

**DISEÑO DE SISTEMA URBANO DE DRENAJE SOSTENIBLE EN BOGOTÁ,
CALLE 127 CON AUTOPISTA NORTE**

**ÉDGAR ANDRÉS CAMARGO RAMÍREZ
JONATHAN LOZADA CHAMORRO**

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
BOGOTÁ D. C.
2018**

**DISEÑO DE SISTEMA URBANO DE DRENAJE SOSTENIBLE EN BOGOTÁ,
CALLE 127 CON AUTOPISTA NORTE**

**ÉDGAR ANDRÉS CAMARGO RAMÍREZ
JONATHAN LOZADA CHAMORRO**

**TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL**

**ASESOR
ING. CRISTIAN GIOVANNY HERRERA NOVOA**

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
BOGOTÁ D. C.
2018**



Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)

La presente obra está bajo una licencia:
Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)

Para leer el texto completo de la licencia, visita:
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.5/co/>

Usted es libre de:



Compartir - copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra

hacer obras derivadas

Bajo las condiciones siguientes:



Atribución — Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciante (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o que apoyan el uso que hace de su obra).



No Comercial — No puede utilizar esta obra para fines comerciales.

Nota de Aceptación

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

PÁGINA DE DEDICATORIA

Principalmente queremos dedicar este logro a Dios, porque nos ha dado la sabiduría, templanza y arraigo a las convicciones que nos permitió llegar a este importante momento de nuestras vidas profesionales.

Agradecemos a nuestras familias, que día a día nos han mostrado su apoyo incondicional, y que, sin ellos no hubiese existido esa necesidad de querer alcanzar un logro más de muchos que se tienen trazados para nuestras vidas.

Solo queda por decir que son ustedes quienes nos han permitido entender que, durante toda la vida, hemos sido formados con los mejores valores que una familia nos puede brindar y durante cinco años nos han permitido alcanzar lo inimaginable.

PÁGINA DE AGRADECIMIENTOS

Las siguientes líneas nos servirán para poder demostrar el más grande y sincero agradecimiento hacía todas las personas que por medio de su ayuda, aportó de alguna manera a este logro que nos permite culminar nuestra carrera profesional, el agradecimiento lo hacemos inicialmente a el asesor de la tesis.

Queremos realizar un especial reconocimiento al Arquitecto José Cuello, profesor de la facultad de Ingeniería, quien nos sugirió, apoyó y guió en la parte inicial del anteproyecto investigativo, y por el cual, se obtuvo la mayor parte de la información para el desarrollo de la tesis de grado, además de su conocimiento para el buen lineamiento escrito del trabajo.

También queremos hacer extensiva nuestra gratitud hacía la ingeniera Martha Molina, integrante del grupo de trabajo de la Secretaria Distrital de Ambiente, ya que, sin su ayuda y aportes de información, conocimiento y guía, no se hubiesen podido lograr el desarrollo del trabajo.

En últimas instancias, y no menos importante, queremos agradecer a nuestras familias, las cuales han sido y serán el pilar que ha logrado la motivación para poder alcanzar un logro tan importante en nuestras vidas.

¡A todos ellos, muchas gracias!

Edgar Andrés Camargo
Jonathan Lozada Chamorro

TABLA DE CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	16
1 ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN	18
1.1 Estado del arte de las tecnologías SUDS	19
1.2 Antecedentes Nacionales.....	19
1.2.1 Contrato de Consultoría	19
1.3 Antecedentes Internacionales	21
2 PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	23
3 OBJETIVOS	24
3.1 General.....	24
3.2 Específicos	24
4 JUSTIFICACIÓN	25
5 DELIMITACIÓN.....	26
5.1 Espacio	26
5.2 Tiempo	27
5.3 Contenido	27
5.4 Alcance	27
6 MARCO DE REFERENCIA	29
6.1 Marco Conceptual	29
6.1.1 Beneficios Generales	30
6.1.2 Beneficios para el medio ambiente	31
6.2 Marco Teórico.....	32
6.2.1 Descripción de procesos fisicoquímicos y biológicos	33
6.2.2 Diseño	33
6.2.3 Hidráulico	34
6.2.4 Consideraciones, Variables y parámetros para el diseño	35
6.3 Marco Legal	37
6.3.1 Normatividad distrital referente a SUDS.....	37
6.3.2 Criterios para diseño y construcción de sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS) NS-166.....	40

6.3.3	Resolución 0330, Ministerio de Vivienda.....	40
7	ALCANCES Y LIMITACIONES.	41
8	METODOLOGÍA.....	42
8.1	Recopilación de la Información:	43
8.1.1	Determinación de la problemática	43
8.2	Selección de Sitio para los trenes de SUDS	50
8.2.1	Aspectos técnicos	51
8.2.2	Aspectos urbanos.....	57
8.2.3	Metodología de Selección	59
8.3	Visita técnica de la zona.....	61
8.3.1	Levantamiento Fotográfico	61
8.3.2	Levantamiento Topográfico.....	62
8.4	Selección de tipologías suds.....	66
8.4.1	Preselección.....	67
8.5	CARACTERÍSTICAS de selección	68
8.5.1	Mejoramiento de la calidad del agua.....	68
8.5.2	Control de volúmenes de aguas lluvias.....	69
8.5.3	Mantenimiento.....	69
8.5.4	Costos	70
9	ANÁLISIS HIDROLÓGICO DEL SECTOR.....	72
9.1	Datos de Estaciones Meteorológicas.....	72
9.2	Características dimensionales de la zona	73
9.3	Determinación Curvas IDF (Intensidad, Duración, Frecuencia)...	75
9.4	Áreas de Drenaje.....	77
9.5	Tiempos de concentración.....	78
9.6	Caudales de diseño	80
9.7	Análisis de capacidad hidráulica del sistema pluvial existente...	84
9.8	Análisis de Precipitación.....	87
9.8.1	Hietograma de Diseño.....	87
9.8.2	Hidrograma de escorrentía superficial y unitario de una hoya	92
10	DISEÑO DE LOS SUDS.....	98

10.1 Alcorques inundables.....	98
10.1.1 Área de drenaje	98
10.1.2 Diseño hidrológico	99
10.1.3 Pre-dimensionamiento de Alcorque inundable.....	101
10.2 Zanja de infiltración	101
10.2.1 Área de drenaje	101
10.2.2 Diseño hidrológico	102
11 DEFINICIÓN DEL CRONOGRAMA Y EL PRESUPUESTO.....	104
11.1 Cronograma de actividades	104
11.2 Presupuesto de actividades constructivas	104
12 ANÁLISIS DE RESULTADOS	113
12.1 Viabilidad de diseños de trenes de suds	113
12.1.1 Disminución de inundaciones	113
13 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	117
BIBLIOGRAFÍA.....	119

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Área de estudio, localidad de Suba, Bogotá. Colombia.....	26
Figura 2. Sección transversal drenajes filtrantes	32
Figura 3. Perfil esquemático de un drenaje filtrante.....	33
Figura 4. Dren filtrante capas granulares.....	36
Figura 5. Decreto 528 de 2014.	39
Figura 6. Metodología General del proyecto.....	42
Figura 7. Imagen Satelital, sistemas pluvial Calle 127 con Auto Norte	44
Figura 8. Inundaciones Autopista Norte	45
Figura 9. Inundaciones Calle 127 con Autopista Norte	45
Figura 10. Inundaciones en un evento corto de lluvias	46
Figura 11 Flujo vehicular lento a causa de los encharcamientos.....	46
Figura 12. Mapa de inundaciones por desbordamiento	48
Figura 13. Selección de sitios para SUDS	50
Figura 14. Separador mixto de la Cl. 127 con Autopista Norte	52
Figura 15. Ensayo en campo con anillos de infiltración	52
Figura 16. Sondeo realizado para diseños de estación de Transmilenio calle 127 con autopista norte	56
Figura 17. Levantamiento fotográfico de la zona	62
Figura 18. Ubicación de placa 34-BGT _ IGAC sobre la Cl. 127	62
Figura 19 Coordenadas punto IGAC-34-BGT	63
Figura 20. Punto IGAC-34-BGT Referencia Topográfica en Campo	63
Figura 21 Posicionamiento de la estación TOPCON ES-105	64
Figura 22. Topografía Cl. 127 con Autopista Norte.....	65
Figura 23 Selección de tipologías SUDS	66
Figura 24. Estación hidrológica EAB.....	72
Figura 25 Coordenadas de la ubicación de los coeficientes de intensidad. 72	
Figura 26 Localización general y ubicación del punto de influencia.....	74
Figura 27 Área de drenaje para capacidad hidráulica de tubería existente 74	
Figura 28. Áreas de drenaje seleccionas y ubicadas en la topografía	78
Figura 29. Ubicación y localización de la red pluvial Autopista Norte Calle 127	84
Figura 30 Áreas de drenaje para alcorque inundable	98
Figura 31 Áreas de drenaje para Zanja de Infiltración	101

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Descripción de los tipos de SUDS más implementados.	30
Tabla 2. Características de las variables de diseño.	35
Tabla 3 Entes encargados del diseño y construcción de proyectos de SUDS según la zona de implementación.	38
Tabla 4 Pérdidas por daños en viviendas ocasionados por eventos asociados al clima.	47
Tabla 5 Porcentaje total del área en amenaza alta distribuido por localidad	49
Tabla 6 Datos tomados en campo – Ensayo, Anillos de infiltración.	54
Tabla 7 Resultados de ensayos de Infiltración	54
Tabla 8. Puntos de amarre Calle 127, coordenadas Elipsoidales.	64
Tabla 9. Puntos de amarre Calle 127, coordenadas planas	64
Tabla 10. Tipologías aplicables a diferentes áreas potenciales	67
Tabla 11. Eficiencia de tipologías en reducción de contaminantes.	68
Tabla 12. Eficiencia de tipología en reducción de volúmenes de escorrentía	69
Tabla 13. Calificación de tipologías según frecuencia de mantenimiento ...	70
Tabla 14. Calificación de tipologías según costo	71
Tabla 15. Localización y caracterización del área de estudio	73
Tabla 16 Calculo de la intensidad (CURVAS IDF)	75
Tabla 17 Áreas de drenaje.	77
Tabla 18 Caracterización de la hoya de estudio de referencia para el área de drenaje	80
Tabla 19 Tiempos de concentración por medio de las ecuaciones empíricas Manual de drenaje INVIAS	80
Tabla 20 Coeficiente de infiltración y/o escorrentía del suelo NS-085 EAB	81
Tabla 21 Coeficiente de infiltración de diseño	82
Tabla 22 Método racional para determinar el caudal según el área de drenaje	83
Tabla 23 Área de drenaje para la determinación de la capacidad de la red pluvial existente	85
Tabla 24 Determinación de la capacidad de la tubería pluvial existente.	86
Tabla 25 Cálculo de precipitación diferencial para un intervalo de una hora	88
Tabla 26 Calculo de precipitación diferencial para un intervalo de dos horas	89
Tabla 27 Calculo de precipitación diferencial para un intervalo de tres horas	90
Tabla 28 Cálculo caudal por 5 min (volumen total de lluvia) para una hora	93
Tabla 29 Calculo caudal por 5 min (volumen total de lluvia) para dos horas	94
Tabla 30 Calculo caudal por 5 min (volumen total de lluvia) para tres horas	96

Tabla 31 Hidrograma de diseño caudal pico periodo de retorno de 5 años para tres horas.....	97
Tabla 32 áreas de drenaje para un alcorque inundable	99
Tabla 33 Volumen de calidad del agua.....	99
Tabla 34 Valor propuesto de hp para la ciudad de Bogotá, según registro de estación de lluvias.....	100
Tabla 35 Parámetros de diseño	100
Tabla 36 Volúmenes de diseño.....	101
Tabla 37 áreas de drenaje para Zanja de Infiltración	102
Tabla 38 Volumen de calidad del agua de la Zanja de Infiltración	102
Tabla 39 Parámetros de diseño	103
Tabla 40 Resumen Presupuesto Sistema No Convencional SUDS.....	105
Tabla 41 Presupuesto detallado Construcción de Alcorques.....	105
Tabla 42 Presupuesto detallado Construcción de Zanja de Infiltración	109
Tabla 43 Presupuesto Rehabilitación del sistema pluvia existente.....	110
Tabla 44 Resumen presupuesto Rehabilitación de puntos críticos de redes de alcantarillado pluvial.....	112
Tabla 45 Volúmenes de escorrentía retenidos con el tren de SUDS de la calle 127 con Autopista norte	113
Tabla 46 Sumatoria de volúmenes de escorrentía retenidos por las réplicas de SUDS desde la calle 127 con auto norte hasta la calle 170	114

LISTADO DE GRÁFICAS

Gráfica 1 Curvas intensidad duración y frecuencia (CURVAS IDF).....	76
Gráfica 2 Hietograma tormenta de diseño para intervalo de 5 años en 1 hora	89
Gráfica 3 Hietograma tormenta de diseño para intervalo de 5 años en 2 horas	90
Gráfica 4 Hietograma tormenta de diseño para intervalo de 5 años en 3 horas	92
Gráfica 5 Hidrograma de diseño caudal pico periodo de retorno de 5 años para una hora.....	94
Gráfica 6 Hidrograma de diseño caudal pico periodo de retorno de 5 años para dos horas.....	95
Gráfica 7 Hidrograma de escorrentía unitario con la implementación de los SUDS.....	115
Gráfica 8 Volumen de escorrentía con la implementación del SUDS	115
Gráfica 9 Hidrograma de escorrentía unitario con la implementación de los SUDS desde la calle 127 hasta la calle 170	116
Gráfica 10 Volumen de escorrentía con la implementación del SUDS desde la Calle 127 hasta la Calle 170	116

LISTADO DE ECUACIONES

Ecuación 1. Ecuación profundidad máxima por debajo de la tubería perforada.	34
Ecuación 2. Ecuación Área superficial para la implementación de la estructura.	34
Ecuación 3 Tasa de Infiltración	53
Ecuación 4 Determinación curvas IDF	75
Ecuación 5 Tiempo de concentración Kirpich	78
Ecuación 6 Tiempo de concentración Témez	79
Ecuación 7 Tiempo de concentración Williams	79
Ecuación 8 Método racional	81
Ecuación 9 Precipitación Unitaria	87
Ecuación 10 Precipitación unitaria	87
Ecuación 11 Volumen unitario de lluvia en el intervalo de tiempo	92
Ecuación 12 Hidrograma de escorrentía superficial y unitario	93
Ecuación 13. Volumen de calidad del agua V_c	99

LISTADO DE ANEXOS

Anexo A. INFORMACIÓN HIDROLÓGICA Y CÁLCULOS HIDROLÓGICOS

Anexo B. MEMORIAS DE DISEÑO SUDS.

Anexo C. PLANOS Y CANTIDADES DE OBRA.

Anexo D. PRESUPUESTO MEMORIAS DE CANTIDADES Y
CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES DISEÑO SUDS.

Anexo E. RESULTADOS DE ENSAYO DE INFILTRACIÓN.

Anexo F. CUADRO DE COORDENADAS LEVANTAMIENTO
TOPOGRÁFICO.

.

INTRODUCCIÓN

“Bogotá es una de las ciudades donde se presenta una gran cantidad de precipitaciones durante el año, es entre abril y mayo, octubre y noviembre, los meses donde se alcanzan valores medios de hasta 142 mm”¹

Factores influyentes como su localización en la zona de confluencia intertropical que la atraviesa dos veces al año, han permitido una variación en el comportamiento de las lluvias, y un cambio climático que ha sido estudiado y quizá responsabilizado por el aumento de lluvias no solamente en Bogotá, sino en varias partes del mundo.²

Argumentos como los anteriores, son los que evidencian la problemática que se presenta en la ciudad, donde frecuentemente los sistemas de drenajes se desbordan en épocas de lluvias, ya que quizá, son insuficientes para manejar los grandes volúmenes de agua pluvial, es por esta razón que el diseño e implementación de los SUDS ha sido tomado como una alternativa viable y sostenible para lograr disminuir en gran parte los problemas de inundaciones que afecta a comunidades cercanas a la ronda del río Bogotá, aguas abajo del sistema de recolección pluvial de la ciudad, y además de zonas específicas de la malla vial de la ciudad.

La investigación está basada en las problemáticas que se presentan en la ciudad, a causa del desarrollo urbano, que ha convertido el suelo de la capital cada vez más permeable a las aguas de escorrentía, aquí se presentará una solución alternativa a la problemática que se genera desde el sector ubicado en la autopista norte con calle 127, hasta la calle 170, enfocando los diseños del sistema no convencional, sobre la primera intersección ya nombrada.

Para realizar un análisis en el sistema convencional existente, se tiene en cuenta, tres lugares adicionales a la intersección, que serán la calle 134, calle 153 y calle 170, que se encuentran aguas arriba del lugar inicial de implantación, y los cuales serán réplicas de los trenes de SUDS diseñados, ya que, el sistema de pluvial tiene una continuidad sobre la autopista norte, pasando por los tres lugares, nombrados anteriormente.

A través de la información recopilada y suministrada por la Empresa de Acueducto de la ciudad, quienes nos facilitaron documentos de contratos y anexos que nos muestran la actualidad del sistema pluvial de la autopista norte, y datos históricos de lluvias en la ciudad, por otra parte, la secretaría distrital de ambiente, quien nos permitió conocer la Guía técnica de Diseño y Construcción de SUDS para Bogotá, y la cual fue generada por la Universidad de los Andes. A partir de estos estudios, se tuvo el input para permitir un

1 MOLINA M., GUTIÉRREZ L. y SALAZAR J., Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible SUDS para el plan de ordenamiento zonal norte POZN. Bogotá: Secretaria Distrital De Ambiente, 2011. p. 6.

2 MOLINA M., GUTIÉRREZ L. y SALAZAR J., Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible SUDS para el plan de ordenamiento zonal norte POZN. Bogotá: Secretaria Distrital De Ambiente, 2011. p. 6.

mejor desarrollo del trabajo, basado en diseños ya realizados para la capital del país.

A través del Diseño sustentaremos una solución, según nuestro alcance, a la problemática que presenta la ciudad, identificando la mejor elección del tipo de sistema urbano de drenaje sostenible para el sector elegido y que presenta antecedentes por inundaciones y fallas para el manejo de agua por escorrentías.

El presente trabajo de grado se centrará en un punto neurálgico de la ciudad, más exactamente en la Autopista norte, focalizando el desarrollo de los diseños para la calle 127 con autopista norte, y replicándolos a lo largo de esta vía hasta la calle 170, de tal forma que el impacto positivo de implementación de este proyecto sea aún mayor, más adelante se explicará la selección del lugar y del sistema SUDS, ya que se manejan dentro de estos, varias tipologías.

Cabe resaltar que los SUDS también serán diseñados para otros objetivos como la restauración del ciclo natural del agua, la disminución de los encharcamientos, y la reducción de los contaminantes que el agua lluvia adquiere durante su recorrido, con el objetivo de evitar que esta contaminación llegue a un cuerpo de agua como lo es el río Bogotá.

Es importante reseñar que esta alternativa, será respaldada con la transferencia de conocimiento, la bibliografía, el análisis de los antecedentes, y los diseños que contendrán memorias de cálculos, planos de diseño y presupuestos que avalen esta solución sostenible y amigable con el medio ambiente.

1 ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN

Las tecnologías alternativas como los SUDS, toman cada vez más fuerza, extendiéndose por el mundo entero, países como Australia, Estados Unidos, Japón, Reino Unido, Alemania, Holanda, entre otros han optado por la realización de multitud de proyectos, lo que, además, ha dado como resultado, no solamente construcciones, sino, experiencias y lecciones aprendidas que han permitido diseñar manuales, guías, normativa, legislación y documentación de todo tipo.³

En la actualidad, Australia es uno de los países que cuenta con normativa, legislación y manuales de diseño sobre SUDS o WSUD. Por otra parte, en Europa, por medio del informe 5.1 del programa Day-Wáter, se resalta el grado de implantación de los SUDS, en comparación con el Sistema Convencional de Drenajes, la utilización de las diferentes técnicas SUDS se ha extendido, sobre todo, en los países del centro y norte de Europa.⁴

Estos, son sistemas no convencionales que se definen en áreas, con el fin de contribuir al sistema hídrico y al manejo de los riesgos presentados por medio de la escorrentía al existir impermeabilidad en el área urbana y sobre carga en los sistemas convencionales de drenaje.

La capital del país no es ajena a la problemática generada por el encharcamiento de aguas de escorrentía, por esta razón, se realiza un primer estudio en el año 2009, llamado “Factibilidad técnica, ambiental, económica y financiera para el desarrollo de la infraestructura de acueducto y alcantarillado sanitario y sistema de drenaje pluvial del borde norte de la ciudad”, el cual indica, los conjuntos de soluciones que se adoptan en un sistema de drenaje urbano, con el objetivo de retener el mayor tiempo posible, las aguas lluvias en su punto de origen, sin generar problemas de inundación.⁵

En la actualidad se han realizado estudios para la implementación de trenes de SUDS en la ciudad, como lo ha presentado la universidad de los Andes, para la parte sur y sur-occidental de la ciudad, en los barrios San Cristóbal sur, tunal y Av. Boyacá.⁶

En la tesis de grado se muestra la problemática que se genera a causa de eventos naturales de lluvias que permite la presencia de encharcamientos y/o inundaciones en la autopista norte, lo cual desemboca en inconvenientes de tránsito, para los ciudadanos que transiten por esta importante vía de la ciudad, para lo cual es importante la implementación de trenes de SUDS que mitiguen los niveles de inundación en esta parte de la ciudad.

3 PERALES, S., Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS). Valencia, PMEnginyeria, 2008. p. 2.

4 Ibid., p. 3.

5 MOLINA M., GUTIÉRREZ L. y SALAZAR J., Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible SUDS para el plan de ordenamiento zonal norte POZN. Bogotá: Secretaría Distrital De Ambiente, 2011. p. 13.

6 Centro de Investigaciones en Ingeniería Ambiental CIIA: Guía técnica de diseño y construcción de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS): Universidad de los Andes, 2017.

1.1 ESTADO DEL ARTE DE LAS TECNOLOGÍAS SUDS

Es de gran importancia ahondar en nuestro tema de investigación, el cual nos ha llevado a conocer y reconocer que los SUDS, son una tecnología con un desarrollo sostenible muy importante en el desenfrenado crecimiento de las selvas de concreto que son las ciudades hoy en día. Debemos precisar en los estudios y avances que se han realizado en el contexto nacional e Internacional en el tema de los SUDS, éstos, han emergido con mucha fuerza en diferentes países con amplios antecedentes, en contraste, encontramos nuestro país, en el cual no se había permitido la oportunidad de tener en cuenta este tipo de tecnologías como parte de la solución para el manejo de la escorrentía pluvial.⁷

1.2 ANTECEDENTES NACIONALES

En Colombia no se encuentran muchos estudios que evidencien la utilización de este tipo de tecnologías, sin embargo, es importante resaltar la consultoría realizada por la empresa de acueductos y alcantarillados de Bogotá, con la siguiente descripción informativa:

1.2.1 Contrato de Consultoría

“Factibilidad Técnica, ambiental, económica y financiera para el desarrollo de la infraestructura de acueducto y alcantarillado sanitario y sistema de drenaje pluvial del borde norte de la ciudad de Bogotá.”

Esta Consultoría, abordó de manera conceptual la tecnología de los SUDS, este corresponde a un nivel de “Factibilidad”, allí dejan en claro, que, posterior a esto, la entidad contratante debe realizar los diseños básicos, conceptuales y de detalle, para posteriormente ser construidos.⁸

En otras instancias, la empresa de acueducto de Bogotá, y por medio de su normativa, reconoce a los SUDS como un sistema alternativo que presenta varias ventajas con respecto a los sistemas convencionales.⁹

Por otra parte, la norma técnica NS-085, establece que los SUDS son un conjunto de soluciones que son adoptadas en un sistema de drenaje urbano, con el objeto de retener el mayor tiempo posible, aquellas aguas lluvias en un punto de origen, sin generar problemas de inundación, permitiéndonos que se realicen sobredimensionamientos y / o ampliaciones innecesarias en el sistema de drenaje. Además, el objetivo primordial de los SUDS, entre otros, es lograr el ciclo hidrológico natural del agua.¹⁰

⁷ MOLINA M., GUTIÉRREZ L. y SALAZAR J., Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible SUDS para el plan de ordenamiento zonal norte POZN. Bogotá: Secretaria Distrital De Ambiente, 2011. p. 12.

⁸ Ibid., p. 13.

⁹ Ibid., p. 14.

¹⁰ Ibid., p. 14.

“Son el conjunto de soluciones que se adoptan en un sistema de drenaje urbano con el objeto de retener el mayor tiempo posible las aguas lluvias en su punto de origen sin generar problemas de inundación, minimizando los impactos del sistema urbanístico en cuanto a la cantidad y calidad de la escorrentía y evitando así sobredimensionamientos o ampliaciones innecesarias en el sistema. La filosofía de los SUDS es reproducir, de la manera más fiel posible, el ciclo hidrológico natural previo a la urbanización o actuación humana”.¹¹

En otras latitudes, los sistemas urbanos de drenaje sostenible están concebidos como un componente integral dentro de la concepción del manejo de la escorrentía que se genera dentro de los procesos de urbanización. Esta filosofía de manejo consiste en buscar reproducir con la mayor fidelidad posible las características del ciclo hidrológico natural presente en la zona a desarrollar una vez el proceso de urbanización haya tenido lugar. Más en detalle, las regulaciones establecidas en muchas regiones del mundo establecen que una vez se adelanta el proceso de urbanización, los caudales provenientes de escorrentía pluvial que deben entregarse en los cuerpos de agua receptores no deben exceder los caudales que generaba originalmente la zona desarrollada en sus condiciones de predesarrollo.¹²

Esta filosofía de diseño es la que obliga a la implantación de sistemas de detención de las aguas lluvias, como por ejemplo los sistemas de pondaje, con el objetivo específico de disminuir picos de caudal de las zonas urbanizadas hasta los valores naturalmente generados antes de su urbanización. Nótese entonces como la necesidad de utilizar sistemas de detención se hizo fundamentalmente con el objetivo claro de disminuir la posibilidad de tener inundaciones causadas por el cambio en la permeabilidad de las superficies.¹³

No obstante, la implementación de estos criterios de detención de la escorrentía generada permitió con el paso de tiempo descubrir sus ventajas con respecto a su capacidad para remover contaminantes. Esta capacidad está asociada a la sedimentación del material particulado proveniente del lavado de superficies, a diversos procesos de remoción de contaminantes a través de la vegetación utilizada con fines paisajísticos, y a la capacidad natural de infiltración de los suelos en los que se construyen estos sistemas.¹⁴

¹¹ MOLINA M., GUTIÉRREZ L. y SALAZAR J., Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible SUDS para el plan de ordenamiento zonal norte POZN. Bogotá: Secretaria Distrital De Ambiente, 2011. p. 13 - 14.

¹² Ibid., p. 13 - 14.

¹³ Ibid., p. 13 - 14.

¹⁴ Ibid., p. 13 - 14.

Con esto en mente, los objetivos encontrados con los sistemas de detención se han ido progresivamente ampliando hacia otras tecnologías alternativas, tales como la bio-retención, el filtrado de aguas lluvias y la implantación de humedales artificiales en donde, como siempre, se busca cumplir simultáneamente con los objetivos de mitigación de picos de crecienta y mejorar la calidad del agua de la escorrentía. No obstante, la adopción de criterios con fines de diseño y regulación de las diferentes tipologías de SUDS por parte de diferentes entidades ambientales y territoriales se ve claramente influenciada por el nivel de conocimiento que se tenga de su desempeño real.¹⁵

1.3 ANTECEDENTES INTERNACIONALES

A diferencia de Colombia, la tecnología de los SUDS, ya se encuentra concebida dentro de los planes de desarrollo urbano, y no después de estos, desde la concepción se planea el manejo de la escorrentía generada por los procesos de urbanización.¹⁶

Cuando en Bogotá se empezaba con un estudio de factibilidad de SUDS, en el año 2009, años antes, el viejo continente, ya mostraba la implementación e importancia de estos sistemas no convencionales de drenaje pluvial, países como España, cada vez más opta por la construcción de superficies permeables, franjas filtrantes, pozos y zanjas de infiltración.

Siendo un tema de gran importancia, países como Australia, Estados Unidos, Japón, Reino Unido, Alemania, Francia, Sudáfrica y Nueva Zelanda, han presentado técnicas de desarrollo y construcción de estos sistemas, a partir de la experiencia generada que, además, también han dado como resultado, manuales de diseño, guías, normatividad, legislación y documentación de todo tipo.

