OPTIMIZACIÓN DE LA RED DE ALCANTARILLADO SANITARIO Y PLUVIAL EN EL BARRIO SAN DIEGO, IBAGUÉ -TOLIMA.

JUAN DAVID SARMIENTO FORERO
ANDERSON MOLINA RUSSY
RICARDO ESTEBAN NAVARRO DIAZ

UNIVERSIDAD COOPERATIVA DE COLOMBIA
CAMPUS IBAGUÉ ESPINAL
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
IBAGUÉ
2020

Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0 Internacional.

OPTIMIZACIÓN DE LA RED DE ALCANTARILLADO SANITARIO Y PLUVIAL EN EL BARRIO SAN DIEGO, IBAGUÉ-TOLIMA.

JUAN DAVID SARMIENTO FORERO
ANDERSON MOLINA RUSSY
RICARDO ESTEBAN NAVARRO DIAZ

TRABAJO DE GRADO

JUAN PABLO LEYVA LONDOÑO
INGENIERO CIVIL
HUGO ANDRÉS MORALES CALDERÓN
INGENIERO CIVIL

UNIVERSIDAD COOPERATIVA DE COLOMBIA
CAMPUS IBAGUÉ ESPINAL
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
IBAGUÉ
2020

Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0 Internacional.

Nota de aceptación:

_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____

_____
Firma del jurado 1

_____
Firma del jurado 2

Ibagué (día, mes, año)

DEDICATORIA

El presente trabajo investigativo lo dedicamos principalmente a Dios, por ser el inspirador y darnos fuerza para continuar en este proceso de obtener uno de los logros más esperados, a nuestros padres, por su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años, gracias a ellos hemos logrado llegar hasta esta instancia y convertirnos en lo que somos. También a todas las personas que nos han apoyado y han hecho que el trabajo se realice con éxito, en especial a aquellos que nos abrieron las puertas y compartieron con nosotros sus conocimientos.

AGRADECIMIENTOS

Anderson Molina Russy: En esta ocasión me gustaría agradecerles a mis padres por los valores enseñados desde la casa, brindándome la oportunidad de formarme como profesional, apoyarme en cada decisión y proyecto que de alguna u otra manera dejaban una experiencia que sin el apoyo de ellos no hubiera salido bien, a Dios por la sabiduría en los momentos más difíciles que me permitieron adquirir y desarrollar conocimientos para alcanzar los objetivos que en cada semestre se presentaban, por la salud en todos los momentos de la carrera tanto a mi como la de mis padres.

Juan David Sarmiento: En estas líneas quisiera agradecer principalmente a Dios por dotarme de las cualidades y persistencia para estar en el punto donde hoy me encuentro, de igual manera a mis padres por su compañía y apoyo incondicional en cada paso que he dado, además de sus enseñanzas que fortalecen mi espíritu para dotarme como un buen profesional. Sin más preámbulo agradecer a todos mis colegas y compañeros que me han acompañado en este camino, en especial a Anderson Molina y Ricardo Navarro, que hemos conformado un equipo consolidado y a nuestro tutor Hugo Morales por el tiempo y orientaciones brindadas en este proceso. Así mismo, deseo expresar mi reconocimiento a la Universidad Cooperativa de Colombia por todo el conocimiento adquirido.

Ricardo Esteban Navarro Díaz: En primera instancia quiero agradecer a Dios por brindarme cada una de las capacidades como persona y profesional, a él, por bendecirme, guiarme y sostenerme en los momentos difíciles. A mis padres y a familia por ser ese apoyo incondicional en mi vida, por siempre estar a mi lado, guiándome, enseñándome y sosteniéndome a lo largo de esta etapa, a mis amigos por ser armazón a lo largo de la carrera, por sembrar en mi cada uno de sus conocimiento y por permitirme brindarles a ellos cada una de mis capacidades y por último y nos menso importante a la institución Universidad Cooperativa de Colombia y cada uno de los profesionales que hacen parte de ella, en formarme como profesional, en brindar sus conocimientos, actitudes y valores para convertirme en la persona que hoy soy.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN 10
INTRODUCCIÓN 11
1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA 12
2. JUSTIFICACIÓN 14
3. OBJETIVOS 15
3.1. Objetivo general 15
3.2. Objetivos específicos 15
4. MARCO TEÓRICO 16
4.1 Enfoques teóricos sobre la optimización de la red de alcantarillado sanitario y pluvial 16
4.2 Avances en el desarrollo de red de alcantarillado a través de sistemas de información 17
4.3 Marco geográfico 20
5. METODOLOGÍA 23
5.1 Objeto de estudio 23
5.2 Diseño de la red de alcantarillado del barrio san diego 24
5.2.1 Fase I. 25
5.2.2 Fase II. 25
5.2.3 Fase III. 30
5.2.4 Fase IV. Levantamiento topográfico 32
5.3 Trazado de la red del alcantarillado 35
6. RESULTADOS 41
6.1 Trazado de la red del alcantarillado. 41
6.2 Datos iniciales 41
6.3 Diseño y pendientes 41
6.4 Áreas tributarias 42
6.5 Caudales de aguas residuales 44
6.6 Factor de mayoración 44
6.7 Caudal máximo horario 45
6.8 Caudal de aguas residuales por conexiones erradas 46
6.9 Caudal por infiltraciones 46

6.10 Caudal de diseño 47
6.11 Modelación del Software SWMM 49
6.12 Presupuesto red de alcantarillado combinado 55
7. CONCLUSIONES 57
8. RECOMENDACIONES 58
BIBLIOGRAFÍA 59

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Red de alcantarillados convencionales. 16
Tabla 2. Red de alcantarillados no convencionales. 17
Tabla 3. Datos iniciales 41
Tabla 4. Datos para el diseño y sus respectivas pendientes 41
Tabla 5. Cotas rasantes en cada tramo 42
Tabla 6. Áreas tributarias para cada tramo 43
Tabla 7. Caudales de aguas residuales domésticas, industriales, comerciales e institucionales. 44
Tabla 8. Factores de mayoración para cada tramo..... 45
Tabla 9. Caudales máximos horarios de cada tramo. 45
Tabla 10. Caudales de aguas residuales por conexiones erradas de cada tramo.46
Tabla 11. Caudal por infiltraciones para cada tramo..... 46
Tabla 12. Caudal de diseño para cada tramo 47
Tabla 13. Caudal de diseño Red alcantarillado combinado. 47
Tabla 14. Información base obtenida mediante el levantamiento topográfico 52
Tabla 15. Presupuesto Red de alcantarillado combinado 56

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Modelo de entrada SWMM 18
Ilustración 2. Mapa localización de la ciudad de Ibagué. 20
Ilustración 3. Mapa sección a tratar, barrio San Diego de la ciudad de Ibagué. .. 22
Ilustración 4. Mapa urbanismo, comuna 2 de la ciudad de Ibagué. 23
Ilustración 5. Metodología del Diseño de la red de Alcantarillado. 24
Ilustración 6. Censo poblacional 26
Ilustración 7. Estación pluviográfica LA ESMERALDA 30
Ilustración 8. Curvas IDF: Estación LA ESMERALDA 31
Ilustración 9. Levantamiento topográfico, pozos. 32
Ilustración 10. Levantamiento topográfico, toma de puntos con bastón. 33
Ilustración 11. levantamiento topográfico, canal. 34
Ilustración 12. Barrio San Diego, diseño AutoCAD. 35
Ilustración 13. Dotación neta máximo por habitante según la altura sobre el nivel del mar. 36
Ilustración 14. Trazado de la red del alcantarillado. 41
Ilustración 15. Áreas tributarias para cada tramo (AutoCAD) 42
Ilustración 16. Áreas referentes a cada tramo 43
Ilustración 17. Mapa topográfico 49
Ilustración 18. Elementos de alcantarillado 1 50
Ilustración 19. Elementos de alcantarillado 2 51
Ilustración 20. Área de aferencia y sub cuencas 52
Ilustración 21. Configuración serie de tiempo 53
Ilustración 22. Perfil de elevación 54
Ilustración 23. Resultados de la simulación 54

RESUMEN

Las redes de alcantarillado son catalogadas como uno de los servicios básicos e indispensables en una comunidad, debido al tratamiento de las aguas residuales. Estas son de vital importancia para el desarrollo de una comunidad, debido a que el tratamiento de dichas aguas no solo puede afectar nuestra salud sino también el medio ambiente. Es por esta razón que se debe implementar una red de alcantarillado que cumpla con todos los requisitos establecidos, ya que este sector del barrio San Diego es uno de los tantos sitios que posee una red de alcantarillado obsoleta (presenta diferentes falencias y patologías) debido a los materiales en los cuales se ha construido y a la vetustez de la misma, el proyecto de optimización de la red de alcantarillado pluvial y sanitario se realizará con el fin de mejorar la calidad de vida de los habitantes de esta población.

El diseño propone una red de alcantarillado que cumpla con lo definido en la Resolución 0330 del 2017 (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2017), con el fin de tratar una problemática que lleva dos años aproximadamente en el sector urbano mencionado ya anteriormente, la cual presenta afloramiento de aguas residuales llevando consigo mal olor afectando la comunidad en general, así mismo presenta altos grados de humedad en las viviendas que se encuentran por debajo de la red principal y además afectando la vía principal puesto que ya presenta diversas patologías como lo es la escama de cocodrilo en el pavimento. Se busca con este proyecto mitigar todos los efectos producidos por el drenaje del agua evacuando correctamente las aguas pluviales y servidas generadas por la población.

INTRODUCCIÓN

En este documento se presenta la investigación de trabajo de grado con el propósito de optar al título de Ingeniera Civil.

En la actualidad, la ciudad de Ibagué presenta una variedad de problemas respecto a las redes sanitarias y pluviales existentes, ya que muchas de estas han llegado a su colapso debido a que la ciudad ha crecido y a raíz de esto su población ha aumentado. La densificación urbana se considera uno de los factores más importantes en algunas de las zonas más antiguas de la ciudad, como lo es el barrio San diego, donde también se adjunta la antigüedad de los sistemas de redes. Se efectúa este trabajo con el fin de concebir soluciones de lo que implicaría la densificación del barrio San diego al sistema de alcantarillado sanitario y pluvial para la nueva población.

Asimismo, se instauran los protocolos y parámetros a seguir para ejecutar el estudio y determinación de la red de alcantarillado sanitario y pluvial del barrio, con la ayuda de encuestas realizadas en la zona, artículos científicos y conocimientos previos adquiridos a lo largo de la carrera.

El siguiente escrito presenta una de serie de apartados que apoyan el desarrollo de los objetivos instaurado en este mismo trabajo. El proceso de optimización de la red de alcantarillado sanitario y pluvial de la zona estuvo basado en el Reglamento Técnico del sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS) y el software SWWM como modelador del sistema de alcantarillado.

1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La ciudad de Ibagué cuenta actualmente con aproximadamente 514.101 habitantes (DANE, 2020), de los cuales 488 pertenecen al barrio San Diego, los habitantes de esta localidad cuentan con un sistema de alcantarillado y manejo de aguas residuales deficiente, lo cual genera un grave problema, tanto ambiental como en la salud pública para los habitantes de esta comuna perjudicando de tal manera que los vertimientos de dichas aguas afloran a la calle principal, llevando consigo un problema importante de saneamiento afectando a la salud pública de la comunidad.

Dicha problemática se evidencia en diferentes zonas del tramo principal, el cual se hará enfoque en este proyecto. Estas patologías se manifiestan de diversa forma por todo el sector, afectando no solo al exterior e interior de las viviendas, sino también al pavimento de las calles y las alcantarillas ya existentes. Evidenciando las consecuencias que resultan al no tratar adecuadamente las aguas residuales y pluviales, similar al caso ocurrido en febrero de 2018 en la ciudad de Santa Marta por las malas acciones que tuvo la empresa Metroagua al tratar ineficientemente las necesidades de aguas servidas y residuales de la ciudad, llevando consigo inundaciones en las calles y viviendas tras la época de lluvias, aflorando las aguas negras tras el taponamiento del alcantarillado. (Paola Benjumea Brito, 2018) Actualmente la problemática se solucionó un 80% al ceder la administración a la empresa de servicios públicos Essmar, interviniendo adecuadamente prestando correctamente el servicio a la comunidad.

El tramo principal a tratar del barrio San Diego se ubica en la carrera 11ª # 5ª (véase ilustración 3), donde el alcantarillado existente presenta incongruencias en el espesor de la tubería y a su vez, están construidos con material inconsistente que no hace parte de la resolución 0330 del 2017 (Ministerio de Vivienda, ciudad y Territorio, 2017).

Estas patologías mencionadas anteriormente resaltan uno de los causantes principales, que es el deterioro presente en la tubería de alcantarillado principal y el desgaste de los materiales utilizados en dicha construcción. Este desgaste provoca que las aguas residuales no se traten en su totalidad, y gran parte de ellas se filtren hacia las viviendas de la carrera 11ª provocando grandes daños a la fachada de las mismas.

Una de las quejas principales de los habitantes del barrio San Diego, se debe a la emisión constante de fuertes olores, los cuales ellos mismos describen como fétido y nauseabundo, alusivo a los residuos que evacua cada una de las viviendas.

Éste inconveniente ha afectado a la comunidad hace ya varios años (desde el año 2018), para lo cual el presidente de la junta de acción comunal se ha pronunciado debidamente hacia la empresa encargada de tratar y solucionar estos inconvenientes (IBAL) sin una respuesta favorable.

2. JUSTIFICACIÓN

El presente proyecto de grado que tiene por nombre, “OPTIMIZACIÓN DE LA RED DE ALCANTARILLADO SANITARIO Y PLUVIAL EN EL BARRIO SAN DIEGO, IBAGUÉ-TOLIMA”, acepta el compromiso de aportar a la comunidad nombrada anteriormente, un diseño de alcantarillado (combinado) teniendo en cuenta lo definido en la Resolución 0330 (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2017).

Debido a que en esta parte del sector se evidencia un problema que consiste en la falta de un sistema de alcantarillado que garantice la correcta evacuación de las aguas residuales y escorrentía pluvial del sector, puesto que han ido provocando grandes problemas para esta comunidad, de las cuales los habitantes han declarado en cada visita de campo que se realiza; demostrando no solo el inconformismo a esta problemática que a diario se manifiesta en la estructura de las viviendas y pavimento del sector, sino también el malestar físico que genera los fuertes olores ocasionados por el afloramiento de las aguas residuales a la vía pública.

