



**FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL**

TÍTULO DEL PROYECTO:

**DIAGNÓSTICO FUNCIONAL AL SISTEMA DE ALCANTARILLADO DEL
MUNICIPIO DE SOATÁ BOYACÁ**

ELIECER TAVERA ORTIZ CÓDIGO: 505714

DOCENTE ASESOR:

**NOMBRE: JESUS ERNESTO TORRES QUINTERO
Ingeniero Civil Magister en Recursos Hidráulicos**

BOGOTÁ DC., MAYO 02 DE 2018

PROGRAMA ACADÉMICO INGENIERÍA CIVIL

ESTUDIANTE: ELIECER TAVERA ORTIZ

CÓDIGO 505714

DIRECTOR SUGERIDO: JESUS ERNESTO TORRES QUINTERO

ALTERNATIVA: TRABAJO DE INVESTIGACIÓN



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

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

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

Usted es libre de:



Compartir - copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra
hacer obras derivadas

Bajo las condiciones siguientes:



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



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

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	10
2. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN	11
3. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	15
4. OBJETIVOS	16
4.1 General.....	16
4.2 Específicos	16
5. MARCOS DE REFERENCIA	17
5.1 Marco conceptual.....	17
5.2 Marco teórico	20
Contribución de aguas residuales domesticas (Q_D).....	20
Caudal medio diario (Q_{MD}).....	21
Factor de mayoración (F).....	21
Caudal máximo horario (Q_{MH})	21
Caudal conexiones erradas (Q_{CE})	22
Infiltración (Q_{INF})	22
Caudal de diseño residual (Q_{DT}).....	22
Contribución de aguas lluvias.....	22
Caudal de diseño pluvial.....	23
5.3 Marco legal	23
6. ALCANCES Y LIMITACIONES	25
6.1 Alcances.....	25
6.2 Limitaciones.....	25
7. METODOLOGÍA	26
7.1 Fase 1: Actividades preliminares del Proyecto	26
7.2 Fase 2: Actividades con el municipio de Soatá y diseño de investigación.	26
7.3 Fase 3: Actividades con el municipio de Soatá y desarrollo del documento Proyecto final. 26	26
8. ESTUDIOS BÁSICOS	27
8.1 Estudio de proyección de población y demanda de agua	27

11.1.1.	Periodo de diseño	27
11.1.2.	Proyección de la población.....	27
11.1.2.1.	Método Aritmético	29
11.1.2.2.	Método Geométrico.....	31
11.1.2.3	Método Exponencial.....	33
11.1.2.4	Método Wappaus	35
11.1.2.5	Población Flotante	39
11.1.3	Dotación neta.....	40
11	DIAGNÓSTICO DEL SISTEMA	42
11.1	Consideraciones generales	42
11.2	Componentes sistema de alcantarillado	44
11.2.1	Colectores y emisarios finales	44
11.3	Capacidad de trabajo del sistema de alcantarillado.....	50
11.3.1	Alcantarillado Sanitario.....	50
11.3.2	Recolección y evacuación de escorrentía pluvial.....	54
11.3.2.1	Estructuras de Captación	54
11.3.2.2	Cálculo del caudal de aguas lluvias.....	56
11.4	Situación actual	62
11.4.1	Pozos de inspección.....	62
11.4.2	Colectores	64
11.4.3	Sumideros	66
11.4.4	Vertimientos.....	67
11.4.5	Cabezales de entrega	68
11.5	Condiciones de flujo Alcantarillado Sanitario	68
11.5.1	Tensión cortante	68
11.5.2	Velocidad máxima y mínima	69
11.5.3	Profundidad hidráulica.....	69
11.5.4	Régimen de flujo.....	69
11.6	Condiciones de Flujo Alcantarillado Pluvial y/o Combinado.....	69
11.6.1	Diámetro interno real mínimo	70
11.6.2	Tensión cortante.....	70
11.6.3	Velocidad máxima y mínima	70
11.6.4	Profundidad hidráulica.....	70
11.6.5	Régimen de flujo.....	71
11.7	Situación futura	71
11.7.1	Condiciones de flujo.....	71
12	CONCLUSIONES	72
13	RECOMENDACIONES AL SISTEMA DE ALCANTARILLADO.....	75
13.2	Tramos críticos.....	75
13.2.1	Alternativas	75
13.3	Pozos de Inspección	81
13.4	Sumideros.....	82

13.5 Vertimientos	83
14 BIBLIOGRAFÍA	84

LISTADO DE TABLAS ANEXAS

Tabla 1 Periodos de retorno.....	23
Tabla 2 Normatividad colombiana para sistemas de agua potable y saneamiento básico. ..	24
Tabla 3 Métodos de proyección de población según el nivel de complejidad	28
Tabla 4 Censos de población.....	28
Tabla 5 Resultados de proyección de población por el método aritmético.....	30
Tabla 6 Resultados de proyección de población por el método geométrico	32
Tabla 7 Resultados de proyección de población por el método Exponencial	34
Tabla 8 Resultados de proyección de población por el método Wappaus.....	36
Tabla 9 Población proyectada por los métodos usados.....	37
Tabla 10 Proyecciones de población, población flotante y población total	40
Tabla 11 Dotación Neta Máxima de acuerdo a altura promedio sobre el nivel del mar.	41
Tabla 12 Características físicas red sur.	45
Tabla 13 Características físicas de la red de colectores de la vertiente Norte.....	47
Tabla 14 Inventario completo de la red de alcantarillado de Soatá.....	49
Tabla 15 Coeficientes de escorrentía C de acuerdo al tipo de superficie.....	60
Tabla 16 Estado actual pozos de inspección.	63
Tabla 17 Tramos de colectores propuestos a cambiar.	76
Tabla 18 Características tramos propuestos sistema de alcantarillado pluvial.	79

LISTADO DE FIGURAS ANEXAS

Figura 1 Localización del municipio de Soatá en el departamento de Boyacá.....	11
Figura 2 Localización de municipios en el departamento de Boyacá.	12
Figura 3 Vista casco urbano de Soatá en el departamento de Boyacá.	13
Figura 4 Mapa conceptual de los sistemas de recolección y transporte de aguas residuales y/o lluvias.	19
Figura 5 Representación gráfica resultados de proyección por el método aritmético.	31
Figura 6 Representación gráfica resultados de proyección de población método geométrico.	33
Figura 7 Representación gráfica resultados de proyección de población método Exponencial.	35
Figura 8 Representación gráfica resultados de proyección de población método Wappaus.	37
Figura 9 Comparación gráfica de los diferentes métodos de proyección de población.	38
Figura 10 Vertientes del sistema de alcantarillado de Soatá.	43
Figura 11 Características físicas red sur.....	46
Figura 12 Características Red Norte.	48
Figura 13 Características físicas red de alcantarillado de Soatá.	50
Figura 14 Áreas aferentes alcantarillado sanitario área urbana Soatá.	52
Figura 15 Áreas aferentes alcantarillado sanitario y usos del suelo de Soatá en vertiente sur.	53
Figura 16 Áreas aferentes alcantarillado sanitario y usos del suelo de Soatá en vertiente norte.	54
Figura 17 Ubicación de sumideros en zona urbana de Soatá.....	55
Figura 18 Área tributaria teórica de los sumideros existentes en el sistema de alcantarillado de Soatá.	56
Figura 19 Curvas IDF deducidas para la Estación Surbatá Bonza.....	58
Figura 20 Incapacidad hidráulica de tramos de alcantarillado.....	65
Figura 21 Tramos a reemplazar sistema de alcantarillado combinado.	78
Figura 22 Distribución de redes de alcantarillado pluvial propuesto para Soatá.....	80
Figura 23 Cámara de caída escalonada. Norma ATV A 241(1994).	82

LISTADO DE FOTOS ANEXAS

Foto 1 Imagen panorámica de zona urbana del Municipio de Soatá.	43
Foto 2 Pozo en mal estado.....	63
Foto 3 Pozo en regular estado	64
Foto 4 Pozo en buen estado.....	64
Foto 5 Pozo con aro metálico en mal estado.....	64
Foto 6 Sumidero colmatado.....	66
Foto 7 Sumidero colmatado.....	66
Foto 8 Sumidero en mal estado.....	66
Foto 9 Vertimiento 1.....	67
Foto 10 Vertimiento 2.....	67
Foto 11 Vertimiento 3.....	67
Foto 12 Viviendas no conectadas al sistema.....	68

1. INTRODUCCIÓN

En el marco para el progreso y el digno desarrollo, se contempla garantizar el cumplimiento de las necesidades básicas a las comunidades sean estas en relación a los servicios de salud, educación, construcciones viales, vivienda, agua potable y saneamiento. En nuestro país uno de los compromisos gubernamentales está en asegurar y en brindar servicios públicos de calidad y en cantidades suficientes para satisfacer las necesidades básicas de los colombianos.

El sistema de alcantarillado se considera un servicio básico, debido a que ofrece el rápido desalojo de las aguas residuales y aguas lluvias de modo tal que sean transportadas de manera segura evitando todo tipo de afecciones sanitarias, que pueden poner en riesgo la salud pública debido a su acumulación o escurrimiento superficial. (CEDEX, 2009).

El presente proyecto se desarrollará en el municipio de Soatá, departamento de Boyacá, en cuya zona urbana se encuentra construido un sistema de alcantarillado combinado, con ausencia de plantas de tratamiento de aguas residuales. La finalidad de este proyecto es efectuar un diagnóstico al sistema y desarrollar un manual técnico de recomendaciones en tramos críticos, basados en información suministrada por las autoridades competentes del municipio, información de campo obtenida mediante la visita a la zona y desarrollo de parámetros de acuerdo a la normatividad vigente. Se indica la presencia de fallas constantes en su funcionamiento, como consecuencia de la falta de reajustes derivados del crecimiento poblacional de los últimos años en la zona, lo que implica mayores aportes de aguas residuales al sistema, además de fallas por colmatación en algunos de sus tramos.

Se han elaborado estudios previos al sistema de alcantarillado del municipio de Soatá que corresponden a la Optimización Y Diseño Hidráulico De Las Redes En El Año 2013 (EMPOSOATÁ, 2013), sin embargo, en la actualidad según las directivas de Empresa de Servicios Públicos encargada de su operación EMPOSOATÁ, ni se implementaron en su momento, ni se ajustan a las necesidades actuales de la infraestructura de alcantarillado. Por esta razón se considera prioritario efectuar el diagnóstico y actualizar la información del sistema dando cumplimiento a la normativa colombiana competente, en este caso de la Resolución 0330 de junio de 2017 (Ministerio de Vivienda C. y., 2017).

El desarrollo del documento del presente proyecto será efectuado mediante los cálculos correspondientes indicados bajo la normatividad indicada, se comprobarán los resultados obtenidos comparándolos con los mínimos establecidos y por medio de las visitas técnicas se verificarán los parámetros mínimos de funcionalidad, se consolidará un documento técnico

con información veraz que será el aporte para que los funcionarios del municipio de Soatá tomen las decisiones pertinentes y puedan mejorar el funcionamiento del sistema, en la Universidad Católica reposará el documento que será fuente de consulta para los diferentes interesados de la comunidad académica.

2. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN

El municipio de Soatá se encuentra ubicado en la parte nororiental del departamento de Boyacá, en la actualidad es la capital de la provincia del Norte, el sector urbano del municipio, se encuentra localizado a los 60° 20' de latitud Norte y 72° 40' de longitud Oeste; su altura sobre el nivel del mar es de 1950 metros, su temperatura promedio es de 20 grados centígrados. Dista de Tunja, la capital del departamento 160 Kilómetros, y su área total es de 136 Km², con una población aproximada de 8730 habitantes de los cuales 5500 se localizan en la zona urbana. Limita con las siguientes poblaciones: Tipacoque, Sur: Susacón, Oriente: Boavita, Occidente: Onzaga (Santander)¹.

Figura 1 Localización del municipio de Soatá en el departamento de Boyacá.



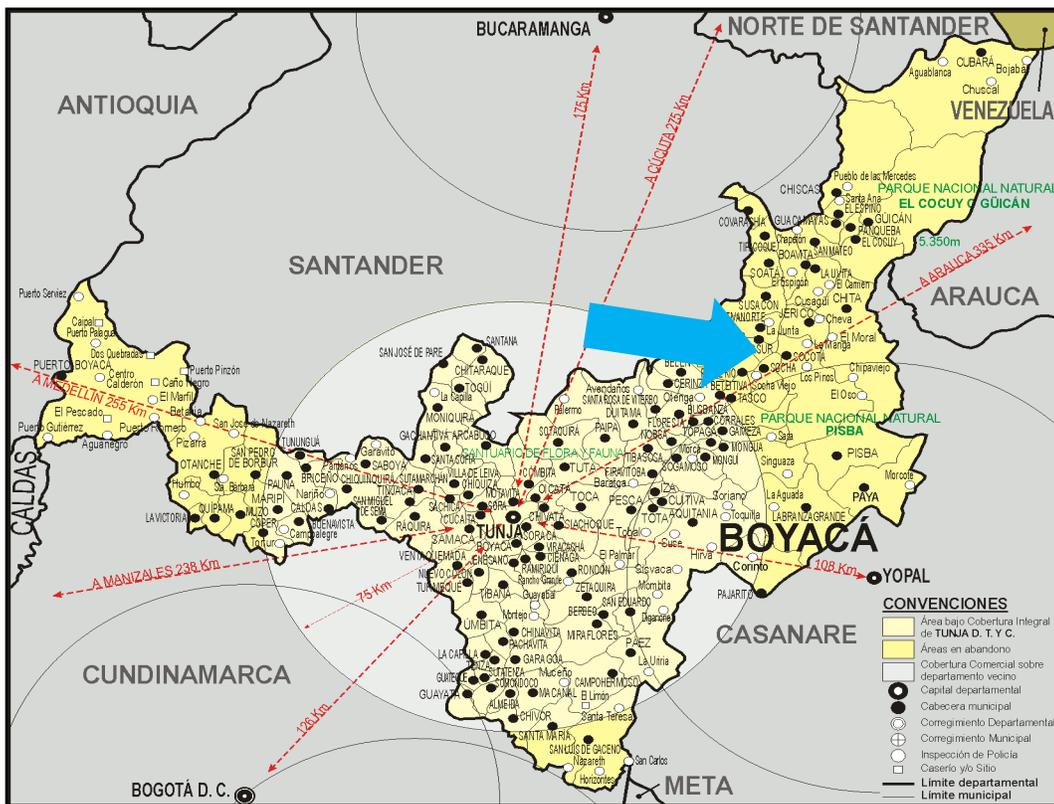
Fuente: Página oficial Alcaldía de Soatá.

¹ ALCALDÍA DE SOATÁ – BOYACÁ, Posición geográfica del municipio de Soatá, Boyacá, Colombia. 2017. <http://www.soata-boyaca.gov.co/informacion_general.shtml> [Consultado el 26 de agosto de 2017].

Entre los planes de desarrollo para los años siguientes, en mayo 19 de 2016 la alcaldía del municipio anunció la construcción de viviendas que constan de 200 apartamentos, compuestos por tres habitaciones, un baño principal y un baño privado para la habitación principal (EXTRA, 2016), lo que conlleva a analizar el manejo de aguas residuales de estas nuevas viviendas.

También se debe tener en cuenta que el municipio de Soatá es considerado la cuna del Cañón del Chicamocha², ya que es aquí donde aparece este accidente geográfico que es de gran atractivo turístico para el departamento y para el país. De allí la importancia de garantizar el correcto funcionamiento de los sistemas de acueducto y alcantarillado, tanto para la población que habita el municipio, así como también para la población flotante y futura.

Figura 2 Localización de municipios en el departamento de Boyacá.



Fuente: Proyecto de Reorganización Territorial, SALAMANCA Hugo, 2010.

En la Figura 3 se aprecia una imagen Satelital de la Zona de estudio obtenida de Google Earth, año 2017.

² ALCALDÍA DE SOATÁ – BOYACÁ, Información histórica del municipio de Soatá, Boyacá, Colombia. 2017.< http://www.soata-boyaca.gov.co/informacion_general.shtml> [Consultado el 26 de agosto de 2017].

Figura 3 Vista casco urbano de Soatá en el departamento de Boyacá.



Fuente: Google Earth, 2017

De acuerdo a información suministrada por la Alcaldía de Soatá, actualmente en el municipio la empresa prestadora de servicios públicos es EMPOSOATÁ E.S.P. La infraestructura de alcantarillado consta de un sistema convencional tipo combinado compuesto por alrededor de 200 tramos en los cuales la tubería tiene elementos de diferentes diámetros que oscilan entre 8” a 36”, con una longitud aproximada de 13000 metros y está constituida por elementos de concreto, PVC, y gres. El sistema cuenta con 165 pozos de inspección. Existen tres fuentes receptoras de vertimientos del sistema sin tratamiento alguno, lo que genera un mal manejo de aguas e impactos ambientales³.

Los funcionarios de la Alcaldía permitieron la consulta al documento elaborado en el año

³ ALCALDÍA DE SOATÁ – BOYACÁ, Redes de acueducto y alcantarillado del municipio de Soatá. Soatá, Boyacá, Colombia. 2017. <http://www.soata-boyaca.gov.co/informacion_general.shtml#economia> [Consultado el 26 de agosto de 2017].

2013 del estudio “Optimización de las redes de acueducto y alcantarillado para el casco urbano del municipio de Soatá” que corresponde a una actualización de la Fase II del Plan Maestro de Acueducto y Alcantarillado del Municipio de Soatá (EMPOSOATÁ, 2013), llevado a cabo en el año 2006, efectuando un catastro de las redes de alcantarillado, y realizándose el diagnóstico de las mismas donde se planteó la optimización de las redes además de su diseño hidráulico.

Sin embargo, las directivas de EMPOSOATÁ E.S.P, en cabeza de la actual Gerente Janeth Zoraida Blanco aseguran que estos estudios no se ajustan a las necesidades actuales del municipio, dado que no se han tenido en cuenta las variables de crecimiento poblacional y de expansión urbanística de los últimos años del área de estudio, además de que no han sido implementados ninguno de estos estudios.

La elaboración del presente diagnóstico permitirá obtener un documento técnico con las correspondientes recomendaciones para el municipio y así iniciar los correctivos necesarios para minimizar el impacto en el sistema a mediano y largo plazo, así como también reducir los riesgos en la salud de sus habitantes y turistas. El documento contendrá los resultados obtenidos mediante la aplicación de las normas vigentes, estos servirán como fuente de consulta para determinar la gravedad y necesidad de las obras de mejora o de mantenimiento de acuerdo a las consideraciones del municipio de Soatá.

3. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

La zona urbana del municipio de Soatá cuenta en la actualidad con aproximadamente 5500 habitantes, con una cobertura del 99% en la prestación del servicio de alcantarillado, sin embargo en los planes de expansión de este sistema, no han sido contempladas las áreas de crecimiento urbano detalladas en el Esquema de Ordenamiento Territorial (EOT) del municipio, lo que condiciona el funcionamiento hidráulico y la capacidad de trabajo de las redes al incrementarse los vertimientos de aguas residuales al sistema.

Por otra parte, las autoridades encargadas del sistema en el municipio (EMPOSOATÁ, 2013) han brindado información de recientes hechos de colmatación en diferentes tramos de la red de alcantarillado debido a que es un sistema combinado y el actual estado de los sumideros ocasiona el estancamiento de aguas y el arrastre de materiales sólidos que generan obstrucción en la red. A lo anterior se suma que el sistema tiene tres vertimientos a cuerpos receptores y en ninguno de estos se ha implementado una PTAR.

Con base a la información obtenida del sistema de alcantarillado del municipio de Soatá, se tiene previsto efectuar un diagnóstico, para posteriormente realizar las observaciones y recomendaciones consideradas de acuerdo a la normatividad vigente, sus falencias y sus posibles mejoras, de manera que se puedan reducir al mínimo las deficiencias y optimizar el funcionamiento del mismo y determinar entonces si ¿ Cuenta actualmente el Municipio de Soatá con una infraestructura de alcantarillado que ofrezca el rápido desalojo de las aguas residuales y aguas lluvias, de modo que sean transportadas de manera segura evitando todo tipo de alteraciones sanitarias que afecten la salud pública?.

4. OBJETIVOS

4.1 General

Realizar el diagnóstico y formulación de alternativas de solución para mejorar el funcionamiento de la estructura del sistema de alcantarillado del municipio de Soatá, Boyacá.

4.2 Específicos

- Compilar y analizar información necesaria para realizar el diagnóstico del sistema de alcantarillado.
- Identificar la capacidad con la que trabaja actualmente el sistema de alcantarillado del área de estudio y sus deficiencias.
- Desarrollar el manual técnico de recomendaciones en tramos críticos, para garantizar la cobertura y mejorar la prestación del servicio de alcantarillado.