Desde ese momento, años atrás al 2009, Países como Estados Unidos y Reino Unido, ya presentaban normativas que fijaban los periodos de retorno y las duraciones de las lluvias a emplear en los cálculos, permitiendo un diseño integral desde el punto de vista de la calidad y la cantidad, al trabajar con todo tipo de eventos de precipitaciones.¹⁷

¹⁵ MOLINA M., GUTIÉRREZ L. y SALAZAR J., Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible SUDS para el plan de ordenamiento zonal norte POZN. Bogotá: Secretaria Distrital De Ambiente, 2011. p. 12.

¹⁶ Ibid., p. 12.

¹⁷ PERALES, S., Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS). Valencia, PMEnginyeria, 2008. p. 6 - 7.

A partir de los desarrollos de las grandes urbes, es notable en su totalidad, el cambio en la permeabilidad de las superficies, esta también es una de las razones por las cuales se requiere de la implementación de sistemas de retención que buscan fundamentalmente la disminución en las posibilidades de inundaciones que se han podido proveer con antelación.¹⁸

Es importante mencionar que los SUDS, no son la única tecnología concebidos para la retención y sedimentación de material particulado, la necesidad ha requerido ampliar progresivamente estas alternativas, donde actualmente encontramos la bio retención, el filtrado de aguas lluvias y la implantación de humedales artificiales. Todos estos siempre buscan un mismo objetivo, y es el de mitigar los picos de creciente y mejorar la calidad del de la escorrentía.¹⁹

¹⁸ MOLINA M., GUTIÉRREZ L. y SALAZAR J., Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible SUDS para el plan de ordenamiento zonal norte POZN. Bogotá: Secretaria Distrital De Ambiente, 2011. p. 14.

¹⁹ Ibid., p. 14.

2 PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

El cambio climático es una realidad latente que afecta la mayor parte del mundo, en nuestro caso, Bogotá, que no es la excepción, grandes investigaciones como las publicadas en la revista *Nature* (Revista Científica), indican que este fenómeno causado por el hombre a través de la producción de gases de invernadero y demás, ha propiciado la generación e incremento de las precipitaciones, tema que no es ajeno a nuestra ciudad donde se ocasionan, además, grandes inundaciones.

En Bogotá ubicamos, más exactamente en la Autopista norte con calle 127, el lugar que se adecua a las necesidades para poder realizar la implantación de uno de los varios SUDS que requiere la ciudad como sistema no convencional de aguas lluvias.

A través de los estudios realizados por parte de la secretaria distrital de ambiente en conjunto con la Universidad de los Andes y la empresa de acueducto y alcantarillado de Bogotá, además de los estudios técnicos realizados por el IDIGER, se ha determinado que la parte sur occidental de Bogotá, en cercanías a la ronda del río, que este es un lugar vulnerable a inundaciones propiciadas por los elevados volúmenes de agua lluvia recibidos de los sistemas pluviales de la ciudad.²⁰

Además, estas aguas por escorrentía generan repercusiones negativas no solamente en las cercanías al río Bogotá, sino que también a la malla vial de la ciudad, razones por la cual, se deben buscar alternativas que permitan de manera sostenible, solucionar aquellos inconvenientes que generan consecuencias como, pérdidas materiales, afectaciones a la integridad física de las personas, colapso en las redes de alcantarillado, encharcamientos y fallas eléctricas en los semáforos.

En la actualidad, se buscan soluciones que permitan disminuir los efectos de las inundaciones, también, acortar las elevadas concentraciones de elementos dañinos en los cuerpos de agua y que, además, permitan que se logre un enfoque sostenible y amigable con el medio ambiente, razón por la cual es importante resaltar la importancia que presentan los SUDS, tomados como una solución alternativa que pretende restaurar el ciclo natural del agua, minimizando la cantidad y mejorando la calidad del agua de escorrentía en un entorno urbano.

²⁰ Secretaría Distrital de Ambiente - Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático-IDIGER. Plan Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático para Bogotá D.C., 2015- 2050. Informe de la Secretaría Distrital de Ambiente. Bogotá: SED; 2015.

Pregunta de investigación

¿Puede la tecnología de los SUDS ser tomada como opción alternativa de sistema no convencional para lograr minimizar el riesgo de inundación en la Calle 127 con Autopista Norte, implantando el proyecto en dicho lugar?

3 OBJETIVOS

3.1 GENERAL

Diseñar un Sistema Urbano de Drenaje Sostenible (SUDS) para la Autopista norte, en una extensión comprendida entre la calle 127 y la calle 170, que genere una reducción de los niveles de inundación ocasionales en esta zona de la ciudad.

3.2 ESPECÍFICOS

- Realizar visitas de campo al tramo seleccionado entre las calles 127 y calle 170, para trabajar en levantamientos topográficos, fotográficos y toma de datos necesarios del lugar.
- Ejecutar un análisis hidrológico de la zona con el fin de obtener los datos necesarios para los diseños de los SUDS
- Desarrollar diseños hidráulicos de un sistema no convencional, acompañados de cálculos y presupuestos necesarios, que avalen la viabilidad de la tecnología SUDS.
- Realizar un presupuesto comparativo entre sistemas convencionales y no convencionales.

4 JUSTIFICACIÓN

Con el fin de establecer las condiciones de inundaciones en la ciudad y las correspondientes zonas de amenaza alta, media y baja, en su momento el FOPAE contrató una serie de estudios de zonificación, que en algunos casos extienden su alcance a amenaza y otros a riesgo.

Con base en estos estudios se desarrolló un mapa de zonificación para la ciudad contenido en el “decreto 190 de 2004”, y en el “Plan Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático para Bogotá D.C., 2015-2050”, identificando zonas con amenaza alta, media y baja.²¹

De acuerdo con la zonificación de amenaza las localidades con mayor porcentaje del área de la localidad en amenaza alta por desbordamiento son las localidades de Suba (10.3%) y Bosa (9.4%).²²

Durante el desarrollo de este trabajo se ha dejado entrever que además del cambio climático, tenemos el crecimiento desaforado e impermeabilización de las grandes ciudades, no solamente en Colombia sino en el mundo, y es allí donde toma fuerza e importancia la necesidad de contemplar una opción sostenible que se adapte al entorno existente y que genere una alternativa no convencional para el manejo de agua de escorrentía que el sistema pluvial de una ciudad no sea capaz de sobrellevar.

El objetivo principal es manejar grandes volúmenes de agua de escorrentía generados en eventos de lluvias con altos picos de precipitaciones en la ciudad de Bogotá, que genera inundaciones en la parte sur occidental de la capital y en las periferias del punto de implementación de los diseños además, se busca bajar los niveles de contaminantes que llegan al río Bogotá, a través de estas aguas, esto se logrará con la implantación en la Autopista norte de los diseños de un sistema no convencional tipo SUDS.

Cómo bien se ha dicho, la impermeabilización de las ciudades genera aguas de escorrentía, las cuales a su vez arrastran todo tipo de contaminantes durante su recorrido. Los SUDS, buscan reducir los niveles de contaminantes que puedan llegar aguas abajo, además, la captación, transporte y almacenamiento en estos sistemas, busca también, reducir la velocidad de los caudales de agua pluvial que ocasiona el rápido llenado aguas abajo del río Bogotá, propiciando inundaciones que afectan a las comunidades aledañas.

21 Secretaría Distrital de Ambiente - Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático-IDIGER. Plan Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático para Bogotá D.C., 2015- 2050. Informe de la Secretaría Distrital de Ambiente. Bogotá: SED; 2015.

22 Ibid., p. 127.

5 DELIMITACIÓN

5.1 ESPACIO

Para la implantación de los diseños se cuenta con unas áreas localizadas, en los separadores de la vía Autopista norte específicamente, puntos referenciados entre la calle 127 y calle 170, que van de Sur – Norte y Norte – Sur, aproximadamente, se contaría con un área de 200 m² en cada separador.

En otras instancias, el área de estudio hidrológico abarca un espacio de gran extensión, el cual ha sido delimitado con planos topográficos, e imágenes satelitales que han sido recopiladas durante la búsqueda de información para el proyecto.

Figura 1. Área de estudio, localidad de Suba, Bogotá. Colombia



Fuente: Google Earth 2017

La Figura 1. Foto satelital del área que se utilizara para la recolección de datos y posterior diseño de los SUDS.

5.2 TIEMPO

El estudio hidrológico y cálculos que darán como resultado, los diseños de los SUDS, inicia con una recolección de datos históricos de precipitaciones en la capital, tomados de estaciones hidrometeorológicas ubicadas en la ciudad, gracias a esto, se determinarán periodos de retorno de lluvias, en el siguiente orden de tiempo de 2, 5, 10, 20, 50 y 100 años los cuales son de altos niveles de pluviosidad, que nos ayudarán también a calcular los caudales que se deberán manejar en determinados momentos.

De allí tomaremos los datos obtenidos a los 5 años ya que con este dato se debe calcular un sistema pluvial, sin el riesgo de cometer el error de un sobre diseño, que propicien la pérdida de tiempo y dinero.

5.3 CONTENIDO

Este proyecto contará con un análisis detallado de selección del lugar para implementar el tren de SUDS, selección del SUDS, diseños ingenieriles del mismo, cómo resultados que avalen la implementación de este sistema no convencional.

5.4 ALCANCE

Cómo zonas de análisis para el informe hidrológico se tiene la franja sobre la Autopista norte, desde la calle 127 hasta la calle 170, en este espacio se determinarán lugares donde las inundaciones producidas por eventos de lluvias son un factor común, además, es allí donde serán replicados los diseños de los SUDS, pero principalmente enfocándonos en la calle 127 con Auto norte.

Es importante resaltar que se cuenta con el “PLAN DISTRITAL DE GESTIÓN DE RIESGOS Y CAMBIO CLIMÁTICO PARA BOGOTÁ D.C., 2015-2050”, el cual es un documento técnico de soporte, elaborado por el IDIGER y la SDA, en el que se describen las zonas de la ciudad con alta, media y baja vulnerabilidad a eventos de inundaciones por desbordamientos, dando por hecho que las localidades con mayor amenaza son Suba, Engativá, Bosa y Kennedy.²³

El incremento de los caudales en épocas de lluvias, en parte, son causales de los desbordamientos del Río Bogotá en estas localidades, el alcance del proyecto de grado es mostrar cuan eficiente pueden ser las tipologías SUDS para retener volúmenes de agua que en eventos de lluvia llegarían aguas

23 Secretaría Distrital de Ambiente - Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático-IDIGER. Plan Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático para Bogotá D.C., 2015- 2050. Informe de la Secretaría Distrital de Ambiente. Bogotá: SED; 2015. p. 127.

abajo, al cuerpo receptor, pero en su implementación minimizan los riesgos ya nombrados y, además, evita el daño, por reducción de niveles de contaminantes que recoge esta agua lluvia por escorrentía.

6 MARCO DE REFERENCIA

6.1 MARCO CONCEPTUAL

El diseño del SUDS, tiene como finalidad brindar una solución frente a los volúmenes de agua de lluvia que a su vez arrastra contaminantes presentes en las vías. Estas aguas de escorrentía producto de las precipitaciones traen consigo contaminantes generados por la combustión y la contaminación ambiental (Torres Abello 2006).²⁴

En definitiva, el problema de la contaminación de las escorrentías urbanas y de su vertido directo al medio natural es una cuestión grave, por lo cual se debe tener en cuenta el mismo planteamiento que surgió para el manejo de las aguas residuales. No obstante, la naturaleza intermitente del proceso de lluvia induce a encontrar soluciones que respondan correctamente con un funcionamiento discontinuo.²⁵

Es imperativo mencionar, que, Bogotá se localiza dentro de la zona de confluencia intertropical la cual cruza la ciudad dos veces al año, situación que influye en el comportamiento de las lluvias produciendo dos épocas de lluvias que popularmente se denominan invierno. La primera se presenta en los meses de marzo, abril y mayo, y la segunda en los meses de septiembre, octubre y noviembre. Especialmente hablando, la precipitación se caracteriza por valores medios que oscilan de 69 mm en la localidad de Bosa, al occidente, mientras que los valores medios alcanzan los 142 mm en el sector de Torca, al norte de la ciudad.²⁶

Conforme a lo anterior, una de las problemáticas más importantes que tiene la ciudad de Bogotá es la amortiguación de aguas lluvias en el espacio público, sobre todo en los periodos de precipitación, debido a que el rápido desarrollo urbano ha generado la impermeabilización de la ciudad teniéndose pocas coberturas vegetales que ayuden a interceptar el agua lluvia.²⁷

El planteamiento de la solución es diseñar “Los SUDS, los cuales se implementan dependiendo de las características de cada zona, a continuación, se presenta una tabla donde se describen los sistemas comúnmente utilizados.”²⁸

24 TORRES ABELLO, 2006, Citado por ÁLVAREZ, J. y CELEDÓN E. Evaluación de las capacidades hidráulicas y de retención de contaminantes de un modelo de trinchera de retención construida con una canastilla en resinas de Polipropileno (Aquacell) acoplada con capa filtrante en geotextil y grava utilizada como componente del drenaje urbano, 2012. p. 12.


25 MOMPALER, S y DOMÉNECH, I. Los sistemas urbanos de drenaje sostenible una alternativa a la gestión del agua de lluvia. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia, 2015. p. 3 - 4.

26 MOLINA M., GUTIÉRREZ L. y SALAZAR J., Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible SUDS para el plan de ordenamiento zonal norte POZN. Bogotá: Secretaría Distrital De Ambiente, 2011. p. 6.

27 ibid., p. 6.

28 ALVAREZ, J. y CELEDÓN E. Evaluación de las capacidades hidráulicas y de retención de contaminantes de un modelo de trinchera de retención construida con una canastilla en resinas de Polipropileno (Aquacell) acoplada con capa filtrante en geotextil y grava utilizada como componente del drenaje urbano, 2012. p. 14 - 16.

Tabla 1. Descripción de los tipos de SUDS más implementados.

Tipos de SUDS	Descripción	Ejemplo
Superficies Permeables	Son pavimentos que permiten el paso del agua a través de ellos (CIRIA C523, 2001). Con su utilización se logra almacenar, reducir el volumen y el caudal máximo de contaminantes y mejorar la calidad de las aguas lluvias (Fernández, 2003)	 <p>(Fernández et al., 2003)</p>
Pozos y zanjas de Infiltración	Son utilizados con el fin de recoger y almacenar las aguas lluvias. Es necesario conocer las características del suelo para aplicar este sistema, ya que no deben afectar el nivel freático. Generalmente con contruidos con materiales granulares y son cubiertos con geotéxtil. (Ciria C697, 2007)	 <p>(CIRIA, 2001)</p>
Drenes filtrantes	Son zanjas recubiertas de material geotéxtil y rellenas de material granular. Este permite una infiltración de la escorrentía, atrapando materia orgánica, metales pesados y residuos grasos, los cuales son descompuestos por las bacterias en dichos drenes. (Ciria C697, 2007)	 <p>(CIRIA, 2007)</p>
Franjas Filtrantes	Son secciones de terreno vegetado con leve inclinación, diseñado para recibir y filtrar lalámina de escorrentía atrapando sólidos y aceites, Utiliza pendientes longitudinalesenter el 2 y 6% y anchos de 7.5m a 15m. En su proceso constructivo se debe nivelar , extender y compactar 10 cm de tierra negra para jardín. (Ciria, C697, 2007)	 <p>(CIRIA, 2007)</p>
Depositos superficiales de detención	Son depreciones diseñadas para retardar durante unas horas la escorrentía de las tormentas y permitir la sedimentación de los sólidos en suspensión. (Ciria, C697, 2007)	 <p>(CIRIA, 2007)</p>

Fuente: Álvarez, J. y Celedón E., 2012

Frente a la problemática que presentan las ciudades, se tienen que definir ciertos aspectos importantes en el cual las tecnologías de los SUDS brindaran beneficios tales como:

6.1.1 Beneficios Generales

- Prevención de la contaminación del agua lluvia.
- Control de inundaciones.
- Recarga del agua subterránea.

- Mejoramiento del medio ambiente.
- Tratar la escorrentía cerca de donde cae la lluvia.
- Manejar la contaminación en su fuente de producción.
- Proteger los medios receptores de agua.
- Reduce los picos de escorrentía facilitando el manejo de la cantidad y calidad del agua lluvia, especialmente aguas abajo.

6.1.2 Beneficios para el medio ambiente

- Reducen el efecto de isla de calor en grandes ciudades.
- Reducen hasta 5 grados la temperatura interior de un edificio.
- Habilitan espacios urbanos no usados.
- Crea un espacio paisajístico agradable dentro del entorno urbano.
- Crean un ecosistema en la ciudad que permite la integración de especies autóctonas aumentando la biodiversidad en la ciudad.

6.2 MARCO TEÓRICO

Los sistemas de drenajes filtrantes se pueden considerar como largas zanjas de infiltración o sumideros (o soakaways) lineales, con tuberías perforadas de drenaje en la parte inferior de éstas (Toronto and Región Conservation Authority, 2010).

Este tipo de sistema complementario se compone de tuberías perforadas de pendiente suave y capas de roca granular o relleno de áridos ligeros, forrados con fibra geotextil.

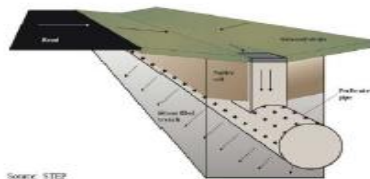
Éste último permite que el agua se infiltre en la capa de grava y el suelo subyacente. Así mismo el agua puede ser conducida a otras estructuras de drenaje urbano, o descargada directamente a un cuerpo receptor cercano (Toronto and Región Conservation Authority, 2010).

Los drenajes filtrantes se pueden situar a lo largo de las pendientes laterales de vías u otras depresiones lineales (Water State Department of Ecology, 2011). Estos sistemas son apropiados para el tratamiento de la escorrentía de techos, andenes, estacionamientos y vías de tráfico medio con un adecuado tratamiento (Toronto and Región Conservation Authority, 2010).²⁹

Los drenajes filtrantes se pueden implementar para reemplazar tuberías de drenaje pluvial convencional, donde la topografía, la profundidad del nivel freático y las condiciones de la calidad de la escorrentía son adecuadas. En este sentido, esta tecnología es apropiada cuando el nivel freático de la zona no está cerca de la superficie, o cuando se puede garantizar que la instalación de esta tubería siempre se encuentra por encima del nivel freático (Toronto and Región Conservation Authority, 2010).

Una variación en el diseño puede ser la inclusión de sumideros perforados para permitir la infiltración en el suelo nativo (Toronto and Región Conservation Authority, 2010). Por otro lado, el drenaje puede exponer el material de relleno o puede estar cubierto de vegetación. Las plantas en la parte superior ayudan al tratamiento del agua lluvia ya que facilitan la sedimentación de contaminantes.³⁰

Figura 2. Sección transversal drenajes filtrantes

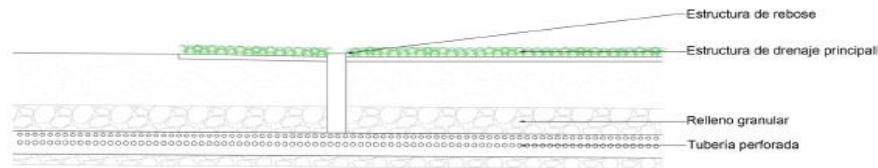


Fuente Universidad de los Andes, 2015

29 Toronto and Region Conservation Authority, 2010, Citado por la Universidad de los Andes Facultad de Ingeniería. Investigación de las tipologías y/o tecnologías de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) que más se adapten a las condiciones de la ciudad de Bogotá D.C., 2015. p.285.

30 Ibid., p. 285.

Figura 3. Perfil esquemático de un drenaje filtrante.



Fuente: Universidad de los Andes, 2015

6.2.1 Descripción de procesos fisicoquímicos y biológicos

Esta estructura tiene el potencial de remover contaminantes, por medio de mecanismo de filtración y adsorción (CIRIA, Norfolk County Council, 2007). Sin embargo, dado que las tuberías perforadas usualmente son utilizadas como adecuaciones complementarias a otro tipo de estructura de drenaje urbano (cunetas verdes y zanjas de infiltración), los mecanismos de remoción de partículas y contaminantes pueden ser altamente variados (CIRIA, Norfolk County Council, 2007).

6.2.2 Diseño

Existen tres elementos generales de diseño de drenajes filtrantes. El primero consiste en el diseño del material filtrante que permitirá la percolación del agua. La tasa de percolación debe seleccionarse de modo que permita la remoción de contaminantes, y a su vez, disminuya el riesgo de inundación en el área de captación (CIRIA, Norfolk County Council, 2007).

De esta manera, para incrementar la eficiencia de remoción de partículas del agua de pequeños eventos de lluvia, se aconseja aumentar el tiempo de contacto del agua con la estructura (CIRIA, Norfolk County Council, 2007). El segundo elemento, consiste en el diseño del material que almacenará temporalmente el agua de escorrentía.

Entre mayor sea el porcentaje de vacíos del medio poroso, mayor será la capacidad de almacenamiento de la estructura. Esta capacidad dependerá finalmente de la tubería de descarga (CIRIA, Norfolk County Council, 2007). El último elemento, consiste en el diseño del sistema de tuberías perforadas, el cual debe permitir el transporte y dirección del agua drenada hacia otras estructuras de drenaje o hacia un cuerpo receptor cercano (CIRIA, Norfolk County Council, 2007).³¹

³¹ CIRIA, Norfolk County Council, 2007, Citado por la Universidad de los Andes Facultad de Ingeniería. Investigación de las tipologías y/o tecnologías de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) que más se adapten a las condiciones de la ciudad de Bogotá D.C., 2015. p.286.

6.2.3 Hidráulico

El medio granular que se encuentre sobre la superficie de la tubería perforada, debe estar a una altura 0,075 a 0,15 m (Toronto and Región Conservation Authority, 2010). Por otro lado, la profundidad del medio, por debajo de la tubería, depende de las condiciones del suelo intervenido. En este sentido, variable como la tasa de infiltración, la porosidad del medio granular, y el tiempo de retención hidráulico que se desee alcanzar, son relevantes para la estimación de esta variable (Toronto and Región Conservation Authority, 2010). La Ecuación de profundidad máxima por debajo la tubería perforada presenta la relación matemática para su estimación.³²

Ecuación 1. Ecuación profundidad máxima por debajo de la tubería perforada.

$$dr_{max} = \frac{it_s}{V_r}$$

Fuente: Universidad de los Andes, 2015

Donde

d_r máx. = profundidad máxima por debajo de la tubería perforada (mm)

i = tasa de infiltración del suelo nativo (mm/hr),

V_r = relación de vacíos en el material poroso (generalmente se utiliza 40% para piedras de 50 mm)

t_s = Tiempo de drenaje (se recomienda en el diseño un tiempo de drenaje de 48 horas) (Toronto and Región Conservation Authority, 2010).³²

Una vez determinada esta profundidad (véase Ecuación 1), es posible calcular, mediante la Ecuación 2 presentada a continuación, el área superficial que se requiere para la implementación de esta estructura.

Ecuación 2. Ecuación Área superficial para la implementación de la estructura.

$$A_f = \frac{WQV}{d_r V_r}$$

Fuente: Universidad de los Andes, 2015

Donde A_f = Área superficial requerida (m²), WQV = Volumen de calidad de agua, d_r = profundidad del medio poroso por debajo de la tubería y V_r = relación de vacíos en el material poroso (generalmente se utiliza 40% para piedras de 50 mm) (Toronto and Región Conservation Authority, 2010).³³

³² Toronto and Region Conservation Authority, 2010, Citado por la Universidad de los Andes Facultad de Ingeniería. Investigación de las tipologías y/o tecnologías de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) que más se adapten a las condiciones de la ciudad de Bogotá D.C., 2015. p.286.

³³ Toronto and Region Conservation Authority, 2010, Citado por la Universidad de los Andes Facultad de Ingeniería. Investigación de las tipologías y/o tecnologías de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) que más se adapten a las condiciones de la ciudad de Bogotá D.C., 2015. p.287.

6.2.4 Consideraciones, Variables y parámetros para el diseño

A continuación, se presenta los siguientes parámetros importantes que se deben tener en cuenta principalmente para el diseño del drenaje filtrante:

Tabla 2. Características de las variables de diseño.

Perímetro	Características
Lecho de grava	Excavaciones generalmente rectangulares con un ancho de fondo entre 0.6 y 2.4m. En este lecho de grava se ubica la tubería perforada.
Pendiente	Entre 0.5 y 1%
Rugosidad de la tubería	Entre menor sea la rugosidad de las paredes interiores de la tubería, menor será el riesgo de acumulación de sedimentos, y más sencilla será, su limpieza y mantenimiento.
Profundidad del medio poroso	Entre 0.075 y 0.15 metros por encima de la tubería perforada.
Perforación de la tubería	La tubería debería estar continuamente perforada, el diámetro de los agujeros se define a partir de los requerimientos de infiltración que se deseen obtener.
Tiempo de drenaje	La estructura debe drenar por completo el agua contenida, en un tiempo de 72 horas después del evento de lluvia, para de esta manera impedir la proliferación de mosquitos.
Topografía del sitio	Esta estructura no puede ser localizada en suelos naturales con pendientes superiores a 15%
Área de drenaje	Típicamente diseñada para áreas impermeables de drenaje, con una relación de área que varía de 5:1 a 10:1
Acuífero	El lecho de grava en donde se debe instalar la estructura debe estar al menos 1m. por encima del nivel máximo de la tabla de agua.
Proximidad	Este tipo de estructura debe poseer una distancia mínima de 4m, con respecto a los cimientos de construcciones ya preestablecidas
Diámetro	Se recomienda utilizar tuberías perforadas de HDPE (Polietileno de alta densidad), o su equivalente. Mínimo se requiere un diámetro de 0.1 m. se sugiere un valor de 0.20 m.

Fuente: Universidad de los Andes, 2015

Los drenes filtrantes son SUDS conformados por excavaciones poco profundas (entre 1 y 2 m) rellenas con materiales pétreos gruesos que crean almacenamiento temporal subsuperficial. Estos sistemas poseen la desventaja de que pueden llegar a colmatarse con facilidad, por lo que deberán diseñarse cuidadosamente sus capas granulares interiores con el fin de maximizar su tiempo de vida útil. Estos elementos pueden captar lateralmente la escorrentía proveniente de vías, o de un colector que previamente haya recolectado aguas pluviales no circuladas con anterioridad a través de otro sistema SUDS. Estos sistemas deberán tener superficies cóncavas que permitan la concentración de la escorrentía hacia el centro del elemento.³⁴

Materiales plásticos geo-celulares pueden ser utilizados como elementos alternativos a los materiales pétreos si permiten una adecuada retención y almacenamiento de la escorrentía. Los drenes filtrantes serán vegetados o no, en cuyo caso debe disponerse de un geotextil filtrante en las capas superiores del material de relleno que separe la franja de suelo que soporta la vegetación del resto del material granular, mientras que simultáneamente se garantice la percolación adecuada del agua en superficie. Deberá tenerse en cuenta que, dadas las condiciones de suelos de la Sabana de Bogotá, estos sistemas incorporarán tuberías de drenaje subsuperficial que garanticen el drenaje completo de estos sistemas hacia el sistema de alcantarillado.³⁵

Figura 4. Dren filtrante capas granulares.



Fuente: Secretaria Distrital de Ambiente, 2011

³⁴ MOLINA M., GUTIÉRREZ L. y SALAZAR J., Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible SUDS para el plan de ordenamiento zonal norte POZN. Bogotá: Secretaria Distrital De Ambiente, 2011. p. 20.

³⁵ Ibid., p. 20.

6.3 MARCO LEGAL

6.3.1 Normatividad distrital referente a SUDS

Un primer documento que emplea el término SUDS en la legislación y normatividad colombiana es el Plan de Ordenamiento Zonal del Norte (POZ Norte) de Bogotá, el cual se debe entender como el instrumento de planeación y gestión de la zona norte de la ciudad capital. Tiene como objetivo “establecer un marco normativo que contenga directrices urbanísticas que desarrollen lo establecido en el Plan de Ordenamiento Territorial” para lo cual debe velar por la sostenibilidad ambiental, preservar y restablecer la estructura ecológica original de la zona mientras se da el desarrollo urbano y económico de la ciudad y se gestiona la protección y restauración de la cuenca del río Bogotá. Adicionalmente, el POZ Norte tiene como objetivo específico la “conservación de la biodiversidad, el agua, el aire y, en general, del ambiente deseable para el hombre, la fauna y la flora”.