Dicho problema ya ha sido vinculado directamente a las oficinas del IBAL brindando respuestas negativas al tratar este asunto, ya que según los directivos, al tratarse de una construcción realizada por la comunidad, son ellos mismos los que deben solucionarlo.

Por ende se hace indispensable optimizar correctamente la red de alcantarillado mitigando tanto el impacto ambiental generado por las aguas residuales, como las problemáticas de saneamiento básico que se presentan debido al deplorable estado del sistema de tuberías existentes buscando mejorar oportunamente la calidad de vida de los habitantes.

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo general

Realizar la optimización del sistema de alcantarillado del barrio San Diego, que dé solución a la problemática que afecta a esta comunidad, a través del consultorio de ingenierías de la Universidad Cooperativa de Colombia Campus Ibagué-Espinal.

3.2. Objetivos específicos

- Elaborar el diagnóstico del sistema de alcantarillado del barrio San Diego.
- Identificar las alternativas para solucionar los problemas de infiltración y humedades que se presentan en las viviendas.
- Optimizar la red de alcantarillado de acuerdo con la Resolución 0330 de 2017.

4. MARCO TEÓRICO

En el desarrollo del marco teórico se representan los modelos que permiten una optimización de la red de alcantarillado. De esta manera, se indican los enfoques y modelos teóricos que se encuentran en desarrollo con el fin de satisfacer a las diferentes necesidades que se encontraron en el entorno. Por tal motivo, este apartado se enfoca en, dos subcapítulos, el primero de ellos, los modelos de alcantarillado existentes para recibir y evacuar agua, seguido, de estudios que abordan la utilización de herramientas tecnológicas que permiten la modelación de la red.

4.1 Enfoques teóricos sobre la optimización de la red de alcantarillado sanitario y pluvial

En la actualidad existen dos formas para la optimización de la red de alcantarillados, entre los cuales se encuentran las convencionales y las no convencionales, de esta manera se establecen los diferentes tipos de alcantarillado convencionales:

Tabla 1. Red de alcantarillados convencionales.

Tipos	Descripción
Alcantarillado separado	"Red independiente donde se evacua por separado las aguas residuales (sistema diseñado para la captación de aguas residuales e industriales) y las lluvias (sistema diseñado para la evacuación de las aguas estancadas en la superficie, generadas por las precipitaciones)" (Comisión Nacional de agua, 2009).
Alcantarillado combinado	"Red destinada a la recolección y conducción paralelamente de las aguas residuales, domésticas, industriales y pluviales" (Comisión Nacional de agua, 2009).

Fuente: Autores.

Los sistemas de alcantarillado no convencionales se clasifican según el tipo de tecnología aplicada y en general se limita a la evacuación de las aguas residuales:

Tabla 2. Red de alcantarillados no convencionales.

Tipos	Descripción
Alcantarillado simplificado	"Un sistema de alcantarillado sanitario simplificado se diseña con los mismos lineamientos de un alcantarillado convencional, pero teniendo en cuenta la posibilidad de reducir diámetros y disminuir distancias entre pozos al disponer de mejores equipos de mantenimiento" (Comision Nacional de agua, 2009).
Alcantarillado condominiales	Son los alcantarillados que recogen las aguas residuales de un pequeño grupo de viviendas, menor a una hectárea, y las conduce a un sistema de alcantarillado convencional" (Comision Nacional de agua, 2009).
Alcantarillado sin arrastre de sólidos	"Sistemas en los cuales se eliminan los sólidos de los efluentes de la vivienda por medio de un tanque interceptor. El agua es transportada luego a una planta de tratamiento o sistema de alcantarillado convencional a través de tuberías de diámetro de energía uniforme y que, por tanto, pueden trabajar a presión en algunas secciones" (Comision Nacional de agua, 2009).

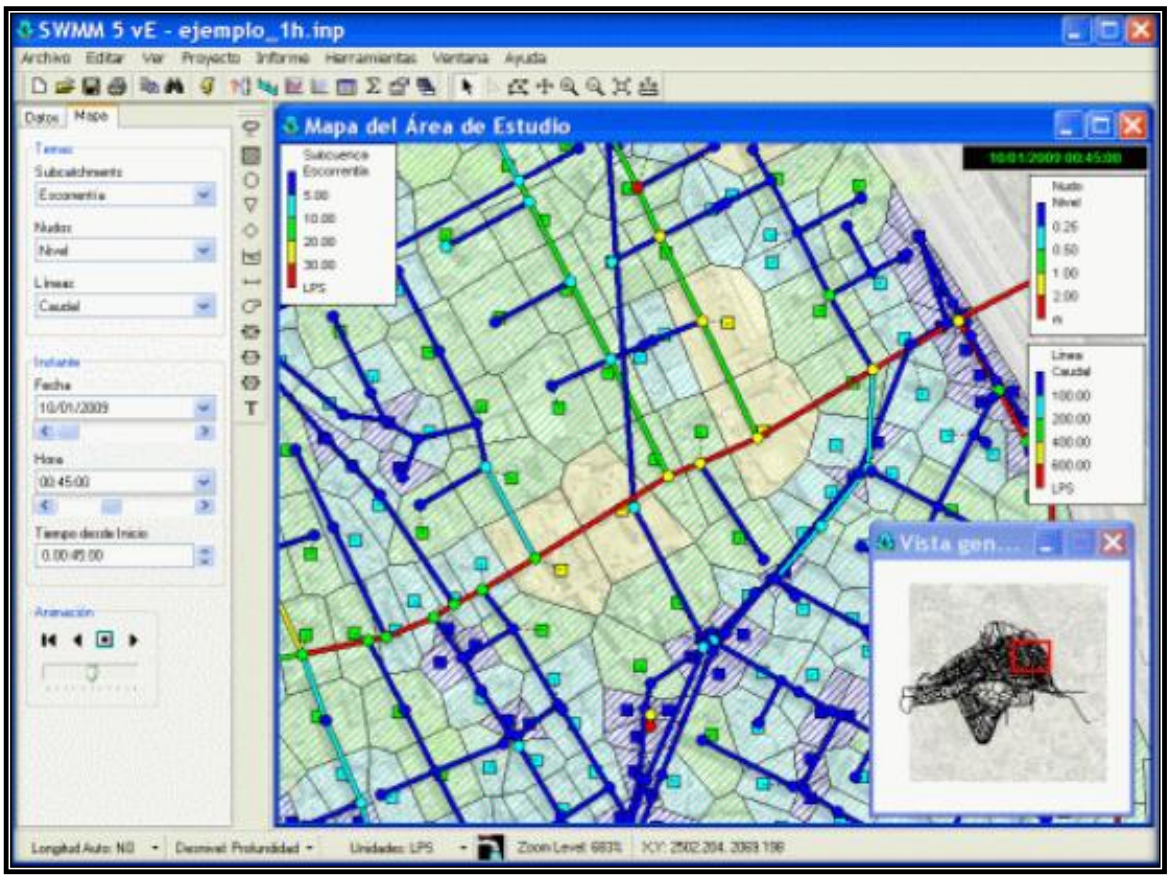
Fuente: Autores.

4.2 Avances en el desarrollo de red de alcantarillado a través de sistemas de información

En auge de las tecnologías de la información y comunicación TIC, se convierten en herramientas de vital importancia para el desarrollo de las operaciones y procesos de la actividad comercial, de tal manera para la optimización de red de alcantarillado el uso de estas herramientas facilitan en la representación del comportamiento y ejecución del sistema de drenaje, por lo cual, existen diversos programas con el fin de validar y simular la información de caudales interactuando con elementos que permitan mejorar el proceso.

De esta manera, uno de los Software utilizados es el Stormwater Management Model (modelo de gestión de aguas pluviales) de la (SWMM), es un modelo dinámico de simulación de precipitaciones, que se puede utilizar para un único acontecimiento o para realizar una simulación continua en periodo extendido. El programa permite simular tanto la cantidad como la calidad del agua evacuada, especialmente en alcantarillados urbanos (Vargas Valvuena, 2013).

Ilustración 1. Modelo de entrada SWMM



Fuente: *(Vargas Valbuena & Villegas Angarita, 2003)*

Algunas de las características que hacen al software distinguido frente a los otros en el mercado son sus distintos procesos hidrológicos que se generan en la salida de las aguas urbanas. Entre los cuales podemos encontrar:

- Precipitaciones variables en el tiempo
- Evaporación de las aguas superficiales estancadas
- Acumulación y deshielo de nieve
- Intercepción de precipitaciones por almacenamiento en depresiones
- Infiltración de las precipitaciones en capas del suelo no saturadas
- Entrada del agua de la infiltración en acuíferos
- Intercambio de flujo entre los acuíferos y el sistema de transporte
- Modelo de depósitos no lineales para el flujo superficial

Asimismo, SWMM ofrece un conjunto de herramientas de modelación que permite estudiar el flujo tanto superficial como de los aportes externos de caudal a través de las diferentes redes como lo son los canales, tuberías y demás estructuras:

- Manejar redes de tamaño ilimitado
- Utilizar una amplia variedad de geometrías para las conducciones
- Modelar elementos especiales como unidades de almacenamiento y tratamiento, divisores de flujo, bombas, vertederos y orificios
- Aplicar caudales externos y concentraciones para determinar la calidad del agua de las aguas superficiales
- Realizar el análisis hidráulico por distintos métodos
- Modelar distintos regímenes de flujo
- Aplicar controles dinámicos definidos por el usuario para simular el funcionamiento de las bombas

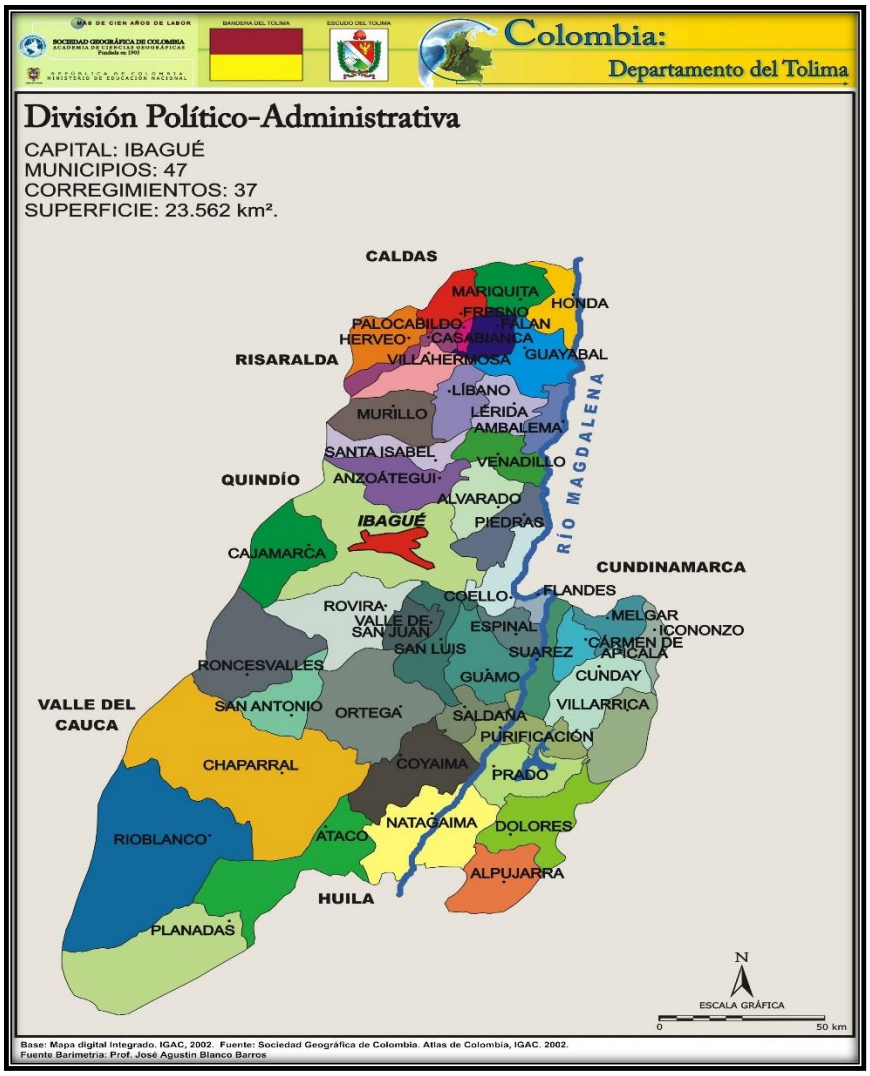
De igual forma se encuentra similitudes de estudios realizados ya con anterioridad, los cuales consisten en el análisis del comportamiento hidráulico de la red superficial de drenaje (calles) y de la red subterránea (alcantarillado), y la interacción entre ambas a través del intercambio de flujos se conoce como Drenaje Dual Urbano, y es un interesante punto de vista dentro de la investigación en drenaje urbano, pues considera la modelización simultánea de las dos redes hidráulicas interconectadas dinámicamente entre sí. En este trabajo se presenta una metodología para modelar el drenaje dual urbano usando el código de cálculo SWMM 5.0. (Cocha Jopia & Gomez Valentin, 2011), el cual es de vital importancia para poder lograr una respuesta detallada sobre los flujos que se trabajarán.

4.3 Marco geográfico

Ibagué es un municipio colombiano ubicado en el centro-occidente de Colombia, sobre la Cordillera Central de los Andes entre el Cañón del Combeima y el Valle del Magdalena, en cercanías del Nevado del Tolima.

Es la capital del departamento de Tolima. Se encuentra a una altitud promedio de 1285 m.s.n.m; su área urbana se divide en 13 comunas y su zona rural en más de 17 corregimientos, 144 veredas y 14 inspecciones. (Enciclopedia libre, 2020)

Ilustración 2. Mapa localización de la ciudad de Ibagué.