5. MARCOS DE REFERENCIA

5.1 Marco conceptual

Durante el desarrollo del presente proyecto se deberá tener claridad de aspectos que están directamente ligados en la investigación, los elementos que componen el alcantarillado y como estos son la parte fundamental para el correcto funcionamiento de un sistema.

Los sistemas de alcantarillado combinado son los encargados de captar y transportar aguas residuales y aguas lluvias por un solo elemento, están conectados por medio de tramos de tuberías y accesorios. Dada su disposición se dificulta el correcto tratamiento de estas aguas que en ocasiones son vertidas directamente a cauces naturales ocasionando problemas de contaminación (EPM, 2009).

El diseño de estos sistemas debe garantizar que en épocas de lluvias no se presenten las Demasías de Alcantarillado Combinado DAC (RESTREPO, 2007), que son básicamente el colapso del sistema ante una gran demanda de aguas a transportar, lo que ocasiona que estas sean expulsadas por el sistema de drenaje al exterior, ya sea en calles o casas. Debe garantizarse que las aguas sean transportadas por un curso receptor de manera eficiente y segura hasta los colectores.

Los aliviaderos son colectores en puntos bajos que tienen como objeto disminuir los costos de conducción de las aguas hasta los puntos de tratamiento y puedan drenar los excedentes de aguas en el sistema. Son estructuras que regulan y protegen las demasías o caudales superiores.

Para comprender de una manera más eficiente el funcionamiento e importancia de los diferentes sistemas de alcantarillados, se muestran los diferentes tipos de sistemas así como su función en la Figura 4 que consta de una serie de elementos unidos entre si por una secuencia de conectores escalonados y por categorías, lo que permite identificar de forma jerárquica los niveles de los alcantarillados, los tipos y sus funciones particulares (ONTORIA, 2006).

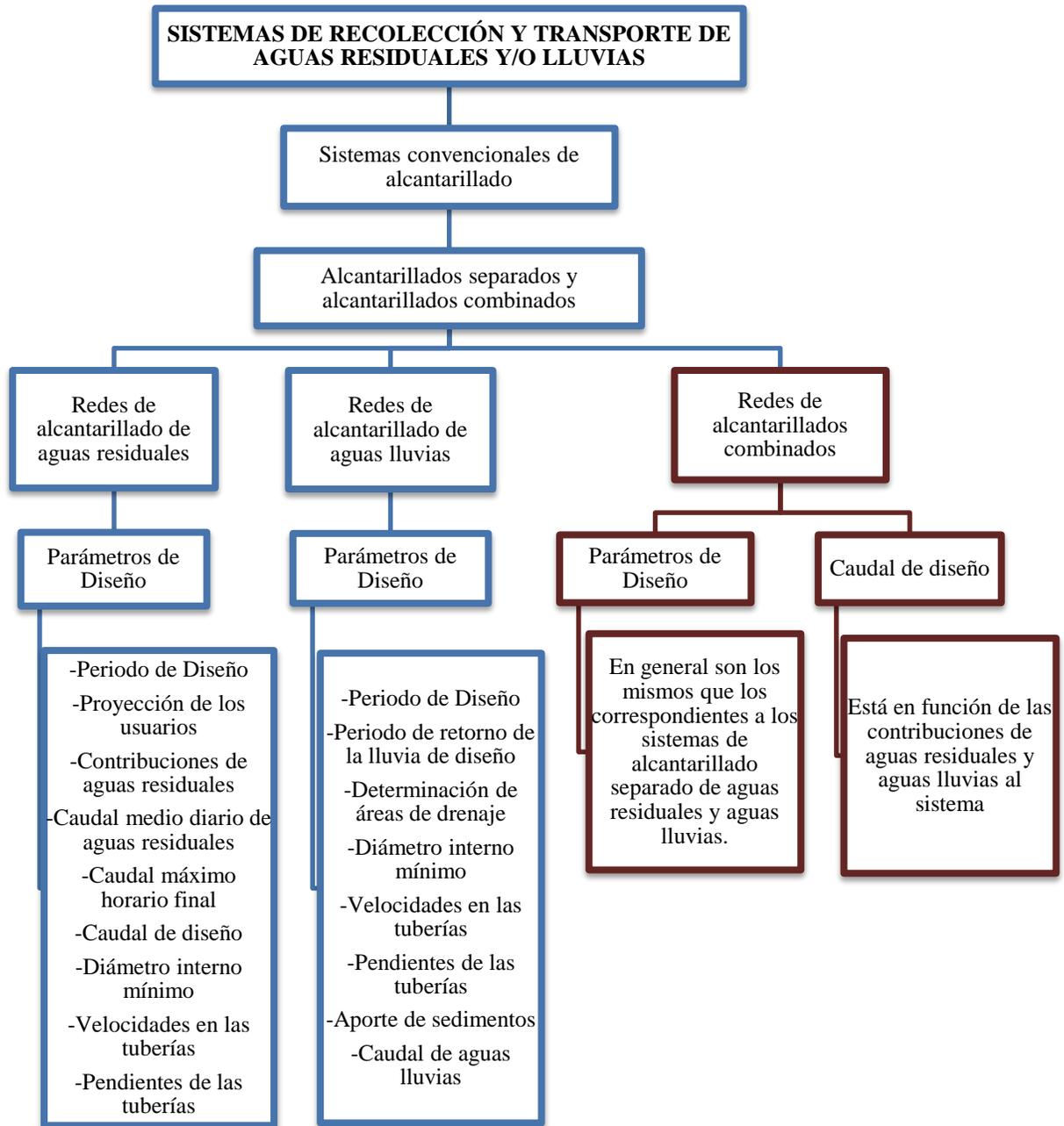
La Figura 4 está constituida por un título general que da inicio a los diferentes conceptos que se desarrollaran en su parte inferior, el título *Sistemas De Recolección Y Transporte De Aguas Residuales Y/O Lluvias* agrupa todos aquellos elementos diseñados y construidos con la finalidad de servir como conductores de aguas residuales y aguas lluvias y transportarlos de la forma más eficiente y segura hasta los puntos colectores o finales.

En la parte inferior se indican con el título *Sistemas Convencionales De Alcantarillado* aquellos elementos que son tradicionales para el manejo de fluidos y que son regulados por normatividad correspondiente, no se contemplan los elementos constituidos o diseñados por nuevas tecnologías.

Continúa con *Alcantarillados Separados Y Alcantarillados Combinados*, que son los tipos de sistemas convencionales conocidos y desarrollados, estos sistemas son únicamente para el transporte de aguas residuales y aguas lluvias.

En la parte más inferior de la figura se indican los tipos de Redes de Alcantarillado, así como también los Parámetros de Diseño y el Caudal de diseño, se indican sus principales características.

Figura 4 Mapa conceptual de los sistemas de recolección y transporte de aguas residuales y/o lluvias.



Fuente: Autor

5.2 Marco teórico

De acuerdo a la Resolución 0330 de 2017 (Ministerio de Vivienda C. y., 2017) para desarrollar sistemas de alcantarillado de aguas residuales y lluvias el diseñador debe seleccionar el sistema o combinación de sistemas más eficiente para drenar las aguas residuales y lluvias de la población o del área.

Los elementos mínimos que se deben tener en cuenta para la selección del tipo de sistema de recolección y transporte de aguas residuales y/o lluvias son:

- Las proyecciones de población.
- Los planes de ordenamiento territorial.
- Las poblaciones de saturación y densidades de población.
- Los consumos de agua potable y las curvas de demanda de éste a lo largo del día.
- Las características hidrológicas de la zona.
- Las características de las quebradas, ríos, etc. que puedan ser utilizados como receptores de las descargas de los aliviaderos.
- Los aspectos socioeconómicos y socioculturales del municipio.
- Los aspectos institucionales.
- Infraestructura de redes y vías existentes y proyectadas.
- La capacidad de las redes de alcantarillado existentes ante condiciones iniciales de operación y ante la proyección futura

Los periodos de planeamiento o diseño, consisten en la capacidad del sistema para población futura, la durabilidad de los materiales de construcción y también las modificaciones futuras. De acuerdo con la Resolución 0330 de 2017 en el Artículo 40 se adoptan para todos los componentes del sistema de alcantarillado un periodo de diseño de 25 años. (Ministerio de Vivienda C. y., 2017)

Se determina el caudal del sistema como la sumatoria de los caudales de aguas residuales y aguas lluvias, se determinara por este metodo ya que se trata de un sistema combinado.

Contribución de aguas residuales domesticas (Q_D)

Se determinará el caudal de aguas residuales domesticas por medio de la ecuación 1.0, según lo indicado por la Resolución 0330 de 2017.

$$QD = CR \times DNETAp \times A \quad (1.0)$$

Donde:

D_{NETAp} = Demanda neta de agua potable por unidad de área tributaria (L/s. Ha).

A = Área tributaria de drenaje (Ha).

De acuerdo a la Resolución 0330 las contribuciones de aguas industriales, comerciales e institucionales deben analizarse de forma puntual, esta información se obtendrá con los encargados del sistema de alcantarillado del municipio.

Caudal medio diario (Q_{MD})

Se determina como la sumatoria de los aportes domésticos (Q_D), industriales (Q_I), comerciales (Q_C) e institucionales (Q_{IN}) como se indica en la ecuación 2.0.

$$QMD = QD + QI + QC + QIN \quad (2.0)$$

Factor de mayoración (F)

El factor de mayoración permite estimar el caudal máximo horario, basados en el caudal medio diario, este factor disminuye a medida que aumenta el número de habitantes, puede ser calculado por medio de las ecuaciones 3.0 y 4.0.

$$F = \frac{353}{QMD^{0.0914}} \quad (3.0)$$

$$F = \frac{3.70}{QMD^{0.0733}} \quad (4.0)$$

Caudal máximo horario (Q_{MH})

Se determinará mediante la multiplicación del Q_{MD} y el F, mediante las ecuaciones propuestas, este valor deberá estar entre 1.4 y 3.8, se obtendrá con la ecuación 5.0.

$$QMH = F \times QMD \quad (5.0)$$

Caudal conexiones erradas (Q_{CE})

Debe estimarse con información de los encargados del sistema, o en ausencia de este dato puede tomarse como valor máximo 0.2 L/s.ha.

Infiltración (Q_{INF})

Se determinará considerando la naturaleza y permeabilidad del suelo, topografía de la zona y drenaje, cantidad y distribución de la precipitación, estado y tipo de tuberías, se podrá utilizar un factor entre 0.1 y 0.3 L/s.ha, dependiendo las características ya mencionadas.

Caudal de diseño residual (Q_{DT})

Se obtiene mediante la sumatoria de caudal máximo horario (Q_{MH}), aportes por infiltraciones (Q_{IN}) y conexiones erradas (Q_{CE}), se obtiene con la ecuación 6.0, este valor no debe ser menor a 1.5 L/s si llegara a ser menor, se tomará 1.5 L/s como valor para caudal de diseño de tramo.

$$Q_{DT} = Q_{MH} + Q_{IN} + Q_{CE} \quad (6.0)$$

Contribución de aguas lluvias

Se diseñan para colectores y canales mediante modelos lluvia – escorrentía. Se pueden estimar mediante los siguientes factores:

- **Periodo de retorno:** Se determina de acuerdo a la importancia de las áreas y los daños, perjuicios o molestias que puedan resultar de las inundaciones a los habitantes, tráfico, comercio etc. Los valores son obtenidos de la Tabla 1 que se encuentra en el Artículo 135 de la Resolución 0330 del 2017 (Ministerio de Vivienda C. y., 2017).

Tabla 1 Periodos de retorno.

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

Fuente: Resolución 0330 de 2017.

- Intensidad de lluvia: Se determina por medio de las curvas IDF de cada localidad o región, si no se encuentra información del último quinquenio se deben determinar mediante información pluviográfica de la zona determinando las curvas de frecuencia mediante análisis de frecuencia de eventos extremos máximos.

Caudal de diseño pluvial

Para el diseño de caudal pluvial puede utilizarse el método racional, que consiste en el pico máximo de lluvias con base en la intensidad de las precipitaciones, se utiliza la ecuación 7.0.

$$Q = 2.78C * i * A \quad (7.0)$$

Con la información obtenida a partir de la aplicación de todos los métodos anteriormente descritos, se podrá determinar la capacidad del sistema y con estos valores comparar si se ajustan y cumplen con las condiciones mínimas estipuladas por la normatividad vigente.

5.3 Marco legal

Para garantizar el cumplimiento de la normatividad vigente en el país en cuanto al sistema de alcantarillado se refiere, niveles de complejidad, métodos de proyección de población, periodos de diseño, condiciones hidráulicas y demás detalles concernientes al presente proyecto, se procedió a consultar la normatividad, la cual se presenta en la Tabla 2.

Tabla 2 Normatividad colombiana para sistemas de agua potable y saneamiento básico.

NORMA	ENTIDAD QUE LA EXPIDE	OBJETO
Constitución Política de Colombia de 1991 ⁴	Asamblea Nacional Constituyente	Ley máxima y suprema de Colombia
RAS 2000. Título A.	Ministerio de Desarrollo Económico	Aspectos generales de los sistemas de agua potable y saneamiento básico.
RAS 2000. Título D.	Ministerio de Desarrollo Económico	Sistemas de recolección y evacuación de aguas residuales domésticas y pluviales.
Resolución 1096 de 2000	Ministerio de Desarrollo Económico	“Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS.”
Resolución 668 de 2003 ⁵	Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial	Por la cual se modifican los artículos 86, 123, 126 y 210 de la Resolución número 1096 del 17 de noviembre de 2000 que adopta el reglamento técnico para el sector de Agua Potable y Saneamiento Básico, RAS
Resolución 2320 de 2009 ⁶	Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial	“Por la cual se modifica parcialmente la Resolución No. 1096 de 2000 que adopta el Reglamento Técnico para el sector de Agua Potable y Saneamiento Básico -RAS
Resolución 0330 de 2017	Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio.	Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS y se derogan las Resoluciones 1096 de 2000, 0424 de 2001, 668 de 2003, 1459 de 2005, 1447 de 2005 y 2320 de 2009.

Fuente: Autor.

⁴ COLOMBIA. CONGRESO. Constitución Política de Colombia 1991. Bogotá: El Congreso, 1991. [Consultado el 05 de septiembre del 2017].

⁵ MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO. (s.f.). Resolución 0668 de 2003. Bogotá, Cundinamarca, El Congreso. 2003. [Consultado el 05 de septiembre del 2017].

⁶ MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO. (s.f.). Resolución 2320 de 2009. Bogotá, Cundinamarca. 2009. [Consultado el 05 de septiembre del 2017].

6. ALCANCES Y LIMITACIONES

6.1 Alcances

Para dar cumplimiento a los lineamientos trazados en el objetivo general de este proyecto, se establece como alcance la realización del diagnóstico y la elaboración de un manual técnico de recomendaciones para el sistema de alcantarillado del municipio de Soatá, Boyacá en el cual se tienen en cuenta los parámetros establecidos en la Resolución 0330 de junio de 2017.

Se plantearán diferentes alternativas que ofrezcan un mejoramiento técnico, incluyendo las recomendaciones para adecuaciones o mantenimientos de los sistemas de aguas residuales y aguas lluvias y con esto garantizar la calidad del servicio para la comunidad, minimizando riesgos provenientes del sistema de alcantarillado.

Se realizará el informe final entregando detalles acerca de la metodología, información recolectada, resultados obtenidos y alternativas para el desarrollo del proyecto.

6.2 Limitaciones

El trabajo se limitará a efectuar el diagnóstico del sistema de alcantarillado del municipio de Soatá y el manual técnico de recomendaciones, sin realizar el diseño de plantas de tratamiento de agua residual de las tres vertientes descritas anteriormente ni tampoco el modelamiento hidráulico. Se considera como un limitante para el desarrollo de este proyecto, la ubicación geográfica del municipio en estudio, el cual se encuentra aproximadamente a 300 km de la ciudad de Bogotá en un trayecto de seis horas por carretera en promedio, lo cual hace que las visitas técnicas a pesar de tener una buena planeación dependan de las condiciones climatológicas, de las vías y la disponibilidad de los servidores públicos del municipio para realizar acompañamientos.

7. METODOLOGÍA

Para el correcto desarrollo del proyecto se indican actividades agrupadas en 3 Fases, las técnicas y procedimientos planeados son necesarios para llevar a cabo la investigación y responder a la problemática planteada.

7.1 Fase 1: Actividades preliminares del Proyecto

Consiste en todas aquellas actividades de investigación exploratoria del sistema de alcantarillado del municipio, determinando su capacidad y determinando la problemática presente, se realizará la investigación y el análisis de los estudios ya efectuados al sistema para por medio de estos determinar la complejidad, los alcances y límites del proyecto. Se considera en esta fase la consolidación del documento previo al proyecto, para determinar los medios para el correcto desarrollo de la investigación.

7.2 Fase 2: Actividades con el municipio de Soatá y diseño de investigación.

El inicio de esta Fase parte de la visita técnica al municipio para realizar una localización, un levantamiento fotográfico, obtención con las autoridades de la información disponible en el municipio, acercamiento con los funcionarios encargados del sistema y la obtención de información adicional que se considere necesaria. Análisis y estudio de los diagnósticos ya realizados en el municipio y la información aportada por el municipio. Desarrollo por medio de los parámetros en la normatividad vigente de los cálculos y tablas con las características del sistema actual y sus recomendaciones de mejora.

7.3 Fase 3: Actividades con el municipio de Soatá y desarrollo del documento Proyecto final.

En esta Fase se contemplan las visitas técnicas al municipio para solucionar aquellas inquietudes resultado del desarrollo de la investigación, la comprobación de los resultados obtenidos con los cálculos realizados y los correspondientes al sistema, la estructuración del documento definitivo con el diagnóstico del sistema y el manual técnico de recomendaciones obtenidas mediante la investigación. Radicación de documento ante la Universidad y sustentación del documento en su versión final. Aprobación del documento, ratificando el cumplimiento técnico y veracidad de la investigación. Divulgación del documento entre la comunidad de la Universidad Católica interesada, así como también entrega del manual técnico de recomendaciones al municipio de Soatá, reposo del documento en el Banco de Proyectos de la Universidad como material de consulta y entrega de documento para ser presentado a Revista para publicación.

8. ESTUDIOS BÁSICOS

Además de las consideraciones generales citadas en capítulos anteriores sobre la problemática actual que presenta el Municipio de Soatá en cuanto al sistema de alcantarillado se refiere, se deben tener en cuenta aspectos previos, como los estudios de proyección de población y demanda de agua para el sitio de estudio, que son el punto de partida antes de efectuar los análisis y propuestas de acción que permitan reconocer la realidad de la situación presentada, como criterios que arrojan el diagnóstico del sistema de alcantarillado de Soatá. Cada uno de estos aspectos serán tratados a lo largo de este capítulo.

8.1 Estudio de proyección de población y demanda de agua

Las finalidades de este tipo de estudios basan su importancia en establecer un determinado número de habitantes que ha de caracterizar situaciones como las cantidades de agua requeridas para la satisfacción de sus necesidades básicas, proyectándose a determinados periodos de tiempo establecidos en la normatividad vigente en el país.

11.1.1. Periodo de diseño

La Resolución 0330 de junio de 2017 establece determinar la población directa o indirectamente afectada, así como la población objetivo o beneficiada con la ejecución del proyecto, calculada dentro del periodo de diseño del mismo, para un tiempo de 25 años, independientemente del Nivel de Complejidad del sistema. De esta manera, el periodo de diseño adoptado para el caso del municipio de Soatá, Boyacá es de 25 años, es decir la proyección corresponde del presente año (2018) hasta el año 2043.

11.1.2. Proyección de la población

A continuación se muestra en la Tabla 3, que hace referencia a la Guía RAS 001, donde se establecen los métodos de cálculo para realizar las proyecciones de población dependiendo del nivel de complejidad del sistema. (Ministerio de Vivienda C. y., 2000).

Tabla 3 Métodos de proyección de población según el nivel de complejidad

Método a emplear	Nivel de complejidad del sistema			
	Bajo	Medio	Medio – Alto	Alto
Aritmético	X	X		
Geométrico	X	X	X	X
Wappaus	X	X	X	X
Gráfico	X (1)	X		
Exponencial	X (1)	X (1)	X (2)	
Detallar por zonas			X	X
Detallar densidades			X	X

Fuente: RAS 001. Tabla B.2.1

(1) Sujeto a justificación

(2) Optativo recomendable

Conforme dicta la Guía RAS 001 se aplicarán los métodos de proyección de población Aritmético, Geométrico, Wappaus y Exponencial para el Municipio de Soatá, atendiendo a que corresponde a un Nivel de Complejidad medio y se optará por aquel que arroje los resultados de mayor coherencia de acuerdo al nivel de complejidad y a los objetivos que se desean cumplir con el desarrollo del presente trabajo.

