacion-hidrometeorologica>

Es necesario conocer el nivel de precipitación que pueda presentarse en la UPZ (Unidades de Planeamiento Zonal) de Gran Yomasa, para que de esta manera se conozca el estado de como quedan los linderos del terreno que rodea el colegio Federico García Lorca.

Figura 24

Estado de la Intersección de la Calle 81 con Carrera 6



Nota. Estado de la intersección, con problemas de captación de aguas, erosión del sustrato al rededor del pozo existente (P10) y acumulación de residuos sólidos desde diferentes perspectivas y hora. Elaboración Propia.

Figura 25

Estado de Las zonas Verdes del Colegio Federico García Lorca Sede B



Nota. Estado de las zonas verdes del colegio, y de la integridad de la estructura que sirve como cerramiento de la institución.

Elaboración propia

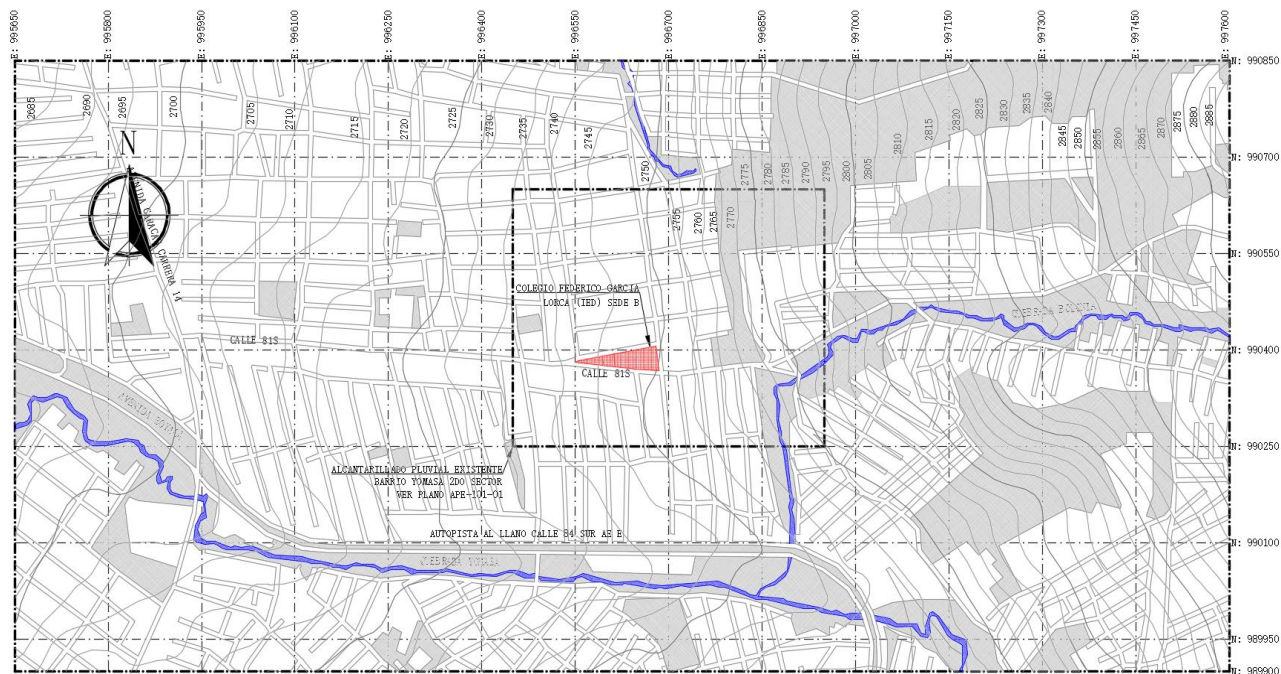
2.2.1 Recopilación de Datos

Para cumplir con el propósito del presente documento, se decide realizar un estudio al alcantarillado existente, donde se hace la selección de un área tributaria y se genera el mismo esquema de circulación de aguas lluvias como se muestra en el geo portal del acueducto, este no solo muestra los sentidos de flujo, adicionalmente el área tributable que tiene todo el sistema de alcantarillado, la cuenca, subcuenca, datos numéricos como el coeficiente de escorrentía, diámetro de colectores, las cotas rasantes, claves, bateas, fecha de actualización de los datos y material revestido, que para todos las cajas de inspección es de concreto sin refuerzo.

Se harán una serie de cálculos que cumplen con la normatividad vigente para este caso que es el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS título D, que corresponde al Sistema de Recolección y Evacuación de Aguas Residuales Domésticas y Aguas Lluvias, como también la Resolución 0330 (Ministerio de Ambiente, 2017) y la resolución 0799 (Ministerio de Ambiente, 2021).

2.2.2 Análisis del Alcantarillado Pluvial Existente

El sistema de alcantarillado pluvial aledaño al colegio Federico García Lorca Sede B cuenta con 17 sumideros, los cuales están compuestos de concreto, se encuentran distribuidos desde la calle 78S hasta la Calle 81, así mismo, desde la Carrera 4 hasta la Carrera 6, donde entrega a un emisario de otro sistema, con destino hacia la quebrada Yomasa en la intersección de la Avenida 14 Caracas, Autopista al llano Calle 84 Sur y la Avenida Boyacá, perteneciente a la cuenca del Río Tunjuelito.

Figura 26*Localización General del Colegio Federico García Lorca Sede B*

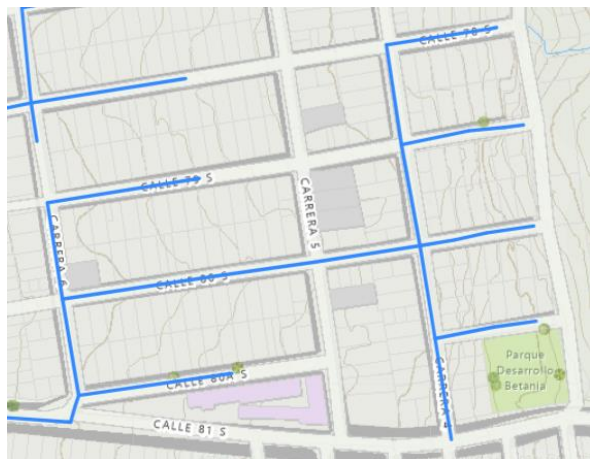
Nota. Localización general, fuentes hídricas cercanas, topografía y coordenadas. Elaboración Propia

Se identificó el sistema aledaño, de acuerdo a la información suministrada por el portal del acueducto “Alcantarillado Pluvial EAAB”, donde se delimitaron las rutas, no se tiene información ni nombres de los colectores, por lo tanto, se le asigna un consecutivo, así mismo, se identifican los sumideros.

Arriba de la cota 2755 M.S.N.M, el terreno aumenta su inclinación, por lo que genera diversos problemas en el sistema de alcantarillado pluvial, al tener mayor arrastre de sedimentos, se tiende a colapsar los sistemas y los sumideros de tipo rejilla en general, provocando una afluencia de aguas por las calzadas, restringiendo principalmente la movilidad peatonal y la vehicular.

Figura 27

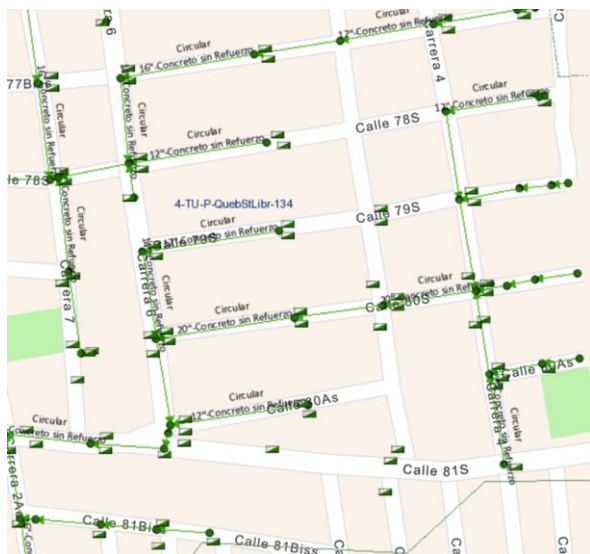
Sistema de Alcantarillado Actual en la Locación de Estudio



Nota. La figura presenta un mapa de la zona a intervenir barrio Yomasa II Sector. Se resalta la ruta del sistema de alcantarillado existente. Adaptado de <https://datosabiertos.bogota.gov.co/dataset/red-local-pluvial-bogota-d-c>

Figura 28

Sistema de Alcantarillado Actual en la Locación de Estudio



Nota. Red de alcantarillado pluvial existente en la zona, delimitación de sentidos de recuperación de aguas, ubicación de sumideros y cajas de inspección. Tomado de (<https://www.acueducto.com.co/wps/portal/EAB2/Home/acueducto-y-alcantarillado/la%20infraestructura%20de%20alcantarillado/mapasAlcantarillado>)

2.3 Cálculos y Análisis de Resultados del Sistema de Alcantarillado Pluvial Existente

Es importante conocer el funcionamiento del sistema del alcantarillado para saber si es pertinente cambiar tanto la distribución o si de lo contrario este se encuentra diseñado dentro de los parámetros de diseño del RAS en el Título y la resolución 0330 del 2017 y 0799 de 2021.

2.3.1 Coeficiente de Retardo

Según el portal Aquamarket (s/f) es una medida de la resistencia a la sedimentación o flotación de una partícula en suspensión determinada por su tamaño, forma, densidad y velocidad terminal. Relación entre la fuerza por unidad de superficie y la presión de estancamiento; es adimensional. Por consiguiente, se tiene la tabla 7, con estos datos.

Tabla 7

Coeficiente de Retardo m

Tipo de superficie	<i>m</i>
Bosque con sotobosque denso	0,70
Pastos y patios	2,00
Áreas cultivadas en surcos	2,00
Suelos desnudos	3,10
Áreas pavimentadas y tramos iniciales de quebradas	6,50

Nota. Tabla D.4.11 Coeficiente de retardo m. Tomada de “Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS. Título D”. Ministerio de Vivienda.2016.

2016.https://www.minvivienda.gov.co/sites/default/files/documentos/titulo_d.pdf

Para el caso de estudio se toma un coeficiente de **6.5** que indica una superficie de áreas pavimentadas.

2.3.2 Coeficiente de Retorno

La resolución 0330 (Ministerio de Ambiente, 2017) y 0799 (Ministerio de Ambiente, 2021) indica que es este valor se debe tomar de acuerdo con la importancia de las áreas tributarias, para temas de inundaciones que se pueda ocasionar al tráfico, habitantes y demás de las zonas, se tiene la tabla 8.

Tabla 8*Periodos de Retorno Recomendados Según el Grado de Protección del Sistema*

Características del área de drenaje	Mínimo (años)	Aceptable (años)	Recomendado (años)
Tramos iniciales en zonas residenciales con áreas tributarias menores de 2 ha	2	2	3
Tramos iniciales en zonas comerciales o industriales, con áreas tributarias menores de 2 ha	2	3	5
Tramos de alcantarillado con áreas tributarias entre 2 y 10 ha	2	3	5
Tramos de alcantarillado con áreas tributarias mayores a 10 ha	5	5	10
Canales abiertos en zonas planas y que drenan áreas mayores a 1000 ha	10	25	50
Canales abiertos en zonas montañosas (alta velocidad) o a media ladera, que drenan áreas mayores a 1000 ha	25	50	100

Nota. Tabla D.4.1 Periodos de retorno recomendados según el grado de protección del sistema. Tomada de “Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS. Título D”. Ministerio de Vivienda.2016.

https://www.minvivienda.gov.co/sites/default/files/documentos/titulo_d.pdf

En el ejercicio práctico se toma la primera opción que indica tramos iniciales en zonas residenciales con áreas tributarias menores de 2 ha, por lo tanto, el periodo de retorno recomendado por norma es de 3 años.

2.3.3 Tiempo de Concentración – Entrada

Este tiempo es el que tarda el agua en llegar desde la cuenca en el punto más alejado, hasta el colector o pozo de diseño, para tramos iniciales o sin datos de llegada se tiene en cuenta un tiempo de 15 minutos, como se muestra en el Excel de memorias de cálculos, también se cuenta con ecuación de Kerby:

$$t_e = 1.44 * \left(\frac{L * m}{\sqrt{s}} \right)^{0.467} = \text{minutos}$$

L = longitud tramo anterior o distancia de recorrido

m = Coeficiente de retardo

s = pendiente

Nota. Ecuación de Kerby para calcular el coeficiente de entrada. Adaptada del “Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS. Título "D". Ministerio de Vivienda.2016.

https://www.minvivienda.gov.co/sites/default/files/documentos/titulo_d.pdf

2.3.4 Tiempo de concentración – Recorrido

Una vez se tiene un tiempo inicial calculado, también se debe calcular el tiempo que gasta el agua lluvia desde el momento en que inicia el recorrido o punto de entrada, hasta la salida o final de la tubería. Se debe continuar calculando el tiempo de recorrido con la siguiente ecuación:

$$T_t = \frac{L}{(60 * v)}$$

Donde:

T_t = Tiempo de recorrido (min)

L = Longitud de la tubería o tramo de red (m)

v = Velocidad media del flujo (m/s)

Nota. Ecuación para calcular el tiempo de concentración (Recorrido). Adaptada de “Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS. Título D". Ministerio de Vivienda.2016.

https://www.minvivienda.gov.co/sites/default/files/documentos/titulo_d.pdf

2.3.5 Coeficiente de escorrentía

Este coeficiente se determina de acuerdo al tipo de suelo, o el uso de suelo donde se está trabajando el sistema de alcantarillado.