La adopción oficial del POZ Norte se dio mediante el Decreto 043 de 2010, por parte de la Alcaldía Mayor de la Ciudad de Bogotá. El Artículo 7 de este Decreto tiene como objetivo la “consolidación de un sistema de recolección de aguas lluvias y aguas negras, integrado al sistema de tratamiento del río Bogotá, para el saneamiento y recuperación de los cauces y canales existentes y previstos”. El Decreto 043 de 2010 incluye la utilización de SUDS como una estrategia para cumplir los objetivos de sostenibilidad urbana planteados para el POZ Norte. El Artículo 17 del Decreto en mención establece:

“Reglamentación del drenaje urbano sostenible del Distrito Capital. La Secretaría Distrital de Ambiente -SDA-, la Secretaría Distrital de Planeación -SDP- y la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá -EAAB- concertarán los lineamientos técnicos de drenaje urbano sostenible del Distrito Capital, que serán adoptados mediante resolución de la primera, dentro de los doce (12) meses siguientes a la adopción del presente decreto”. Tal como fue estipulado en el Artículo 17 del Decreto 043 de 2010, en el año 2012 fue expedida la Resolución 6523, por la cual se reglamentan y adoptan los SUDS para el POZ Norte. Dicha Resolución tiene como objetivo reglamentar y adoptar los lineamientos técnicos para los SUDS de la zona Norte de la ciudad de Bogotá, para así minimizar los volúmenes de agua contaminada en cuerpos de agua receptores, así como reducir el riesgo de inundaciones generadas por volúmenes y caudales pico.

El artículo quinto de la Resolución 6523 de 2011 expone lineamientos sobre zonas óptimas para la instalación de SUDS sobre el subsistema vial de la ciudad, así como porcentajes del área total de dicha malla vial que deberán ser comprendidos por SUDS.

Por tratarse de un marco normativo regional, la Resolución 6523 y el Decreto 043 aplican exclusivamente para la división zonal norte de la ciudad de Bogotá. La zona de acción de la normativa se encuentra limitada al oriente por los cerros orientales, al occidente por la cuenca del río Bogotá, al norte por el municipio de Chía y al sur por las unidades de planeamiento zonal Britalia, Casablanca Suba, San José de Bavaria, y las Calles 191, 189 y 193. Por su parte, el Decreto 528 de 2014 tiene una escala geográfica mayor, pues reglamenta el manejo de SUDS para la totalidad del Distrito Capital.

La Resolución 6523 de 2011 incluye en su Artículo Noveno los porcentajes de SUDS que debe incluir cualquier proyecto que se desarrolle en el área de cubrimiento del POZ Norte de la ciudad de Bogotá. Dichos proyectos deberán contar con un sistema de control pluvial que cumpla la especificación de superficies permeables del 50% del área total de las áreas libres (superficies duras o blandas no techadas). Adicionalmente, en todas las edificaciones de las franjas de conectividad y en todas las edificaciones con actividad dotacional, el 50% del área total de la cubierta corresponderá a techos verdes.

La Tabla siguiente se resume las entidades encargadas en función de la zona de desarrollo del proyecto:

Tabla 3 Entes encargados del diseño y construcción de proyectos de SUDS según la zona de implementación.

Zona	Elaboración de diseños detallados y construcción	Aprobación, seguimiento y monitoreo del proyecto
Subsistema vial	Instituto Distrital de Desarrollo Urbano (IDU)	-
Espacio público-parques	Promotor de la zona y futuro constructor	Subdirección de Ecurbanismo de la SDA
Espacio público-red andenes, malla vial local e intermedia	Promotor de la zona y futuro constructor	Subdirección de Ecurbanismo de la SDA
Estructura ecológica principal	Empresa Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Bogotá (EAB-ESP)	Subdirección de Ecurbanismo de la SDA
Estructura socioeconómica y espacial	Promotor de la zona y futuro constructor	Subdirección de Ecurbanismo de la SDA

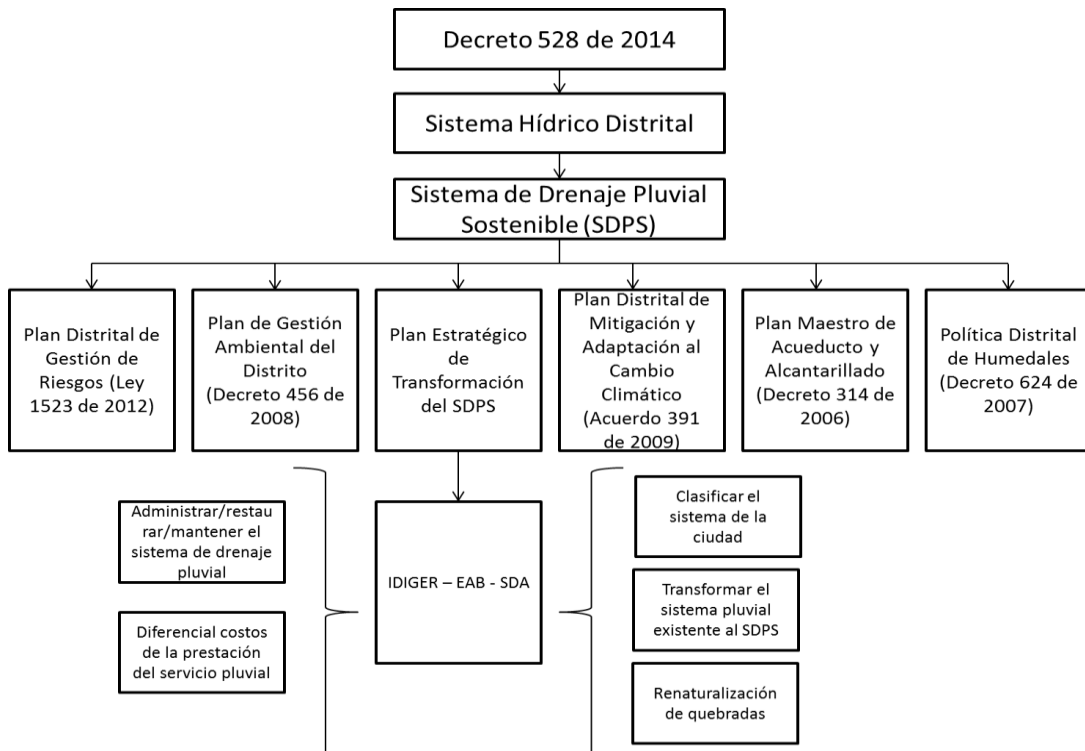
Fuente: Universidad de los Andes, 2015

Finalmente, en el mes de noviembre del año 2014 se expidió el Decreto 528, por medio del cual se establece el Sistema de Drenaje Pluvial Sostenible del Distrito Capital.

Dicho documento presenta una conceptualización general del Drenaje Pluvial Sostenible en la ciudad de Bogotá, da los lineamientos, instrumentos y procesos para la gestión de SUDS y describe las instancias de dirección, coordinación, manejo, mantenimiento y financiamiento para el desarrollo de proyectos que involucren drenaje sostenible.

Lo anterior lo establece a partir de seis planes mostrados en la Figura 1 y adicionalmente, especifica todas las entidades involucradas en la gestión de proyectos de drenaje urbano y delega funciones a cada una de las entidades.³⁶

Figura 5. Decreto 528 de 2014.



Fuente: Universidad de los Andes, 2015

³⁶ UNIVERSIDAD DE LOS ANDES, Investigación de las tipologías y/o tecnologías de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) que más se adapten a las condiciones de la ciudad de Bogotá D.C., 2015. p. 19 - 21.

6.3.2 Criterios para diseño y construcción de sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS) NS-166

En concordancia con la Guía técnica de diseño y construcción, la NS-166, describe el procedimiento, generalidades de los diseños, implementación, construcción y tipologías de este tipo de sistemas no convencionales para la ciudad de Bogotá.

Es imperativo resaltar que ya es obligatorio, según la Resolución 0330 del ministerio de vivienda, artículo 153, contemplar este tipo de sistemas para proyectos de desarrollo urbano a futuro no solo en la capital sino en el país, de esta manera, Bogotá, en los próximos años y desde ahora deberá seguir con los lineamientos que plantea esta norma técnica, que desde la EAAB se ha puesto en conocimiento al público desde el presente año.³⁷

6.3.3 Resolución 0330, Ministerio de Vivienda

6.3.3.1 ARTÍCULO 153. Sistemas Urbanos de Drenajes Sostenibles

Para nuevos desarrollos Urbanos, donde se modifique la cobertura del suelo, se deben generar estrategias con el fin de mitigar el efecto de la impermeabilización de las áreas en el aumento de los caudales de escorrentía. Se requieren diseñar sistemas urbanos de drenajes sostenible, con el objeto de reducir mínimo en un 25% el caudal pico del hidrograma de creciente de diseño, a fin de evitar sobre cargas de los sistemas pluviales y posteriores inundaciones, para ello, adicionalmente, se debe hacer un análisis de las condiciones de escorrentía antes y después del proyecto versus la capacidad de flujo de los cuerpos receptores ya sea el sistema de alcantarillado de drenaje o cuerpos naturales.³⁸

³⁷ EAAB-Norma Técnica NS – 166-2018 - CRITERIOS PARA DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE SISTEMAS URBANOS DE DRENAJE SOSTENIBLE (SUDS). Bogotá D.C., Colombia: 2018.

³⁸ MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO. Reglamento técnico para el sector de agua potable y saneamiento básico - RAS. Resolución 0330. Bogotá D.C.: El Ministerio, 2017.

7 ALCANCES Y LIMITACIONES.

El alcance inicial será determinado por la investigación bibliográfica, las recomendaciones de expertos y el trabajo en campo, el cual será, el de evaluar la extensión del lugar que se ve afectado por las inundaciones, además, identificar el área de terreno necesaria para realizar los diseños de los SUDS, los cuales estarán sustentados con memorias de cálculos y planos de diseño, y para esto, se tendrá en cuenta algunos alcances técnicos y metodológicos, como los siguientes:

- Determinación del caudal de diseño de los SUDS
- Determinar la técnica de aplicación de superficies permeables, ensayo de anillos de infiltración
- Identificar los impactos ambientales logrados por medio de los SUDS
- Definir los beneficios logrados a partir de esta tecnología

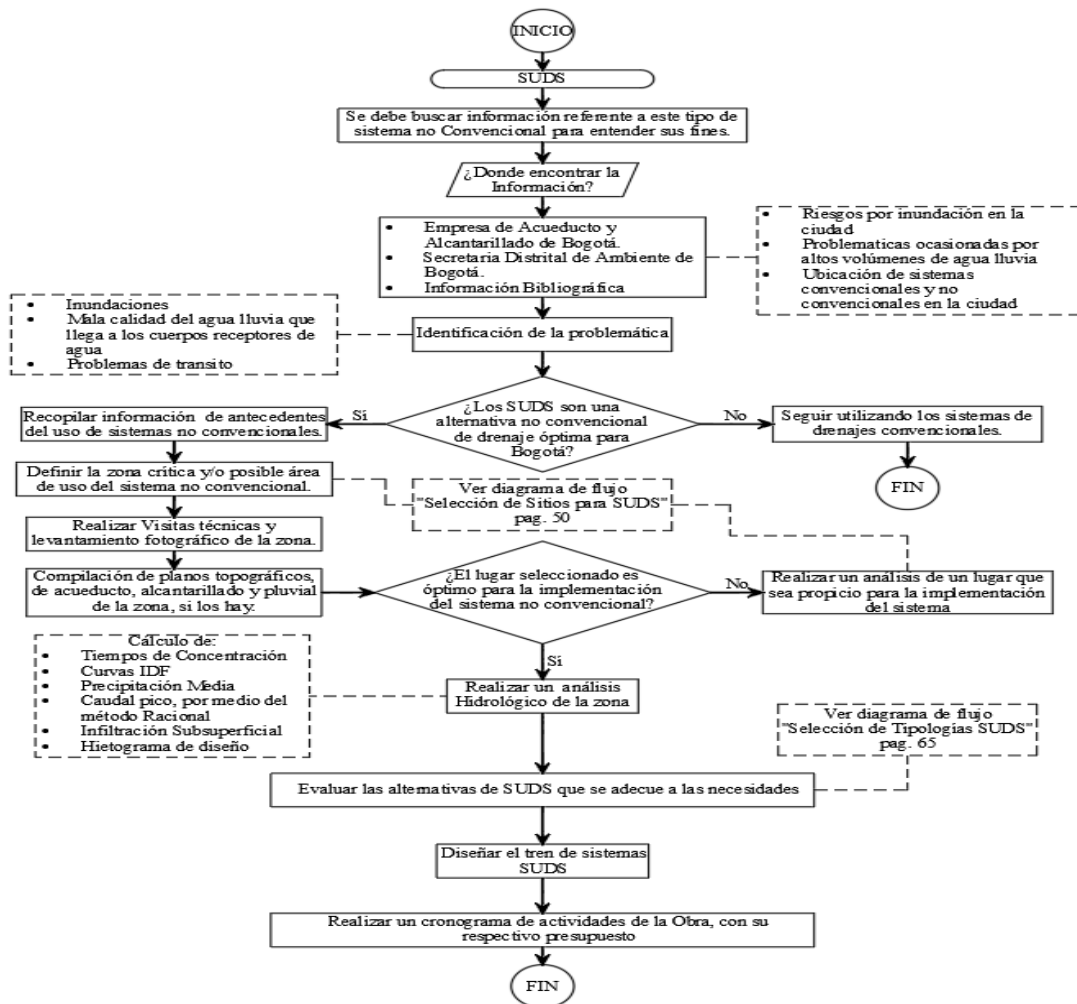
Por otra parte, las limitaciones que se podrían presentar serían las siguientes:

- Los costos elevados del alquiler de los equipos topográficos para realizar los levantamientos.
- Falta de recursos económicos.
- Condiciones meteorológicas adversas que impidan un buen desempeño de trabajo en campo.
- Que las entidades competentes no puedan facilitar la información necesaria para nuestro proyecto de grado.

8 METODOLOGÍA

Para dar inicio a los diseños, será importante emplear un diagrama de flujo que facilite el buen desarrollo de nuestro trabajo, permitiéndonos agilizar el proceso, y en la procura de disminuir tiempos de entrega, pero sin descuidar la calidad de nuestro trabajo final. A continuación, se mostrará cómo el método se trabajará, paso a paso:

Figura 6. Metodología General del proyecto



Fuente: Los Autores

La figura 6, Metodología general del proyecto, es un diagrama de flujo de autoría propia y ha sido diseñado a partir de la información recopilada de la Guía técnica de diseño y construcción, de la Universidad de los Andes.

8.1 RECOPIACIÓN DE LA INFORMACIÓN:

Es imperativo mencionar que para todo trabajo de investigación, como es nuestro caso, el trabajo de grado, se debe realizar la búsqueda de la información precisa, entidades como, la Empresa de Acueducto de Bogotá, el IDIGER, y la Secretaria Distrital de Ambiente, se han dedicado al estudio y trabajo de todos los temas relacionados con el manejo de aguas lluvias, que por escorrentía llegan a parar a los sistemas convencionales de drenajes actuales de la ciudad, es allí, donde se verá la información suministrada por estas empresas para lograr el desarrollo del trabajo de grado.

Además, por medio del Marco de referencia, se ha expuesto la información vital, que permite interpretar la importancia que se genera para una ciudad como Bogotá, la implementación de un sistema no convencional como son los SUDS.

Es importante resaltar que, para todo diseño de Ingeniería se debe contar con un dispositivo o una base de almacenamiento de datos, para todas aquellas personas que intervengan en este, deben tener acceso directo a una información actualizada, para que puedan cumplir con su trabajo sin depender que otra persona le tenga que brindar la información.

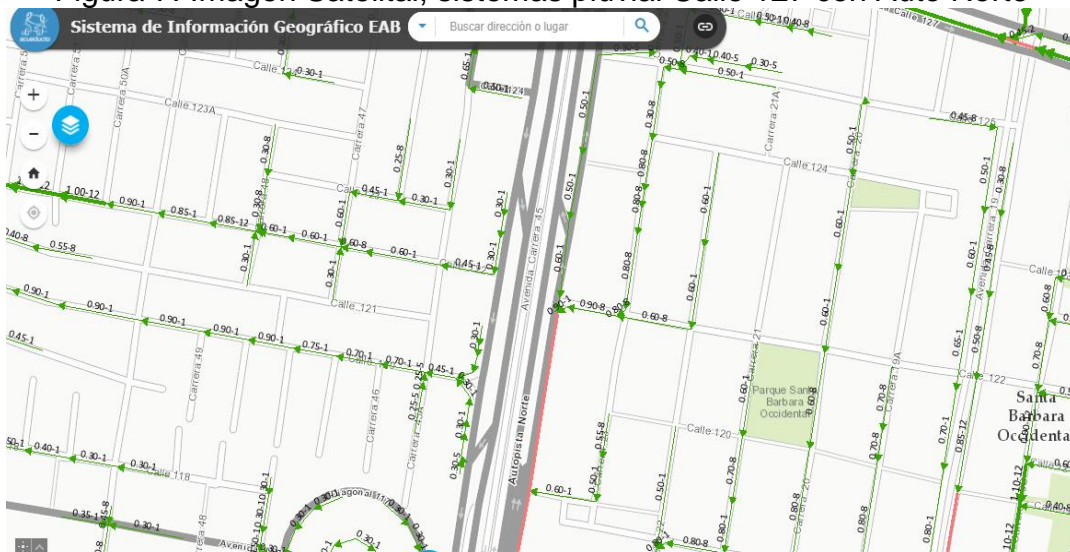
Para nuestra tesis, haremos uso de un almacenamiento parecido a los anteriormente nombrados, y es una herramienta que nos facilitará tener la información como si se trabajara desde el servidor de una empresa, la nube de información Drive, nos permitirá de una manera ordenada y concisa almacenar y crear una base de datos que nos supla de la información necesaria para nuestro proyecto de grado, antecedentes, teorías, modelos, referencias bibliográficas, es todo lo que tendremos que consignar allí para complementar nuestro trabajo de grado.

8.1.1 Determinación de la problemática

El cambio climático, la impermeabilización de las grandes ciudades y la baja capacidad hidráulica de los sistemas convencionales de recolección de aguas lluvias, están propiciando, quizá, una problemática en una urbe como lo es Bogotá. Son las inundaciones en lugares específicos de su extensa malla vial, las causales de inconvenientes que afectan directamente a una comunidad, ocasionando retrasos en la movilidad, represión en el tráfico de las vías, altos volúmenes aguas abajo, del sistema de recolección de aguas lluvias, propiciando inundaciones a las comunidades aledañas a la ronda del río Bogotá, y que, además, lleva consigo niveles altos de contaminantes que propician daños irreparables a este cuerpo hídrico.

El punto de implantación del diseño de los trenes de SUDS, será la Calle 127 con Autopista norte, dadas las condiciones que presenta el sitio, según el sistema de información Geográfica de la empresa de servicio público EAB, el carril vehicular central, sentido Oriente – Occidente y Occidente – Oriente, carece de información del sistema de drenaje convencional o de la localización de un sumidero presente en el sitio, que actué en el instante de un evento natural de precipitaciones, que genere altos volúmenes de agua de escorrentía y por ende, genere la acumulación de las mismas, es allí donde se forma el empozamiento sobre los separador laterales, dejando como consecuencias, las afectaciones directamente al tráfico vehicular de la concurrida vía de acceso a la ciudad, además, de la afectación a la zona comercial cercana a la vía.

Figura 7. Imagen Satelital, sistemas pluvial Calle 127 con Auto Norte



Fuente: Sistema de Información Geográfica EAB

Sobre la calle 127 se presentan reportes de inundaciones y afectación del tráfico, a causa de las lluvias fuertes y frecuentes, que generan las ya nombradas inundaciones, por lo que se identifica que el sistema convencional tiende a colapsar, o por falta de mantenimiento o por baja capacidad hidráulica, lo cual permite que no se genere el debido drenaje de la acumulación del agua en la zona impermeable, los reportes se han presentado en la prensa y medios de comunicación, entre los años 2010 al 2017.

Figura 8. Inundaciones Autopista Norte



Fuente: El pulzo - Fuertes lluvias causan inundaciones y derrumbes en el norte de Bogotá - 2017/04/12 [En línea]

Figura 9. Inundaciones Calle 127 con Autopista Norte



Fuente: El tiempo - Inundaciones por lluvias en autopista norte con calle 127 en Bogotá - 2017/11/20 [En línea]

Se realizó una vista de campo el día 27 de marzo en el horario de 6:00 a 7:00 p.m., en el sector de la Calle 127 con Autopista norte, en el sentido oriente – occidente, la ciudad estaba presentando un nivel bajo de lluvia sobre la hora de la visita, se pudo identificar uno de los sectores en el cual se presentó directamente, una acumulación de agua sobre el separador ubicado en el punto de implantación del diseño, por lo cual se encuentra en una zona de vulnerabilidad y amenaza desbordamiento medio y baja por agua de escorrentía.

Figura 10. Inundaciones en un evento corto de lluvias



Fuente: Los Autores

Además, se identificó un problema adicional, como lo es la congestión vehicular, ya que la lluvia se presenta sobre una de las vías más concurridas de la capital, atribuyendo a las inundaciones, como uno de los factores que mayormente afectan la movilidad de la ciudad por tema climatológico.

Figura 11 Flujo vehicular lento a causa de los encharcamientos



Fuente: Los Autores

8.1.1.1 Riesgos recurrentes

Las pérdidas y daños recurrentes, de media o baja intensidad tienen que ver principalmente con los riesgos asociados a condiciones climáticas que afectan la vida, los bienes de la población y generan pérdidas o daños de las redes de prestación de servicios, movilidad, viviendas, infraestructura y ruptura del tejido social.

Estas problemáticas, corresponden principalmente a inundaciones, empozamientos, movimientos en masa e incendios forestales. Igualmente están asociados a los efectos del Fenómeno del Niño (ENOS) y de algunos efectos del cambio climático que conllevan una mayor acentuación de estos, sea en términos de recurrencia como de intensidad.

De acuerdo con cálculos preliminares realizados a partir del Sistema de registro histórico de emergencia y cálculo de pérdidas y daños (Corporación OSSO, diciembre 2015) que está implementando el IDIGER, la estimación de pérdidas por daños en viviendas ocasionados por eventos asociados al clima (especialmente inundaciones y remoción en masa) alcanzan un valor cercano a los 203 millones de dólares en el periodo 2002-2015, es decir un promedio de pérdida anual de aproximadamente 14 millones de dólares, solo en vivienda (ver Tabla siguiente).³⁹

Tabla 4 Pérdidas por daños en viviendas ocasionados por eventos asociados al clima

Año	Total, perdidas en \$ colombianos	Total, perdidas USD \$
2002	-	
2003	1 165 320 000	404 977
2004	144 990 000	55 209
2005	257 512 500	110 960
2006	895 050 000	379 583
2007	1 961 408 250	943 733
2008	9 033 862 500	4 594 439
2009	12 829 336 875	5 949 727
2010	65 788 031 250	34 663 775
2011	250 540 290 000	135 561 280
2012	15 511 287 375	8 625 864
2013	8 077 623 750	4 322 127
2014	1 081 600 000	540 616
2015	24 095 468 250	7 262 659
Totales	391 381 780 750	203 414 949

Fuente: IDIGER - Plan Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático para Bogotá D.C., 2015- 2050

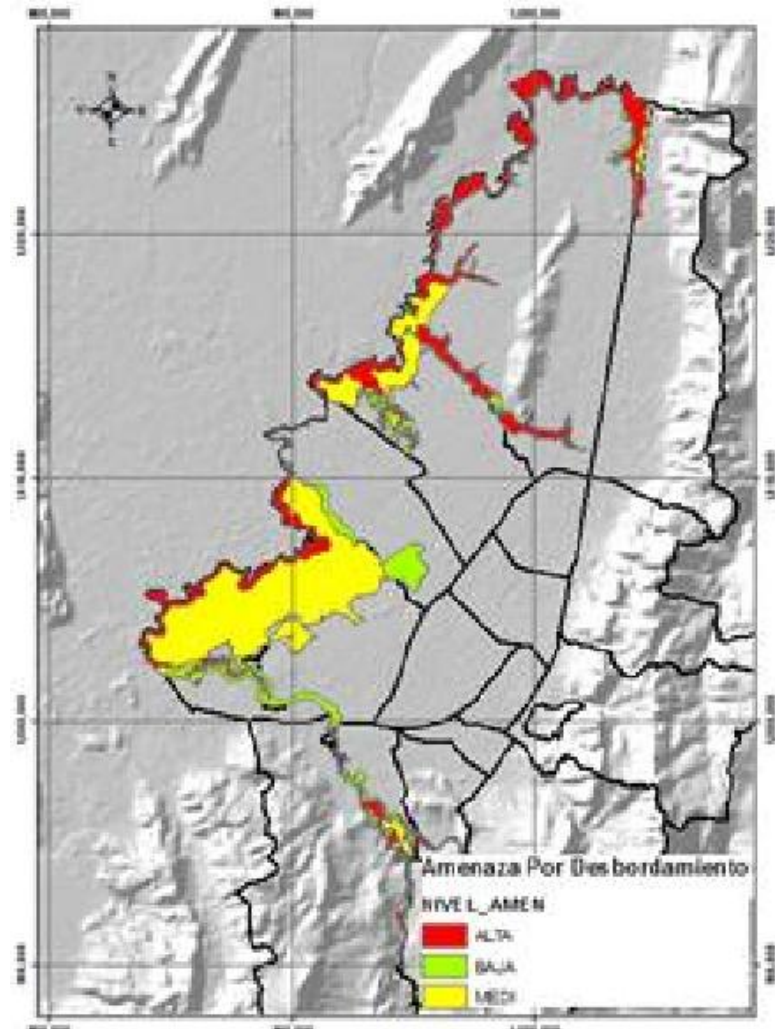
³⁹ Secretaría Distrital de Ambiente - Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático- IDIGER. Plan Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático para Bogotá D.C., 2015- 2050. Informe de la Secretaría Distrital de Ambiente. Bogotá: SED; 2015.

8.1.1.2 Inundaciones por desbordamiento

Con el fin de establecer las condiciones de inundación en la ciudad y las correspondientes zonas de amenaza alta, media y baja, en su momento el FOPAE contrató una serie de estudios de zonificación, que en algunos casos extienden su alcance a amenaza y otros a riesgo.

Con base en estos estudios se desarrolló un mapa de zonificación para la ciudad contenido en el decreto 190 de 2004, identificando zonas con amenaza alta, media y baja.