Se adquirió la información histórica de los registros censales para los años 1938, 1951, 1964, 1985, 1993 y 2005, para la cabecera municipal de Soatá, a partir de los datos presentados en la página web del Departamento Administrativo Nacional de Estadística DANE. Los valores censales se presentan en la Tabla 4.

Tabla 4 Censos de población

AÑO	POBLACIÓN
1938	2272
1951	3116
1964	4361
1973	4247
1985	7037
1993	7890
2005	5504

Fuente: DANE

De esta información se puede deducir que hay un decrecimiento en el periodo del año 1964 a 1973, y posteriormente en el periodo de 1993 a 2005, este hecho puede presentar signos negativos en los valores de las constantes que indican la tasa de crecimiento para cada método de proyección de población para estos lapsos de tiempo. Por este motivo, se omitieron las tasas de crecimiento negativas para no generar proyecciones inadecuadas de población.

A continuación, se muestran los cálculos y resultados de proyección de población obtenidos para el municipio de Soatá con sus respectivas tasas de crecimiento para cada uno de los métodos aplicados.

11.1.2.1. Método Aritmético

Este método sugiere un crecimiento poblacional lineal, que no depende del tamaño de la población, sino que está equilibrado por la emigración y la mortalidad generando un crecimiento vegetativo, adicionando la característica de que el municipio cuente con pocas o nulas áreas de crecimiento.

Las proyecciones de población por este método se muestran a continuación.

Censo inicial: 1938= 2272 Censo final: 2005= 5504

$$K_{2005 - 1993} = (P_{2005} - P_{1993}) / (2005 - 1938)$$

Donde K: constante de crecimiento poblacional

 P: Población

El resultado encontrado fue:

$$K_{2005 - 1993} = (5504 - 2272) / (2005 - 1938)$$

$$K_{2005 - 1993} = 48,23 \text{ Hab/año}$$

En la Tabla 5 se muestran los resultados de la proyección de población año a año por el método aritmético.

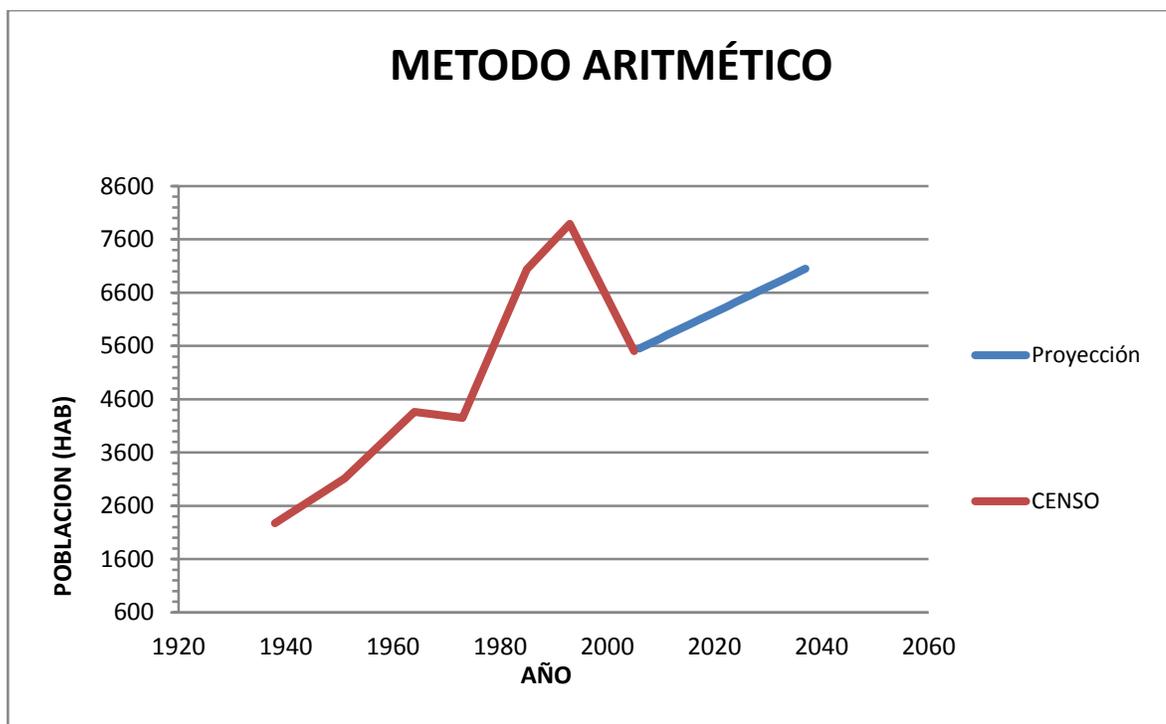
Tabla 5 Resultados de proyección de población por el método aritmético

AÑO	POBLACIÓN (Hab)	AÑO	POBLACIÓN (Hab)
2018	6131	2031	6758
2019	6179	2032	6806
2020	6228	2033	6855
2021	6276	2034	6903
2022	6324	2035	6951
2023	6372	2036	6999
2024	6421	2037	7048
2025	6469	2038	7096
2026	6517	2039	7144
2027	6565	2040	7192
2028	6613	2041	7241
2029	6662	2042	7289
2030	6710	2043	7337

Fuente: Autor

Según los resultados de la Tabla 5, la población proyectada para el año 2043, sería de 7337 habitantes. La representación gráfica de estos resultados se muestra en la figura 5.

Figura 5 Representación gráfica resultados de proyección por el método aritmético.



Fuente: Autor.

11.1.2.2. Método Geométrico

El uso de este método está permitido para todos los niveles de complejidad, sus resultados se adaptan fácilmente a las tendencias de crecimiento de los municipios como Soatá, ya que se ha demostrado que el desarrollo de una población en relación a su tasa de crecimiento no es constante durante el transcurso del tiempo.

Las proyecciones de población por este método se muestran a continuación.

○ Determinación del valor de R

Censo inicial: 1973= 4247 Censo final: 2005= 5504

$$R_{2005-1973} = (P_{2005} / P_{1973})^{(1/2005-1973)} - 1$$

Donde R: constante de crecimiento poblacional en porcentaje

 P: Población

El resultado encontrado fue:

$$R_{2005-1973} = (5504/4247)^{(1/2005-1973)} - 1$$

$$R_{2005-1973} = 0.81 \%$$

○ **Determinación de la población para el año 2018**

$$P_{2018} = P_{2005} * (1 + R_{2005-1973})^{2018-2005}$$

$$P_{2018} = 5504 * (1 + 0.0081)^{13}$$

$$P_{2018} = 6165 \text{ Habitantes}$$

En la Tabla 6 se muestran los resultados de la proyección de población año a año por el método geométrico.

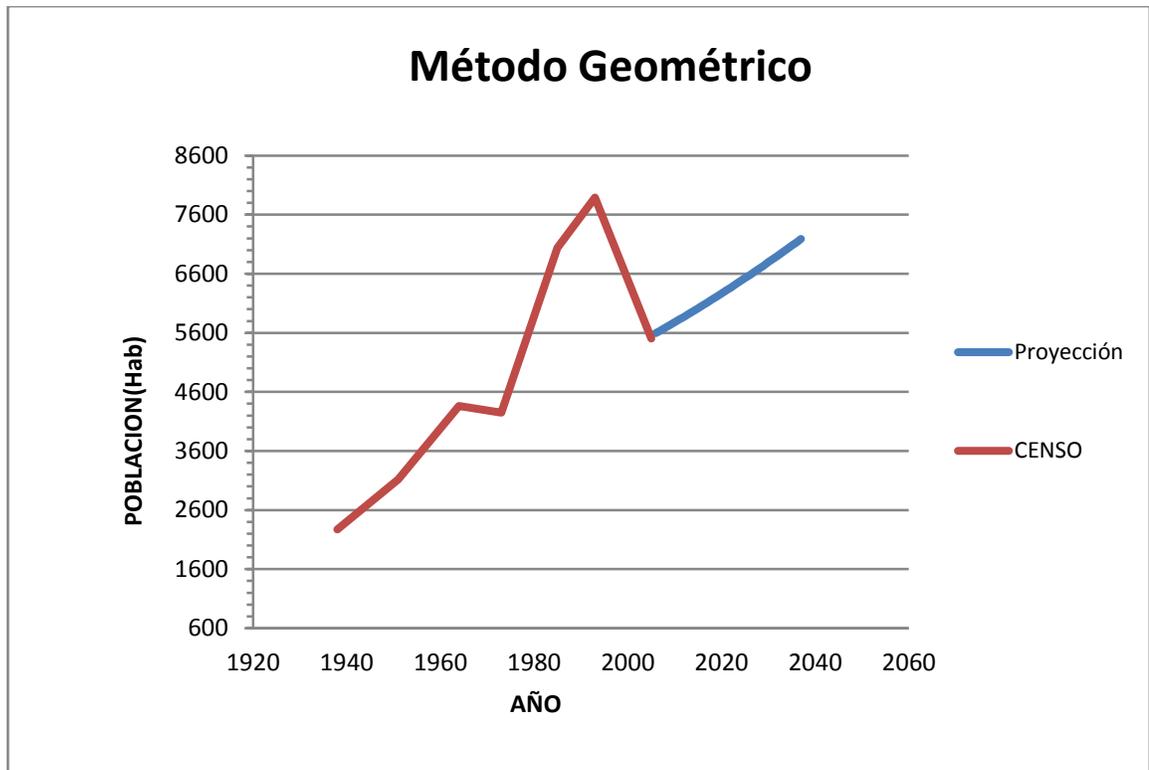
Tabla 6 Resultados de proyección de población por el método geométrico

AÑO	POBLACIÓN (Hab)	AÑO	POBLACIÓN (Hab)
2018	6165	2031	6850
2019	6215	2032	6906
2020	6266	2033	6962
2021	6317	2034	7018
2022	6368	2035	7075
2023	6420	2036	7133
2024	6472	2037	7191
2025	6525	2038	7250
2026	6578	2039	7309
2027	6631	2040	7368
2028	6685	2041	7428
2029	6740	2042	7488
2030	6795	2043	7549

Fuente: Autor

Los resultados mostrados en la anterior tabla, sugieren una población proyectada para el año 2043 de 7549 habitantes La Figura 6 ilustra los resultados de forma gráfica.

Figura 6 Representación gráfica resultados de proyección de población método geométrico.



Fuente: Autor.

11.1.2.3

Método Exponencial

Para determinar la población por el método de la curva exponencial se requieren como valores iniciales los valores de población inicial, la tasa de crecimiento de población y el periodo de tiempo en años a partir del último censo.

La aplicación de este método requiere el conocimiento de por lo menos tres censos, ya que para el cálculo del valor de k promedio se requieren al menos tres valores.

En la Tabla 7 se muestran los resultados de la proyección de población año a año por el método Exponencial.

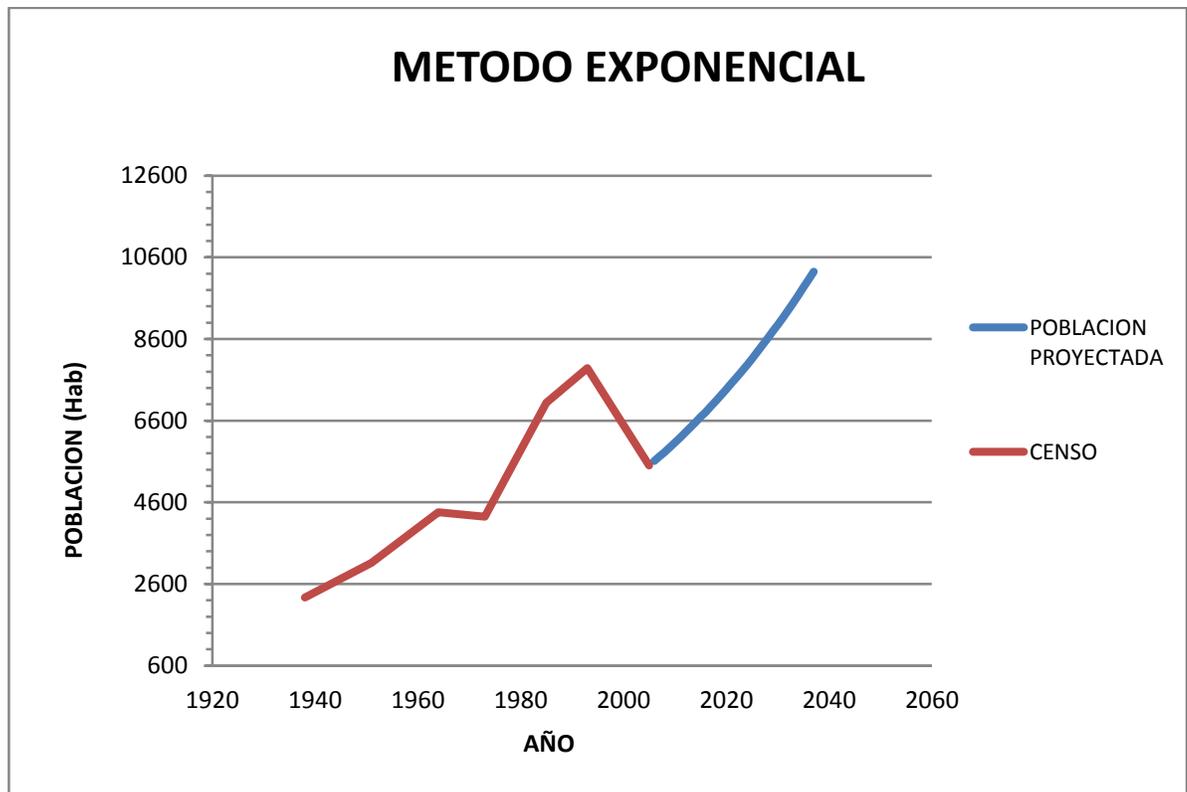
Tabla 7 Resultados de proyección de población por el método Exponencial

AÑO	POBLACIÓN (Hab)	AÑO	POBLACIÓN (Hab)
2018	7085	2031	9119
2019	7224	2032	9298
2020	7365	2033	9480
2021	7510	2034	9666
2022	7657	2035	9856
2023	7807	2036	10049
2024	7960	2037	10246
2025	8116	2038	10447
2026	8275	2039	10652
2027	8438	2040	10861
2028	8603	2041	11074
2029	8772	2042	11291
2030	8944	2043	11512

Fuente: Autor.

Los resultados mostrados en la Tabla 7 indican que para el año de proyección 2043, la población total en el casco urbano del municipio de Soatá sería de 11512 habitantes. A continuación en la Figura 3 se ilustra de manera gráfica los resultados.

Figura 7 Representación gráfica resultados de proyección de población método Exponencial.



Fuente: Autor.

11.1.2.4 Método Wappaus

Este método puede usarse en todos los niveles de complejidad, aunque es poco conocido arroja resultados confiables. Para su empleo debe cumplir con la siguiente condición: La tasa de crecimiento (i en %) multiplicada por la diferencia entre el año a proyectar y el año del censo inicial debe resultar menor a 200.

○ **Determinación del valor de I**

Censo inicial: 1938= 2272 Censo final: 2005= 5504

$$I_{2005 - 1938} = 200 * (P_{2005} - P_{1938}) / (2005 - 1938) * (P_{2005} + P_{1938})$$

Donde R: constante de crecimiento poblacional en porcentaje
 P: Población

El resultado encontrado fue:

$$I_{2005 - 1938} = 200 * (5504 - 2272 / (2005 - 1938) * (5504 + 2272)$$

$$I_{2005 - 1938} = 1,24$$

- **Comprobación de la condición de aplicación del método Wappaus**

$$I_{2005-1938} * (Tf - Tci) < 200$$

$$1,24 * (2043 - 1938) = 130,22 < 200 \quad \text{SI CUMPLE}$$

- **Determinación de la población para el año 2018**

$$P_{2018} = P_{1938} * 200 + i * (2018 - 1938) / (200 - i * 2018 - 1938)$$

$$P_{2018} = 2272 * 200 + 1,24 * (2018 - 1938) / (200 - 1,24 * (2018 - 1938))$$

$$P_{2018} = 6749 \text{ habitantes.}$$

En la Tabla 8 se muestran los resultados de la proyección de población año a año por el método Wappaus.

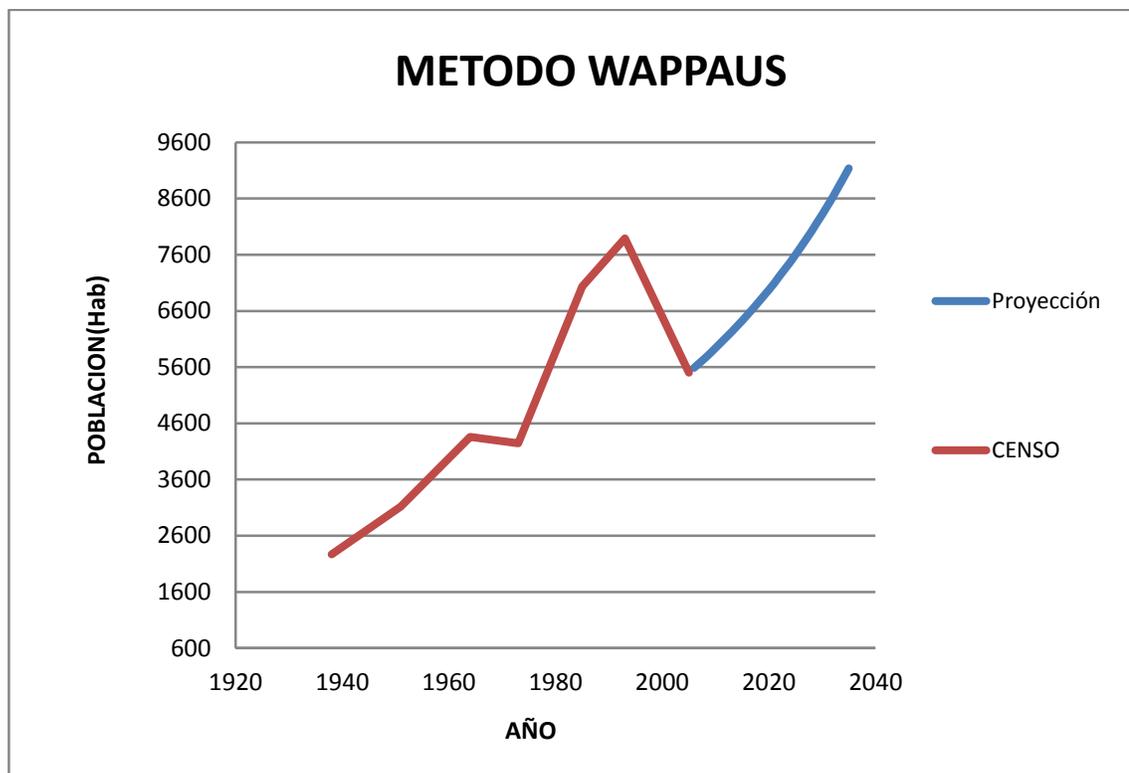
Tabla 8 Resultados de proyección de población por el método Wappaus.

AÑO	POBLACIÓN (Hab)	AÑO	POBLACIÓN (Hab)
2018	6749	2031	8469
2019	6861	2032	8628
2020	6977	2033	8793
2021	7095	2034	8963
2022	7216	2035	9138
2023	7341	2036	9318
2024	7469	2037	9505
2025	7600	2038	9697
2026	7735	2039	9896
2027	7873	2040	10101
2028	8016	2041	10314
2029	8163	2042	10534
2030	8313	2043	10762

Fuente: Autor

Los resultados mostrados en la Tabla 8 indican que para el año de proyección 2043, la población total en el casco urbano del municipio de Soatá sería de 10762 habitantes. A continuación, en la Figura 8 se ilustra de manera gráfica los resultados.

Figura 8 Representación gráfica resultados de proyección de población método Wappaus.



Fuente: Autor.

De acuerdo con los resultados de los diferentes métodos de proyección de la población se aprecia un notable incremento en el número de habitantes para el año 2043, siendo relativa la diferencia encontrada entre cada método. En la Tabla 9 se presenta una comparación de los resultados encontrados con el método aritmético, geométrico, Exponencial y Wappaus y el promedio de estos.

Tabla 9 Población proyectada por los métodos usados.

MÉTODO/AÑO	2018	2020	2025	2030	2035	2040	2043
Aritmético	6131	6228	6469	6710	6951	7192	7337
Geométrico	6165	6266	6525	6795	7075	7368	7549
Exponencial	7085	7365	8116	8944	9856	10861	11512
Wappaus	6749	6977	7600	8313	9138	10101	10762
Promedio	6533	6709	7178	7691	8255	8881	9290

Fuente: Autor.