Fuente: (Sociedad geográfica de Colombia , 2002)

4.5.1 Localización – Relieve

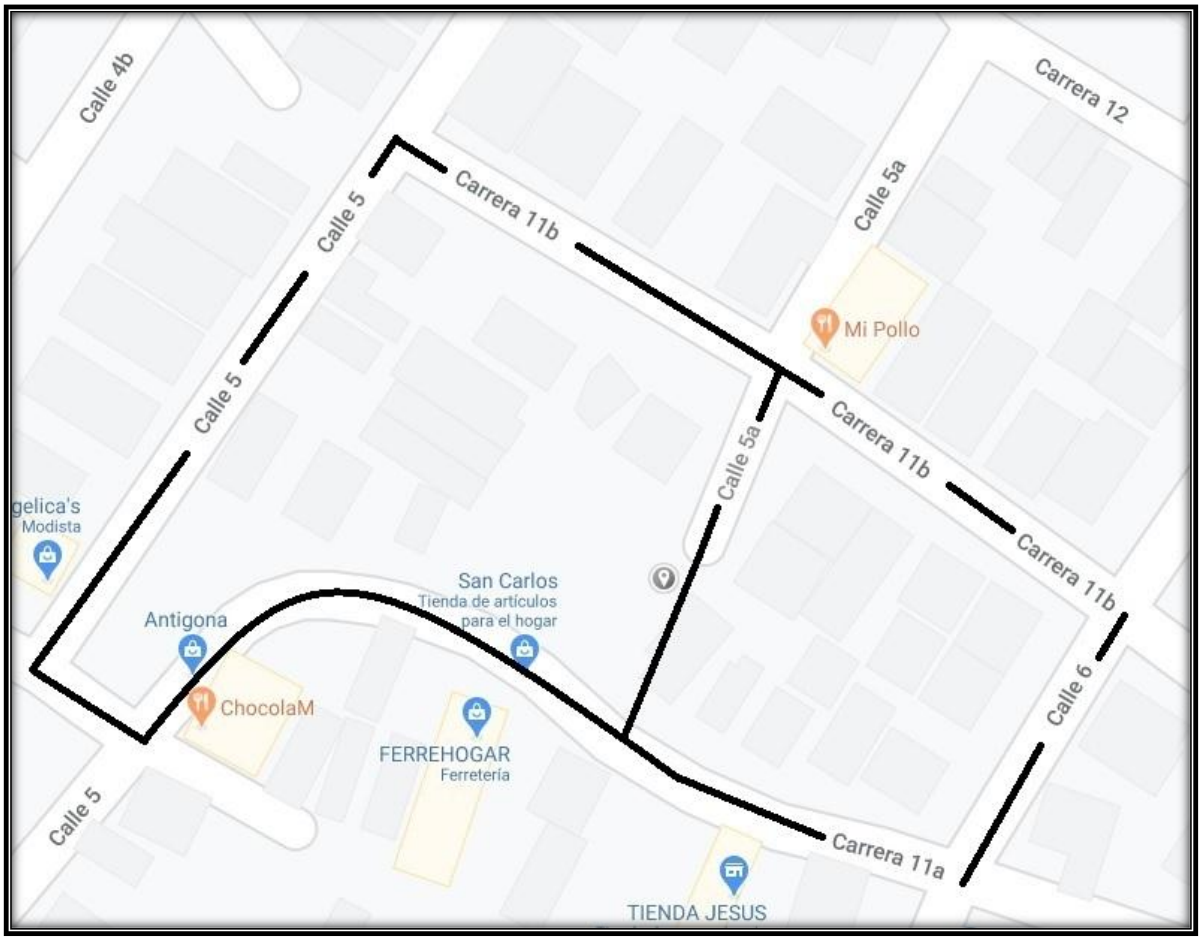
Capital del departamento del Tolima localizada a 1285 metros sobre el nivel del mar con una temperatura media de 21ºC. Su área municipal cubre 1498 Km² los cuales se distribuyen en una zona montañosa que se extiende por la cordillera central y una amplia zona plana conocida como la meseta de Ibagué. Limitada al norte con Anzoátegui y Alvarado, al oriente con Piedras y Coello, al sur con San Luis y Rovira, al occidente con Cajamarca y los departamentos de Quindío y Risaralda. Por estar situado en la región del ecuador terrestre, no presenta ciclo estacional, pero su área rural disfruta de todos los niveles térmicos de montaña. (Alcaldía municipal de Ibagué)

4.5.2 Hidrología

La hidrografía del Tolima está compuesta por tres ejes vitales: el río Magdalena, que atraviesa el departamento de sur a norte; la cuenca del río Saldaña, y el embalse de Hidroprado, en el municipio de Prado. También se destaca la cuenca del río Coello.

La ubicación del departamento en las laderas del Parque Nacional Natural de Los Nevados, convierte a Ibagué en un municipio cabecera de aguas para buena parte del centro del Tolima. Forma parte de cuatro sistemas hídricos (subcuencas de los ríos Combeima, Chípalo, Alvarado y Opia) donde los ríos Alvarado, la China y Chípalo drenan sus aguas al río Totare; los ríos Combeima y el Cocora vierten sus aguas al río Coello y el río Opia desemboca en el Magdalena. (Monumentos de Ibagué, 2008).

Ilustración 3. Mapa sección a tratar, barrio San Diego de la ciudad de Ibagué.



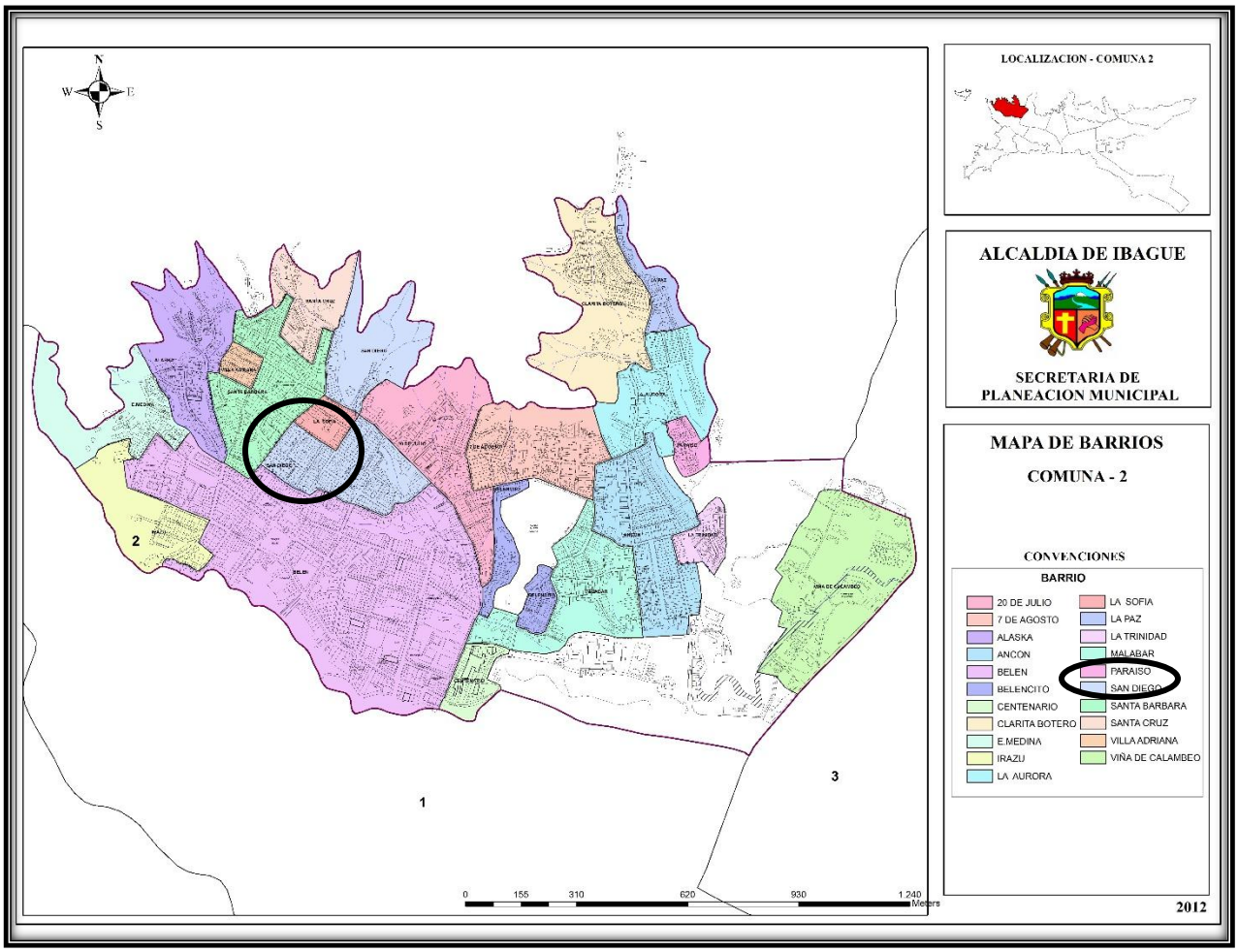
Fuente: (Google Maps, 2020)

5. METODOLOGÍA

5.1 Objeto de estudio

El barrio San Diego se encuentra ubicado al noroccidente de la ciudad de Ibagué (véase ilustración 4), se localiza en la comuna 2, entre los barrios Belén y Santa Bárbara reconociéndose como uno de los sectores más antiguos de la ciudad.

Ilustración 4. Mapa urbanismo, comuna 2 de la ciudad de Ibagué.



Fuente: (Google Maps, 2020)

La reseña histórica del barrio inicia con tres familias fundadoras, una de ellas son la familia Cabrera Forero, los cuales expresaron en una de las visitas de campo el origen del alcantarillado existente en este tramo del barrio. El cual fue una construcción civil por parte de los habitantes del sector, donde el señor Querubin

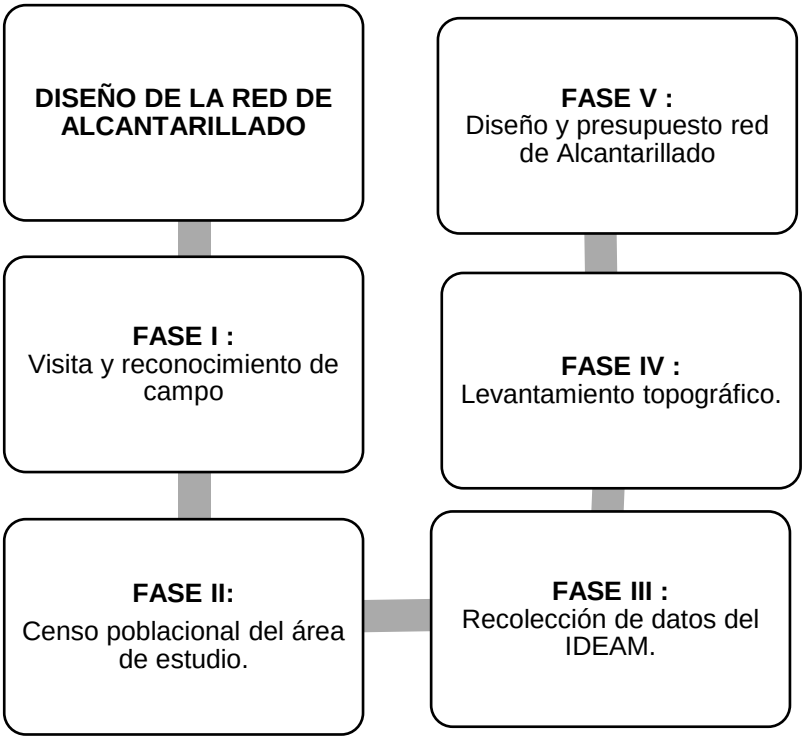
Cabrera al construir la primera vivienda diseñó su propio drenaje de agua residual que descolaba en un arroyo aledaño. Dicha idea fue utilizada por los vecinos, donde conectaron su drenaje a la tubería principal construida por el señor Querubín. Ya en el año 1991 se presenta un importante problema sanitario debido

a que una de estas tuberías colapsa, provocando afloramiento de residuos orgánicos a la vía publica llevando consigo dificultades sanitarias a toda la comunidad por aproximadamente una semana mientras se corregía dicho problema.

Ya reparada la tubería se presentan más inconvenientes de esta índole a lo largo de los años, en consecuencia, a que la construcción fue realizada sin ningún tipo de requisito regido por alguna norma vigente.

5.2 Diseño de la red de alcantarillado del barrio san diego

Ilustración 5. Metodología del Diseño de la red de Alcantarillado.



Fuente: Autores.

5.2.1 Fase I. Visita y reconocimiento de campo

El barrio San Diego se encuentra ubicado, al Noroeste del municipio de Ibagué, departamento del Tolima, la comunidad pertenece en su mayoría a los estratos 1 y 2 por lo tanto se considera una comunidad vulnerable.

En una primer visita realizada se planteó por parte del representante de la acción comunal la problemática presente en el barrio; se logró identificar que el problema se refiere a la red de alcantarillado existente, ya que este fue construido hace más de 70 años por los mismos habitantes del sector y fue realizado con materiales que actualmente no son permitidos por la norma vigente. Llevando consigo problemas sanitarios al no presentar un diseño adecuado en su estructura (se puede apreciar en los diámetros establecidos por la resolución 0330 del 2017) afectando considerablemente gran parte de las viviendas por problemas de humedad además de los malos olores ocasionados por la ineficiencia del drenaje de las tuberías.

5.2.2 Fase II. Censo poblacional

Debido a la necesidad de disponer de información sobre la cantidad de habitantes que se encuentran en el sector donde se realizara la intervención, en esta fase se desarrolló un pequeño censo de población y vivienda, con el fin de generar información precisa y actualizada de la demografía.

Antes de la realización del censo, se informó a la comunidad de los motivos por los cuales se iba a realizar con el fin de contar con la disponibilidad de ellos; la recolección de información censal se llevó a cabo en un periodo de tiempo corto dentro del cual se tomó la información en formularios (Ver Ilustración 6.) con diferentes preguntas que se realizaban a cada una de las personas que habitaban los hogares del sector, entre estas se solicitaba que las personas encuestadas fueran mayores de edad.

En las casas que se realizaron intervenciones civiles, como la realización de segundos pisos y pasaron de ser hogares unifamiliares a multifamiliares, se realizó la encuesta por separado, pero en la cantidad se asignó un número total para la casa ya que muchas de estas tenían la misma dirección.

