

**DISEÑO DE PONDAJE PARA ALCANTARILLADO PLUVIAL EXISTENTE DEL
BARRIO EL RECODO DE FONTIBÓN (BOGOTÁ) MEDIANTE SISTEMAS
URBANOS DE DRENAJE SOSTENIBLE POR DEPÓSITOS DE RETENCIÓN
(SUDS)**

GÓMEZ RAMÍREZ RUBÉN LEONARDO

LÓPEZ TEJEDOR ROOSBELTH STEEVING

SÁNCHEZ CUENCA ANDRÉS FELIPE

Trabajo de Grado como opción parcial para optar al título de: Ingeniero Civil

**Ing. Héctor Fabio Arcila
Asesor disciplinar**

**Lic. Laura Milena Cala Cristancho
Asesora Metodológica**

**UNIVERSIDAD LA GRAN COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
BOGOTÁ D.C
2016**

CONTENIDO

1.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	7
2.	FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	8
3.	JUSTIFICACIÓN	9
4.	OBJETIVOS	11
4.1.	OBJETIVO GENERAL.....	11
4.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	11
5.	ANTECEDENTES.....	12
a.	Colegio Las Mercedes, Engativá, Bogotá.	16
b.	Urbanización la Alborada, en el municipio de Chía.	16
c.	Urbanización San Luis, Pasto	18
6.	MARCOS DE REFERENCIA	23
6.1.	MARCO TEORICO - CONCEPTUAL.....	23
	Sistemas de Recolección y evacuación:.....	23
	Curvas de intensidad-duración-frecuencia.....	26
	Período de Retorno	28
	Tiempo de Concentración.....	29
	Áreas Aferentes.....	31
	Coeficiente de Escorrentía.....	31
	Cálculo Hidráulico.....	32
	Precipitación	34
6.2	MARCO GEOGRÁFICO.....	35
6.3	MARCO LEGAL	38
7.	DISEÑO METODOLÓGICO	43
7.1	ENFOQUE METODOLOGICO DE LA INVESTIGACIÓN.....	43
7.2	FASES DE INVESTIGACIÓN.....	43
7.3	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN	58
8.	RESULTADOS	58
8.1	DISEÑO.....	59
9.	CONCLUSIONES.....	79

10.	RECOMENDACIONES	80
11.	BIBLIOGRAFIA.....	81

TABLA DE IMAGENES

Imagen 1 Sistema completo para el manejo inteligente de aguas lluvias. Tomado de Manejo inteligente del agua lluvia.....	14
Imagen 2 Impermeabilización del sistema SUDS tipo AQUACELL con Geomembrana. Tomado de Manejo inteligente del agua lluvia.....	15
Imagen 3 Implementación de canastilla tipo AQUACELL como estanques para agua de escorrentía. Tomado de Manejo inteligente del agua lluvia.	15
Imagen 4 Construcción de estanque de almacenamiento subterráneo con canastillas de polipropileno tipo Aquacell.	16
Imagen 5 instalación de las canastillas tipo Aquacell.	16
Imagen 6 instalación de las canastillas tipo Aquacell.	17
Imagen 7 instalación de las canastillas tipo Aquacell.	17
Imagen 8 Vista posterior.	18
Imagen 9 Vista frontal.	19
Imagen 10 Vista general tanque Aquacell.....	19
Imagen 11 Vista en planta tanque Aquacell.....	20
Imagen 12 Detalle desarenador tanque Aquacell.	20
Imagen 13. Ubicación localidad de Fontibón.....	35
Imagen 14. Ubicación de barrios que integran la localidad de Fontibón.	36
Imagen 15. Ubicación tramo principal de la red de alcantarillado en el barrio El Recodo..	37
Imagen 16. Ubicación de pondaje desde el tramo principal de la red de alcantarillado pluvial, delimitada por la línea de color naranja que va por toda la carrera 123.	38
Imagen 17 Localización de avenida principal que conduce al Barrio el Recodo.	45
Imagen 18 Inspección de los pozos y sumideros de los tramos de alcantarillado pluvial existente.	46
Imagen 19 Inspección de tapas de alcantarillado pluvial, referenciando los códigos de los pozos que están referenciados en la plancha de alcantarillado pluvial H4.	46
Imagen 20 sumideros encontrados en deterioro y falta de mantenimiento.	47
Imagen 21 calles existentes en la zona de estudio las cuales se encuentran en afirmado.....	47
Imagen 22 Delimitación cuenca Barrio El Recodo.	53
Imagen 23 Delimitación de zonas de drenaje que interfieren en las redes de alcantarillado pluvial del proyecto.....	54
Imagen 24 Tramo de alcantarillado pluvial donde el caudal excede la capacidad de servicio de la tubería.....	55
Imagen 25 Unidad de Aquacell.....	60
Imagen 26 Esquemas de instalaciones de Aquacells	63
Imagen 27 Esquema de funcionamiento para los depósitos	65
Imagen 28 Esquema de balance de masas.....	66
Imagen 29 Esquema de diseño de los Depósitos.....	67
Imagen 30 Gráfica que relaciona la variación del caudal de una fuente a medida que transcurre el tiempo.	67

Imagen 31 Hidrograma adimensional de SCS.....	68
Imagen 32 Coordenadas Hidrograma adimensional de SCS	69

TABLAS

Tabla 1 Coeficiente de escorrentía	25
Tabla 2 Criterios de definición de tiempo de retorno.....	27
Tabla 3 Criterios para seleccionar el período de retorno o la frecuencia del aguacero de diseño ..	29
Tabla 4. Coeficiente de Escorrentía según NS-085 versión 2.0 de la EAB.....	31
Tabla 5 Información recopilada para el dibujo del tramo de alcantarillado pluvial 1A – 14A.	48
Tabla 6 Información recopilada para el dibujo del tramo de alcantarillado pluvial 1B – 17B.....	48
Tabla 7 Información recopilada para el dibujo del tramo de alcantarillado pluvial 1C – 8A.	49
Tabla 8 Información recopilada para el dibujo del tramo de alcantarillado pluvial 1D – 4B.	49
Tabla 9 Información recopilada para el dibujo del tramo de alcantarillado pluvial 1E – 5B.....	49
Tabla 10 Información recopilada para el dibujo del tramo de alcantarillado pluvial 1F – 7B.....	49
Tabla 11 Información recopilada para el dibujo del tramo de alcantarillado pluvial 1G – 8B.	50
Tabla 12 Información recopilada para el dibujo del tramo de alcantarillado pluvial 1H – 2I.	50
Tabla 13 Información recopilada para el dibujo del tramo de alcantarillado pluvial 1I – 8B.....	50
Tabla 14 Información recopilada para el dibujo del tramo de alcantarillado pluvial 1J – 9B.	50
Tabla 15 Información recopilada para el dibujo del tramo de alcantarillado pluvial 1K – 11B.....	51
Tabla 16 Información recopilada para el dibujo del tramo de alcantarillado pluvial 1L – 14B.	51
Tabla 17 Información recopilada para el dibujo del tramo de alcantarillado pluvial 1M – 15B.	51
Tabla 18 Listado de planos redes de alcantarillado pluvial.....	52
Tabla 19 Listado de planos perfiles redes de alcantarillado pluvial	52
Tabla 20 Áreas de drenaje dependiendo propiedades de drenaje.....	54
Tabla 21 volúmenes de almacenamiento 1.....	70
Tabla 22 Cantidades de Aquacells almacenamiento 1.....	71
Tabla 23 volúmenes de almacenamiento 2.....	72
Tabla 24 Cantidades de Aquacells almacenamiento 2.....	73
Tabla 25 volúmenes de almacenamiento 3.....	74
Tabla 26 Cantidades de Aquacells almacenamiento 3.....	75

TABLA DE ECUACIONES

Ecuación 1 Método Racional	24
Ecuación 2 Coeficientes de escorrentía ponderados	25
Ecuación 3 Intensidad	26
Ecuación 4. Sobreancho del canal.....	27
Ecuación 5. Tiempo de concentración	29
Ecuación 6. Tiempo de entrada	30
Ecuación 7. Tiempo de recorrido.....	30
Ecuación 8. Manning.....	32
Ecuación 9. Radio hidráulico	33
Ecuación 10. Froude.....	33

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La calidad de vida y el bienestar de los habitantes de una población están dados por las condiciones en las que viven y se desarrollan, dentro de ellas cabe denotar los servicios públicos domiciliarios que tengan a su disposición, la calidad y la continuidad de los mismos.

Se considera como servicios públicos domiciliarios los servicios de acueducto, alcantarillado, aseo, energía eléctrica, telefonía fija pública básica conmutada y telefonía local móvil en el sector rural, en caso de que alguno de estos servicios falle, dependiendo de la escala en la que se presente el fallo, también se perjudicará el bienestar de la población.

Las áreas verdes también son pieza clave para mejorar la salud de la población, pues actúan como pulmones que renueven el aire polucionado, al mismo tiempo que relajan y suponen una evasión necesaria para olvidar el estrés, debido a que el interactuar con la naturaleza es de gran ayuda para cuidar nuestra salud mental y física.

Estas zonas verdes en el barrio el Recodo hace algunos años amortiguaban y ayudaban a evitar que las aguas lluvias fuera drenadas por el sistema de alcantarillado pluvial, pero en la actualidad estas zonas fueron urbanizadas, lo cual ha permitido que el caudal sobrepase la capacidad de entrega, provocando inundaciones que son frecuentes en los periodos de grandes precipitaciones; a pesar que aún existe una amplia zona verde en esta localidad el uso de éste terreno está proyectado para ser residencial o industrial, lo cual indica que en los próximos años el caudal de aguas lluvias será superior convirtiendo zonas de infiltración a zonas impermeables.

Actualmente el sistema de aguas lluvias sobrepasa la capacidad, por tanto, en unos años esto será un problema para todo el sector y la adecuación del sistema de alcantarillado puede ser tardía, o puede que nunca se realice, lo que indica la necesidad de buscar medidas que no impliquen una gran inversión pero que a su vez solucionen los problemas que afectan a la comunidad del barrio El Recodo.

2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Debido a las debilidades del sistema convencional de alcantarillado pluvial de la zona del barrio el Recodo, el cual presenta una insuficiencia de funcionamiento que al proyectarse a futuros puede empeorar, grupo de pregrado de Ingeniería civil de la Universidad la Gran Colombia se interesó en realizar la siguiente investigación teniendo en cuenta que existen varias alternativas para solucionar este problema que pueden resultar costosas y difíciles de llevar a cabo siendo poco prácticas, algunas como incrementar los diámetros de los colectores pluviales, o hacer nuevos colectores paralelos a los existentes que permitan aliviar los caudales de las redes existentes. No obstante, se propone una nueva técnica que son los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenibles (SUDS) que pueden solventar todas las necesidades del sector a un bajo costo cumpliendo con las normativas que rigen a los sistemas de alcantarillado pluvial, por esta razón se plantea la siguiente pregunta de investigación:

¿Cuál es el diseño óptimo de Sistemas de Drenaje Sostenible por Depósitos de Retención (SUSD) que permitan aliviar el caudal de un sistema de alcantarillado pluvial convencional en una zona urbana (el barrio El Recodo)?

3. JUSTIFICACIÓN

El agua pluvial es recolectada en azoteas, pavimentos permeables y transportados hacia las vías las cuales drenan hacia los sumideros que conectan a los pozos que intercomunican los colectores. Se proponen en los sistemas urbanos de drenaje sostenibles por depósitos de retención (SUDS) donde se retiene parte del caudal que se está aportando a la red y que hace que se sobrepase la capacidad de éste. Se garantiza la estanqueidad de las aguas pluviales, para que el agua retenida luego sea vertida a la red de alcantarillado pluvial sin producir un aumento brusco del caudal ni de contaminantes, mejorando su gestión. Este tipo de tecnología es un avance importante el cual puede reducir el uso de recursos y materiales a la hora de ejecutar la obra; con base en lo anterior se da a conocer a los futuros profesionales este tipo de tecnología a implementar en proyectos para mitigar el impacto negativo al ambiente de manera económica.

En la actualidad existen varias localidades con una situación similar a la del barrio El Recodo, en los que no se cuenta con un sistema de alcantarillado pluvial óptimo y que preste un buen servicio. Por lo anterior es necesario buscar alternativas económicas que no sean invasivas y no requieran de grandes intervenciones para que de esta manera sea más fácil su ejecución y mejoramiento, algo que ofrecen los (SUDS). Razón por la que se debe investigar el cómo se diseñan estos pondajes por medio de los depósitos de retención.

Este tipo de investigación es necesaria debido a los cambios climáticos drásticos que están sucediendo en múltiples zonas del país; por otra parte, los alcantarillados antiguos muchas veces se ven insuficientes para manejar los caudales de aguas lluvias lo que conlleva a que se presenten inundaciones perjudicando a gran parte de la población nacional. Por lo tanto, los medios para solucionar esta problemática son limitados ya que no se cuenta con los equipos, personal y recursos destinados a esta labor. Por eso se proponen como depósitos de retención son una herramienta eficaz y sencilla de usar la cual permite que las personas de las zonas afectadas lleven a cabo la ejecución del mejoramiento y por tanto una solución a largo plazos, con esto se puede evitar inundaciones en múltiples zonas del país y se mejoraría la calidad de vida de la población afectada.

Debido a que es un proyecto de aplicación de una nueva tecnología (SUDS) es necesario investigar para que su diseño se realice de la mejor manera y también que sea cien por ciento funcional, además se tiene la ventaja de contar empresas que ya trabajan con este tipo de tecnología a nivel nacional, y en el panorama

internacional se tienen adelantos de esta tecnología, lo que hace que se pueda acceder a la información de manera sencilla y también de una fuente confiable.

4. OBJETIVOS

4.1. OBJETIVO GENERAL

Diseñar un pondaje artificial mediante un sistema urbano de drenaje sostenible (SUDS) para un alcantarillado pluvial convencional existente en el barrio del Recodo de la localidad de Fontibón.

4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

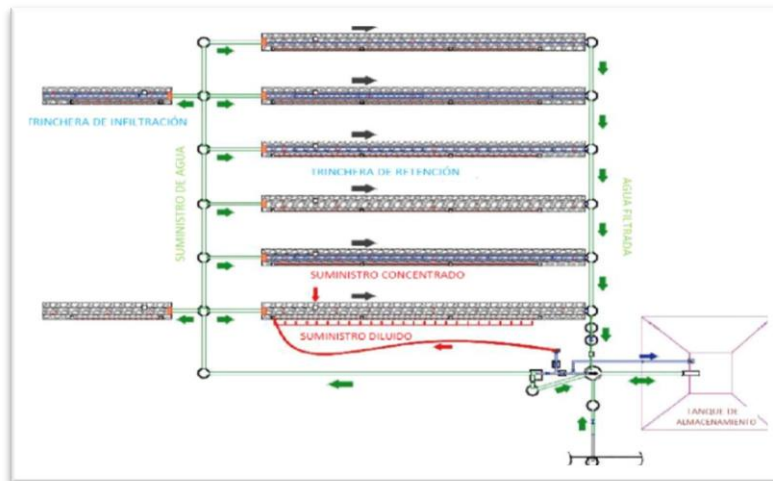
- Identificar el sistema de redes de alcantarillado pluvial que se encuentra actualmente en servicio para el barrio Recodo de Fontibón y los caudales con que funciona la red.
- Diagnosticar el problema del estado actual de las redes mediante un modelo matemático evaluando los parámetros geométricos e hidráulicos.
- Proponer el diseño del sistema urbano de drenaje sostenible para determinar la dimensión del pondaje y las recomendaciones constructivas.

5. ANTECEDENTES

A las trincheras de retención se le han realizado estudios que han generado preguntas a resolver sobre estos dispositivos, llegando al interrogante de cuál sería el período de vida útil de las trincheras tanto de retención como de infiltración, para establecer el procedimiento de rehabilitación¹.

El comportamiento hidráulico de trincheras de retención e infiltración fue estudiado por Proton y Chocat², a partir de un montaje experimental ilustrado en el siguiente gráfico.

Gráfico 1. Esquema de los sistemas de trincheras de retención e infiltración en paralelo utilizados en Proton y Chocat 2007, para modelación de años de lluvia al paso por estos dispositivos.



Fuente: Proton A. & Chocat B. (2007). Long term behaviour of an infiltration trench. In: Proceedings NOVATECH 2007 6th International Conference, Sustainable Techniques and Strategies in Urban Water Management. 1015-1022. GRAIE, Lyon, France;2007.²

La técnica de trincheras de retención viene siendo aplicada en ciudades como Venecia, donde se implementaron trincheras de retención, que filtran las aguas de escorrentía para evitar que transporten contaminantes al subsuelo. Pruebas del sistema hasta el momento han demostrado que estos dispositivos eliminan 49 % de los SST, 42 % de nitrógeno amoniacal, 32 % de Zn, y 28 % de Cu. En la ciudad

¹ PROTON A. & CHOCAT B. (2007). Long term behaviour of an infiltration trench. In: Proceedings NOVATECH 2007 6th International Conference, Sustainable Techniques and Strategies in Urban Water Management. 1015-1022. GRAIE, Lyon, France;2007

² Ibid., p. 12

de Yokohama (Japón) se aplicó esta técnica con reducción del pico de caudal del sistema de drenaje entre el 15 % y el 20 %.³

En Colombia se han hecho estudios del comportamiento de las trincheras de retención para determinar las capacidades filtrantes y de retención de contaminantes, mediante modelos físicos en laboratorio.⁴ Fabricaron un modelo físico de trinchera de retención a escala real.

Aquacell es un sistema que almacena agua en el área donde se precipita para ser contenida dentro de la estructura formada por celdas (Aquacell). Posteriormente se infiltra en el suelo o puede ser retenida un tiempo antes de ser descargada al alcantarillado o ser conservada para luego ser reutilizada las labores de riego y limpieza o con algún tratamiento para ser potabilizada.⁵

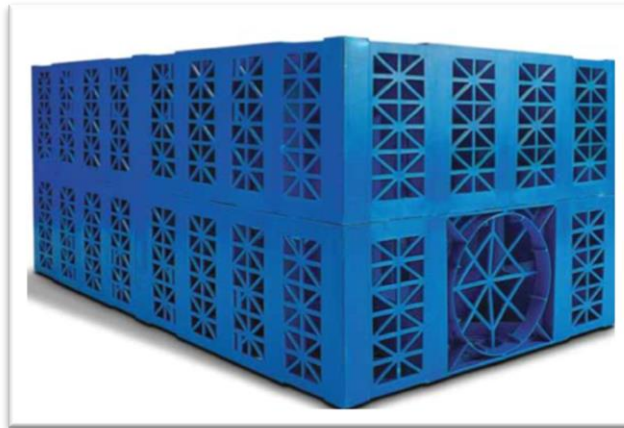
Las canastillas tipo Aquacell, están siendo utilizadas en la actualidad para la construcción de estanques de retención subterráneos. Debido al material de fabricación de la canastilla tipo Aquacell (resinas de polipropileno), éste no tiene la capacidad de retener sedimentos ni contaminantes, ya que no presenta superficies rugosas que permitan que los contaminantes queden alojados entre los poros que poseen estas superficies, debido que el sistema de Aquacell debe estar acompañada de un sedimentador.

³ BERTONI, J.C; CATALINI, C.G; "Representación del funcionamiento hidráulico de trincheras urbanas de drenaje pluvial urbano, mediante el modelo SWMM". XXI Congreso Nacional del Agua. Tucumán. Artículo en proceso de evaluación. Comité Permanente de los Congresos del Agua. Tucumán. República Argentina, 2007.