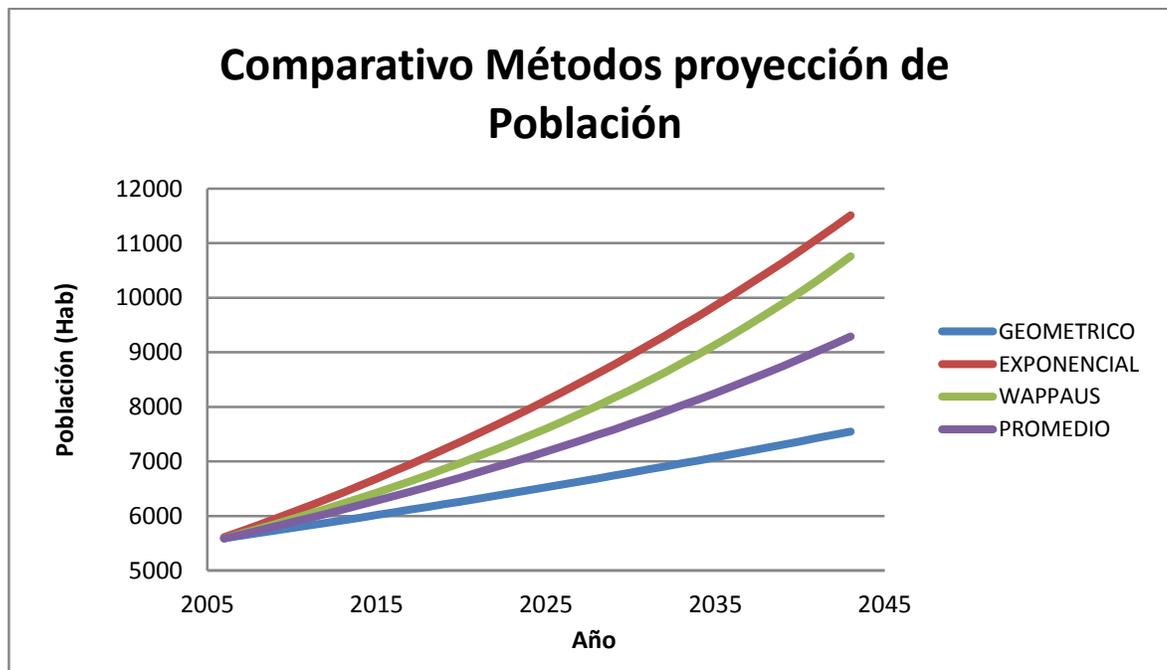
De la tabla anterior se puede decir que la población promedio en el año 2043 es de 9290 habitantes por lo tanto los resultados del método aritmético se encuentran un 21,02 % por debajo del promedio, el resultado por el método geométrico un 18,74% por debajo del promedio. El método exponencial y Wappaus se encuentran por encima del promedio a un porcentaje del 34,42% y 29,85% respectivamente, la diferencia entre ellos es de 750 habitantes.

De esta manera se encontraron datos bastante dispersos con los métodos de proyección de población utilizados. Pero de esta manera, se adoptó como población de diseño para el año 2018 y 2043 el promedio de los métodos utilizados, es decir de 6533 y 9290 habitantes respectivamente.

Al observar la Tabla 9 se demuestra que el promedio es un valor aceptable que refleja el comportamiento del crecimiento poblacional, por esta razón se toma la decisión de adoptarlo para el presente proyecto considerando que todos los métodos poseen la misma importancia para el estudio.

La Figura 9 muestra de forma gráfica los resultados obtenidos por cada uno de los métodos, incluyendo el promedio, esta comparación permite observar la proyección de la población futura, evidenciándose la proximidad entre cada uno de los métodos aplicados.

Figura 9 Comparación gráfica de los diferentes métodos de proyección de población.



Fuente: Autor.

11.1.2.5 Población Flotante

Como se ha mencionado el casco urbano del municipio de Soatá es un importante sitio de intercambio comercial entre los habitantes de las zonas de otros municipios como Boavita, Duitama, Onzaga entre otros, al ser la Provincia del Norte en el Departamento de Boyacá.

La importancia turística del municipio en la región y la cantidad de nativos que emigraron a otras ciudades y regresan en temporadas vacacionales, aumentan significativamente la cantidad de personas en el municipio, por lo tanto se hace necesario considerar el flujo de población flotante.

El cálculo de la población por abastecer debe considerar actividades turísticas, laborales, industriales y / o comerciales que representen población flotante. Debe ajustarse la proyección de población para tener en cuenta la población flotante. En caso de que no existan datos, el diseñador debe proyectar utilizando alguna metodología especial establecida de común acuerdo con el contratante (Ministerio de Vivienda C. y., 2000). Para el presente estudio se adopta un valor del 3% de la población proyectada considerando que siendo un porcentaje que sin ejercer alteración significativa en los resultados tiene en cuenta las características mencionadas que indican la presencia de población flotante en el municipio. La Tabla 10 presenta los valores de población promedio proyectada y población flotante.

Tabla 10 Proyecciones de población, población flotante y población total

AÑO	Población proyectada promedio (Hab)	Población Flotante (Hab)	Población Total (Hab)
2018	6532	196	6728
2019	6620	199	6818
2020	6709	201	6910
2021	6799	204	7003
2022	6891	207	7098
2023	6985	210	7195
2024	7080	212	7293
2025	7177	215	7393
2026	7276	218	7495
2027	7377	221	7598
2028	7479	224	7704
2029	7584	228	7811
2030	7690	231	7921
2031	7799	234	8033
2032	7910	237	8147
2033	8022	241	8263
2034	8138	244	8382
2035	8255	248	8503
2036	8375	251	8626
2037	8497	255	8752
2038	8622	259	8881
2039	8750	263	9013
2040	8881	266	9147
2041	9014	270	9285
2042	9151	275	9425
2043	9290	279	9569

Fuente: Autor.

11.1.3 Dotación neta

La dotación neta se determina de acuerdo al uso de la información histórica de los consumos de agua potable de los suscriptores del área de estudio, de acuerdo al Artículo 43 de la Resolución 0330 de 2017. (Ministerio de Vivienda C. y., 2017). En el caso del Municipio de

Soatá, no se cuenta con información histórica relevante en este aspecto, por lo que se determinó de acuerdo a la Tabla 11 que hace referencia a la Dotación máxima por habitante según la altura sobre el nivel del mar de la zona atendida.

Tabla 11 Dotación Neta Máxima de acuerdo a altura promedio sobre el nivel del mar.

ALTURAPROMEDIO 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: Resolución 0330 de 2017, Tabla 1.

Para este caso la dotación establecida para el Municipio de Soatá (1950 msnm) es de **130 L/Hab*Día**.

11 DIAGNÓSTICO DEL SISTEMA

Con el fin de compilar, para luego analizar la información necesaria acerca del sistema de alcantarillado del Municipio de Soatá, se efectuó una visita técnica al lugar los días 07 y 08 de diciembre de 2017 y con la debida autorización de las directivas de EMPOSOATÁ, se procedió a inspeccionar todos los componentes que conforman la infraestructura del alcantarillado, haciendo un recorrido por toda la red, hasta los sitios de vertimiento e identificando si dichas estructuras garantizan la prestación de un servicio de calidad y las falencias, que deban ser mitigadas a fin de optimizar el servicio.

De acuerdo con lo anterior, se efectuó el diagnóstico del sistema de alcantarillado combinado, evaluado desde los conceptos del caudal de diseño de aguas residuales y pluviales, sus implicaciones en la capacidad de los colectores y condiciones hidráulicas para cada tramo que compone la red hasta los sitios de vertimiento y entrega a las fuentes receptoras tanto para el escenario actual como para el escenario futuro y se determinó la situación actual de cada una de las estructuras que lo integran. Siendo estos los temas a tratar a lo largo de este capítulo.

11.1 Consideraciones generales

El sistema está dividido en dos vertientes (No. 1 o sur, No. 2 o norte) que operan por gravedad con dos vertimientos de manera directa a la fuente receptora, y un tercer vertimiento con un afloramiento sin tratamiento alguno, de cinco viviendas que se encuentran por debajo de la cota del colector principal del sistema de alcantarillado.

Se encontraron 154 pozos de inspección y un total de 194 tramos de colectores con una longitud total de 12575 m. El sistema de recolección y evacuación de escorrentía pluvial consta de 31 estructuras, existiendo 15 sumideros transversales, 11 sumideros de tipo lateral y 5 sumideros de tipo ventana. Es necesario tener en cuenta que el día de la visita técnica no se pudieron identificar varios pozos de inspección (de los 165 que conforman el sistema) en las zonas donde teóricamente se ubican y por consiguiente tampoco los tramos que los interconectan, debido a que se encontraban cubiertos de capas de sedimentos de lodos y rocas, por lo cual fue imposible su visualización. Sin embargo sí se tuvieron en cuenta las áreas aferentes de dichos tramos, las cuales fueron adicionadas en los correspondientes tramos subsiguientes, esto con el fin de efectuar un correcto análisis de los cálculos de aportes de caudales de aguas residuales al sistema.

Dadas las condiciones topográficas del casco urbano de Soatá, donde se presentan pendientes suaves a moderadamente empinadas que pueden variar entre un 12% y 25%, se facilitan las condiciones tanto de escorrentía pluvial como de operación por gravedad del sistema de alcantarillado combinado. En la siguiente fotografía se puede apreciar una imagen panorámica vista desde el costado sur, del área urbana del Municipio de Soatá.

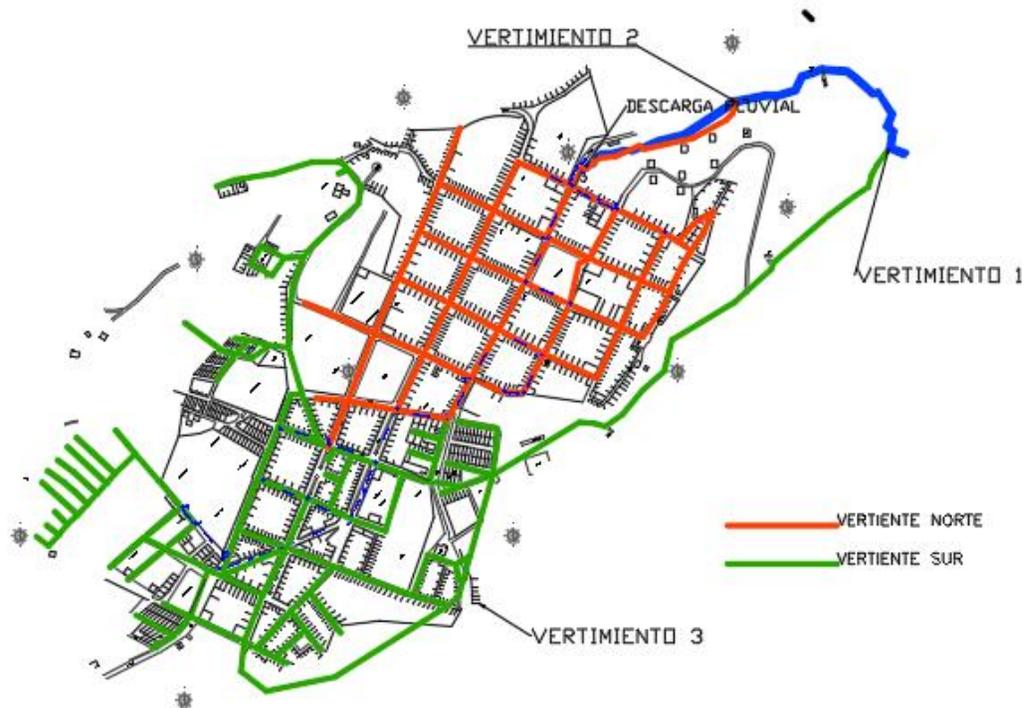
Foto 1 Imagen panorámica de zona urbana del Municipio de Soatá.



Fuente: (ALCALDIA DE SOATÁ, 2013).

En la Figura 10 se enuncian las distintas vertientes que componen el sistema de alcantarillado de Soatá, además de la ubicación de los tres sitios de descarga de las aguas residuales observados.

Figura 10 Vertientes del sistema de alcantarillado de Soatá.



Fuente: Autor.

11.2 Componentes sistema de alcantarillado

De acuerdo a los componentes que presentan las estructuras de recolección y evacuación de aguas residuales y de escorrentía pluvial que se efectúan por separado se presenta a continuación las características físicas del sistema de alcantarillado de Soatá.

11.2.1 Colectores y emisarios finales

Las características físicas de la red de colectores de la vertiente sur que tiene como emisor final un cuerpo receptor con coordenadas Norte 1192706.2105 y Este 1155186.4076 y con cota rasante 1822.29 se muestran en la Tabla 12.

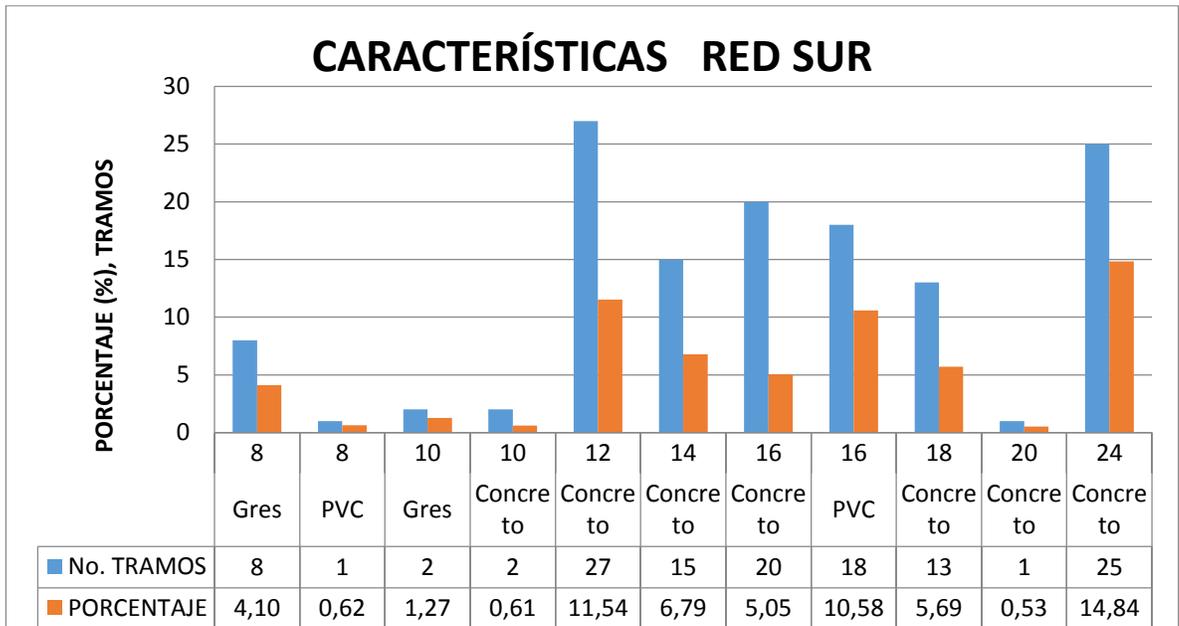
Tabla 12 Características físicas red sur.

MATERIAL	DIÁMETRO (Pulgadas)	No. TRAMOS	LONGITUD (m)	PORCENTAJE DEL TOTAL (%)
Gres	8	8	514,93	4,10
PVC	8	1	78,42	0,62
Gres	10	2	159,13	1,27
Concreto	10	2	77,01	0,61
Concreto	12	27	1450,64	11,54
Concreto	14	15	853,25	6,79
Concreto	16	20	635,57	5,05
PVC	16	18	1330,56	10,58
Concreto	18	13	715,81	5,69
Concreto	20	1	66,85	0,53
Concreto	24	25	1865,66	14,84
SUBTOTAL		132	7747,83	61,61

Fuente: Autor.

La distribución gráfica de las características físicas de la red de colectores de la vertiente sur se muestra en la Figura 11.

Figura 11 Características físicas red sur.



Fuente: Autor.

Las características físicas de la red de colectores de la vertiente Norte que tiene como emisor final un cuerpo receptor con coordenadas Norte 1192792.0795 y Este 1154906.7053 y con cota rasante 1883.96 se muestran en la Tabla 13.

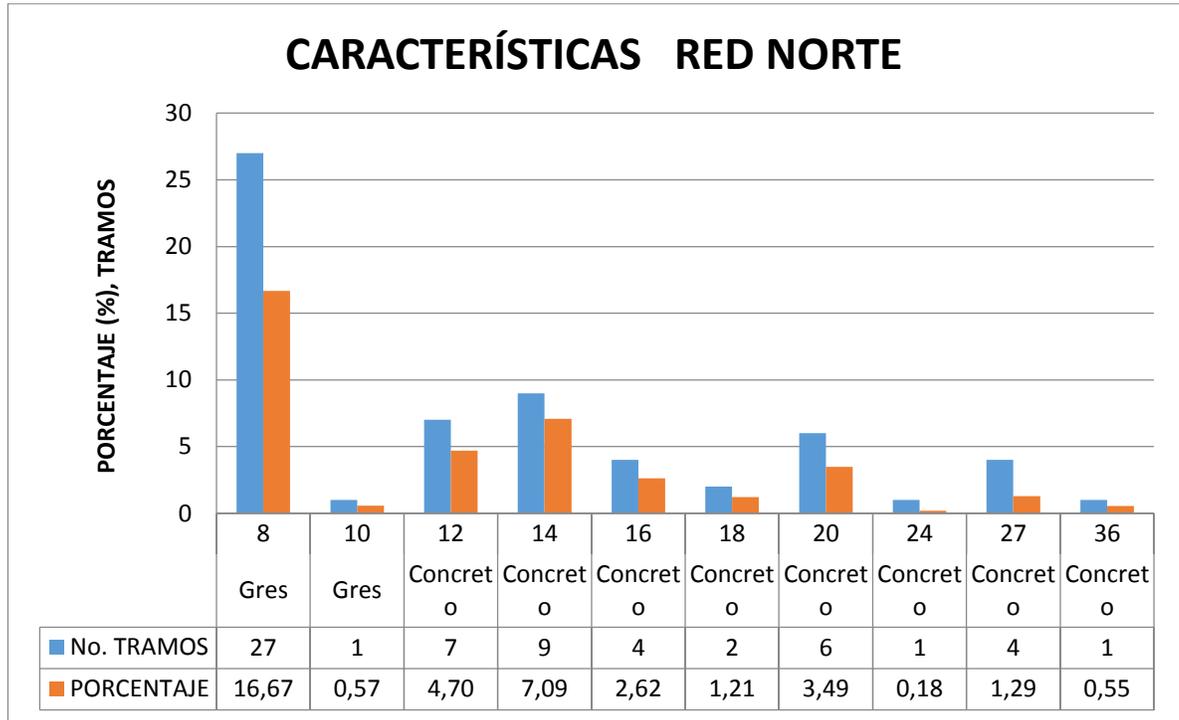
Tabla 13 Características físicas de la red de colectores de la vertiente Norte

MATERIAL	DIÁMETRO (Pulgadas)	No. TRAMOS	LONGITUD (m)	PORCENTAJE DEL TOTAL (%)
Gres	8	27	2096,47	16,67
Gres	10	1	71,65	0,57
Concreto	12	7	591,4	4,70
Concreto	14	9	891,59	7,09
Concreto	16	4	329,99	2,62
Concreto	18	2	151,89	1,21
Concreto	20	6	438,81	3,49
Concreto	24	1	23,03	0,18
Concreto	27	4	162,38	1,29
Concreto	36	1	69,56	0,55
SUBTOTAL		62	4826,77	38,39

Fuente: Autor.

La distribución gráfica de las características físicas de la red de colectores de la vertiente Norte se muestra en la Figura 12.

Figura 12 Características Red Norte.



Fuente: Autor.

De esta manera se puede identificar que la vertiente de la zona sur recibe la mayoría de los vertimientos del sistema de alcantarillado (61.61%), con 132 tramos y una longitud de 7747.83m, donde el material y diámetro sobresaliente de los colectores es de Concreto de 12 pulgadas respectivamente, es necesario mencionar que los colectores con diámetro de 24 pulgadas de esta vertiente únicamente trasladan las aguas residuales desde la zona baja de la red sur hasta el emisario final. Así mismo la vertiente norte recoge el 38.39% restante de los vertimientos del sistema con 62 tramos y en este caso, predominan las redes de colectores de Gres con diámetro de 8 pulgadas con 2096.47 m, esto debido a que en esta zona se encuentran instaladas las redes de mayor antigüedad ubicadas en el área de estudio.

En la Tabla 14 se puede identificar el inventario completo de la red de alcantarillado de Soatá, donde se recoge la información de las dos vertientes mencionadas anteriormente.

