DISEÑO HIDRAULICO DE REDES DE ALCANTARILLADO SANITARIO

OBJETO DEL PROYECTO: "CONSTRUCCION Y OPTIMIZACION DE LA RED DE ALCANTARILLADO SANITARIO EN EL AREA URBANA DEL MUNICIPIO DE SARAVENA, DEPARTAMENTO DE ARAUCA"

Diseñado Por:

JAIRO ALEXANDER BARRAGAN MENDOZA
INGENIERO CIVIL – ESPECIALISTA EN INGENIERIA HIDRAULICA Y AMBIENTAL
C.C 80.109.920
25202-143899 CND

Entregado a:

DEPARTAMENTO DE ARAUCA – GOBERNACIÓN DE ARAUCA

SARAVENA - ARAUCA
MARZO 2026

TABLA DE CONTENIDO

1. ALCANCE DEL DISEÑO 6

2. GENERALIDADES DE LA ZONA DE ESTUDIO 6

2.1. LOCALIZACION DEL PROYECO 6

2.2. RESEÑA HISTORICA 8

2.3. GEOGRAFIA 9

2.4. ESTUDIOS EXISTENTES 9

2.5. USUARIOS ACTUALES 9

2.6. PRESTACIÓN DE SERVICIOS PÚBLICOS 10

3. PARAMETROS DE DISEÑO EN REDES DE ALCANTARILLADO SANITARIO 11

3.1. CONTRIBUCIÓN DE AGUAS RESIDUALES 11

3.1.1. Caudal de Aguas residuales domésticas. (Resolución 0330 de junio del 2017, la resolución 0799 de diciembre de 2021 y la resolución 0908 de diciembre de 2021) 11

3.1.2. Dotación Neta 11

3.1.3. Coeficiente de Retorno 12

3.1.4. Densidad Poblacional 12

3.1.4.1. Periodo de Diseño (Resol Resolución 0330 de junio del 2017) 12

3.1.4.2. Población Futura 12

3.1.4.3. Densidad de Saturación 13

3.1.5. Caudal Medio Diario de Aguas Residuales (Qmd) (Resolución 0330 de junio del 2017, la resolución 0799 de diciembre de 2021 y la resolución 0908 de diciembre de 2021) 14

3.1.6. Caudal máximo Horario (QMH). (Resolución 0330 de junio del 2017, la resolución 0799 de diciembre de 2021 y la resolución 0908 de diciembre de 2021) 14

3.1.7. Caudal de Conexión Errada (Qce) (Resolución 0330 de junio del 2017, la resolución 0799 de diciembre de 2021 y la resolución 0908 de diciembre de 2021) 14

3.1.8. Caudal de Infiltración (Qinf) (Resolución 0330 de junio del 2017, la resolución 0799 de diciembre de 2021 y la resolución 0908 de diciembre de 2021) 14

3.1.9. Caudal de Diseño (Resolución 0330 de junio del 2017, la resolución 0799 de diciembre de 2021 y la resolución 0908 de diciembre de 2021) 14

3.1.10. Diámetro Interno Real Mínimo en los Alcantarillados Sanitarios (Resolución 0330 de junio del 2017, la resolución 0799 de diciembre de 2021 y la resolución 0908 de diciembre de 2021) 14

3.1.11. Criterios de auto limpieza en los alcantarillados sanitarios (Resolución 0330 de junio del 2017, la resolución 0799 de diciembre de 2021 y la resolución 0908 de diciembre de 2021) 15

3.1.12. Velocidad máxima en los alcantarillados sanitarios (Resolución 0330 de junio del 2017, la resolución 0799 de diciembre de 2021 y la resolución 0908 de diciembre de 2021) 15

3.1.13. Relación Máxima entre profundidad de flujo y diámetro de la tubería en los alcantarillados sanitarios (Resolución 0330 de junio del 2017, la resolución 0799 de diciembre de 2021 y la resolución 0908 de diciembre de 2021) 15

3.1.14. Profundidad de Instalación de Tuberías de Alcantarillados (Resolución 0330 de junio del 2017, la resolución 0799 de diciembre de 2021 y la resolución 0908 de diciembre de 2021) 15