⁴ SANTA ADRIANA & QUINTERO JOSÉ. (2010). Desempeño hidráulico y ambiental de un modelo de trinchera de retención utilizada como componente del drenaje urbano, p11.

⁵ Tomado de experiencias AQUACELL, INGENIERO DE DISEÑO Y PROYECTOS, OSCAR J CORTES R. (2016).

Imagen 1 Sistema completo para el manejo inteligente de aguas lluvias. Tomado de Manejo inteligente del agua lluvia



Fuente: Tomado de experiencias Aquacell, INGENIERO DE DISEÑO Y PROYECTOS, OSCAR J CORTES R. (2016)⁵

Por su estructura de conformación la canastillas tipo Aquacell son capaces de almacenar el 95 % del volumen que ocupa una vez instalado (Ficha técnica PAVCO 2016). Será esta propiedad la que se aprovecha para el almacenamiento provisional del volumen de agua producido una vez se implemente este sistema en las vías urbanas. La aplicación de este sistema de almacenamiento se implementó en el Estadio Olímpico de Berlín (Alemania): en un área de 40000 m², se instaló un volumen de almacenamiento de 2500 m³ para la reutilización e infiltración de las aguas lluvia. Actualmente se utiliza para la irrigación del campo de fútbol y de las zonas verdes (ver las siguientes Imágenes).

**Imagen 2 Impermeabilización del sistema SUDS tipo AQUACELL con Geomembrana.
Tomado de Manejo inteligente del agua lluvia.**



**Fuente: Tomado de experiencias Aquacell, INGENIERO DE DISEÑO Y PROYECTOS, OSCAR
J CORTES R. (2016)⁵**

**Imagen 3 Implementación de canastilla tipo AQUACELL como estanques para agua de
escorrentía. Tomado de Manejo inteligente del agua lluvia.**



**Fuente: Tomado de experiencias Aquacell, INGENIERO DE DISEÑO Y PROYECTOS, OSCAR
J CORTES R. (2016)⁵**

En Frankfurter Waldstadion, Alemania, se usaron canastillas para almacenar la totalidad del agua lluvia que se drenaba en la zona alrededor del estadio. Para ello se utilizaron 9000 unidades de canastillas para generar un volumen de 1712 m³ como se observa en la siguiente Imagen.

Imagen 4 Construcción de estanque de almacenamiento subterráneo con canastillas de polipropileno tipo Aquacell.



Fuente: Tomado de experiencias Aquacell, INGENIERO DE DISEÑO Y PROYECTOS, OSCAR J CORTES R. (2016)⁵

Otras experiencias de menor escala en donde se han utilizado los sistemas SUDS con Aquacell en Colombia por parte de Pavco S.A. son las siguientes:

a. Colegio Las Mercedes, Engativá, Bogotá.

En este proyecto se utilizó el sistema para recoger las aguas lluvias que colectan las cubiertas y algunas zonas sociales del colegio, para evitar los problemas de inundación y encharcamiento en el que estaban sometidas las zonas verdes de la institución.

Imagen 5 instalación de las canastillas tipo Aquacell.



Fuente: Tomado de experiencias Aquacell, INGENIERO DE DISEÑO Y PROYECTOS, OSCAR J CORTES R. (2016)⁵

b. Urbanización la Alborada, en el municipio de Chía.

El sistema es utilizado para la recolección de las aguas lluvias de la urbanización, se incorporaron bajantes que provienen del sistema de cubiertas de las

edificaciones y de los sumideros de las vías, para luego ser entregado al sistema de redes de alcantarillado pluvial existente.

Imagen 6 instalación de las canastillas tipo Aquacell.



Fuente: Tomado de experiencias Aquacell, INGENIERO DE DISEÑO Y PROYECTOS, OSCAR J CORTES R. (2016)⁵

Después de la instalación del sistema de recolección de aguas lluvias en canastilla tipo AquaCell, se procede el sellamiento del conjunto de canastillas con obras en concreto o zonas verdes que muestren finalmente el estilo arquitectónico de la obra.

Imagen 7 instalación de las canastillas tipo Aquacell.



Fuente: Tomado de experiencias Aquacell, INGENIERO DE DISEÑO Y PROYECTOS, OSCAR J CORTES R. (2016)⁵

c. Urbanización San Luis, Pasto⁶

Información del proyecto:

Nombre: Urbanización San Luis **Ciudad:** Pasto, Nariño

Constructora: Consorcio Viva Constructores

Tipo Urbanización: Viviendas Interés Social del programa del Gobierno 100.000 viviendas gratis

No de Viviendas: 1.104

Información del tanque:

Volumen: 265 m³ - 1.460 celdas Aquacell

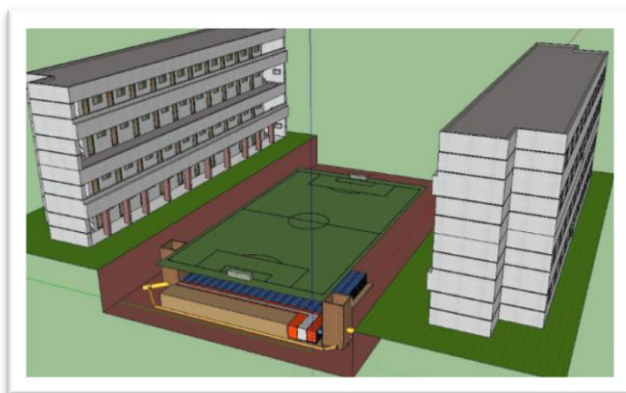
Dimensiones: 18 x 13.5 x 1.20m

Uso: Amortiguación de picos de caudal

Profundidad de Instalación: 4.0 m

Para el proyecto Urbanización de San Luis, se diseñó el tanque de retención en canastilla tipo AquaCell, en una zona donde no se viera afectada por cargas o esfuerzos generadas por las torres de apartamentos, el sitio donde se ubicó debajo de la cancha sintética diseñada para la recreación de los copropietarios.

Imagen 8 Vista posterior.

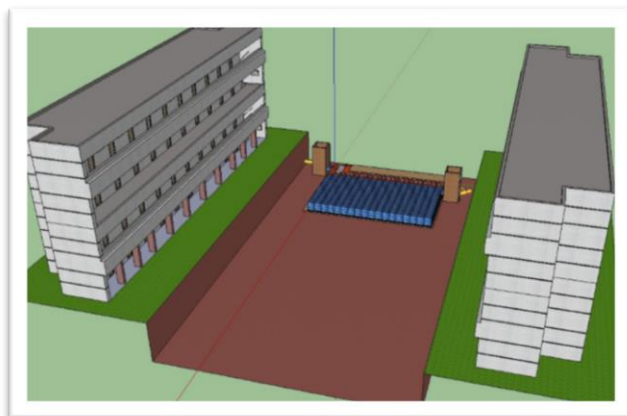


Fuente: Tomado de experiencias Aquacell, INGENIERO DE DISEÑO Y PROYECTOS, OSCAR J CORTES R. (2016)⁵

⁶ PAVCO. Instalación Tanque AquaCell. [consultado en 2016-03-24]. Disponible en línea: <<http://www.pavco.com.co/proyecto/instalacion-tanque-quacell/741#sthash.FXfYygj7.dpuf>> (Citado en 2828 de marzo de 2016)

En la siguiente imagen donde se observa la vista frontal del proyecto, se muestra la ubicación del sistema de retención de aguas lluvias en canastillas tipo AquaCell, dando una perspectiva diferente de su ubicación.

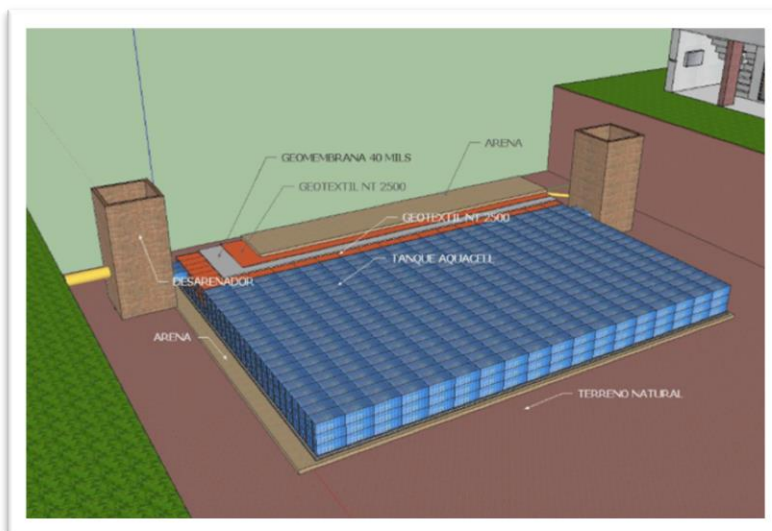
Imagen 9 Vista frontal.



Fuente: Tomado de experiencias Aquacell, INGENIERO DE DISEÑO Y PROYECTOS, OSCAR J CORTES R. (2016)⁵

La siguiente imagen nos muestra en un mayor detalle el diseño y la ubicación proyectada del tanque de retención, mostrando así su distribución y partes que lo conforman.

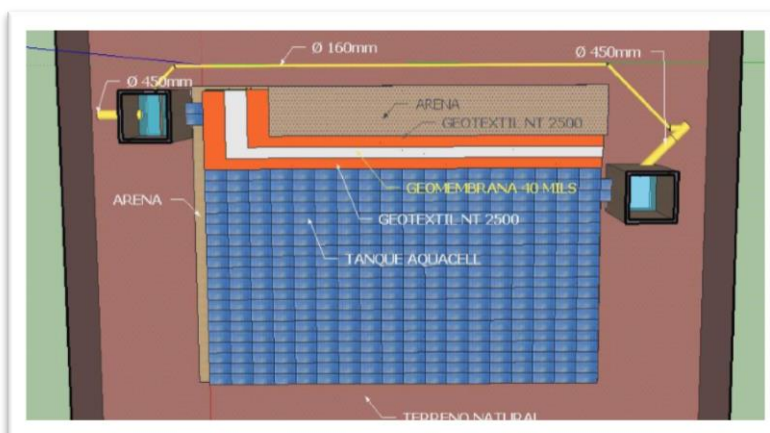
Imagen 10 Vista general tanque Aquacell.



Fuente: Tomado de experiencias Aquacell, INGENIERO DE DISEÑO Y PROYECTOS, OSCAR J CORTES R. (2016)⁵

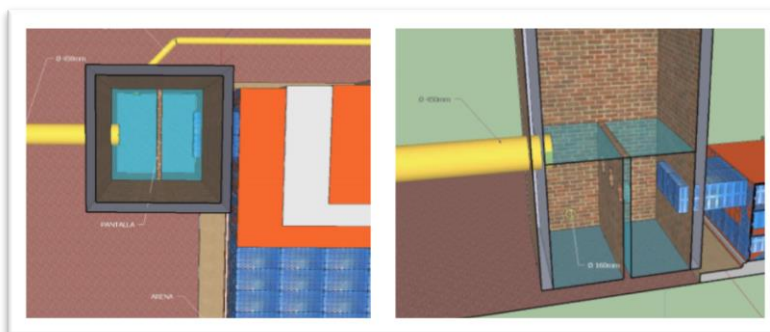
Para tener mayor claridad en el proceso de construcción de cualquier obra se necesita de una vista en planta, ya que esta representa de una mejor manera la ubicación y dimensionamiento de las partes que se van a ejecutar.

Imagen 11 Vista en planta tanque Aquacell.



Fuente: Tomado de experiencias Aquacell, INGENIERO DE DISEÑO Y PROYECTOS, OSCAR J CORTES R. (2016)⁵

Imagen 12 Detalle desarenador tanque Aquacell.



Fuente: Tomado de experiencias Aquacell, INGENIERO DE DISEÑO Y PROYECTOS, OSCAR J CORTES R. (2016)⁵

Se requiere sedimentación del agua antes de entrar en las unidades AquaCell, para la utilización de una estructura de sedimentación es porque en la zona de escorrentía de las aguas lluvia se transporta por afirmado, esto hace que el agua arrastre sedimentos o partículas compuestas por arcillas y limos, los cuales al llegar a los tanques de almacenamiento de tipo Acuacells, generan una colmatación y luego una restricción a la capacidad del sistema.

Cuando se requiere retener el agua en un Sistema AquaCell este se envuelve en Geomembrana Pavco de 40 MILS y para filtrar al terreno se envuelve en un Geotextil Pavco No Tejido, NT 25007.

Los diseños de trincheras de retención se realizan analizando parámetros hidrológicos para determinar el caudal de agua que debe retener dicha estructura, para evitar los problemas de inundación en las vías urbanas. Teniendo determinados los caudales a regular por la trinchera de retención, se realiza el diseño hidráulico de la trinchera. La trinchera puede estar o no rellena de material. En el caso de no estar rellena de material no presentará problema de colmatación ya que se comportará como un estanque alargado. Un ejemplo de este tipo es la experimentada por Silva (2009)⁸. Para las trincheras rellenas con material filtrante, se presentan obstrucciones entre las partículas que conforman este material. Estos espacios son ocupados por sedimentos y otros contaminantes presentes en el agua de escorrentía. Un ejemplo de estos tipos de trinchera son los modelos de trinchera analizados por Proton y Chocat⁹ y Santa y Quintero¹⁰.

Sin embargo, a pesar de las experiencias presentadas anteriormente sobre evoluciones hidrológicas, hidráulicas y ambientales de trincheras de retención, a nivel nacional e internacional se evidencia que la incógnita que representa el tiempo de vida útil de las trincheras de retención ha sido poco abordada. Este tiempo se verá limitado en el momento en que los vacíos del material de la trinchera están totalmente llenos luego de un uso prolongado, perdiendo la capacidad de retención de contaminantes y a su vez reduciendo la capacidad hidráulica y en particular el almacenamiento de volúmenes de agua. Una vez colmatada la trinchera de retención lo que se espera es la implementación de una técnica para rehabilitar esta estructura con el propósito de recuperar su funcionalidad.

La frecuencia de implementación de dicha técnica de rehabilitación, la cual se relaciona con el tiempo de colmatación del material poroso asociado, determinará la viabilidad financiera a gran escala de trincheras de retención en las principales ciudades de Colombia. Adicionalmente las trincheras de retención mostrarán ser interesante en el desarrollo urbano futuro en la medida en que sean capaces de mejorar la calidad del agua de escorrentía en su paso a través de ellas y

⁷ Experiencias AQUACELL. Pág. 30. INGENIERO DE DISEÑO Y PROYECTOS, OSCAR J CORTES R. (2016).

⁸ da Silva , A. C. , Mabilie , C. & Boulvain , F. ,2009a . Influencia de la configuración sedimentaria en el uso desusceptibilidad magnética : ejemplos del Devónico deBélgica.

⁹ Ibid., p. 12

¹⁰ Ibid., p. 13

adicionalmente ofrezcan un retraso en el flujo, amortiguando los caudales pico que se producen por las aguas de escorrentía en las vías urbanas.

6. MARCOS DE REFERENCIA

En el desarrollo de la presente investigación se requirió de diferentes marcos, los cuales se presentan a continuación, con el fin de brindar bases teóricas, legales y conceptuales, como herramientas fundamentales que permitan al investigador orientar de manera adecuada y segura la problemática investigativa.

6.1. MARCO TEORICO - CONCEPTUAL

Teniendo en cuenta que existen diferentes perspectivas desde las cuales se puede abordar teóricamente un problema de investigación en ingeniería, es necesario precisarlo y organizarlo retomando algunos aspectos conceptuales importantes, que brindan herramientas necesarias para contextualizar el problema de investigación planteado, los cuales se expresan a continuación.

Sistemas de Recolección y evacuación:

Los sistemas de recolección y evacuación de las aguas lluvias deben proyectarse cuando las condiciones in situ de drenaje del sector así lo requieran, para la evacuación de los caudales superficiales. El sector del Recodo de Fontibón en Bogotá, Cundinamarca tiene un sistema convencional de alcantarillado pluvial, al igual que todos capta el agua lluvia a través de unas estructuras llamadas sumideros que consisten en una caja de captación, esta agua posteriormente es llevada a una red de tuberías que van a ampliando su diámetro según el caudal que aumenta con el área de drenaje aferente a la red, finalmente los colectores entregan sus aguas a una serie de canales los que harán la entrega a un cuerpo de agua.

Las consideraciones generales que el alcantarillado pluvial debe cumplir para que se dé el correcto funcionamiento son las que indican la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá¹¹ la cual especifica que el sistema de recolección y evacuación de aguas pluviales serán proyectados y construidos para:

¹¹ EAAB-Norma Técnica. Criterios de diseño de sistemas de alcantarillado. NS-085. Bogotá D.C.: EAAB. 5 p.

- Retener el mayor tiempo posible las aguas lluvias en su punto de origen sin generar problemas de inundación con el fin de evitar el sobredimensionamiento.
- Permitir una evacuación rápida de la escorrentía pluvial de las vías y evitar la generación de caudales excesivos en las calzadas, respetando los anchos máximos de inundación permisibles definidos en la norma NS-047 "Sumideros".
- Evitar la entrada de aguas lluvias a propiedades públicas y privadas.
- Evitar la acumulación de aguas en vías de tránsito peatonal y/o vehicular.
- Minimizar la afectación del tráfico vehicular y peatonal durante un evento fuerte de precipitación.
- Impedir el ingreso de aguas lluvias al sistema de recolección y evacuación de aguas residuales.

Adicional a lo anterior el acueducto de Bogotá sugiere que se estudie las posibles soluciones de drenaje que involucren la aplicación de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS).

Los diseños de los alcantarillados sanitarios y pluviales así como los diagnósticos tienen unas condiciones hidráulicas y geométricas en las cuales se identifican unos factores que predominan a lo largo de los diseños y diagnóstico, que nos permiten dimensionar las estructuras de las alcantarillas o también en los casos de diagnóstico nos indican si los sistemas funcionan de manera correcta o no. Entre los parámetros hidráulicos encontramos, "Para la determinación del caudal de diseño de los colectores y canales se utilizará el método racional para proyectos donde el área de drenaje sea inferior a 80 Ha"¹² dicha ecuación es:

Ecuación 1 Método Racional

$$Q = C * I * A \text{ (2.78)}$$

De donde:

Q: Descarga estimada en un sitio determinado (L/s).

C: Coeficiente de escorrentía (adimensional).

¹² Ibid, p. 6.

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)

Ya que en el sector de trabajo no se supera la condición anterior está será la ecuación con la cual se va a regir la evaluación hidráulica del sistemas de alcantarillado pluvial del barrio El Recodo.

De la ecuación anterior se pueden ver unas variables, las cuales se deben hallar tales como el coeficiente de escorrentía (C) “está en función del tipo de suelo, de la impermeabilidad de la zona y de la pendiente del terreno. Éstas características determinan la fracción de lluvia que se convierte en escorrentía, como se explica en la **tabla 1**. De igual manera, debe incluir consideraciones sobre el desarrollo urbano, los planes de ordenamiento territorial y las disposiciones legales locales sobre uso del suelo.”¹³

Tabla 1 Coeficiente de escorrentía

ZONAS	TIPO DE SUPERFICIE	COEFICIENTE
Zonas Urbanizadas	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	Terreno plano (S<2%)	0.25
	Terreno promedio (2%<S<7%)	0.35
	Terreno de alta pendiente (S>7%)	0.40

Fuente. NS-085 (Criterios de Diseño de Alcantarillado - SISTEC)

En caso de que exista una o más sub-áreas con un coeficiente de escorrentía distinto se debe hacer un promedio ponderado entre estas sub-áreas para determinar un único coeficiente para la aérea que contiene a las sub-áreas.