Ilustración 6. Censo poblacional

CENSO POBLACIONAL - BARRIO SAN DIEGO

FECHA: 01-sep-20

UNIVERSIDAD COOPERATIVA DE COLOMBIA SEDE IBAGUÉ - ESPINAL

N°	TIPO DE VIVIENDA	DIRECCION	CIUDAD	NOMBRE DEL ENCUESTADO	N° HABITANTES
1	FAMILIAR	CALLE 6 N° 11-59	IBAGUÉ	ALVARO AGUIAR	4
2	FAMILIAR	CALLE 6 N° 11-99	IBAGUÉ	LUIS MUÑOZ	5
3	FAMILIAR	CALLE 6 N° 11-60	IBAGUÉ	CARLOS REINOSO	4
4	MULTIFAMILIAR (4 PISOS)	CRA. 11A 5A-80	IBAGUÉ	LIDIA MONROY	12
5	FAMILIAR	CRA. 11A 5A-78	IBAGUÉ	MANUEL RODRIGUEZ	3
6	MULTIFAMILIAR (3 PISOS)	CRA. 11A 5A-28	IBAGUÉ	JUAN JOSE PEREZ	8
7	MULTIFAMILIAR (2 PISOS)	CRA. 11A 5A-70	IBAGUÉ	FLORINDA CORREA	4
8	FAMILIAR	CRA. 11A 5A-17	IBAGUÉ	SAID CABRERA	4
9	MULTIFAMILIAR (3 PISOS)	CRA. 11A 5A-43	IBAGUÉ	JUAN GUZMAN	7
10	FAMILIAR	CRA. 11A 5A-79	IBAGUÉ	FABIAN LISARAZA	4
11	FAMILIAR	CRA. 11A 5A-69	IBAGUÉ	JEISON GARCIA	4
12	FAMILIAR	CRA. 11A 5A-23	IBAGUÉ	MONICA CASTAÑO	5
13	FAMILIAR	CRA. 11A 5A-07	IBAGUÉ	GANDY BARRERO	5
14	FAMILIAR	CRA. 11A 5A-05	IBAGUÉ	JEAN PIERE RONDON	4
15	MULTIFAMILIAR (4 PISOS)	CRA. 11A 5A-50	IBAGUÉ	NICOLAS SOLANO	12
16	FAMILIAR	CRA. 11A 5A-48	IBAGUÉ	FERNANDO TREJOS	2
17	MULTIFAMILIAR (5 PISOS)	CRA. 11A 5A-52	IBAGUÉ	ANSISAR LESMER	18
18	FAMILIAR	CRA. 11A 5A-40	IBAGUÉ	LUISA CARDOZO	4
19	MULTIFAMILIAR (3 PISOS)	CRA. 11A 5A-41	IBAGUÉ	MARIA RODRIGUEZ	6
20	FAMILIAR	CRA. 11A 5A-22	IBAGUÉ	NICOL SALGUERO	3
21	FAMILIAR	CRA. 11A 5A-33	IBAGUÉ	CARLOS ALVARES	3
22	FAMILIAR	CRA. 11A 5A-29	IBAGUÉ	MARIO BEDOYA	4
23	FAMILIAR	CRA. 11A 5A-16	IBAGUÉ	LEONEL BOTERO	2
24	FAMILIAR	CRA. 11A 5A-12	IBAGUÉ	JERONIMO TOCORA	3

25	FAMILIAR	CRA. 11A 5A-25	IBAGUÉ	MONICA RICAURTE	4
26	FAMILIAR	CRA. 11A 5A-06	IBAGUÉ	RONALD PALACIO	2
27	FAMILIAR	CRA. 11A 5A-21	IBAGUÉ	CLAUDIA NARANJO	7
28	FAMILIAR	CRA. 11A 5A-02	IBAGUÉ	IRMA SAYA	10
29	FAMILIAR	CRA. 11A 5A-09	IBAGUÉ	LEONARDO QUIMBAYO	10
30	FAMILIAR	CRA. 11A 5A-03	IBAGUÉ	SOL ESCOBAR	4
31	FAMILIAR	CRA. 11A 5A-01	IBAGUÉ	DIEGO SANDOVAL	4
32	FAMILIAR	CRA. 11B 5A-04	IBAGUÉ	EDISON VARGAS	4
33	FAMILIAR	CRA. 11B 5A-03	IBAGUÉ	MAIRA CARRERA	4
34	FAMILIAR	CRA. 11B 5A-02	IBAGUÉ	MARIELA CACERES	4
35	FAMILIAR	CALLE 5 11A-05	IBAGUÉ	LUZ DARI GARCIA	5
36	FAMILIAR	CALLE 5 11A-11	IBAGUÉ	WILIAM FERNANDEZ	3
37	FAMILIAR	CALLE 5 11A-13	IBAGUÉ	ROSA ANGARITA	4
38	MULTIFAMILIAR (2 PISOS)	CALLE 5 11A-17	IBAGUÉ	LEILA CASTRO	8
39	MULTIFAMILIAR (5 PISOS)	CALLE 5 11A-25	IBAGUÉ	EOIDA PERDOMO	16
40	FAMILIAR	CALLE 5 11A-33	IBAGUÉ	LETICIA CASTRO	9
41	FAMILIAR	CALLE 5 11A-36	IBAGUÉ	CRISTIAN GARCIA	7
42	FAMILIAR	CALLE 5 11A-31	IBAGUÉ	THALIA ENCISO	26
43	FAMILIAR	CALLE 5 11A-14	IBAGUÉ	CAMILA ORTIZ	2
44	FAMILIAR	CALLE 5 11A-38	IBAGUÉ	JESICA GUTIERREZ	6
45	FAMILIAR	CALLE 5 11A-21	IBAGUÉ	BARBARA VILLA	8
46	FAMILIAR	CALLE 5 11A-22	IBAGUÉ	CARLOS PARRAGA	4
47	FAMILIAR	CALLE 5 11A-35	IBAGUÉ	ADOLFO SUAREZ	2
48	FAMILIAR	CALLE 5 11A-34	IBAGUÉ	MELISA SANCHEZ	6
49	FAMILIAR	CALLE 5 11A-41	IBAGUÉ	IVAN NIETO	3
50	FAMILIAR	CALLE 5 11A-45	IBAGUÉ	AMPARO SIERRA	2
51	FAMILIAR	CALLE 5 11A-47	IBAGUÉ	VALENTINA GARCIA	1
52	FAMILIAR	CALLE 5 11A-49	IBAGUÉ	CARMENSA SALAZAR	2
53	FAMILIAR	CALLE 5 11B-07	IBAGUÉ	JENIE LIEVAR	3
54	FAMILIAR	CALLE 5 11B-61	IBAGUÉ	OSCAR PRADO	5

55	FAMILIAR	CALLE 5 11B-02	IBAGUÉ	RICARDO GUARNIO	4
56	FAMILIAR	CRR. 11B 5-06	IBAGUÉ	PAOLA GUIO	4
57	FAMILIAR	CALLE 5 11B-08	IBAGUÉ	LEIDY AGUDELO	4
58	FAMILIAR	CALLE 5 11B-05	IBAGUÉ	HUMBERTO RUIZ	8
59	FAMILIAR	CALLE 5 11B-11	IBAGUÉ	MATIAS RUIZ	3
60	FAMILIAR	CALLE 5 11B-17	IBAGUÉ	JESICA CARDONA	2
61	FAMILIAR	CALLE 5 11B-14	IBAGUÉ	LIBARDO APONTE	6
62	FAMILIAR	CALLE 5 11B-26	IBAGUÉ	EVELIA MORA	4
63	FAMILIAR	CALLE 5 11B-23	IBAGUÉ	ANGELA FORERO	5
64	FAMILIAR	CALLE 5 11B-21	IBAGUÉ	ALEXANDRA MOYA	3
65	FAMILIAR	CALLE 5 11B-25	IBAGUÉ	CARLOS LAMPREA	2
66	FAMILIAR	CALLE 5 11B-32	IBAGUÉ	DIEGO SUAREZ	2
67	FAMILIAR	CALLE 5 11B-33	IBAGUÉ	MADELIN LOPEZ	3
68	FAMILIAR	CALLE 5 11B-39	IBAGUÉ	RICARDO FRANCO	3
69	FAMILIAR	CALLE 5 11B-43	IBAGUÉ	ALFONSO PUMAREJO	2

69	FAMILIAR	CALLE 5 11B-43	IBAGUÉ	ALFONSO PUMAREJO	2
70	FAMILIAR	CALLE 5 11B-54	IBAGUÉ	IVAN CHARRIA	4
71	FAMILIAR	CALLE 5 11B-01	IBAGUÉ	ALFONSO RENJIFO	6
72	FAMILIAR	CALLE 5 11B-02	IBAGUÉ	ALUVIN RESTREPO	30
73	FAMILIAR	CALLE 5 11B-17	IBAGUÉ	LIVIA JIMENEZ	6
74	FAMILIAR	CALLE 5 11B-18	IBAGUÉ	FREDY SOLER	2
75	FAMILIAR	CALLE 5 11B-19	IBAGUÉ	MIGUEL AVENDAÑO	2
76	FAMILIAR	CALLE 5 11B-22	IBAGUÉ	JUAN MANUEL ALONSO	2
77	FAMILIAR	CALLE 5 11B-23	IBAGUÉ	JONATHAN BARRETO	2
78	FAMILIAR	CALLE 5 11B-28	IBAGUÉ	KATHERIN MURCIA	3
79	FAMILIAR	CALLE 5 11B-29	IBAGUÉ	SOLEDAD AREVALO	3
80	FAMILIAR	CALLE 5 11B-31	IBAGUÉ	FERNEY CASTAÑEDA	5
81	FAMILIAR	CALLE 5 5A-36	IBAGUÉ	LINA MELENDES	9
82	FAMILIAR	CALLE 5 11B-05	IBAGUÉ	KATI CALLEJAS	8
83	FAMILIAR	CALLE 5 11B-06	IBAGUÉ	JAIME ZUÑIGA	6
84	FAMILIAR	CALLE 6 11B -02	IBAGUÉ	JULIAN CALDERON	7

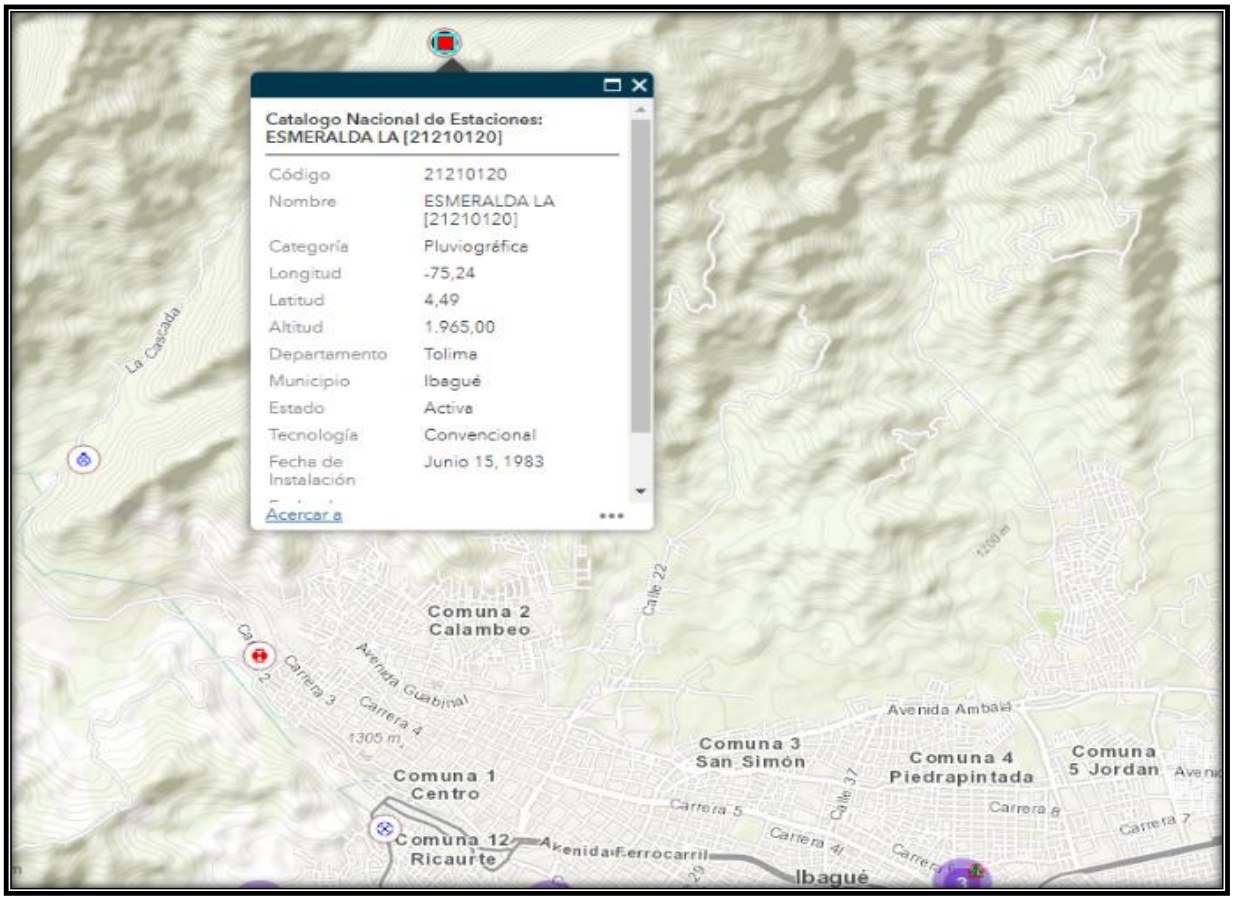
81	FAMILIAR	CALLE 5 5A-36	IBAGUÉ	LINA MELENDES	9
82	FAMILIAR	CALLE 5 11B-05	IBAGUÉ	KATI CALLEJAS	8
83	FAMILIAR	CALLE 5 11B-06	IBAGUÉ	JAIME ZUÑIGA	6
84	FAMILIAR	CALLE 6 11B -02	IBAGUÉ	JULIAN CALDERON	7
85	FAMILIAR	CALLE 6 11A-06	IBAGUÉ	TATIANA GARCIA	2
86	FAMILIAR	CALLE 6 11A-17	IBAGUÉ	JHON ACOSTA	5
87	FAMILIAR	CALLE 6 11A-18	IBAGUÉ	ANDREA SANTAFE	2
88	FAMILIAR	CALLE 6 11A-03	IBAGUÉ	GUSTAVO HERNANDEZ	2
89	FAMILIAR	CALLE 6 11A-20	IBAGUÉ	NICOLAS RODRIGUEZ	3
90	FAMILIAR	CALLE 5A 11A-03	IBAGUÉ	MERCEDES SOCHA	2
91	FAMILIAR	CALLE 5A 11A-23	IBAGUÉ	JAZBLEIDY OLIVEROS	3
92	FAMILIAR	CALLE 5A 11A-20	IBAGUÉ	INGRID SASTOQUE	5
93	FAMILIAR	CALLE 5A 11A-26	IBAGUÉ	JAMES REYES	2
94	FAMILIAR	CALLE 5A 11A-24	IBAGUÉ	KYLIAN CHAVES	3
95	FAMILIAR	CALLE 5A 11A-22	IBAGUÉ	LUIS POSADA	4
TOTAL					**488**

Fuente: Autores.