Tabla 9*Datos del Coeficiente de Escorrentía por Tipo de Superficie*

Tipo de superficie	C
Cubiertas	0,90
Pavimentos asfálticos y superficies de concreto	0,90
Vías adoquinadas	0,80
Zonas comerciales o industriales	0,90
Residencial, con casas contiguas, predominio de zonas duras	0,70
Residencial multifamiliar, con bloques contiguos y zonas duras entre estos	0,70
Residencial unifamiliar, con casas contiguas y predominio de jardines	0,60
Residencial, con casas rodeadas de jardines o multifamiliares apreciablemente separados	0,40
Residencial, con predominio de zonas verdes y parques-cementerios	0,30
Laderas sin vegetación	0,60
Laderas con vegetación	0,30
Parques recreacionales	0,30

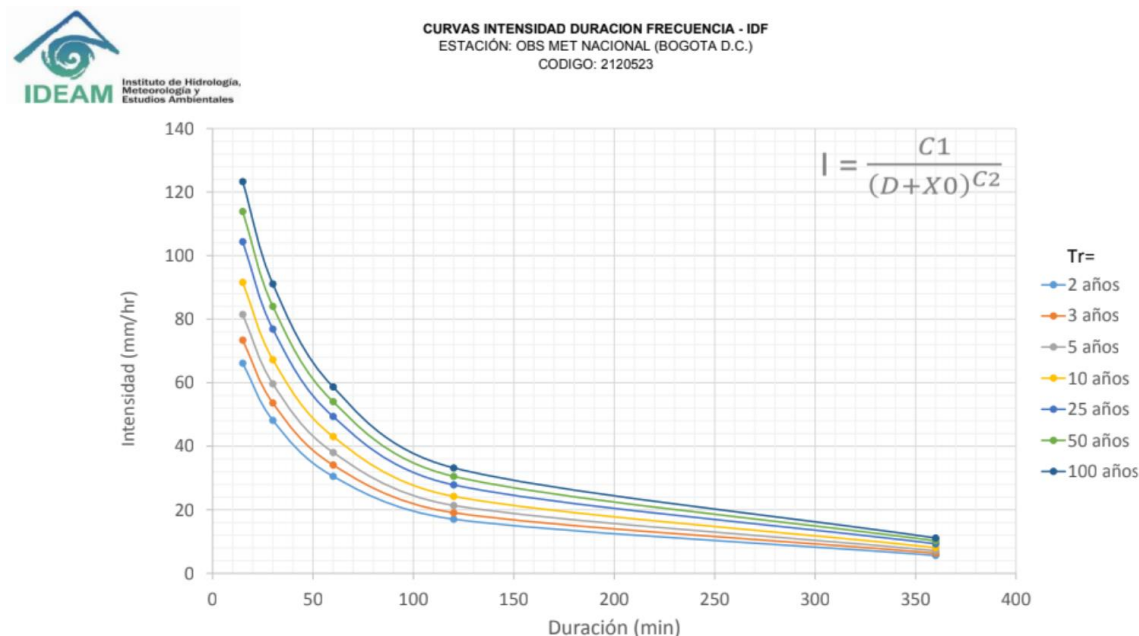
Nota. Tabla D.4.7 Coeficiente de impermeabilidad. Tomada de “Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS. Título D”. Ministerio de Vivienda.2016.

https://www.minvivienda.gov.co/sites/default/files/documentos/titulo_d.pdf

En el diseño de alcantarillado original según el geo portal del acueducto, el coeficiente era de 0.62, pero teniendo en cuenta el cumplimiento de la normativa RAS y resolución 0330 y 0799, se toma el 0.75 que corresponde a residencial, con casas contiguas, teniendo un porcentaje predominante de zonas duras.

2.3.6. Intensidad de Precipitación

Este es importante para calcular el caudal de aguas lluvias, en el caso del método racional se debe utilizar las curvas de IDF Intensidad - duración – frecuencia de la zona.

Figura 29*Curvas de Intensidad - Duración - Frecuencia (IDF)*

TR (años)	C1	X0	C2
2	6343.361	33.417	1.176
3	7077.232	33.889	1.175
5	7913.103	34.348	1.174
10	8984.033	34.840	1.173
25	10361.209	35.358	1.173
50	11395.816	35.682	1.173
100	12431.185	35.964	1.173

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

Datos Técnicos

Ventana de información:

Datos de intensidades ajustados a:

Parámetros estimados con el método de:

Fecha de Actualización:

Abreviaturas y Unidades

TR: Período de retorno (años)

D: Duración (minutos)

I: Intensidad de Precipitación (mm/h)

Fecha de reporte: Marzo 15 de 2017

1962 a 1993

Distribución de probabilidad Gumbel

L-Momentos

Diciembre de 2016

Años empleados

31

Actualizado por:

Grupo de Investigación en Ingeniería de los Recursos Hídricos (GIREH), de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá. Contrato 113 de 2016.

Nota. Curva IDF. Tomado de "CURVAS INTENSIDAD DURACIÓN FRECUENCIA ¿IDF". IDEAM. (s/f)

<http://www.ideam.gov.co/curvas-idf>

2.3.7 Caudal de diseño

Se requiere calcular el caudal de diseño, para determinar los diámetros de las tuberías del sistema existente, los resultados obtenidos están en unidades de l/s y se hace la conversión a m³/s, se usa la siguiente ecuación:

$$Q = 2.78 * C * I * A$$

C = coeficiente de escorrentía

I = Intensidad

A = Áreas tributarias

Nota. Ecuación para calcular el caudal de diseño. Adaptada de “Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS. Título D”. Ministerio de Vivienda.2016.

https://www.minvivienda.gov.co/sites/default/files/documentos/titulo_d.pdf

2.3.7 Pendiente

Se debe calcular la inclinación longitudinal que deben tener los tramos de tubería, por lo tanto, se relacionan las diferencias topográficas con la distancia, con la siguiente formula:

$$S = \frac{\text{Cota entrada} - \text{Cota de llegada}}{\text{Longitud tramo}} \geq 2\%$$

Nota. Ecuación para calcular la pendiente. Adaptada de “Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS. Título D”. Ministerio de Vivienda.2016. https://www.minvivienda.gov.co/sites/default/files/documentos/titulo_d.pdf

El valor de la pendiente **S** debe ser mayor o igual al 2% en función de los materiales de la tubería, siempre y cuando cumpla con los valores mínimos y máximos de las velocidades del flujo.

2.3.8. Diámetro a tubo Lleno

Una vez obtenida la pendiente entre tramos, se debe realizar la búsqueda de los diámetros de las tuberías que llevarán estas aguas, para ello se usó la ecuación de Manning:

$$D_o = \left(\frac{Q\eta}{0,312\sqrt{S}} \right)^{\frac{3}{8}}$$

Por lo tanto,

Q = Caudal de diseño

n = rugosidad (en este caso se toma 0.013 para tubería de PVC).

S = pendiente

Nota. Ecuación para calcular el diámetro a tubo lleno. Adaptada de “Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y

Saneamiento Básico - RAS. Título D”. Ministerio de Vivienda.2016.

https://www.minvivienda.gov.co/sites/default/files/documentos/titulo_d.pdf

Es importante que siempre que se obtenga el diámetro, este se deberá llevar a la cifra de diámetro comercial por encima del resultado obtenido.

En la tabla 10, se evidencian los diámetros y los datos usados dentro del proyecto, estimando que se tendrían tuberías a partir de 8” hasta 40”.

Tabla 10

Diámetros Comerciales

Pulgadas	Metros	Centímetros	Milímetros	Área m ²	Área cm ²	Área mm ²
6 "	0,152 m	15,240 cm	152,400 mm	0,018	182,415	18241,469
8 "	0,203 m	20,320 cm	203,200 mm	0,032	324,293	32429,279
10 "	0,254 m	25,400 cm	254,000 mm	0,051	506,707	50670,748
12 "	0,305 m	30,480 cm	304,800 mm	0,073	729,659	72965,877
14 "	0,356 m	35,560 cm	355,600 mm	0,100	993,147	99314,666
16 "	0,406 m	40,640 cm	406,400 mm	0,129	1297,171	129717,115
18 "	0,457 m	45,720 cm	457,200 mm	0,164	1641,732	164173,223
20 "	0,508 m	50,800 cm	508,000 mm	0,203	2026,830	202682,992
22 "	0,559 m	55,880 cm	558,800 mm	0,245	2452,464	245246,420
24 "	0,610 m	60,960 cm	609,600 mm	0,292	2918,635	291863,508
26 "	0,660 m	66,040 cm	660,400 mm	0,342	3425,343	342534,256
28 "	0,711 m	71,120 cm	711,200 mm	0,397	3972,587	397258,664
30 "	0,762 m	76,200 cm	762,000 mm	0,456	4560,367	456036,731
32 "	0,813 m	81,280 cm	812,800 mm	0,519	5188,685	518868,459
34 "	0,864 m	86,360 cm	863,600 mm	0,586	5857,538	585753,846
36 "	0,914 m	91,440 cm	914,400 mm	0,656	6566,929	656692,893
38 "	0,965 m	96,520 cm	965,200 mm	0,731	7316,856	731685,600
40 "	1,016 m	101,600 cm	1016,000 mm	0,811	8107,320	810731,967

Nota. Diámetros comerciales. elaboración propia

2.3.9 Caudal a Tubo Lleno

Al tener el diámetro comercial de acuerdo a la unidad establecida, se debe realizar el cálculo del caudal real, mediante la ecuación de Manning.

$$Q_o = 0.312 * D^{3/8} * \frac{\sqrt{S}}{n}$$

Donde:

Q_o = Caudal de diseño real

n = Rugosidad (0.013 para PVC)

S = Pendiente

Nota. Ecuación de Manning para calcular el diámetro a tubo lleno. Adaptada de “Reglamento Técnico del Sector de Agua

Potable y Saneamiento Básico - RAS. Título D”. Ministerio de Vivienda.2016.

https://www.minvivienda.gov.co/sites/default/files/documentos/titulo_d.pdf

2.3.10. Relaciones Hidráulicas

Para obtener las relaciones hidráulicas a partir del cociente de la división del Caudal Q sobre el Caudal a tubo lleno:

$$\frac{Q}{Q_o}$$

Nota. Ecuación para calcular el valor en las tablas de relaciones hidráulicas. Adaptada de “Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS. Título D”. Ministerio de Vivienda.2016.

https://www.minvivienda.gov.co/sites/default/files/documentos/titulo_d.pdf

De acuerdo con el resultado que se obtenga que debe estar entre la gama de valores: 0.01 Hasta 1.02 se ingresa a una tabla de relaciones, de la siguiente forma:

Tabla 11*Tabla de Relaciones Hidráulicas*

Q/Q_0	REL	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
0,0	V/V_0	0,000	0,292	0,362	0,400	0,427	0,453	0,473	0,492	0,505	0,520
0,0	d/D	0,000	0,092	0,124	0,148	0,165	0,182	0,196	0,210	0,220	0,232
0,0	R/R_0	0,000	0,239	0,315	0,370	0,410	0,449	0,481	0,510	0,530	0,554
0,0	H/D	0,000	0,041	0,670	0,086	0,102	0,116	0,128	0,140	0,151	0,161
0,0	τ/τ_0	0,000	0,195	0,273	0,328	0,375	0,415	0,452	0,485	0,515	0,542
0,1	V/V_0	0,540	0,553	0,570	0,580	0,590	0,600	0,613	0,624	0,634	0,645
0,1	d/D	0,248	0,258	0,270	0,280	0,289	0,298	0,308	0,315	0,323	0,334
0,1	R/R_0	0,586	0,606	0,630	0,650	0,668	0,686	0,704	0,716	0,729	0,748
0,1	H/D	0,170	0,179	0,188	0,197	0,205	0,213	0,221	0,229	0,236	0,244
0,1	τ/τ_0	0,568	0,592	0,615	0,637	0,658	0,678	0,697	0,715	0,732	0,748

Nota. Cálculos de relación. Elaboración propia

Al identificar el valor en la columna Q/Q_0 se busca el valor del segundo decimal en las filas (Amarillo en la tabla 10). Por lo tanto, si la relación de caudal de diseño y tubo lleno arrojó 0.75 se debe leer según la tabla 12.