Ecuación 2 Coeficientes de escorrentía ponderados

$$c = \frac{(\sum c * A)}{\sum A}$$

¹³ Ibid, p. 6

La segunda variable de la ecuación, es la que corresponde a la intensidad de las precipitaciones de las aguas lluvias, “La intensidad de la lluvia se determinará a partir del periodo de retorno, frecuencia y duración de la tormenta de diseño, a partir de los cuales se obtiene la intensidad”¹⁴ La expresión que se debe usar es: C_1 .

Ecuación 3 Intensidad

$$Intensidad = C_1 (Duración + X_0) C^2$$

Dentro de la información suministrada por la Empresa en los Datos Técnicos, están los valores C_1 , X_0 , C_2 ., una vez aplicada la ecuación los resultados obtenidos se encuentran expresados en milímetros por hora (mm/hr/Ha), para obtener el valor de la intensidad en l/s/Ha se debe multiplicar por 2.78.

Se debe adoptar Periodo de retorno el cual está en función de la importancia del área de influencia; la selección del periodo de retorno está definido por los criterios que se muestran en la **tabla 2** los cuales son:

Curvas de intensidad-duración-frecuencia

“Las curvas de intensidad-duración-frecuencia (IDF) constituyen la base climatológica para la estimación de los caudales de diseño. Estas curvas sintetizan las características de los eventos extremos máximos de precipitación de una determinada zona y definen la intensidad media de lluvia para diferentes duraciones de eventos de precipitación con periodos de retorno específicos”.¹⁵

¹⁴ Ibid, p. 7.

¹⁵ MINISTERIO DE DESARROLLO ECONÓMICO DIRECCIÓN DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO. Título D: Sistemas de recolección y evacuación de aguas residuales domésticas y pluviales. RAS 2000. Bogotá D.C.: 44 p.

Tabla 2 Criterios de definición de tiempo de retorno

o	Periodo de retorno	Borde Libre		
		Tuberías	Box culvert	Canales
Tramos de alcantarillado con áreas tributarias hasta de 3 hectáreas, localizados en las zonas de los cerros o en zonas donde la pendiente longitudinal de las vías sea mayor del 1%.	3 años	La relación entre el caudal de diseño y el caudal a tubo lleno debe ser igual o menor a uno.	La lámina de agua no debe superar el 90% de la altura interna del Box culvert.	N.A*
Tramos de alcantarillado con áreas tributarias hasta de 3 hectáreas, localizadas en las zonas bajas o en las zonas donde la pendiente longitudinal de las vías sea menor del 1%.	5 años	La relación entre el caudal de diseño y el caudal a tubo lleno debe ser igual o menor a uno.	La lámina de agua no debe superar el 90% de la altura interna del Box culvert.	N.A*
Tramos de alcantarillado con áreas tributarias entre 3 y 10 hectáreas.	5 años	La relación entre el caudal de diseño y el caudal a tubo lleno debe ser igual o menor a uno.	La lámina de agua no debe superar el 90% de la altura interna del Box culvert.	N.A*
Tramos de alcantarillado con áreas tributarias mayores de 10 hectáreas.	10 años	La relación entre el caudal de diseño y el caudal a tubo lleno debe ser igual o menor a uno.	La lámina de agua no debe superar el 90% de la altura interna del Box culvert.	N.A*
Canalizaciones abiertas, adecuación de cauces de ríos y quebradas en cualquier zona con áreas tributarias hasta de 80 hectáreas.	25 años	N.A*	N.A*	Flujo Subcrítico: $0.3 + V^2/2g$ Flujo Supercrítico: $0.2 + 0.025 \frac{V^2}{2g} y^{1/3}$ ó $\max \left[\frac{1}{6} \left(y + \frac{V^2}{2g} \right) ; 0.9 \right]$

Fuente. NS-085 (Criterios de Diseño de Alcantarillado - SISTEC)

Es necesario verificar en la corriente receptora efectos de remanso y refluo. Para canalizaciones abiertas debe verificarse que el borde libre sea mayor sobre elevación de flujo generada por cambios en el alineamiento del canal. Dicha sobre elevación puede estimarse como:

Ecuación 4. Sobreancho del canal

$$\Delta y = \frac{(V^2 * W)}{gR}$$

Donde,

y = Sobreelevación estimada

V = Velocidad media de flujo

W = Ancho de canal

g = Aceleración de la gravedad

R = Radio de curvatura

Cuando se defina que la sección de la canalización debe ser revestida, el nivel del revestimiento debe ir hasta la lámina de agua para un periodo de retorno de 10 años.

La utilización del método racional se limita a períodos de retorno o frecuencia del aguacero de diseño hasta 10 años. Lo anterior implica que para el diseño de canalizaciones abiertas y la adecuación de cauces de ríos y quebradas se deberán utilizar otros modelos lluvia escorrentía que representen de manera más adecuada el comportamiento del flujo.

El tiempo de concentración de es otra variable necesaria para determinar el caudal de diseño o para verificar el caudal con el que está trabajando la red de alcantarillado pluvial. “El tiempo requerido, después del comienzo de la lluvia, para que la escorrentía superficial de toda el área contribuya en el punto en consideración. Para determinarlo se tendrán en cuenta un tiempo mínimo inicial de 8 minutos, más el tiempo de recorrido.”¹⁶ los pozos iniciales de usa 15 minutos y el método de cálculo debe ser especificado en las memorias de diseño.

Período de Retorno

“Número de años que en promedio la magnitud de un evento extremo es igualada o excedida.”¹⁷

“El periodo de retorno de diseño debe determinarse de acuerdo con la importancia de las áreas y con los daños, perjuicios o molestias que las inundaciones periódicas puedan ocasionar a los habitantes, tráfico vehicular, comercio, industria, etc. La selección del periodo de retorno está asociada entonces con las

¹⁶ Ibid, p. 8.

¹⁷ Ibid, p. 11.

características de protección e importancia del área de estudio y, por lo tanto, el valor adoptado debe estar justificado”.¹⁸

Tabla 3 Criterios para seleccionar el período de retorno o la frecuencia del aguacero de diseño

Características del Área de Drenaje	Período de Retorno
Tramos de alcantarillado con áreas tributarias hasta de 3 hectáreas, localizados en zonas de los cerros o en zonas donde la pendiente longitudinal de las vías sea mayor del 1%.	3 años
Tramos de alcantarillado con áreas tributarias hasta de 3 hectáreas, localizadas en la zonas bajas o en las zonas donde la pendiente longitudinal de las vías se menor del 1%.	5 años
Tramos de alcantarillado con áreas tributarias entre 3 y 10 Ha.	5 años
Tramos de alcantarillado con áreas tributarias mayores a 10 Ha.	10 años

Fuente: Tabla según RAS 2000.

Tiempo de Concentración

“Tiempo de recorrido de la escorrentía superficial desde el punto más alejado de la cuenca de drenaje hasta el punto de salida considerado. En alcantarillados es la suma del tiempo de entrada y de recorrido.”¹⁹

El tiempo de concentración (t_c) corresponde a la suma entre el tiempo que se demora en entrar al sistema de alcantarillado pluvial la gota de agua más alejada de la cuenca, tiempo de entrada (t_e), más el tiempo que gasta en recorrer la tubería evaluada, tiempo de recorrido (t_r). Según la normativa RAS 2000, “El tiempo de concentración mínimo en pozos iniciales es 10 minutos y máximo 20 minutos. El tiempo de entrada mínimo es 5 minutos.”²⁰

Ecuación 5. Tiempo de concentración

$$t_c = t_e + t_r$$

Donde,

t_c : Tiempo de concentración (minutos).

t_e : Tiempo de entrada (minutos).

t_r : Tiempo de recorrido (minutos).

¹⁸ Ibid. p. 45.

¹⁹ Ibid, p. 12.

²⁰ Ibid, p. 49.

El tiempo de entrada (t_e) se define como el tiempo que tarda el agua en ingresar al sistema de alcantarillado desde que comienza la lluvia, se toma como mínimo 8 minutos. Para estimar este tiempo, se utiliza la fórmula de la FAA, mostrada en la Ecuación 8.

Ecuación 6. Tiempo de entrada

$$t_e = 8 + \frac{0.707 \cdot (1.1 - C)\sqrt{L}}{\sqrt[3]{S}}$$

Donde,

t_e : Tiempo de entrada (minutos).

C: Coeficiente de escorrentía del área de drenaje (Adimensional).

L: Longitud del recorrido (m).

S: Pendiente media de la vía (m/m).

El tiempo de recorrido (t_r) es el tiempo que tarda el agua en circular al interior de la tubería, este tiempo depende de la velocidad media de flujo, que a su vez depende de la pendiente de la tubería, esto implica que para determinar este tiempo, se debe hacer un cálculo para calcular este tiempo, se utiliza la Ecuación 9:

Ecuación 7. Tiempo de recorrido

$$t_r = \frac{L}{60 * v}$$

Donde,

t_e : Tiempo de entrada (minutos).

C: Coeficiente de escorrentía del área de drenaje (Adimensional).

L: Longitud del recorrido (m).

S: Pendiente media de la vía (m/m).

En pozos iniciales se adopta un tiempo de concentración mínimo de 15 minutos y máximo de 20 minutos.

Áreas Aferentes

“El trazado de la red de drenaje de aguas lluvias debe, en general, seguir las calles de la localidad. La extensión y el tipo de áreas tributarias deben determinarse para cada tramo por diseñar. El área aferente debe incluir el área tributaria propia del tramo en consideración. Las áreas de drenaje deben ser determinadas por medición directa en planos, y su delimitación debe ser consistente con las redes de drenaje natural”.²¹

Coeficiente de Escorrentía

El coeficiente de escorrentía está en función del tipo de suelo, de la impermeabilidad de la zona, de la pendiente del terreno y de otros factores que determinan la fracción de lluvias que se convierte en escorrentía. Para la adopción del valor de coeficiente de escorrentía se utilizaron los valores establecidos en la Norma NS-085 que se presentan a continuación:

Tabla 4. Coeficiente de Escorrentía según NS-085 versión 2.0 de la EAB

Tipo de Superficie	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 (Pend. < 2%)	0.25

²¹ Ibit, p. 44.

Tipo de Superficie	C
Terreno promedio (Pend. entre 2% y 7%)	0.35
Terreno de alta pendiente (Pend. > 7%)	0.40

Fuente: Tabla según Norma NS-085 de la EAB, teniendo en cuenta el RAS 2000

- Para las zonas residenciales, incluyendo cubiertas, patios, antejardines y andenes, se utilizó un C=0.85.
- Para las zonas verdes como parques y separadores, se utilizó un C=0.25.
- Para las vías en asfalto, se utilizó un C=0.80.
- Para las vías en concreto, se utilizó un C=0.85.
- Para las vías en afirmado, se utilizó un C=0.60.

Cálculo Hidráulico

En general, los colectores de alcantarillado se diseñan como conducciones a flujo libre por gravedad, con un flujo no permanente. Sin embargo, la modelación hidráulica de la sección de un colector puede hacerse suponiendo que el flujo en éste es uniforme. Existen varias fórmulas de flujo uniforme apropiadas para este propósito, dentro de las cuales están la de Chézy y la de Manning. No obstante, la fórmula de Manning es la más utilizada en la práctica. Esta es la ecuación que empleó en el análisis y se presenta a continuación:

Ecuación 8. Manning

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

Donde,

v: Velocidad de flujo media (m/s) a tubo lleno

n: Coeficiente de rugosidad de Manning, de acuerdo con la NS-085 (adimensional).

PVC = 0.011 0.09 - 0.010 Manuales

Concreto = 0.013

A: Área de la sección mojada de la tubería (m²).

S: Pendiente del gradiente hidráulico ≈ pendiente de la tubería (m/m).

R: Radio hidráulico de la sección de la tubería (m).

El radio hidráulico (R), se calcula como la relación entre el área mojada de la sección hidráulica y el perímetro mojado de la misma, esto es:

Ecuación 9. Radio hidráulico

$$R = \frac{A}{P}$$

Donde,

P: Perímetro mojado de la sección hidráulica (m).

Para aplicar correctamente la ecuación de Manning, el flujo en los colectores deberá ser estable, para lo cual se tomó un Número de Froude menor de 0,90 ó mayor de 1,10 para el diseño de los mismos. A continuación se describe la ecuación del número de Froude:

Ecuación 10. Froude

$$F = \frac{v}{\sqrt{g \cdot D}}$$

Donde,

F: Número de Froude (adimensional).

v: Velocidad media del flujo (m/s).

g: Aceleración de la gravedad = 9,8 m./seg².

D: Profundidad hidráulica, igual al área del agua, medida normalmente a la dirección del flujo, dividida por el ancho de la superficie libre tomada en metros.

Aplicar una ecuación del caudal en función de la ecuación Colekma Withe, el número de Reynols, ecuación de Chezy, el factor de fricción e Darsy Whasebach y ecuación de continuidad.

Se advierte que para el caso de tuberías a presión el número de Froude existe, pero no tiene la misma interpretación que para escurrimiento libre. Para flujo a presión no existe la subdivisión de flujo subcrítico y supercrítico.

Es importante recordar que el parámetro que se debe tener en cuenta en la ecuación es el área de drenaje la cual es considerada como el área propia o aferente al tramo en consideración, donde solamente se debe incluir dentro del

cálculo, cuando aporte por escorrentía al tramo en consideración. Se debe tener en cuenta que las áreas de drenaje deben ser determinadas por medición directa en planos topográficos, y su delimitación debe ser consistente con las redes de drenaje natural, sabiendo que la extensión del área tributaria se expresa en hectáreas, según lo especificados en el RAS 2000.

Para finalizar teniendo en cuenta que se definieron todos los parámetros de diseño convencionales por los cuales se debe analizar la red existente, o con base en estos diseñar una red de alcantarillado pluvial. Cabe resaltar que la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá define los (SUDS) como 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.²²

Precipitación

Desde hace mucho tiempo los hidrólogos saben que únicamente el 25% de la precipitación total que cae en áreas continentales regresa al mar como escorrentía directa o flujo de agua subterránea. De aquí que siempre se creyó que la evaporación continental constituía la fuente principal de humedad para la precipitación en los continentes. Muchas ideas para aumentar la precipitación se basaron en esta premisa (se sabe ahora que es errónea), es decir, que se aumentaría la precipitación como resultado de un incremento en la humedad atmosférica debido a la evaporación local. Se sugirieron algunos métodos, tales como el embalse de corrientes en lagos y ciénagas y la selección de especies vegetales con altas tasas de transpiración. Sin embargo, tales métodos son completamente inefectivos, lo cual se puede demostrar en el mar Caspio. Aunque este mar tiene un área aproximadamente 438.000 km², o sea más grande que California, y su evaporación anual se puede estimar como del orden de 500 a 600 millones de metros cúbicos (400 a 500 de acres pies), la precipitación anual a lo largo de sus costas es menor de que 250mm.²³

²² MINISTERIO DE DESARROLLO ECONÓMICO DIRECCIÓN DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO. Título D: Sistemas de recolección y evacuación de aguas residuales domésticas y pluviales. RAS 2000. Bogotá D.C.

²³ Citado el 21 de abril disponible en: <http://water.usgs.gov/edu/watercyclespanish.html>

Se sabe hoy día que la evaporación desde la superficie de los océanos es la principal fuente de humedad para la precipitación, y que probablemente no más del 10% de la precipitación continental.

6.2 MARCO GEOGRÁFICO

La ciudad de Bogotá se encuentra distribuida en 20 localidades, Fontibón corresponde a la localidad número 9 de la ciudad, con una extensión de 3.327, 2 hectáreas, representando el 3.9% del distrito. Limita al norte con la Autopista El Dorado, al oriente con la carrera 68, con las localidades de Teusaquillo y Puente Aranda, al sur con la Avenida Centenario y al occidente con el río Bogotá con el municipio de Mosquera Cundinamarca.²⁴

Imagen 13. Ubicación localidad de Fontibón



FUENTE: <http://www.fontibon.gov.co/index.php/mi-localidad/conociendo-mi-localidad>

La localidad de Fontibón se encuentra dividida en 8 UPZ (Unidades de Planeamiento Zonal) las cuales se muestran en la Imagen 14, estos son²⁵:

- UPZ 75 corresponde a Fontibón Centro
- UPZ 76 corresponde a San Pablo

²⁴ [citado el 18 de abril 2015] Disponible en:

<<http://www.culturarecreacionydeporte.gov.co/es/bogotanitos/bogodatos/bogota-y-sus-localidades>>

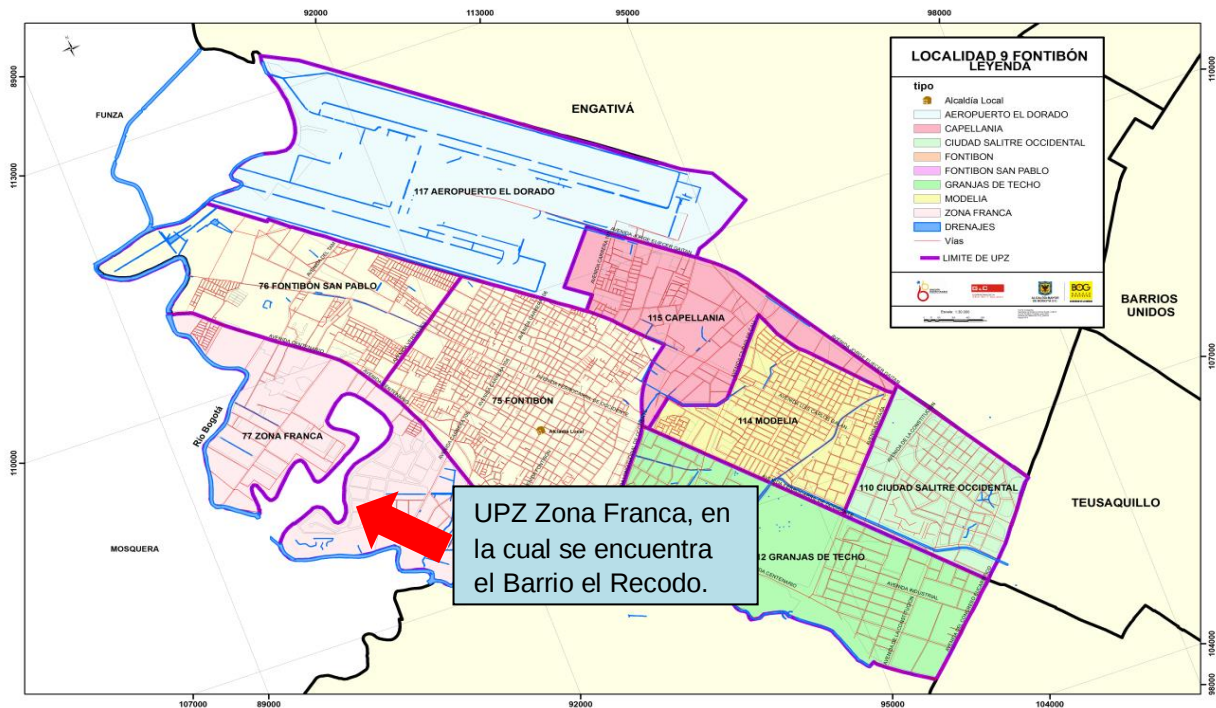
²⁵ [citado el 18 de abril 2015] Disponible en:

<<http://www.fontibon.gov.co/index.php/mi-localidad/conociendo-mi-localidad>>

- UPZ 77 corresponde a Zona Franca
- UPZ 110 corresponde a Ciudad Salitre Occidental
- UPZ 112 corresponde a Granjas de Techo
- UPZ 114 corresponde a Modelia
- UPZ 115 corresponde a Capellanía
- UPZ 117 corresponde a Aeropuerto el Dorado

Estas unidades contienen un total de 101 barrios que confirman la totalidad de la localidad.