Figura 12. Mapa de inundaciones por desbordamiento



Fuente: IDIGER - Plan Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático para Bogotá D.C., 2015- 2050

De acuerdo con la zonificación se obtienen las localidades más vulnerables con base al área total de amenaza por desbordamiento que se encuentra en la localidad. Según la zonificación de amenaza, las localidades con mayor porcentaje de la amenaza alta por desbordamiento son las localidades de Suba (55.2%), Engativá (12%), Bosa (12%) y Kennedy (6.6%).⁴⁰

Tabla 5 Porcentaje total del área en amenaza alta distribuido por localidad

LOCALIDAD	PORCENTAJE DEL TOTAL DEL ÁREA EN AMENAZA ALTA
Suba	55.2
Engativá	12.0
Bosa	12.0
Kennedy	6.60
Fontibón	5.90
Tunjuelito	3.20
Ciudad Bolívar	1.70
Usaquén	1.60
Rafael Uribe	1.00
Usme	0.90
San Cristóbal	0.00
Antonio Nariño	0.00
Barrios Unidos	0.00
Candelaria	0.00
Chapinero	0.00
Los Mártires	0.00
Puente Aranda	0.00
Santa fe	0.00
Sumapaz	0.00
Teusaquillo	0.00

Fuente: IDIGER- Plan Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático para Bogotá D.C., 2015- 2050

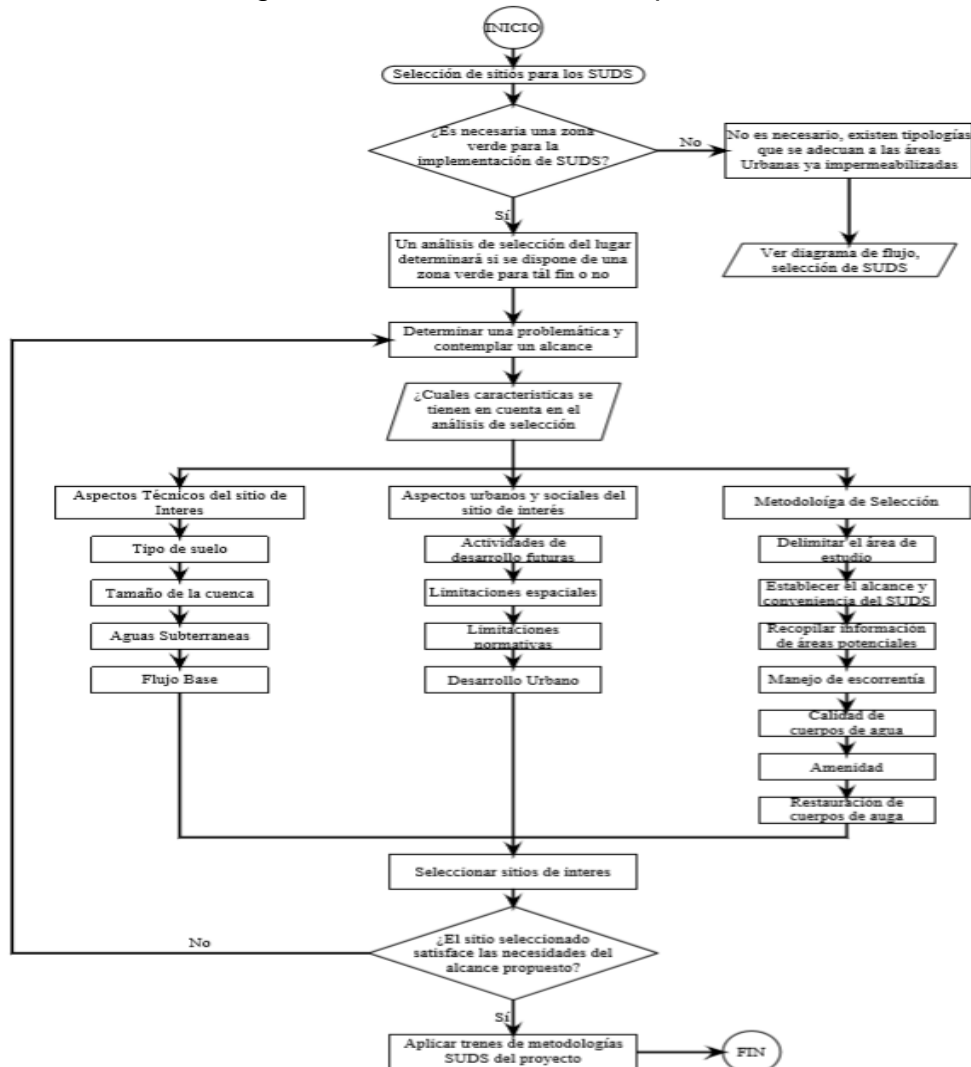
40 Secretaría Distrital de Ambiente - Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático- IDIGER. Plan Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático para Bogotá D.C., 2015- 2050. Informe de la Secretaría Distrital de Ambiente. Bogotá: SED; 2015. p. 127.

8.2 SELECCIÓN DE SITIO PARA LOS TRENES DE SUDS

Una de las etapas importantes del desarrollo de nuestro trabajo es la selección del sitio donde se piense realizar la implantación de los trenes de SUDS, por esta razón, es imperativo resaltar la “Guía técnica de diseño y construcción de Sistemas Urbanos de Drenajes Sostenibles (SUDS)” de la Universidad de los Andes, la cual nos enumera los criterios de selección de las tipologías existentes de este sistema no convencional.

A continuación, se muestra el diagrama de flujo creado a partir de la información tomada de la “Guía técnica de diseño y construcción de Sistemas Urbanos de Drenajes Sostenibles (SUDS)” de la Universidad de los Andes.

Figura 13. Selección de sitios para SUDS



Fuente: Los Autores

La figura 13, Selección de sitios para SUDS, es un diagrama de flujo de autoría propia y ha sido diseñado a partir de la información recopilada de la Guía técnica de diseño y construcción, de la Universidad de los Andes.

8.2.1 Aspectos técnicos

8.2.1.1 Tipo de suelo

Para este tipo de proyectos, es importante definir la permeabilidad que pueda tener el sitio donde se necesite el tren de SUDS, aunque existen tipologías donde su aplicación se adhiere al lugar, ya sean, en sitios como zonas verdes o zonas duras, cómo andenes, se le debe dar relevancia a esta característica del terreno, para lo cual, este punto se puede lograr por medio de un ensayo de anillos de infiltración, para zonas verdes.

8.2.1.2 Ensayo de Anillos de Infiltración

Una tasa alta de infiltración beneficia el proyecto, ya que el agua será capaz de infiltrarse en el SUDS sin ningún tipo de inconveniente, por el contrario, si el lugar no es permeable, se puede recurrir a obras complementarias de drenaje (ver anexo E).⁴¹

El ensayo consiste en el posicionamiento de dos anillos metálicos, que, en nuestro caso, fueron suplidos por dos objetos plásticos que simulaban a los anteriormente nombrados, ya que no fue posible conseguir este tipo de implementos en las universidades de más renombre y/o laboratorios de hidrología de la ciudad.

Fue un punto donde se desarrolló el ensayo, lugar donde se ubicarían las dos tipologías del tren de SUDS, de esta manera, los elementos para el ensayo se hincaron al suelo entre 5 y 10 cm por debajo del nivel de terreno, luego se procedió al vaciado de agua dentro de los anillos, para en última instancia se procediera a tomar mediciones de tiempo, conforme los niveles de agua se filtran al terreno y van disminuyendo.

⁴¹ Centro de Investigaciones en Ingeniería Ambiental CIIA: Diseño detallado para la construcción y monitoreo de los pilotos de SUDS y TDR: Universidad de los Andes, 2017.

Figura 14. Separador mixto de la Cl. 127 con Autopista Norte



Fuente: Los Autores

Figura 15. Ensayo en campo con anillos de infiltración



Fuente: Los Autores

Luego del ensayo en campo, se trasladan los datos recolectados a trabajo de oficina para ser analizados y ajustados, para lo cual se utilizó las ecuaciones de tasa de infiltración de Horton.

A continuación, se presenta la tasa de infiltración mínima obtenida en campo y el respectivo ajuste del cálculo a partir de la ecuación de Horton, para lo cual se presenta la siguiente ecuación:

Ecuación 3 Tasa de Infiltración

$$f_i(t) = f_c + (f_o - f_c) * \pi e^{-kt}$$

Donde,

t = Tiempo

k= Constante de decaimiento

f_i = Tasa de infiltración en el tiempo t

f_o = Tasa de infiltración inicial

f_c = Tasa mínima de infiltración (asintótica)

Fuente: Universidad de los Andes

A continuación, se muestran los datos recolectados a partir del ensayo realizado en campo.

Tabla 6 Datos tomados en campo – Ensayo, Anillos de infiltración

Ensayo de infiltración	
Tiempo (min)	Altura (cm)
0	27.00
1	26.70
2	26.50
3	26.40
5	26.20
10	26.00
15	25.80
20	25.50
30	25.00
45	24.60
60	23.80
90	23.20
120	22.90
150	22.30
180	21.90

Fuente: Los Autores

Tabla 7 Resultados de ensayos de Infiltración

Nombre del punto de Ensayo	Tasa de Infiltración – Ajustada por el método de Horton (mm/h)	Tasa de Infiltración mínima en campo (mm/hr)
Punto 1 – Zona de trabajo	122.11	75.36


Fuente: Los Autores

Los resultados mostrados en la anterior tabla nos arrojan un valor de tasa de infiltración ajustada por el método de Horton de 122.11 (mm/h), los cuales muestran que el sitio seleccionado cumple con la expectativa de permeabilidad, ya que el agua lluvia podrá infiltrarse al tren de SUDS sin ningún inconveniente, evitando la contemplación de construcción de obras adicionales de drenaje.

Por otra parte, otra de las solicitudes que requiere el diseño de SUDS, es la determinación del nivel freático de la zona de estudio, ya que, esta característica del suelo, al poder presentarse en un nivel freático alto, puede impedir la necesaria infiltración del agua de escorrentía, en éste orden de ideas, se cuenta con el estudio de suelos realizado para la construcción del puente y la estación de Transmilenio de la calle 127, sobre la calzada mixta, separador donde se posicionaran los SUDS, esta nos muestra la ausencia de un nivel freático y además, de arcillas expansivas que pudiesen afectar la malla vía, y en nuestro caso, el SUDS por infiltración de agua.⁴²

⁴² CONSORCIO FAWCETT ASSIGNIA, ESTUDIO DE SUELOS ESTACIÓN CALLE 127
CONTRATO IDU 1638 DE 2013. Bogotá D.C., 2014.

Figura 16. Sondeo realizado para diseños de estación de Transmilenio calle 127 con autopista norte

REGISTRO DE PERFORACIÓN /03																																															
Proyecto: <u>TRANSMILENIO CALLE 127</u>			Cliente: <u>CADENA FAWCETT</u>			EYR-S:	12970	SONDEO:	1																																						
Fecha inicio: <u>01/03/2014</u>						Fecha Fin: <u>01/03/2014</u>																																									
Equipo: <u>Barreno manual</u>			Perforador: <u>Luis Felipe Cruz</u>			<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="6">NIVEL DEL AGUA (m)</th> </tr> <tr> <th>DIA</th> <th>HORA</th> <th>PROF</th> <th>DIA</th> <th>HORA</th> <th>PROF</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> </tbody> </table>						NIVEL DEL AGUA (m)						DIA	HORA	PROF	DIA	HORA	PROF																								
NIVEL DEL AGUA (m)																																															
DIA	HORA	PROF	DIA	HORA	PROF																																										
Profundidad: <u>6 m</u>						Cota Inicio: _____		Coordenadas: Norte: _____ Este: _____																																							
Prof. (mts)	Mtra No. - Tipo	Perfil	BARRENA	Recup (%)	SPT			RQD (%)	Veleta kg/cm ²	Penetro metro kg/cm ²	DESCRIPCIÓN																																				
					15 cm	15 cm	15 cm																																								
1	1A				14	16	18			2.00	Capa vegetal y limo orgánico de color carmelito																																				
2											Relleno de limo y gravas																																				
3	2A				16	17	19			2.00																																					
4											Recebo de color habano con gravas																																				
5	3TS									1.00																																					
6	4A				2	3	3			0.75	Arcilla de color habano y consistencia blanda																																				

Fuente: Estudio de suelos estación calle 127 contrato IDU 1638 de 2013

8.2.1.3 Tamaño de la cuenca

La importancia que se le da al tamaño de la cuenca surge de la necesidad de definir la escala de la tipología de SUDS que se implementará, ya que, con esto se definirá el dimensionamiento mínimo de la estructura, además, permite limitar el área máxima de drenaje que fuese suficiente para el tren de SUDS. Lo anterior, se logrará a través del análisis hidrológico que se realizará durante el desarrollo de los diseños, y el cual se podrá ver más adelante.⁴³

8.2.1.4 Aguas Subterráneas

El sondeo mostrado en la figura 14, evidencia la ausencia de un nivel freático que, en otras instancias, su presencia desencadenaría en unos rediseños de la ingeniería de cualquier estructura o proyecto ingenieril, para nuestro caso no habría la necesidad de diseños de estructuras que involucren un drenaje completo de aguas acumuladas entre eventos de lluvias. Además, al no tener una posible presencia de aguas subterráneas, no habría ninguna restricción de la capacidad de infiltración de las aguas lluvias en nuestro sistema de SUDS.⁴⁴

8.2.1.5 Flujo base

En este punto es importante resaltar que algunas de las tipologías que se usaran en nuestros trenes de SUDS, necesitan de un flujo base, que al no existir secaría el SUDS implementado y evitaría su buen funcionamiento, el flujo base lo obtendremos de los eventos naturales de lluvia que se presenten en la zona.⁴⁵

8.2.2 Aspectos urbanos

8.2.2.1 Actividades de desarrollos futuros

Según la información suministrada por la secretaria distrital de planeación el tramo comprendido entre la calle 127 a la calle 170, no presenta, en el momento ningún tipo de intervención a futuro que nos impida realizar la implementación de los trenes de SUDS en los separadores de la calzada mixta de Transmilenio. Sin embargo, el instituto de desarrollo urbano en la administración actual está desarrollando los estudios y diseños regionales con el proyecto de la adecuación de la Autopista Norte entre Héroes y calle 193 y de la calle 170 entre carreras 7 y 92, y desde allí por la vía Suba – Cota

⁴³ Centro de Investigaciones en Ingeniería Ambiental CIA: Guía técnica de diseño y construcción de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS): Universidad de los Andes, 2017. 30 p.

⁴⁴ Ibid., p. 30

⁴⁵ Ibid., p. 30.

hasta el límite con el Río Bogotá. Así mismo, la ampliación a dos carriles y retornos operacionales para Transmilenio, ampliación del Portal Norte y de estaciones en la autopista norte. De igual manera, la adecuación al Sistema Transmilenio de la calle 170 entre la carrera 7 y la Av. Boyacá, el cual recogerá información del estado actual del sitio de implantación para identificar la viabilidad de los SUDS diseñados.

Por otra parte, proyectos realizados como la troncal de Transmilenio de la Auto pista norte han presentado una erosión significativa del suelo, lo cual afectaría los drenajes por transporte de sedimentos en las aguas de escorrentía.⁴⁶

8.2.2.2 Limitaciones espaciales

Para nuestro proyecto se contará con zonas verdes de los separadores viales, los cuales tienen amplias áreas que permitirán el buen desarrollo e implantación de los trenes de SUDS, por esta razón se realizó el respectivo levantamiento topográfico del proyecto.⁴⁷

8.2.2.3 Limitaciones normativas

Es imperativo definir las normas que avalen este tipo de proyectos, por esta razón ya se cuenta con lineamientos legales que, en materia de sistema de drenaje sostenible, respaldan la obligatoriedad del uso de estos sistemas.⁴⁸

El decreto 528 de 2014, establece el sistema de Drenaje pluvial Sostenible del Distrito Capital, y la resolución 0330 del 8 de junio del 2017, en su artículo 153, obliga a el uso de SUDS en espacios de nuevos desarrollos urbanos en el país.⁴⁹

Las anteriores reglamentaciones respaldan el diseño que se realizará para la Autopista Norte, en necesidad de lograr un impacto positivo a la problemática que se genera en esta parte de la ciudad, por parte de los grandes volúmenes de agua de escorrentía.

8.2.2.4 Desarrollo Urbano y Social

Uno de los objetivos de la implementación de SUDS que se quiere lograr, es alcanzar una amenidad urbana del sitio donde van a ser implantados los diseños, esta amenidad corresponde a la utilización de sitios “poco verdes”

⁴⁶ Centro de Investigaciones en Ingeniería Ambiental CIIA: Guía técnica de diseño y construcción de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS): Universidad de los Andes, 2017. 30 p.

⁴⁷ Ibid., p. 32

⁴⁸ Ibid., p. 33.

⁴⁹ MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO. Reglamento técnico para el sector de agua potable y saneamiento básico - RAS. Resolución 0330. Bogotá D.C.: El Instituto, 2017.

donde no existe zonas con plantaciones de especies nativas, por esta razón los separadores son el lugar perfecto para implementar tipologías de SUDS que dentro de su diseño contemplan el uso de especies arbóreas, que, además, ayudarán a la reducción de niveles de polución y/o contaminación del aire de esta parte de la ciudad.

8.2.3 Metodología de Selección

Este punto relaciona el paso a paso necesarios, a seguir, para lograr priorizar las áreas que requieren y que se adaptan a este tipo de SUDS, y las cuales tendrían una mayor capacidad de satisfacción para el propósito inicial, (p. ej. Reducir inundaciones, mejorar la calidad del agua, entre otros), a continuación, se enmarcan los pasos a seguir para definir el sitio con necesidad de SUDS.⁵⁰

8.2.3.1 Determinar la conveniencia de los SUDS

Desde el comienzo del documento se han dejado trazados los objetivos que se quieren lograr con los diseños e implementación de los SUDS sobre la autopista norte, es de suma importancia recalcar que se busca un impacto positivo tanto para la ciudad, cómo para el medio ambiente de la misma, ya que, nos encontramos ante una alternativa poco usual en el país, pero con mucho uso en el resto del mundo que por sus beneficios alcanzados como sistema no convencional, ha logrado tener una gran acogida, además, realizaremos un análisis de costo-beneficio que nos permite determinar la viabilidad del proyecto, en comparación con un sistema de drenaje convencional.⁵¹

8.2.3.2 Recopilar información e identificar áreas potenciales de intervención

En esta parte del trabajo, ya se ha realizado la minuciosa y necesaria tarea de búsqueda de la información de la zona de trabajo del proyecto, empresas públicas de la capital del país, como IDU, Secretaria Distrital de Ambiente, IDIGER, y Empresa de Acueducto de Bogotá, han suministrado la mayor parte de la información necesaria para el desarrollo del trabajo, lo cual se pudo recopilar lo siguiente:

- Datos técnicos e hidrológicos de la zona, Empresa de Acueducto de Bogotá.

⁵⁰ Centro de Investigaciones en Ingeniería Ambienta CIIA: Guía técnica de diseño y construcción de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS): Universidad de los Andes, 2017. 34 p.

⁵¹ Ibid., p. 34

⁵² Ibid., p. 37.

- Contrato IDU-1638-2013 cuyo objeto era “ESTUDIOS, DISEÑOS Y APROBACIÓN PARA LA AMPLIACIÓN DE LAS ESTACIONES DEL SISTEMA TRANSMILENIO, ESTACIONES PEPE SIERRA Y CALLE 127 UBICADAS EN LA AUTOPISTA NORTE DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ D.C. GRUPO 1.”
- Plan Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático para Bogotá D.C., 2015- 2050, Informe de la secretaria distrital de ambiente e IDIGER

gracias a esta recopilación de información, se pudo definir las áreas potenciales para la aplicación de SUDS, tomando como zona de gran vulnerabilidad, la calle 127 con autopista norte, pero que no sería la única dentro de nuestro alcance, sino se realizaría réplicas de SUDS a hasta la calle 170 con Autopista norte, de esta manera el impacto sería mayor dentro de nuestra ciudad.⁵³

8.2.3.3 Manejo de escorrentía

Este punto depende directamente de parámetros hidrológicos que, previamente han sido investigados, tales como, grandes áreas superficiales para su implementación, para lo cuales se cumple este parámetro, ya que se cuenta con separadores viales, cómo zona verde en su totalidad, pendientes moderadas de terreno, que no influyan en las velocidades del flujo del agua lluvia, evitando socavaciones en las estructuras del SUDS, o estructuras complementarias como los sumideros, bajas tasas de infiltración, para lo cual se ha desarrollado el ensayo de campo de anillos de infiltración, (para lo cual, los resultados del ensayo quedan evidenciados en la pág. 51 del presente trabajo), y, por último, el lugar escogido debe presentar un nivel freático profundo, tal y cómo se ve en el sondeo presentado en la fig. 14, el cual evidencia la existencia de un nivel freático en la zona de trabajo, todo lo anterior, permitirá el almacenamiento de grandes volúmenes de agua de escorrentía.⁵⁴

8.2.3.4 Calidad de cuerpos de agua

Uno de los objetivos de los SUDS, es la mejora de la calidad del agua de escorrentía, ya que, durante su recorrido adquiere contaminantes, tanto del suelo como del aire.

Siempre que se identifica una problemática, lo adecuado es resolverla desde su origen o cerca a éste, en este caso nos encontramos aguas arriba de un cuerpo de agua como lo es el Rio Bogotá o humedal Córdoba, el cual es el lugar donde llega a parar esta agua lluvia, por esta razón es importante

⁵³ Centro de Investigaciones en Ingeniería Ambiental CIA: Guía técnica de diseño y construcción de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS): Universidad de los Andes, 2017. 39 p.

⁵⁴ Ibid., p. 40

retener con los SUDS, la mayor parte de contaminantes que esta agua transporta.

Además, la reducción de contaminantes en el agua de escorrentía, no solo se logra con la implementación de estos SUDS, sino que también es importante recalcar el aporte de la comunidad, al cuidado y civismo al no arrojar basuras al piso, esto es un punto de suma importancia para el cuidado de los SUDS, y de los cuerpos de agua receptores. ⁵⁵

8.2.3.5 Amenidad

Siendo la Autopista norte una de las vías más concurridas de la ciudad, es importante aumentar las áreas con zonas verdes y/o darle un mejor uso a las ya existente, sin cambiar su entorno inicial.

Los SUDS que se implementaran en nuestro proyecto, no solo buscan el control de grandes volúmenes de agua de escorrentía y disminución de contaminantes en las mismas aguas, sino que también busca que ese lugar sea agradable para la ciudadanía. ⁵⁶

Los SUDS que nos permitirán alcanzar esta amenidad en el entorno y que será dirigida para la comunidad, son aquellos que contarán con configuraciones superficiales donde, además, tendrán algún tipo de vegetación agradable a todo tipo de persona que transite por esta parte de la capital del país. ⁵⁷

8.3 VISITA TÉCNICA DE LA ZONA

En este punto del trabajo, y como se ha mencionado anteriormente la calle 127 con Autopista norte, cumple la mayoría de los criterios de selección que se mencionan en la Guía técnica de diseño y Construcción de SUDS para la selección del lugar a intervenir con esta tecnología, por esta razón, a continuación, se procede con los siguientes pasos de la metodología propuesta:

8.3.1 Levantamiento Fotográfico

Una de las actividades realizadas durante las visitas de campo, fue la de evidenciar las condiciones en las que se encuentran los separadores, calzadas, y demás, las anteriores, pertenecen a información relevante de la zona, por esta razón el sábado 07 de abril del 2018, se avanzó en el levantamiento de fotografías del sitio para tener un registro del entorno en tiempo real, del lugar en el que se está trabajando.

Figura 17. Levantamiento fotográfico de la zona



Fuente: Los Autores

8.3.2 Levantamiento Topográfico

Este trabajo topográfico se realizó como input del desarrollo de las actividades ingenieriles, que permitirá el progreso de los estudios y diseños para la implementación de SUDS en la Calle 127 con autopista norte, y sus respectivas replicas hasta la calle 170.

El alcance de este levantamiento tiene como concepción, la marcación de varios puntos de terreno, amarrado geodésicamente a la placa 34-BGT del IGAC, localizada a un costado de la vía occidental, tal y como lo muestra a continuación.

Figura 18. Ubicación de placa 34-BGT _ IGAC sobre la Cl. 127



Fuente: IGAC

Figura 19 Coordenadas punto IGAC-34-BGT



Puntos Consultados

Las coordenadas en el sistema de referencia MAGNA-SIRGAS (ITRF94, época 1995.4, elipsoide GRS-80) de los puntos consultados son:

Punto:34-BGT

Departamento: BOGOTÁ, D.C. Municipio: BOGOTÁ, D.C.

ELIPSOIDALES

Latitud: 4° 42' 26.46461" N
Longitud: 74° 3' 15.29597" W
Altura Elipsoidal: 2574.297 m
Altura(snm): 2550.959 m (GEOMÉTRICA) Cálculo realizado en el año 2003

GEOCÉNTRICAS CARTESIANAS Y SUS VELOCIDADES

X= 1747080.66 M Vx= 0.001 m/año
Y= -6114638.795 M Vy= 0.001 m/año
Z= 520149.559 M Vz= 0.013 m/año
Cálculo realizado en el año 2007

Fuente: IGAC

Figura 20. Punto IGAC-34-BGT Referencia Topográfica en Campo



Fuente: Los Autores

El levantamiento se desarrolló con una estación total TOPCON ES 105, con cartera electrónica, previo a esto se tenía la información ya mostrada, del punto geodésico, con lo cual el levantamiento quedaría amarrado a puntos certificados por el IGAC, a continuación, se muestra la información de campo obtenida a partir del levantamiento, y con la cual se desarrollarán los planos necesarios para el proyecto.

Para la transformación de las coordenadas arbitrarias trabajadas en campo, a coordenadas planas, se utilizó la herramienta Magna Sirgas Pro-3.0 Beta, descargada de la página del IGAC, la siguiente véase tabla 8 muestra las coordenadas del punto de amarre donde se inició el levantamiento topográfico.

Figura 21 Posicionamiento de la estación TOPCON ES-105



Fuente: Los Autores

Las coordenadas del punto de referencia **34-BOG- IGAC** fueron encontradas en el sistema de referencia MAGNA-SIRGAS (ITRF94, época 1995.4, elipsoide GRS-80), a continuación, se muestran los datos suministrados por el sistema virtual del IGAC.

Tabla 8. Puntos de amarre Calle 127, coordenadas Elipsoidales

Punto de Referencia	Latitud	Longitud	Altura (msnm)
34-BOG-ICAG	4° 42' 26.4646"	74° 3' 15.30"	2550.96

Fuente: Los Autores

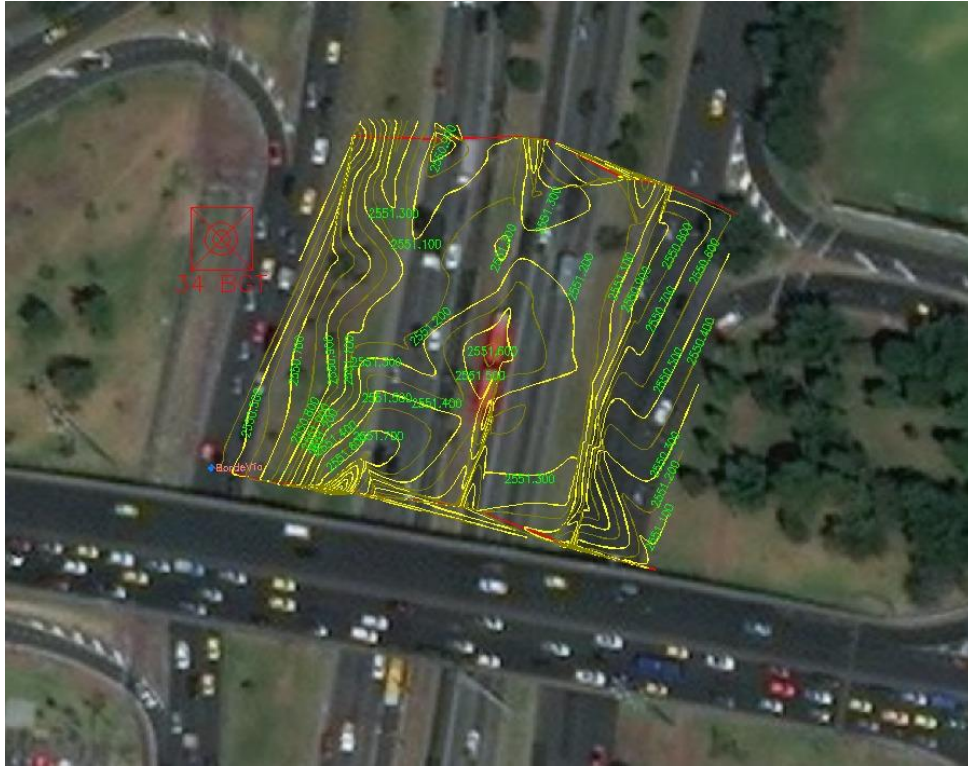
Tabla 9. Puntos de amarre Calle 127, coordenadas planas

Punto de Referencia	Norte	Este	Altura (msnm)
34-BOG-ICAG	112293.061	102584.084	2550.96

Fuente: Los Autores

Luego del procesamiento de los datos obtenidos a partir del levantamiento topográfico, se procede a realizar las respectivas curvas de nivel, mediante la implementación de Software como, AutoCAD y AutoCAD Civil 3D, a continuación, se muestra dicha topografía, los archivos de cartera de campo se adjuntan al trabajo. Ver anexo F (Cuadro de coordenadas levantamiento topográfico).