Tabla 12*Ejemplo de Lectura de las Relaciones Hidráulicas*

Q/Q_0	REL	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
0,5	d/D	0,563	0,570	0,576	0,582	0,588	0,594	0,601	0,608	0,615	0,620
0,5	R/R_0	1,079	1,087	1,094	1,100	1,107	1,113	1,121	1,125	1,129	1,132
0,5	H/D	0,458	0,465	0,472	0,479	0,487	0,494	0,502	0,510	0,518	0,526
0,5	τ/τ_0	1,074	1,080	1,087	1,083	1,100	1,106	1,112	1,118	1,124	1,129
0,6	V/V_0	0,900	0,903	0,908	0,913	0,918	0,922	0,927	0,931	0,936	0,941
0,6	d/D	0,626	0,632	0,639	0,645	0,651	0,658	0,666	0,672	0,678	0,686
0,6	R/R_0	0,136	1,139	1,143	1,147	1,151	1,155	1,160	1,163	1,167	1,172
0,6	H/D	0,534	0,542	0,550	0,559	0,568	0,576	0,585	0,595	0,604	0,614
0,6	τ/τ_0	1,135	1,140	1,145	1,150	1,155	1,159	1,164	1,168	1,173	1,177
0,7	V/V_0	0,945	0,951	0,955	0,958	0,961	0,965	0,969	0,972	0,975	0,980
0,7	d/D	0,692	0,699	0,705	0,710	0,719	0,724	0,732	0,738	0,743	0,750
0,7	R/R_0	1,175	1,179	1,182	1,184	1,188	1,190	1,193	1,195	1,197	1,200
0,7	H/D	0,623	0,633	0,644	0,654	0,665	0,677	0,688	0,700	0,713	0,725
0,7	τ/τ_0	1,181	1,184	1,188	1,191	1,194	1,197	1,200	1,202	1,205	1,207

Nota. Elaboración propia

2.3.11 Velocidad a Tubo Lleno – V_o

Primero se halla la velocidad de la tubería, y después se hace despeje de la relación hidráulica V/V_o para obtener la velocidad del fluido. Para el tubo se requiere hacer la siguiente ecuación de despeje:

$$V_o = \frac{Q_o}{A_o} = \frac{Q_o}{\frac{\pi * D^2}{4}}$$

Donde:

V_o = Velocidad

Q_o = Caudal de diseño real

A_o = Área real

D = Diámetro

Nota. Ecuación para cálculo de velocidad a tubo lleno. Adaptada de “Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS. Título D”. Ministerio de Vivienda.2016.

https://www.minvivienda.gov.co/sites/default/files/documentos/titulo_d.pdf

Una vez hecho esto lo que se debe hacer es multiplicar el valor obtenido en el V/V_o por el resultado de V_o , teniendo ya la velocidad se debe validar que esta cumpla con lo que solicita la norma, debe estar entre 0.75 m/s a 5 m/s, esta puede aumentar hasta un máximo de 10 m/s desde que la pendiente obtenida sea mayor al 30% y dependerá del material de la tubería, se deberá tomar el mínimo valor y volver a recalcular el caudal, en ninguna de las alternativas tomadas se dio alguna de las anteriores limitaciones de la norma.

2.3.12. Profundidad de la Lámina de Agua – d

En este punto, se debe hacer el despeje de la relación obtenida d/D_o , pero antes es preciso validar que este valor obtenido de la tabla no sea mayor a 0.93, ya que la norma lo define como un coeficiente de retorno de aguas residuales, donde indica que para un nivel de complejidad del sistema medio alto se tome dicho valor como máximo.

Este tipo de eventos se dieron durante la realización de la memoria de cálculo, donde allí mismo se deja con notas evidencias de esto, y la solución para este percance es el aumento del diámetro de la tubería hasta que cumpla el criterio, y seguido de esto volver a calcular caudal lleno, velocidad llena, área llena y demás valores. Para el despeje de d , se debe multiplicar el valor obtenido en la tabla por el valor del diámetro en metros (D_o).

2.3.13 Radio Hidráulico – R

Para obtener este valor R/R_o , se debe hacer primero que todo determinar el valor R_o , este se obtiene de la división de $D_o/4$, obteniendo este valor se procedió a multiplicar el valor obtenido en la tabla de relaciones por el de la división, arrojando un resultado en metros.

2.3.14 Profundidad Hidráulica – H

Esta se obtiene haciendo despeje de la relación H/D , donde básicamente se debe multiplicar el valor obtenido en la tabla de relaciones por el diámetro en metros (D_o).

2.3.15 Fuerza Tractiva - T

Para determinar este valor es necesario tener en cuenta primero que todo que la norma aclara que el resultado del mismo debe ser mayor a 0.20 kg/m^2 , este valor será dado en unidades de kg/cm^2 , adicional a esto en la memoria de cálculos se evidencia que ninguno de los valores de t presento ningún inconveniente en el momento de ser hallado, ahora bien, este valor se obtiene primero conociendo el valor de t_o , así:

$$t_o = 250 (S = \text{pendiente}) (D = \text{diámetro}) = \text{kg/cm}^2$$

Obteniendo el valor anterior, se multiplica por la relación hidráulica y ese sería el valor de t (tau).

2.3.16. Energía Específica – E

Para obtener el valor de la energía específica, se hizo uso de la siguiente ecuación:

$$E = d + \frac{V^2}{2g}$$

Donde:

$E =$ Energía

$V =$ Velocidad del fluido

$d =$ Profundidad de la lámina de agua

$g =$ Gravedad (9.81 m/s^2)

Nota. Ecuación para cálculo de la energía. Adaptada de “Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS. Título D”. Ministerio de Vivienda.2016.

https://www.minvivienda.gov.co/sites/default/files/documentos/titulo_d.pdf

2.3.17. Número de Froude – NF

Este número se obtiene de la aplicación de la siguiente ecuación:

$$NF = \frac{V}{\sqrt{Hg}}$$

Donde:

$NF =$ Número de Froude

$V =$ Velocidad del fluido

$H =$ Profundidad hidraulica

$g =$ Gravedad (9.81 m/s^2)

Este valor se requiere, ya que hace parte de conocer el régimen de flujo que viaja entre tramos de tuberías de pozo a pozo, es decir, subcrítico, crítico y supercrítico. La norma indica que se debe trabajar ya sea con valores de subcrítico o supercrítico, en el caso de las memorias de cálculo, todas las alternativas en todos sus tramos dan valores de supercrítico, teniendo una excepción donde da valores subcríticos. ($NF < 1 =$ Subcrítico; $NF = 1 =$ Crítico; $NF > 1 =$ Supercrítico) según Calderón Celedón (2014).

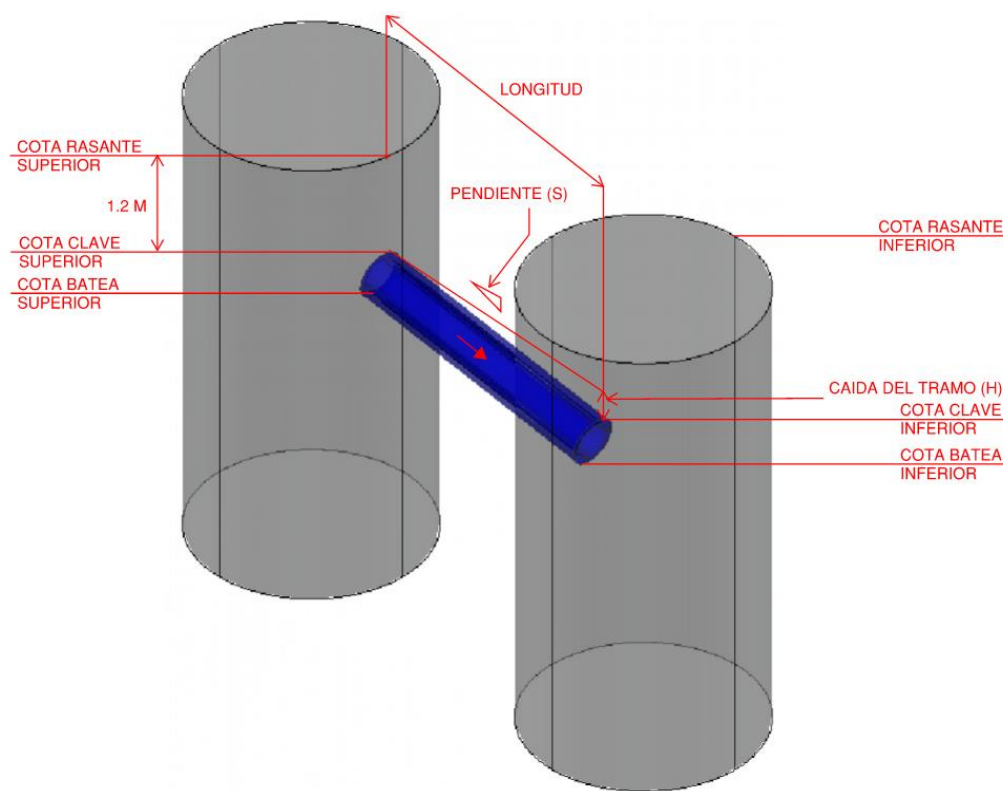
Cuando se cumpla la tercera condición ($NF > 1$) es obligatorio que el pozo de inspección tenga cámara de caída, esta es una medida que se adopta para disminuir las velocidades del flujo.

2.3.18. Cálculo de Cotas

Se deben realizar los cálculos para determinar la elevación de los diferentes puntos de la tubería, estos sirven para realizar los cálculos, y para determinar las condiciones de construcción del sistema de alcantarillado pluvial, según la imagen 30.

Figura 30

Diagrama de Cotas de un Tramo de Alcantarillado Pluvial



Las fórmulas para el cálculo de las cotas son las siguientes:

$$\text{Caída del tramo } H (m) = S * L$$

$$\text{Cota clave superior} = \text{Cota rasante Salida} - 1.2m$$

$$\text{Cota clave inferior} = \text{Cota rasante Llegada} - \text{Caída del tramo}$$

$$\text{Cota batea superior} = \text{cota clave superior} - \text{Diámetro } (m)$$

$$\text{Cota batea inferior} = \text{cota clave inferior} - \text{Diámetro } (m)$$

$$\text{Cota lámina de agua superior} = \text{Cota batea superior} + \text{prof. lámina de agua } (d)$$

$$\text{Cota lámina de agua inferior} = \text{Cota batea inferior} + \text{prof. lámina de agua } (d)$$

$$\text{Cota energía superior} = \text{Cota batea superior} + \text{energía } (E)$$

$$\text{Cota energía inferior} = \text{Cota batea inferior} + \text{energía } (E)$$

$$\text{Cota a } \frac{1}{2} \text{ batea superior} = \text{Cota rasante salida} - \text{cota batea superior}$$

$$\text{Cota a } \frac{1}{2} \text{ batea inferior} = \text{Cota rasante llegada} - \text{cota batea inferior}$$

Nota. Elaboración propia / Ecuaciones para cálculo de las cotas por tramos. Adaptada de “Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS. Título D”. Ministerio de Vivienda.2016.

https://www.minvivienda.gov.co/sites/default/files/documentos/titulo_d.pdf

3.3.19. Profundidad del Tramo

Esta se obtiene de la aplicación del promedio entre los resultados obtenidos en las ½ cotas bateas.

$$prof. = \frac{Cota \ 1/2 \ batea \ sup. + Cota \ 1/2 \ batea \ inf.}{2}$$

Nota. Ecuación para cálculo de profundidad del tramo. Adaptada de “Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS. Título D”. Ministerio de Vivienda.2016.

https://www.minvivienda.gov.co/sites/default/files/documentos/titulo_d.pdf

Para el empate de las tuberías, se hace en el momento en que a un pozo le llegan 2 tuberías, es necesario hacerlo, para conocer las cotas de como quedaría ubicada la salida al siguiente pozo. Lo primero que se debe hacer es sumar todas las áreas que llegan a él y hallar el caudal de diseño, seguido de esto se debe generar una cota clave, la cual es:

$$Cota \ clave \ superior = Cota \ rasante \ Salida - 1.2m$$

Nota. Ecuación para cálculo de profundidad del tramo hasta la cota clave. Adaptada de “Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS. Título D”. Ministerio de Vivienda.2016.

https://www.minvivienda.gov.co/sites/default/files/documentos/titulo_d.pdf

Luego se realiza el promedio de las cotas superiores e inferiores.

2.3.20. Empates por Energía

De tramos adyacentes, se toma el menor valor de la energía, al identificar el menor valor, se toma la velocidad de ese tramo, para calcular las pérdidas de energía debido a la fricción:

$$hf = 0.2 * \left(\frac{V_2^2}{2g} - \frac{V_1^2}{2g} \right)$$

Donde:

hf = Pérdida de energía

V_2^2 = Velocidad del tramo con menor energía

V_1^2 = Velocidad del tramo con mayor energía

g = Gravedad (9.81 m/s^2)

Nota. Ecuación para cálculo de pérdida de energía. Adaptada de “Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y

Saneamiento Básico - RAS. Título D”. Ministerio de Vivienda.2016.

https://www.minvivienda.gov.co/sites/default/files/documentos/titulo_d.pdf

2.4. Recopilación de datos

La siguiente tabla muestra los datos recopilados para y que se usaron en su totalidad para tratar temas del sistema de alcantarillado en el estado actual, sin modificaciones; es preciso reconocer que es un paso importante para poder determinar el modo de proceder ante la situación que se presenta en los linderos del Colegio Federico García Lorca.

Se elabora la numeración en cada uno de los tramos, que son los conectores de caja a caja de inspección, así mismo como la longitud de tramo el área tributaria tanto en metros cuadrados (m^2) como hectáreas, es de donde se asume se recogerán las aguas lluvias, el coeficiente de escorrentía que se encuentra detallado en el numeral 3.3.6.