Imagen 14. Ubicación de barrios que integran la localidad de Fontibón.



Fuente: < <http://www.gestionycalidad.org/observatorio/?bloque=visor&op=0#> >

El proyecto de investigación planteado se desarrolló en uno de estos barrios ubicado en la UPZ 77 de Zona Franca específicamente en el barrio el Recodo, ubicado sobre la carrera 123; allí se realizó el análisis del sistema de alcantarillado pluvial desarrollado en la parte del diagnóstico donde se expone lo hallado en las visitas de campo. En la imagen 15 delimitamos el tramo de alcantarillado del barrio a lo largo de la carrera 123 que corresponde nuestro objeto de investigación.

Imagen 15. Ubicación tramo principal de la red de alcantarillado en el barrio El Recodo.



Fuente: <https://www.google.com.co/maps/@4.6800137,-4.1629135,2244m/data=!3m1!1e3?hl=es-419>

De acuerdo con las alternativas estudiadas a lo largo del periodo de diseño del proyecto, se presenta la posible ubicación del pondaje en sistema ACUACELLS.

En esta alternativa se verificaron las interferencias concernientes en el diseño. Ubicando los colectores principales y la zona de menor afectación para el pondaje mostrada en la Imagen 16.

Imagen 16. Ubicación de pondaje desde el tramo principal de la red de alcantarillado pluvial, delimitada por la línea de color naranja que va por toda la carrera 123.



Fuente: <https://www.google.com.co/maps/@4.6802092,4.1689876,236m/data=!3m1!1e3?hl=es-419>

6.3 MARCO LEGAL

Para fundamentar legalmente el presente trabajo de investigación es necesario tener en cuenta la normatividad que hace referencia al tema de investigación las cuales se citan a continuación:

Ley 388 de 1997²⁶ Art 5 y 8

En la cual se resume el conjunto de acciones político-administrativas y de planificación físicas de la función pública para el ordenamiento del territorio municipal y distrital (POT), dentro de los límites fijados por la Constitución y las leyes, y así disponer de instrumentos eficientes para orientar el desarrollo del territorio bajo la jurisdicción y regular la utilización, transformación y ocupación del espacio teniendo en cuenta la armonía con el medio ambiente, disminución de la

²⁶ [citado el 18 de abril 2016] Disponible en:
<<http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=339>>

inequidades y garantizar el cumplimiento de los principios de dignidad humana, de solidaridad social y el derecho fundamental a la igualdad de oportunidades.

Artículo 32 y 38: hace referencia a la habilitación del uso urbano de los suelos para expansión de la ciudad, permitiendo al municipio en ejercicio de su autonomía promover el uso equitativo y racional del suelo, teniendo en cuenta la preservación del patrimonio y la prevención de desastres.

Decreto Distrital 190 de 2014²⁷ Art 4 y 6

En estos artículos se dispone de las áreas de actuación estratégica, en el marco de una agenda regional en lo relativo a vivienda y equipamientos, para el mejoramiento de la funcionalidad y calidad urbana, el aprovechamiento del territorio mediante la ocupación del suelo urbano y de expansión de la estructura urbana.

Artículo 43-44 y 48: estos artículos contemplan las decisiones administrativas para el desarrollo y complemento del Plan de Ordenamiento Territorial, así como los planes zonales, los criterios para la precisión o ajuste de la normativa urbanística, así como la delimitación y criterios para la gestión de planes parciales en el marco de la estrategia del POT.

Artículo 70: Ejecución de proyectos de corto plazo y Proyectos del Programa de Producción Ecoeficientes-establece: “Programas de Ecourbanismo (promoción de barrios ecológicos, observatorio de sostenibilidad del hábitat, promoción de tecnologías limpias, ciclo de vías de materiales de construcción con visión regional, pactos de borde).

Resolución 3654 de 2014²⁸

En la cual el estado es el encargado de planificar el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales para garantizar el desarrollo sostenible de la sociedad y la conservación del mismo, además de prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental, imponer las sanciones legales y exigir reparación de los daños causados.

²⁷ [citado el 18 de abril 2016] Disponible en:

<<http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=13935>>

²⁸ [citado el 18 de abril 2016] Disponible en:

<<http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=60054>>

Ley 99 de 1993²⁹

Creación del Ministerio del Medio Ambiente, se establece el crecimiento económico a la elevación de la calidad de la vida y al bienestar social, sin agotar la base de recursos naturales renovables en que se sustenta, ni deterioran el medio ambiente o el derecho de las generaciones futuras a utilizarlo para la satisfacción de sus propias necesidades.

Ley 373 de 1997³⁰

La cual establece el programa para el uso eficiente y ahorro del agua, todo plan ambiental regional y municipal debe incorporar obligatoriamente un programa para el uso eficiente y ahorro de agua.

Ley 697 de 2001³¹

Por la cual se declara el uso racional y eficiente de la energía (URE) como un asunto de interés social, público y de conveniencia nacional, fundamental para asegurar el abastecimiento energético pleno y oportuno.

Decreto Distrital 482 del 30 de diciembre de 2003³²

Por la cual se adopta la política de producción sostenible, instituyéndose como objetivo general mejorar la calidad de vida de la población, el entorno ambiental y la competitividad empresarial en la ciudad, a través de programas de producción y operación de sostenibles en los sectores productivos.

Resolución 5926 del 2011³³

²⁹ [citado el 18 de abril 2016] Disponible en:

<<http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=297>>

³⁰ [citado el 18 de abril 2016] Disponible en:

<<http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=342>>

³¹ [citado el 18 de abril 2016] Disponible en:

<<http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=4449>>

³² [citado el 18 de abril 2016] Disponible en:

<<http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=11272>>

Mediante la cual se crea y regula el programa de reconocimiento ambiental a edificaciones Eco-eficientes, PRECO, cuyo objetivo es promover proyectos constructivos Eco-eficientes, amigables con el entorno, que propendan por la implementación de tecnologías que favorezcan la sostenibilidad ambiental.

Resolución 1115 de 2012³⁴

Esta resolución plantea el objeto de adoptar los lineamientos técnicos ambientales para las actividades de tratamiento y aprovechamiento de los residuos de la construcción y demolición –RCD- en el perímetro urbano del Distrito Capital.

Resolución 1138 de 2013³⁵

En la cual la Secretaría Distrital de Ambiente SDA adopta la Guía de Manejo Ambiental para el Sector de la Construcción”, la cual contiene “las orientaciones técnicas, metodológicas y procedimentales para garantizar la gestión, manejo y desempeño ambiental sostenible de obras de construcción, de infraestructura y edificaciones dentro del Distrito Capital.

Resolución 6523 de 2011³⁶

Por medio de esta resolución se adoptan los sistemas de drenaje urbanos sostenibles SUSD.

En esta resolución se establece la planificación del manejo y aprovechamiento de los recursos naturales para garantizar su desarrollo sostenible su conservación y restauración, previniendo factores de deterioro ambiental e imponer sanciones y exigir reparación de los daños.

³³ [citado el 18 de abril 2016] Disponible en:
<<http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=44465>>

³⁴ [citado el 18 de abril 2016] Disponible en:
<<http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=49822>>

³⁵ [citado el 18 de abril 2016] Disponible en:
<<http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=54076>>

³⁶ [citado el 18 de abril 2016] Disponible en:
<<http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=45084>>

Decreto Distrital 215 de 2005³⁷

Por el cual se adopta el plan Maestro del Sistema de Acueducto y Alcantarillado para Bogotá Distrito Capital, para concretar las políticas, estrategias, metas que permitan garantizar el abastecimiento del agua potable y el servicio de alcantarillado pluvial para el Distrito Capital.

Decretos 456 y 418³⁸

Por el cual se establecen las reforma en el Plan de Gestión Ambiental del Distrito Capital. Y se promueven la implementación de tecnología arquitectónica sustentables, como techos o terrazas verdes entre otras en el Distrito Capital.

Norma ns-047 EAAB³⁹

El sumidero es una estructura diseñada y construida para cumplir con el propósito de captar las aguas de escorrentía que corren por las cunetas de las calzadas de las vías para entregarlas a las estructuras de conexión o pozos de inspección de los alcantarillados combinados o de lluvias.

³⁷ [citado el 18 de abril 2016] Disponible en:

<<http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=16984>>

³⁸ [citado el 18 de abril 2016] Disponible en:

<<http://es.presidencia.gov.co/normativa/decretos/decretos-marzo-2016>>

³⁹ [citado el 18 de abril 2016] Disponible en:

<<https://es.scribd.com/doc/57448877/NORMA-NS-047>>

7. DISEÑO METODOLÓGICO

7.1 ENFOQUE METODOLOGICO DE LA INVESTIGACIÓN

El enfoque de la investigación es un estudio cualitativo de tipo explorativo, descriptivo y proyectivo, porque se busca hacer una revisión de los planos topográficos, planos urbanos y de la red pluvial del barrio para elaborar un diagnóstico y presentar la problemática del funcionamiento de alcantarillado pluvial del barrio objeto de investigación. Se realiza una descripción geomorfológica y de todas las fuentes hídricas de dicho sector con su respectiva interpretación, identificando cuáles son los agentes que más interfieren y afectan el desbordamiento del sistema de alcantarillado pluvial existente, lo que permite realizar un análisis detallado de lo observado en las respectivas visitas de campo y poder proyectar un modelo económico y sostenible como posible solución al problema mediante Sistemas Urbanos De Drenaje Sostenible (SUDS), por depósitos de retención.

7.2 FASES DE INVESTIGACIÓN

Esta propuesta de diseño metodológico consta de las siguientes fases para la recolección de la información:

FASE 1. Identificación del sistema actual.

La manera de identificar el sistema de alcantarillado pluvial actual y la determinación de caudales máximos y mínimos se lleva a cabo de la siguiente manera.

Recopilación de información del barrio El Recodo de Fontibón a través de la Empresa de Acueducto de Bogotá, la cual brinda la información necesaria para poder diagnosticar el estado de las redes pluviales actuales.

- Plano topográfico del barrio El Recodo de Fontibón donde se pueda identificar el tramo urbano con el nombre de las calles, elevaciones de

terreno y puntos donde existan cambios de pendiente o de dirección del eje de la calle.(ver anexo 1).

- Plano topográfico de la cuenca del sector, donde se indique la hidrología de la zona definiendo las cuencas que aportan a la zona de estudio.
- Plano urbano de la localidad donde se muestren: tipos de pavimentos existentes, banquetas, áreas verdes, usos del suelo, presentes y en lo posible futuros.
- Plano de red pluvial existente donde se señale el trazado de los colectores, características de las tuberías (diámetro, longitud y pendiente) y la ubicación de los pozos existentes.
- Reconocimiento de campo para la identificación de las condiciones geológicas superficiales, la identificación, delimitación y descripción de las formaciones superficiales, la cartografía de las redes.
- Se analizan las estructuras de captación, las cuales son las encargadas de recolectar las aguas que se van a transportar, sumideros, y también se analizara los escurrimientos pluviales y las estructuras que encauzan las aguas hacia estos colectores como las vías y las cunetas pues estas dos etapas en conjunto son las que llevan las aguas a las instalaciones de drenaje pluvial.
- Se continúa con el análisis de las estructuras de conducción, las cuales son las que transportan las aguas recolectadas por las estructuras de captación, mediante tuberías a los cuales se les debe hacer una verificación de diámetros, niveles y condiciones físicas.
- Teniendo identificadas las redes se debe proceder a analizar los pozos de inspección y verificar cuantas redes convergen por cada uno de ellos ya que estos son los que facilitan las conexiones y el mantenimiento de los conductos que forman la red pluvial existente.
- Una vez verificado el estado de las redes, la localización de las redes, de niveles máximos y mínimos de caudales se procederá a realizar el análisis del sistema. Según los datos físicos obtenidos como; pluviometría, series históricas de medición de caudal de las cuencas aferentes, uso del suelo, hidrogeología y por ultimo las zonas de protección de nuestros usuarios, se realizará el respectivo análisis con la elaboración de un diagnóstico del estado actual del sistema de alcantarillado pluvial del barrio el Recodo.
- En la parte social se debe analizar cuáles serán los lugares de expansión según el uso del suelo y lugares de actividad económica del sector.

El desarrollo de la fase 1 del trabajo de investigación teniendo en cuenta el proceso que se llevó anteriormente descrito es:

Se realizaron 3 visitas de campo en las cuales se hizo una inspección visual y fotográfica, en busca de hacer un primer análisis del funcionamiento actual de sistema de las redes de alcantarillado pluvial.

- Tomando ayuda de Google Maps, previamente revisando las fotografías espaciales referenciamos el lugar para tener en cuenta sitios de drenaje y las calles donde posiblemente deberían de existir redes de alcantarillado pluvial.
- Se seleccionó un tramo principal el cual recibe los tramos de redes secundarias que vienen de las zonas industriales y urbanizadas, el cual se señala a continuación.

Imagen 17 Localización de avenida principal que conduce al Barrio el Recodo.



Fuente: Google Maps <https://www.google.com/maps/@4.6842318,-74.1637164,842m/data=!3m1!1e3>

- Al tener una idea de la composición geográfica de la zona de estudio, se procede a hacer la Primera visita de campo, y junto con la plancha de alcantarillado pluvial H4 (ver anexo planchas), verificar que la información suministrada por la empresa de acueducto y alcantarillado de Bogotá EAAB, corresponde a la que está construida en el Barrio El Recodo de Fontibón.

- Se hace un registro fotográfico de pozos y sumideros existentes, teniendo la mejor información que nos pueda guiar en la elaboración de los planos de las redes de alcantarillado pluvial existente.
- Se encuentran diferencias entre la plancha de alcantarillado pluvial H4 información suministrada por la empresa de acueducto y alcantarillado de Bogotá EAAB, y la que se encuentra en campo.

Imagen 18 Inspección de los pozos y sumideros de los tramos de alcantarillado pluvial existente.



Fuente: Propia

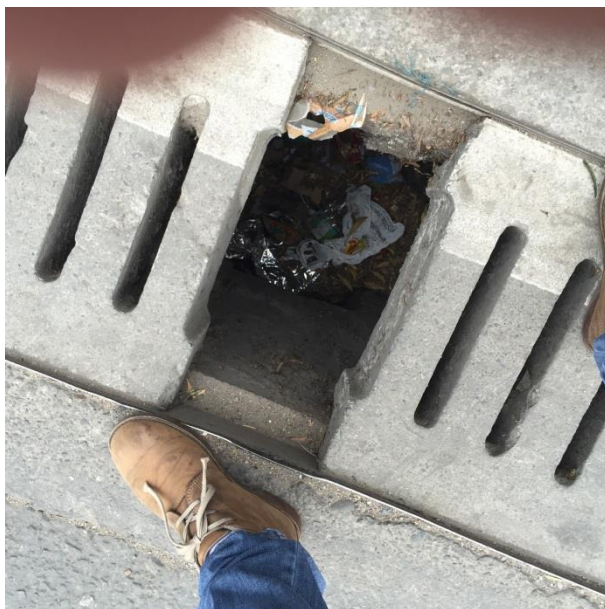
Imagen 19 Inspección de tapas de alcantarillado pluvial, referenciando los códigos de los pozos que están referenciados en la plancha de alcantarillado pluvial H4.



Fuente: Propia

- Se registraron fotografías a los sumideros existentes ubicados en campo donde se muestra un deterioro por falta de mantenimiento y desobediencia de los ciudadanos en arrojar basura en las calles.

Imagen 20 sumideros encontrados en deterioro y falta de mantenimiento.



Fuente: Propia

- Algunas calles que vierten el agua de las lluvias a las redes por escorrentía se encuentran en afirmado.

Imagen 21 calles existentes en la zona de estudio las cuales se encuentran en afirmado.



Fuente: Propia

- Se localizaron en total 13 tramos de alcantarillado pluvial, en donde se categorizaron en 2 tramos principales y 11 secundarios, en la siguiente tabla se ilustran los tramos con sus respectivos datos, los cuales se tomaron de la plancha H4 y archivos magnéticos Shappe, estos archivos fueron suministrados por la empresa de acueducto y alcantarillado de Bogotá **EAAB**.

TRAMOS DE ALCANTARILLADO PLUVIAL PRINCIPAL:

Tabla 5 Información recopilada para el dibujo del tramo de alcantarillado pluvial 1A – 14A.

TRAMOS DE ALCANTARILLADO PLUVIAL									
Pozo Inicial	Pozo Final	TRAMO	INICIAL	FINAL	INICIAL	FINAL	Longitud	PENDIENTE	DIAMETRO
			RASANTE	RASANTE	CLAVE	CLAVE			
1A	2A	PLT00000	2545.235	2545.120	2541.100	2541.050	26.23	0.191	1.30
2A	3A	PLT82389	2545.120	2544.310	2541.050	2540.650	81.5291	0.491	1.30
3A	4A	PLT82390	2544.310	2543.370	2540.360	2540.020	102.38	0.332	1.30
4A	5A	PLT82391	2543.370	2543.000	2539.930	2539.894	112.55	0.032	1.30
5A	6A	PLT82392	2543.000	2541.752	2539.756	2539.534	96.84	0.229	1.30
6A	7A	PLT82393	2541.752	2541.082	2538.602	2538.442	102.21	0.157	1.50
7A	8A	PLT82394	2541.082	2541.621	2538.212	2537.995	69.11	0.314	1.60
8A	9A	PLT82395	2541.621	2540.880	2537.521	2537.306	8.67	2.478	2.00
9A	10A	PLT82396	2540.880	2541.081	2537.306	2537.125	117.90	0.154	2.00
10A	11A	PLT82397	2541.081	2540.832	2537.131	2536.968	47.74	0.341	2.00
11A	12A	PLT82398	2540.832	2540.000	2536.968	2536.876	80.29	0.115	2.00
12A	13A	PLT823033	2540.000	2540.100	2536.876	2536.821	91.45	0.060	2.00
13A	14A	PLT823034	2540.100	2540.100	2536.821	2536.786	35.21	0.099	2.00

Fuente: Propia

Tabla 6 Información recopilada para el dibujo del tramo de alcantarillado pluvial 1B – 17B.