5.2.3 Fase III. Recolección de datos del IDEAM

Se procedió a seleccionar y analizar las curvas IDF de la estación pluviométrica más cercana a la zona. Para este proyecto se tomó la información correspondiente a la estación La Esmeralda, ubicada en el municipio de Ibagué, en el departamento del Tolima, código: 2121012, estación la cual se encuentra dentro del área aferente al proyecto.

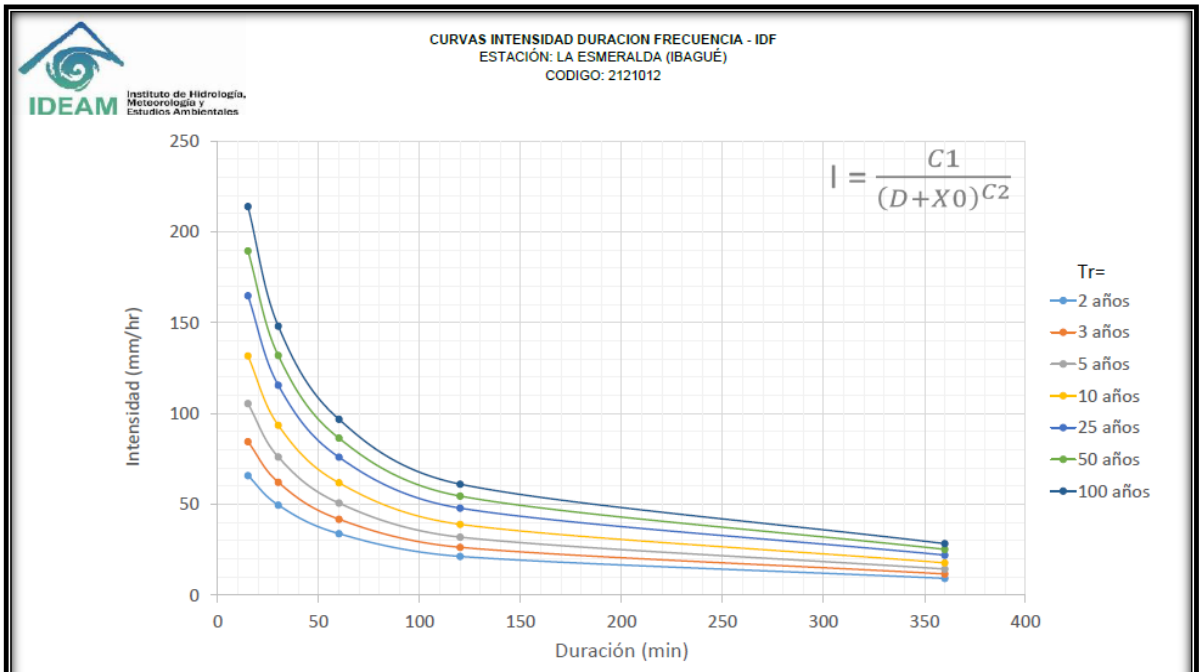
Ilustración 7. Estación pluviográfica LA ESMERALDA



Fuente: (IDEAM)

Al contar directamente con la curva IDF de esta estación, se procedió a descargar esta información:

Ilustración 8. Curvas IDF: Estación LA ESMERALDA



TR (años)	C1	X0	C2
2	1452.266	23.031	0.850
3	1381.375	17.206	0.805
5	1428.052	13.713	0.776
10	1551.893	11.197	0.755
25	1749.253	9.344	0.740
50	1909.260	8.448	0.732
100	2074.282	7.788	0.727

D (min)	$I_{TR=2}$	$I_{TR=3}$	$I_{TR=5}$	$I_{TR=10}$	$I_{TR=25}$	$I_{TR=50}$	$I_{TR=100}$
15	66.0	84.8	105.8	132.2	165.5	190.2	214.7
30	49.1	61.3	74.9	92.0	113.6	129.6	145.5
60	34.0	42.1	51.1	62.5	76.8	87.4	98.0
120	22.0	27.4	33.5	41.1	50.8	57.9	65.0
360	8.6	10.6	12.8	15.5	19.0	21.6	24.2

Fuente: (IDEAM)

5.2.4 Fase IV. Levantamiento topográfico

Este estudio se realizó con el fin de conocer detalladamente la distribución de los elementos que conforman la red de alcantarillado existente en el barrio San Diego e identificar con exactitud los puntos donde se encuentra el problema a solucionar. Llevando este orden de ideas se logrará elaborar correctamente la optimización de la red a proyectar.

5.2.4.1 Toma de profundidad de los pozos.

Este procedimiento se realizó con el fin de determinar la profundidad, las coordenadas y las cotas (clave y batea) de dichos pozos. También se logra conocer el diámetro de la tubería.

Ilustración 9. Levantamiento topográfico, pozos.

Fuente: Autores.

5.2.4.2 Toma de puntos con estación topográfica, determinación de cotas y deltas.

Esta parte del procedimiento es necesaria para la toma de puntos con la estación topográfica.

Ilustración 10. Levantamiento topográfico, toma de puntos con bastón.

Fuente: Autores.

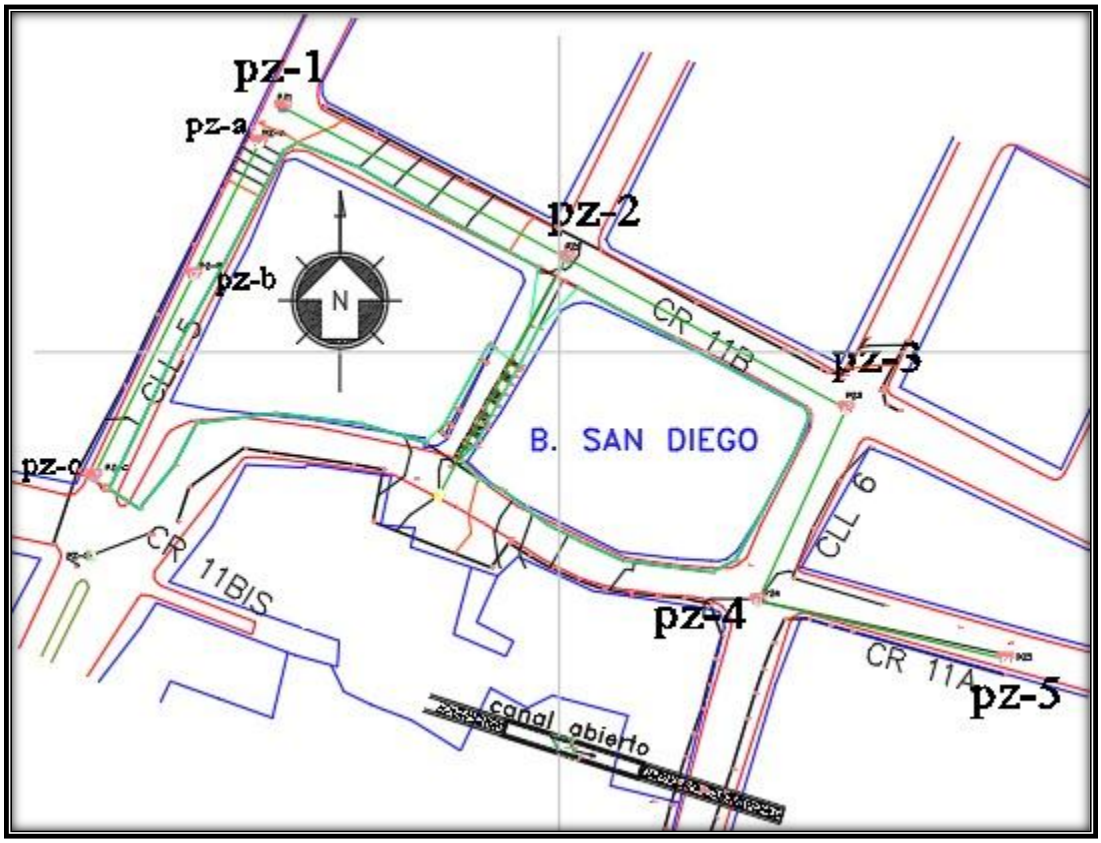
5.2.4.3 Canal del barrio San Diego

Se determinan las cotas del canal, para conocer su pendiente y así poder continuar con el estudio

Ilustración 11. Levantamiento topográfico, canal.

Fuente: Autores.

Ilustración 12. Barrio San Diego, diseño AutoCAD.



Fuente: Autores.

5.3 Trazado de la red del alcantarillado

Sobre el plano del levantamiento topográfico del sector se realizó la localización de los pozos existentes (Ver ilustración 24) y de los nuevos pozos que se diseñarán para la recolección de aguas residuales, cada uno de ellos con su respectiva numeración dependiendo de su ubicación y de la topografía del terreno.

5.3.1 Densidad poblacional

Es la estimación actual de la población de la zona donde se intervendrá. Se calcula (Ecuación 1) teniendo en cuenta el censo poblacional y el área tributaria total estipulada de la zona. Esto referente en el capítulo 4, sección 2, artículo 134 de la resolución 0330 2017, contempla el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS (Ministerio de Vivienda, ciudad y Territorio, 2017).

$$Densidad\ poblacional = \frac{Censo\ poblacional}{Área\ tributria\ total} \qquad \text{(Ecuación 1)}$$

Se realizó el censo poblacional para el área referente a la intervención que se realizará, obteniendo diferente información para todas las viviendas tales como:

Tipo de vivienda (Familiar – Multifamiliar); número de pisos; dirección; ciudad; Nombre del encuestado y el número de habitantes. Obteniendo el total de la población para la zona a trabajar.

5.3.2 Dotación de acueducto

Cada habitante necesita una cantidad neta máxima diaria y para ello se realiza el cálculo (Ilustración 13) según la altura sobre el nivel del mar de la zona atendida (cota). Esto referente al capítulo 1, artículo 43 de la resolución 0330 2017, contempla el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS (Ministerio de Vivienda, ciudad y Territorio, 2017).

Ilustración 13. Dotación neta máximo por habitante según la altura sobre el nivel del mar.

ALTURA PROMEDIO SOBRE EL NIVEL DEL MAR DE LA ZONA ATENDIDA	DOTACIÓN NETA MÁXIMA (L/HAB*DÍA)
> 2000 m s. n. m.	120
1000 – 2000 m s. n. m.	130
< 1000 m s. n. m.	140

Fuente: (Ministerio de Vivienda, ciudad y Territorio, 2017)

5.3.3 Diseño y pendientes

Tomando como referencia el plano con la localización de los pozos y la ubicación exacta del sector, se procede a determinar datos iniciales con ayuda de herramientas como los son Google Earth y AutoCAD. Estos datos son: Longitud, diámetro de la tubería en pulgadas, diámetro comercial de la tubería en mm, diámetro interno de la tubería en mm y las cotas rasantes del terreno donde estarán ubicados los pozos. Todo esto con el fin de determinar la pendiente de la zona a intervenir y las pendientes que tendrán las tuberías para esta red sanitaria. Esto referente al capítulo 4, sección 1, artículo 134 de la resolución 0330 2017, contempla el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS (Ministerio de Vivienda, ciudad y Territorio, 2017).

5.3.4 Áreas tributarias

Refiere a las áreas referentes a cada uno de los tramos de tubería que tendrá la red de alcantarillado, Esto referente al capítulo 4, sección 1, artículo 134 de la resolución 0330 2017, contempla el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS (Ministerio de Vivienda, ciudad y Territorio, 2017). Determinando las áreas atrás, correspondientes al área que le llega a cada uno de los tramos; área propia, correspondiente al área que manejará cada tubería y área total que es la sumatoria de las dos anteriores. Todo esto con base al plano del levantamiento topográfica y con la ayuda del software AutoCAD.

5.3.5 Caudales de aguas residuales

Se tiene en cuenta el volumen de aguas residuales aportadas a cada tramo de esta red, como lo son: Caudal de aguas residuales domésticas, industriales, comerciales e institucionales. Debido a la distribución de la zona y a las áreas referentes a cada tramo, se especifica que solo se trabajaron caudales de aguas residuales domésticas. Esto referente al capítulo 4, sección 1, artículo 134 de la resolución 0330 2017, contempla el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS (Ministerio de Vivienda, ciudad y Territorio, 2017)

5.3.6 Caudales aguas residuales domésticas

Se calcula para cada tramo de tuberías de la red (Ecuación 2), esto referente el capítulo 4, sección 1, artículo 134 de la resolución 0330 2017, contempla el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS (Ministerio de Vivienda, ciudad y Territorio, 2017), teniendo en cuenta los siguientes datos:

$$Q\ aguas\ domesticas = \frac{C_R * P * D_{neta}}{86400} \qquad \text{(Ecuación 2)}$$

Donde:
C_R: Coeficiente de retorno (adimensional)
P: Número de habitantes proyectados al periodo de diseño (hab)
D_{neta}: Demanda neta de agua potable proyectada por habitante (L/hab/día)

El coeficiente de retorno se calcula a partir de un análisis de una información existente de la zona. De no contar con estos datos, se toma un coeficiente de 0.85.

5.3.7 Factor de mayoración

Se tiene en cuenta las variaciones en el consumo de agua por parte de la población. Debe calcularse haciendo uso de mediciones de campo. Sin embargo,

si no es factible, se utiliza la ecuación empírica de Flores (Ecuación 3) calculando como función del número de habitantes. Esto referente al capítulo 2, sección 1, artículo 47 de la resolución 0330 “Reglamento Tecnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Basico – RAS” (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2017)

$$F = \frac{3.5}{P^{0.1}} \qquad \text{(Ecuación 3)}$$

En general el valor de F debe estar entre 1.4 y 3.8, calculándose tramo por tramo.