Tabla 13*Tabla de Datos Básicos para Realizar los Cálculos*

TRAMO N°	POZO ENTRADA	POZO LLEGADA	LONGITUD DADA	ÁREA PROPIA	ÁREA	Coef. Escorrentía	Σ ÁREAS	C. Escorr. Nuevo
1	1	2	59,829 m	0,000 m ²	0,000 Ha	0,75	0,000 Ha	0,750
2	2	3	52,274 m	3350,526 m ²	0,335 Ha	0,75	0,335 Ha	0,750
3	3	4	54,557 m	3451,265 m ²	0,345 Ha	0,75	1,164 Ha	0,750
4	4	5	54,872 m	1524,591 m ²	0,152 Ha	0,75	1,317 Ha	0,750
5	5	6	47,272 m	2269,803 m ²	0,227 Ha	0,75	1,544 Ha	0,750
6	6	7	84,884 m	1111,485 m ²	0,111 Ha	0,75	1,655 Ha	0,750
7	7	8	42,692 m	4016,703 m ²	0,402 Ha	0,75	2,476 Ha	0,750
8	8	9	2,500 m	3753,099 m ²	0,375 Ha	0,75	3,466 Ha	0,750
9	9	10	5,679 m	119,892 m ²	0,012 Ha	0,75	3,478 Ha	0,750
10	11	12	53,142 m	274,550 m ²	0,027 Ha	0,75	0,027 Ha	0,750
11	12	4	39,851 m	1522,943 m ²	0,152 Ha	0,75	0,180 Ha	0,750
12	13	14	84,683 m	1239,406 m ²	0,124 Ha	0,75	0,124 Ha	0,750
13	14	7	50,076 m	4190,428 m ²	0,419 Ha	0,75	0,543 Ha	0,750
14	15	3	56,698 m	4842,695 m ²	0,484 Ha	0,75	0,484 Ha	0,750
15	16	12	49,921 m	0,000 m ²	0,000 Ha	0,75	0,000 Ha	0,750
16	17	8	87,927 m	6153,731 m ²	0,615 Ha	0,75	0,615 Ha	0,750

Nota. Elaboración propia

Una vez realizados todo el diseño del alcantarillado del tramo detallado anteriormente, se obtienen las siguientes tablas de resultados que se mostraran a continuación; se conocen cotas de entrada de tubería, así como su cota de llegada; estas están dadas de los datos iniciales, puesto que es desde el punto donde se origina el diseño de alcantarillado hasta el punto donde termina y/o donde llega a la siguiente caja de inspección en cada uno de los tramos; la pendiente de inclinación del terreno y tubería, donde claramente se aprecia el funcionamiento netamente a gravedad del sistema, el diámetro de la tubería el cual se mantiene entre 10" que es el diámetro mínimo, 14" y 18" que fue el mayor diámetro de tubería tomado en todo el sistema pluvial estudiado, adicionalmente por la intensidad de la pendiente que se maneja en este sistema, el número de Froude indica un sistema supercrítico, por lo cual todos los tramos deberán tener cámara de caída para la disminución de la velocidad del agua.

Tabla 14*Tabla de Datos, Cotas, Pendientes y Diámetros*

Tramo	Pozo entrada	Pozo llegada	Eje	Cota Entrada	Cota Llegada	Pendiente	Diámetro (In)	Diámetro (m)	Camara De Caída Por Froud
1	1	2	Principal	2763,706	2754,769	14,90%	10"	0,254 m	Si
2	2	3	Principal	2754,769	2754,173	2,00%	10"	0,254 m	Si
3	3	4	Principal	2754,173	2753,853	2,00%	14"	0,356 m	Si
4	4	5	Principal	2753,853	2749,389	8,10%	14"	0,356 m	Si
5	5	6	Principal	2749,389	2746,514	6,10%	14"	0,356 m	Si
6	6	7	Principal	2746,514	2741,684	5,70%	14"	0,356 m	Si
7	7	8	Principal	2741,684	2741,41	2,00%	18"	0,457 m	Si
8	8	9	Principal	2741,41	2741,329	3,20%	18"	0,457 m	Si
9	9	10	Principal	2741,329	2741,165	2,90%	18"	0,457 m	Si
10	11	12	Primero	2762,951	2754,935	15,10%	10"	0,254 m	Si
11	12	4	Primero	2754,935	2753,853	2,70%	10"	0,254 m	Si
12	13	14	Segundo	2746,821	2741,462	6,30%	10"	0,254 m	Si
13	14	7	Segundo	2741,462	2741,684	2,00%	10"	0,254 m	Si
14	15	3	Tercero	2763,646	2754,173	16,70%	10"	0,254 m	Si
15	16	12	Cuarto	2756,024	2754,935	2,20%	10"	0,254 m	Si
16	17	8	Quinto	2747,669	2741,41	7,10%	10"	0,254 m	Si

Nota. Elaboración propia

Se obtiene resultados de cotas de la tubería, teniendo en cuenta no solo como se ubicará la tubería en terreno con cotas como lo son la caída del tramo, las cotas claves y bateas, sino también el manejo del agua con las cotas de láminas, ya que el sistema de alcantarillado se debe diseñar como un sistema a superficie libre.

Tabla 15*Tabla de Datos de Cotas*

Tramo	Pozo entrada	Pozo llegada	Caida De Tramo	Clave Superior	Clave Inferior	Batea Superior	Batea Inferior	Lámina Superior	Lámina Inferior
1	1	2	8,915	2762,506	2753,591	2762,252	2753,337	2762,283	2753,368
2	2	3	1,045	2753,569	2752,524	2753,315	2752,27	2753,471	2752,426
3	3	4	1,091	2752,767	2751,676	2752,411	2751,32	2752,7	2751,609
4	4	5	4,445	2752,447	2748,002	2752,091	2747,646	2752,28	2747,835
5	5	6	2,884	2748,189	2745,305	2747,833	2744,949	2748,07	2745,186
6	6	7	4,838	2745,314	2740,476	2744,958	2740,12	2745,195	2740,357
7	7	8	0,854	2740,277	2739,423	2739,82	2738,966	2740,181	2739,327
8	8	9	0,08	2740,007	2739,927	2739,55	2739,47	2739,943	2739,863
9	9	10	0,165	2740,129	2739,964	2739,672	2739,507	2740,083	2739,918
10	11	12	8,024	2761,751	2753,727	2761,497	2753,473	2761,528	2753,504
11	12	4	1,076	2753,537	2752,461	2753,283	2752,207	2753,383	2752,307
12	13	14	5,335	2745,621	2740,286	2745,367	2740,032	2745,436	2740,101
13	14	7	1,002	2740,262	2739,26	2740,008	2739,006	2740,224	2739,222
14	15	3	9,469	2762,446	2752,977	2762,192	2752,723	2762,298	2752,829
15	16	12	1,098	2754,824	2753,726	2754,57	2753,472	2754,616	2753,518
16	17	8	6,243	2746,469	2740,226	2746,215	2739,972	2746,369	2740,126

Nota. Elaboración propia

Para finalizar con los resultados obtenidos, se obtienen las profundidades de las tuberías en cada uno de sus tramos, alcanzando un máximo de profundidad de 16.497 m en el tramo 9, que es el encargado de entregar las aguas lluvias al P10, y una profundidad mínima de 1.443 m el cual está dentro de los parámetros normales, ya que según la norma RAS y la resolución 0330 y 0799 la profundidad mínima de tubería enterrada debe ser de 1.2 m.

Tabla 16*Tabla de Datos de Cotas de Energía, Bateas y Profundidad Promedio del Tramo*

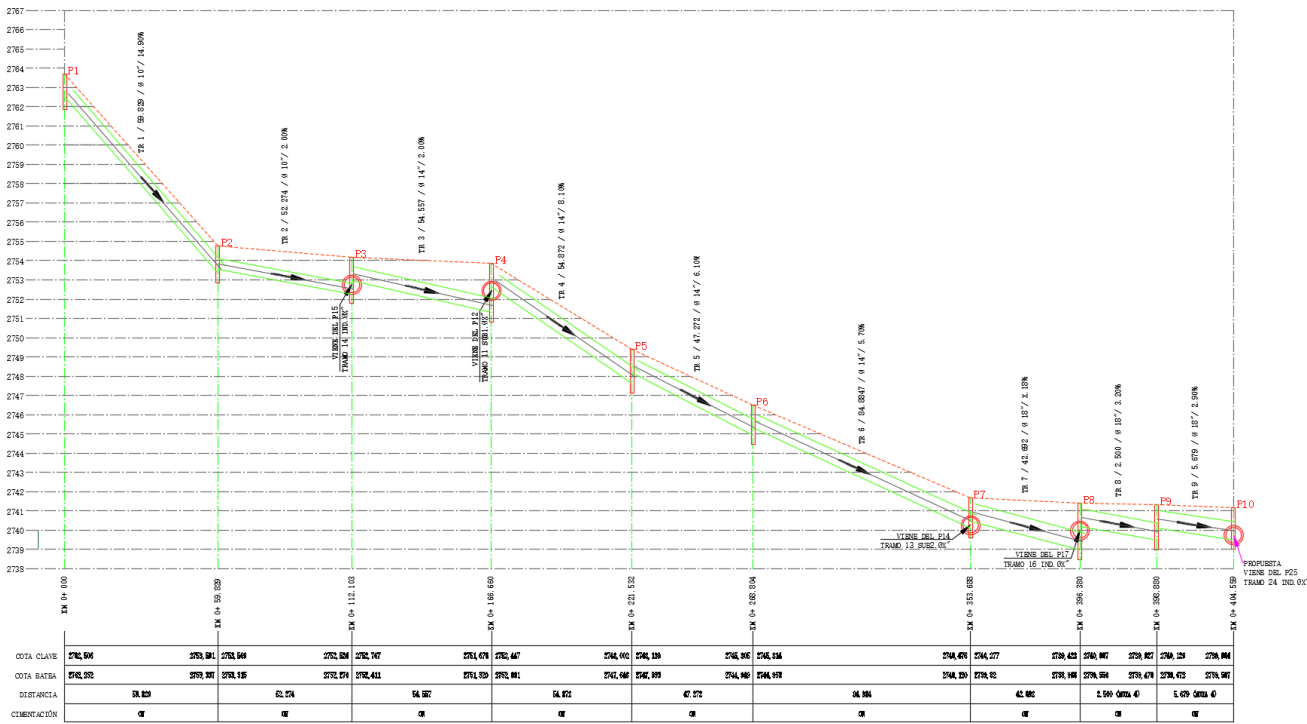
Tramo	Pozo entrada	Pozo llegada	Energía Superior	Energía Inferior	1/2 Batea Sup.	1/2 Batea Inf.	Prof. Tramo	Σ Prof.	Dif Bateas
1	1	2	2762,431	2753,516	1,454	1,432	1,443	1,443	8,915
2	2	3	2753,591	2752,546	1,454	1,903	1,6785	3,1215	1,045
3	3	4	2752,943	2752,943	1,762	1,762	2,533	5,6545	1,091
4	4	5	2752,932	2748,487	1,762	1,743	1,7525	7,407	4,445
5	5	6	2748,693	2745,809	1,5605	1,556	1,565	8,972	2,884
6	6	7	2745,779	2740,941	1,56	1,556	1,564	10,536	4,838
7	7	8	2740,518	2739,664	2,154	1,864	2,444	12,98	0,854
8	8	9	2740,512	2740,432	1,8595	1,86	1,859	14,839	0,08
9	9	10	2740,608	2740,443	1,6575	1,657	1,658	16,497	0,165
10	11	12	2761,677	2753,653	1,454	1,462	1,458	1,458	8,024
11	12	4	2753,483	2752,407	1,652	1,646	1,649	3,107	1,076
12	13	14	2745,591	2740,256	1,454	1,43	1,442	1,442	5,335
13	14	7	2740,384	2739,382	1,454	2,678	2,066	3,508	1,002
14	15	3	2762,953	2753,484	1,454	1,45	1,452	1,452	9,469
15	16	12	2754,65	2753,552	1,454	1,463	1,4585	1,4585	1,098
16	17	8	2746,787	2740,544	1,454	1,438	1,446	1,446	6,243

Nota. Elaboración propia

Se desarrollan las planimetrías para comparar y verificar los puntos donde se puedan presentar inconvenientes con los trazados existentes. Se divide la malla de alcantarillado en 6 tramos, 1 principal (Máx. Extenso) y 5 tramos secundarios o independientes, no se identifican tramos a contra flujo, en la información previamente recolectada no se confirman los diámetros de las tuberías, por lo que se supone que el diseño actual contempla la normativa del RAS.