TRAMOS DE ALCANTARILLADO PLUVIAL									
Pozo Inicial	Pozo Final	TRAMO	INICIAL	FINAL	INICIAL	FINAL	Longitud	PENDIENTE	DIAMETRO
			RASANTE	RASANTE	CLAVE	CLAVE			
1B	2B	PLT81799	2541.635	2541.590	2539.205	2539.19	16.26	0.092	2.00
2B	3B	PLT81788	2541.590	2540.969	2539.190	2538.981	3.72	5.626	2.00
3B	4B	PLT81787	2541.589	2541.081	2539.243	2539.141	113.12	0.090	2.00
4B	5B	PLT823031	2539.980	2540.000	2539.141	2538.44	52.07	1.346	2.00
5B	6B	PLT823032	2540.000	2540.000	2538.440	2538.29	80.40	0.187	2.00
6B	7B	PLT82402	2540.869	2541.063	2538.839	2538.663	91.24	0.193	2.00
7B	8B	PLT81613	2541.124	2541.150	2538.613	2538.55	30.24	0.208	2.00
8B	9B	PLT81673	2541.150	2541.422	2538.570	2538.562	80.21	0.010	2.15
9B	10B	PLT81713	2541.422	2541.388	2538.472	2538.47	82.69	0.002	2.15
10B	11B	PLT81674	2541.388	2541.418	2538.470	2538.468	91.68	0.002	2.15
11B	12B	PLT82404	2541.418	2541.346	2538.468	2538.417	67.41	0.076	2.15
12B	13B	PLT82405	2541.346	2541.284	2538.417	2538.334	62.47	0.133	2.15
13B	14B	PLT81669	2541.284	2541.179	2538.294	2538.179	83.87	0.137	2.30
14B	15B	PLT81614	2541.179	2541.289	2538.289	2538.269	52.35	0.038	2.30
15B	16B	PLT82403	2541.289	2541.532	2538.129	2537.533	102.82	0.580	2.30
16B	17B	PLT81845	2541.532	2541.318	2537.533	2537.218	52.91	0.595	2.15

Fuente: Propia

TRAMOS DE ALCANTARILLADO PLUVIAL SECUNDARIO:

Tabla 7 Información recopilada para el dibujo del tramo de alcantarillado pluvial 1C – 8A.

TRAMOS DE ALCANTARILLADO PLUVIAL									
Pozo Inicial	Pozo Final	TRAMO	INICIAL	FINAL	INICIAL	FINAL	Longitud	PENDIENTE	DIAMETRO
			RASANTE	RASANTE	CLAVE	CLAVE			
1C	8A	PLT82601	2541.606	2541.589	2539.246	2539.243	7.97	0.038	2.00

Fuente: Propia

Tabla 8 Información recopilada para el dibujo del tramo de alcantarillado pluvial 1D – 4B.

TRAMOS DE ALCANTARILLADO PLUVIAL									
Pozo Inicial	Pozo Final	TRAMO	INICIAL	FINAL	INICIAL	FINAL	Longitud	PENDIENTE	DIAMETRO
			RASANTE	RASANTE	CLAVE	CLAVE			
1D	2D	PLT81806	2539.97	2539.93	2538.52	2538.42	73.02	0.137	0.61
2D	3D	PLT81807	2539.93	2539.95	2538.42	2538.19	62.28	0.369	0.71
3D	4D	PLT81808	2539.95	2539.98	2538.19	2538.10	46.76	0.192	0.76
4D	5D	PLT81809	2539.98	2539.76	2537.92	2537.85	10.17	0.728	0.81
5D	4B	PLT81810	2539.76	2539.50	2537.85	2537.64	12.32	1.712	0.46

Fuente: Propia

Tabla 9 Información recopilada para el dibujo del tramo de alcantarillado pluvial 1E – 5B.

TRAMOS DE ALCANTARILLADO PLUVIAL									
Pozo Inicial	Pozo Final	TRAMO	INICIAL	FINAL	INICIAL	FINAL	Longitud	PENDIENTE	DIAMETRO
			RASANTE	RASANTE	CLAVE	CLAVE			
1E	2E	PLT107956	2540.75	2540.50	2538.47	2538.06	34.11	1.202	0.46
2E	3E	PLT107957	2540.50	2539.96	2538.02	2537.82	53.51	0.374	0.46
3E	5B	PLT107958	2539.96	2540.000	2537.82	2537.50	9.75	3.282	0.46

Fuente: Propia

Tabla 10 Información recopilada para el dibujo del tramo de alcantarillado pluvial 1F – 7B.

TRAMOS DE ALCANTARILLADO PLUVIAL									
Pozo Inicial	Pozo Final	TRAMO	INICIAL	FINAL	INICIAL	FINAL	Longitud	PENDIENTE	DIAMETRO
			RASANTE	RASANTE	CLAVE	CLAVE			
1F	7B	PLT81608	2541.64	2541.12	2538.75	2538.61	18.88	0.699	2.00

Fuente: Propia

Tabla 11 Información recopilada para el dibujo del tramo de alcantarillado pluvial 1G – 8B.

TRAMOS DE ALCANTARILLADO PLUVIAL									
Pozo Inicial	Pozo Final	TRAMO	INICIAL	FINAL	INICIAL	FINAL	Longitud	PENDIENTE	DIAMETRO
			RASANTE	RASANTE	CLAVE	CLAVE			
1G	2G	PLT81498	2539.75	2539.80	2538.72	2538.30	102.28	0.411	1.10
2G	3G	PLT823028	2539.80	2539.73	2538.30	2538.23	78.37	0.089	1.60
3G	4G	PLT823029	2539.73	2540.15	2538.23	2538.18	104.61	0.048	1.60
4G	8B	PLT823030	2540.15	2540.10	2538.18	2537.80	110.31	0.344	1.60

Fuente: Propia

Tabla 12 Información recopilada para el dibujo del tramo de alcantarillado pluvial 1H – 2I.

TRAMOS DE ALCANTARILLADO PLUVIAL									
Pozo Inicial	Pozo Final	TRAMO	INICIAL	FINAL	INICIAL	FINAL	Longitud	PENDIENTE	DIAMETRO
			RASANTE	RASANTE	CLAVE	CLAVE			
1H	2H	PLT83093	2540.11	2540.30	2539.09	2538.98	134.47	0.082	1.00
2H	2I	PLT83094	2540.30	2540.06	2538.98	2538.89	88.91	0.101	1.00

Fuente: Propia

Tabla 13 Información recopilada para el dibujo del tramo de alcantarillado pluvial 1I – 8B.

TRAMOS DE ALCANTARILLADO PLUVIAL									
Pozo Inicial	Pozo Final	TRAMO	INICIAL	FINAL	INICIAL	FINAL	Longitud	PENDIENTE	DIAMETRO
			RASANTE	RASANTE	CLAVE	CLAVE			
1I	2I	PLT81342	2540.90	2540.85	2539.86	2539.81	39.46	0.127	0.91
2I	3I	PLT82603	2540.85	2540.86	2539.44	2539.39	22.89	0.210	1.60
3I	4I	PLT82604	2540.86	2540.87	2539.39	2539.36	10.60	0.283	1.60
4I	5I	PLT81668	2540.87	2540.90	2539.36	2539.17	67.85	0.286	1.60
5I	6I	PLT81341	2540.90	2540.71	2539.16	2539.01	89.55	0.168	1.60
6I	7I	PLT81340	2540.71	2540.71	2539.01	2539.01	86.65	0.003	1.60
7I	8I	PLT82606	2540.71	2540.71	2539.10	2538.97	73.75	0.176	1.60
8I	9I	PLT82605	2540.71	2540.91	2538.97	2538.96	105.04	0.008	1.60
9I	14A	PLT92390	2540.91	2541.06	2538.96	2538.51	110.09	0.404	1.60
14A	8B	PLT823035	2540.06	2541.15	2538.56	2538.55	6.54	0.153	2.00

Fuente: Propia

Tabla 14 Información recopilada para el dibujo del tramo de alcantarillado pluvial 1J – 9B.

TRAMOS DE ALCANTARILLADO PLUVIAL									
Pozo Inicial	Pozo Final	TRAMO	INICIAL	FINAL	INICIAL	FINAL	Longitud	PENDIENTE	DIAMETRO
			RASANTE	RASANTE	CLAVE	CLAVE			
1J	9B	PLT81672	2541.75	2541.42	2538.64	2538.47	20.19	0.807	2.00

Fuente: Propia

Tabla 15 Información recopilada para el dibujo del tramo de alcantarillado pluvial 1K – 11B.

TRAMOS DE ALCANTARILLADO PLUVIAL									
Pozo Inicial	Pozo Final	TRAMO	INICIAL	FINAL	INICIAL	FINAL	Longitud	PENDIENTE	DIAMETRO
			RASANTE	RASANTE	CLAVE	CLAVE			
1K	2K	PLT83088	2540.13	2540.24	2538.80	2538.70	71.98	0.139	0.91
2K	3K	PLT83089	2540.24	2540.43	2538.64	2538.56	84.74	0.094	1.10
3K	4K	PLT83090	2540.43	2540.75	2538.49	2538.41	86.70	0.092	1.10
4K	11B	PLT822683	2540.89	2541.04	2537.87	2537.80	8.90	0.753	1.10

Fuente: Propia

Tabla 16 Información recopilada para el dibujo del tramo de alcantarillado pluvial 1L – 14B.

TRAMOS DE ALCANTARILLADO PLUVIAL									
Pozo Inicial	Pozo Final	TRAMO	INICIAL	FINAL	INICIAL	FINAL	Longitud	PENDIENTE	DIAMETRO
			RASANTE	RASANTE	CLAVE	CLAVE			
1L	2L	PLT83087	2540.00	2540.15	2538.80	2538.72	78.35	0.102	1.10
2L	3L	PLT83086	2540.15	2540.32	2538.68	2538.56	98.65	0.122	1.10
3L	4L	PLT83085	2540.32	2540.54	2538.52	2538.40	88.84	0.135	1.10
4L	14B	PLT83086	2540.54	2541.18	2538.38	2538.30	10.57	0.757	1.10

Fuente: Propia

Tabla 17 Información recopilada para el dibujo del tramo de alcantarillado pluvial 1M – 15B.

TRAMOS DE ALCANTARILLADO PLUVIAL									
Pozo Inicial	Pozo Final	TRAMO	INICIAL	FINAL	INICIAL	FINAL	Longitud	PENDIENTE	DIAMETRO
			RASANTE	RASANTE	CLAVE	CLAVE			
1M	2M	PLT104491	2539.93	2539.45	2538.54	2538.44	11.77	0.790	0.71
2M	3M	PLT104490	2539.45	2539.80	2538.32	2537.71	69.89	0.880	0.71
3M	4M	PLT104489	2539.80	2540.09	2537.53	2537.48	17.91	0.296	0.71
4M	15B	PLT104488	2540.09	2539.96	2537.19	2536.97	8.36	2.645	0.71

Fuente: Propia

Nota: Al recopilar la información que se encontraba en la plancha de alcantarillado pluvial, los tramos 1A al 14A, 1K al 11B y 1L al 14B las cotas clave y rasante se encontraban con 2 metros de diferencia sobre las demás; Todas las tuberías están construidas en concreto y el coeficiente de Manning es de 0,013.

- Estas tablas permitieron el dibujo de las redes de alcantarillado pluvial en planta y perfiles.
- La siguiente tabla nos ilustra la cantidad de planos que se dibujaron con la información suministrada y recopilada posteriormente en las visitas de campo.

Tabla 18 Listado de planos redes de alcantarillado pluvial.

NÚMERO	NOMBRE DEL PLANO	DESCRIPCIÓN	
1	PLANO REDES DE ALCANTARILLADO PLUVIAL EXISTENTE	LOCALIZACIÓN POZOS DESDE 1A -7A CON SUSRESPECTIVAS ETIQUETAS	1/5
2		LOCALIZACIÓN POZOS DESDE 8A -12A CON SUSRESPECTIVAS ETIQUETAS LOCALIZACIÓN POZOS DESDE 1B -6B CON SUSRESPECTIVAS ETIQUETAS LOCALIZACIÓN POZOS DESDE 1E -5B CON SUSRESPECTIVAS ETIQUETAS LOCALIZACIÓN POZOS DESDE 1D -4B CON SUSRESPECTIVAS ETIQUETAS	2/5
3		LOCALIZACIÓN POZOS DESDE 3G -8B CON SUSRESPECTIVAS ETIQUETAS LOCALIZACIÓN POZOS DESDE 8I -8B CON SUSRESPECTIVAS ETIQUETAS LOCALIZACIÓN POZOS DESDE 1F -7B CON SUSRESPECTIVAS ETIQUETAS LOCALIZACIÓN POZOS DESDE 13A -14A CON SUSRESPECTIVAS ETIQUETAS LOCALIZACIÓN POZOS DESDE 1J -9B CON SUSRESPECTIVAS ETIQUETAS LOCALIZACIÓN POZOS DESDE 1K -11B CON SUSRESPECTIVAS ETIQUETAS LOCALIZACIÓN POZOS DESDE 7B -13B CON SUSRESPECTIVAS ETIQUETAS	3/5
4		LOCALIZACIÓN POZOS DESDE 1L -14B CON SUSRESPECTIVAS ETIQUETAS LOCALIZACIÓN POZOS DESDE 1M -15B CON SUSRESPECTIVAS ETIQUETAS LOCALIZACIÓN POZOS DESDE 14B -17B CON SUSRESPECTIVAS ETIQUETAS	4/5
5		LOCALIZACIÓN POZOS DESDE 1G -3G CON SUSRESPECTIVAS ETIQUETAS LOCALIZACIÓN POZOS DESDE 1I -8I CON SUSRESPECTIVAS ETIQUETAS	5/5

Fuente: Propia

Tabla 19 Listado de planos perfiles redes de alcantarillado pluvial

NÚMERO	NOMBRE DEL PLANO	DESCRIPCIÓN	
1	PERFILES REDES DE ALCANTARILLADO PLUVIAL EXISTENTE	PERFIL TRAMO DE ALCANTARILLADO 1A - 14A PERFIL TRAMO DE ALCANTARILLADO 1C - 8A	1/4
2		PERFIL TRAMO DE ALCANTARILLADO 1B - 17B PERFIL TRAMO DE ALCANTARILLADO 1D - 4B	2/4
3		PERFIL TRAMO DE ALCANTARILLADO 1E - 5B PERFIL TRAMO DE ALCANTARILLADO 1F - 7B PERFIL TRAMO DE ALCANTARILLADO 1G - 8B PERFIL TRAMO DE ALCANTARILLADO 1H - 2I PERFIL TRAMO DE ALCANTARILLADO 1K - 11B	3/4
4		PERFIL TRAMO DE ALCANTARILLADO 1I - 8B PERFIL TRAMO DE ALCANTARILLADO 1J - 9B PERFIL TRAMO DE ALCANTARILLADO 1L - 14B PERFIL TRAMO DE ALCANTARILLADO 1M - 15B	4/4

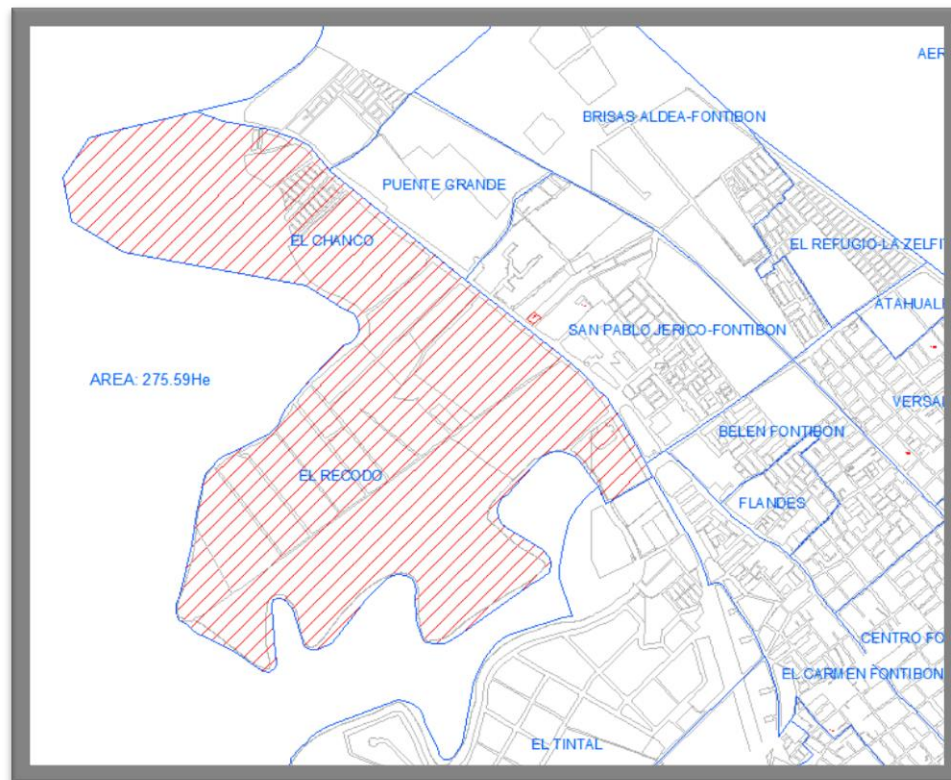
Fuente: Propia

- Los planos se encuentran en físico en los anexos planos.

CUENCA URBANA BARRIO EL RECODO:

- Por medio de un plano general de la distribución geográfica de la localidad de Fontibón, se seleccionó la cuenca hidrográfica que abarca al barrio el recodo, esta área se selecciona de acuerdo con las curvas de nivel y la dirección de drenaje de la redes de alcantarillado pluvial, en la imagen presentada a continuación se muestra la delimitación de dicha cuenca.

Imagen 22 Delimitación cuenca Barrio El Recodo.

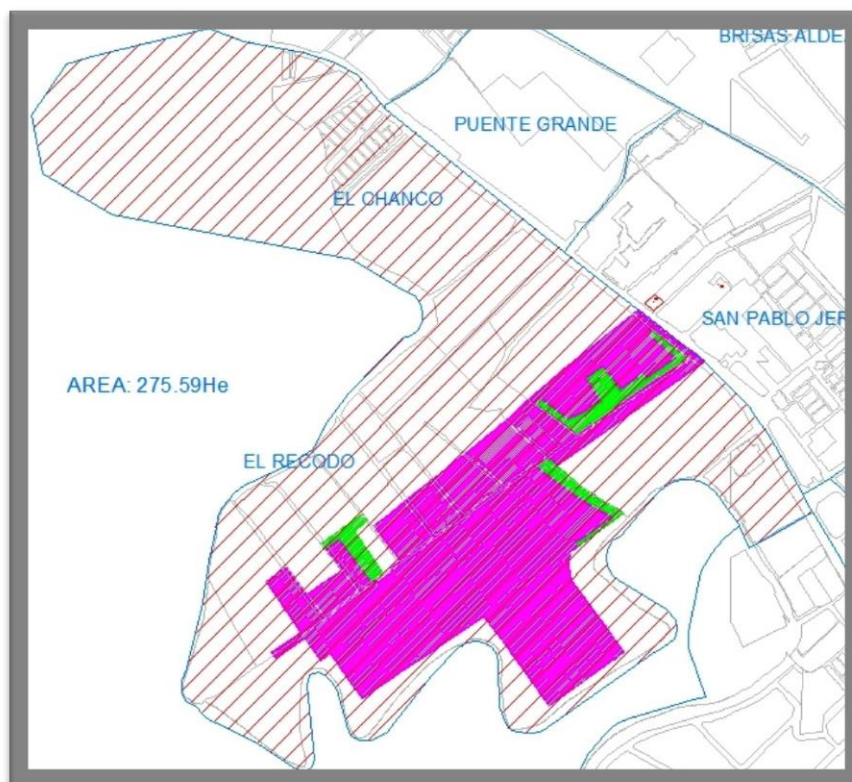


Fuente: Propia

- De la delimitación de la zona de cuenca, nos arroja un área total de 275.59He las cuales se drenan de acuerdo a la composición de sus calles y las líneas divisorias que genera la elevación de la topografía.
- En la imagen generada a continuación se representa la distribución de las zonas de drenaje que vierte la precipitación por escorrentía, a los sumideros y luego a las redes de alcantarillado pluvial. En esta imagen se

muestra por colores las diferentes zonas de drenaje, de color magenta representa zonas duras y el color verde representa zonas verdes y de mayor infiltración.