5.2.8 Caudal medio diario de aguas residuales

El caudal medio diario de aguas residuales, para un tramo con un área dada es la suma de los aportes de los caudales de aguas residuales domésticos, industriales, comerciales e institucionales (Ecuación 4). Esto referente al capítulo 4, sección 1, artículo 134 de la resolución 0330 2017, contempla el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2017)

$$Q_{MD} = Q_D + Q_I + Q_C + Q_{IN} \qquad \text{(Ecuación 4)}$$

5.3.9 Caudal máximo horario

El caudal máximo horario se estima a partir del caudal final medio diario, mediante el uso del factor de mayoración (Ecuación 5). Esto referente al capítulo 4, sección 1, artículo 134 de la resolución 0330 2017, contempla el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2017).

$$Q_{MH} = Q_{MD} * F$$ (Ecuación 5)

Donde:
Q_{MD}: Caudal medio diario
F: Factor de mayoración

5.3.10 Caudal de aguas residuales por conexiones erradas

Los aportes por conexiones erradas se estiman a partir de una información existente de la localidad a intervenir. Se tiene en cuenta el área tributaria total referente a cada tramo y los aportes por conexiones erradas el cual se utiliza un valor máximo de 0.2 L/s.ha. (Ecuación 6). Esto referente al capítulo 4, sección 1, artículo 134 de la resolución 0330 2017, contempla el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2017)

$$Q_E = A_{TT} * 0.2 \frac{L}{s}.hab$$ (Ecuación 6)

Donde:
A_{TT}: Área tributaria total

5.3.11 Caudales por infiltraciones

Se debe calcular a partir de aforos en el sistema y de consideraciones sobre la naturaleza y permeabilidad del suelo. Ante la ausencia de información se tiene en cuenta el área tributaria total referente a cada tramo y el factor de los aportes por infiltraciones de 0.2 l/s.ha. (Ecuación 7). Esto referente al capítulo 4, sección 1, artículo 134 de la resolución 0330 2017, contempla el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2017)

$$Q_{INF} = A_{TT} * 0.2 \frac{L}{s}.hab$$ (Ecuación 7)

Donde:
A_{TT}: Área tributaria total

5.3.12 Caudal de diseño

El caudal de diseño de cada tramo de la red se obtiene sumando el caudal máximo horario, los aportes por conexiones erradas y los aportes por infiltraciones (Ecuación 8). Esto referente al capítulo 4, sección 1, artículo 134 de la resolución 0330 2017, contempla el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2017)

$$Q_{DT} = Q_{MH} + Q_E + Q_{INF} \qquad \text{(Ecuación 8)}$$

Donde:
Q_{DT}: Caudal de diseño para cada tramo
Q_{MH}: Caudal máximo horario
Q_E: Caudal por conexiones erradas
Q_{INF}: Caudal por infiltraciones

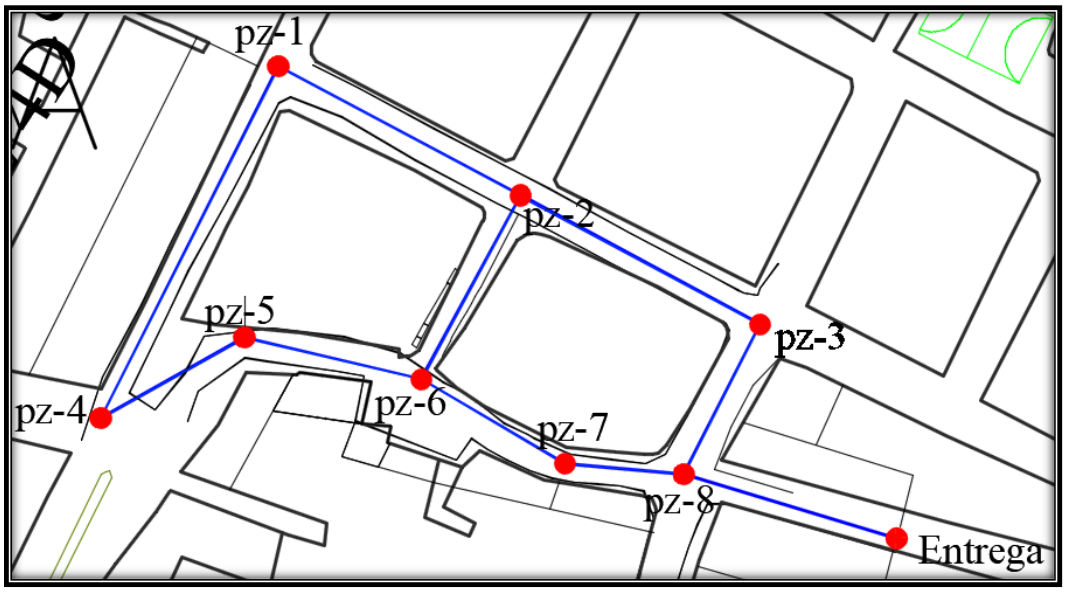
Cuando el caudal de diseño calculado para cada tramo sea menor a 1.5 L/s, debe adoptarse este último valor como caudal de diseño.

6. RESULTADOS

6.1 Trazado de la red del alcantarillado.

Se obtienen diez tramos en total, que se verán representados de la siguiente manera (Figura1): **Tramo1:** PZ1-PZ2; **Tramo2:** PZ2-PZ3; **Tramo3:** PZ3-PZ8; **Tramo4:** PZ1-PZ4; **Tramo5:** PZ4-PZ5; **Tramo6:** PZ5-PZ6; **Tramo7:** PZ2-PZ6; **Tramo8:** PZ6-PZ7; **Tramo9:** PZ7-PZ8 y **Tramo10:** PZ8-ENTREGA.

Ilustración 14. Trazado de la red del alcantarillado.



Fuente: Autores.

6.2 Datos iniciales

Tabla 3. Datos iniciales

Densidad de población	565	Hab/Ha
Dotación de acueducto	130	L/Hab*día
Coeficiente de retorno	0,85	%

Fuente: Autores.

6.3 Diseño y pendientes

Tabla 4. Datos para el diseño y sus respectivas pendientes

TRAMO		DISEÑO					
Inicial	Final	Longitud	Φ	Φ comercial	Φ interno	Pendiente	P
		M	in	mm	mm	%	Terreno
PZ 1	PZ 2	58,59	6	160	145	2,75%	2,75%
PZ 2	PZ 3	58,00	6	160	145	6,86%	6,86%
PZ 3	PZ 8	35,29	6	160	145	13,71%	13,71%
PZ 1	PZ 4	84,64	6	160	145	8,98%	8,98%
PZ 4	PZ 5	34,51	6	160	145	13,62%	13,62%
PZ 5	PZ 6	38,23	6	160	145	1,83%	1,83%
PZ 2	PZ 6	44,18	6	160	145	22,61%	22,61%
PZ 6	PZ 7	34,97	6	160	145	3,66%	28,08%
PZ 7	PZ 8	24,51	6	160	145	0,90%	44,84%
PZ 8	Ent.	47,15	6	160	145	7,89%	7,89%

Fuente: Autores.

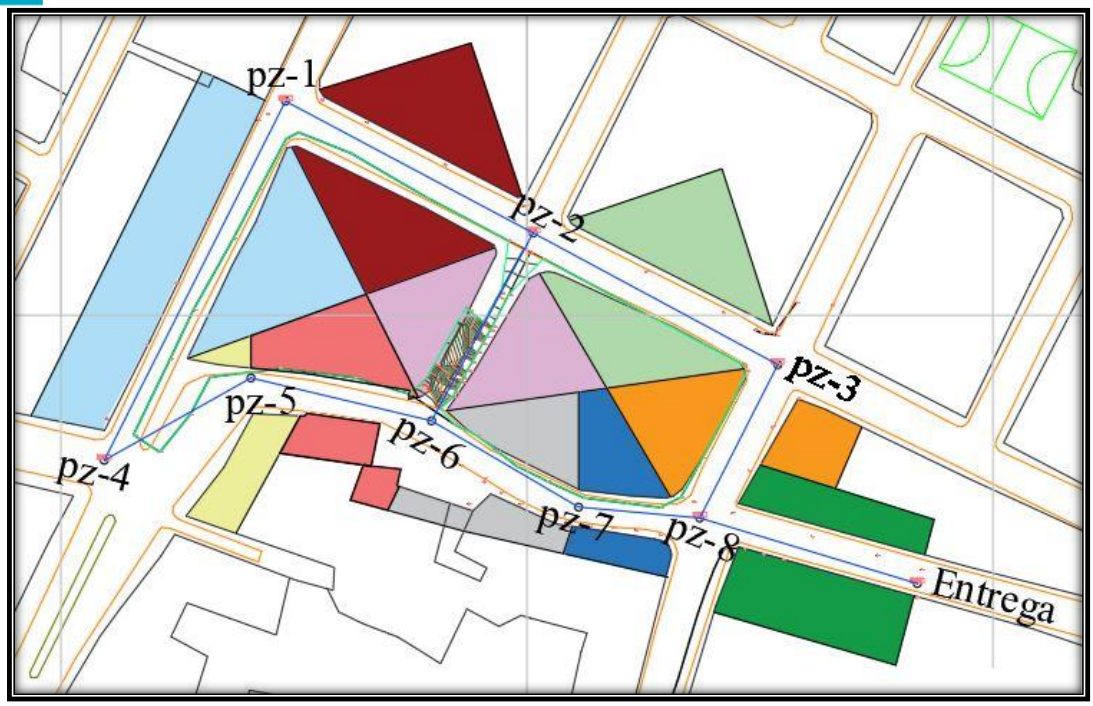
Tabla 5. Cotas rasantes en cada tramo

TRAMO		COTA RASANTE	
Inicial	Final	Origen	Final
		m	m
PZ 1	PZ 2	1.311,420	1.309,810
PZ 2	PZ 3	1.309,810	1.305,830
PZ 3	PZ 8	1.305,830	1.300,990
PZ 1	PZ 4	1.311,420	1.303,820
PZ 4	PZ 5	1.303,820	1.299,120
PZ 5	PZ 6	1.299,120	1.299,820
PZ 2	PZ 6	1.309,810	1.299,820
PZ 6	PZ 7	1.299,820	1.301,100
PZ 7	PZ 8	1.301,100	1.300,990
PZ 8	ENTREGA	1.300,990	1.297,270

Fuente: Autores.

6.4 Áreas tributarias

Ilustración 15. Áreas tributarias para cada tramo (AutoCAD)



Fuente: Autores.

Ilustración 16. Áreas referentes a cada tramo

ÁREAS REFERENTES A CADA TRAMO
Tramo1: PZ1 - PZ2
Tramo2: PZ2 - PZ3
Tramo3: PZ3 - PZ8
Tramo4: PZ1 - PZ4
Tramo5: PZ4 - PZ5
Tramo6: PZ5 - PZ6
Tramo7: PZ2 - PZ6
Tramo8: PZ6 - PZ7
Tramo9: PZ7 - PZ8
Tramo10: PZ8 - ENTREGA

Fuente: Autores.

Tabla 6. Áreas tributarias para cada tramo

TRAMO	ÁREA TRIBUTARIA

Inicial	Final	Atrás	Propia	Total
		Ha	Ha	Ha
PZ 1	PZ 2	0,0000	0,1173	0,1173
PZ 2	PZ 3	0,1173	0,1083	0,2256
PZ 3	PZ 8	0,2256	0,0660	0,2916
PZ 1	PZ 4	0,0000	0,1934	0,1934
PZ 4	PZ 5	0,1934	0,0311	0,2245
PZ 5	PZ 6	0,2245	0,0652	0,2897
PZ 2	PZ 6	0,0000	0,0874	0,0874
PZ 6	PZ 7	0,3771	0,0564	0,4335
PZ 7	PZ 8	0,4335	0,0440	0,4775
PZ 8	ENTREGA	0,7691	0,0941	0,8632

Fuente: Autores.

6.5 Caudales de aguas residuales

Tabla 7. Caudales de aguas residuales domésticas, industriales, comerciales e institucionales.

TRAMO		Q AGUAS DOMESTICAS		Q INDUSTRIAL		Q COMERCIAL		Q INSTITUCIONAL	
Inicial	Final	Lps	% Area	lps	% Area	lps	% Area	lps	% Area
PZ 1	PZ 2	0,085	100%	0,00	0%	0,00	0%	0,00	0%
PZ 2	PZ 3	0,163	100%	0,00	0%	0,00	0%	0,00	0%
PZ 3	PZ 8	0,211	100%	0,00	0%	0,00	0%	0,00	0%
PZ 1	PZ 4	0,140	100%	0,00	0%	0,00	0%	0,00	0%
PZ 4	PZ 5	0,162	100%	0,00	0%	0,00	0%	0,00	0%
PZ 5	PZ 6	0,209	100%	0,00	0%	0,00	0%	0,00	0%
PZ 2	PZ 6	0,063	100%	0,00	0%	0,00	0%	0,00	0%
PZ 6	PZ 7	0,313	100%	0,00	0%	0,00	0%	0,00	0%
PZ 7	PZ 8	0,345	100%	0,00	0%	0,00	0%	0,00	0%
PZ 8	Ent.	0,624	100%	0,00	0%	0,00	0%	0,00	0%

Fuente: Autores.

6.6 Factor de mayoración

Tabla 8. Factores de mayoración para cada tramo

TRAMO		F
Inicial	**Final**	1,4<F<3,8
PZ 1	PZ 2	3,80
PZ 2	PZ 3	3,80
PZ 3	PZ 8	3,80
PZ 1	PZ 4	3,80
PZ 4	PZ 5	3,80
PZ 5	PZ 6	3,80
PZ 2	PZ 6	3,80
PZ 6	PZ 7	3,80
PZ 7	PZ 8	3,80
PZ 8	ENTREGA	3,80

Fuente: Autores.

6.7 Caudal máximo horario

Tabla 9. Caudales máximos horarios de cada tramo.

TRAMO		QMH
Inicial	**Final**	lps
PZ 1	PZ 2	0,32
PZ 2	PZ 3	0,62
PZ 3	PZ 8	0,80
PZ 1	PZ 4	0,53
PZ 4	PZ 5	0,62
PZ 5	PZ 6	0,79
PZ 2	PZ 6	0,24
PZ 6	PZ 7	1,19
PZ 7	PZ 8	1,31
PZ 8	ENTREGA	2,37

Fuente: Autores.

6.8 Caudal de aguas residuales por conexiones erradas

Tabla 10. Caudales de aguas residuales por conexiones erradas de cada tramo.

TRAMO		QE
Inicial	Final	lps
PZ 1	PZ 2	0,02
PZ 2	PZ 3	0,05
PZ 3	PZ 8	0,06
PZ 1	PZ 4	0,04
PZ 4	PZ 5	0,04
PZ 5	PZ 6	0,06
PZ 2	PZ 6	0,02
PZ 6	PZ 7	0,09
PZ 7	PZ 8	0,10
PZ 8	ENTREGA	0,17

Fuente: Autores.

6.9 Caudal por infiltraciones

Tabla 11. Caudal por infiltraciones para cada tramo

TRAMO		QINF
INICIAL	FINAL	Lps
PZ 1	PZ 2	0,023
PZ 2	PZ 3	0,045
PZ 3	PZ 8	0,058
PZ 1	PZ 4	0,039
PZ 4	PZ 5	0,045
PZ 5	PZ 6	0,058
PZ 2	PZ 6	0,017
PZ 6	PZ 7	0,087
PZ 7	PZ 8	0,096
PZ 8	ENTREGA	0,173

Fuente: Autores.