Figura 31

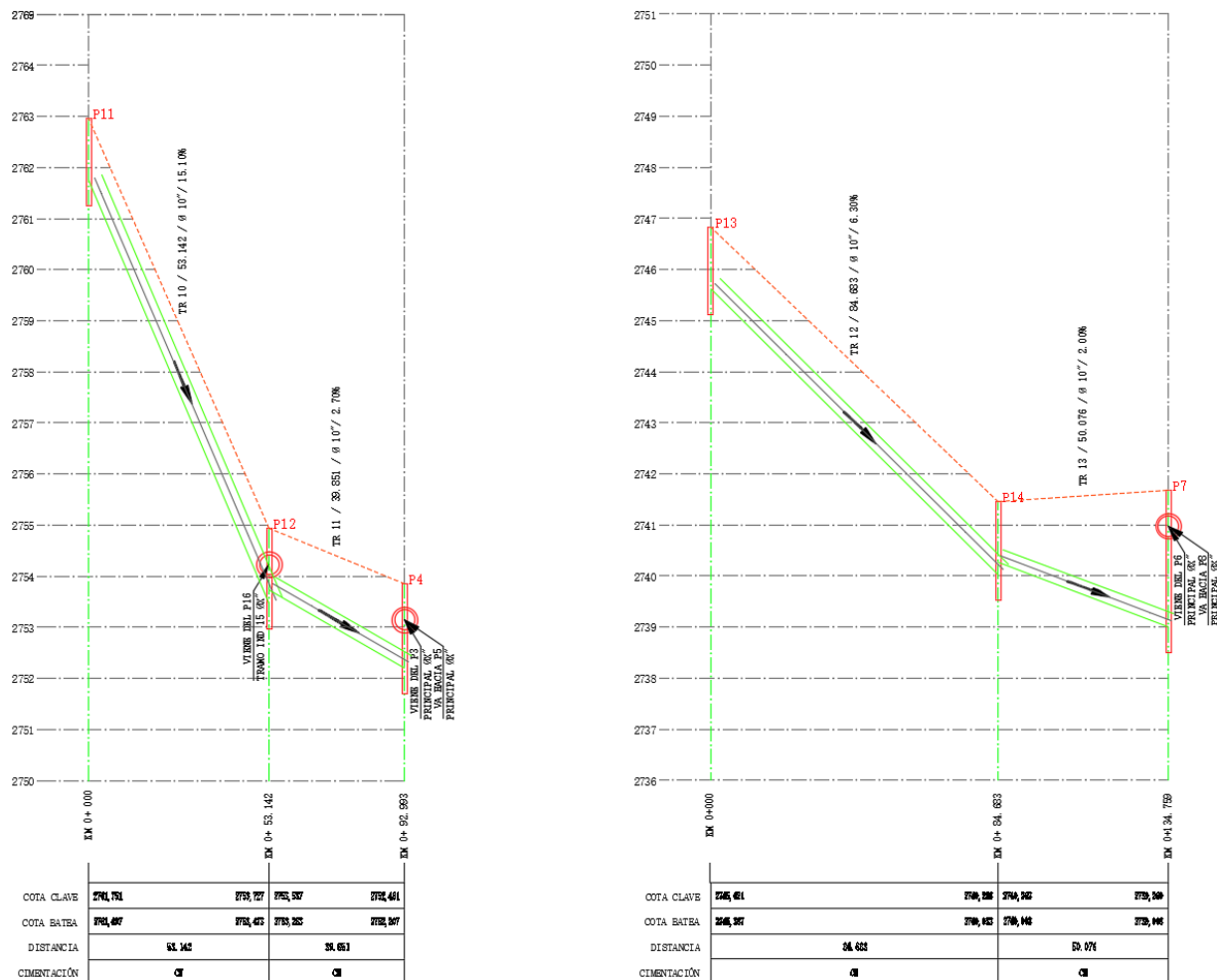
Perfil Longitudinal del Tramo Principal Pozos 1 al 10 (Tramo 1 Al 9)



Nota. Elaboración propia, ver en plano PLE-101-01-00 en los anexos.

Figura 32

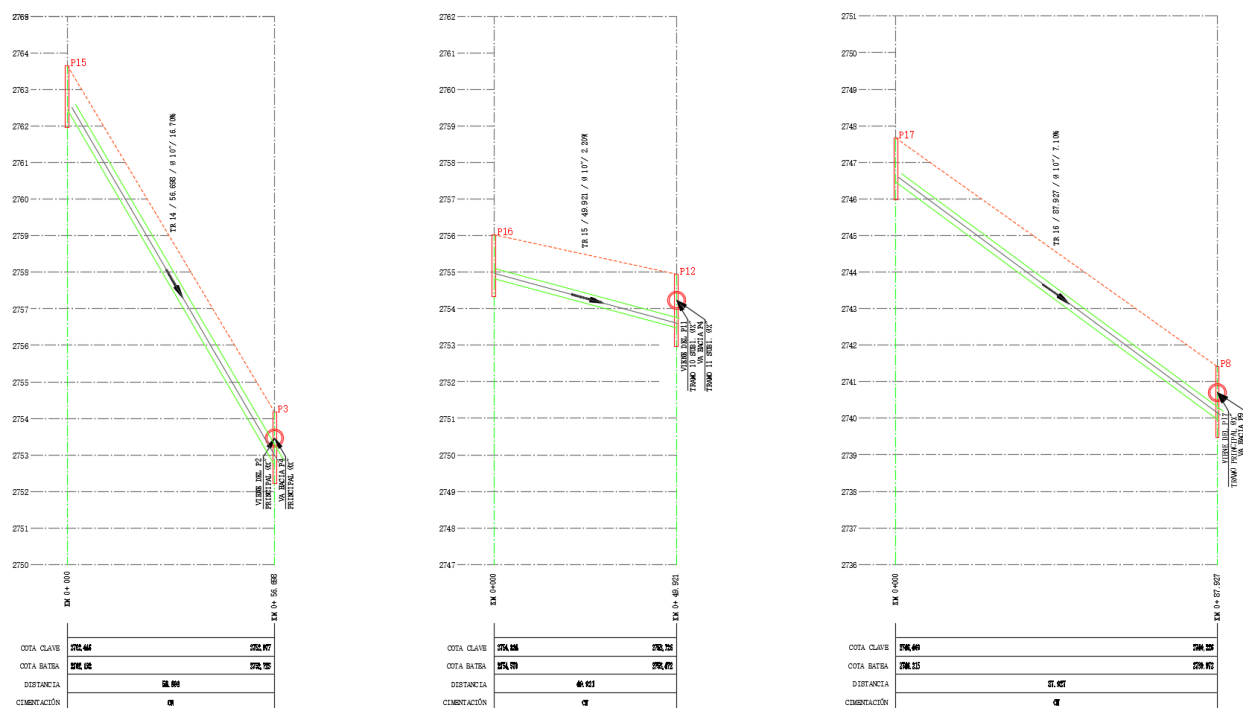
Perfil Longitudinal del Sub cabezal Pozos 11 al 12 & 13 al 14 (Tramo 10 al 11 & 12 al 13)



Nota. Elaboración propia, ver en plano PLE-101-02-00 en los anexos.

Figura 33

Perfil Longitudinal de los Tramos Independientes Pozos 15, 16 Y 17 (Tramo 14, 15 Y 16)



Nota. Elaboración propia, ver en plano PLE-101-03-00 en los anexos.

3. Capítulo 3: Desarrollo de la Propuesta

Con la recopilación de la información de los capítulos anteriores, se desarrolla una propuesta integral, donde se espera dar solución a los problemas identificados tanto en la parte interna del Colegio Federico García Lorca Sede B, así como en la zona exterior, usando las visitas exteriores a la zona del colegio y haciendo uso de Google maps.

3.1. Primera Parte de la Propuesta

Al exterior del colegio se evidencia una falta de drenaje en la calle 81 sur, por lo tanto, se realiza el estudio para incluir una nueva derivación por esta vía, con el fin de añadir más pozos de alcantarillado, y planteando la posición de más sumideros mixtos, para poder reducir la escorrentía de la

vía, se calculan las áreas tributarias, y los cálculos que determinan los caudales, los diámetros, las pendientes y elevaciones correspondientes al nuevo arreglo.

3.1.1. Datos Calculados

Se obtuvieron los siguientes datos realizados con las formas plasmadas en el capítulo 3, donde se verificó la información y se validaron los trazados de la propuesta de forma matemática.

Tabla 17

Tabla de Datos Básicos para Realizar los Cálculos de la Propuesta

TRAMO N°	POZO ENTRADA	POZO LLEGADA	LONGITUD DADA	ÁREA PROPIA	ÁREA	Coef. Escorrentía	Σ ÁREAS	C. Escorr. Nuevo
17	18	19	40,316 m	0,495 m ²	0,000 Ha	0,75	0,000 Ha	0,750
18	19	20	90,000 m	0,153 m ²	0,000 Ha	0,75	0,000 Ha	0,750
19	20	10	8,968 m	0,351 m ²	0,000 Ha	0,75	0,000 Ha	0,750

Nota. Elaboración propia

En la recopilación de datos para el diseño del tramo nuevo también se deben obtener áreas tributarias, la longitud entre tramos y los coeficientes de escorrentía.

Tabla 18

Tabla de Datos de Cotas, Pendientes y Diámetros de la Propuesta

Tramo	Pozo entrada	Pozo llegada	Eje	Cota Entrada	Cota Llegada	Pendiente	Diámetro (In)	Diámetro (m)	Camara De Caida Por Froud
17	18	19	Tercero	2750,296	2748,647	4,10%	10"	0,254 m	Si
18	19	20	Cuarto	2748,647	2741,619	7,80%	10"	0,254 m	Si
19	20	10	Quinto	2741,619	2741,165	5,10%	10"	0,254 m	Si

Nota. Elaboración propia

Como se mencionó anteriormente en el numeral 3.4 de recopilación de datos, se manejan las mismas variables de obtención de resultados; al ser un tramo nuevo en el diseño del alcantarillado que ya está existente, se debe realizar un diseño que conlleve cotas de entradas, pendientes, el diámetro de

diseño que para estos tramos se mantiene en 10", como lo muestra la tabla anterior, dando como datos importantes el tamaño de la tubería, la pendiente del terreno y el diseño de cámara de caída por flujo supercrítico.

Tabla 19

Tabla de Datos de Cotas de la Propuesta

Tramo	Pozo entrada	Pozo llegada	Caída De Tramo	Clave Superior	Clave Inferior	Batea Superior	Batea Inferior	Lámina Superior	Lámina Inferior
17	18	19	1,653	2749,096	2749,096	2747,193	2747,189	2748,884	2747,231
18	19	20	7,02	2747,447	2740,427	2747,193	2740,173	2747,231	2740,211
19	20	10	0,457	2740,419	2739,962	2740,165	2739,708	2740,207	2739,75

Nota. Elaboración propia

De igual manera es necesario conocer cómo trabaja la tubería en cuanto a niveles de láminas como las cotas enterradas.

Tabla 20

Tabla de Datos de Cotas de Energía, Bateas y Profundidad Promedio del Tramo de la Propuesta

Tramo	Pozo entrada	Pozo llegada	Energía Superior	Energía Inferior	1/2 Batea Sup.	1/2 Batea Inf.	Prof. Tramo	Σ Prof.	Dif Bateas
17	18	19	2748,941	2747,288	1,454	1,458	1,456	1,456	1,653
18	19	20	2747,325	2740,305	1,454	1,446	1,45	2,906	7,02
19	20	10	2740,277	2739,82	1,454	1,457	1,4555	4,3615	0,457

Nota. Elaboración propia

Se conocen como datos importantes para la obra la profundidad a la cual será enterrada la tubería, la cual coincide de acuerdo con los parámetros mínimos que indica la normatividad.

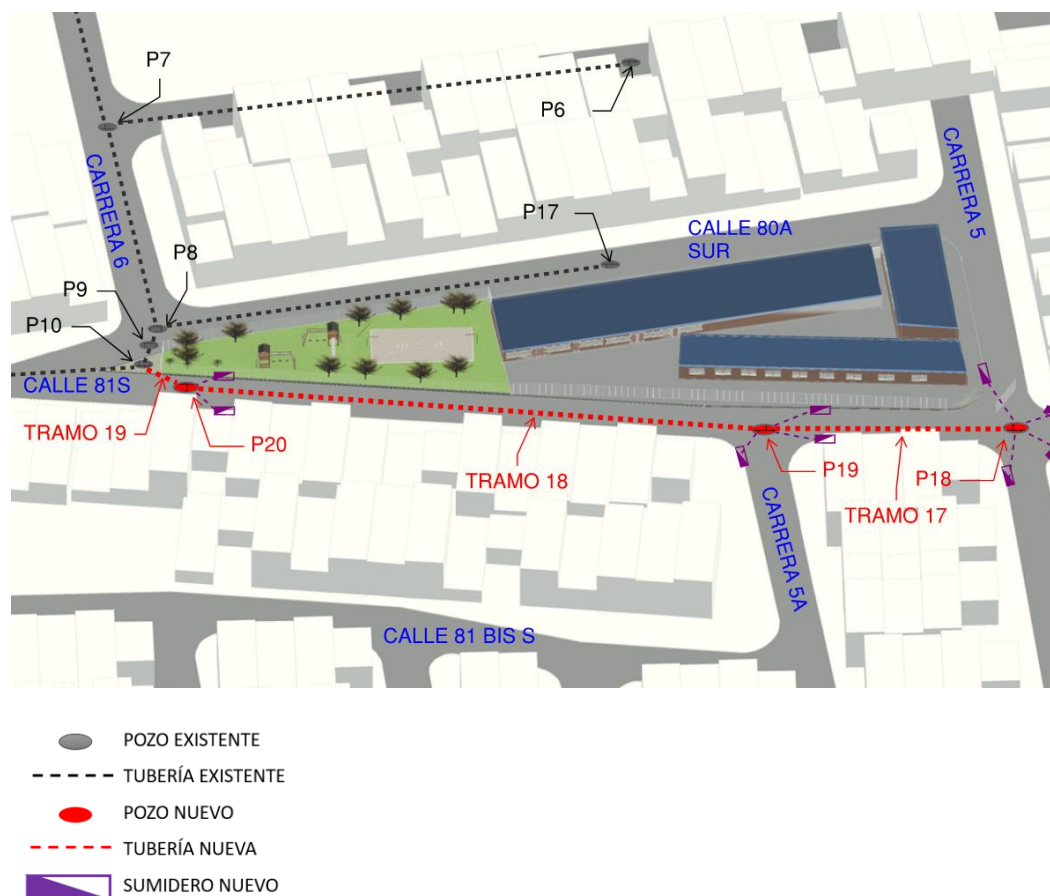
3.1.2. Mejora del sistema de alcantarillado pluvial existente

La propuesta se desarrolla mediante la identificación de las zonas donde se evidencia acumulación de aguas durante lluvias considerables, mejorando la captación de las aguas para su

posterior transporte por el sistema, esta modificación cuenta con 3 pozos nuevos (P18, P19 & P20) y la adición de 3 tramos nuevos (Tramo 17, 18 y tramo 19, todos de 10").