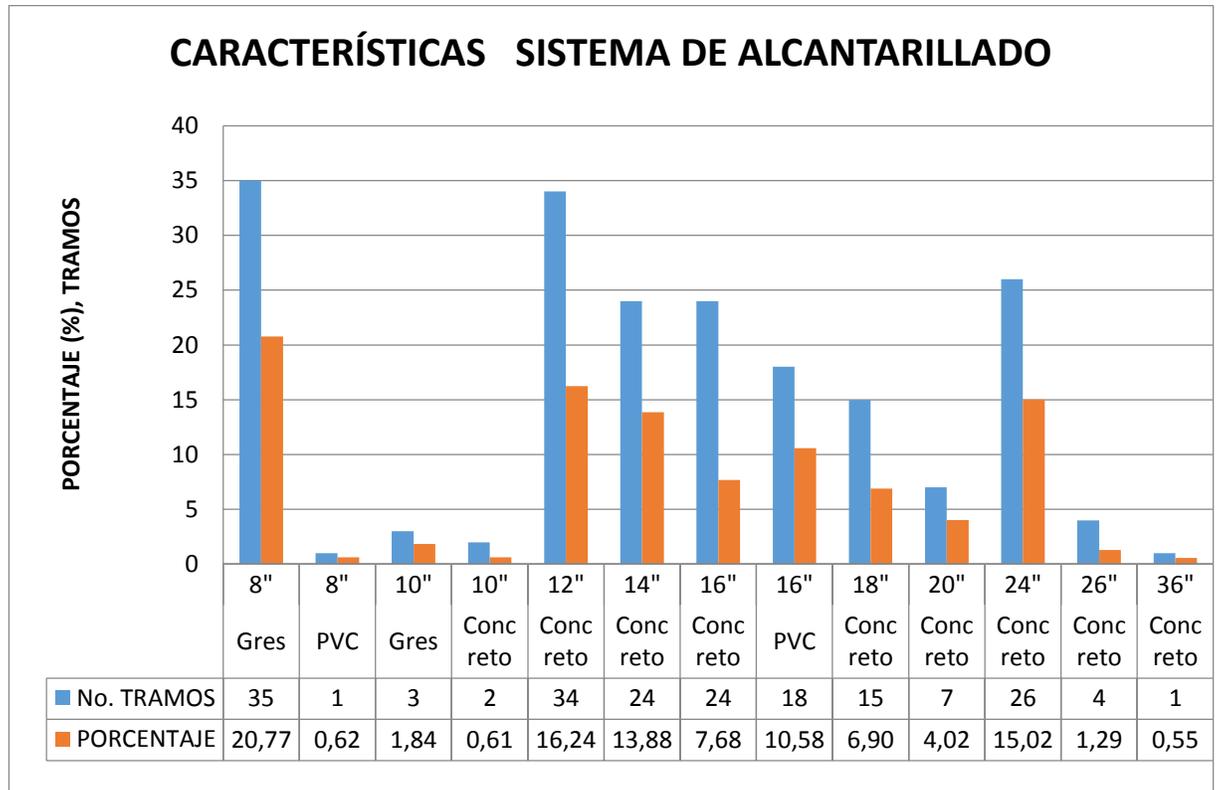
Tabla 14 Inventario completo de la red de alcantarillado de Soatá.

MATERIAL	DIÁMETRO (Pulgadas)	No. TRAMOS	LONGITUD (m)	PORCENTAJE DEL TOTAL (%)
Gres	8	35	2611,4	20,77
PVC	8	1	78,42	0,62
Gres	10	3	230,78	1,84
Concreto	10	2	77,01	0,61
Concreto	12	34	2042,04	16,24
Concreto	14	24	1744,84	13,88
Concreto	16	24	965,56	7,68
PVC	16	18	1330,56	10,58
Concreto	18	15	867,7	6,90
Concreto	20	7	505,66	4,02
Concreto	24	26	1888,69	15,02
Concreto	27	4	162,38	1,29
Concreto	36	1	69,56	0,55
TOTAL		194	12574,6	100

Fuente: Autor.

La distribución gráfica de las características físicas del sistema de alcantarillado de Soatá se muestra en la Figura 13.

Figura 13 Características físicas red de alcantarillado de Soatá.



Fuente: Autor.

11.3 Capacidad de trabajo del sistema de alcantarillado

En base a la normatividad vigente se establecieron varios parámetros para efectuar el análisis de la capacidad de trabajo de la red de alcantarillado, evaluado desde los conceptos de diseño (teniendo en cuenta el análisis por separado de los sistemas de alcantarillado sanitario y pluvial), operación, mantenimiento y factibilidad de incorporación en escenarios futuros.

11.3.1 Alcantarillado Sanitario

De acuerdo a los parámetros de diseño para obtener las aportaciones del caudal de aguas residuales en cada uno de los tramos que componen la red de alcantarillado y posteriormente determinar las condiciones hidráulicas de estos, se procedió a realizar un cuadro de cálculo de alcantarillado sanitario para el escenario actual, el cual se presenta como ANEXO 2 con las variables que se indican en el Numeral 8.2 del presente documento y posteriormente se analizó el escenario futuro con una proyección al año 2043, efectuando el mismo procedimiento con el cuadro de cálculo de alcantarillado sanitario presentado como ANEXO 3. La ubicación de los pozos de inspección y redes de colectores con sus respectivas

características se muestran en el ANEXO 1, (Planta Alcantarillado Soatá).

Las contribuciones de aguas residuales que se incorporan al sistema están integradas por volúmenes de aguas de tipo doméstico, comercial e institucional. No se tuvo en cuenta aportes de aguas residuales industriales dado que en la zona urbana de Soatá no se registran marcadas actividades de este tipo. Dentro de las áreas comerciales a destacar se encuentra la Plaza de Mercado y la zona Hotelera, por su parte las zonas institucionales son las Iglesias y Catedrales, el Colegio Juan José Rondón Primaria y Secundaria, el Coliseo y Estadio Municipal, la Plaza de toros, el Hospital Regional de Soatá, parques públicos y zonas administrativas y de conservación histórica del Municipio.

El área de estudio comprende un total de 53.97 Hectáreas, de las cuales 45.7 Hectáreas son de uso doméstico lo que corresponde al 84.6% del total, 0.79 Hectáreas son de uso comercial y 7.48 Hectáreas de uso institucional que corresponden al 1.5% y 13.9% respectivamente del total del área de estudio; el área de expansión futura contemplada es de alrededor de 1.5 Hectáreas, las cuales serán percibidas en el cálculo de aguas residuales para el escenario futuro. En la Figura 14, se observan las áreas aferentes correspondientes a los tramos de colectores del sistema de alcantarillado de Soatá y la ubicación de las zonas residenciales, comerciales e institucionales antes mencionadas. Las áreas enmarcadas en color violeta y naranja son de tipo doméstico, las áreas enmarcadas en color verde, corresponden a zonas institucionales, mientras que las áreas enmarcadas en color azul hacen referencia a zonas comerciales.

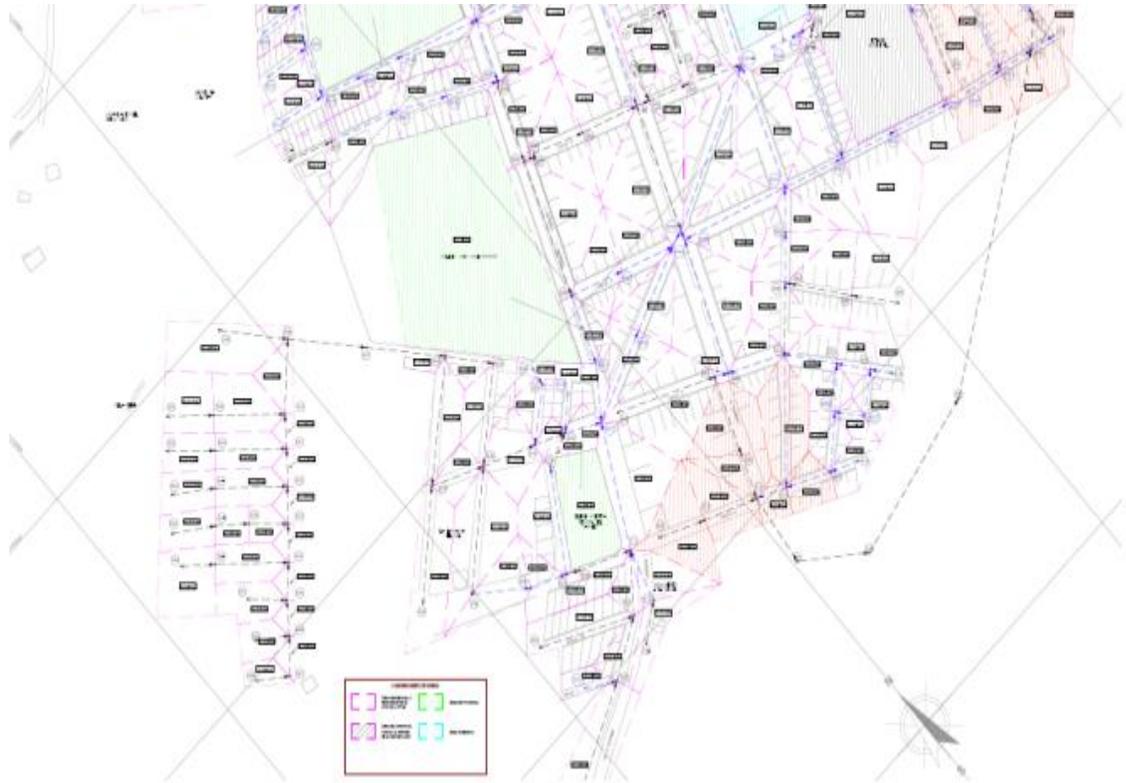
Figura 14 Áreas aferentes alcantarillado sanitario área urbana Soatá.



Fuente: ALCALDIA DE SOATÁ, BOYACA. 2013

En la Figura 15 se representa las áreas aferentes de los colectores que conforman la vertiente Sur del sistema de alcantarillado.

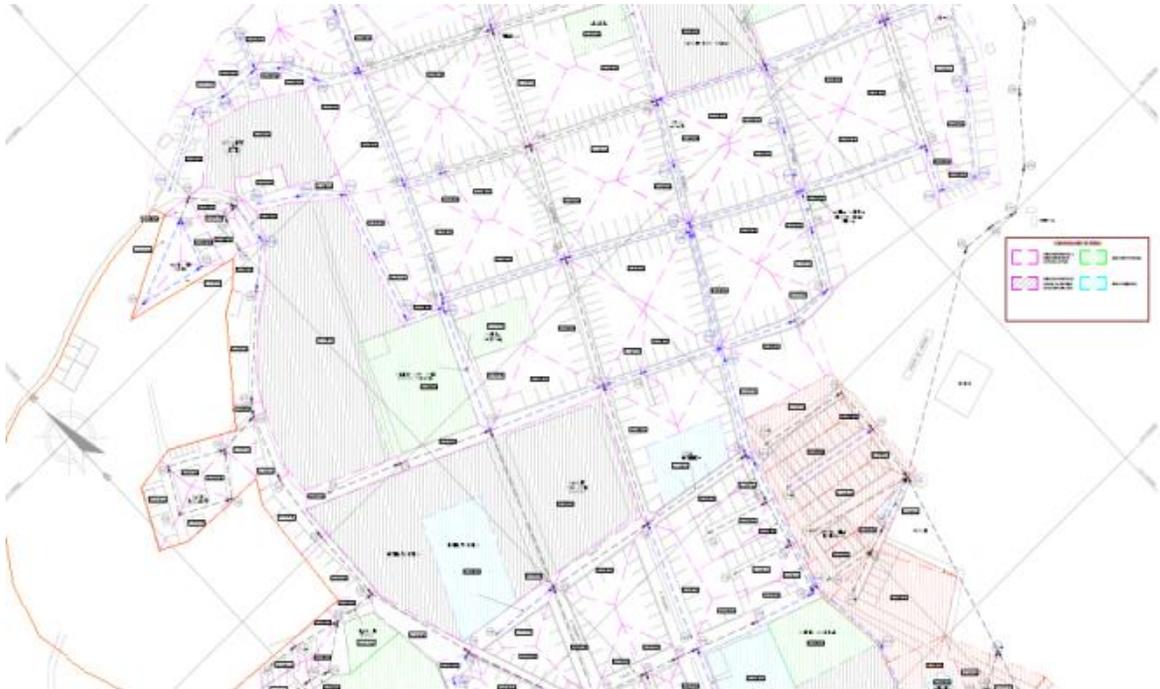
Figura 15 Áreas aferentes alcantarillado sanitario y usos del suelo de Soatá en vertiente sur.



Fuente: ALCALDIA DE SOATÁ, BOYACA. 2013.

En la Figura 16 se observan las áreas aferentes de los tramos de alcantarillado de la vertiente norte, además de una apreciación del área de expansión urbana contemplada para la población de Soatá, la cual se puede observar en el recuadro color naranja en la parte izquierda de la imagen.

Figura 16 Áreas aferentes alcantarillado sanitario y usos del suelo de Soatá en vertiente norte.



Fuente: ALCALDIA DE SOATÁ, BOYACA. 2013.

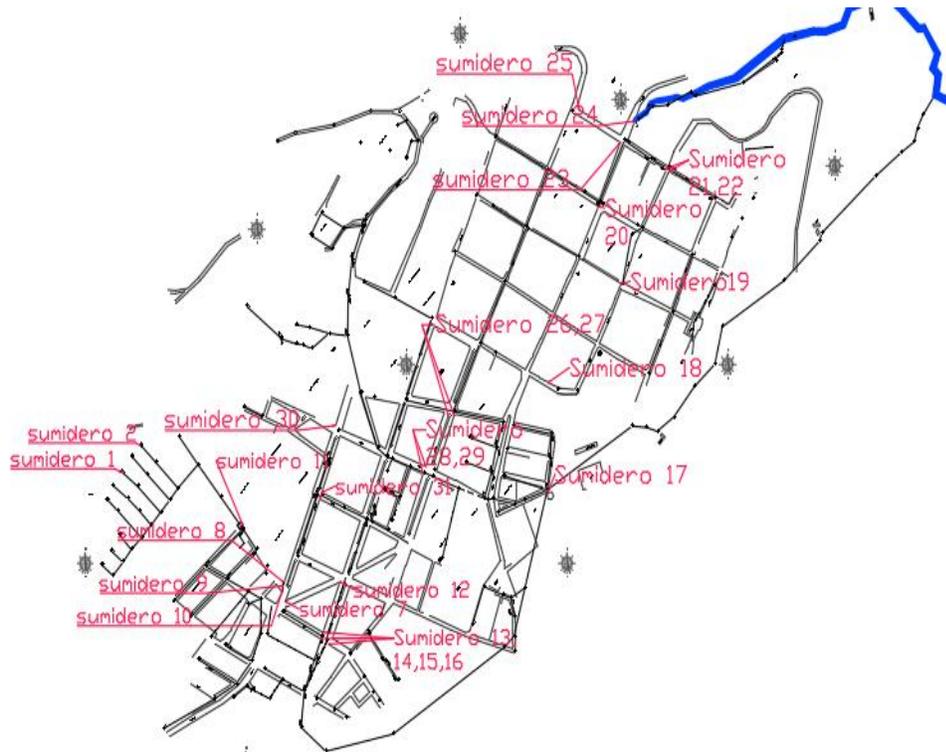
11.3.2 Recolección y evacuación de escorrentía pluvial

El sistema de recolección y evacuación de aguas pluviales está diseñado para dar solución a la evacuación de la escorrentía pluvial. En el casco urbano de Soatá dicha recolección es parcial, pues no se encontraron estructuras de captación en todas las zonas de escorrentía superficial del área de estudio.

11.3.2.1 Estructuras de Captación

Como ya se había mencionado al comienzo de este capítulo, se hallaron 31 sumideros: 18 de tipo lateral, 8 de tipo transversal y 5 de tipo ventana. En la Figura 17 se ubican los sumideros en el área de estudio.

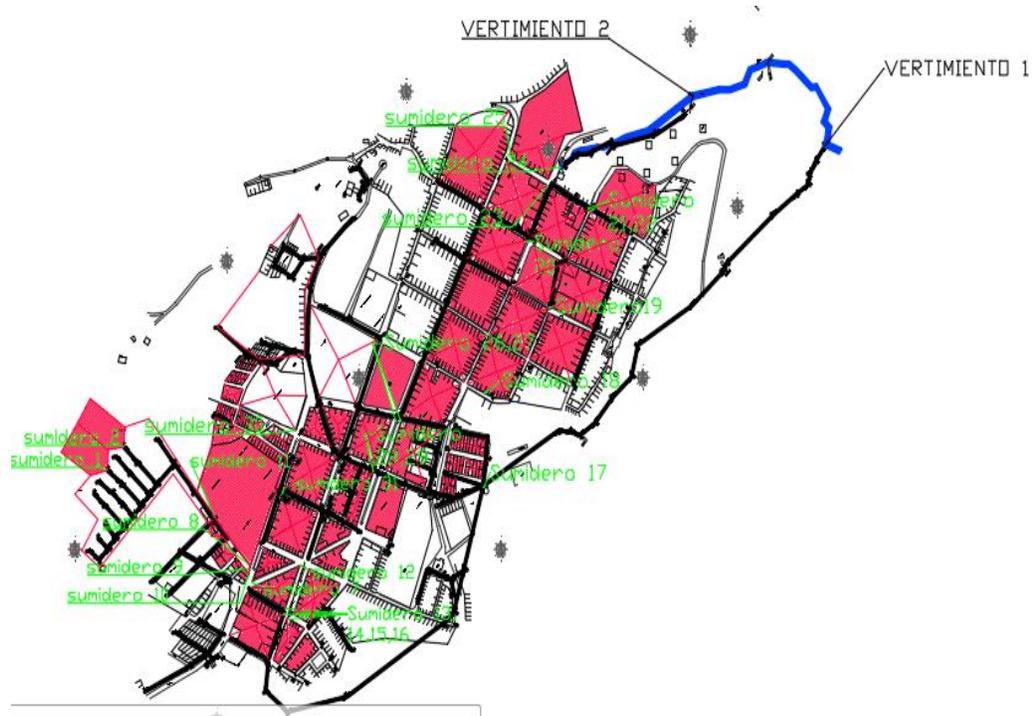
Figura 17 Ubicación de sumideros en zona urbana de Soatá



Fuente: Autor.

En la Figura 18 se pueden observar las diferentes áreas tributarias teóricas de la escorrentía pluvial en los sumideros existentes en la zona de estudio.

Figura 18 Área tributaria teórica de los sumideros existentes en el sistema de alcantarillado de Soatá.



Fuente: Autor.

Es de notar según la figura anterior, que las zonas que no están sombreadas y se encuentran dentro del perímetro urbano no tienen ningún tipo de recolección, teniendo en cuenta además, que las áreas tributarias para los sumideros existentes son teóricas basados en la divisoria de aguas y la escorrentía de los tejados de las zonas construidas que aportarían aguas lluvias a las vías. (LOPÉZ, 2003). De esta manera se identificaron en total 27.02 hectáreas de área de drenaje que aportan escorrentía superficial al sistema de alcantarillado de Soatá y 84 tramos de colectores de los 194 registrados, transportan dicha escorrentía hasta los sitios de entrega a la fuente receptora. (Ver ANEXO 4).

11.3.2.2 Cálculo del caudal de aguas lluvias

Se determinó calcular el caudal de aguas lluvias que ingresan al sistema de alcantarillado sanitario de los sumideros representados en la Figura 17 por medio del método Racional puesto que es un modelo simple utilizado en el diseño de sistemas de drenaje urbano con áreas relativamente pequeñas < 80 Has, (la zona de estudio tiene un área aproximada de 54 Has). (C. y. Ministerio de Vivienda 2017).

Como se había indicado en el numeral 8.2 de este documento, se calcula el caudal pico de aguas lluvias utilizando la intensidad media del evento de precipitación, con una duración igual al tiempo de concentración del área de drenaje y un coeficiente de impermeabilidad. Para determinar el caudal pico se utiliza la ecuación 8:

$$Q_{all} = 2.78C * I * A_d \quad (8)$$

Donde:

Q_{all}= Caudal pico de aguas lluvias l/s

C= Coeficiente de escorrentía.