Figura 22. Topografía CI. 127 con Autopista Norte

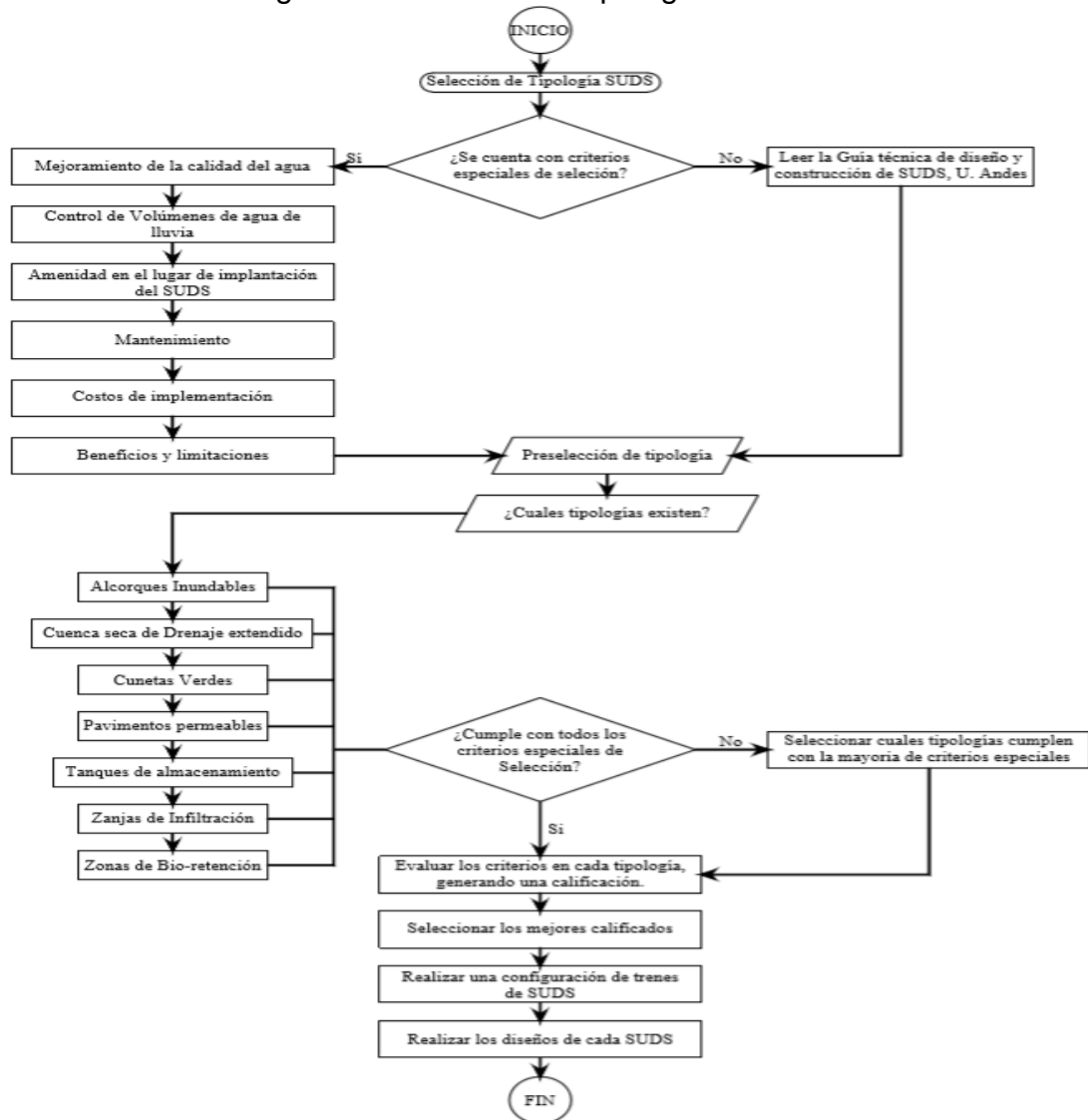


Fuente: Los Autores

8.4 SELECCIÓN DE TIPOLOGÍAS SUDS

Uno de los pasos importantes del proyecto y por el cual se destaca el tema, es la selección de la tipología de las estructuras que conformarán el tren de SUDS, a continuación, se muestra el diagrama de selección.

Figura 23 Selección de tipologías SUDS



Fuente: Los Autores

La figura 23, Selección de tipologías SUDS, es un diagrama de flujo de autoría propia y ha sido diseñado a partir de la información recopilada de la Guía técnica de diseño y construcción, de la Universidad de los Andes.

8.4.1 Preselección

Teniendo en cuenta que las tipologías SUDS se pueden implementar en distintos ambientes y/o lugar que los requiera, obviando que, las zonas potenciales pueden presentar varios usos, como lo son comerciales, industriales o de vivienda.

A continuación, se presenta la tabla 10, la cual nos indica las áreas potenciales para implementar SUDS tipologías específicas del sistema no convencional.

Tabla 10. Tipologías aplicables a diferentes áreas potenciales

Tipologías	Tanques de almacenamiento	Zonas de bio - retención	Alcorques inundables	Cunetas verdes	Zanjas de infiltración	Cuenca seca de drenaje entendido	Pavimentos Permeables
Áreas potenciales							
Parques		X		X	X	X	X
Plazas	X	X	X				X
Andenes	X	X	X				X
Vías (flujo vehicular bajo)	X				X		
Zonas comerciales	X	X	X				
Zonas industriales	X						
Zonas institucionales	X	X	X				
Separadores viales	X	X	X	X	X		X
Corredores verdes		X		X	X		X
Jardines domiciliarios	X	X					X
Parqueaderos	X	X	X	X	X		X

Fuente: Universidad de los Andes, 2017 Guía técnica

En primera instancia la tabla 10 nos permite realizar el descarte de tipologías que no aplicarían para nuestro proyecto.

8.5 CARACTERÍSTICAS DE SELECCIÓN

Es imperativo recalcar que las tipologías SUDS cumplen varios objetivos que son trazados para el lugar de implantación de estas tipologías de sistema no convencional, a partir de las necesidades de utilización, se debe tener en cuenta las siguientes características de los SUDS a cumplir.

8.5.1 Mejoramiento de la calidad del agua

Se sabe que, en eventos naturales de precipitación, se generan grandes volúmenes de agua de escorrentía que, durante su recorrido, transporta todo tipo de contaminantes que obtiene a través de muchas fuentes, para luego llegar a cuerpos de agua que pueden presentar un daño gradual con la captación de estos, la disminución de los niveles de contaminantes obedece a la eficiencia y calidad de los diseños de los SUDS.⁵⁸

Los contaminantes más comunes que terminan siendo transportado por las aguas de escorrentía son los sedimentos, nutrientes (nitrógeno y fósforo), metales, patógenos, aceites y grasas, basura y escombros, los cuales, y como anteriormente se dijo, llegan a parar a cuerpos de agua como el río Bogotá, el humedal Córdoba entre otros. La tabla a continuación nos muestra una calificación de eficiencia en cuanto a remoción de contaminantes según la tipología a utilizar en un proyecto.

Tabla 11. Eficiencia de tipologías en reducción de contaminantes

Contaminantes	Nutrientes	Metales	Patógenos	Sedimentos	Aceites y grasas	Basuras y escombros
Tipología						
Cunetas verdes	M	B	B	M	M	M
Tanques de almacenamiento	Diseños específicamente para reducción del volumen de escorrentía y retención, no para remoción de contaminantes					
Zonas de Bio-retención	M	B	M	M	A	A
Alcorques inundables	M	B	M	M	A	A
Cuenca seca de drenaje	B	M	A	M	M	A
Zanjas de infiltración	M	A	A	A	M	A
Pavimentos permeables	B	M	M	A	A	M

Fuente: Universidad de los Andes, Guía técnica de Diseño y Construcción
A: Alta; M: Media; B: Baja

⁵⁸

Centro de Investigaciones en Ingeniería Ambiental CIIA: Guía técnica de diseño y construcción de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS): Universidad de los Andes, 2017. 68 p.

La tabla 11 nos muestra que, a la hora de remoción de contaminantes en el agua de escorrentía, los alcorques inundables, zanjas de infiltración y las zonas de bio- retención son las mejores calificadas.

8.5.2 Control de volúmenes de aguas lluvias

Uno de los principales objetivos que se trazan para las tipologías de sistemas no convencionales de drenajes, es la de controlar por medio de reducciones, los volúmenes de agua de escorrentía generados en eventos de lluvias. A continuación, se muestra las calificaciones para SUDS, según el objetivo anteriormente nombrado.

Tabla 12. Eficiencia de tipología en reducción de volúmenes de escorrentía

Criterio de Volumen	Reducción de Volumen	Reducción de descarga Máxima
Tipología		
Cunetas verdes	B	B
Tanques de almacenamiento	M	M
Zonas de Bio-retención	M	B
Alcorques inundables	B	B
Cuenca seca de drenaje	B	M
Zanjas de infiltración	A	A
Pavimentos permeables	A	M

Fuente: Universidad de los Andes, Guía técnica de Diseño y Construcción

Como tipología de manejo y eficiencia de reducción de volúmenes de agua, las zanjas de infiltración se resaltan por tener la mayor calificación.

8.5.3 Mantenimiento

Para todo proyecto, la parte del buen funcionamiento de la tipología es de suma importancia, y que se prevé desde su concepción hasta su construcción y posterior uso, por esta razón el mantenimiento es un factor que, además, permite el mejor desarrollo del funcionamiento de las tipologías de SUDS, a continuación, se muestra la información de los mantenimientos y sus respectivas frecuencias, factor que, además, representa un factor económico en etapa de operación.

Tabla 13. Calificación de tipologías según frecuencia de mantenimiento

Tipologías	Cunetas verdes			Tanques de almacenamiento			Zonas de Bio-retención			Alcorques inundables			Cuenca seca de drenaje			Zanjas de infiltración			Pavimentos Permeables		
	M	S	A	M	S	A	M	S	A	M	S	A	M	S	A	M	S	A	M	S	A
Frecuencia	M	S	A	M	S	A	M	S	A	M	S	A	M	S	A	M	S	A	M	S	A
Tipo																					
Regular	5	3	0	3	0	0	4	2	0	4	3	0	5	2	0	4	3	0	3	0	0
Ocasional	0	4	2	0	3	1	0	5	5	0	3	4	0	4	0	0	2	1	1	0	1
Correctivo	0	2	8	0	1	5	0	1	8	0	1	8	0	1	6	0	0	8	0	2	6
Riesgo de Colmatación	BAJO			BAJO			MEDIO			MEDIO			BAJO			ALTO			ALTO		
Total (Requerimientos)	BAJO			BAJO			ALTO			MEDIO			MEDIO			ALTO			ALTO		

Fuente: Universidad de los Andes, Guía técnica de Diseño y Construcción

M: Mensual; S: Semestral; A: Anual

(3) equivale a bajo; (2) equivale a medio y (1) equivale a alto

A pesar de que, en las anteriores tablas, la zanja de infiltración presenta buenas calificaciones para su uso, en la tabla 13 se evidencia la alta frecuencia de mantenimiento a causa de la colmatación, por otra parte, la mejor calificada es la tipología de cunetas verdes que presenta frecuencias bajas de mantenimiento a causa de sus bajos niveles de colmatación.

8.5.4 Costos

Otro de los factores importantes de la construcción de tipologías SUDS es la parte económica de la cual, la reducción de la inversión se debe evidenciar desde su concepción hasta su operación, la siguiente tabla nos muestra una calificación del costo para cada tipología:

Tabla 14. Calificación de tipologías según costo

TIPOLOGÍA	Cunetas verdes	Tanques de almacenamiento	Zonas de Bio-retención	Alcorques inundables	Cuenca seca de drenaje	Zanjas de infiltración	Pavimentos Permeables
COSTOS							
Costos de Capital	B	M	M	M	M	M	A
Costos de mantenimiento	B	M	M	M	M	M	M

Fuente: Universidad de los Andes, Guía técnica de Diseño y Construcción

A: Alto; M: Medio; B: Bajo

A partir de los anteriores estudios realizados para selección de SUDS, empezando por su preselección en beneficio del lugar del proyecto, por manejo de escorrentía, en cuanto a la disminución de estas, eficiencia en la reducción de los niveles de contaminación, y mantenimiento en comparación con el valor agregado y aporte a la naturaleza, se determina la selección de ALCORQUES INUNDABLES y ZANJAS DE INFILTRACIÓN para nuestro proyecto.

Por lo anterior se realiza la conexión de los trenes de SUDS con los sistemas de redes pluviales de aguas lluvias de la zona, para conducir el agua lluvia con mejor calidad, hacia los cuerpos de agua de la ciudad. Por ende, se presentan como mejor opción las tipologías seleccionadas para la adecuada reducción de inundaciones en la zona de implantación.

9 ANÁLISIS HIDROLÓGICO DEL SECTOR

9.1 DATOS DE ESTACIONES METEOROLÓGICAS

Para la recopilación de la información hidro climatológica para obtener el régimen de lluvias de la ciudad de Bogotá, se recopiló la información de las estaciones localizadas en el área de intervención e influencia del proyecto; las cuales son operadas por la empresa de acueducto de Bogotá (EAB) y que por medio de la solicitud escrita y remitida por la misma se presentan en la figura 24 en la cual se presentan los coeficientes para el cálculo de la intensidad de la zona en la cual se identifica las coordenadas geográficas el cual se indica por medio del sistema de referencias de coordenadas EPSG3116 Zona Bogotá y se ubican en el punto de localización del proyecto figura 25.

Figura 24. Estación hidrológica EAB

Fecha: 2018-04-13

Ecuación cálculo curvas IDF

Id	Punto (EJN) EPSG3116	Tiempo de retorno 3 años			Tiempo de retorno 5 años			Tiempo de retorno 10 años			Tiempo de retorno 25 años			Tiempo de retorno 50 años			Tiempo de retorno 100 años		
		C1	Xo	C2	C1	Xo	C2	C1	Xo	C2	C1	Xo	C2	C1	Xo	C2	C1	Xo	C2
0	1002610,1012210	5186,24	29,3	-1,10149	6147,36	30,8	-1,10748	6902,57	31,0	-1,10008	7862,25	31,1	-1,09436	8921,66	32,3	-1,10178	9568,51	32,4	-1,09790

NOTAS:

- 1) Unidades en la aplicación de la ecuación IDF: Intensidad [mm/h], Duración [min]
- 2) Sistema de Referencia de Coordenadas: MAGNA-SIRGAS / Zona Bogotá Colombia, EPSG 3116.

Fuente: Datos técnicos, departamento de hidrología EAB

Figura 25 Coordenadas de la ubicación de los coeficientes de intensidad



Fuente: Google Maps – Localización mapa en línea (tomado 4 de abril de 2018)

9.2 CARACTERÍSTICAS DIMENSIONALES DE LA ZONA

Mediante los estudios hidrológicos se definen las condiciones climáticas y de precipitación en la zona de estudio, con el fin de identificar la cantidad de agua superficial que afectan el punto de implantación de la problemática planteada en la Calle 127 con Autopista norte.

Se realizó la compilación y la búsqueda de la información para identificar el alcantarillado pluvial de la autopista norte entre la calle 127 y la calle de 134, por medio de la visitas técnicas a campo, el registro fotográfico y del instituto de desarrollo urbano de Bogotá el cual tiene identificado la intervención de la zona por medio del contrato IDU-1638-2013 cuyo objeto era “ESTUDIOS, DISEÑOS Y APROBACIÓN PARA LA AMPLIACIÓN DE LAS ESTACIONES DEL SISTEMA TRANSMILENIO, ESTACIONES PEPE SIERRA Y CALLE 127 UBICADAS EN LA AUTOPISTA NORTE DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ D.C. GRUPO 1.”, en el cual se describe una sistema de alcantarillado pluvial sobre el separador occidental calzadas centrales, la existencia de un vallado entre la Calle 127 y Calle 127D sobre el separador oriental calzadas centrales, se verifico la existencia de un vallado que se desarrolla entre la Calle 127 y la Calle 128A aproximadamente, continuando hacia el sur en tubería de diámetro 36" y nuevamente en vallado.

Se seleccionó el área de influencia de la problemática presentada por acumulación de agua de escorrentía, para la caracterización de zonas de drenaje y por medio del levantamiento topográfico realizado en que, mediante la cual es posible delimitar las áreas de drenaje que tienen influencia en las vías; así como también se identifican los tipos de suelos presentes y sus características de capacidad de infiltración y escorrentía.

Estas consideraciones se tienen en cuenta para la estimación de los coeficientes de escorrentía de la zona, los cuales afectarán las condiciones de drenaje del sistema.

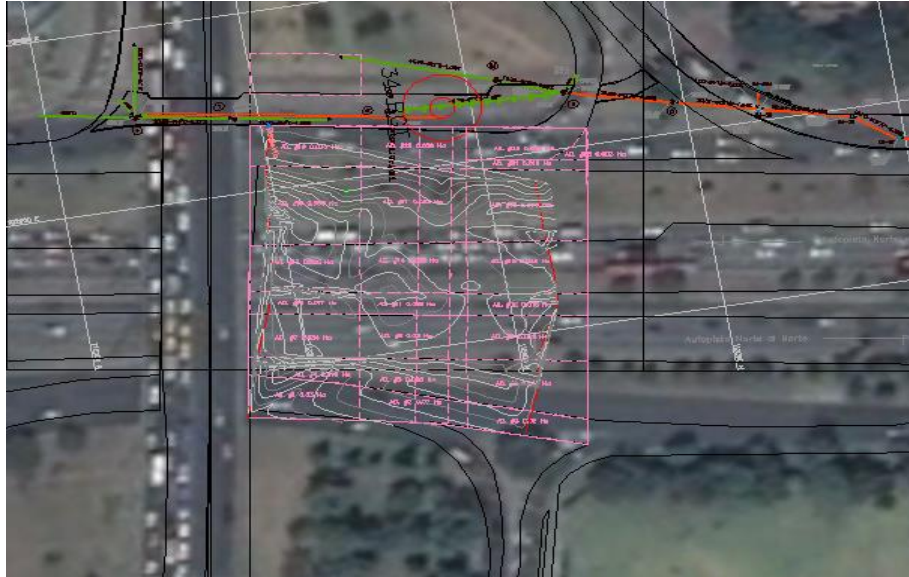
Así mismo, se determinó la caracterización del sector de estudio, desde la calle 127 con autopista norte hasta la 170, véase tabla 15 y en la figura 26 se presenta la localización general del proyecto y la determinación del área de implantación de los diseños.

Tabla 15. Localización y caracterización del área de estudio

ÁREA TOTAL (m ²)	6810	LONGITUD ESTUDIO (m)	83,26	ELEVACIONES (m)	
				MAX	2552,818
				MIN	2550,017

Fuente: Los Autores

Figura 26 Localización general y ubicación del punto de influencia



Fuente: Los Autores

Adicionalmente se hizo el análisis hidrológico sobre un área proyectada de 1693,42 ha que abarca la parte noroccidental del punto de implantación el cual abarca desde la calle 127 hasta la calle 170 entre la autopista norte y la carrera 11. En cuanto a la comparación de esta área frente a el punto de influencia del proyecto se presentan ciertas diferencias entre el cálculo del caudal, sin embargo, se obtuvieron valores similares.

Figura 27 Área de drenaje para capacidad hidráulica de tubería existente



Fuente: Los Autores

9.3 DETERMINACIÓN CURVAS IDF (INTENSIDAD, DURACIÓN, FRECUENCIA)

Para la determinación de la intensidad de la lluvia máxima del área de estudios a partir del periodo de retorno, la frecuencia y duración de la tormenta de diseño, los datos para los diferentes períodos de retorno serán suministrados por la EAB a través de los datos técnicos del proyecto por medio de la información anteriormente caracterizada, según las coordenadas del punto de implantación y localización del diseño, a partir de los cuales se obtiene la intensidad, utilizando la siguiente ecuación:

Ecuación 4 Determinación curvas IDF

$$\text{INTENSIDAD} = C_1 * (\text{DURACIÓN} + X_0)^{C_2}$$

Fuente: NS-085

Como su nombre lo indica, los resultados de intensidad-duración-frecuencia relacionan la duración de la lluvia, con su intensidad y un periodo de retorno asociado. De ésta manera se presentan los siguientes resultados: (véase tabla 16), los cuales se evidencian en la gráfica 1 de intensidad vs duración en la cual se relaciona según su periodo de retorno con su respectivo coeficiente suministrado por la EAB:

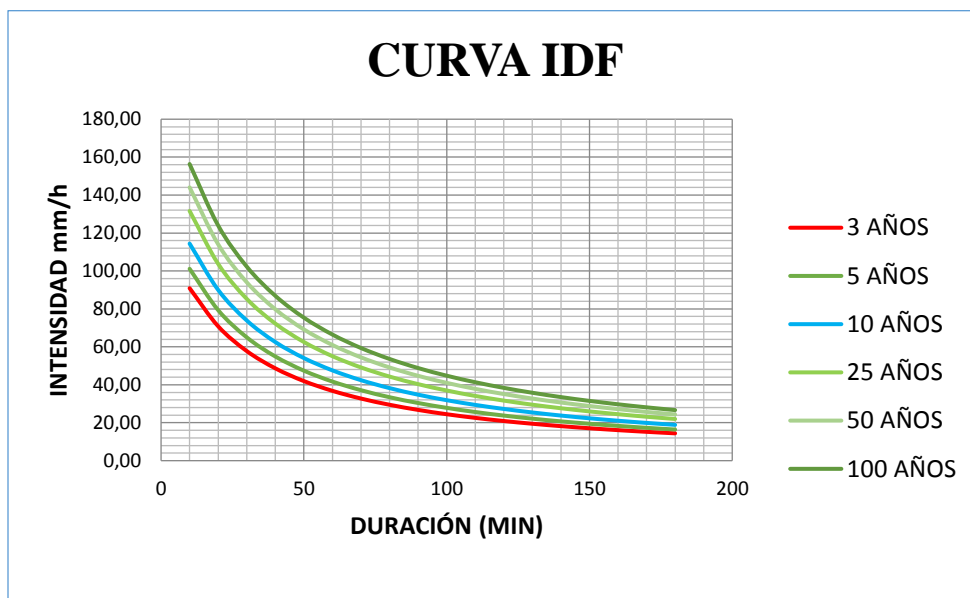
Tabla 16 Calculo de la intensidad (CURVAS IDF)

CALCULO DE LA INTENSIDAD (Ecuación cálculo curvas) IDF						
DURACIÓN (min)	3 AÑOS	5 AÑOS	10 AÑOS	25 AÑOS	50 AÑOS	100 AÑOS
10	90,92	101,14	114,41	131,63	144,07	156,37
20	70,83	79,34	89,99	103,72	114,03	123,93
30	57,79	65,02	73,90	85,29	94,04	102,31
40	48,67	54,93	62,54	72,26	79,81	86,90
50	41,96	47,45	54,10	62,57	69,20	75,40
60	36,81	41,70	47,60	55,09	60,99	66,49
70	32,75	37,14	42,44	49,16	54,45	59,39
80	29,47	33,45	38,25	44,33	49,13	53,62
90	26,76	30,40	34,79	40,34	44,73	48,83
100	24,49	27,83	31,88	36,99	41,02	44,79
110	22,56	25,65	29,40	34,13	37,85	41,35
120	20,90	23,78	27,27	31,67	35,12	38,38
130	19,46	22,14	25,41	29,52	32,75	35,80
140	18,20	20,71	23,78	27,64	30,66	33,52
150	17,08	19,45	22,34	25,97	28,81	31,51
160	16,09	18,32	21,05	24,49	27,16	29,72
170	15,20	17,32	19,91	23,16	25,69	28,11
180	14,41	16,41	18,87	21,96	24,36	26,66
DURACIÓN	3 AÑOS	5 AÑOS	10 AÑOS	25 AÑOS	50 AÑOS	100 AÑOS

CALCULO DE LA INTENSIDAD (Ecuación cálculo curvas) IDF						
DURACIÓN (min)	3 AÑOS	5 AÑOS	10 AÑOS	25 AÑOS	50 AÑOS	100 AÑOS
SEGUNDOS INTENSIDAD (L/S/HA) (2.77)	251,84	280,15	316,93	364,62	399,08	433,15
	196,19	219,77	249,28	287,30	315,87	343,30
	160,08	180,11	204,71	236,26	260,49	283,39
	134,83	152,16	173,23	200,15	221,09	240,72
	116,23	131,45	149,85	173,31	191,68	208,85
	101,97	115,51	131,84	152,60	168,93	184,17
	90,72	102,89	117,55	136,16	150,83	164,52
	81,62	92,66	105,96	122,81	136,10	148,52
	74,12	84,20	96,37	111,75	123,89	135,25
	67,83	77,10	88,30	102,46	113,61	124,08
	62,49	71,06	81,44	94,54	104,85	114,55
	57,89	65,86	75,53	87,71	97,29	106,32
	53,90	61,34	70,38	81,77	90,71	99,16
	50,41	57,38	65,87	76,56	84,92	92,86
	47,32	53,87	61,88	71,94	79,81	87,29
	44,57	50,75	58,32	67,83	75,25	82,32
42,12	47,96	55,14	64,15	71,16	77,86	
39,91	45,45	52,27	60,83	67,47	73,85	
INTENSIDAD MAXIMA L/S/HA	251,84	280,15	316,93	364,62	399,08	433,15

Fuente: Los Autores

Gráfica 1 Curvas intensidad duración y frecuencia (CURVAS IDF)



Fuente: Los Autores

9.4 ÁREAS DE DRENAJE

Para la definición de las áreas de drenaje se utilizó la información topográfica realizada y complementada con la que se contaba del proyecto del IDU número 1638-2013, de esta manera, las áreas de drenaje se establecen de la manera eficiente, por medio de la identificación de las aguas de escorrentía provenientes de la superficie de las vías.

En el sitio el área seleccionada del punto de influencia del proyecto se define, para tener en cuenta el tipo de material superficial e identificar en la parte de diseño los puntos de conexión o descarga adecuados para la implementación del SUDS.

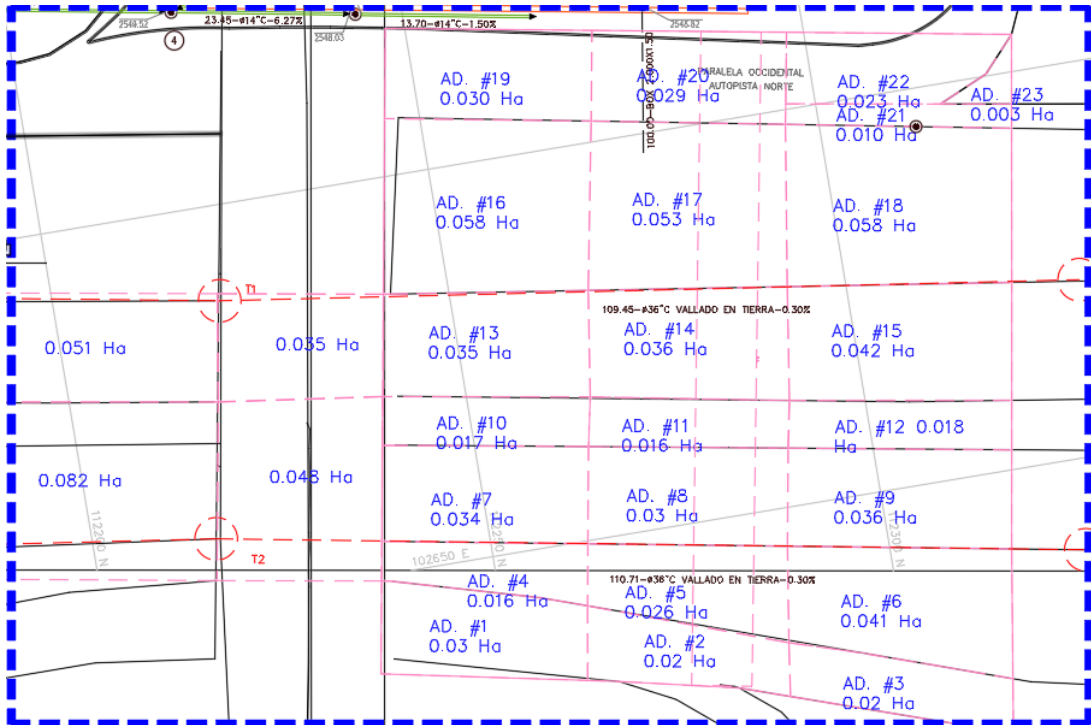
A continuación, en la tabla 17 las áreas de drenaje señaladas en el plano de localización (véase el anexo C. PLANOS Y CANTIDADES DE OBRA) y véase la figura 28.

Tabla 17 Áreas de drenaje

# AREA EN EL PLANO	AREA (ha)	AREA (m2)
1	0,030	300,00
2	0,020	200,00
3	0,020	200,00
4	0,016	160,00
5	0,026	260,00
6	0,041	410,00
7	0,034	340,00
8	0,030	300,00
9	0,036	360,00
10	0,017	170,00
11	0,016	160,00
12	0,018	180,00
13	0,035	350,00
14	0,036	360,00
15	0,042	420,00
16	0,058	580,00
17	0,053	530,00
18	0,058	580,00
19	0,030	300,00
20	0,029	290,00
21	0,010	100,00
22	0,023	230,00
23	0,003	30,00
TOTAL	0,681	6810,00

Fuente: Los Autores

Figura 28. Áreas de drenaje seleccionas y ubicadas en la topografía



Fuente: Los Autores

9.5 TIEMPOS DE CONCENTRACIÓN

Los tiempos de concentración se define como el intervalo en hectáreas con respecto al tiempo de inicio de la precipitación hasta su finalización hasta que el agua de escorrentía salga del área de drenaje definida, para definir estos tiempos se tomó como referencia el manual de drenaje del INVIAS 2011 frente a las siguientes ecuaciones:

Ecuación de Kirpich

Ecuación 5 Tiempo de concentración Kirpich

$$T_c = 0.06628 \left(\frac{L}{S^{0.5}} \right)^{0.77}$$

Fuente: Manual de Drenaje para Carreteras INVIAS

Donde:

T_c: Tiempo de concentración, en horas (h).