6.10 Caudal de diseño

Tabla 12. Caudal de diseño para cada tramo

TRAMO		CAUDAL
INICIAL	FINAL	DISEÑO
		Lps
PZ 1	PZ 2	1,50
PZ 2	PZ 3	1,50
PZ 3	PZ 8	1,50
PZ 1	PZ 4	1,50
PZ 4	PZ 5	1,50
PZ 5	PZ 6	1,50
PZ 2	PZ 6	1,50
PZ 6	PZ 7	1,50
PZ 7	PZ 8	1,51
PZ 8	ENTREGA	2,71

Fuente: Autores.

Tabla 13. Caudal de diseño Red alcantarillado combinado.

TRAMO		Q DE DISEÑO SANITARIO	Q DE DISEÑO PLUVIAL	Q DE DISEÑO RED
Inicial	Final	Lps	Lps	lps
PZ 1	PZ 2	1,5	13,75	15,25
PZ 2	PZ 3	1,5	48,75	50,25
PZ 3	PZ 8	1,5	63,5	65
PZ 1	PZ 4	1,5	20,74	22,24
PZ 4	PZ 5	1,5	26,59	28,09
PZ 5	PZ 6	1,5	58,46	59,96
PZ 2	PZ 6	1,5	34,8	36,3
PZ 6	PZ 7	1,5	72,36	73,86
PZ 7	PZ 8	1,51	83,91	85,42
PZ 8	Entrega	2,71	173	175,71

Fuente: Autores.

El diseño de este proyecto pretende la realizar de un sistema de alcantarillado combinado para esta zona, contando con un posible esquema de la solución más viable, (véase la ilustración 14), se procede a determinar el caudal de diseño para cada uno de los tramos de la red, partiendo de lo establecido en la norma, en el Capítulo 4, Sección 1, Articulo 136 (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2017), se define un caudal de diseño, (véase la tabla 12).

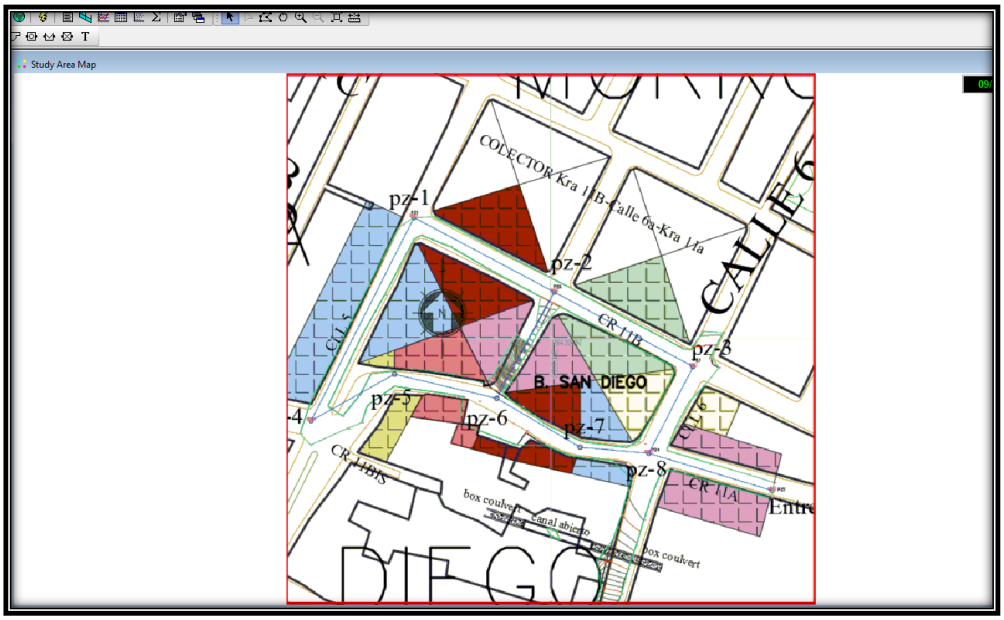
Analizando que, en algunos tramos de la Red, el caudal sanitario era mayor al 5% del caudal lluvias, por ende, el caudal de diseño para esta zona seria la suma de los 2 caudales mencionados anteriormente. Buscando un equilibrio y reduciendo al máximo rango de error en el diseño, se precede a optar por un caudal de diseño igual a la sumatoria del caudal sanitario y lluvias para todos los tramos de la Red.

6.11 Modelación del Software SWMM

Se adjunta el procedimiento realizado mediante el programa SWMM, en el cual, se modelo el diseño del alcantarillado pluvial para este sector.

Se procedió a insertar un pequeño esquema de la zona de afectación, con el fin de contar con una mejor ubicación de cada uno de los elementos del sistema de alcantarillado y la red principal.

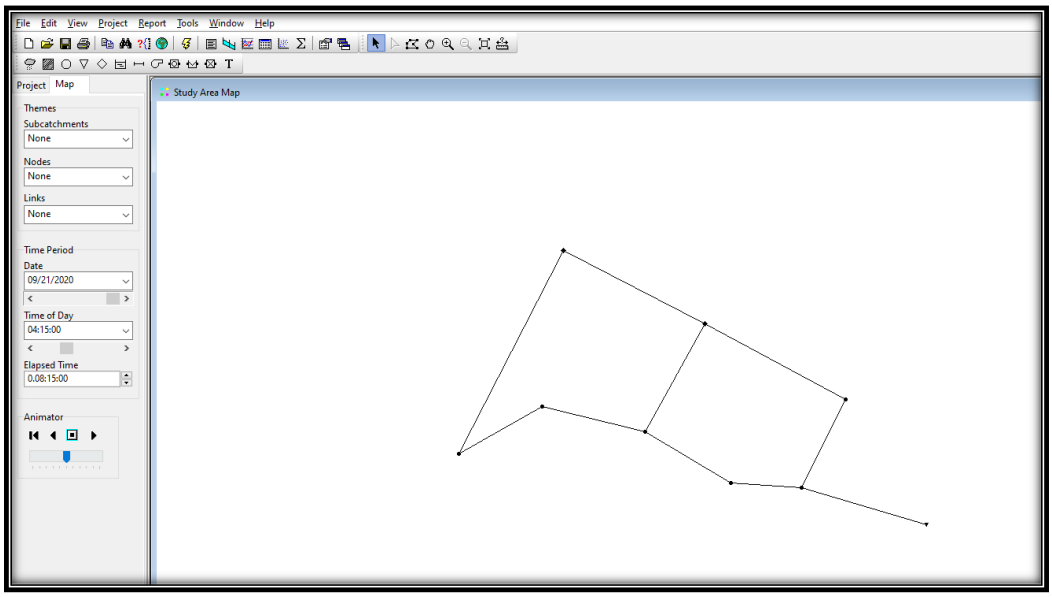
Ilustración 17. Mapa topográfico



Fuente: Autores.

Utilizando los comandos principales de la barra de herramientas, se añadieron los elementos iniciales de la Red, como; pozos y líneas de tubería

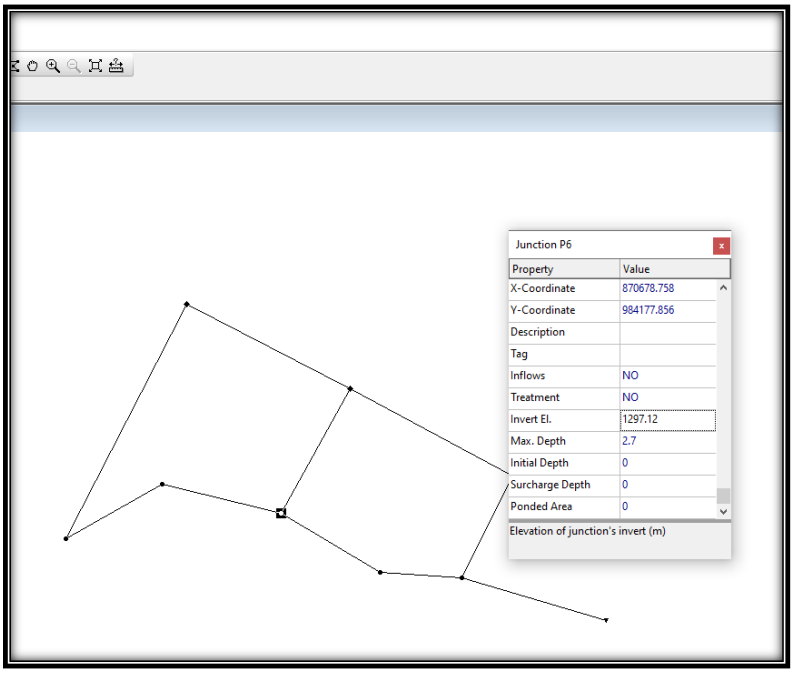
Ilustración 18. Elementos de alcantarillado 1



Fuente: Autores.

Posteriormente de añadir los elementos de alcantarillado, se introducen los valores correspondientes de cada uno de estos, tales como; elevaciones y profundidades de pozos.

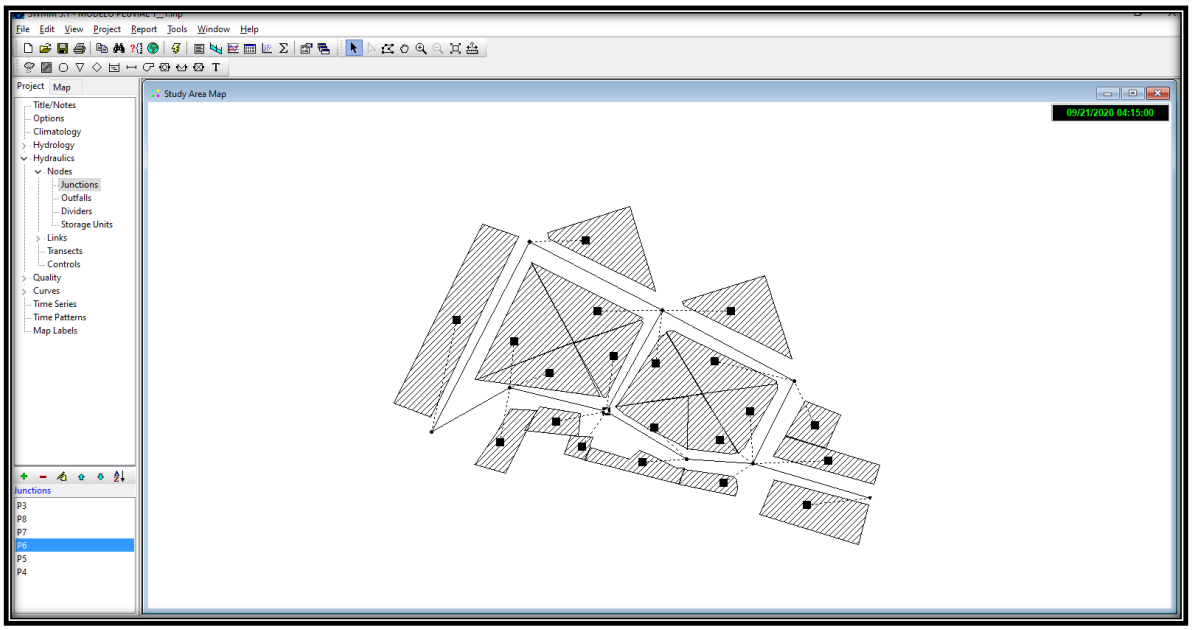
Ilustración 19. Elementos de alcantarillado 2



Fuente: Autores.

Contando con cada uno de los tramos principales, se introducen las áreas de aferencia de cada zona, respetando lo obtenido en el levantamiento topográfico del sector. (Véase la Ilustración 16)

Ilustración 20. Área de aferencia y sub cuencas



Fuente: Autores.

Tabla 14. Información base obtenida mediante el levantamiento topográfico

TRAMO		Longitud (m)	Φ (pulgadas)	Pendiente terreno (%)	Pendiente tubería (%)	Áreas (he)
Inicial	Final					
PZ 1	PZ 2	58,59	12	2,75	2,75	0,1173
PZ 2	PZ 3	58	12	6,86	6,86	0,2256
PZ 3	PZ 8	35,29	12	13,71	13,71	0,2916
PZ 1	PZ 4	84,64	12	8,98	7,21	0,1934
PZ 4	PZ 5	34,51	12	13,62	9,27	0,2245
PZ 5	PZ 6	38,23	12	1,83	1,31	0,2897
PZ 2	PZ 6	44,18	12	22,61	18,54	0,0874
PZ 6	PZ 7	34,97	12	3,66	0,92	0,4335
PZ 7	PZ 8	24,51	12	0,9	1,26	0,4775
PZ 8	E	47,15	12	7,89	2,59	0,8632

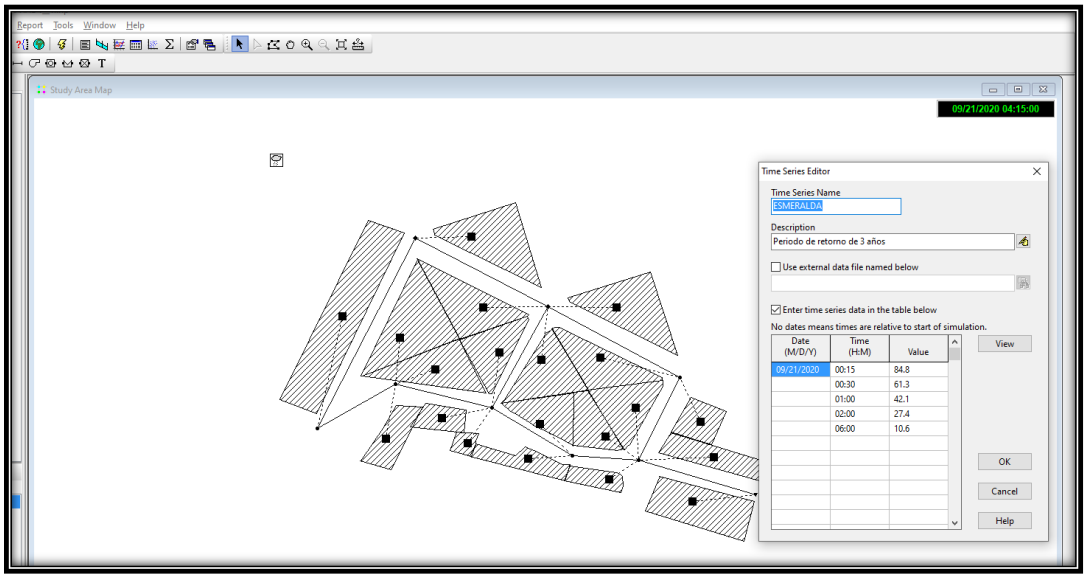
Fuente: Autores.