Imagen 23 Delimitación de zonas de drenaje que interfieren en las redes de alcantarillado pluvial del proyecto.



Fuente: Propia

- las zonas mostradas en la imagen 23 representan el total de las áreas aferentes que se drenan las aguas lluvias por los colectores pluviales de la zona de estudio, a continuación se muestra en la tabla 20 el total y la diferencia de áreas dependiendo de sus propiedades de drenaje.

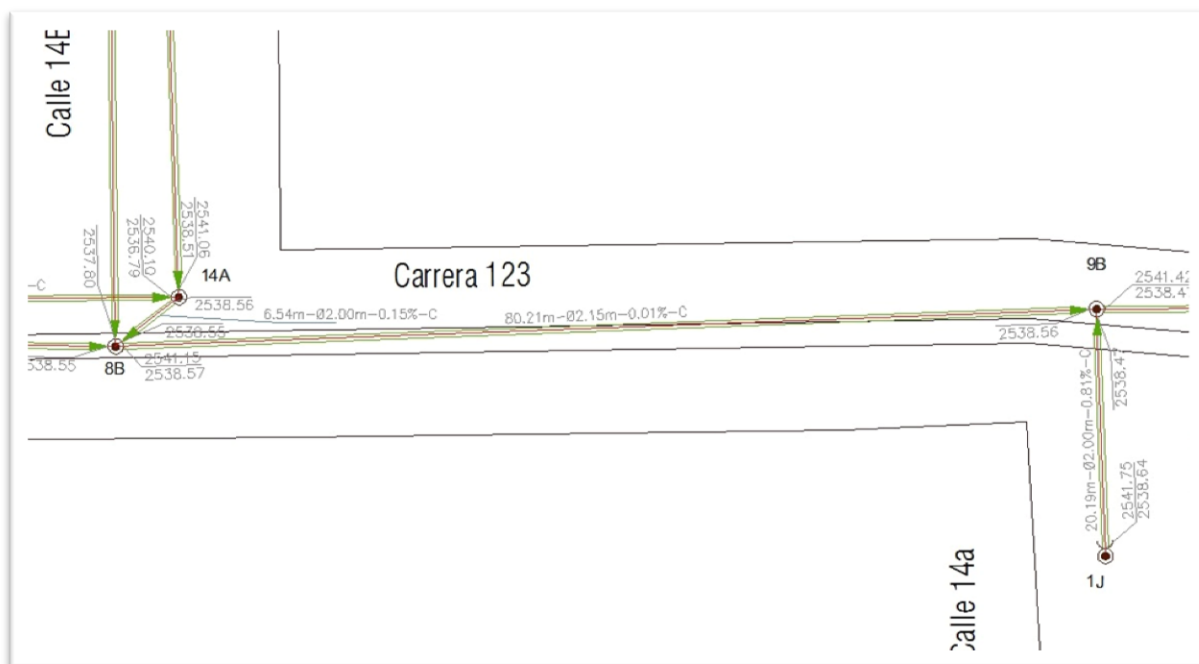
Tabla 20 Áreas de drenaje dependiendo propiedades de drenaje.

Zonas de drenaje por escorrentía	Áreas (m2)	Áreas (He)
Área total afluente al sistema de alcantarillado pluvial	709296.03	70.93
Área zonas verdes de la zona	50870.59	5.09
Área zonas duras, cubiertas y afirmado	658425.44	65.84

Fuente: Propia

Se genera por medios matemáticos Excel, una tabla (ver anexo tabla análisis de caudales) donde se muestra el cálculo de los caudales de todos los tramos de alcantarillado pluvial que conforman el sistema de drenaje del Barrio El Recodo, en dicha tabla se muestra el tramo de alcantarillado pluvial que está comprendido entre los pozos 8B y 9B que por acumulación de caudal por parte de los tramos adyacentes a este hacen que exceda la capacidad de servicio, a continuación en la imagen 24 se muestra el tramo de alcantarillado que por la falla de capacidad hidráulica genera el problema de inundación.

Imagen 24 Tramo de alcantarillado pluvial donde el caudal excede la capacidad de servicio de la tubería



Fuente: Propia

FASE 2. Diagnóstico del problema del estado actual de las redes.

Tomando como base lo encontrado durante el desarrollo y análisis de la fase I, se plantea el proceso por el cual se llegó al diagnóstico planteado según el funcionamiento de la red pluvial de alcantarillado del barrio el Recodo.

PROCESO PARA EL DESARROLLO DEL DIAGNÓSTICO		
1	Topología	Etapa donde se localizan los pozos y colectores y se

		obtiene la información necesaria para su construcción geométrica.
2	Áreas propias y acumuladas	Etapas donde se delimitan las áreas en el plano topográfico.
3	Periodo de retorno	Etapas donde se evalúa el retorno de un evento extremo ocurrido.
4	Tiempo de concentración	Tiempo de recorrido de la escorrentía superficial desde el punto más alejado de la cuenca de drenaje hasta el punto de salida considerado. Se usa la siguiente ecuación: $tc = ti + tr$
5	Curvas IDF	Se pueden evidenciar las curvas IDF de la EAB que sirvieron como base para el desarrollo del presente estudio. De los datos anteriormente citados se determinaron los específicos para poder generar las curvas IDF en el barrio el recodo.
6	Intensidad	De acuerdo a los datos obtenidos de la IDF de halla la intensidad de acuerdo a la siguiente ecuación: $Densidad = C1(Duración + X0)C^2$
7	Caudal propio y acumulado	Ya obteniendo todas las variables de la ecuación del método racional obtenemos los caudales por cada tramo y realizando una sumatoria de estos obtenemos el caudal acumulado. Usando la siguiente ecuación: $Q = (2.78)C * I * A$
Luego se evalúan las características hidráulicas de los tramos		
7	Y normal	Según el diámetro del tubo se obtiene la Y normal.
8	Velocidad real	Según el tiempo de recorrido y la longitud del tramo se determina la velocidad real del flujo.
	Mannig	Para el cálculo de la velocidad media se usa la siguiente ecuación: $v = \frac{R^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}}}{n}$
9	Froude	Se determina el número de Froude con la siguiente ecuación:

		$F = \frac{v}{\sqrt{g * D}}$
10	Fuerza tractiva	Se determina la fuerza tractiva en los tramos de tubería, la cual arrastrara los sedimentos que se encuentran en el fondo de la tubería.
11	Velocidad a tubo lleno	Se determina la velocidad del flujo a tubo lleno
12	Caudal a tubo lleno	Se determina el caudal a tubo lleno de acuerdo a la velocidad de tubo lleno.
13	Q/Qo (caudal real / caudal a tubo lleno)	De acuerdo a los datos obtenidos del caudal de diseño del sistema de alcantarillado pluvial y el caudal a tubo lleno se encuentran los tramos donde el sistema está colapsando y se necesita realizar un acondicionamiento del sistema de alcantarillado pluvial existente.

- Según los datos obtenidos de caudales máximos y mínimos que pasan por cada uno de las estructuras de conducción y de los pozos existentes, estos se analizaron mediante la ecuación Q/Qp para tener una visión más clara de la manera como se comporta el sistema de drenaje pluvial y así evidenciar los el tramo que tiene problemas actualmente y determinar los caudales proyectados para un futuro, contemplando el uso de suelo donde se proyectan nuevas edificaciones las cuales aportaran una cantidad de aguas lluvias al sistema drenaje de pluvial actual.
- Con el modelo de proyección y el modelo actual del sistema de drenaje pluvial detallamos los sectores donde el sistema arroja los puntos críticos en el cual sistema se toman los datos donde el sistema se colapsa, de tal manera que esto sea el punto de inicio para la construcción de los pondajes.
- Localización de las zonas verdes para la adecuación y mejoramiento, con el fin de instalar los SISTEMAS URBANOS DE DRENAJE SOSTENIBLE POR DEPÓSITOS DE RETENCIÓN (SUDS).

FASE 3. Propuesta del diseño del sistema urbano de drenaje sostenible.

- La propuesta de diseño consiste en tener identificados los caudales máximos donde el trazado de la red pluvial es insuficiente, de tal manera que los tanques de almacenamiento (SUDS) entren a realizar un aliviamiento del sistema; donde se genere una descarga por parte del sistema de alcantarillado pluvial, de tal manera que el caudal que está siendo llevado por las estructuras de conducción sea el apropiado para llegar a su sitio de disposición final sin saturar el sistema sin llegar a generar inundación del sector.
- Los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) tienen como función realizar la captación de aguas lluvias, de tal manera que los caudales que están colapsando el sistema sean estabilizados reteniendo estas aguas de manera segura y mitigando en gran parte todo tipo de amenaza posible por inundaciones en el sector.
- Planificar y diseñar la construcción de un sistema de pondaje con “ACUACELLS”, para el control de inundación en las calles y algunos conjuntos, valorando los colectores pluviales propuestos acorde con su capacidad hidráulica, realizando los análisis técnicos requeridos para la selección más adecuada del volumen de almacenamiento que debe tener el pondaje para optimizar la captación de las redes pluviales existente con el fin de evitar inundaciones futuras.
- Ubicar el predio apto para la ubicación de los depósitos de retención.

7.3 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN

En la investigación del problema se usaron como técnicas metodológicas el análisis de documentos, realización de una observación estructurada (visita de campo), con generación de álbum fotográfico para el diseño de planos que orienten el planteamiento de la solución al problema.

8. RESULTADOS

Después de recolectada la información y realizado el análisis respectivo de los datos obtenidos según los cálculos planteados durante las fases de la investigación, se hace relevancia a los puntos clave hallados también en el

diagnóstico, para ser presentados como resultados, los cuales han sido argumentados durante el desarrollo de la investigación :

- Mal funcionamiento de la red de alcantarillado pluvial del barrio El Recodo.
- Aumento en el factor de escorrentía.
- La tubería de la red pluvial es insuficiente relacionado a la demanda hidráulica que provee la cuenta.
- El área es más amplia y supera la capacidad del colector.

8.1 DISEÑO

Los sistemas de depósitos de retención tienen un funcionamiento basado en tanques que permitan la captación y almacenamiento de agua lluvia con el fin de retener y entregar reguladamente a la infraestructura de drenaje existente aguas abajo conforme disminuya el evento de lluvia, adicional a esto los depósitos no permiten que se genere un hábitat propicio para la reproducción de vectores los cuales son un problema de salud para la comunidad.

Estos sistemas se componen por módulos individuales que pueden ser unidos para formar una estructura de gran tamaño, cada elemento está hecho en plástico y tiene un volumen de almacenamiento correspondiente a aproximadamente el 95% de su volumen total, en la siguiente imagen se observa una unidad de Aquacells.

Imagen 25 Unidad de Aquacell



Fuente: Sifónika AquaCell Blue.

CARACTERÍSTICAS GENERALES

Estas características son descritas de manera precisa por Sifónico SL⁴⁰

- Conveniente para los depósitos de infiltración y de almacenamiento.
- Modular: ligero y versátil.
- 95% de porcentaje hueco: Almacena 190 litros de agua por unidad.
- Opción de almacenamiento más segura que las balsas de almacenamiento a campo abierto. Fácil de instalar y manejar.

⁴⁰ SiFónika, SUDS. Sistemas Aquacells El Mundo del Sifónico SL España, 2014. P. 5

- Permite una unión tipo “ladrillo”, lo que proporciona versatilidad y estabilidad sin necesidad de adaptadores adicionales necesarios sistemas de clip probados para asegurar las unidades.
- Una amplia gama de componentes auxiliares: en particular, los pozos de decantación y adaptadores de tuberías.
- Especialmente diseñados para proporcionar una opción más rentable

“Los módulos se envuelven en función de su utilización: infiltración o almacenamiento. Para suelos permeables, el geotextil permite la infiltración de aguas pluviales en la tierra de los alrededores.”⁴¹

“Cuando el suelo sea impermeable (arcilla, por ejemplo) o cuando la infiltración no es deseable, se coloca una geomembrana (lámina de PVC ó PE) alrededor del depósito. De este modo el agua queda encapsulada en el interior del depósito. Si se utiliza como depósito de laminación, el agua queda retenida hasta que las redes de saneamiento estén menos saturadas.”⁴²

VENTAJAS

Estas características son descritas de manera precisa por Sifónico SL⁴³

Ventajas ambientales

- Reduce el volumen de sobrecargas y descargas de los sistemas de saneamiento.
- Controla y trata la escorrentía urbana en origen.
- Reduce el volumen de agua contaminada.
- Infiltra el agua de lluvia en el terreno. Previene la deshidratación y recarga los acuíferos.
- Permite disponer de nuevos recursos hídricos.

⁴¹ Ibid. , p.5

⁴² Ibid. , p.6

⁴³ Ibid. , p.15

- Ayudan a mantener el ciclo hídrico natural.

Ventajas económicas y sociales

- Reduce los costes estructurales de transporte y depuración de las aguas.
- Contribuye a reducir el consumo energético y el efecto invernadero.
- Mejora la integración paisajística y medioambiental de la infraestructura urbana.
- Evita o minimiza el efecto de las inundaciones.
- Facilidad de instalación: Los módulos de Aquacell son ligeros, fáciles de transportar y simples de unir entre sí.
- Aquacell es autoportante y rígido. Permite que los depósitos se sitúen debajo de zonas por la que hay tráfico.

Características específicas y beneficios aplicable a AquaCell unidad azul

- Probada capacidad de carga vertical: 56 toneladas / m² (560 kN / m²).
- Probada capacidad de carga lateral: 7,75 t / m² (77,5 kN / m²).
- Para instalaciones a partir de 1,5 metros de profundidad.
- Distintivo color AZUL - fácil de identificar.
- Diseñado para todas las configuraciones y aplicaciones, tanto a lo ancho como en profundidad: Ideal para cualquier tamaño de proyecto.
- Conveniente para los depósitos de infiltración y de almacenamiento
- Modular: ligero y versátil.
- 95% de porcentaje hueco. Almacena 190 litros de agua por unidad.
- Opción de almacenamiento más segura que las balsas de almacenamiento a campo abierto. Fácil de instalar y manejar.
- Permite una unión tipo “ladrillo”, lo que proporciona versatilidad y estabilidad sin necesidad de adaptadores adicionales necesarios.

- Sistemas de clip probados para asegurar las unidades.
- Dispone de una amplia gama de componentes auxiliares: en particular los pozos de decantación y adaptadores de tuberías.

“El AquaCell, es ideal para zonas con tráfico regular y pesado y particularmente para proyectos de gran magnitud. Proporciona un gran volumen hueco, unidad modular para el montaje y la instalación de un depósito de almacenamiento subterráneo de aguas pluviales o como depósito de infiltración. Apto para todos los sitios, incluyendo aplicaciones con tráfico”⁴⁴.

Imagen 26 Esquemas de instalaciones de Aquacells



Fuente: Sifónika AquaCell Blue.

CRITERIOS DE DISEÑO

Entre los análisis que deben hacerse está la definición de su ubicación y características como la posibilidad de infiltrar agua almacenada al suelo. Los criterios de diseño para los depósitos de retención son:

⁴⁴ SiFónika, SUDS. Sistemas Aquacells El Mundo del Sifónico SL España, 2014. P. 1

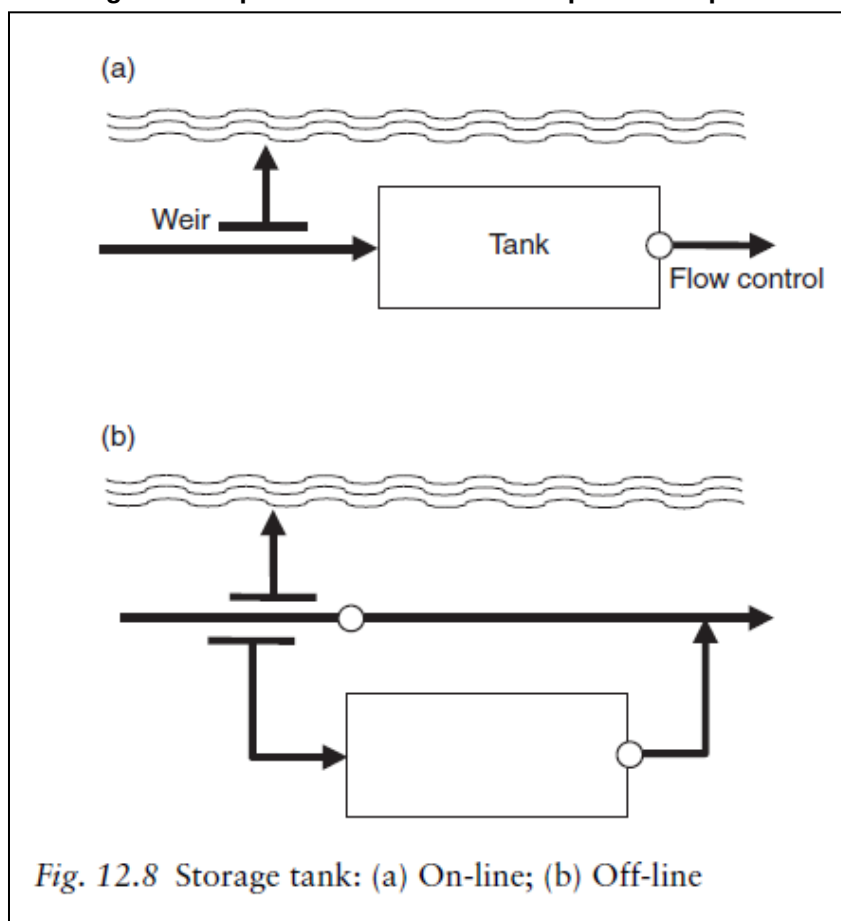
- **Ubicación.** La Ubicación del depósito de retención será en un lugar que no tiene afectación de predios ya que es del Distrito; un parque que también se cuenta con la ventaja de no tener ningún tipo de tránsito vehicular y ninguna estructura que pueda tener una vía.
- **Atenuación.** Se tiene en cuenta el volumen de agua que pasa por el sistema de alcantarillado en el trascurso de 120 min en relación con el nivel de agua que se va a desviar hacia el depósito de retención para así establecer el volumen de este por medio de un hidrograma.
- **Caudal.** La capacidad de la red de alcantarillado de aguas abajo o curso de agua
- **Geometría.** Debido a que en nuestro proyecto se presenta un sistema de alcantarillado pluvial, se debe tener en cuenta las cotas del punto de desvío del caudal y las cotas de llegada al sistema aguas abajo, partiendo que todo el sistema funcione por gravedad sin necesidad de bombeo.

Los depósitos de retención pueden ser en serie o paralelo, para el proyecto se van a construir en serie a la red de alcantarillado pluvial debido a que de esta manera es manera se hace un mayor control de flujo y al siempre estar en un flujo continuo se reduce el riesgo de que en un evento de precipitación anormal los depósitos falle por su capacidad.⁴⁵

En la siguiente figura (a) se puede ver de manera general el esquema del funcionamiento de los depósitos de retención en serie.

⁴⁵ David Butler and John W. Davies, URBAN DRAINAGE, Edición 2, CAPÍTULO 13, Londres, 2004, p 292

Imagen 27 Esquema de funcionamiento para los depósitos



Fuente: URBAN DRAINAGE (SECOND EDITION).