I= Intensidad de precipitación mm/hr

A_d= Área tributaria Has

- **Periodo de retorno**

“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 características de protección e importancia del área de estudio y, por lo tanto, el valor adoptado debe estar justificado. “⁷

En base a lo anterior se determinó un periodo de retorno de 3 años, de acuerdo con la información suministrada en la Tabla 1 de ese documento, teniendo en cuenta que existen tramos de alcantarillado con áreas tributarias entre 2 y 10 hectáreas. (Ministerio de Vivienda C. y., 2017)

- **Curvas Intensidad Duración Frecuencia (IDF)**

Las curvas IDF sintetizan las características de los eventos de precipitación externos en una zona determinada y establecen la intensidad media de lluvia para diferentes duraciones de eventos de precipitación con periodos de retorno específicos. (Ministerio de Vivienda C. y., 2016)

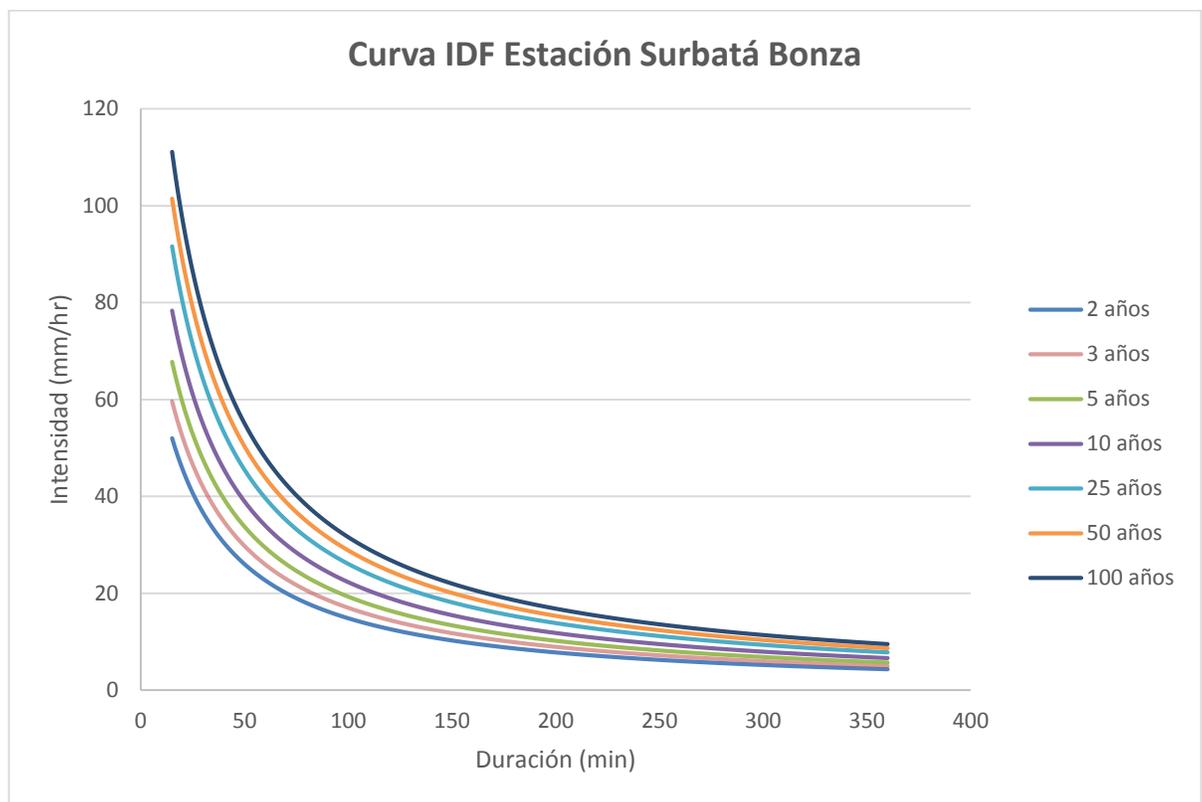
Las curvas IDF se generan utilizando ecuaciones que relacionan la intensidad de lluvia y su duración en el caso específico para este proyecto, se determinó utilizar curvas IDF sintéticas por medio del método simplificado en el cual se deducen por correlación con la precipitación máxima promedio anual en 24 horas, el número promedio de días de lluvia al año, la precipitación total media anual y la elevación de la estación. (Instituto Nacional de Vías, 2009).

7

De acuerdo a lo anterior, se dedujeron curvas IDF teniendo en cuenta datos pluviográficos del municipio de Duitama Boyacá estación Surbatá Bonza Código 2403512. (IDEAM, 2016) Se determinó utilizar la información pluviográfica de dicha estación debido a que es la que mayor cercanía presenta al área de estudio teniendo información pluviométrica completa e indica características de precipitaciones anuales que podrían asemejarse a las del municipio de Soatá. Dadas estas circunstancias, es necesario aclarar que no se efectuó un análisis de precipitaciones en el área de estudio debido a que no se encontró información pluviográfica en estaciones más cercanas como la de Boavita o la de Susacón en el Departamento de Boyacá, que sirvieran como herramienta de análisis del comportamiento de las precipitaciones en esta zona.

En la Figura 19 se puede observar las curvas IDF deducidas para la estación Surbatá Bonza Código 2403512.

Figura 19 Curvas IDF deducidas para la Estación Surbatá Bonza.



Fuente: IDEAM

De acuerdo al Periodo de Retorno, establecido para este proyecto para 3 años según lo mencionado con anterioridad, se dedujo una ecuación para determinar la intensidad de la precipitación en función de una duración específica. En la ecuación 9 se tiene:

$$I_{(3 \text{ años})} = \frac{3064.581}{(D + 23.65)^{1.078}} \quad (9)$$

Donde:

I= intensidad en milímetros por hora para un Periodo de retorno de 3 años.

D= Duración de la precipitación en minutos.

- **Coefficiente de Escorrentía.**

“El coeficiente de escorrentía, C, es función del tipo de suelo, del grado de permeabilidad de la zona, de la pendiente del terreno y otros factores que determinan la fracción de la precipitación que se convierte en escorrentía. En su determinación deben considerarse las pérdidas por infiltración en el suelo y otros efectos retardadores de la escorrentía. De igual manera, debe incluir consideraciones sobre el desarrollo urbano, los planes de ordenamiento territorial y las disposiciones legales locales sobre uso del suelo.”⁸

El coeficiente de escorrentía para cada área de drenaje se estableció por medio de la ecuación 10:

$$C = \frac{\sum(C_i * A_i)}{\sum A} \quad (10)$$

Donde:

C= Coeficiente de escorrentía.

Ci= Coeficiente de escorrentía de cada subárea.

Ai= Subárea Has

A= Área total Has

Los valores de Coeficientes de escorrentía corresponden a los coeficientes deducidos de la siguiente tabla:

8

RAS 2000. Titulo D. Sistemas de recolección y evacuación de aguas residuales domésticas y pluviales.

Tabla 15 Coeficientes de escorrentía C de acuerdo al tipo de superficie

Tipo de superficie	C
Cubiertas	0,75-0,95
Pavimentos asfálticos y superficies de concreto	0,70-0,95
Vías adoquinadas	0,70-0,85
Zonas comerciales o industriales	0,60-0,95
Residencial, con casas contiguas, predominio de zonas duras	0,75
Residencial multifamiliar, con bloques contiguos y zonas duras entre éstos	0,60-0,75
Residencial unifamiliar, con casas contiguas y predominio de jardines	0,40-0,60
Residencial, con casas rodeadas de jardines o multifamiliares apreciablemente separados	0,45
Residencial, con predominio de zonas verdes y parques-cementerios	0,3
Laderas sin vegetación	0,6
Laderas con vegetación	0,3
Parques recreacionales	0,20-0,35

Fuente: RAS 2000 Tabla D.4.5.

Para el caso de este proyecto se utilizaron coeficientes de escorrentía en su mayoría de 0.75 teniendo en cuenta que corresponde a zonas residenciales con casas contiguas y predominio de zonas duras.

- **Tiempo de concentración**

El tiempo de concentración está compuesto por el tiempo de entrada y el tiempo de recorrido en la tubería. El tiempo de entrada corresponde a tiempo requerido para que la escorrentía llegue al sumidero del tubo, mientras que el tiempo de recorrido se asocia con el tiempo de viaje o tránsito del agua dentro de la tubería. : (Ministerio de Vivienda C. y., 2016).

El tiempo de concentración está establecido mediante la ecuación 11

$$T_c = T_c + T_t \quad (11)$$

Donde:

Tc= Tiempo de concentración en minutos

Te= Tiempo de entrada en minutos

Tt= Tiempo de recorrido en minutos

- **Tiempo de entrada**

Tiempo que toma el flujo superficial para viajar de la parte más alejada de la subcuenca hasta el punto de entrada a la red. El tiempo de entrada se establece mediante la fórmula 12, establecida por la FAA de los Estados (Ministerio de Vivienda C. y., 2016):

$$T_e = \frac{0.707(1.1 - C)\sqrt{L}}{S^{\frac{1}{3}}} \quad (12)$$

Donde:

Te= Tiempo de entrada en minutos

C= Coeficiente de impermeabilidad en minutos

L= Longitud máxima de flujo de escorrentía superficial m

S= Pendiente promedio entre el punto más alejado y el punto de entrada a la red
m/m

- **Tiempo de recorrido (Tt)**

Tiempo que tarda el agua en recorrer la red de tuberías desde el punto de entrada hasta el punto de salida de la red. (Ministerio de Vivienda C. y., 2016). El tiempo de recorrido en un colector se puede calcular con la ecuación 13:

$$T_t = \frac{L_c}{60 * V_r} \quad (13)$$

Donde:

Te= Tiempo de recorrido en minutos

Lc= Longitud del colector m

Vr= Velocidad real de flujo m/s

El tiempo de recorrido se calcula para cada tramo de colector. El cálculo del caudal de aguas lluvias para los sumideros en cuestión se efectuó de acuerdo a los lineamientos anteriormente descritos, además se efectuaron los cálculos pertinentes para determinar las condiciones de flujo y la capacidad de trabajo de los colectores, tanto al 100% de su máxima capacidad, como al 10% de esta. Dichos procedimientos se presentan en el ANEXO NO. 4: Cálculo de Caudal de aguas lluvias.

11.4 Situación actual

Los resultados del trabajo de campo realizado en Soatá, acerca de la situación actual que presentan las estructuras que conforman el sistema de alcantarillado se muestran a continuación.

11.4.1 Pozos de inspección

El sistema de alcantarillado consta de 154 pozos en servicio observados, cuyo diámetro es variable y se encuentra entre 1 y 1.2 m, encontrándose de manera predominante aquellos con diámetro de 1.2 m. Los resultados obtenidos, acerca del análisis de los pozos de inspección se transcriben en la Tabla 16, otorgando una calificación a cada uno de estos, dependiendo del estado actual y las características de sus elementos.

Un pozo que se encuentra en buen estado no presenta colmatación ni sedimentos que impidan las libres condiciones hidráulicas del flujo y su estructura no presenta deterioro.

Los pozos en regular estado presentan colmatación de algún tipo además de fallas en su estructura.

Un pozo considerado en mal estado presenta alta colmatación y fallas en su estructura que requieren de una pronta intervención.

Los pozos que no tienen calificación son todos aquellos que no pudieron ser ubicados o destapados y se desconoce su estado.

Tabla 16 Estado actual pozos de inspección.

ESTADO DE POZOS DE INSPECCIÓN		
CALIFICACIÓN	No. POZOS	PORCENTAJE (%)
Excelente	0	0,00
Buen	15	9.74
Regular	76	49.35
Mal Estado	52	33.77
Sin Calificación	11	7.14
TOTAL	154	100

Fuente: Autor.

De acuerdo con la Tabla anterior se encontró que la mitad de los pozos de inspección del sistema de alcantarillado (49,35%) se encuentran en regular estado, que sumados a los encontrados en mal estado (33,77%) corresponden a más del 80% de toda la red. Cerca del 10% de los pozos, es decir 15, se encontraron en buen estado, los cuales corresponden a pozos construidos recientemente por EMPOSOATÁ en su plan de readecuación de redes de alcantarillado. No se pudo otorgar una calificación a 11 pozos, porque como se manifestó al comienzo de este capítulo, se encontraban sellados, cubiertos por sedimentos o presentaban obstrucciones por presencia de automotores en la vía. Es necesario tener en cuenta, que los pozos que no pudieron observarse, tienen en teoría la misma tipología de construcción y la misma antigüedad de toda la red, por lo que puede asumirse que se encuentran en la actualidad en un estado regular o malo, lo que indica que ocasiona un mal funcionamiento hidráulico de las estructuras teniendo en cuenta aspectos como:

Sedimentación: la acumulación de sedimentos tales como arenas, lodos, rocas de arrastre, residuos sólidos, y en algunos pozos la incrustación de rocas e inclusive ladrillos, impedita el libre curso del flujo y en algunos casos generan el taponamiento parcial de las tuberías de salida. (UN, 2006)

El material de construcción de los pozos es de ladrillo, el cual en la mayoría de estos no tiene cobertura, lo que podría representar considerables infiltraciones y un rápido deterioro.

Tapas en concreto: cuatro pozos presentan la existencia de tapas en concreto con el aro metálico en mal estado, lo que genera que sus bordes puedan generar el acceso de materiales de tamaño considerable que puedan obstruir de igual manera el funcionamiento hidráulico de la estructura.

En las fotos que se muestran a continuación se visualiza el estado actual de los pozos.

Foto 2 Pozo en mal estado.



Fuente: Autor.

Foto 3 Pozo en regular estado



Fuente: Autor.

Foto 4 Pozo en buen estado.



Fuente: Autor.

Foto 5 Pozo con aro metálico en mal estado.



Fuente: Autor.

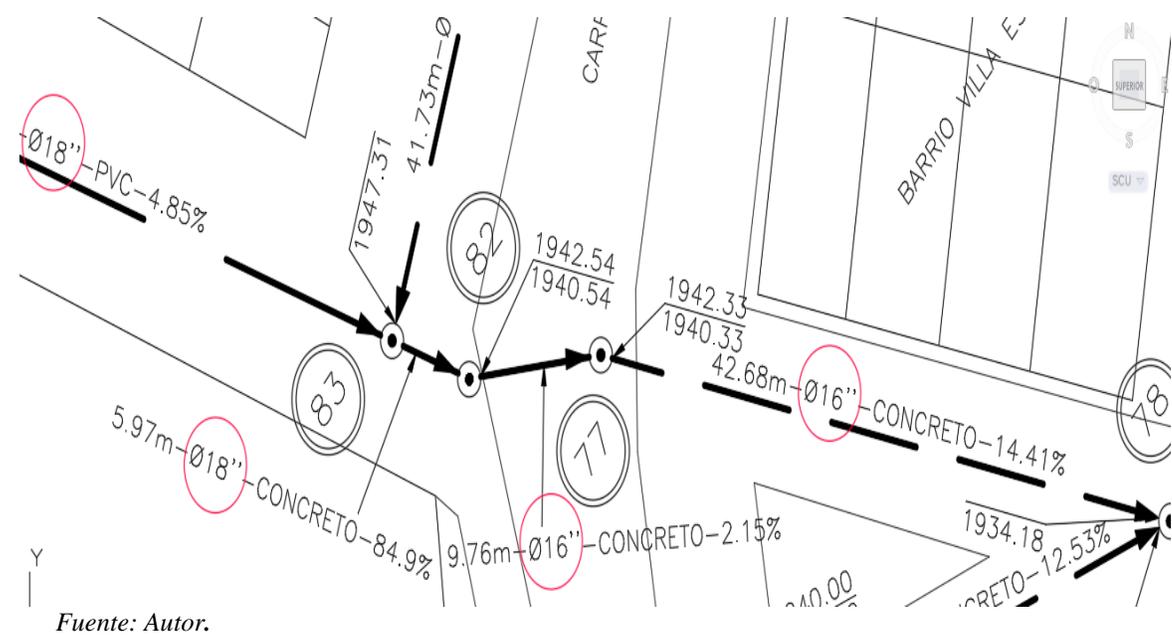
11.4.2 Colectores

De los 194 tramos analizados del sistema de alcantarillado, 38 de ellos corresponden a colectores de material conocido como Gres lo que equivale a cerca del 21% de toda la red, el 68% es de concreto con diámetros que varían entre 10" y 36", y el 11% restante corresponde a tuberías de PVC.

De acuerdo a la información anterior y teniendo en cuenta que los colectores de Gres tienen varias décadas de servicio se podrían presentar inconvenientes debido a su posible e inminente deterioro con el paso del tiempo.

Otro aspecto a tener en cuenta es la disminución del diámetro de los colectores, específicamente en el tramo que va del pozo 82 a 77, 77 a 78 y 78 a 79 donde la tubería es de 16" y en el tramo inmediatamente anterior, es decir, del pozo 83 a 82 es de 18" asumiendo que debe existir un aumento progresivo de los diámetros a medida que se incorporan nuevos aportes de aguas residuales a los colectores. Esta situación actualmente ocasiona graves problemas por incapacidad hidráulica en estos tramos, específicamente en periodos de lluvias generando incluso rebosamiento de aguas residuales lo cual es un grave problema de salud pública para los moradores de la zona, principalmente habitantes ubicados en el barrio Villa Esperanza. La situación anterior se puede evidenciar en la Figura 20.

Figura 20 Incapacidad hidráulica de tramos de alcantarillado.



En la Figura anterior también se puede observar que el tramo que va del Pozo 83 al 82 tiene una longitud de 5.97 m y una caída de 4.77 m lo que da una pendiente de 84.9%, lo cual podría generar serios inconvenientes en términos de velocidades máximas.

11.4.3 Sumideros

Gran parte de los 31 sumideros, estructuras de captación de la escorrentía pluvial en la zona de estudio. presentan problemas para su adecuada operación debido a la falta de mantenimiento de las partes que lo componen, especialmente las rejas que cubren la cámara de desagüe de sumideros transversales y laterales, las cuales presentan una evidente deterioro debido principalmente a la falta de mantenimiento, que ha generado hasta la pérdida de algunas de sus partes aumentando de manera considerable el área útil de la reja y por consiguiente la incorporación de materiales de tamaños que podrían generar taponamientos en las tuberías de conexión con los colectores o los canales de evacuación de dicha escorrentía. En las siguientes fotografías se puede observar el estado actual de algunos sumideros presentes en la zona de estudio.

Foto 6 Sumidero colmatado.



Fuente: Autor.

Foto 7 Sumidero colmatado.



Fuente: Autor.

Foto 8 Sumidero en mal estado.



Fuente: Autor.

11.4.4 Vertimientos

Se encontraron un total de 3 vertimientos cuyo emisor final como se mencionó anteriormente, en dos de los tres casos es un cuerpo receptor ubicado en la parte norte de la zona urbana de Soatá y corresponde a las descargas de las vertientes sur y norte que representan cerca del 99% de las aguas residuales generadas en el área de estudio. Es necesario tener en cuenta que la Administración Municipal ha adquirido recientemente un terreno rural, en el cual se pretende proyectar la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, el inconveniente que se presenta es que el lote se encuentra ubicado en una cota superior a la ubicada en la descarga de la vertiente sur, de manera que no es posible tratar estas aguas residuales, a menos que se proyecte algún tipo de sistema de bombeo o se pueda adquirir otro terreno que se localice aguas abajo de los dos vertimientos antes mencionados.

Por otro lado, existe un tercer vertimiento de 5 viviendas ubicadas en el extremo sur occidente del área urbana que no se encuentran conectadas al sistema de alcantarillado, al estar por debajo de la cota del colector principal de la vertiente sur y de esta manera, descargan sus aguas residuales directamente sobre el terreno en un afloramiento de la parte baja del área de estudio sin tratamiento. En las siguientes fotografías se pueden observar los vertimientos descritos anteriormente en el área de estudio. Es necesario mencionar que se presentaron dificultades para acceder al punto de descarga del vertimiento 2, debido a las complicadas condiciones del terreno.

Foto 9 Vertimiento 1



Fuente: Autor.

Foto 10 Vertimiento 2



Fuente: Autor.

Foto 11 Vertimiento 3



Fuente: Autor.

Foto 12 Viviendas no conectadas al sistema.



Fuente: Autor.

11.4.5 Cabezales de entrega

Los cabezales de entrega son estructuras que a través del cambio en las dimensiones y forma de la sección de entrega, en este caso a la fuente receptora de las aguas residuales, reduce la velocidad del agua y previene la socavación.

En los dos vertimientos que se generan en el cuerpo receptor del costado norte del área de estudio se encontraron cabezales de entrega por lo que se incorporan las aguas residuales de manera controlada al emisor final

11.5 Condiciones de flujo Alcantarillado Sanitario

Para garantizar adecuadas condiciones de flujo en la red de alcantarillado se hace necesario tener en cuenta aspectos importantes como las velocidades máxima y mínima, pendiente máxima y mínima, profundidad hidráulica máxima y régimen de flujo los cuales se obtuvieron mediante la realización del cuadro de cálculo de alcantarillado sanitario (ANEXO 2), en el cual se tuvieron en cuenta los parámetros de diseño mencionados en el capítulo 8.2 de este trabajo., los cuales solamente hacen referencia al eventual escenario de los aportes al sistema de aguas residuales sin tener en cuenta los de aguas lluvias.

11.5.1 Tensión cortante

La resolución 0330 de 2017 menciona en el artículo 141 que se debe garantizar una velocidad que permita en el colector de alcantarillado sanitario un esfuerzo cortante mínimo de 1Pa. Solo en dos tramos se presentaron esfuerzos cortantes menores a 1 Pa (0.508 Pa y 0.719Pa), sin embargo es necesario indicar que corresponden a tramos iniciales, por lo cual se puede presentar esta situación.