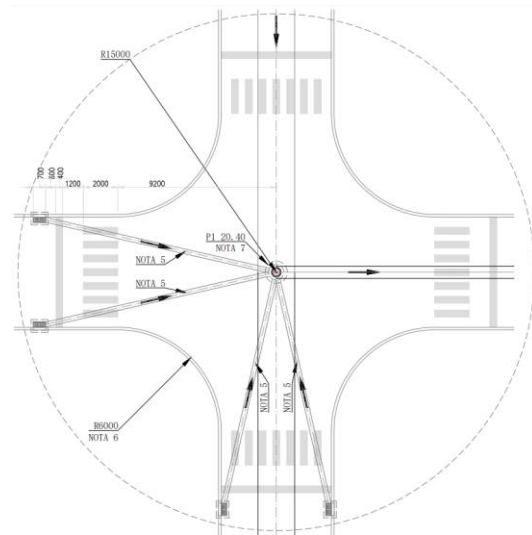
Figura 34

Propuesta de Alcantarillado Pluvial



Nota. Propuesta del alcantarillado pluvial al exterior del Colegio en la Calle 81s. Elaboración propia.

Adicionalmente, se posicionan 9 sumideros mixtos (Color morado), los cuales permiten acceso total para poder realizar una limpieza y un mantenimiento óptimo. Para la disposición de los sumideros se tuvo en cuenta el parámetro de diseño y de localización dispuesto en la cartilla de andenes de Bogotá, donde se involucra el diseño y posición de las señales horizontales y zonas peatonales, como se muestra en la imagen de la posición de los sumideros en una intersección. (Secretaría Distrital de Planeación, s/f).

Figura 35*Esquema de Posición de Sumideros y Señales Horizontales en Intersección*

Nota. Esquema de la posición de señales horizontales y posición del sistema de alcantarillado pluvial. Elaboración propia.

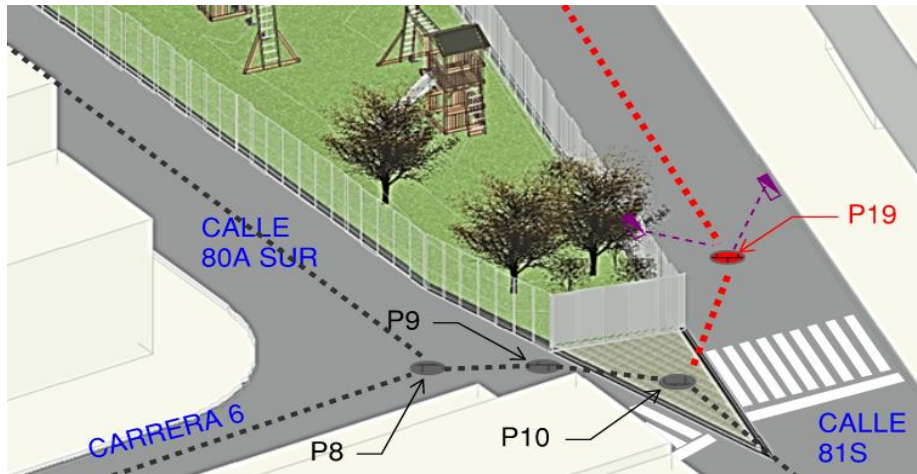
Se considera la pendiente máxima del tramo por las rasantes, la norma establece una pendiente mínima de $S = 2.00\%$, entonces al tener valores menores a 2.00% , se toma 2.00% como valor, por lo que afecta directamente la geometría y la profundidad de tramo.

Se establece una cota clave mínima de 1.2 m desde la rasante, con la longitud de 13.300 m y pendiente de 2% , da una caída de tramo de 0.266 m que varía según la posición de la rasante en cada sumidero.

Se calcula el diámetro con el 50% del área donde está realizando recolección del sumidero, con un $T_c = 15\text{ min}$, y con un $C = 0.75$ (usado en los tramos de interconexión de pozos) arroja diámetros menores a $10''$, por lo tanto, se asumen todos los tramos de sumideros con $10''$.

Figura 36

Detalle de Conexión de Propuesta de Alcantarillado con el Sistema Existente

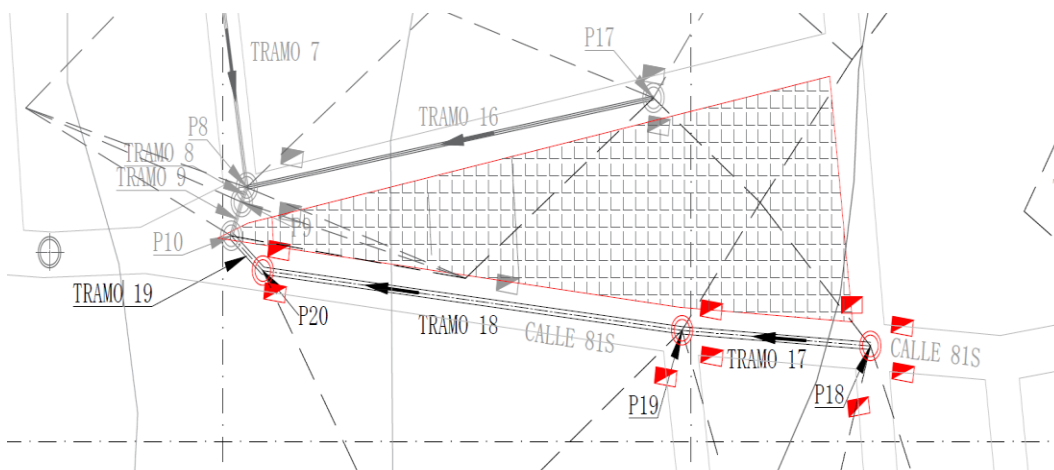


Nota. Propuesta realizada en REVIT Elaboración propia.

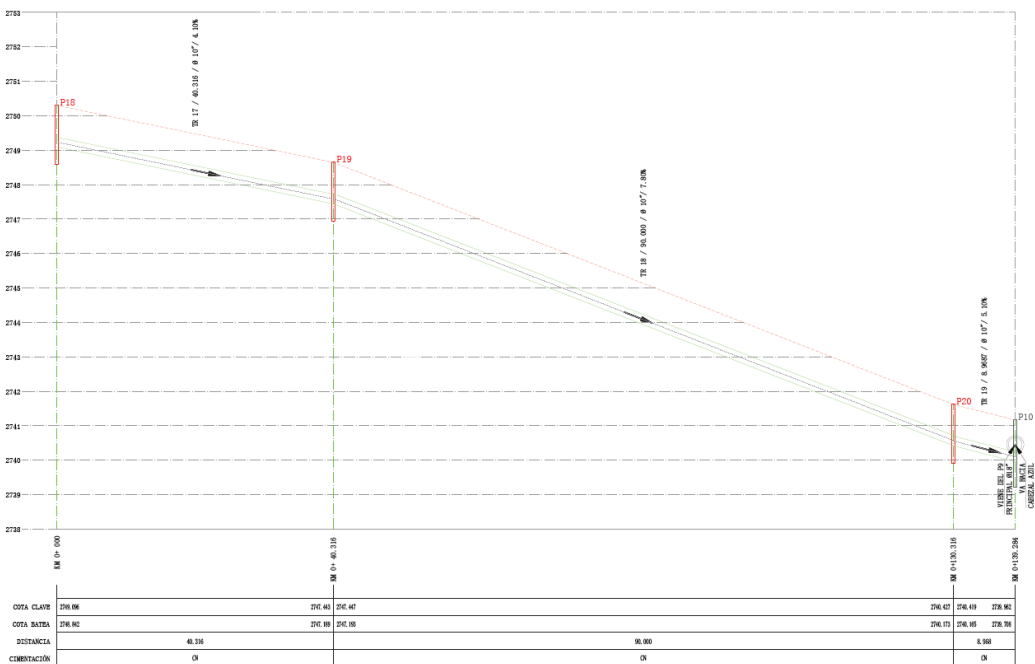
En total se tienen 3 pozos nuevos (Círculos de color rojo), 138.928 m de tubería de concreto (Línea punteada de color rojo), 9 sumideros (Caja color morado) y 119.700 m de tubería de 10" para la conexión entre sumidero y pozos (Línea punteada color morado).

Figura 37

Plano de la Propuesta de Alcantarillado



Nota. Propuesta realizada en AutoCAD Elaboración propia.

Figura 38*Perfil Longitudinal de la Propuesta de Alcantarillado*

Nota. Perfil longitudinal realizada en AutoCAD Elaboración propia, ver en plano PPL-101-00 en los anexos.

En la imagen, se consolida la información, se plasma en el plano PAP-101-01-00 (Planta) y PPL-101-01-00 (Perfil longitudinal), donde se tiene la información de la alternativa, el trazado del nuevo cabezal y la posición de los nuevos puntos de captación (Sumideros).

3.2. Segunda Parte de la Propuesta

Al interior del Colegio Federico García Lorca Sede B se identifican diferentes problemas de captación de las aguas lluvias y de escorrentía superficial, la propuesta es esquemática, incluye la mejora de los drenajes de las cubiertas de las instalaciones, y su respectivo manejo hasta la implementación de SUDS en las zonas verdes del colegio, en la intersección de la carrera 6 con la calle 81s (Punto más bajo del colegio).

3.2.1. Manejo de la Escorrentía al Interno del Colegio

La alternativa permitiría reducir la acumulación de residuos sólidos y la acumulación de componentes que afecten el funcionamiento del nuevo sistema de alcantarillado, mediante el uso de una matriz multi criterio se busca definir los tipos de SUDS a utilizar, teniendo en cuenta las condiciones, espacios, facilidad de instalación, mantenimientos y que consideren el impacto ambiental del sector, con los siguientes criterios de evaluación:

Sostenibilidad ambiental: Evaluación de cómo cada alternativa afecta la biodiversidad, calidad del agua y el proceso de funcionamiento de los SUDS en función de las zonas verdes del colegio Federico García Lorca Sede B.

Eficiencia de recolección, almacenamiento e infiltración del agua: Consideración de las estrategias de diseño que permita elegir la opción más óptima.

Impacto visual: Análisis de cómo cada alternativa afecta el ecosistema, incluyendo la calidad del agua y las medidas necesarias para su protección y restauración.

Impacto social y cultural: Evaluación de cómo cada alternativa afecta a la vida social y cultural del campus, promoviendo la diversidad, la inclusión y la identidad cultural.

Se asignan unos porcentajes de pesos que reflejan una priorización de la sostenibilidad ambiental y el impacto en la laguna, así como la importancia de la eficiencia energética y la movilidad sostenible en un proyecto de este tipo, propuesto en una escala de colores para la calificación de cada alternativa.

Figura 39*Escala Evaluativa de la Matriz Multicriterio*

1	Baja
2	Media
3	Alta

Nota. Valores que toman la matriz para la selección. Elaboración propia.

El Proceso calificativo o "puntaje" obtenido en la matriz para cada alternativa se calcula de la multiplicación del puntaje dado por propósito y el porcentaje asignado a cada uno de estos, al final se obtiene la sumatoria y se deja la escala de colores donde el color verde es la opción más viable y los colores naranjas o rojos son los menos viables.

Figura 40*Aplicación de la Matriz Multicriterio*

Aspecto	Alternativa	Definición	Sostenibilidad ambiental	Facilidad de montaje	Facilidad de mantenimiento	Impacto social y cultural	Eficiencia	Puntaje
SISTEMA DE DRENAJES SOSTENIBLE (SUDS)	Porcentaje de peso o importancia		30%	30%	30%	5%	5%	100%
	ALJIBES	Estructuras que aprovechan las aguas que provienen de las cubiertas de los edificios, y pueden ser almacenados para un posterior uso.	3	2	3	3	3	
	Puntajes ponderados		0,9	0,6	0,9	0,15	0,15	2,7
	FRANJAS DE BIORRETENCIÓN	Franjas compuestas de capa vegetal y sustratos, que permiten filtrar y retener los elementos contaminantes, permitiendo una limpieza de las aguas que pasan por estas estructuras.	3	2	1	3	1	
	Puntajes ponderados		0,9	0,6	0,3	0,15	0,05	2
	PAVIMENTOS PERMEABLES	Mezcla de concreto, agregados y agua, que contribuye a crear espacios huecos dentro de la masa, permitiendo el libre flujo del agua por en medio de la estructura	1	1	2	2	2	
	Puntajes ponderados		0,3	0,3	0,6	0,1	0,1	1,4
	DEPÓSITOS DE RETENCIÓN AQUA CELL	Unidad que permite la filtración del agua, evitando una evaporación rápida en épocas de sequía, por el contrario, permite retener el agua y drenarlo por medio de infiltración en el terreno natural en caso de rebose.	2	3	3	3	3	
	Puntajes ponderados		0,6	0,9	0,9	0,15	0,15	2,7
	LECHO FILTRANTE CON MATERIAL GRANULAR	Estructura compuesta con materiales granulares de diferentes tamaños, que permite filtrar los elementos contaminantes del agua, y permite la infiltración de las aguas en el terreno natural	3	2	1	3	2	
	Puntajes ponderados		0,9	0,6	0,3	0,15	0,1	2,05

Nota. matriz multicriterio con los SUDS y los valores asignados según la categoría de evaluación. Elaboración propia, ver

archivos anexos.