L: Longitud del cauce principal, en kilómetros (km).

S: Pendiente entre las elevaciones máxima y mínima (pendiente total) del cauce principal, en metros por metro (m/m).

Ecuación de Témez

Ecuación 6 Tiempo de concentración Témez

$$T_c = 0.30 \left(\frac{L}{S^{0.25}} \right)^{0.76}$$

Fuente: Manual de Drenaje para Carreteras INVIA

Donde:

Tc: Tiempo de concentración, en horas (h).

L: Longitud del cauce principal, en kilómetros (km).

S: Pendiente total del cauce principal, en porcentaje (%).

Ecuación de Williams

Ecuación 7 Tiempo de concentración Williams

$$T_c = 0.683 \left(\frac{LA^{0.40}}{DS^{0.25}} \right)$$

Fuente: Manual de Drenaje para Carreteras INVIA

Donde:

Tc: Tiempo de concentración, en horas (h).

L: Longitud del cauce principal, en kilómetros (km).

S: Pendiente total del cauce principal, en porcentaje (%).

A: Área de la cuenca, en kilómetros cuadrados (km²).

D: Diámetro de una cuenca circular con área "A", en kilómetros (km).

En la autopista con calle 127, se procedió a evaluar el análisis de los tiempos de concentración del agua, ya que se evidencia un tiempo a considerable de acumulación de agua sobre la vía sentido sur-occidental del carril vehicular central (sitio de implantación del proyecto), por lo tanto, partiendo de la tabla 8 y realizando la caracterización de la hoya de estudio de referencia para la parte alta de cuenca de la autopista norte de la ciudad de Bogotá, se presenta la siguiente tabla 13 y con esta información se reemplaza en las fórmulas anteriormente descritas, obteniendo los resultados de la tabla 14:

Tabla 18 Caracterización de la hoya de estudio de referencia para el área de drenaje

AREA TOTAL (m2)	16934152	LONGITUD ESTUDIO (m)	7829	MAX (msnm)	2552,818
				MIN (msnm)	2550,017

Fuente: Los Autores

Tabla 19 Tiempos de concentración por medio de las ecuaciones empíricas Manual de drenaje INVIAS

TIEMPOS DE CONCENTRACIÓN ÁREA DE ESTUDIO 16,93 km2					
ECUACIÓN DE KIRPICH		ECUACIÓN DE TEMEZ		ECUACIÓN DE WILLIAMS	
L (Km)	7,829	L (Km)	7,829	L (Km)	7,829
S (mm)	0,0004	S (%)	0,04	S (%)	0,04
$T_c = 0.06628 \left(\frac{L}{S^{0.5}} \right)^{0.77}$		$T_c = 0.30 \left(\frac{L}{S^{0.25}} \right)^{0.76}$		A (Km^2)	16,934152
				D (Km)	4,64
				$T_c = 0.683 \left(\frac{L A^{0.40}}{D S^{0.25}} \right)$	
Tc (h)	6,86	Tc (h)	2,70	Tc (h)	8,21
Tc PROMEDIO de las ecuaciones empíricas (h)				5,92	
TIEMPOS DE CONCENTRACIÓN ÁREA DE IMPLANTACIÓN DE DISEÑO 0,006 km2					
ECUACIÓN DE KIRPICH		ECUACIÓN DE TEMEZ		ECUACIÓN DE WILLIAMS	
L (Km)	0,083	L (Km)	0,08328	L (Km)	0,08328
S (mm)	0,034	S (%)	3,36	S (%)	3,36
$T_c = 0.06628 \left(\frac{L}{S^{0.5}} \right)^{0.77}$		$T_c = 0.30 \left(\frac{L}{S^{0.25}} \right)^{0.76}$		A (Km^2)	0,00681
				D (Km)	0,09
				$T_c = 0.683 \left(\frac{L A^{0.40}}{D S^{0.25}} \right)$	
Tc (h)	0,04	Tc (h)	0,04	Tc (h)	0,06
Tc PROMEDIO de las ecuaciones empíricas (h)				0,04	

Fuente: Los Autores

9.6 CAUDALES DE DISEÑO

Para la determinación del caudal de diseño del análisis hidrológico del área de estudio establecida y caracterizada anteriormente, se realizará por medio del método racional y la norma NS-085 de la EAB, la cual se expresa así:

Ecuación 8 Método racional

$$Q = C * I * A$$

Fuente: NS-085

Donde:

Q= Caudal de diseño $\left(\frac{m^3}{s}\right)$ y/o $\left(\frac{l}{s}\right)$

C= Coeficiente de infiltración

I= Intensidad de la lluvia, para una duración igual al tiempo de concentración del área de drenaje y para el período de retorno determinado (L/s/Ha)

A= Área de drenaje (Ha)

Para la obtención del coeficiente de infiltración está determinada por la impermeabilidad del suelo, como las pendientes de las zonas verdes y el uso de la zona por el desarrollo urbano según norma técnica de la EAB, la unidad de medida es adimensional, por lo cual se expresa en la siguiente tabla 12:

Tabla 20 Coeficiente de infiltración y/o escorrentía del suelo NS-085 EAB

Coeficiente de escorrentía	
Tipo de Superficie C	C
ZONAS URBANIZADAS (Áreas residenciales, comerciales, industriales, vías, andenes, etc....)	
Cubiertas	0,85
Superficies en asfalto	0,80
Superficies en concreto	0,85
Superficies adoquinadas	0,75
Vías no pavimentadas y superficies con suelos compactados	0,60
ZONAS VERDES (Jardines, parques, etc....)	
Terreno plano (Pendiente menor al 2%)	0,25
Terreno promedio (Pendiente entre el 2% y el 7%)	0,35
Terreno de alta pendiente (Pendiente superior al 7%)	0,40

Fuente: NS-085

Por lo tanto, determinado el tipo de superficie según la división de las áreas de drenaje en el punto de implantación del diseño, se establece de la siguiente forma:

Tabla 21 Coeficiente de infiltración de diseño

# ÁREA EN EL PLANO	ÁREA (ha)	TIPO SUPERFICIE	COEFICIENTE DE ESCORRENTIA
1	0,030	Superficies en asfalto	0,80
2	0,020	Superficies en asfalto	0,80
3	0,020	Superficies en asfalto	0,80
4	0,016	Terreno promedio (Pendiente entre el 2% y el 7%)	0,35
5	0,026	Terreno promedio (Pendiente entre el 2% y el 7%)	0,35
6	0,041	Terreno promedio (Pendiente entre el 2% y el 7%)	0,35
7	0,034	Superficies en asfalto	0,80
8	0,030	Superficies en asfalto	0,80
9	0,036	Superficies en asfalto	0,80
10	0,017	Terreno promedio (Pendiente entre el 2% y el 7%)	0,35
11	0,016	Terreno promedio (Pendiente entre el 2% y el 7%)	0,35
12	0,018	Terreno promedio (Pendiente entre el 2% y el 7%)	0,35
13	0,035	Superficies en asfalto	0,80
14	0,036	Superficies en asfalto	0,80
15	0,042	Superficies en asfalto	0,80
16	0,058	Terreno promedio (Pendiente entre el 2% y el 7%)	0,35
17	0,053	Terreno promedio (Pendiente entre el 2% y el 7%)	0,35
18	0,058	Terreno promedio (Pendiente entre el 2% y el 7%)	0,35
19	0,030	Superficies en asfalto	0,80
20	0,029	Superficies en asfalto	0,80
21	0,010	Superficies en asfalto	0,80
22	0,023	Superficies en asfalto	0,80
23	0,003	Terreno promedio (Pendiente entre el 2% y el 7%)	0,35
TOTAL	0,681	COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA PROMEDIO	0,60

Fuente: Los Autores

Definiendo los coeficientes de escorrentía se calcula el caudal para cada una de las áreas de drenaje establecidas y según la intensidad, duración y frecuencia con su periodo de retorno, lo que define el caudal pico y de diseño, es un parámetro establecido y requerido para el diseño de la implementación del sistema no convencional.

Tabla 22 Método racional para determinar el caudal según el área de drenaje

# AREA EN EL PLANO	AREA (ha)	QMAX (3 Años) Promedio en Área L/S	QMAX (5 Años) Promedio en Área L/S	QMAX (10 Años) Promedio en Área L/S	QMAX (20 Años) Promedio en Área L/S	QMAX (50 Años) Promedio en Área L/S	QMAX (100 Años) Promedio en Área L/S
1	0,030	6,04	6,72	7,61	8,75	9,58	10,40
2	0,020	4,03	4,48	5,07	5,83	6,39	6,93
3	0,020	4,03	4,48	5,07	5,83	6,39	6,93
4	0,016	1,41	1,57	1,77	2,04	2,23	2,43
5	0,026	2,29	2,55	2,88	3,32	3,63	3,94
6	0,041	3,61	4,02	4,55	5,23	5,73	6,22
7	0,034	6,85	7,62	8,62	9,92	10,85	11,78
8	0,030	6,04	6,72	7,61	8,75	9,58	10,40
9	0,036	7,25	8,07	9,13	10,50	11,49	12,47
10	0,017	1,50	1,67	1,89	2,17	2,37	2,58
11	0,016	1,41	1,57	1,77	2,04	2,23	2,43
12	0,018	1,59	1,76	2,00	2,30	2,51	2,73
13	0,035	7,05	7,84	8,87	10,21	11,17	12,13
14	0,036	7,25	8,07	9,13	10,50	11,49	12,47
15	0,042	8,46	9,41	10,65	12,25	13,41	14,55
16	0,058	5,11	5,69	6,43	7,40	8,10	8,79
17	0,053	4,67	5,20	5,88	6,76	7,40	8,03
18	0,058	5,11	5,69	6,43	7,40	8,10	8,79
19	0,030	6,04	6,72	7,61	8,75	9,58	10,40
20	0,029	5,84	6,50	7,35	8,46	9,26	10,05
21	0,010	2,01	2,24	2,54	2,92	3,19	3,47
22	0,023	4,63	5,15	5,83	6,71	7,34	7,97
23	0,003	0,26	0,29	0,33	0,38	0,42	0,45
TOTAL	0,681	102,52	114,05	129,02	148,44	162,46	176,34

Fuente: Los Autores

Para un periodo de retorno de 5 años se acumula el caudal pico para cada una de las áreas de drenaje, obteniendo un caudal de diseño de 114,05 l/s.

9.7 ANÁLISIS DE CAPACIDAD HIDRÁULICA DEL SISTEMA PLUVIAL EXISTENTE

El sistema pluvial existente por medio del vallado y una tubería 36" de diámetro no está generando la garantía de drenar en un tiempo de concentración, ya que las velocidades del agua de escorrentía exigen al sistema a trabajar con la sección del 100% a tubo lleno, además por medio del Contrato IDU se realizó un diagnóstico de las redes hidrosanitarias existentes cuando se realizó la ampliación de la Autopista solo en la zona de los carriles centrales, las redes localizadas en la zona de los costados oriental y occidental, no fueron intervenidas, por lo tanto, en la figura se presenta la ubicación y las longitudes de la red pluvial por medio de los vallados.

Figura 29. Ubicación y localización de la red pluvial Autopista Norte Calle 127



Fuente: Los Autores

La red cuenta con sumideros vehiculares que dan paso del agua drenando la calzada vehicular conectados a la tubería de 36" de diámetro, dirigidos a un colector que actualmente presenta una fractura longitudinal en la mayoría de su longitud, actualmente cuenta con una tubería de 20" de diámetro en concreto con una longitud total de 68.2 m, por el costado occidental y por el costado oriental cuenta con un colector de 24" en concreto, para determinar la capacidad, se toman las áreas aferentes del sistema pluvial que interviene en la zona de implantación la cual se definen en la siguiente tabla 23:

Tabla 23 Área de drenaje para la determinación de la capacidad de la red pluvial existente

tramo	L (m)	Nodos iniciales	Nodo Final	Área propia (Ha)	Área acumulada (Ha)	Área total (Ha)	Tiempo de concentración		CAUDALES DE DISEÑO		
							Tiempo de inicio (min)	Tiempo de recorrido (min)	C impera	Intensidad (mm/s/Ha)	Q DISEÑO
Autopista Norte al Sur Costado Occidental											
PSR137837	109,46	PSR137837	T1	0,148	0	0,148	15,00	1,82	0,80	246,5	29,2
T1	115,53	T1	SUMIDERO EXISTENTE P1	0,179	0,148	0,327	15,00	1,93	0,80	246,5	64,5
SUMIDERO EXISTENTE P1	244,78	SUMIDERO EXISTENTE P1	VALLADO ENTREGA A TUBERIA PROYECTADA	0,585	0,327	0,912	15,00	4,08	0,80	246,5	179,8
Autopista Norte al Norte Costado Oriental											
PS1	101,71	PS1	T2	0,197	0	0,197	15,00	1,70	0,80	246,5	38,8
T2	114,29	T2	SUMIDERO EXISTENTE P2	0,275	0,197	0,472	15,00	1,90	0,80	246,5	93,1
SUMIDERO EXISTENTE P2	153,83	SUMIDERO EXISTENTE P2	VALLADO ENTREGA A TUBERIA 1	0,342	0,472	0,814	15,00	2,56	0,80	246,5	160,5
VALLADO ENTREGA A TUBERIA 1	33,72	VALLADO ENTREGA A TUBERIA 1	20AP	0,084	0,472	0,556	15,00	0,56	0,80	246,5	109,6
20AP	46,75	20AP	VALLADO ENTREGA 2	0,124	0,814	0,938	15,00	0,78	0,80	246,5	185,0

Fuente: Los Autores

Por medio de la norma NS-085 de la EAB se utiliza el método racional con un coeficiente de infiltración promedio 0.8, con la intensidad de lluvias máxima suministradas y calculadas con las coordenadas del proyecto para un periodo de retorno de 5 años, por una duración de lluvia de 15 minutos, obteniendo así un caudal máximo 185 l/s para el costado oriental central y un caudal de 179.8 l/s por el costado occidental, el análisis en comparación de las curvas IDF se obtuvo un comparativo.

Sin embargo, para el análisis de la tubería de sistema de alcantarillado pluvial se determinó el área de la hoya de 16.93 km² y una longitud de 7829 m de la cuenca que es la parte alta norte y el sistema de drenaje conectado, obteniendo un análisis para la tubería existente, y con el cual se determinó un caudal de 93 m³/s, y se presentan en la siguiente tabla de resultados:

Tabla 24 Determinación de la capacidad de la tubería pluvial existente

DISEÑO HIDRÁULICO CONCEPTUAL (Revisión actual) COSTADO OCCIDENTAL												
CARACTERÍSTICAS GENERALES				CARACTERÍSTICAS FÍSICAS			CARACTERÍSTICAS HIDRAULICAS					
ID	LONGITUD TUBERÍA (m)	S (%)	Qd TOTAL (l/s)	Do (mm)	MATERIAL	n de Manning	Vo (m/s)	Yn (mm)	D (mm)	y/Do (%)	V (m/s)	Fr
PSR137837	109,46	0,30%	93000,0	914	concreto	0,015	1,36	914	Presurizado	100,0%	141,74	Presurizado
T1	115,53	0,30%	93000,0	914	concreto	0,015	1,36	914	PRESURIZADO	100,0%	141,74	PRESURIZADO
SUMIDERO EXISTENTE P1	244,78	0,30%	93000,0	914	concreto	0,015	1,36	914	PRESURIZADO	100,0%	141,74	PRESURIZADO
DISEÑO HIDRÁULICO CONCEPTUAL (Revisión actual) COSTADO ORIENTAL												
CARACTERÍSTICAS GENERALES				CARACTERÍSTICAS FÍSICAS			CARACTERÍSTICAS HIDRAULICAS					
ID	LONGITUD TUBERÍA (m)	S (%)	Qd TOTAL (l/s)	Do (mm)	MATERIAL	n de Manning	Vo (m/s)	Yn (mm)	D (mm)	y/Do (%)	V (m/s)	Fr
PS1	101,71	0,30%	93000,0	914	concreto	0,015	1,36	914	PRESURIZADO	100,0%	141,74	PRESURIZADO
T2	114,29	0,30%	93000,0	914	concreto	0,015	1,36	914	PRESURIZADO	100,0%	141,74	PRESURIZADO
SUMIDERO EXISTENTE P2	153,83	0,30%	93000,0	914	concreto	0,015	1,36	914	PRESURIZADO	100,0%	141,74	PRESURIZADO
VALLADO ENTREGA A TUBERIA 1	33,72	0,30%	93000,0	914	concreto	0,015	1,36	914	PRESURIZADO	100,0%	141,74	PRESURIZADO
20AP	46,75	0,30%	93000,0	914	concreto	0,015	1,36	914	PRESURIZADO	100,0%	141,74	PRESURIZADO

Fuente: Los Autores

Por lo que se observa que la capacidad de la tubería está trabajando en un 100% de la relación del radio hidráulico con velocidades elevadas por lo cual el tiempo de retención del agua es mayor, por lo tanto, genera la acumulación del volumen del agua de escorrentía.

9.8 ANÁLISIS DE PRECIPITACIÓN

9.8.1 Hietograma de Diseño

El hietograma de precipitación se define por el método del bloque alterno según el manual de drenaje de carreteras INVIAS 2011, para determinar el hietograma de precipitación efectiva. Para construir el hietograma mediante el método del bloque alterno se siguen las siguientes indicaciones:

- Se establece la duración de un aguacero típico de una duración de 180 minutos, se deben calcular las curvas de masas de los aguaceros puntuales para duraciones entre 0 y 180 min, según la intensidad de lluvia.
- De la curva IDF respectiva se determina la intensidad para diversos intervalos de tiempo, menores a la duración de la precipitación.
- Se calcula la cantidad de precipitación que cayó en cada intervalo de tiempo establecido en el paso anterior, multiplicando la intensidad por la duración.

Ecuación 9 Precipitación Unitaria

$$P = I \cdot t$$

Fuente: Manual de drenaje INVIAS 2011

Donde:

P= Precipitación por cada intervalo de tiempo (mm)

I= Intensidad de la lluvia, para una duración igual al tiempo de concentración del área de drenaje y para el período de retorno determinado (L/s/Ha)

t= Intervalo de tiempo cada 5 min, por un total de duración de tres horas.

- Calcular el diferencial de precipitación que cae en cada intervalo de tiempo, mediante la diferencia entre la cantidad de precipitación caída en un intervalo y el anterior

Ecuación 10 Precipitación unitaria

$$\Delta P = P_i - P_{i-1}$$

Fuente: Manual de drenaje INVIAS 2011

Donde:

ΔP = Precipitación diferencial acumulada (mm)

P_i = Precipitación diferencial acumulada por cada intervalo de tiempo (mm)

P_{i-1} = Precipitación diferencial por cada intervalo de tiempo (mm)

- Asignar al tiempo aproximadamente medio de la duración de la lluvia la precipitación mayor, se define por un intervalo de la precipitación por cada 5 minutos.
- Alternar los resultados de precipitación, en orden descendente, para cada intervalo de tiempo a derecha e izquierda de la precipitación mayor, de tal manera que las menores precipitaciones se presenten al inicio y final del hietograma.

Para el área total de implantación del sistema no convencional, se obtuvo las siguientes tablas de resultados de las precipitaciones diferenciales acumuladas y se procede a realizar un análisis por cada intervalo de una hora hasta completar las tres horas de duración del aguacero, por lo cual, se presenta los hietogramas de la precipitación para un periodo de retorno de 5 años.

Tabla 25 Cálculo de precipitación diferencial para un intervalo de una hora

5 AÑOS		TIEMPO ESTUDIO		ANÁLISIS POR TIEMPO 1 HORA		
DURACIÓN	INTENSIDAD	PROFUNDIDAD ACUMULADA	PROFUNDIDAD INCREMENTAL	TIEMPO		PRECIPITACIÓN
min	mm/h	mm	mm	min	min	mm
5	116,895	9,741	9,741	0	5	1,156
10	101,138	16,856	7,115	5	10	1,579
15	88,985	22,246	5,390	10	15	2,240
20	79,338	26,446	4,200	15	20	3,347
25	71,504	29,793	3,347	20	25	5,390
30	65,021	32,510	2,717	25	30	9,741
35	59,572	34,750	2,240	30	35	7,115
40	54,931	36,620	1,870	35	40	4,200
45	50,932	38,199	1,579	40	45	2,717
50	47,454	39,545	1,345	45	50	1,870
55	44,401	40,701	1,156	50	55	1,345
60	41,701	41,701	1,000	55	60	1,000

Fuente: Los Autores

Gráfica 2 Hietograma tormenta de diseño para intervalo de 5 años en 1 hora



Fuente: Los Autores

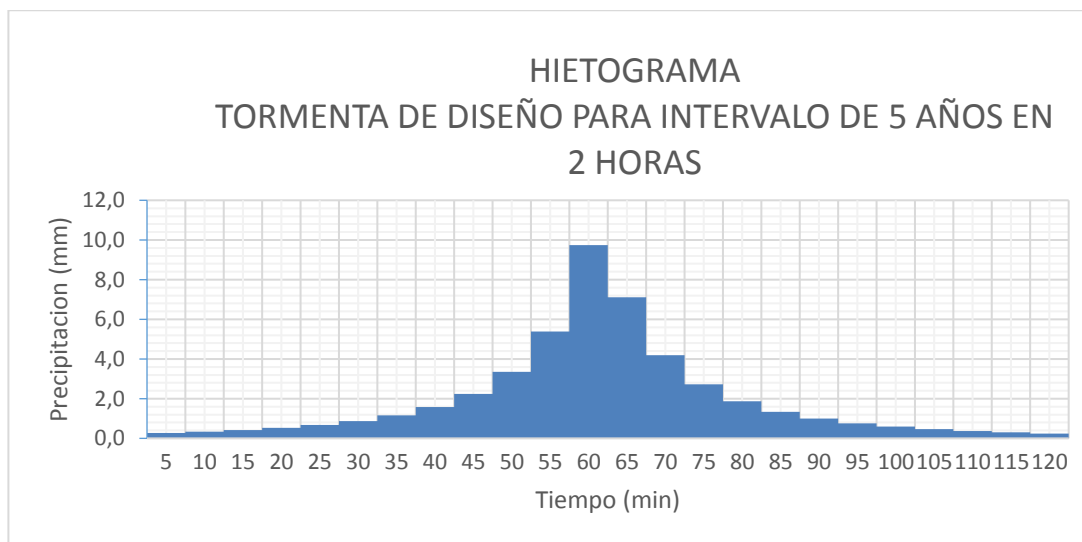
Tabla 26 Calculo de precipitación diferencial para un intervalo de dos horas

5 AÑOS		TIEMPO ESTUDIO		2 HORAS		
DURACIÓN	INTENSIDAD	PROFUNDIDAD ACUMULADA	PROFUNDIDAD INCREMENTAL	TIEMPO		PRECIPITACIÓN
min	mm/h	mm	mm	min	min	mm
5	116,895	9,741	9,741	0	5	0,274
10	101,138	16,856	7,115	5	10	0,337
15	88,985	22,246	5,390	10	15	0,419
20	79,338	26,446	4,200	15	20	0,527
25	71,504	29,793	3,347	20	25	0,672
30	65,021	32,510	2,717	25	30	0,871
35	59,572	34,750	2,240	30	35	1,156
40	54,931	36,620	1,870	35	40	1,579
45	50,932	38,199	1,579	40	45	2,240
50	47,454	39,545	1,345	45	50	3,347
55	44,401	40,701	1,156	50	55	5,390
60	41,701	41,701	1,000	55	60	9,741
65	39,298	42,573	0,871	60	65	7,115
70	37,145	43,336	0,763	65	70	4,200

5 AÑOS		TIEMPO ESTUDIO		2 HORAS		
DURACIÓN	INTENSIDAD	PROFUNDIDAD ACUMULADA	PROFUNDIDAD INCREMENTAL	TIEMPO		PRECIPITACIÓN
75	35,206	44,007	0,672	70	75	2,717
80	33,451	44,601	0,594	75	80	1,870
85	31,855	45,128	0,527	80	85	1,345
90	30,398	45,597	0,469	85	90	1,000
95	29,063	46,016	0,419	90	95	0,763
100	27,835	46,391	0,376	95	100	0,594
105	26,702	46,729	0,337	100	105	0,469
110	25,654	47,032	0,304	105	110	0,376
115	24,682	47,306	0,274	110	115	0,304
120	23,777	47,554	0,247	115	120	0,247

Fuente: Los Autores

Gráfica 3 Hietograma tormenta de diseño para intervalo de 5 años en 2 horas



Fuente: Los Autores

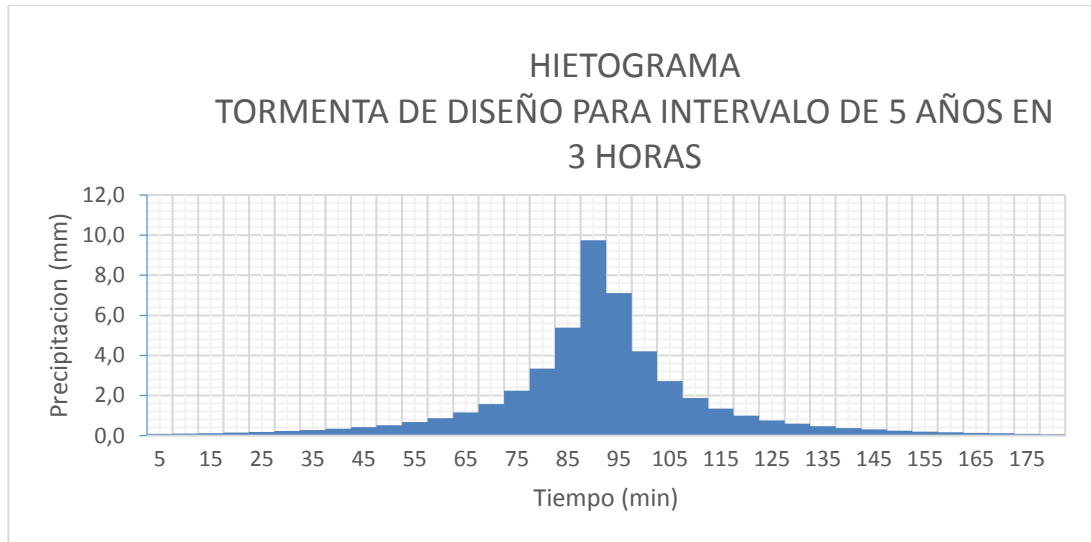
Tabla 27 Calculo de precipitación diferencial para un intervalo de tres horas

5 AÑOS		TIEMPO ESTUDIO		3 HORAS		
DURACIÓN	INTENSIDAD	PROFUNDIDAD ACUMULADA	PROFUNDIDAD INCREMENTAL	TIEMPO		PRECIPITACIÓN
min	mm/h	mm	mm	min	min	mm
5	116,895	9,741	9,741	0	5	0,086
10	101,138	16,856	7,115	5	10	0,104

5 AÑOS		TIEMPO ESTUDIO		3 HORAS		
DURACIÓN	INTENSIDAD	PROFUNDIDAD ACUMULADA	PROFUNDIDAD INCREMENTAL	TIEMPO		PRECIPITACIÓN
15	88,985	22,246	5,390	10	15	0,126
20	79,338	26,446	4,200	15	20	0,152
25	71,504	29,793	3,347	20	25	0,184
30	65,021	32,510	2,717	25	30	0,224
35	59,572	34,750	2,240	30	35	0,274
40	54,931	36,620	1,870	35	40	0,337
45	50,932	38,199	1,579	40	45	0,419
50	47,454	39,545	1,345	45	50	0,527
55	44,401	40,701	1,156	50	55	0,672
60	41,701	41,701	1,000	55	60	0,871
65	39,298	42,573	0,871	60	65	1,156
70	37,145	43,336	0,763	65	70	1,579
75	35,206	44,007	0,672	70	75	2,240
80	33,451	44,601	0,594	75	80	3,347
85	31,855	45,128	0,527	80	85	5,390
90	30,398	45,597	0,469	85	90	9,741
95	29,063	46,016	0,419	90	95	7,115
100	27,835	46,391	0,376	95	100	4,200
105	26,702	46,729	0,337	100	105	2,717
110	25,654	47,032	0,304	105	110	1,870
115	24,682	47,306	0,274	110	115	1,345
120	23,777	47,554	0,247	115	120	1,000
125	22,933	47,778	0,224	120	125	0,763
130	22,145	47,980	0,203	125	130	0,594
135	21,406	48,165	0,184	130	135	0,469
140	20,714	48,332	0,167	135	140	0,376
145	20,062	48,483	0,152	140	145	0,304
150	19,449	48,621	0,138	145	150	0,247
155	18,870	48,747	0,126	150	155	0,203
160	18,323	48,861	0,114	155	160	0,167
165	17,805	48,965	0,104	160	165	0,138
170	17,315	49,059	0,094	165	170	0,114
175	16,850	49,145	0,086	170	175	0,094
180	16,408	49,223	0,078	175	180	0,078

Fuente: Los Autores

Gráfica 4 Hietograma tormenta de diseño para intervalo de 5 años en 3 horas



Fuente: Los Autores

9.8.2 Hidrograma de escorrentía superficial y unitario de una hoya

Para obtener el hidrograma de escorrentía superficial unitario efectivo sobre el área de implantación del sistema no convencional, depende del volumen efectivo de lluvia en un intervalo por cada 5 minutos para establecer por cada hora, por un tiempo de duración total de lluvia de tres horas distribuido en el área, se relaciona según el manual de drenaje INVIAS 2011, definiendo por la siguiente expresión:

Ecuación 11 Volumen unitario de lluvia en el intervalo de tiempo

$$V = Ad$$

Fuente: Manual de drenaje INVIAS 2011

Donde:

V: Volumen unitario de lluvia en el intervalo de tiempo (m³/min)

d: Lluvia neta o efectiva total, en milímetros (mm).