11.5.2 Velocidad máxima y mínima

Teniendo como criterio una velocidad mínima permitida en el colector de 0.45 m/s y de una velocidad máxima de 5 m/s (Ministerio de Vivienda C. y., 2017), se encontró lo siguiente:

De manera general la velocidad del flujo en 24 de los 194 presentan velocidades inferiores a 0.45 m/s de forma que los sólidos que suelen transportar las aguas residuales pueden estancarse en los colectores y ocasionar problemas de obstrucción en estos, sin embargo 15 de los tramos anteriores son iniciales, lo que podría indicar que por sus bajos aportes de aguas residuales se pueda presentar este inconveniente.

Por otro lado, no se encontraron dos tramos que presentan velocidades que superan los 5 m/s lo que indica que este factor no influye de manera negativa en las condiciones de flujo de forma general del sistema.

11.5.3 Profundidad hidráulica

El valor máximo permisible de la profundidad hidráulica para el caudal de diseño en un colector debe estar entre el 70 y 80% del diámetro real de este para garantizar las condiciones de aeración adecuadas en el flujo de las aguas. (Ministerio de Vivienda C. y., 2017). De tal forma que el cuadro de cálculo de alcantarillado arrojó los siguientes resultados:

El mayor porcentaje de colectores presentan una profundidad hidráulica que reporta valores del 28% de su diámetro real, lo que indica que actualmente no se presentan problemas por colmatación en ninguno de los tramos del sistema de alcantarillado sanitario.

11.5.4 Régimen de flujo

Se deben evitar las condiciones de flujo crítico (Numero de Froude entre 0.9 y 1.1). (Ministerio de Vivienda C. y., 2016).

Se observó que existe flujo crítico en 9 tramos de colectores y 21 de flujo cuasicrítico, es decir con número de Froude entre 0.9 y 1.1 los cuales pueden representar problemáticas de socavación en dichos colectores. En la mayoría de ellos tramos del sistema se determinaron valores superiores a la unidad, es decir de tipo supercrítico.

11.6 Condiciones de Flujo Alcantarillado Pluvial y/o Combinado

De acuerdo a la Resolución 0330 de 2017, Sección 4 se establecen los criterios para evaluar el sistema de alcantarillado combinado del área de estudio. En base a los cálculos realizados

en el ANEXO 4: Cuadro de cálculo de alcantarillado Pluvial, se determinaron los parámetros indicados a continuación.

11.6.1 Diámetro interno real mínimo

El diámetro interno real mínimo que debe tener un sistema combinado debe ser de 260 mm es decir 10", (Ministerio de Vivienda C. y., 2017). En este caso se encontraron 36 tramos que tienen diámetro de 8", de los cuales, 7 de estos, hacen parte de los colectores que reciben aguas de escorrentía pluvial del sistema.

11.6.2 Tensión cortante

Deben existir velocidades que generen un esfuerzo cortante en la pared de la tubería de mínimo 2.0 Pa (Ministerio de Vivienda C. y., 2017). Se observaron esfuerzos cortantes superiores a 2 Pa, siendo el más bajo de 14.36 Pa y el más alto de 5678 Pa y similares en colectores finales, y se encontró que el promedio de todos los colectores es de 349Pa, lo cual no afecta el transporte de materiales sólidos en las redes del sistema.

11.6.3 Velocidad máxima y mínima

La velocidad máxima real en un colector por gravedad no debe ser superior a 5m/s para aguas pluviales. (Ministerio de Vivienda C. y., 2017) De esta manera se encontraron 38 tramos que presentan velocidades mayores a 5m/s, inclusive 8 de estos con velocidades superiores a 10 m/s. La máxima velocidad registrada es de 18.87m/s y es precisamente el tramo ubicado entre el pozo 83 y 82 donde se presenta el inconveniente de disminución del diámetro y el rebose de aguas en el pozo 83 en los periodos de lluvia, manifestado anteriormente. Los demás tramos que presentan inconvenientes por velocidades altas son colectores finales del sistema de alcantarillado. El promedio de velocidad de todos los colectores es de 5.1 m/s.

11.6.4 Profundidad hidráulica

El máximo valor permisible de la profundidad de flujo para el caudal de diseño en un colector es del 93% de su diámetro interno real. De los 84 tramos que transportan, se encontró que 45 no cumplen este parámetro, es decir, el sistema está subdimensionado principalmente en los tramos en los cuales se ubican los sumideros y se descargan las aguas pluviales al sistema y en los colectores finales de este. La máxima relación entre profundidad de flujo y diámetro de la tubería encontrada es del 223.66%, es decir el doble del diámetro real, esto en el tramo que capta las aguas de los sumideros 15 y 16, cuyo diámetro real es de 10" y se requieren 22" como mínimo para transportar eficientemente estas aguas. El promedio de esta relación es de 100.48% en general, lo cual indica los inconvenientes que presenta el sistema de alcantarillado en este sentido.

11.6.5 Régimen de flujo

Se encontraron seis tramos que presentan flujo subcrítico, es decir menor a 0.9, 4 tramos con número de Froud entre 0.9 y 1.1 es decir régimen cuasicrítico y 182 tramos con régimen supercrítico.

11.7 Situación futura

Para determinar la situación futura se consideraron varios contextos que establecen un escenario de proyección del sistema de alcantarillado sanitario, en este caso, el proyecto tiene un año horizonte del 25 años a partir de 2018, donde se tuvieron en cuenta en primera instancia variables como el área de expansión urbana de la zona de estudio y el incremento poblacional, Un aspecto importante que se tuvo en cuenta es el marcado incremento poblacional que se presentaría en el escenario futuro en el área de estudio, debido al aumento de las tasas de crecimiento y la migración de regiones aledañas por parte de los pobladores a Soatá por los planes de expansión urbanística, puestos ya en marcha, y que pretenden ser una constante a lo largo del periodo de diseño establecido en este proyecto.

11.7.1 Condiciones de flujo

Partiendo de la circunstancia del aumento de la población, que para el año límite del proyecto sería de 9569 habitantes y el incremento del área tributaria que para este caso es de 1.55 Ha aproximadamente y teniendo en cuenta que las demás variables de diseño (alcantarillado combinado) permanecerían constantes (dotación, coeficiente de retorno, aportes por conexiones erradas, aportes por infiltración, coeficiente de Manning para tipo de material) tendríamos:

Que no existe una variación considerable en el escenario futuro las condiciones de flujo, de manera que las mencionadas en la situación actual del sistema de alcantarillado tales como velocidades máxima y mínima, profundidad hidráulica, régimen de flujo, pendiente máxima y mínima según se constata en el ANEXO 3 :Cuadro de cálculo para alcantarillado sanitario escenario futuro.

12 CONCLUSIONES

Luego de realizada la compilación y el análisis de la información recolectada, que permitió efectuar el diagnóstico al sistema de alcantarillado de Soatá, se determinó que la principal causa de las falencias que presenta en la actualidad, no se deben a la incorporación de nuevos caudales de aguas residuales, producto de la masificación de la población en el casco urbano y la política de construcción de nuevas viviendas en los últimos años como se supuso en un principio, porque de acuerdo a los cálculos realizados, el sistema está en capacidad de transportar y evacuar satisfactoriamente tanto en el escenario actual, como en el futuro las aguas residuales generadas.

Respecto al análisis de la capacidad de trabajo actual del sistema de alcantarillado, se encontró que la circunstancia principal por la cual el sistema presenta deficiencias importantes se debe a la mala planeación al momento de incorporar los caudales de aguas lluvias al sistema, es decir, el sistema pasó de ser sanitario a convertirse en combinado sin ningún tipo de estudio previo.

Las condiciones de flujo del alcantarillado sanitario para el escenario actual arrojan resultados de tensión cortante superiores a 1Pa en 192 tramos de los 194 estudiados lo cual se ajusta a la normatividad vigente, y aunque 24 tramos presentan velocidades menores a 0,45m/s, lo importante en este caso es que las aguas residuales tengan la capacidad de garantizar que los sedimentos que ingresan al sistema puedan moverse por acción del flujo hacia aguas abajo de este, avalados por tensiones cortantes mayores a 1Pa, de manera que esta circunstancia no causa obstrucciones en los colectores ni afecta el libre flujo de las aguas residuales. Se reportaron valores máximos de profundidad hidráulica en los tramos del sistema del 28% y caudales máximos de 29,3 L/s, con lo cual ningún tramo del alcantarillado sanitario presenta incapacidad hidráulica respecto a su diámetro. Cerca de 21 tramos de colectores presentan flujo de tipo cuasicrítico, estas condiciones pueden ocasionar socavación en las cámaras de llegada, por lo que es necesario evitar tanto velocidades y profundidades de flujo que generen esta circunstancia.

Las condiciones de flujo del alcantarillado sanitario para el escenario futuro, es decir la proyección hasta el año 2043 del sistema, dio como resultado características similares a las presentadas en el escenario actual. En lo que se refiere a tensiones cortantes y régimen de flujo. Se observó únicamente, aumentos en el caudal máximo en tramos finales al pasar de 29,3 L/s a 40,5 L/s atendiendo al incremento poblacional y las áreas de expansión urbana proyectados para el año límite de estudio. De esta manera se puede mencionar también que el sistema está en capacidad de transportar de manera eficiente las aguas residuales hasta el sitio de vertimiento para el umbral del periodo de 25 años analizado.

Analizando las condiciones de flujo del alcantarillado pluvial, es precisamente, donde se observan evidentes precariedades debido a que el diseño de los colectores únicamente tiene la capacidad de transportar aguas residuales como ya se mencionó, y de esta manera se

presenta la problemática actual donde existen colmataciones y rebose de aguas residuales en ciertos pozos de inspección principalmente en temporadas de lluvia, lo cual ocasiona una grave problemática sanitaria en el área de estudio.

Lo anterior debido a que de los 84 tramos que transportan aguas pluviales del sistema, 49 registran incapacidad hidráulica, presentando problemas principalmente de profundidad de flujo para el caudal de diseño calculado, y los caudales registrados se encuentran entre 40L/s y 2500L/s en los colectores finales y teniendo en cuenta que el valor máximo de profundidad hidráulica debe ser de 93% de acuerdo a la normatividad vigente, algunos tramos presentan porcentajes hasta del 224%, es decir, se requiere más del doble del diámetro de la tubería instalada actualmente, para poder transportar satisfactoriamente dichas aguas hasta el sitio de descarga. Además 38 de los 84 tramos que transportan aguas pluviales presentan velocidades superiores a 5m/s, por lo cual, estas aguas son altamente erosivas dado que la mitad del total de colectores pueden presentar potenciales daños además de pozos de inspección, cámaras de unión, entre otras estructuras que los interconecten y presentan por otro lado, tensiones cortantes mayores a 2Pa, con mínimos de 14,36Pa para el 100% del caudal y de 9,9Pa para el 10% del caudal analizado, por lo cual las fuerzas tractivas generadas no representan problemas de estancamiento de materiales sólidos en las redes del sistema.

El nivel de cobertura para el sistema de alcantarillado en Soatá es bueno, dado que excede el 95%, porcentaje mínimo establecido en el RAS 2000. De acuerdo a lo observado en Soatá, se determinó que el sistema alcanza una cobertura del 99%, en donde únicamente 5 viviendas no se encuentran conectadas al sistema, al estar por debajo de la cota del tramo colector que recoge las aguas de la zona.

Se evidenció que no se han efectuado de forma adecuada las tareas de mantenimiento preventivo ni correctivo de las estructuras que conforman el sistema de alcantarillado, principalmente pozos de inspección, colectores y sumideros, estos últimos con serias deficiencias de operación por estar colmatados en su mayoría, esto generado principalmente porque las autoridades encargadas de su mantenimiento, en este caso EMPOSOATÁ ven más factible que la escorrentía superficial recorra las calles y cunetas de la población, en vez de los colectores del alcantarillado, precisamente por la incapacidad hidráulica que presentan. Además, desde el momento de la implementación del sistema no se tuvieron en cuenta los parámetros pertinentes para la construcción de pozos de inspección con revestimientos mínimos, escaleras de acceso, placas de fondo con adecuados criterios de resistencia, cámaras de caída entre otros, lo cual ha generado un rápido deterioro de estas estructuras evidenciado por las circunstancias antes mencionadas.

Dos de los tres vertimientos encontrados, descargan sus aguas a una misma fuente receptora, de tal manera que es necesario unificar las descargas a un solo vertimiento minimizando el impacto ambiental y permitiendo así dimensionar una Planta de Tratamiento de Aguas

Residuales que maneje la totalidad de los vertimientos generados. Es necesario recalcar, que no se le ha dedicado la suficiente importancia en cuanto a lo referente a la implementación de sistemas eficientes de tratamiento de aguas residuales, lo cual puede acarrear tanto en el futuro inmediato como a largo plazo considerables consecuencias e impactos irremediables e irreversibles no solo de tipo económico sino, social y ambiental a las generaciones venideras.

Para garantizar que este tipo de trabajos arrojen resultados efectivos es importante darle continuidad a aquellos proyectos que ya han sido ejecutados, en este caso, luego de efectuado el diagnóstico al sistema de alcantarillado de Soatá, proceder a desarrollar las mejoras pertinentes y posteriormente realizar el diseño e implementación de una planta de tratamiento de las aguas residuales generadas y así garantizar que los logros adquiridos repercutan en soluciones tangibles y permitan mejorar la calidad de vida de los habitantes de este Municipio y por otro lado, remediar los impactos generados al ambiente.

13 RECOMENDACIONES AL SISTEMA DE ALCANTARILLADO

De acuerdo a lo anterior y observando los inconvenientes encontrados en el sistema de alcantarillado de Soatá, tras el análisis de la información recolectada se procedió a efectuar las siguientes recomendaciones principalmente a tramos críticos y de manera general para cada una de las estructuras que componen dicho sistema.

13.2 Tramos críticos

En primera instancia es necesario tener en cuenta que las redes de alcantarillado fueron construidas hace varias décadas y el material de los colectores corresponde en buena parte a tuberías de Gress, por lo cual es muy probable que se encuentren en estado de deterioro, de manera que se recomienda hacer un cambio de los colectores instalados con este material y reemplazarlos por materiales más resistentes y de una mayor vida útil que se encuentran actualmente en el mercado.

Analizando las condiciones de flujo del alcantarillado pluvial, se observan evidentes precariedades, tales como subdimensionamiento del sistema, como se mencionó en capítulos anteriores, por lo cual se efectuaron una serie de alternativas de mejora, como se indica a continuación.

13.2.1 Alternativas

Si se adopta el sistema de alcantarillado combinado es necesario efectuar el cambio de las tuberías de los tramos que presentan incapacidad hidráulica. Se propone reemplazar 50 tramos de colectores, en los cuales es necesario un incremento de su diámetro entre otros, como es el caso del material de la tubería, que puede ser de PVC, debido a que es un material ampliamente utilizado en la actualidad y aporta buenas características a la red de colectores en aspectos como la hermeticidad, flexibilidad, resistencia a la corrosión y abrasión, resistencia al impacto y facilidad de instalación y mantenimiento. En la Tabla 17 se muestran los tramos del sistema a reemplazar de acuerdo con los cálculos efectuados para posteriormente establecer un diámetro propuesto que se ajuste a las condiciones adecuadas de capacidad hidráulica del sistema.

Tabla 17 Tramos de colectores propuestos a cambiar.

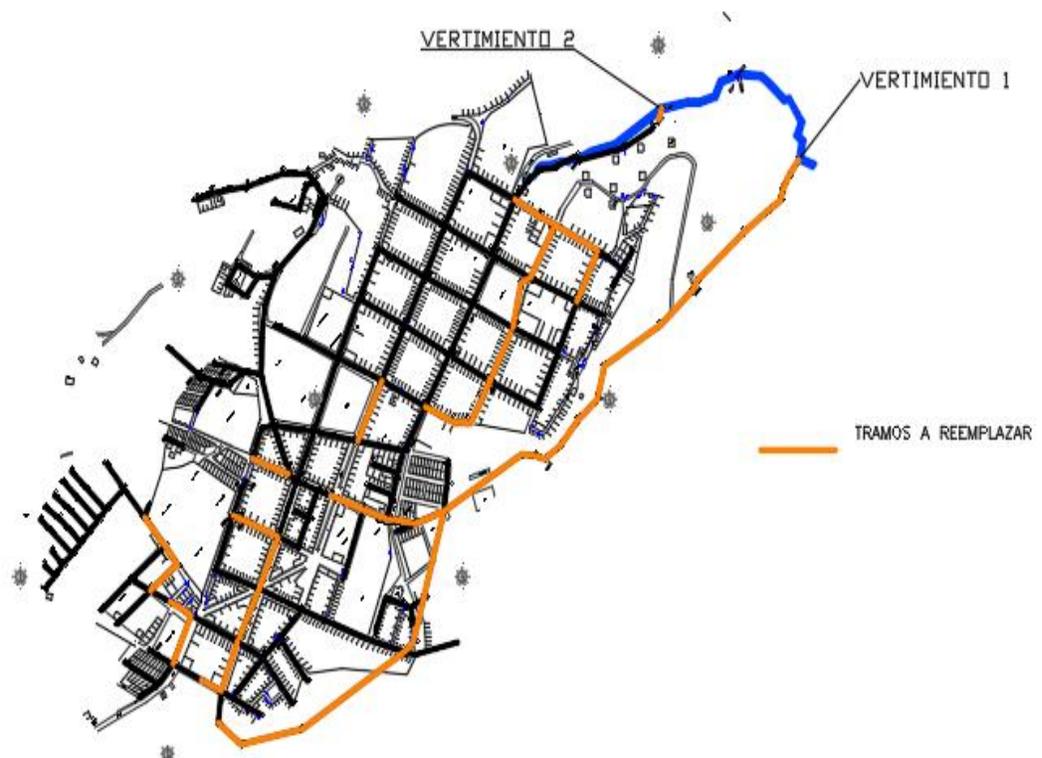
Pozo Inicial	Pozo Final	Caudal Total Diseño (l/s)	Diámetro Diseño (Pulg)	Diámetro Real (Pulg)	Relación Profundidad/ Diámetro (%)	Diámetro Propuesto (Pulg)	Relación Profundidad/ Diámetro optimizada (%)
26	28	936,75	17,98	18	99,87	20	89,90
28	33	932,23	18,26	18	101,46	20	91,30
33	31	917,33	22,92	18	127,35	24	95,50
35	37	836,22	26,71	18	148,38	27	98,93
38	39	822,54	25,04	24	104,32	27	92,74
40	41	463,78	15,34	14	109,55	20	76,69
41	43	462,25	18,40	14	131,41	20	91,99
43	36	469,82	24,28	12	202,37	30	80,95
36	39	736,76	22,37	10	223,66	30	74,55
C1	C2	1450,22	27,22	24	113,41	30	90,73
C2	C3	1420,02	27,33	24	113,89	30	91,10
C3	76	1369,87	26,08	24	108,66	30	86,93
76	74	1363,57	28,87	24	120,29	30	96,23
74	72B	1350,45	24,79	24	103,31	30	82,63
72B	79	1325,00	24,56	24	102,34	30	81,87
62	65	339,83	11,89	8	0,00	16	74,32
83D	83C	783,54	17,78	18	0,00	20	88,89
83C	83A	912,38	18,10	18	100,57	20	90,51
83A	83	1234,77	22,15	18	123,06	22	100,69
82	77	1215,22	17,95	16	112,20	22	81,60
77	78	1196,21	19,16	16	119,77	24	79,84
78	79	1157,33	19,44	16	121,52	24	81,02
79	C4	2430,10	27,38	24	114,07	30	91,27
C4	C5	2386,42	23,09	24	96,21	30	76,97
C7	C8	2313,14	26,12	24	108,85	30	87,07
C8	C9	2306,60	27,56	24	114,83	30	91,87
C9	C10	2300,22	25,91	24	107,97	30	86,37
C10	C11	2286,67	25,07	24	104,45	30	83,57
C11	C12	2270,77	22,28	24	92,84	30	74,27
C12	C13	2252,18	23,07	24	96,13	30	76,90
C13	C14	2230,06	24,35	24	101,46	30	81,17
C14	C15	2221,02	35,44	24	147,66	30	118,13
C15	C16	2217,66	20,37	24	84,89	30	67,90

Pozo Inicial	Pozo Final	Caudal Total Diseño (l/s)	Diámetro Diseño (Pulg)	Diámetro Real (Pulg)	Relación Profundidad/ Diámetro (%)	Diámetro Propuesto (Pulg)	Relación Profundidad/ Diámetro optimizada (%)
C16	C17	2213,52	20,89	24	87,04	30	69,63
C17	C18	2210,44	20,97	24	87,37	30	69,90
C18	V1	2195,97	34,75	24	144,78	30	115,83
128	124	303,85	14,16	14	101,17	16	88,52
91	92	157,18	12,19	8	152,38	14	87,07
92	93	156,04	14,11	8	176,31	16	88,16
93	94	155,81	14,29	8	178,62	16	89,31
94	95	156,91	9,27	8	115,89	16	57,95
95	111	152,52	8,74	8	109,23	16	54,62
111	110	151,94	11,55	12	96,23	16	72,17
110	109	393,03	16,74	12	139,48	18	92,99
109	104	384,40	14,06	12	117,16	18	78,11
98	99	559,85	20,25	12	168,73	22	92,04
99	104	563,10	21,72	16	135,75	22	98,73
104	105	979,44	24,48	16	153,01	27	90,67
105	106	963,19	21,33	18	118,50	27	79,00
2C5	V2	2194,17	26,75	24	111,46	36	74,31

Fuente: Autor.