De acuerdo con los resultados obtenidos, los aljibes y los depósitos Aqua Cell tuvieron la mejor puntuación, siendo las alternativas menos invasivas y con menor impacto ambiental, mejorando la

circulación de las aguas en las zonas verdes dentro de las instalaciones del colegio Federico García Lorca Sede B, solucionando los problemas observados en las visitas a la zona y a las edificaciones.

3.2.1.1. Zonas Duras. En las zonas del colegio donde están las edificaciones, se tienen suelos en concreto, lo cual, crea superficies muy impermeables, actualmente las cubiertas no cuentan con sistemas de canales y bajantes que permitan un control de las aguas, por lo cual, se considera ejecutar las bajantes hasta tener el sistema enterrado, y disponer de las aguas en los aljibes, al interno del colegio, permitiendo el almacenamiento temporal del agua, y la reducción de los contaminantes.

Se plantea ajustar la malla perimetral, para poder eliminar los espacios donde la comunidad acumula residuos sólidos. Mejorando la estética del colegio y reduciendo considerablemente el tránsito peatonal, ya que los espacios y cerramiento del colegio no fueron diseñados ni contemplaron flujo peatonal sobre la calle 81 sur.

Figura 41

Evidencia Fotográfica de las Inmediaciones del Colegio Federico García Lorca



Nota. Acumulación de residuos sólidos. Elaboración propia.

Figura 42*Representación de la Propuesta*

Nota. Alternativa de delimitación de la malla perimetral en la totalidad del lote. Elaboración propia.

En las visitas al perímetro del Colegio no se identifican bajantes de aguas lluvias de las cubiertas, por lo que se requiere implementar canales y todo el sistema de drenaje de aguas lluvias, en dirección hacia los aljibes, que permiten el manejo controlado de la escorrentía en las zonas duras del colegio, conduciendo las aguas hacia los sistemas de Aqua Cell.

Se debe mejorar la captación de aguas de las cubiertas, por medio de canales y bajantes en 4" en PVC, conduciendo a un cabezal de drenaje de 8" PVC perforado como se indica en la figura 39.

Figura 43*Representación Gráfica de la Propuesta de Drenaje*

Nota. Alternativa de drenaje para las cubiertas de edificaciones. Elaboración propia.

3.2.1.2. Zonas verdes. Para las zonas verdes se plantea adicionar 2 tipos de zonas, una cancha en concreto permeable que facilite los procesos de filtración del agua, y un área de almacenamiento de agua de Aquacell, con un área de 82.679 m² (Ver plano PAP-101-02-00), contando con la tubería de captación y de descarga por el sistema de atenuación, almacenando el agua temporalmente y descargando al sistema de alcantarillado lentamente. (Wavin, s/f).

Adicionalmente, se desea implementar la restauración del andén y de las señales de tránsito, tanto horizontales como verticales, de acuerdo a la disposición en la figura 40.

Figura 44

Representación Gráfica de las Propuestas de Drenajes Sostenibles



Nota. Alternativa de SUDS en la zona de intervención. Elaboración propia.

Figura 45

Visualización de la Aplicación de los Drenajes



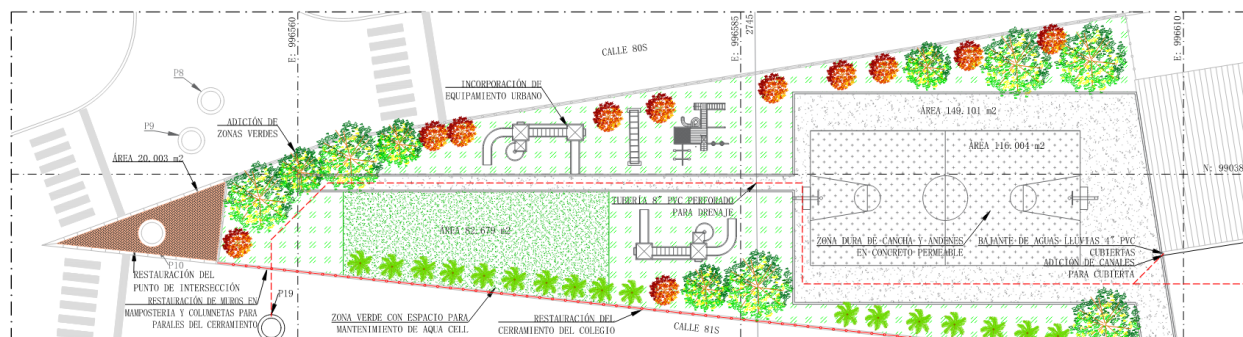
Nota. Clasificación de la intervención dentro del colegio Federico García Lorca. Elaboración propia.

3.3. Propuesta integral

Con las propuestas de los numerales anteriores, se busca eliminar los problemas de drenaje provenientes del colegio Federico García Lorca Sede B, el arreglo y la implantación de las modificaciones en el colegio se pueden ver específicamente en el plano PAP-101-02-00 en el Detalle A, donde se busca tener un uso optimizado del suelo, evitando la contaminación del colegio, por medio de la implementación de vegetación, mejorando las características urbanísticas del colegio, y brindando espacios adecuados y de calidad para el desarrollo de la educación de los estudiantes del colegio, así mismo como todo el mobiliario lúdico de un parque recreativo dentro de una zona urbana.

Figura 46

Visualización de la Aplicación de los Drenajes



Nota. Vista superior de la propuesta de implementación del drenaje. Elaboración propia, ver en plano PLE-101-01-00 en los anexos.

4. Conclusiones

Al evaluar el alcantarillado pluvial existente de la zona de estudio, el cual hace entrega al P10, se determinó que este sistema no cuenta con la capacidad para captar las aguas de escorrentía superficial de la zona donde se localiza el Colegio Federico García Lorca sede B; se realizó el planteamiento en una longitud total de tubería de 826,857 m, donde el 64% del tramo lleva tubería de 10" de diámetro, 29% del diámetro de 14" y el 7% restante corresponde a diámetro de 18"; sin embargo, el sistema de alcantarillado tiene zonas donde no se evidencia ningún tipo de estructura de captación, exactamente en la calle 81 sur, donde se presenta acumulación de sedimentos y residuos sólidos (Ver plano APE-101-01-00).

Se requiere la restauración urbanística de la intersección de la calle 81 S con la carrera 6.^a y de la malla perimetral del Colegio Federico García Lorca Sede B, de tal forma que se reduzca la acumulación de residuos sólidos, al tener un espacio en óptimas condiciones, se evita en gran medida la disposición de desechos, y al retirar los espacios verdes fuera de la malla, se elimina el paso peatonal, se reduce el riesgo de accidentalidad y mejora la calidad de vida de las personas, principalmente de los estudiantes de la institución educativa. Cumpliendo con los objetivos de desarrollo sostenible de la ONU (Salud y bienestar, Educación de calidad, agua limpia y saneamiento).

Al interior del Colegio se tienen cubiertas inclinadas, aunque se encuentran en un buen estado, es clara la falta de canales de conducción hacia alguna caja de aguas lluvias, lo cual, genera una acumulación en las zonas bajas, compuestas por áreas verdes; de acuerdo a la topografía de la zona, se tienen muros que forman parte de la estructura del cerramiento, sirviendo a la vez de muro de contención para una altura máxima de 0.70 m de tierra, en un estado compactado. En las zonas más transitadas, se evidenciaron fisuras y salidas de agua de estos muros en casos de lluvia, por lo tanto, se debe mejorar la estructura del cerramiento, de tal forma que ayude a contener la masa de tierra, y sea

impermeable, obligando al exceso de agua a fluir hacia el sistema de alcantarillado o que se distribuya por infiltración al terreno natural.

Se determinaron los SUDS usados en la ciudad de Bogotá, identificando sus capacidades, usos y condiciones de instalación, al aplicarlos al proyecto, se ejecutó una propuesta en condiciones reales, optando por las alternativas de SUDS con mejores beneficios para el sistema de drenaje de las zonas verdes del colegio Federico García Lorca Sede B, al analizar las ventajas y desventajas de cada sistema de drenaje sostenible, fue posible optar por la mejor alternativa, teniendo en cuenta las condiciones actuales y dando prioridad a las condiciones de vegetación dentro de la institución.

Dentro de las alternativas de SUDS planteadas en la matriz multicriterio, la más adecuada son los aljibes (drenaje directo hacia las zonas verdes) y el sistema Aquacell, en el que se hace la interconexión con tubería de drenaje, permitiendo un filtrado de las aguas, lo que reduce las partículas contaminantes y sedimentos.

De las problemáticas más grandes, se evidencia la falta de vegetación, las islas de calor urbanas, generadas por la atmósfera y por las superficies rígidas de las ciudades, según lo plantea Rojas Caballero (2019), para mitigar y reducir los efectos de la temperatura en las ciudades, plantea el aumento de zonas verdes, por lo tanto, este proyecto asiste en la reducción de temperatura, y se espera ser un proyecto pionero para la protección del agua y de las zonas verdes.

Cabe resaltar la importancia de la aplicación de SUDS dentro de los proyectos de ingeniería civil que se desarrollen, como un método para recuperar y reutilizar el recurso hídrico, al implementar estos sistemas de drenaje, se puede almacenar agua, que puede ser usada en usos domésticos, priorizando el agua potable para ser usada en consumo humano, aprovechando al máximo el agua proveniente del sistema de alcantarillado.

A partir de los datos obtenidos en la evaluación del sistema de alcantarillado pluvial y las características internas del Colegio Federico García Lorca Sede B, se diseñó la inclusión de un nuevo subcabezal localizado en la parte externa de la institución sobre la calle 81. El cual cuenta con 3 pozos nuevos que tienen la condición de tener cámara de caída (Detalle en plano PPL-101-01-00), para realizar las interconexiones entre pozos y la conexión con el sistema de alcantarillado existente en el P10, se usan tuberías de concreto de 10" en cada tramo, usando en total 138.925 m en todo el recorrido, teniendo una profundidad promedio de 2.907 m.

Se añaden 9 sumideros de tipo mixto, localizado en las zonas en las cuales se evidenció emulación de aguas durante los momentos de lluvia, por lo cual, mejorará la captación de las aguas, distribuyéndolas en el sistema de forma más uniforme, contribuyendo con el plan de la alcaldía de Bogotá al facilitar las maniobras de mantenimiento, ya que se retiraron más de 26 toneladas de lodo y materiales no aprovechables desde el año 2018. Al usar las dimensiones de la norma de construcción de sumideros de EMP (2019), contando con la facilidad de una tapa sobre el andén, mejorando los procesos de limpieza de las estructuras (Martínez, 2019), el cual cuenta con una salida de con 10" en dirección hacia el pozo más cercano (Ver plano PAP-101-01-00).

En el colegio se requiere una propuesta integral para el drenaje pluvial, desde una acción mínima como adición de canales para captación de aguas lluvias de las cubiertas, así mismo como la rehabilitación de zonas verdes, por lo tanto, se debe replantear el sistema de captación y drenajes del colegio, tanto en el interior, como en el sistema de alcantarillado perimetral.

Al interior del colegio se requiere toda la estructura para realizar la canalización, mediante la inclusión de canales que conduzcan las aguas de las cubiertas con diámetros de 6" a un sistema de aljibes, que se encargaran de filtrar las aguas captadas y conducir las por medio de una tubería perforada de 8" hasta las zonas verdes del colegio, recolectando las aguas provenientes de las superficies permeables y alimentando la estructura de Aquacell, donde captará las aguas provenientes de una

cancha múltiple hecha con concreto permeable, permitiendo infiltración y conducción por la tubería de drenaje hasta el almacenamiento en el sistema de SUDS, así mismo, el exceso se va a ir a un cabezal que se conectará con el pozo P19, y su inclusión al sistema de alcantarillado existente en el pozo P10 (Ver plano PAP-101-02-00).

Para la implementación de los SUDS se usará una retícula que comprende 405 celdas de Aquacell, con una configuración de 15 x 9 x 3, esto permite una capacidad de almacenamiento de 74925.00 L (74.925 m³), tomando como referencia el valor de almacenamiento recomendado del proveedor PAVCO (Capacidad recomendada al 95% del volumen bruto), (Ver plano PAP-101-02-00). En caso de llegar al punto de la capacidad estipulada, se cuenta con una tubería de rebose que conduce al pozo P19.

El diseño comprende la mejora del paisajismo del colegio, mediante la restauración de la intersección de la calle 81sur con la carrera 6.^a, que comprende el cerramiento perimetral mediante el uso de sardinel fabricado en concreto, con unas dimensiones de 15 x 40 x 50 cm, usando 26 unidades, para las capas para un andén de adoquines se requiere; subbase, base, capa de arena de asiento y adoquines, se debe tener en cuenta el ajuste de la altura de la tapa del pozo P10 (Ver detalle A en plano PAP-101-02-00).

Al incluir zonas verdes y vegetación a nivel y vegetación alta, se aislará el espacio de la contaminación acústica, atmosférica y visual procedente de las vías, mejorando el espacio, se espera promover el cuidado del ambiente y de los recursos naturales en la comunidad y principalmente en los niños.