De acuerdo con los establecido en la norma, Capitulo 4, Sección 4, Articulo 148, (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2017), el diámetro mínimo establecido para la elaboración de un sistema de alcantarillado combinado es de 260mm, por ende, se procede a realizar este diseño con el diámetro siguiente a este, 12”.

Al introducir la información base al programa, dejando claro cada uno de los aspectos fundamentales del proyecto, se procede a realizar las configuraciones pertinentes del pluviómetro, para así correr el Software y obtener los resultados requeridos.

Contando con la gráfica de la curva IDF (intensidad, duración y frecuencia), (véase la ilustración 8), de la estación pluviométrica más cercana a esta zona, La Esmeralda, se introducen los datos requeridos para la serie de tiempo que calcularía el pluviómetro, tomando un periodo de retorno de 3 años, basándose en el capítulo 4, sección 2, artículo 134 de la resolución 0330 2017, contempla el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS (Ministerio de Vivienda, ciudad y Territorio, 2017).

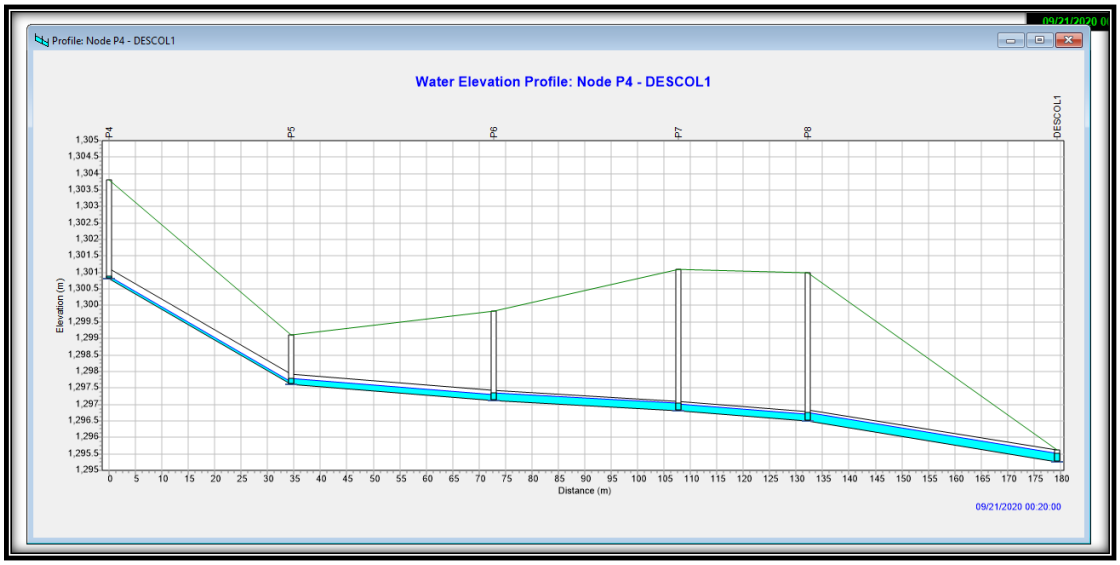
Ilustración 21. Configuración serie de tiempo



Fuente: Autores.

Como evidencia de correcto funcionamiento del sistema, se presenta el perfil de elevación en el tramo más crítico y en la hora de mayor incremento de caudal, en donde, se observa una eficiencia en la modelación del alcantarillado del barrio San Diego.

Ilustración 22. Perfil de elevación



Fuente: Autores.

Desplegando la opción, resumen de resultados, la cual se encuentra en la barra de herramientas, se analizan la información final presentada por la modelación, en donde, se pueden obtener datos importantes como el caudal máximo de cada pozo, su elevación, la velocidad máxima entre cada tramo, entre otros.

Ilustración 23. Resultados de la simulación

Summary Results

Topic: Node Inflow Click a column header to sort the column.

Node	Type	Maximum Lateral Inflow LPS	Maximum Total Inflow LPS	Day of Maximum Inflow	Hour of Maximum Inflow	Lateral Inflow Volume 10^6 ltr	Total Inflow Volume 10^6 ltr	Flow Balance Error Percent
P3	JUNCTION	14.89	63.50	0	04:20	0.0125	0.0536	0.000
P8	JUNCTION	25.88	173.00	0	04:20	0.0218	0.145	0.000
P7	JUNCTION	11.84	83.91	0	04:20	0.01	0.0701	0.000
P6	JUNCTION	14.06	72.36	0	04:20	0.0117	0.06	0.000
P5	JUNCTION	31.89	58.46	0	04:20	0.0266	0.0483	0.000
P4	JUNCTION	26.59	26.59	0	04:20	0.0216	0.0216	0.000
DESCOL1	OUTFALL	12.86	185.18	0	04:20	0.0109	0.156	0.000
P1	DIVIDER	13.75	13.75	0	04:20	0.0116	0.0116	0.000
P2	DIVIDER	35.10	48.75	0	04:20	0.0295	0.0412	0.000

Fuente: Autores.

6.12 Presupuesto red de alcantarillado combinado

Terminado el proceso de diseño de la red de alcantarillado combinado, se presenta a continuación un presupuesto en la tabla 15, donde se encontrara un desglose de las actividades a implementar desde su etapa preliminar en la cual se realiza el levantamiento topográfico para conocer el estado y cotas del terreno, luego se efectúa el corte y demolición del pavimento y placa de contrapiso donde pasa la tubería y por último se ejecuta todo lo relacionado con las instalación sanitarias incluyendo excavación, relleno y retiro de material.

También, se resalta que este proyecto generará unos beneficios no solo para la comunidad, sino también, para la entidad prestadora de servicio, ya que, la optimización de la red evitara daños y colapsos en las redes que están alrededor.

Tabla 15. Presupuesto Red de alcantarillado combinado

PRESUPUESTO				
DESCRIPCIÓN	**UNIDAD**	**CANTIDAD**	**V/R UNITARIO**	**V/R TOTAL**
PRELIMINARES				
Localización y replanteo topográfico	Ml	460,07	$ 3.100	$ 1.426.217
CORTE Y DEMOLICIÓN				
Corte de pavimento	Ml	460,07	$ 8.000	$ 3.680.560
Demolición de pavimento	m2	409,33	$ 13.000	$ 5.321.329
Demolición de placa de contrapiso	m2	50,74	$ 13.000	$ 659.581
RED DE ALCANTARILLADO SANITARIO				
Excavación con maquina +/- 2.00 mts excavaciones en material conglomerado a mano en seco (0-2 m). Actividad a todo costo.	m3	485,83	$ 33.500	$ 16.275.305
Suministro e instalación de lecho en arena para tubería.	m3	364,38	$ 20.200	$ 7.360.476
Suministro de recebo en zanja compactado cada 15 cm. medio mecánico. Actividad a todo costo.	m3	121,46	$ 73.900	$ 8.975.894
Cargue y retiro de material sobrante. incluye derecho de botadero hasta 8 km.	m3	133,60	$ 32.900	$ 4.395.440
Suministro e instalación tubería plástica pared estructural d= 12" (0-2 m). Actividad a todo costo.	Ml	460,07	$ 22.920	$ 10.544.804
Base y cañuela en concreto de 3.000 psi e=0,30 m. actividad a todo costo.	Und	3,00	$ 382.000	$ 1.146.000
Cilindro en ladrillo e=0,30 m. actividad a todo costo.	Ml	6,00	$ 387.000	$ 2.322.000
Cono de reducción h=0,65 m. actividad a todo costo.	Und	3,00	$ 347.000	$ 1.041.000
Pañete interior e=0,02 m. actividad a todo costo.	Ml	6,00	$ 14.000	$ 84.000
Suministro e instalación tapa h.f. tráfico pesado. Actividad a todo costo.	Und	3,00	$ 452.853	$ 1.358.559
Sumidero en concreto de 3.000 psi tipo sl 100 actividad a todo costo.	Und	10,00	$ 450.000	$ 4.500.000
costo directo				$ 69.091.165
Administración e imprevisto sobre costo directo (11%)				$ 7.600.028
Utilidad de la obra (5%)				$ 3.454.558
IVA sobre utilidad de la obra (19%)				$ 656.366
valor total				**$ 80.802.118**

Fuente: Autores.

7. CONCLUSIONES

- Mediante la propuesta de optimización de la red de alcantarillado del barrio San Diego como consultorio de ingenierías, se garantizarán las óptimas condiciones de un sistema que genere una solución a la comunidad afectada.

- Al realizar el diagnóstico de la red de alcantarillado, se encontró deficiencia en esta, ya que, esta fue construido hace más de 70 años por los mismos habitantes del sector afectando considerablemente gran parte de las viviendas por problemas de humedad además de los malos olores ocasionados por la ineficiencia del drenaje de las tuberías.

- Al verificar los diferentes métodos de alcantarillado (Convencionales y no convencionales), se optó por diseñar una red de alcantarillado combinado, ya que esta asegura una viabilidad en su uso, siendo permanente a lo largo del tiempo y estableciéndose como un mecanismo eficaz y duradero, garantizando así la erradicación de los problemas en las redes sanitarias y pluviales que aquejan desde hace tanto tiempo a la comunidad del barrio San Diego.

- Luego de efectuar el diagnostico, se concluye que la optimización debe cumplir con lo establecido en la norma respetando pendientes, diámetros mínimos y todo lo que esta establece, con el fin de evitar un colapso y deterioro a corto plazo.

8. RECOMENDACIONES

- Se recomienda a la universidad que se desarrollen más proyectos sociales donde acerque más a los estudiantes a las problemáticas que se presentan en las comunidades donde se apliquen los conocimientos adquiridos durante la formación profesional.

- Se invita a futuros pasantes a cumplir con el compromiso profesional y ético en el desarrollo de una práctica competitiva, empresarial o solidaria, donde se encuentra comprometida una comunidad.

- En caso de que el proyecto diseñado se llegase a ejecutar, se debe respetar los diámetros y pendientes establecidos, ya que una variación de estos podría generar fallas en el funcionamiento de la red.

- Antes de la formalizar el diseño de la red se debe realizar un estudio de suelos en la zona a intervenir.

- Dar prioridad a la elaboración del diseño propuesto, ya que este es de necesidad para la salud y bienestar de la comunidad del barrio San Diego.

- Realizar un mantenimiento preventivo a la red, ya que ésta incurre en la duración y correcto funcionamiento para el período que fue diseñado.

BIBLIOGRAFÍA

Alcaldía municipal de Ibagué. (s.f.). *Ibagué vibra*. Obtenido de Alcaldía municipal de Ibagué: https://www.ibague.gov.co/portal/seccion/contenido/index.php?type=3&cnt=53#:~:text=Capital%20del%20departamento%20del%20Tolima,como%20la%20meseta%20de%20Ibagu%C3%A9.

Cocha Jopia, R., & Gomez Valentin, M. (2011). *Modelación del drenaje dual urbano mediante EPA SWMM 5.0.* Temuco, Chile.

Comision Nacional de agua. (2009). *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento: Alcantarillado sanitario.* Coayacán: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

DANE. (Noviembre de 2020). *Demografía y población*. Obtenido de https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion

E, P., & B, O. (Noviembre de 2013). *Slide serve*. Recuperado el 5 de Septiembre de 2020, de https://www.slideserve.com/tamah/alcantarillado-sanitario

Enciclopedia libre. (2020). *Ibagué Tolima*. Obtenido de Wikipedia - enciclopedia libre: https://es.wikipedia.org/wiki/Ibagu%C3%A9

Google Maps. (2020). *Datos del mapa.* Ibagué.

IDEAM. (s.f.). *Consulta y Descarga de Datos Hidrometereologicos*. Obtenido de http://dhime.ideam.gov.co/atencionciudadano/

Lopez Cualla, R. (1995). *Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados.* Santafé de Bogota: Escuela colombiana de ingenieria.

Martinez, E. J. (14 de marzo de 2016). *Slideshare*. Recuperado el 05 de septiembre de 2020, de https://www.slideshare.net/joshuasuaz/tipos-alcantarillado-sanitario-ing-elder-josue-martinez-la-paz-honduras

Martinez, E. J. (14 de marzo de 2016). *Slideshare*. Obtenido de https://www.slideshare.net/joshuasuaz/tipos-alcantarillado-sanitario-ing-elder-josue-martinez-la-paz-honduras

Ministerio de Vivienda, ciudad y Territorio. (2017). *Reglamento de Agua Potable y Saneamiento Basico.*

Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2017). *Reglamento de Agua Potable y Saneamiento Basico.*

Monumentos de Ibagué. (2008). *Monumentos de Ibagué*. Obtenido de https://monumentosdeibague.es.tl/Hidrologia.htm

Muñoz, R. P. (26 de Noviembre de 2010). Sildeshare. págs. https://es.slideshare.net/richarparedesm/richar-paredes-muoz-servicios-pulicos.

Muñoz, R. P. (16 de Noviembre de 2010). *Slideshare*. Recuperado el 5 de Septiembre de 2020, de https://es.slideshare.net/richarparedesm/richar-paredes-muoz-servicios-pulicos

Paola Benjumea Brito. (Febrero de 2018). *El tiempo*. Obtenido de https://www.eltiempo.com/colombia/otras-ciudades/problemas-de-acueducto-y-alcantarillado-en-santa-marta-178744

Santamaria, M. A. (2009). *Diseño de la red de alcantarillado sanitario y pluvial.* Bogota.

SIAPA. (2014). *Lineamientos tecnicos para factibilidad.* Jalisco.

Sociedad geográfica de Colombia . (2002). *Atlas de Colombia.* Bogotá D.C.

US EPA. (2005). *Swmm modelo de gestion de aguas pluviales.* Grupo multidiciplinas de modelacion de fluidos.

Vargas Valbuena, M., & Villegas Angarita, R. (2003). *MODELACIÓN DE LA RED DE ALCANTARILLADO SANITARIO Y PLUVIAL DE LA URBANIZACIÓN PLAZA MADRID MEDIANTE EL SOFTWARE EPA SWMM .* Bogota D.C.

Vargas Valvuena, M. (2013). *Modelación red de alcantarillado, plaza Madrid.* Bogotá.