Es necesario tener en cuenta que aquellos tramos que no satisfacen las condiciones de profundidad hidráulica, es decir que la relación profundidad respecto al diámetro sigue siendo superior a 93% (obsérvese pozos iniciales 33, 35, 83^a, C14, C18 y 99) se recomienda efectuar un aumento en la pendiente del tramo para garantizar que el diámetro de diseño disminuya. En la Figura 21, se observa la ubicación en el sistema de alcantarillado combinado de los tramos que es necesario reemplazar, para garantizar la capacidad hidráulica.

Figura 21 Tramos a reemplazar sistema de alcantarillado combinado.



Fuente: Autor.

Por otro lado, si se adopta el sistema de alcantarillado separado, que puede tratarse de una solución más costosa cuya factibilidad para su puesta en marcha depende la autoridad competente del Municipio de Soatá, se propone el trazado de una red de colectores que puedan transportar la mayoría de la escorrentía pluvial captada por los sumideros existentes hasta el sitio de vertimiento.

De acuerdo a lo anterior se propone construcción de 26 pozos de inspección y la instalación de 29 tramos de colectores cuyo material sea PVC, los cuales operan por gravedad y presentan condiciones de flujo aceptables, transportando las aguas de 26 sumideros de los 31 registrados hasta el cuerpo natural de agua ubicado en el costado norte del área urbana de Soatá. Teniendo en cuenta el área aferente de escorrentía pluvial que recolecta cada sumidero, se procedió a efectuar el cálculo del caudal de diseño y de condiciones hidráulicas para cada tramo de la red de alcantarillado pluvial propuesto, siguiendo los lineamientos descritos en el Anexo 4 de este documento e incluyendo en el mismo, en la hoja denominada “Pluvial Diseño” el proceso de diseño aquí descrito. En la Tabla 18, se indican los pozos y tramos de alcantarillado pluvial propuestos a implementar con la longitud, pendiente, caudal y diámetro de diseño y profundidad hidráulica respectiva, tomados del análisis antes descrito.

Según lo planteado, el Pozo 1, se encuentra ubicado en la Calle 3, al frente del Colegio Juan José Rondón y tiene una cota rasante de 1978,44 y cota clave de salida de 1972,43 y recibe la escorrentía pluvial de la urbanización Villa Betty y el Pozo 26 se encuentra ubicado en el costado norte, en la salida que se dirige a la población de Boavita justo al frente del cementerio Municipal y tiene una cota rasante de 1929,19 y cota clave de entrada de 1919,99, el tramo siguiente descarga las aguas pluviales al cuerpo receptor.

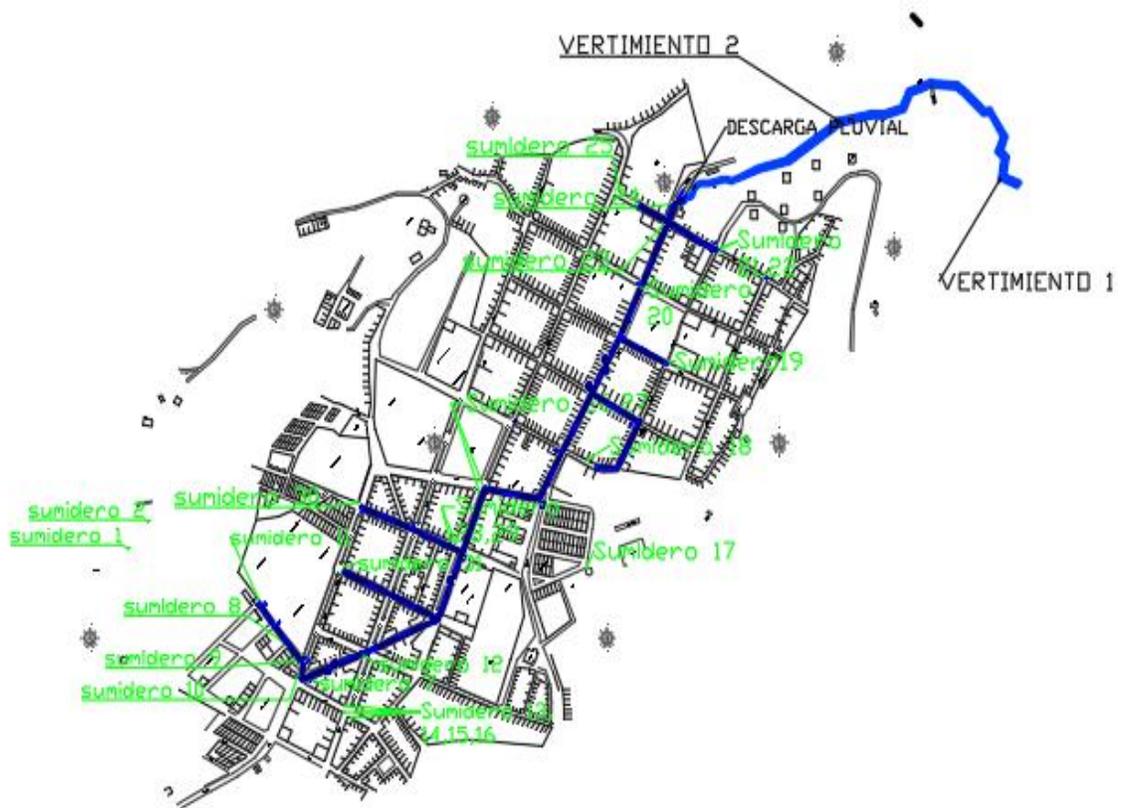
Tabla 18 Características tramos propuestos sistema de alcantarillado pluvial.

Tramo	Longitud (m)	Pendiente Diseño (%)	Caudal Diseño (L/s)	Diámetro Diseño (Pulg)	Diámetro Propuesto (Pulg)	Relación Profundidad/ Diámetro (%)
1	39,26	7,74	994,67	16,80	20	83,99
2	78,42	8,35	984,95	16,50	20	82,50
3	24,34	20,78	983,13	13,90	20	69,49
4	54,16	1,69	1055,75	22,85	27	84,63
5	64,3	2,17	1470,47	24,69	27	91,44
6	136,19	0,17	280,24	21,37	27	79,16
7	89,44	3,13	1596,47	23,77	27	88,04
8	90,12	2,74	1567,43	24,20	27	89,65
9	55,39	0,14	333,63	23,66	27	87,65
10	55,51	0,14	316,27	23,20	27	85,91
11	97,62	11,87	292,48	9,80	27	36,29
12	1,56	6,02	292,13	11,12	27	41,19
13	95,45	0,8	292,13	16,24	27	60,14
14	95,1	1,46	1605,95	27,49	30	91,62
15	85,76	0,81	1734,29	31,59	36	87,76
16	101,13	3,13	2535,91	31,50	36	87,49
17	35,88	2,86	2477,10	31,75	36	88,20
18	80,21	4,8	2354,70	28,27	36	78,54
19	105,63	4,7	2318,97	28,22	36	78,40
20	49,56	6,21	2308,80	26,74	36	74,28
21	49,56	12,35	2241,41	23,25	36	64,58
22	90,19	1,05	87,04	10,92	14	77,97
23	92,64	5,75	85,76	7,89	14	56,37
24	104,38	5,75	84,36	7,84	14	56,02
25	36,31	1,79	83,58	9,73	14	69,48
26	56,24	3,61	2169,39	28,92	36	80,34
27	53,32	8,68	60,15	6,40	10	63,95
28	30,17	2,94	2240,66	30,42	36	84,51
29	15,16	14,35	2221,53	22,53	36	62,58

Fuente: Autor.

De acuerdo con la tabla anterior se puede analizar, que la longitud total de colectores a implementar es de 1963m, se proponen diámetros de colectores desde 10 hasta 36 pulgadas, con predominio de colectores de 27 y 36 pulgadas respectivamente, el material de los colectores será de PVC, (el cuadro de cálculo se efectuó con coeficiente de rugosidad de Manning para material de PVC). En la Figura 22 se muestra la distribución espacial del sistema de alcantarillado pluvial propuesto con la red de colectores que se indicó en la tabla anterior, desde el punto inicial hasta el sitio de descarga en el cuerpo natural de agua

Figura 22 Distribución de redes de alcantarillado pluvial propuesto para Soatá.



Fuente: Autor.

Es necesario tener en cuenta además, de manera general, la necesidad de modificar la pendiente de 34 tramos del sistema que presentan condiciones de flujo crítico y cuasicrítico, o variar la relación de llenado de las tuberías que muestran esta problemática a un valor máximo de 0.7, de manera que se pueda limitar el daño por socavación en tuberías y estructuras complementarias del sistema de alcantarillado.

13.3 Pozos de Inspección

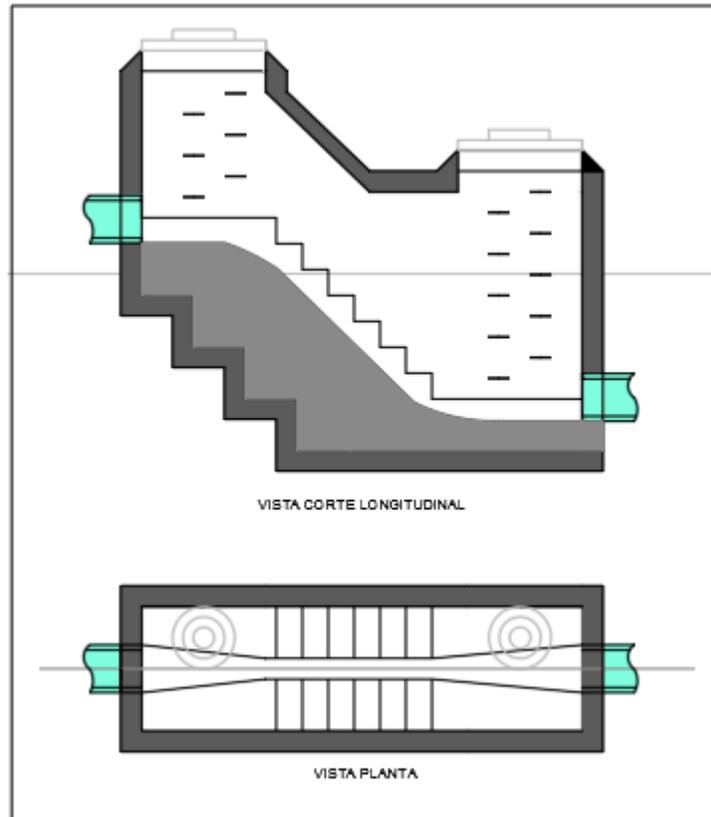
Se recomienda en primera instancia una readecuación y un mantenimiento correctivo de los pozos de inspección que se encuentran en regular y mal estado, de manera que se efectúe una remoción de lodos, bloques y demás residuos retenidos en dichas estructuras. Las tareas de mantenimiento con respecto a la limpieza del material retenido se recomiendan efectuarlas bimestralmente. Además es necesario prestar especial atención al estado de las tapas de acceso a las cámaras de inspección, que son frecuentemente dañadas por el tránsito y otras actividades y deberán ser reemplazarlas de forma inmediata

La mayoría de los pozos de inspección del sistema no cuentan con revestimiento internamente, por lo cual se debe realizar este proceso a cada uno de estos, con pañete impermeabilizado con un espesor de 10mm como mínimo. Los pozos de inspección que no presentan escaleras de acceso deben estar constituidos por varillas de 3/4". Deben tener un ancho de 0.40 m, estar separadas de la superficie interna del pozo 0.20 m y la separación entre cada paso debe ser de 0.40 m. Deben estar protegidas contra la corrosión con la aplicación de una pintura epóxica. (AAB, 2009)

Se presenta una situación particular en los pozos de inspección No. 83 al No. 82, cuyo tramo es de apenas 5,97 metros y tiene una caída 4,77m con una pendiente de 85% y en el análisis hidráulico para el alcantarillado pluvial presenta una velocidad de flujo de 18m/s, la cual es altamente erosiva. De manera que se propone el diseño de una cámara de caída de pasos escalonados que una a los dos pozos de inspección, la cual está compuesta por cierto número de escalones, equivalente a una serie de cascadas, donde ocurren fenómenos de disipación de energía y de aire (SALDARRIAGA, 2008). Las cámaras de caída escalonadas funcionan para diversos caudales, sin embargo es necesario tener en cuenta que para la relación entre caudal y altura del escalón se requieren alturas importantes y aún más tratándose de caudales superiores a 1000 L/s como es el caso de este tramo el cual presenta un caudal de diseño de 1300 L/s.

De esta manera se propone que los pozos de inspección 83 y 82 estén unidos por una rápida escalonada como se muestra en un esquema general presentado en la Figura 23 de acuerdo a la Norma alemana ATV A241 de 2004 que hace referencia a los elementos de una Red de Saneamiento.

Figura 23 Cámara de caída escalonada. Norma ATV A 241(1994).



Fuente: (SALDARRIAGA, 2008).

13.4 Sumideros

La situación actual que presentan los sumideros en el área de estudio requiere una intervención importante, en lo referente a mantenimiento correctivo, esta actividad se realiza cuando las redes de alcantarillado y sus componentes han perdido capacidad de transporte de aguas residuales y lluvias de manera continua por la presencia de sedimentos colmatando la tubería y la cámara de entrada. Para recuperar la capacidad de la tubería se requiere la extracción manual de los residuos que se encuentran acumulados en estos, además de un chorro de agua a alta presión para poder evacuar los sedimentos y recuperar el flujo continuo en la red de alcantarillado.

Por otro lado es necesario efectuar readecuaciones a algunos sumideros transversales y de tipo lateral de rejillas en cunetas, que presentan importantes daños debido a la vulnerabilidad de dichas rejillas al paso de vehículos. Es necesario incorporar nuevamente las partes que han sido sustraídas a la estructura lo cual garantiza una adecuada interceptación de desperdicios, basuras y otros materiales, que generan colmatación al sistema y cumpliendo así con los requerimientos de diseño que se plantearon desde su instalación y puesta en marcha. Además, es necesario identificar el tipo de material que las áreas de drenaje pueden aportar a los tramos, haciendo énfasis en el componente granular, pues éste determina en buena parte los requisitos de autolimpieza de las tuberías y evacuación de lodos y de acuerdo a esto, se debe evaluar la necesidad de construir desarenadores, estratégicamente ubicados antes del ingreso de las aguas lluvias a la red de tuberías.

13.5 Vertimientos

Para este apartado se recomienda efectuar la unificación de los vertimientos que descargan en el mismo cuerpo receptor de la zona norte del área de estudio, los cuales presentan una diferencia de altura de 61 m, la ubicación del vertimiento 2 está en la cota 1822,29 y el vertimiento 1 en la cota 1883,96. Es necesario la proyección de la Planta de Tratamiento de aguas residuales (PTAR) aguas abajo del vertimiento con la cota más baja y prolongar la redes de colectores del vertimiento 1 aproximadamente 200 metros con un diámetro de 36 pulgadas hasta la emisión final del vertimiento 2. De no ser posible la adquisición de un nuevo del lote dispuesto para la PTAR en la zona del vertimiento antes mencionada, es necesario implementar un sistema de bombeo que traslade las aguas hasta el lote que actualmente está proyectado, de lo contrario la PTAR solamente podría tratar apenas el 50% de las aguas residuales generadas y la contaminación al cuerpo receptor seguiría siendo persistente.

En lo relacionado con el vertimiento de cinco viviendas que no están conectadas a la red de alcantarillado se recomienda la depuración de las aguas residuales combinando los sistemas de tratamiento primario con un tratamiento secundario. Se sugiere utilizar sistemas de fosa séptica y de tanque Imhoff, los cuales permiten realizar etapas de pretratamiento, reteniendo eficazmente los gruesos y los aceites y grasas y la combinación con un tratamiento secundario de tipo natural como puede ser un sistema acuático con la implementación de lagunajes, humedales artificiales o lechos de macrófitas o sistemas de aplicación en el terreno como lechos de turba y/o arena. (RUSSELL, 2006). De esta forma se debe garantizar que se efectúe un tratamiento de las aguas residuales generadas por estas viviendas satisfactoriamente y a un coste relativamente bajo.

14 BIBLIOGRAFÍA

- AAB, A. A. (2009). *Proceso de Normalización Técnica. Normas Técnicas de Diseño y Construcción de sistema de alcantarillado pluvial y sanitario*. Bogotá.
- ACOSTA, G. (2000). *Manual de Hidráulica*. Ciudad de México.
- ALCALDIA DE SOATÁ, B. (2013). Optimización de las redes de acueducto y alcantarillado para el casco urbano del municipio de Soatá. Soatá, Boyacá, Colombia.
- ANGULO, L. (2014). *Project 2013*. Lima, Perú: Macro EIRL.
- Básico, D. d. (2000). *Título D Sistemas de Recolección y Evacuación de aguas residuales domésticas y aguas pluviales*. Bogotá.
- CEDEX. (2009). *Guía técnica sobre redes de saneamiento y drenaje urbano*. España, España: Ministerio de Fomento. Secretaría General Técnica. Centro de Publicaciones.
- DE LAS HERAS JIMÉNEZ, S. (2012). *Mecánica de fluidos en ingeniería*. Cataluña: Publicacions Acadèmiques Digitals UPC.
- EMPOSOATÁ. (2013). *Optimización de las redes de acueducto y alcantarillado para el casco urbano del municipio de Soatá*. Soatá, Boyacá: Municipio de Soatá.
- EPM, E. P. (2009). *Guía para el diseño Hidráulico de Redes de Alcantarillado*. Obtenido de www.epm.com.co:
https://www.epm.com.co/site/Portals/0/centro_de_documentos/GuiaDisenoHidraulicoRedesAlcantarillado.pdf
- EXTRA. (16 de mayo de 2016). Soatá genera progreso en norte. *Soatá genera progreso en norte*.
- EYZAGUIRRE, C. (2014). *Programación de obras con Project*. Lima, Perú: Macro.
- ICONTEC, I. C. (2008). *Documentación: presentación, trabajos de grados y otros trabajos de investigación*. NTC1486. Bogotá: ICONTEC.
- ICONTEC, N. C. (2008). *Referencias documentales para fuentes de información electrónicas*. NTC4490. Bogotá: ICONTEC.
- IDEAM. (2016). *Listado Estaciones con Curvas IDF*. Bogotá.

- INVIAS, I. N. (2009). *Manual de Drenaje para carreteras*. Bogota.
- LOPÉZ, R. (2003). *Elementos de Diseño para Acueductos y Alcantarillado. 2 ed.* Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Ministerio de Vivienda, C. y. (2000). *Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico. RAS 2000 - Título A.* Bogotá.
- Ministerio de Vivienda, C. y. (2016). *Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico. RAS 2000 Título D.* Bogota.
- Ministerio de Vivienda, C. y. (2017). *Resolución 0330* . Bogotá, Colombia.
- MOFFA, P. E. (2000). *The Control and Treatment of Combined Sewer Overflows*. New York: VAN NOSTRAND REINHOLD.
- MOTT, R. (2006). *Mecánica de fluidos, sexta ed.* Ciudad de México, México: Pearson Educación.
- ONTORIA, A. (2006). *Mapas Conceptuales*. Madrid, España: Narcea Ediciones.
- POTTER, M. W. (2017). *Mechanics of Fluids Fifth Edition*. Boston: Cengage Learning.
- RESTREPO, I. (2007). *Avances en investigación y desarrollo en agua y saneamiento*. Cali, Colombia: Editorial Universidad del Valle.
- RUSSELL, D. L. (2006). *Practical Wastewater Treatment*. New Jersey: Jon Wiley & Sons.
- SALDARRIAGA, J. (2008). *Cámaras de Quiebre en Alcantarillados con Alta Caída*. Bogotá: Sociedad Colombiana de Ingenieros.
- UN, U. N. (2006). *Manual para la Inspección visual de estructuras de drenaje*. Bogotá: UN.