5. Recomendaciones

Para proyectos futuros se debe contar con información de los diferentes entes que se encargan de regular el sistema de alcantarillado, sin embargo, en un caso particular, y que fue el punto de partida para el análisis del sistema de alcantarillado existente en esta monografía, se usó el Geo portal de la empresa Acueducto de Bogotá, datos abiertos de Bogotá y del Instituto de Desarrollo Urbano (IDU), la cual suministraba información de la red existente, pero al realizar las visitas a la zona, se evidencia que muchos puntos y pozos no existen, por lo que se determina que la información debe ser validada, por esto se considera indispensable en lo posible contar con todos los equipos para el levantamiento de datos en campo para obtener resultados en tiempo real.

Para este proyecto se realizó una encuesta con el fin de conocer la percepción de la comunidad frente a los problemas que se tienen en la zona de estudio, sin embargo, la cantidad de participantes no fue un valor representativo para determinar el pensamiento de la comunidad del Barrio Yomasa Segundo Sector y no se tuvo en cuenta dentro de la investigación; para desarrollar un sondeo de este tipo, se requiere divulgar la encuesta dentro de la comunidad educativa y otros medios que permitan la captación de los datos de una muestra considerable.

Se realiza la implementación de alternativas de sistema de drenaje sostenible, las cuales comprenden celdas Aquacell diseñadas por PAVCO para la recolección de aguas lluvias para su reutilización, de igual manera elementos como la cancha del colegio se propone el uso de concretos permeables permitiendo que la superficie se mantenga en condiciones aceptables de uso una vez terminadas las lluvias, de esta manera se genera una mejora de forma significativa en el espacio de recreación de los infantes, las mejoras de la calidad del paisajismo de la institución educativa logran de manera potencial un entorno seguro, confortable y adaptable para la recreación y educación de los infantes.

6. Referencias

- Abellán, A. (2013, octubre 29). *Cunetas verdes*. SuD Sostenible. <http://sudsostenible.com/tipologia-de-las-tecnicas/medidas-estructurales/cunetas-verdes/>
- Aquamarket. (s/f). *Coeficiente de retardo*. Aguamarket.com. Recuperado el 22 de abril de 2024, de <https://www.aguamarket.com/diccionario/terminos.asp?Id=550&termino=coeficiente+de+retardo>
- Avellaneda, J. E. S. (2018). *INSTRUCTIVO DEL PROCESO CONSTRUCTIVO DE UNA RED DE ALCANTARILLADO PLUVIAL*. Edu.co. <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/14215/SanchezAvellanedaJohnEdisonAnexo-1.pdf;jsessionid=60E33D7E886F0954A6DF39827EA91671?sequence=2>
- Barreras Cárdenas, F. A. (2020). *INTERPRETACIÓN DE LA ESTRUCTURA GEOLÓGICA Y LA TENDENCIA PALEOAMBIENTAL DURANTE EL EOCENO-PLEISTOCENO DE LA SUBCUENCA DEL RÍO TEUSACÁ, CUNDINAMARCA* [Universidad San Tomás]. <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/23592/2020FredyBarrera3.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
- Borrero García, C. B., Giraldo González, M. M., & Lorena, V. S. L. (2016). *Evaluación del Diseño y Monitoreo de Sistemas de Drenaje Urbano Sostenible. Casos de Estudio: Avenida Rincón Tabor y Jardín Botánico De Bogotá* [Universidad de los Andes]. <https://repositorio.uniandes.edu.co/server/api/core/bitstreams/9eaf68d4-2246-444c-b0fa-1c784638b5bb/content>
- Calderón Celedón, J. A. (2014). *Comportamiento hidráulico de sistemas de tuberías bajo flujo supercrítico: diseño tradicional vs. Diseño futuro* [Universidad de los Andes].

<https://repositorio.uniandes.edu.co/server/api/core/bitstreams/6907978d-df30-456e-96e1-296d66cee5fe/content>

Casto Vargas, S. G. (2020). *Responsabilidad de la ingeniería civil frente al impacto ambiental negativo por la ejecución de obras de infraestructura* [Universidad Militar Nueva Granada].

<https://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/36950?show=full>

Caycedo-Villarraga, D. F., & Morales-Juyó, J. S. (2017). *Propuesta para la implementación de sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS), en el sector de Chapinero Alto, Bogotá, Colombia* [Universidad Católica de Colombia]. <http://hdl.handle.net/10983/15222>

Cruz López, E. J. (2013). *DIAGNÓSTICO DE ESTABILIDAD DE TALUDES EN LA LOCALIDAD DE USME A TRAVÉS DE LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA DE LIBRE DISTRIBUCIÓN* [Universidad Católica de Colombia].

<https://repository.ucatolica.edu.co/server/api/core/bitstreams/2816436c-f459-4e81-b493-77255e8e49b7/content>

Cubides, E., & Santos, G. (2018). Control de escorrentías urbanas mediante Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS): Pozos/Zanjas de infiltración. *Entre ciencia e ingeniería*, 12(24), 32–42.

<https://doi.org/10.31908/19098367.3813>

Datos Abiertos Bogotá. (s/f). Gov.co. Recuperado el 22 de abril de 2024, de

<https://datosabiertos.bogota.gov.co/dataset/puntos-criticos-arrojo-clandestino-residuos-bogota-d-c/resource/c51c3b35-8397-46ed-88c4-7816b48c1ca8>

Díaz Cordero, G. (2012). EL CAMBIO CLIMÁTICO. CIENCIA Y SOCIEDAD Volumen XXXVII, Número 2.

<https://intranetrepositorio.intec.edu.do/server/api/core/bitstreams/3bacdd56-e4ef-4b1f-a2eb-d5cced4f44aa/content>

El Tiempo [@ElTiempo]. (2023, marzo 18). Desbordamiento de la quebrada Yomasa | El Tiempo.

Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=3XnK3Y8acV8>

Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá. (2019). *Cuenca Tunjuelo*. Empresa de Acueducto y Agua de Alcantarillado de Bogotá.

https://www.acueducto.com.co/wpsportal/wps/portal/EAB2/gestores-ambientales/gestion-ambiental/Sistema_hidrico_del_Distrito_Capital/cuenca_tunjuelo

Empresas Públicas de Medellín. (2013). *Normas de Diseño de Sistemas de Alcantarillado de las de Medellín*. Empresas Públicas de Medellín E.S.P.

https://cu.epm.com.co/Portals/proveedores_y_contratistas/proveedores-y-contratistas/normas-tecnicas/documentos/normas-diseno-alcantarillado.pdf

Guerrero Riascos, J. P., & Méndez Herrera, D. R. (2015). *Diagnóstico y formulación de estrategias para el mejoramiento integral de las quebradas Yomasa y bolonia basados en los estudios realizados en la zona* [Universidad Católica de Colombia].

<https://repository.ucatolica.edu.co/server/api/core/bitstreams/e229e97c-bc5e-478a-b68b-48bb09d34b0e/content>

Hernández Idárraga, P. L., & Silva Ojeda, N. G. (2023). *Propuesta de implementación de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) para el manejo de aguas lluvia en el conector del canal Castilla y el Río Bogotá*. Universidad ECCL.

Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático. (2020). CRITERIOS DE ELEGIBILIDAD, VIABILIDAD Y DE ENFOQUE DE POLÍTICAS PÚBLICAS PARA LAS INVERSIONES LOCALES 2021-2024. En *ANEXO 11. LINEAMIENTOS PARA EL DESARROLLO DE ESTRUCTURAS: SISTEMAS URBANOS DE DRENAJE SOSTENIBLE (SUDS)* (p. 32).

https://www.sdp.gov.co/sites/default/files/anexo13_0.pdf

Lara García, Á., & Prieto Thomas, A. (2014). *Integración de sistemas urbanos de drenaje sostenible en la rehabilitación del espacio urbano*. Universidad de Sevilla. <https://hdl.handle.net/11441/154651>

- Martínez José. (2019, abril 4). *Más de 26 toneladas de residuos han sido extraídas de alcantarillas y sumideros*. Bogota.gov.co; Más de 26 toneladas de residuos han sido extraídas de alcantarillas y sumideros. <https://bogota.gov.co/asi-vamos/obras/limpieza-de-sumideros>
- Medidas no estructurales*. (2013, octubre 29). SuD Sostenible. <http://sudsostenible.com/tipologia-de-las-tecnicas/medidas-no-estructurales/>
- Ministerio de Ambiente, V. y. D. T. (2017). *Resolución 0330 de 2017 Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial*. Gov.co.
<https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=71542>
- Ministerio de Ambiente, V. y. D. T. (2021). *Resolución 0799 de 2021 Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial*. Gov.co.
https://minvivienda.gov.co/sites/default/files/normativa/0799_2021.pdf
- Ministerio de Vivienda. (2016). *Sistemas de Recolección y Evacuación de Aguas Residuales. Título D*. Gov.co. https://www.minvivienda.gov.co/sites/default/files/documentos/titulo_d.pdf
- Objetivos de Desarrollo Sostenible - ODS -. (2021, julio 7). Gov.co.
<https://www.minambiente.gov.co/planeacion-y-seguimiento/objetivos-de-desarrollo-sostenible-ods/>
- ONU. (2015, septiembre 17). *Objetivos y metas de desarrollo sostenible*. Organización de las Naciones Unidas. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>
- Peña Guzmán, C. A., Melgarejo, J., & Daniel, P. (2016). El ciclo urbano del agua en Bogotá, Colombia: estado actual y desafíos para la sostenibilidad. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 57–71.
- Perales Momparler, S. (2008). *Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS)*. Expo Zaragoza 2008.
<https://www.zaragoza.es/contenidos/medioambiente/cajaAzul/33S8-P3-Sara%20PeralesACC.pdf>

Ramírez, É. A. C., & Chamorro, J. L. (2018). *DISEÑO DE SISTEMA URBANO DE DRENAJE SOSTENIBLE EN BOGOTÁ, CALLE 127 CON AUTOPISTA NORTE* [Universidad Católica de Colombia].

<https://repository.ucatolica.edu.co/server/api/core/bitstreams/6fbc38db-79bf-428d-8359-d36cfd8b9ad4/content>

Rivera, D. T. J. (2021). *GUÍA DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE ALCANTARILLADOS* [Universidad Santo Tomás].

<https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/37751/2021DannaJimenez.pdf?sequence=1>

Rojas Caballero, C. (2019). *Disminución de la temperatura superficial en comunas peri centrales al sur de la ciudad de Santiago mediante la conversión de sitios eriazos en espacios verdes.*

<https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/173635>

Sampieri, R. H., Collado, C. F., Lucio, P. B., Valencia, S. M., & Torres, C. P. M. (2014). *Metodología de la investigación.*

Secretaría de Ambiente de Bogotá. (2020). *Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS).*

<https://www.ambientebogota.gov.co/documents/10184/411743/Sistemas+urbanos+de+drenaje+sostenible.pdf/0f65e19e-31a2-4d4f-bb45-3e240bd7a620>

Secretaría Distrital de Planeación. (s/f). *CARTILLA DE ANDENES BOGOTÁ D.C.* Gov.co.

<https://www.ambientebogota.gov.co/documents/10184/626774/cartilla+anden+modificacio+n.pdf/15ad777d-60fa-4b13-ab85-556b6055daf8>

Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS). (s/f). Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto

Demográfico. <https://www.miteco.gob.es/es/agua/temas/concesiones-y-autorizaciones/vertidos-de-aguas-residuales/vertido-desbordamiento-sistema-saneamiento-dss/vertidos-dss-sistemas-urbanos-drenaje-sostenible-suds.html>

Subdirección de Ecourbanismo y Gestión Ambiental Empresarial (SEGAE). (2011). *Sistema Urbanos de Drenaje Sostenible para el Plan de Ordenamiento Zonal Norte POZN*.

<https://www.sdp.gov.co/sites/default/files/anexo91.pdf>

TheCircularLab. (2023, septiembre 29). Ventajas de los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) - Ecoembes. Ecoembes | The Circular Lab. <https://www.thecircularlab.com/drenaje-sostenible/>

Torres, A., Galarza-Molina, S., & Molina-Prieto, L. F. (2019). Bogotá, una ciudad sensible al agua: elementos de reflexión. *Cuadernos de vivienda y urbanismo*, 12(23).

<https://doi.org/10.11144/javeriana.cvu12-23.bcsa>

Wavin. (s/f). *Aquacell*. Wavin.com. <https://wavin.com/es-mx/soluciones/aquacell>

7. Anexos

- Paquete de planos del sistema existente (Formato PDF).
- LG-101-01-00: LOCALIZACIÓN GENERAL DEL PROYECTO
- APE-101-01-00: RED DE ALCANTARILLADO PLUVIAL EXISTENTE BARRIO YOMASA 2DO SECTOR
- PLE-101-01-00: PERFIL LONGITUDINAL DE ALCANTARILLADO EXISTENTE CABEZAL PRINCIPAL
- PLE-101-02-00: PERFIL LONGITUDINAL DE ALCANTARILLADO EXISTENTE SUBCABEZAL 1 & 2
- PLE-101-03-00: PERFIL LONGITUDINAL DE ALCANTARILLADO EXISTENTE TRAMOS

INDEPENDIENTES

- Paquete de planos de la propuesta (Formato PDF).

PAP-101-01-00: PROPUESTA DE SUDS EN COLEGIO FEDERICO GARCÍA LORCA SEDE B BARRIO
YOMASA 2DO SECTOR

PAP-101-02-00: PROPUESTA DE SUDS EN COLEGIO FEDERICO GARCÍA LORCA SEDE B BARRIO
YOMASA 2DO SECTOR

PPL-101-01-00: PROPUESTA PERFIL LONGITUDINAL DE SUB CABEZAL

- Memoria de cálculo de diseño de alcantarillado y matriz multicriterio.