Los tanques de retención están proyectados en serie con la red de alcantarillado pluvial existente y son controlados por el flujo en su salida. Flujo que pasa a través del tanque sin obstáculos hasta que la entrada supera la capacidad de la toma de caudal. Los excesos de flujo se almacenan en el depósito, haciendo que el nivel del agua se eleve.⁴⁶

Una estimación preliminar de los requerimientos de volumen de almacenamiento para el tanque se puede obtener mediante el uso de:

$$S = V_I - V_O$$

S= Volumen de almacenamiento (m³)

V_I = Volumen total de entrada (m³)

V_O = volumen total de salida (m³)

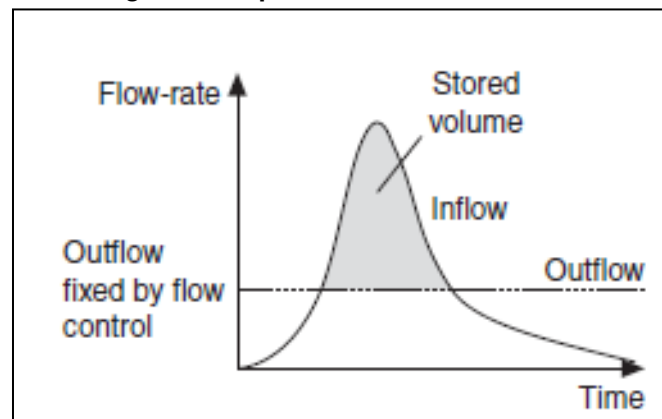
⁴⁶ Ibid., p. 292

Para el cálculo del volumen de almacenamiento se utilizó un balance de masas, donde se fijó una capacidad máxima de drenaje de la tubería de salida de los Aquacells. El caudal determinado se especifica para cada tanque según la capacidad de la red de alcantarillado de aguas abajo.

El procedimiento de cálculo se ilustra en la siguiente gráfica. Se parte del hidrograma de salida de la cuenca, en este caso las redes pluviales de la zona priorizada del Barrio El Recodo.

El almacenamiento requerido corresponde al área achurada, que se encuentra sobre la línea de caudal de salida

Imagen 28 Esquema de balance de masas



Fuente: URBAN DRAINAGE (SECOND EDITION).

Flow-rate - Tasa de flujo

Outflow fixed by flow control - Caudal de salida fijado por el control de flujo

Time - Tiempo

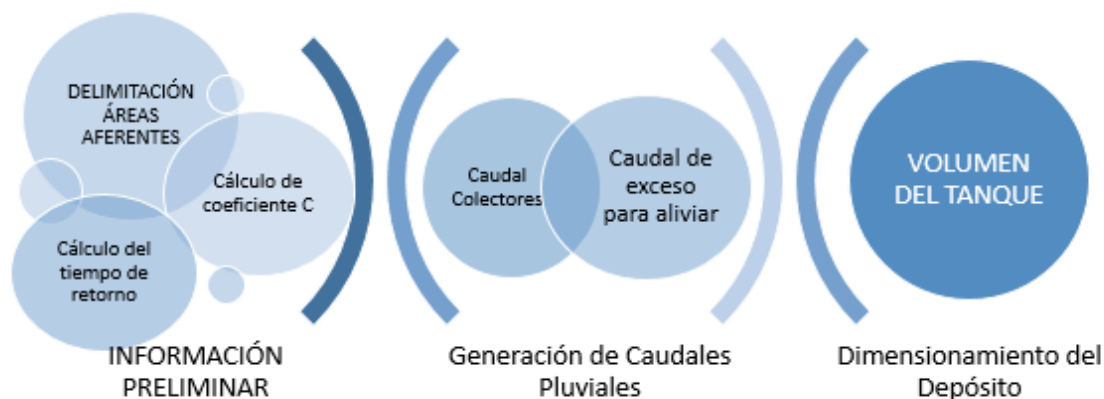
Stored volume – Volumen almacenado

Inflow - Entrada

Outflow - Salida

PROCESO DEL DIMENSIONAMIENTO DEL DEPÓSITO

Imagen 29 Esquema de diseño de los Depósitos

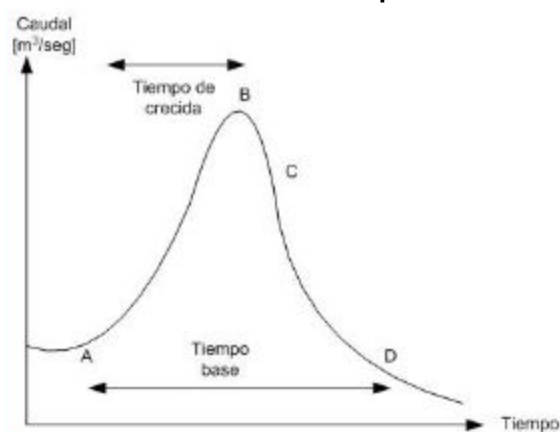


Fuente: Propia

Para el análisis de la variación de los caudales debido a la escorrentía se utiliza el hidrograma, este se define como la gráfica que relaciona la variación del caudal de una fuente a medida que transcurre el tiempo.

El hidrograma para un evento, el cual muestra el comportamiento del caudal para una precipitación o tormenta en particular.

Imagen 30 Gráfica que relaciona la variación del caudal de una fuente a medida que transcurre el tiempo.



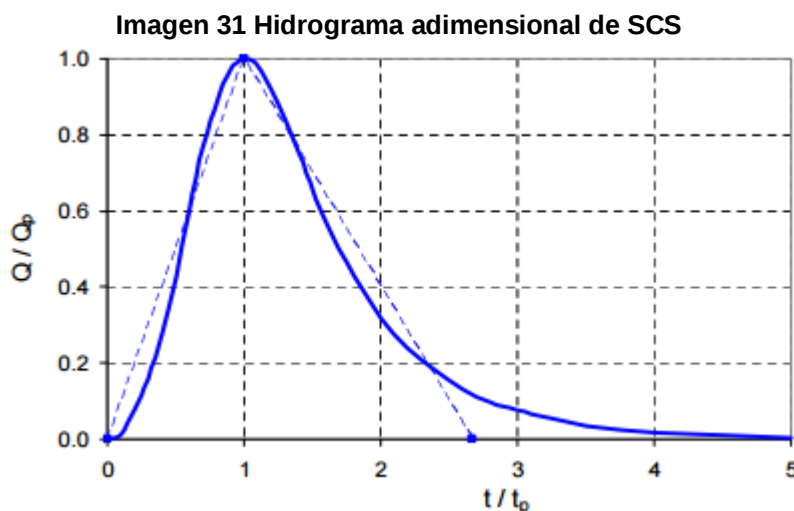
Fuente: UNAD Sesión 44

En esta Figura observamos varios puntos representativos. El punto A, se denomina punto de levantamiento y corresponde al momento en el que la

escorrentía comienza a llegar al punto de salida de la cuenca. El punto B, se llama caudal pico y es el máximo caudal que genera la escorrentía, es importante con fines de diseño, dado que condiciona el tamaño de las obras hidráulicas de control. El punto C, denominado punto de inflexión, representa el momento en el cual termina la escorrentía superficial, es el comienzo de la curva de vaciado, es decir el tiempo que demora en salir de la cuenca el agua aportada por la lluvia. El punto D, representa el final de la escorrentía directa. El tiempo base indica el tiempo total que se produce escorrentía. El tiempo de crecida indica el tiempo transcurrido desde el inicio de la escorrentía hasta el momento en que se alcanza el caudal pico.⁴⁷

Hidrograma Adimensional Del SCS

“Considerando una gran cantidad de hidrogramas, y convirtiendo sus coordenadas de modo que las coordenadas de la punta en todos fueran $Q_p = 1$ y $t_p = 1$, (es decir, haciéndolos del mismo tamaño), los técnicos del SCS observaron que la mayoría de los hidrogramas de crecida tenían una forma similar a la de la figura cuyas coordenadas se reflejan en la tabla”⁴⁸.



Fuente: Dpto. Geología-Univ. Salamanca (España)

⁴⁷ Gloria Cecilia Ruales Zambrano, Hidrología, lección hidrogramas. Universidad Nacional Abierta y a Distancia, 2013

⁴⁸ F. Javier Sánchez San Román, Hidrología Superficial (III), Dpto. Geología--Univ. Salamanca, 2016, P 6.

Imagen 32 Coordenadas Hidrograma adimensional de SCS

t / t_p	Q / Q_p	t / t_p	Q / Q_p
0,0	0	1,4	0,75
0,1	0,015	1,5	0,65
0,2	0,075	1,6	0,57
0,3	0,16	1,8	0,43
0,4	0,28	2,0	0,32
0,5	0,43	2,2	0,24
0,6	0,60	2,4	0,18
0,7	0,77	2,6	0,13
0,8	0,89	2,8	0,098
0,9	0,97	3,0	0,075
1,0	1,00	3,5	0,036
1,1	0,98	4,0	0,018
1,2	0,92	4,5	0,009
1,3	0,84	5,0	0,004

Fuente: Dpto. Geología-Univ. Salamanca (España)

Esta técnica de los hidrogramas sintéticos, solamente son válidas para considerar los hidrogramas producidos por precipitaciones cortas y homogéneas.

El volumen de almacenamiento para los depósitos de retención se determinó con base a lo anterior usando el hidrograma adimensional y la ecuación $S = VI - VO$ los cuales se pueden ver en el balance de masas para cada depósito.

El hidrograma se obtiene de la siguiente manera:

1. Determinar el caudal pico, el cual corresponde al caudal transportado en el colector y la duración de la lluvia la cual corresponde a 120 min.
2. Multiplicar la duración por cada valor de la columna (t/t_p)
3. Multiplicar la caudal del colector (caudal de llegada) por cada valor de la columna (Q/Q_p)
4. Graficar abscisas valores obtenidos en el numeral 2 y ordenadas valores obtenidos en el numeral 3

El Volumen de cada depósito se obtiene de la siguiente manera:

1. Se define el caudal de salida de los depósitos (Caudal de control)
2. Mediante la ecuación se $S = VI - VO$ se determina el valor de volumen de caudal que entra contra el caudal de control que sale en un intervalo de tiempo.
 $(VI - VO) \cdot (\Delta t) \cdot 3.6$ para cada instante de tiempo de la duración de la precipitación

DIMENSIONAMIENTO DE LOS DEPÓSITOS (RESULTADOS)

DEPÓSITO DE RETENCIÓN 1 ENTRE LOS POZOS (12A-13A)

Caudal de entrada: 1583.57 l/s

Caudal de entrada: 370 l/s

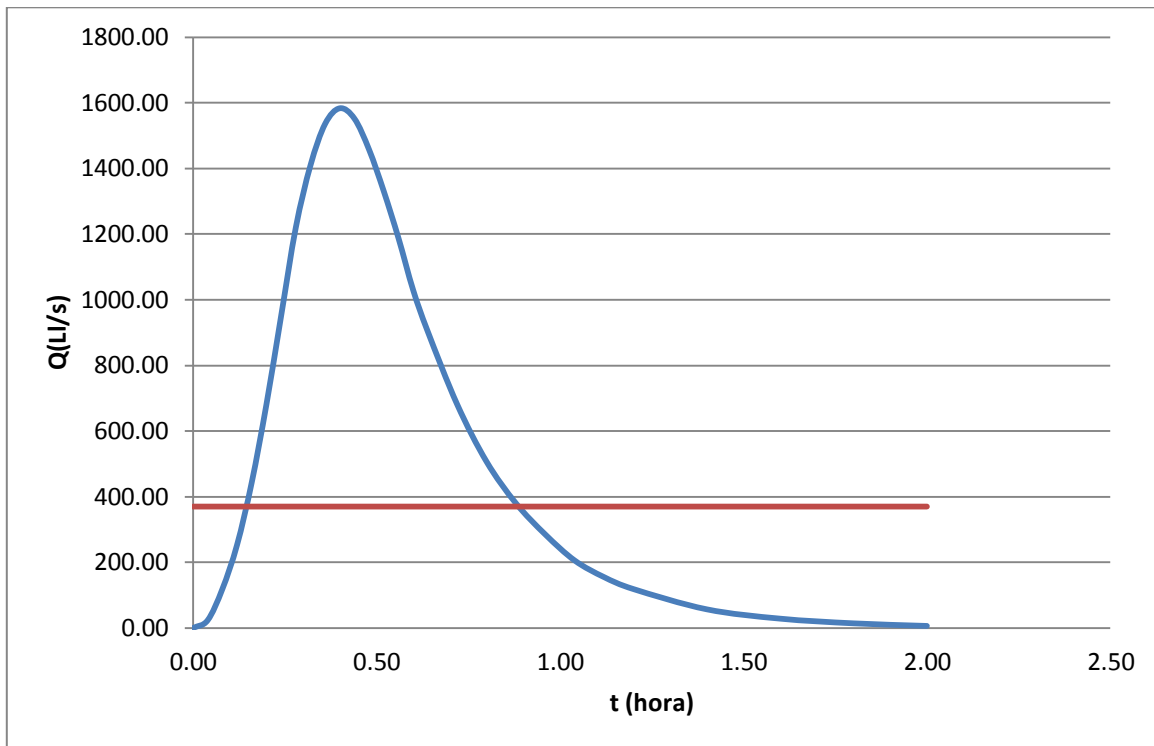
Tiempo: Dos Horas

Tabla 21 volúmenes de almacenamiento 1

HIDROGRAMA SCS					
t/tp	Q/Q _p	t (hr)	Q _{descarga} (l/s)	Q _{despues} (l/s)	Volumen m ³
0.0	0.000	0.00	370.00	0.00	
0.1	0.015	0.04	370.00	23.75	0.00
0.2	0.075	0.08	370.00	118.77	0.00
0.3	0.160	0.12	370.00	253.37	0.00
0.4	0.280	0.16	370.00	443.40	10.57
0.5	0.430	0.20	370.00	680.94	44.77
0.6	0.600	0.24	370.00	950.14	83.54
0.7	0.770	0.28	370.00	1219.35	122.31
0.8	0.890	0.32	370.00	1409.38	149.67
0.9	0.970	0.36	370.00	1536.06	167.91
1.0	1.000	0.40	370.00	1583.57	174.75
1.1	0.980	0.44	370.00	1551.90	170.19
1.2	0.920	0.48	370.00	1456.88	156.51
1.3	0.840	0.52	370.00	1330.20	138.27
1.4	0.750	0.56	370.00	1187.68	117.75
1.5	0.650	0.60	370.00	1029.32	94.94
1.6	0.570	0.64	370.00	902.63	76.70
1.8	0.430	0.72	370.00	680.94	89.55
2.0	0.320	0.80	370.00	506.74	39.38
2.2	0.240	0.88	370.00	380.06	2.90
2.4	0.180	0.96	370.00	285.04	0.00
2.6	0.130	1.04	370.00	205.86	0.00
2.8	0.098	1.12	370.00	155.19	0.00
3.0	0.075	1.20	370.00	118.77	0.00
3.5	0.036	1.40	370.00	57.01	0.00
4.0	0.018	1.60	370.00	28.50	0.00
4.5	0.009	1.80	370.00	14.25	0.00
5.0	0.004	2.00	370.00	6.33	0.00
Volumen Total					1639.72

Fuente: Propia

Gráfica 1 Balance de masas almacenamiento 1



Fuente: Propia

En el balance de masa anterior se puede ver el comportamiento de la precipitación durante el periodo de lluvia y el caudal y el caudal de control el cual corresponde a 370 l/s

Tabla 22 Cantidades de Aquacells almacenamiento 1

VOLUMEN DE TORMENTA			
Parámetro	Valor	Unidad	Descripción
Vol. Almacen.	1,639.72	m ³	Volumen de almacenamiento requerido
Largo	89.00	m	Largo del tanque de almacenamiento con AQUACELL
Ancho	10.00	m	Ancho del tanque de almacenamiento con AQUACELL
Alto	1.95	m	Alto del tanque de almacenamiento con AQUACELL
No Capas	5.00	un	Número de Capas con AQUACELL que tendrá el tanque
Vol. AQUACELL	1,646.50	m ³	Volumen con las unidades de AQUACELL
AQUACELL	8,900.00	un	Cantidad de unidades de AQUACELL

Fuente: Propia

DEPÓSITO DE RETENCIÓN 2 ENTRE LOS POZOS (9I-14A)

Caudal de entrada: 1828.95 l/s

Caudal de entrada: 370 l/s

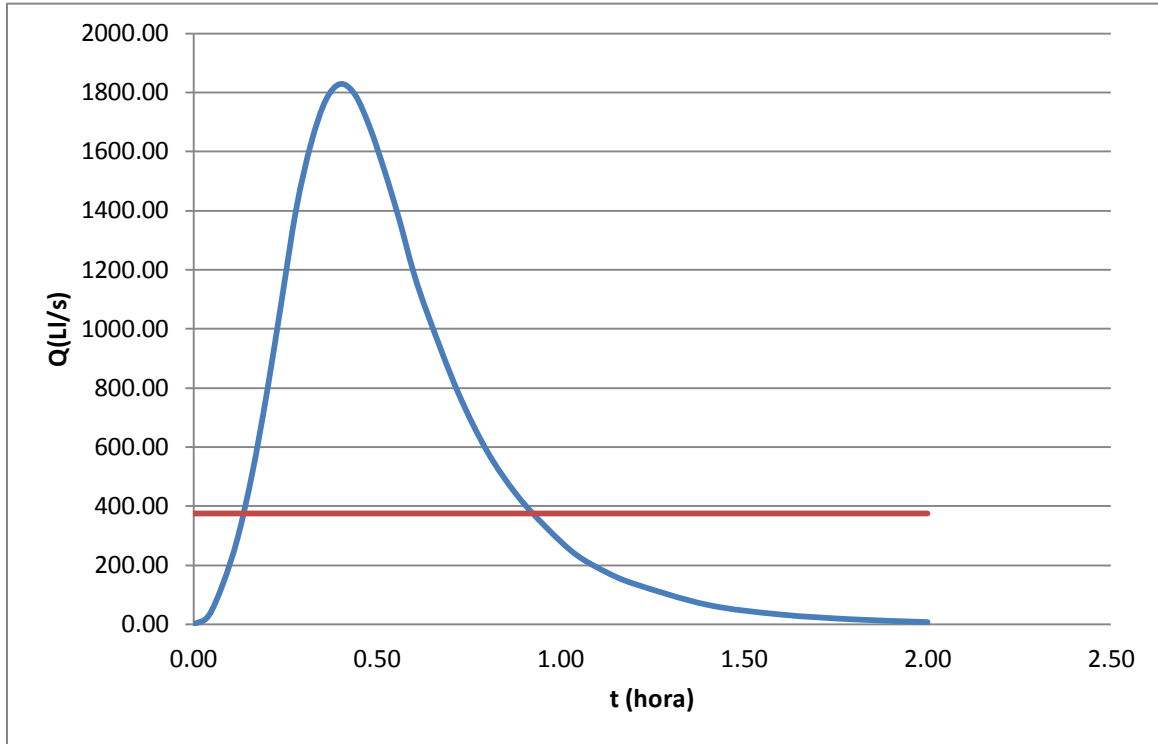
Tiempo: Dos Horas

Tabla 23 volúmenes de almacenamiento 2

HIDROGRAMA SCS					
t/tp	Q/Q_p	t (hr)	Q_{descarga} (l/s)	Q_{despues} (l/s)	Volumen m³
0.0	0.000	0.00	375.00	0.00	
0.1	0.015	0.04	375.00	27.43	0.00
0.2	0.075	0.08	375.00	137.17	0.00
0.3	0.160	0.12	375.00	292.63	0.00
0.4	0.280	0.16	375.00	512.11	19.74
0.5	0.430	0.20	375.00	786.45	59.25
0.6	0.600	0.24	375.00	1097.37	104.02
0.7	0.770	0.28	375.00	1408.29	148.79
0.8	0.890	0.32	375.00	1627.77	180.40
0.9	0.970	0.36	375.00	1774.08	201.47
1.0	1.000	0.40	375.00	1828.95	209.37
1.1	0.980	0.44	375.00	1792.37	204.10
1.2	0.920	0.48	375.00	1682.63	188.30
1.3	0.840	0.52	375.00	1536.32	167.23
1.4	0.750	0.56	375.00	1371.71	143.53
1.5	0.650	0.60	375.00	1188.82	117.19
1.6	0.570	0.64	375.00	1042.50	96.12
1.8	0.430	0.72	375.00	786.45	118.50
2.0	0.320	0.80	375.00	585.26	60.56
2.2	0.240	0.88	375.00	438.95	18.42
2.4	0.180	0.96	375.00	329.21	0.00
2.6	0.130	1.04	375.00	237.76	0.00
2.8	0.098	1.12	375.00	179.24	0.00
3.0	0.075	1.20	375.00	137.17	0.00
3.5	0.036	1.40	375.00	65.84	0.00
4.0	0.018	1.60	375.00	32.92	0.00
4.5	0.009	1.80	375.00	16.46	0.00
5.0	0.004	2.00	375.00	7.32	0.00
Volumen Total					2036.98