A: Área de drenaje de la hoya hidrográfica, en kilómetros cuadrados (km²)

Pariendo del volumen de lluvia distribuido en el espacio y tiempo del área, se procede a determinar el caudal pico para determinar el hidrograma por medio de la ecuación siguiente:

Ecuación 12 Hidrograma de escorrentía superficial y unitario

$$dA = \int_0^t Q_e dt$$

Fuente: Manual de drenaje INVIAS 2011

Donde:

d: Lluvia neta o efectiva total, en milímetros (mm).

A: Área de drenaje de la hoya hidrográfica, en kilómetros cuadrados (km²)

Q_e: Escorrentía superficial total, en metros cúbicos por segundo (m³/s).

t: Tiempo base del hidrograma unitario de la hoya, en horas (h).

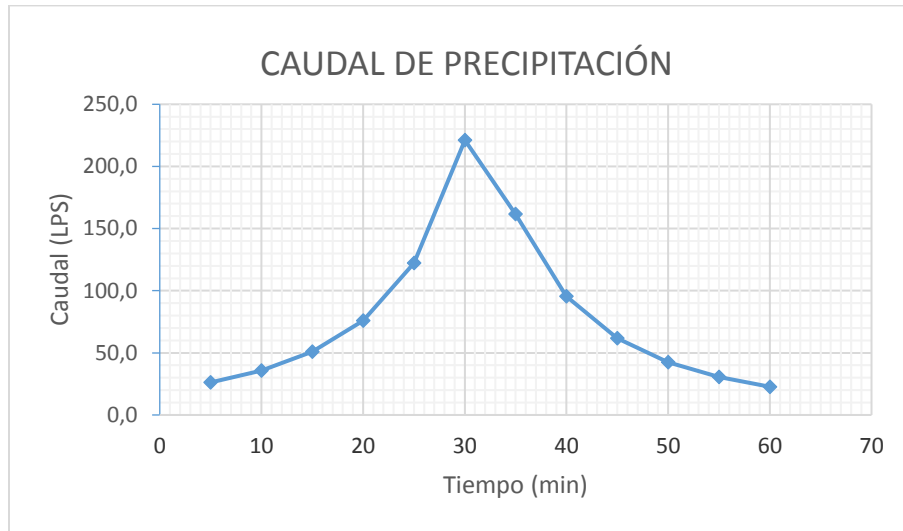
Así mismo el hidrograma unitario de lluvia neta, presenta el comportamiento de la intensidad de lluvia que se distribuye uniformemente en el espacio y en un tiempo determinado, definiendo la altura de la lluvia neta o efectiva de escorrentía superficial total, se obtuvo los siguientes resultados por cada intervalo de una hora y se determina las siguientes graficas:

Tabla 28 Cálculo caudal por 5 min (volumen total de lluvia) para una hora

PRECIPITACIÓN	V _{LLUVIA}	Q
m	m ³ / (c. 5min)	LPS
0,0012	7,87	26,24
0,0016	10,75	35,84
0,0022	15,25	50,84
0,0033	22,79	75,98
0,0054	36,70	122,35
0,0097	66,34	221,13
0,0071	48,45	161,51
0,0042	28,60	95,34
0,0027	18,50	61,68
0,0019	12,74	42,45
0,0013	9,16	30,54
0,0010	6,81	22,71

Fuente: Los Autores

Gráfica 5 Hidrograma de diseño caudal pico periodo de retorno de 5 años para una hora



Fuente: Los Autores

Se obtuvo un volumen total en el área de implantación de 283,99 m³ por un intervalo de una hora y un caudal máximo de 221,13 l/s.

Tabla 29 Calculo caudal por 5 min (volumen total de lluvia) para dos horas

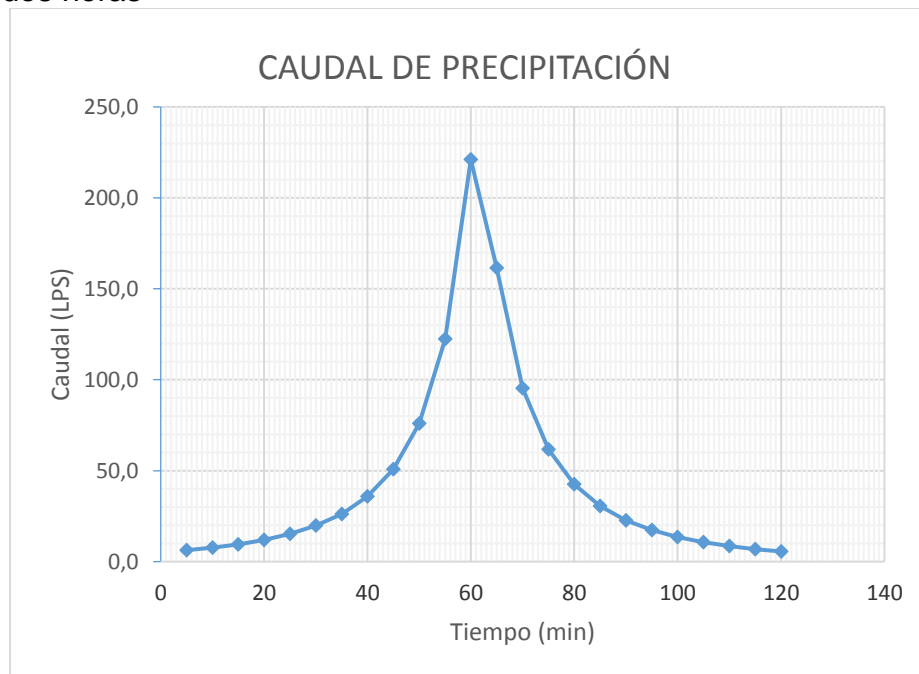
PRECIPITACIÓN	VLLUVIA	Q
m	m ³ / (c. 5min)	LPS
0,0003	1,86	6,22
0,0003	2,30	7,66
0,0004	2,85	9,52
0,0005	3,59	11,96
0,0007	4,57	15,24
0,0009	5,93	19,78
0,0012	7,87	26,24
0,0016	10,75	35,84
0,0022	15,25	50,84
0,0033	22,79	75,98
0,0054	36,70	122,35
0,0097	66,34	221,13
0,0071	48,45	161,51
0,0042	28,60	95,34
0,0027	18,50	61,68
0,0019	12,74	42,45

PRECIPITACIÓN	VLLUVIA	Q
0,0013	9,16	30,54
0,0010	6,81	22,71
0,0008	5,20	17,32
0,0006	4,04	13,48
0,0005	3,20	10,65
0,0004	2,56	8,52
0,0003	2,07	6,89
0,0002	1,69	5,62

Fuente: Los Autores

Se obtuvo un volumen total en el área de implantación de 323,84 m³ por un intervalo de una hora y un caudal máximo de 221,13 l/s.

Gráfica 6 Hidrograma de diseño caudal pico periodo de retorno de 5 años para dos horas



Fuente: Los Autores

Tabla 30 Calculo caudal por 5 min (volumen total de lluvia) para tres horas

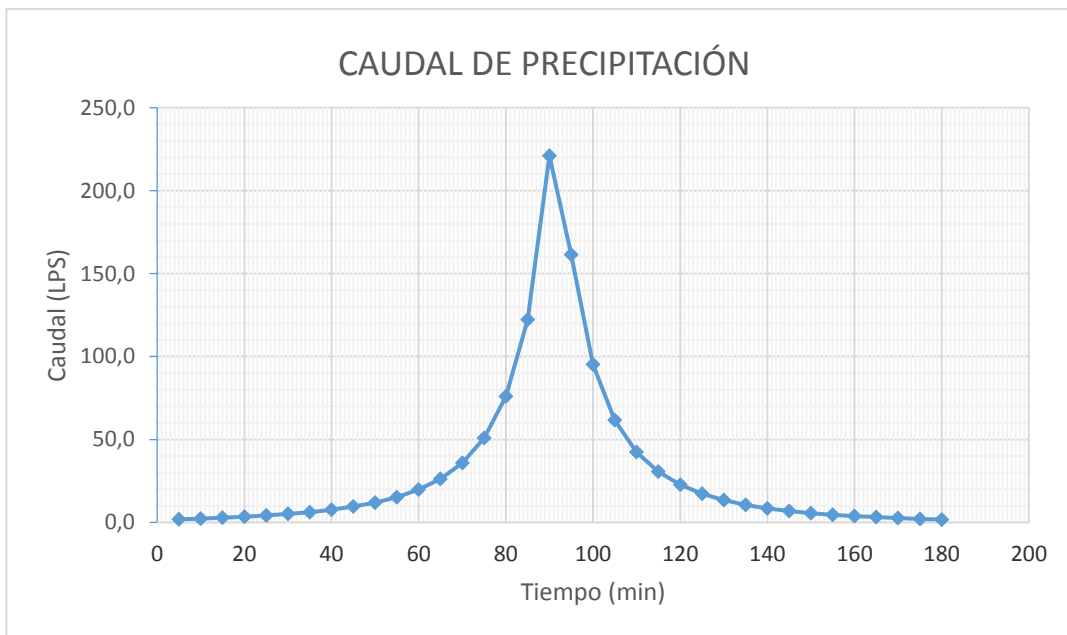
PRECIPITACIÓN	V _{LLUVIA}	Q
m	m ³ / (c. 5min)	LPS
0,00009	0,58	1,95
0,00010	0,71	2,36
0,00013	0,85	2,85
0,00015	1,03	3,45
0,00018	1,25	4,18
0,00022	1,52	5,08
0,00027	1,86	6,22
0,00034	2,30	7,66
0,00042	2,85	9,52
0,00053	3,59	11,96
0,00067	4,57	15,24
0,00087	5,93	19,78
0,00116	7,87	26,24
0,00158	10,75	35,84
0,00224	15,25	50,84
0,00335	22,79	75,98
0,00539	36,70	122,35
0,00974	66,34	221,13
0,00712	48,45	161,51
0,00420	28,60	95,34
0,00272	18,50	61,68
0,00187	12,74	42,45
0,00135	9,16	30,54
0,00100	6,81	22,71
0,00076	5,20	17,32
0,00059	4,04	13,48
0,00047	3,20	10,65
0,00038	2,56	8,52
0,00030	2,07	6,89
0,00025	1,69	5,62
0,00020	1,38	4,61
0,00017	1,14	3,79
0,00014	0,94	3,13
0,00011	0,78	2,59
0,00009	0,64	2,14

PRECIPITACIÓN	V _{LLUVIA}	Q
m	m ³ / (c. 5min)	LPS
0,00008	0,53	1,77

Fuente: Los Autores

Se obtuvo un volumen total en el área de implantación de 335,21 m³ por un intervalo de una hora y un caudal máximo de 221,13 l/s.

Tabla 31 Hidrograma de diseño caudal pico periodo de retorno de 5 años para tres horas



Fuente: Los Autores

10 DISEÑO DE LOS SUDS

Para este capítulo de la tesis, se realizará la descripción de los diseños de las tipologías seleccionadas para su implementación en la Autopista norte, según lo muestra el capítulo 8.4 del presente trabajo de investigación, los diseños, se realizarán para un tren de SUDS que será integrado por cinco alcorques inundables, una zanja de infiltración y su respectiva conexión al sistema de drenaje pluvial ubicado en el carril .

10.1 ALCORQUES INUNDABLES

Para este proyecto se propone la construcción de cinco alcorques inundables, ubicados sobre la parte oriental del separador de la calzada mixta de Transmilenio, ya que es allí, junto a este, donde se presentan los empozamientos de aguas de escorrentía.

Fue por medio del análisis hidrológico que se determinó características que nos permitieron evidenciar la baja capacidad hidráulica de los sistemas convencionales de aguas lluvias de la zona, a continuación, se muestra el paso a paso de los cálculos realizados para el diseño de la estructura en mención:

10.1.1 Área de drenaje

El área en mención se determinó para dos tipos de superficies circundantes a la ubicación de los alcorques, para lo cual, se tomó una sola estructura, delimitando áreas de zonas verdes y zonas duras como el pavimento rígido, cómo se muestra a continuación:

Figura 30 Áreas de drenaje para alcorque inundable



Fuente Los Autores

De esta forma, se presenta en la siguiente tabla las áreas de drenaje determinadas para la estructura y un coeficiente de escorrentía C , definido en la normativa de diseño de la empresa de acueducto de la ciudad, para cada

tipo de zona, como lo son las áreas duras y blandas: Referenciar archivo diseño de pilotos

Tabla 32 áreas de drenaje para un alcorque inundable

Áreas de drenaje				
Estructura	Zona	C	Ad (m2)	CAd
Alcorque	Verde	0.35	84.00	29.40
	Pavimento	0.80	60.00	48.00
			288.00	154.80

Fuente: Los Autores

10.1.2 Diseño hidrológico

Para esta parte del diseño se calculó un volumen de calidad del agua V_c , el cual constituye el volumen necesario de escorrentía a ser tratado por la estructura, este parámetro es calculado por medio de la siguiente formula:

Ecuación 13. Volumen de calidad del agua V_c

$$V_c = hp * \sum_{i=1}^2 C_i * A_{Ai}$$

Fuente: Universidad de los Andes, Diseño pilotos

Tabla 33 Volumen de calidad del agua

Alcorque	Vc (m3)
1	2.00

Fuente: Los Autores

Para el cálculo del volumen de calidad de agua V_c , previamente se estimó la profundidad de lluvia hp , para la cual se define, de la información obtenida de la estación de lluvia la caro ubicada en la autopista norte.

A continuación, se muestra la tabla donde nos muestra dicha información, esta se obtuvo del estudio realizado para diseños de SUDS en la ciudad de Bogotá, por parte de la Universidad de los Andes, en conjunto con la secretaria distrital de ambiente y la empresa de acueducto de la ciudad:

Tabla 34 Valor propuesto de hp para la ciudad de Bogotá, según registro de estación de lluvias

Estación, periodo	Código	Coordenadas		Hp (mm)
		E	N	
Escuela Col, Ing., 88-13	2120605	1020729	1003513	17.9
Torca, 90-13	2120077	1021800	1005320	20.9
Serrezuela, 90-13	P-78	1018613	1007000	19.9
Guaymaral., 66-14	2120559	1024100	1000725	18.5
La caro, 90-13	P-79	1028994	1005739	16.8
Contador, 90-13	P-11	1012560	1005068	23.4
La conejera, 90-13	P-95	1019644	1000578	17.9
Cerro Suba, 66-11	P-01	1013541	999137	19.3
Usaquén Santa Ana, 23-13	P-09	1010242	1005804	24.1

Fuente: Universidad de los Andes, Guía técnica de Diseño y Construcción

El siguiente paso fue la determinación de parámetros de diseño que permitirían el dimensionamiento de un alcorque inundable, para nuestro proyecto se hará uso de cinco alcorques trabajando en conexión con la zanja de infiltración:

Tabla 35 Parámetros de diseño

Parámetro	Valor	Unidades
Profundidad del medio filtrante (Sustrato)	0.65	m
Permeabilidad del medio filtrante (Sustrato)	70	mm/hr
Porosidad efectiva del medio filtrante (Sustrato)	40	%
Área superficial de la parte superior del medio filtrante	2.50	m ²
Área superficial de la parte más baja del área de encharcamiento	4.0	m ²
Área superficial a la máxima profundidad de encharcamiento	4.0	m ²
Máxima profundidad de encharcamiento	0.30	m
Capa filtrante	0.10	m
Diámetro de tubería perforada	0.15	m
Profundidad de la capa de grava	0.15	m

Fuente: Los Autores

Para los cálculos de la tabla 35, véase el anexo B MEMORIAS DISEÑOS SUDS.

10.1.3 Pre-dimensionamiento de Alcorque inundable

Tabla 36 Volúmenes de diseño

Parámetro	Valor	Unidades
Volumen tratado	2.00	M3
Volumen filtrado	1.85	M3
Volumen de encharcamiento	1.20	M3
Volumen infiltrado	0.15	M3

Fuente: Los Autores

Para los cálculos de la tabla 36, véase el anexo B MEMORIAS DISEÑOS SUDS.

10.2 ZANJA DE INFILTRACIÓN

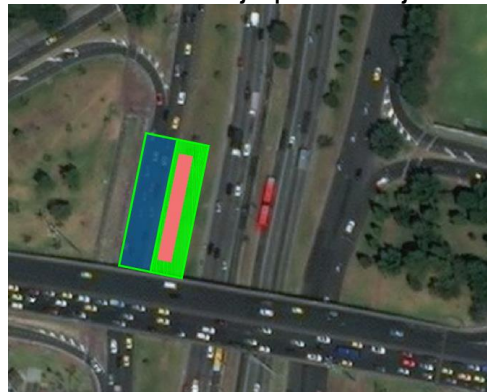
Para este proyecto se propone la construcción de una zanja de infiltración, ubicada sobre la parte Occidental del separador de la calzada mixta de Transmilenio, ya que es allí, donde será guiada el agua que recogerán los alcorques que reciban el agua de escorrentía.

A continuación, se muestra el paso a paso de los cálculos realizados para el diseño de la estructura en mención:

10.2.1 Área de drenaje

El área en mención se determinó para dos tipos de superficies circundantes a la ubicación de la zanja de infiltración, para lo cual, se tomó una sola estructura, delimitando áreas de zonas verdes y zonas duras como el pavimento rígido, cómo se muestra a continuación:

Figura 31 Áreas de drenaje para Zanja de Infiltración



Fuente Los Autores

A continuación, se presenta en la siguiente tabla las áreas de drenaje determinadas para la estructura y un coeficiente de escorrentía C, definido en la normativa de diseño de la empresa de acueducto de la ciudad, para cada tipo de zona, como lo son las áreas duras y blandas: Referenciar archivo diseño de pilotos

Tabla 37 áreas de drenaje para Zanja de Infiltración

Áreas de drenaje				
Estructura	Zona	C	Ad (m2)	CAd
Zanja de Infiltración	Verde	0.35	578.00	202.30
	Pavimento	0.80	578.00	462.40
			1156.00	664.70

Fuente: Los Autores

10.2.2 Diseño hidrológico

De la misma manera que se iniciaron los cálculos para el alcorque inundable, para esta estructura se calculó un volumen de calidad del agua V_c , el cual constituye el volumen necesario de escorrentía a ser tratado por la estructura, para este parámetro, se utiliza la ecuación 13 para cálculo de V_c , a continuación, se muestra la siguiente tabla:

Tabla 38 Volumen de calidad del agua de la Zanja de Infiltración

Zanja de Infiltración	V_c (m3)
1	11.17

Fuente: Los Autores

Como anteriormente se describió para la estructura del alcorque inundable el cálculo del volumen de calidad de agua V_c , previo a esto, se estimó la profundidad de lluvia h_p , para la cual se definió de la información de la estación de lluvia la caro ubicada en la autopista norte, véase tabla 34.

El siguiente paso fue la determinación de parámetros de diseño que permitirían el dimensionamiento de una zanja de infiltración de 2.75mx6.75m, para nuestra área de trabajo se manejara una zanja que integró una longitud de estructura de 50m de longitud, la cual nos permitirá manejar los volúmenes de escorrentía de la zona:

Tabla 39 Parámetros de diseño

Parámetro	Valor	Unidades
Tasa de infiltración de la zona (Ver ensayo de Infiltración)	122.11	mm/hr
Tiempo de drenaje	24	hr
Porosidad del medio granular	40	%
Profundidad final	1.50	m

Fuente: Los Autores

Para los cálculos de la tabla 39, véase el anexo B MEMORIAS DISEÑOS

11 DEFINICIÓN DEL CRONOGRAMA Y EL PRESUPUESTO

11.1 CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

Es de gran importancia la planeación que permita el buen desarrollo de los diseños, tal como se realizaría para un proyecto de Ingeniería u algún otro proyecto de gran magnitud, debemos plantear un Cronograma de actividades, el cual servirá para definir tiempos de trabajo en campo, de diseños y de entrega, con el fin de optimizar los recursos.

Este cronograma se desarrolló manejando actividades que permitan el desarrollo del proyecto en su totalidad y presentar la mejor justificación a la solución de la problemática planteada y que estamos brindando con el diseño del sistema no convencional.

Partiendo de las fechas establecidas por la facultad de ingeniería de la Universidad católica, dicho cronograma se divide en dos etapas, el diseño del SUDS de la implantación en la Autopista con Calle 127, describiendo las actividades para la realización del documento presente y la segunda etapa se evaluaron las actividades constructivas, por lo tanto, en el anexo D, se presenta dichas actividades con las fechas programadas.

11.2 PRESUPUESTO DE ACTIVIDADES CONSTRUCTIVAS

Para la evaluación del presupuesto de las actividades constructivas con el resultado de la implantación del diseño del sistema no convencional, en el cual se define las dimensiones, áreas y volúmenes correspondientes a la tipología escogida.

El presupuesto se desarrolla para demostrar la comparativa entre los sistemas no convencionales y los sistemas convencionales existentes en el entorno financiero y económico, en búsqueda de la mayor viabilidad y mejora para la problemática presentada en el punto de la Autopista con calle 127.

Toda vez, los presupuestos se definieron en base al listado de precios unitarios de las entidades públicas que manejan los valores unitarios rentables en el mercado financiero, tal como las son, el IDU, la secretaria de educación departamento infraestructura y los precios del Sistema de Avalúo de Infraestructura de la Empresa de acueducto y alcantarillado de Bogotá vigentes a la fecha.

Dado a que se realizó en base de los precios de las entidades públicas, se deben acoger las especificaciones técnicas y normativas vigentes que abarcan estas actividades y tal cual las exigen por las mismas. Por lo tanto,

quien desarrolle la construcción de este diseño deberá tener en cuenta lo anteriormente mencionado.

A continuación, se presenta el resumen del valor para las actividades de construcción.

Tabla 40 Resumen Presupuesto Sistema No Convencional SUDS

PRESUPUESTO DISEÑO SUDS CORRESPONDIENTES A ZANJA DE INFLTRACION Y ALCORQUES EN EL SEPARADOR CENTRAL DE LA AUTOPISTA NORTE 127		
ITEM I.E.	DESCRIPCIÓN DE PARTIDAS	TOTALES
	TOTAL COSTO CONSTRUCCIÓN DE ALCORQUE	\$21.489.918,00
	TOTAL COSTO CONSTRUCCIÓN DE LA ZANJA INFILTRACIÓN	\$34.349.470,00
COSTO DIRECTO TOTAL PRESUPUESTO		\$55.839.388,00

Fuente: Los Autores

Se obtuvo un valor a costo directo por \$ 55.839.388 por la ejecución de estas actividades en una duración de 30 días. Para determinar el valor anterior en la tabla 41 y tabla 42, se realizó las memorias calculo (véase anexo D) y se procedió a determinar con los precios unitarios, el valor tal por actividad.

Tabla 41 Presupuesto detallado Construcción de Alcorques

ITEM I.E.	DESCRIPCIÓN DE PARTIDAS	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR PARCIAL	REFERENCIA
CONSTRUCCIÓN DE ALCORQUE						
1,0	PRELIMINARES					
3007	REPLANTEO GENERAL	M2	147,69	\$ 586	86.546	IDU 2018
5366	POLISOMBRA VERDE PARA CERRAMIENTO. SUMINISTRO E INSTALACION.	M2	114,00	\$ 1.901	216.714	IDU 2018
2.2	DEMOLICIONES Y RETIROS					

ITEM I.E.	DESCRIPCIÓN DE PARTIDAS	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR PARCIAL	REFERENCIA
CONSTRUCCIÓN DE ALCORQUE						
1.4.2	RETIRO DE SOBRESANTES CARGUE TRANSPORTE Y DISPOSICION FINAL DE ESCOMBROS A SITIO AUTORIZADO	m3	78,11	\$ 35.624	2.782.591	SED BOGOTÁ 2018
401.003.001	Rotura sardineles concreto	M	25,00	\$ 9.197	229.936	SAI ACUEDUCTO 2017
3,0	EXCAVACIONES					
3009	EXCAVACION MANUAL PARA REDES PROFUNDIDAD 0m - 2m (Incluye Cargue)	M3	59,59	\$ 25.076	1.494.279	IDU 2018
4792	RELLENO EN RECEBO COMUN (Suministro e instalación Extendido manual, Humedecimiento y Compactación TRANSPORTE A 28 KM).	M3	6,27	\$ 52.388	328.473	IDU 2018
3052	RELLENO PARA REDES EN SUBBASE GRANULAR B-200 (Suministro, Extendido, Humedecimiento y Compactación)	M3	7,94	\$ 59.937	475.900	IDU 2018
3024	RELLENO PARA REDES EN ARENA DE PEÑA (Suministro, Extendido, Humedecimiento y Compactación)	M3	0,98	\$ 111.040	108.819	IDU 2018
3478	RELLENO PARA REDES EN GRAVILLA 1/2" (Suministro, disposición y Extendido manual)	M3	5,76	\$ 80.066	461.180	IDU 2018
106009	Grava	M3	1,28	\$ 70.095	89.722	IDU 2018

ITEM I.E.	DESCRIPCIÓN DE PARTIDAS	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR PARCIAL	REFERENCIA
CONSTRUCCIÓN DE ALCORQUE						
3018	RELLENO EN TIERRA NEGRA PARA EMPRADIZACION (Suministro y Extendido)	M3	8,32	\$ 29.477	245.249	IDU 2018
4,0	CONCRETOS					
4559	CONCRETO 1500 PSI (Hecho en Obra 1:3:5 con arena y gravilla de río)	M3	1,81	\$ 250.605	453.595	IDU 2018
25.3.2	CONCRETO 1:2:2,5 (3000 PSI)	m3	10,83	\$ 363.449	3.936.153	SED BOGOTÁ 2018
5,0	ACERO/MALLAS /ESTRUCTURA METÁLICA					
3708	ACERO DE REFUERZO (Incluye Suministro, Figurado y Fijación)	KG	1.191,30	\$ 2.514	2.994.928	IDU 2018
9,0	INSTALACION DE TUBERIAS					
3903	TUBERIA PVC PARA DRENAJE D=6" SIN FILTRO (Incluye Suministro e Instalación)	ML	55,34	\$ 52.418	2.900.812	IDU 2018
3905	TUBERIA PVC PARA DRENAJE D=6" CON FILTRO (Incluye Suministro e Instalación)	ML	3,65	\$ 66.412	242.404	IDU 2018
3254	TEE HD EXTREMO LISO 6"x6" (Suministro e Instalación)	UN	10,00	\$ 363.279	3.632.790	IDU 2018
9,0	GEOTEXTIL					

ITEM I.E.	DESCRIPCIÓN DE PARTIDAS	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR PARCIAL	REFERENCIA
CONSTRUCCIÓN DE ALCORQUE						
4026	GEOTEXTIL T, RESIST. ULTIMA (TIRA ANCHA)=30 kN/m PARA SUBDRENES/FILTROS (Incluye Suministro e Instalación)	M2	18,05	\$ 7.064	127.505	IDU 2018
19,0	OBRAS VARIAS					
601015034	Suministro y plantación Arrayán Ar	UN	5	\$ 37.974	189.870	SAI ACUEDUCTO 2017
601.010.005	Bloqueo-reubicación arbustos 1-2m altura	UN	12	\$ 12.095	145.144	SAI ACUEDUCTO 2017
4779	LIMPIEZA DE ALCANTARILLAS (INCLUYE LIMPIEZA DE TUBERIA DE 36", BOX, RECTIFICACION DE DESCOLES PARA UN ANCHO DE VIA PROMEDIO DE 10MT. (INCLUYE CARGUE DE MATERIAL)	UN	4	\$ 86.827	347.308	IDU 2018
	TOTAL COSTO DIRECTO CONSTRUCCIÓN ALCORQUES				21.489.918	
COSTO TOTAL PRESUPUESTO						\$ 21.489.918

Tabla 42 Presupuesto detallado Construcción de Zanja de Infiltración

ITEM I.E.	DESCRIPCIÓN DE PARTIDAS	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR PARCIAL	REFERENCIA
CONSTRUCCIÓN DE ZANJA INFILTRACIÓN						
1,0	PRELIMINARES					
3007	REPLANTEO GENERAL	M2	167,60	\$ 586	98.214	IDU 2018
5366	POLISOMBRA VERDE PARA CERRAMIENTO. SUMINISTRO E INSTALACION.	M2	306,00	\$ 1.901	581.706	IDU 2018
2.2	DEMOLICIONES Y RETIROS					
1.4.2	RETIRO DE SOBRESANTES CARGUE TRANSPORTE Y DISPOSICION FINAL DE ESCOMBROS A SITIO AUTORIZADO	m3	252,72	\$ 35.624	9.002.897	SED BOGOTÁ 2018
3,0	EXCAVACIONES					
3009	EXCAVACION MANUAL PARA REDES PROFUNDIDAD 0m - 2m (Incluye Cargue)	M3	252,72	\$ 25.076	6.337.207	IDU 2018
3478	RELLENO PARA REDES EN GRAVILLA 1/2" (Suministro, disposición y Extendido manual)	M3	28,08	\$ 80.066	2.248.253	IDU 2018
106009	Grava	M3	210,60	\$ 70.095	14.762.009	IDU 2018
20.4.4	PRADIZACION jardines (INC. TIERRA NEGRA)	M2	5,20	\$ 16.677	86.720	
9,0	INSTALACION DE TUBERIAS					
3231	TUBERIA PVC D=2" TIPO U.M. RDE 26 (Suministro e Instalación)	ML	27,00	8.914,00	240.678	IDU 2020
9,0	GEOTEXTIL					
4026	GEOTEXTIL T, RESIST. ULTIMA (TIRA ANCHA)=30 kN/m PARA SUBDRENES/FILTROS (Incluye Suministro e Instalación)	M2	140,40	\$ 7.064	991.786	IDU 2018
	TOTAL COSTO DIRECTO CONSTRUCCION ZANJA DE INFILTRACION				34.349.470	
COSTO TOTAL PRESUPUESTO						\$ 34.349.470

Fuente: Los Autores

Para determinar un análisis comparativo entre los dos sistemas de drenaje de alcantarillado pluvial, con la información de la tubería existente y la información de contrato celebrado en el 2014 por la empresa de acueducto y alcantarillado de la “REHABILITACIÓN DE PUNTOS CRÍTICOS DE REDES DE ACUEDUCTO, ALCANTARILLADO SANITARIO Y ALCANTARILLADO PLUVIAL EN LA ZONA 5” por un plazo de 6 meses, se estimó un presupuesto para el punto de influencia de la autopista norte con calle 127, según lo evidenciado en el diseño hidráulico del contrato IDU-1638-2013 en el cual el diseñador recomendó, reemplazar el sistema de vallado de 36” de diámetro existente por un colector de tubería de 24” a 27” de diámetro, a continuación se presenta la tabla 43:

Tabla 43 Presupuesto Rehabilitación del sistema pluvia existente

CUADRO PRESUPUESTO DE OBRA - SUMINISTRO - PRESTACION DE SERVICIOS					
OBJETO DEL PROCESO					
REHABILITACION DE PUNTOS CRITICOS DE REDES DEL ALCANTARILLADO PLUVIAL EN LA ZONA 5					
ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VR. UNITARIO	V/TOTAL
103	IMPACTO URBANO				
103.001	Impacto urbano 2% del costo directo	GLB	2,39	\$ 1.042.000	\$ 2.491.422
104	EXCAVAC, DEMOLICIONES Y TRASLADO ESTRUCT				
104.001	EXCAVACIONES				
104.001.014	"Excavaciones redes 12a36"" H>3m"	M3	110,089188	102.758,96	\$ 11.312.650
	DEMOLICIONES				
	Demolic estructura concret/otro material	M3	71,87503713	35.239,22	\$ 2.532.820
106	RELLENOS				
106.001	Recebo	M3	20,016216	\$ 56.877	\$ 1.138.471
106.002	Mat. seleccionado proveniente excavac	M3	110,089188	19.263,31	\$ 2.120.682
106.006	ARENA				
106.014	Sub Base Granular (Espec IDU-ET-2011)	M3	30,024324	131.589,20	\$ 3.950.877
106.015	Base Granular (Espec IDU-ET-2011)	M3	30,024324	137.389,80	\$ 4.125.036

CUADRO PRESUPUESTO DE OBRA - SUMINISTRO - PRESTACION DE SERVICIOS					
OBJETO DEL PROCESO					
REHABILITACION DE PUNTOS CRITICOS DE REDES DEL ALCANTARILLADO PLUVIAL EN LA ZONA 5					
106.006.001	Arena peña	M3	42,96	\$ 53.684	\$ 2.306.265
107	RETIRO Y DISPOSIC. MATERIALES SOBANTES				
107.001	Retiro y disposic. materiales sobrantes	M3	143,12	\$ 22.573	\$ 3.230.665
109	INSTALACION TUBERIAS				
109.001	INSTALACION TUBERIAS ALCANTARILLADO				
109.001.001	INSTALACION TUB FLEXIBLES ALCANTARILLADO				
109.001.001.003	"Inst tub flexibles alcant Dn20 y 24""	M	109,45	20.923,51	\$ 2.290.078
109.001.001.004	"Inst tub flexibles alcant Dn27 y 30""	M		27.251,92	\$ 0
109.001.001.005	"Inst tub flexibles alcant, Dn36""-1.00m	M		35.473,49	\$ 0
401	ROTURA-CONSTRUCC VÍA ANDEN PISO Y SARDIN				
401.001	Pavimentos				
401.001.001	Demolición pavimento en concreto	M3	21,89	55.903,18	\$ 1.223.721
401.001.004.002	Construc. pavimento rígido (MR 43Kg/cm2)	M3	21,89	582.369,01	\$ 12.748.058
902	SUMINISTRO CONCRETOS				
902.001	SUMINISTRO DE CONCRETO				
902.001.007	Concreto resist. 28,0 mpa (280 kg/cm2)	M3	3	\$ 416.500	\$ 1.249.500
903.003	SUMINISTRO TUBERÍA PARA ALCANTARILLADO				
903.003.006	SUMINISTRO TUBERIA PVC PERFIL ABIERTO				
903.003.006.009	Tub PVC Perfil Abierto,PS10,D500 mm	M	109,45	132.202,00	\$ 14.469.509
COSTOS DIRECTOS					\$ 65.189.754

Fuente: Los Autores

Tabla 44 Resumen presupuesto Rehabilitación de puntos críticos de redes de alcantarillado pluvial

PRESUPUESTO REHABILITACIÓN DE PUNTOS CRÍTICOS DE REDES DE ALCANTARILLADO PLUVIAL EN EL SEPARADOR CENTRAL DE LA AUTOPISTA NORTE 127		
ITEM I.E.	DESCRIPCIÓN DE PARTIDAS	TOTALES
	TOTAL COSTO RED PLUVIAL	\$65.189.754,18
COSTO TOTAL PRESUPUESTO		\$65.189.754,18

12 ANÁLISIS DE RESULTADOS

En esta etapa del trabajo se realiza el respectivo análisis de los cálculos con su respectivo cruce de información con los datos obtenidos a partir de la investigación, y con la cual se ha logrado el desarrollo de los diseños de SUDS.

12.1 VIABILIDAD DE DISEÑOS DE TRENES DE SUDS

12.1.1 Disminución de inundaciones

La realización de un análisis hidrológico de la zona de implementación del proyecto nos permitió determinar, por medio de métodos investigativos, el cálculo de datos relevantes para los respectivos diseños.

Es imperativo resaltar que el tren de SUDS diseñado, busca la reducción de volúmenes de agua que generan inundaciones con afectaciones a la comunidad aledaña y no aledaña al proyecto, el plus de este es la réplica del tren de SUDS diseñado para la calle 127 con Auto norte, y en varios puntos de la autopista, como lo son la calle 134, calle 153, y calle 170.

A continuación, se muestra los volúmenes de reducción logrados a través de trenes de tipologías de zanja de infiltración y alcorques inundables, con los cuales se realizará la comparación dentro de los hidrogramas del sitio, anteriormente determinados durante el análisis hidrológico para la zona de implementación (véase anexo A INFORMACIÓN HIDROLÓGICA Y CALCULOS HIDROLÓGICOS, y B MEMORIAS DE DISEÑOS DE SUDS).

Tabla 45 Volúmenes de esorrentía retenidos con el tren de SUDS de la calle 127 con Autopista norte

Ubicación de tren de SUDS	Estructura	Área de 1 estructura (m ²)	Volumen de retención de 1 estructura (m ³)	Volumen de retención Total (m ³)
CLL 127, 134, 153, 170	Alcorque inundable (son 5)	18,05	2,00	10,00
CLL 127, 134, 153, 170	Zanja de Infiltración (Los cálculos están para una zanja de 6.80m. de longitud, pero se implementó una estructura de L=54 m.)	148,50	89,60	89,60

Fuente: Los Autores

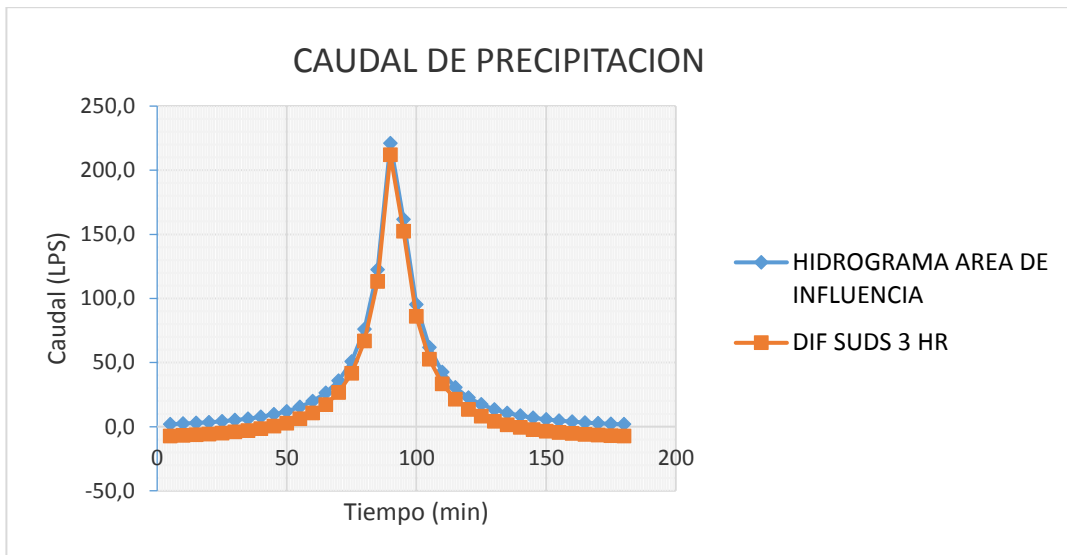
Tabla 46 Sumatoria de volúmenes de escorrentía retenidos por las réplicas de SUDS desde la calle 127 con auto norte hasta la calle 170

Ubicación de tren de SUDS	Estructura	Área de 1 estructura (m ²)	Volumen de retención de 1 estructura (m ³)	Volumen de retención Total (m ³)
CLL 127, 134, 153, 170	Alcorque inundable (son 5)	18,05	2,00	40,00
CLL 127, 134, 153, 170	Zanja de Infiltración (Los cálculos están para una zanja de 6.80m. de longitud, pero se implementó una estructura de L=54 m.)	148,50	89,60	358,40
Volumen total retenido por el tren de SUDS implantado a través de la autopista norte, desde la Cl. 127 hasta la Cl. 170 (m ³)		166,55	398,40	

Fuente: Los Autores

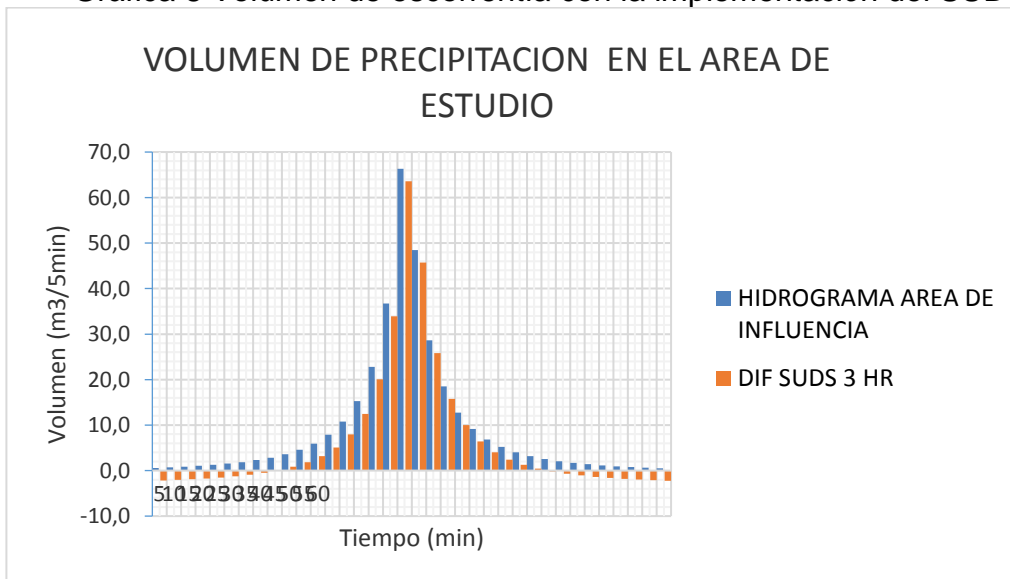
Frente al análisis para el área de influencia e implantación de los SUDS, se determinó el hidrograma de escorrentía unitario para el volumen adquirido por la implantación lo que redujo en el intervalo de las 3 horas para un periodo de retorno de 5 años, un volumen en un 29% con respecto al inicial analizado en el numeral 9.8.2., lo cual garantiza una retención de agua de escorrentía lo que permitirá reducir la velocidad y el caudal en un 4% (véase en el anexo A), que para el sistema pluvial existente ayudara a reducir su capacidad hidráulica y no generar empozamiento en la vía, a continuación se presenta la gráfica 7.

Gráfica 7 Hidrograma de escorrentía unitario con la implementación de los SUDS



Fuente: Los Autores

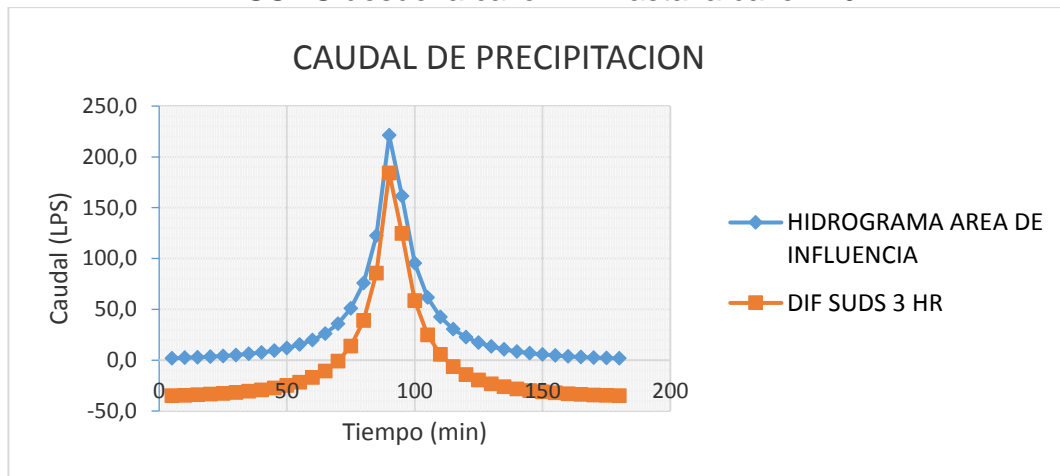
Gráfica 8 Volumen de escorrentía con la implementación del SUDS



Fuente: Los Autores

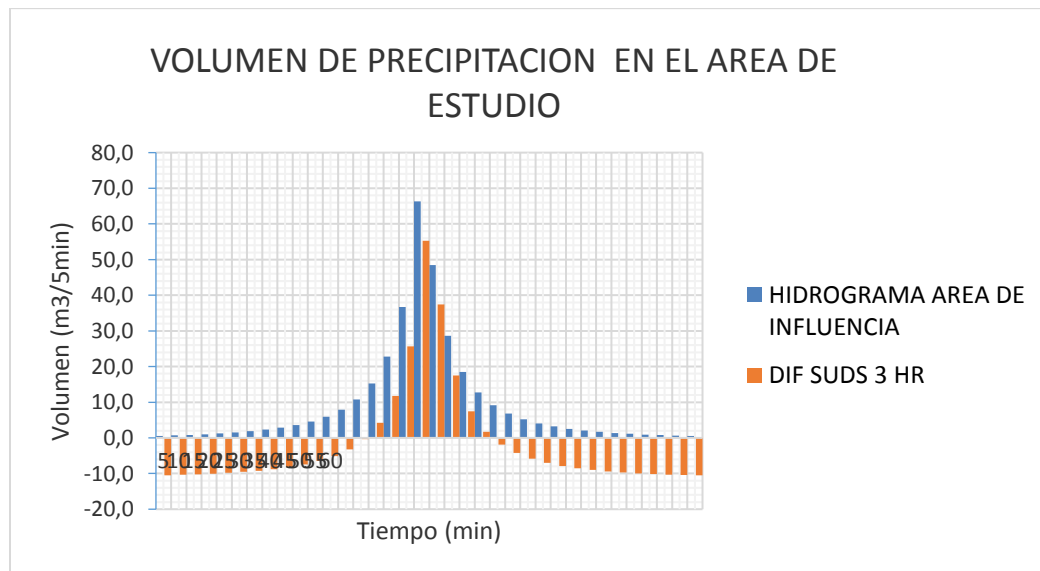
De acuerdo con el análisis presentado para la implementación de los SUDS hasta la Autopista con Calle 170, se obtuvo para las 3 horas de duración de escorrentía para un periodo de retorno de 5 años, una diferencia del caudal del 16% y la disminución del volumen del 100% con respecto al inicial, como se observa en la gráfica 9 y grafica 10 respectivamente.

Gráfica 9 Hidrograma de escorrentía unitario con la implementación de los SUDS desde la calle 127 hasta la calle 170



Fuente: Los Autores

Gráfica 10 Volumen de escorrentía con la implementación del SUDS desde la Calle 127 hasta la Calle 170



Fuente: Los Autores

13 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Para la realización del proyecto fue necesarias las visitas de campo que nos permitieron una perspectiva amplia y específica de la problemática de la zona, es por esta razón la importancia de estas visitas y la búsqueda de la información técnica del sitio, permite la viabilidad del diseño, ya que, al existir la problemática es necesaria la intervención y no generar afectaciones mayores por la continuidad de las inundaciones en la autopista norte con calle 127.

Es imperativo resaltar la importancia que denotan para la ciudad este tipo de proyectos que influyen positivamente, y para los cuales se ha logrado desarrollar unos diseños idóneos, basados en la colaboración de la experiencia de proyectos similares ya implementados en la ciudad, de esta manera obtenemos como productos finales los cálculos y diseños que suplirían de la mejor manera la necesidad de un sistema no convencional.

El dimensionamiento y diseño del tren de SUDS para la calle 127 con Auto Norte está calculado para lograr un almacenamiento de 103.70 m³ de agua de escorrentía, el cual, solo en ese punto reduciría el volumen calculado para el área de estudio que es de 335.21 m³, lo cual nos indica una reducción del 30.93 %.

Para lo anterior, se realizó un análisis de capacidad hidráulica de la tubería de 36" existente, que se encuentra sobre el carril mixto de Transmilenio, el cual arrojó una capacidad de 93 m³/s, dado que el área de estudio, desde la calle 127 hasta la calle 170, genera concentración en la red, por medio de vallados de 36", y lo cual exige a la tubería a trabajar con velocidades de 141 m/s, exigiendo un drenaje al 100% de su sección, cuando lo ideal es el 85% de la misma.

Se obtuvo un volumen total en el área de implantación de 283,99 m³ por un intervalo de una hora y un caudal máximo de 221,13 l/s, por lo cual, Será alto el volumen de agua de escorrentía que manejará las tipologías de SUDS y la cual será conducida a través de estas estructuras, evitando que en eventos naturales de precipitaciones con altos picos de lluvia las inundaciones se vuelvan a presentar tal y como pasa en la actualidad.

La viabilidad del proyecto no solamente se demuestra con la reducción y eficiencia de las aguas de escorrentía, y niveles de contaminantes en las mismas, sino que también en los costos generados en contra parte con

un sistema de drenaje convencional, como lo son las redes de alcantarillado y el cual genera más gastos a la hora de construirlo.

Se realizó un análisis comparativo por medio del listado de precios vigente de las entidades públicas que participan a nivel de precios en el mercado colombiano como lo son el IDU, y la empresa de acueducto y alcantarillado de Bogotá, determinando así una diferencia, entre la rehabilitación del sistema pluvial existente del área de influencia, y la implementación del sistema de drenaje urbano no convencional SUDS, lo cual éste último garantiza cierto grado de ahorro de recursos económicos, por \$9.350.366 millones de pesos.

Los diseños realizados para este proyecto se visualizaron para simplemente retener los volúmenes de agua que generan la inundación en la zona, pero se prevé para su posterior análisis y construcción la posibilidad de conexión al sistema existente de aguas lluvias de la zona, por medio de tubería ubicada dentro de la zanja de infiltración.

En un evento de precipitación que sobrepase la capacidad de las estructuras, se prevé unas tuberías de 2", llamadas lloraderas que salen de la zanja, desalojando el agua de rebose de la estructura, hacía la calzada sur occidental de la calle 127, la cual presenta un drenaje pluvial de esta parte de la carretera.

El presente estudio se realiza para demostrar cuán importante han llegado a ser los sistemas de drenaje no convencional, desde el punto de vista económico, ambiental y constructivo, y el cual debe empezar a implementarse no solo en Bogotá, sino en el país, tal y como lo exige la resolución 0330 del ministerio de vivienda, en su artículo 153.

Para futuras intervenciones de este tipo de proyectos, se recomienda determinar todas las características necesarias para identificar el análisis hidrológico de la zona, lo cual llevará a la implementación de las diferentes tipologías de los sistemas no convencionales presentados en este proyecto.

Además, se recomienda seguir implementando las guías técnicas diseñadas por la universidad de los Andes, en conjunto con la EAAB y la SECRETARIA DE AMBIENTE, para la realización de próximos proyectos, ya que, son documentos técnicos idóneos para el desarrollo de estos proyectos.

BIBLIOGRAFÍA

1. UNIVERSIDAD DE LOS ANDES, Investigación de las tipologías y/o tecnologías de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) que más se adapten a las condiciones de la ciudad de Bogotá D.C. Informe Producto 1 Estudio de los antecedentes e información de las tecnologías y/o tipologías de SUDS existentes: Bogotá D.C., 2015.
2. SECRETARIA DISTRITAL DE AMBIENTE, Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible Suds para el Plan de Ordenamiento Zonal Norte Pozn. Documento Técnico soporte DTS: Bogotá D.C., 2011.
3. PERALES S., DOMÉNECH A. y FERNANDEZ E. Los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (Suds) en la Hidrogeología Urbana, Madrid: GRUPO TRAGSA, 2011.
4. PERALES, S., Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS). Valencia, PEnginyeria, 2008.
5. ZAVALA, C., Espacio disidente o territorio construido, Ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma de México, 2011 ISSN 0123-4986.}
6. MOLINA, Luis Fernando. Resiliencia a inundaciones: nuevo paradigma para el diseño urbano. Bogotá D.C.: Universidad de América. Facultad de Arquitectura., 2015.
7. Department for International Development. SUSTAINABLE URBANISATION Bridging the Green and Brown Agendas. Informe de un Grupo Científico de la DFID. London: University College London; 2002.,
8. ALVAREZ, Joaquín Alberto y CELEDÓN, Erwin Antonio. Evaluación de las capacidades hidráulicas y de retención de contaminantes de un modelo de trinchera de retención construida con una canastilla en resinas de Polipropileno (Aquacell) acoplada con capa filtrante en geotextil y grava utilizada como componente del drenaje urbano. Bogotá D.C.: Universidad de los Andes. Facultad de Ingeniería., 2012.
9. HERNANDEZ, Samir y MACEA, Fabio. Investigación para el Desarrollo de Sistemas Urbanos De Drenaje Sostenible (SUDS). Bogotá D.C.: Universidad Católica de Colombia. Facultad de Ingeniería., 2014.
10. TAYLOR, A., Sustainable Urban Water Management Champions: What Do We Know About Them?. Monash University, 1992.
11. MINISTERIO DE VIVIENDA URBANISMO. Técnicas Alternativas para Soluciones de Aguas Lluvias en Sectores Urbanos. Informe de un Grupo Técnico de la Ministerio de Vivienda Urbanismo. Santiago: MVU; 1996.
12. DE JESÚS, N. Medidas de prevención para evitar accidentes, Bogotá D.C.: Portafolio, 2008.
13. CASTRO, D., RODRIGUEZ, J. y BALLESTER, F. Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS). Caracas, Interciencia, 2005.
14. WARWICK, F.; CHARLESWORTH, S. Sustainable drainage devices for carbón mitigation. Bradford, Management of Environmental Quality ; 2013.

15. COLOMBIA. MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL. Resolución 6523 (16, diciembre, 2011). Por la cual se reglamentan y adoptan los sistemas urbanos de drenaje sostenibles SUDS para el plan de ordenamiento zonal norte POZN. Bogotá: Secretaria Distrital De Ambiente, 2011.
16. PERALES S., DOMÉNECH A. y FERNANDEZ E. Los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (Suds) en la Hidrogeología Urbana, Madrid: Universidad Politécnica de Valencia, 2015.
17. RODRIGUEZ, J.; RODRIGUEZ HERNANDEZ, J.; GOMEZ, E. y CASTRO, D. Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible. SUDS, Barcelona: Universidad de Cantabria. 2010
18. RODRIGUEZ, Miguel. Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible. SUDS. Bogotá D.C.: Universidad ETSAM. Facultad de Ingeniería., 2017.
19. CIRIA (2007). The SUDS Manual. Dundee, Scotland. CIRIA Report No. C697.
20. CRC FOR WATER SENSITIVE CITIES. Creating and Restoring Green Infrastructure in Cities [diapositivas]. Turrialba: Catie, 2012. 62 diapositivas.
21. UNIVERSIDAD DE LOS ANDES, Investigación de las tipologías y/o tecnologías de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) que más se adapten a las condiciones de la ciudad de Bogotá D.C. Informe Producto 3 Diseño detallado para la construcción y monitoreo de los pilotos de SUDS: Bogotá D.C., 2016.
22. UNIVERSIDAD DE LOS ANDES, Investigación de las tipologías y/o tecnologías de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) que más se adapten a las condiciones de la ciudad de Bogotá D.C. Informe Producto 3 Guía Técnica de diseño y construcción Sistemas urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS): Bogotá D.C., 2017.
23. MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO. Reglamento técnico para el sector de agua potable y saneamiento básico - RAS. Resolución 0330. Bogotá D.C.: El Ministerio, 2017.
24. Instituto Nacional de Vías. Manual de Drenaje para Carreteras. Bogotá D.C.: El Instituto, 2009.
25. State of Delaware (2014). BMP Standards and Specifications (Draft). Delaware.}
26. Secretaría Distrital de Ambiente - Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático- IDIGER. Plan Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático para Bogotá D.C., 2015- 2050. Informe de la Secretaría Distrital de Ambiente. Bogotá: SED; 2015.
27. EAAB-Norma Técnica NS – 085-2009 - CRITERIOS DE DISEÑO DE SISTEMAS DE ALCANTARILLADO. Bogotá D.C., Colombia: 2009.
28. EAAB-Norma Técnica NS – 166-2018 - CRITERIOS PARA DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE SISTEMAS URBANOS DE DRENAJE SOSTENIBLE (SUDS). Bogotá D.C., Colombia: 2018.