Fuente: Propia

Gráfica 2 Balance de masas almacenamiento 2



Fuente: Propia

En el balance de masa anterior se puede ver el comportamiento de la precipitación durante el periodo de lluvia y el caudal y el caudal de control el cual corresponde a 375 l/s

Tabla 24 Cantidades de Aquacells almacenamiento 2

VOLUMEN DE TORMENTA			
Parámetro	Valor	Unidad	Descripción
Vol. Almacen.	2,036.98	m ³	Volumen de almacenamiento requerido
Largo	105.00	m	Largo del tanque de almacenamiento con AQUACELL
Ancho	10.50	m	Ancho del tanque de almacenamiento con AQUACELL
Alto	1.95	m	Alto del tanque de almacenamiento con AQUACELL
No Capas	5.00	un	Número de Capas con AQUACELL que tendrá el tanque
Vol. AQUACELL	2,039.63	m ³	Volumen con las unidades de AQUACELL
AQUACELL	11,025.00	un	Cantidad de unidades de AQUACELL

Fuente: Propia

DEPÓSITO DE RETENCIÓN 3 ENTRE LOS POZOS (9B-10B)

Caudal de entrada: 2677.42 l/s

Caudal de entrada: 800 l/s

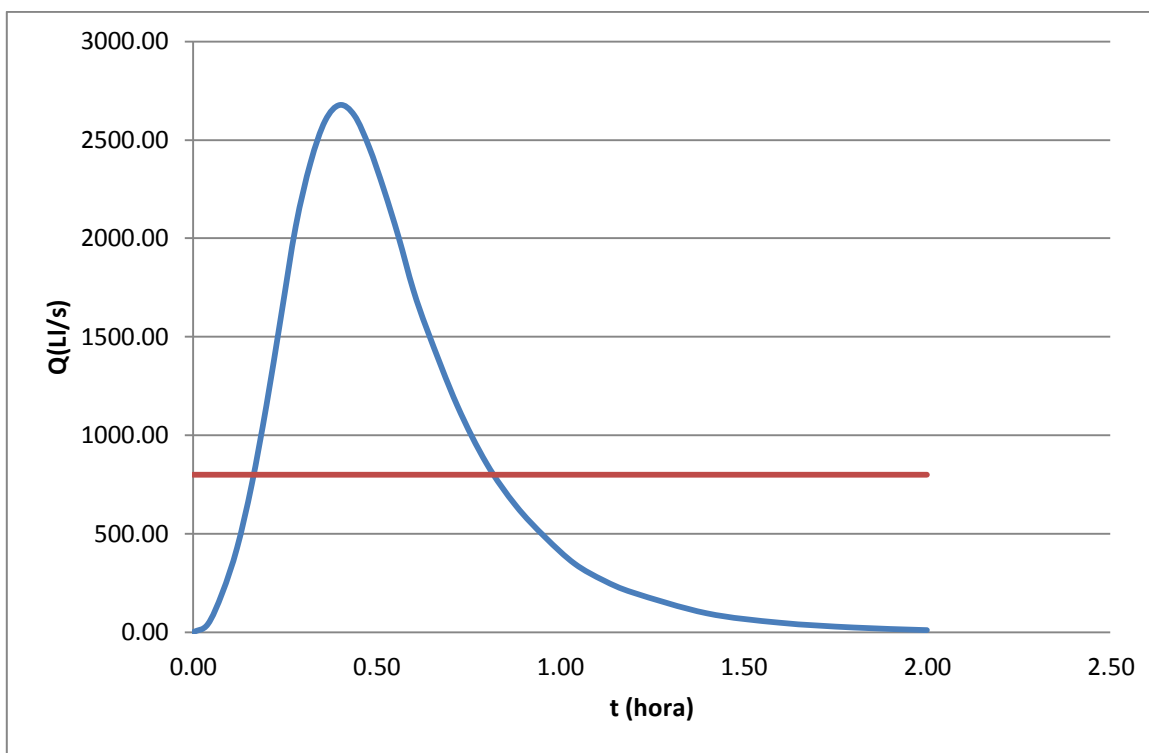
Tiempo: Dos Horas

Tabla 25 volúmenes de almacenamiento 3

HIDROGRAMA SCS					
t/tp	Q/Q _p	t (hr)	Q _{descarga} (l/s)	Q _{despues} (l/s)	Volumen m ³
0.0	0.000	0.00	800.00	0.00	
0.1	0.015	0.04	800.00	40.16	0.00
0.2	0.075	0.08	800.00	200.81	0.00
0.3	0.160	0.12	800.00	428.39	0.00
0.4	0.280	0.16	800.00	749.68	0.00
0.5	0.430	0.20	800.00	1151.29	50.59
0.6	0.600	0.24	800.00	1606.45	116.13
0.7	0.770	0.28	800.00	2061.61	181.67
0.8	0.890	0.32	800.00	2382.90	227.94
0.9	0.970	0.36	800.00	2597.10	258.78
1.0	1.000	0.40	800.00	2677.42	270.35
1.1	0.980	0.44	800.00	2623.87	262.64
1.2	0.920	0.48	800.00	2463.23	239.50
1.3	0.840	0.52	800.00	2249.03	208.66
1.4	0.750	0.56	800.00	2008.07	173.96
1.5	0.650	0.60	800.00	1740.32	135.41
1.6	0.570	0.64	800.00	1526.13	104.56
1.8	0.430	0.72	800.00	1151.29	101.17
2.0	0.320	0.80	800.00	856.77	16.35
2.2	0.240	0.88	800.00	642.58	0.00
2.4	0.180	0.96	800.00	481.94	0.00
2.6	0.130	1.04	800.00	348.06	0.00
2.8	0.098	1.12	800.00	262.39	0.00
3.0	0.075	1.20	800.00	200.81	0.00
3.5	0.036	1.40	800.00	96.39	0.00
4.0	0.018	1.60	800.00	48.19	0.00
4.5	0.009	1.80	800.00	24.10	0.00
5.0	0.004	2.00	800.00	10.71	0.00
Volumen Total					2347.71

Fuente: Propia

Gráfica 3 Balance de masas almacenamiento 3



Fuente: Propia

Tabla 26 Cantidades de Aquacells almacenamiento 3

VOLUMEN DE TORMENTA			
Parámetro	Valor	Unidad	Descripción
Vol. Almacen.	2,347.71	m ³	Volumen de almacenamiento requerido
Largo	80.00	m	Largo del tanque de almacenamiento con AQUACELL
Ancho	10.00	m	Ancho del tanque de almacenamiento con AQUACELL
Alto	3.12	m	Alto del tanque de almacenamiento con AQUACELL
No Capas	8.00	un	Número de Capas con AQUACELL que tendrá el tanque
Vol. AQUACELL	2,368.00	m ³	Volumen con las unidades de AQUACELL
AQUACELL	12,800.00	un	Cantidad de unidades de AQUACELL

Fuente: Propia

Los caudales retenidos se simularon en la red existente de alcantarillado pluvial, el caudal retenido (Q_{retenido}) disminuye el caudal aguas debajo de la red y el (Q_{salida}) es el que se entrega de manera controlada al sistema de alcantarillado, en donde se pudo evidenciar que la relación Q/Q_0 se logró optimizar, logrando de

esta manera que la problemática por inundación en los eventos de precipitación mejore y así no se afecte la comunidad. La simulación se encuentra en el Anexo (Simulación con depósitos de Retención)

$$Q_{\text{diseño}} = Q_{\text{retenido}} + Q_{\text{salida}}$$

El caudal de salida es el que se devuelve a la red de alcantarillado, por consiguiente los caudales aguas abajo no transportaran el caudal que ha sido almacenado, mejorando la gestión de los colectores aguas abajo.

La localización de los depósitos se encuentra en los planos “Localización de Depósitos de Retención” que corresponden con el Anexo (Planos de diseño)

RECOMENDACIONES CONSTRUCTIVAS

El sistema AquaCell está formado por módulos de polipropileno que unidos entre si forman una estructura autoportante. Esta estructura cuando se recubre con un geotextil permite que el agua almacenada en su interior salga hacia afuera infiltrándose en el terreno. El geotextil impide que los áridos entren en el depósito colmatándolo. Si se recubre el depósito con una geomembrana (Lámina de PVC o PE), el agua no se infiltra en el terreno y queda retenida en el interior del depósito.

Los principales requisitos para la instalación de AquaCell son proporcionar:

- Nivelado de la base sobre la que se va a construir el sistema.
- Relleno adecuado de calidad, correctamente compactado.

A continuación indicamos las recomendaciones a tener en cuenta para la manipulación y almacenamiento de las unidades de AquaCell en la obra:

- Proteja las unidades de las fuentes directas de luz y calor, como por ejemplo el sol.
- Coloque los palets de Aquacell en el terreno, no apile las unidades individualmente.
- Cuando apile unidades sueltas, NO apile más de dos unidades en altura.
- Aunque las unidades de AquaCell contienen un inhibidor para proporcionar resistencia a los rayos ultravioleta durante un máximo de 6 meses, evitar el almacenamiento prolongado en la luz solar directa.

- NO almacene unidades cerca de las cisternas de combustible, tanques de combustible o cualquier otro disolvente.
- Aunque las unidades son robustas y resistentes a los golpes cuando se manejan normalmente, almacenar en lugares donde se puedan evitar los impactos de los vehículos. Individualmente las unidades AquaCell pesan 9kg, y por lo que normalmente se pueden manejar sin riesgos en la obra.

Instalación depósito de atenuación/acumulación:

A continuación se expone un procedimiento resumido paso a paso para la instalación de un sistema diseñado para la atenuación/almacenamiento.

Pre-instalación: las tuberías que aportan el flujo de entrada al depósito deben estar conectadas en el nivel de la base de la estructura AquaCell.

Orden de ejecución: los pasos a seguir para preparar el hueco donde se va a instalar el depósito de atenuación/acumulación son:

- Excavar un hueco que permita realizar la correcta compactación de la planta y los lados.
- La base del hueco debe tener una superficie suave y estar a nivel.
- Las paredes laterales del hueco se deben ejecutar con un ángulo seguro, o apoyo adecuado.
- Verifique la ausencia de material blando en la base del hueco. Si existiese asegúrese de retirarlo y rellenar con material de relleno granular.
- Extender una capa de arena de un espesor de 100 mm, nivelar y compactar.
- Coloque el geotextil protector en los laterales y hueco del depósito, dejándolo preparado para cubrir la parte superior.
- Extienda la geomembrana sobre el geotextil de protección alrededor del hueco del depósito, cubriendo la base y los laterales. Deje preparado para cubrir la parte superior del depósito. Verifique que las soldaduras están perfectamente ejecutadas.

- Recubra la geomenbrana con una nueva capa de geotextil, que protegerá la geomenbrana de las aristas del depósito y fuerzas interiores.
- Instale las unidades de AquaCell paralelos entre sí en forma de “pared de ladrillo”, según sea necesario, garantizando que:
- Se evitan juntas verticales continuas.
- Verifique que las marcas preparadas para el acceso de las tuberías están en la situación correcta para las tuberías de entrada y salida.
- Los clips de unión están colocados uniendo entre si unidades de un mismo nivel.
- Los clips y los conectores verticales permiten la unión de capas de distinto nivel.
- Complete la instalación de las capas de geotéxtil y de la geomembrana, verificando que la parte superior queda perfectamente cubierta.
- La geomenbrana debe ser instalada por un profesional, realizando doble costura y verificando la perfecta soldadura.
- Rellene el hueco alrededor de instalación con material adecuado, compactando en capas cada 150mm.
- Coloque una gruesa capa de arena en la parte de arriba del depósito, protegiendo las unidades.
- Continúe el relleno con: (Zonas de tráfico - AquaCell) material de sub-base compactado en capas de 150mm. (Zonas ajardinadas - AquaCell) Con el material de excavación siempre que sea menor de 75 mm y con un grado de compactación del 90%.

NOTA: la compactación sobre la parte superior del sistema Aquacell no debe superar los 2300kg por metro². Complete la construcción de pavimentos y jardinería sobre el sistema instalado.

9. CONCLUSIONES

- La combinación del desarrollo urbano y precipitaciones intensificadas por el cambio climático puede crear serios problemas dentro de la comunidad, debido al acumulo de aguas pluviales que puede ser evitable, utilizando estrategias de menor costo que pueden llegar a ser la solución a los factores de riesgo al cual está sometida la población gracias a las urbanizaciones de áreas de zonas verdes como es el caso del barrio el Recodo de la zona de Fontibón quien es nuestro objeto de estudio.
- Se concluye que después de realizar una revisión sistemática en diversas fuentes bibliográficas referente al tema de SUDS, fue posible conocer la gran variedad de técnicas no convencionales que han surgido como alternativa a las deficiencias de los sistemas convencionales para la recolección y transporte de aguas lluvias, también se pudo determinar los múltiples beneficios de la implantación adecuada de estos sistemas en diversos escenarios. Estas técnicas de gran aceptación y aplicación en muchos países surgieron en respuesta a los problemas asociados al crecimiento de las ciudades, a la impermeabilización del suelo, a la limitación de los sistemas existentes de drenaje, semejante a la situación que se está presentando en el barrio el Recodo.
- La población del Fontibón está proyectada para la construcción de nuevos planes urbanísticos aumentando su expansión y esto hace que se incrementen las superficies impermeables y con ello los volúmenes de escorrentía generando mayor presión y demanda no solo sobre la infraestructura de drenaje existente sino también sobre las fuentes receptoras, en este contexto se planteó este proyecto que pretende dar solución a la problemática y así evitar las inundaciones.
- Por último se puede concluir que mediante la implementación y simulación del modelo hidráulico fue posible verificar el funcionamiento del sistema una vez implantado el estanque de detención, con la ventaja de simular el flujo tanto en la red como en el depósito de forma conjunta e interactiva, determinando el volumen necesario para un evento específico y comprobando la funcionalidad de los demás elementos que conforman el sistema, incluida la entrega regulada a la red existente.

10.RECOMENDACIONES

Teniendo como base la problemática hallada en el barrio el Recodo población objeto de estudio y después de realizados los cálculos de las áreas, redes y caudales de la red de alcantarillado pluvial del barrio, y posteriormente una revisión sistemática sobre la viabilidad de la implementación de un sistema de SUDS que le proporcione mayor funcionamiento a esta red de alcantarillado para poder evitar la inundaciones y los diversos factores de riesgo que esto genera a la comunidad, el grupo de pregrado de ingeniería civil de la universidad La Gran Colombia, plantea como recomendación la implementación de un tipo de SUDS el cual ha sido diseñado en base a lo analizado y a la información recolectada durante todo el desarrollo del proyecto, este modelo se plantea en el punto de diseño, y en él se tuvieron en cuenta criterios ambientales, sociales, técnicos, económicos, urbanísticos e institucionales pudiendo cumplir así con las normas legales vigentes, en pro del beneficio de la comunidad y la disminución de costos.

No obstante la adopción de criterios con fines de diseño y regulación de las diferentes tipologías de SUDS por parte de las distintas entidades ambientales y territoriales se ven claramente influenciada por el nivel de conocimiento que se tenga del desempeño real, para lo cual se debió realizar una revisión documental de investigaciones que incluyeran la revisión de casos y experiencias internacionales adaptándolas al contexto nacional.

Para la Universidad - facultad: Continuar apoyándose e incentivando el desarrollo de tesis en el área de hidrotecnia a los estudiantes de pregrado, lo cual permite abarcar un mayor conocimiento y conocer otra opción de campo laboral interesante para el ingeniero civil.

Para el barrio: Tener en cuenta el diseño de SUDS planteado en la tesis y llevarlo a la práctica, para proporcionar un mejor funcionamiento a la red de alcantarillado pluvial que tienen y así poder evitar factores de riesgo como son las inundaciones y la contaminación.

Para los estudiantes: La disciplina y la responsabilidad permite alcanzar objetivos, se debe ser más organizados y trabajar en equipo para la construcción de nuevas ideas.

11. BIBLIOGRAFIA

RAS 200, Titulo E. Normas y publicaciones REGLAMENTO TÉCNICO DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BASICO].

HERNÁNDEZ, Sampieri Roberto. Metodología de la Investigación: Capitulo 6, Diseños experimentales de investigación. Mc Graw Hill. México, 1994.

HOYOS, Fabian. Exploración del subsuelo y caracterización geotécnica del terreno. [En línea] <http://www.bdigital.unal.edu.co/53/>. [consultado el 27 de Abril de 2014].

INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. Investigación de Suelos y Rocas para fines de Ingeniería. Bogotá: INVIAS, 11 p.: il. (INV E-101).

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN, ICONTEC. Servicios [En línea]. <http://www.icontec.org/index.php/es/inicio/comites-tecnicos-de-normalizacion>. [consultado el 28 de Abril de 2014].

UNIVERSIDAD LA GRAN COLOMBIA. Dirección de Investigaciones. Guía unificada para la presentación de propuestas y anteproyectos de investigación. Bogotá.

ROMERO, Alberto. Tratamiento de aguas residuales, Capitulo 10 Principios del tratamiento biológico.

BERTONI, J. C., & CATALINI, C. G. (2001). Representation of infiltration and exfiltration processes in two types of infiltration drainage devices using the SWMM model.

BERTONI J.C.; CATALINI C.G. (GRAIE, Lyon, France, 2007)

SANTA Adriana & QUINTERO José. (2010). Desempeño hidráulico y ambiental de un modelo de trinchera de retención utilizada como componente del drenaje urbano, p11.

Tomado de experiencias Aquacell, INGENIERO DE DISEÑO Y PROYECTOS, OSCAR J CORTES R. (2016)4.

Del libro Urban Drainaje segunda edicion y David Buther y Jhon Davier ver capítulo 13

CICLO DEL AGUA. [En línea] <http://water.usgs.gov/edu/watercyclespanish.html>
[consultado el 27 de Abril de 2014].