4. DESARROLLO DE DISEÑO DE REDES DE ALCANTARILLADO SANITARIO 16

4.1. DEDUCCIÓN DE LA ECUACIÓN MATEMÁTICA UTILIZADA EN EL ESTUDIO 16

4.2. DATOS DE ENTRADA PARA EL CALCULO DE PARAMETROS HIDRAULICO DE LAS TUBERÍAS 19

4.3. PROCEDIMIENTO DE DISEÑO 19
4.3.1. Descripción del Sistema y trazado de la red 20
4.3.2. Determinación de Áreas Aferentes (AA) 20
4.3.3. Cálculo del Caudal de Diseño Total (QDT) 23
4.3.4. Determinación de Pendientes y Profundidades 24
4.3.1. Determinación de Diámetros de Tubería 26

5. MODELACION 27
6. ESTRUCTURAS DE CONEXIÓN 34
6.1. UBICACIÓN 34
6.2. PARAMETROS DE DISEÑO 34
6.2.1. Diámetro 34
6.2.2. Diámetro de Acceso 35

7. CANTIDADES DE OBRA 36
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 39
BIBLIOGRAFIA 40

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Localización Municipio de Saravena 6
Ilustración 2. Ubicación del Proyecto 7
Ilustración 3. Ubicación del predio a Urbanizar dentro del Área de expansión N°2 del PBOT. 8
Ilustración 4. Distribución Urbanística Proyectada 10
Ilustración 5. Perimetro urbano y Area de expansion urbana municipio de Saravena. 13
Ilustración 6. Plano de trazado preliminar de tramos de tubería 20
Ilustración 7. Áreas Aferentes 21
Ilustración 8. Trazado de redes en SWMM 5.2 27
Ilustración 9. Caracterización de tramos y Estructuras de conexión en SWMM 5.2. 27
Ilustración 10. Modelación Exitosa 28
Ilustración 11. Resultados de la modelación en nodos 28
Ilustración 12. Resultados de la modelación en tramos 29
Ilustración 13. Modelación hidráulica: Caudales y pendientes 30
Ilustración 14. Modelación hidráulica: Caudales y velocidades 30
Ilustración 15. Perfiles de Modelación Redes De alcantarillado Sanitario 32

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Dotación neta máxima por habitante según la altura sobre el nivel del mar de la zona atendida 11
Tabla 2. Datos de Población municipio de Saravena 12
Tabla 3. Áreas Urbanas 13
Tabla 4. Profundidad a las cotas claves del colector 15
Tabla 5. Parámetros de Diseño Principales 19
Tabla 6. Áreas Aferentes del proyecto 21
Tabla 7. Cálculo de Caudal domestico 23
Tabla 8. Cálculo de Caudal de Diseño 24
Tabla 9. Cálculo de Pendientes y Profundidades por tramo 25
Tabla 10. Cálculos Hidráulicos de cada tramo y Asignación de diámetro 26
Tabla 11. Diámetro interno de estructuras de conexión 34
Tabla 12. Profundidades de Excavación Pozos de Inspección 35
Tabla 13. Actividades de Obra 36
Tabla 14. Cálculo de Cantidades de Obra de Tramos Principales 37
Tabla 15. Cálculo de Cantidades de Obra de Acometidas 37
Tabla 16. Cálculo de Cantidades de Obra de Pozos de Inspección 38
Tabla 17. Resumen de Cantidades de Obra 38

INTRODUCCIÓN

El municipio de Saravena cuenta con una trayectoria histórica superior a los 50 años. Durante más de tres décadas, la Empresa de Servicios Públicos ECAAAS ESP ha sido la entidad encargada de la prestación de los servicios de acueducto y alcantarillado en el municipio. A lo largo de este periodo se han construido diferentes tramos de redes que actualmente han superado su vida útil, lo que ha generado fallas recurrentes en el sistema y afectaciones a la comunidad debido al deterioro progresivo de las tuberías.

En este contexto, tanto el Departamento de Arauca como el Municipio de Saravena, en articulación con la Empresa ECAAAS ESP, tienen la responsabilidad de garantizar a la población el acceso a servicios públicos de calidad, asegurando el suministro de agua potable y la adecuada recolección y disposición de las aguas residuales.

Con el propósito de contribuir al mejoramiento de la calidad de vida de los habitantes, el Municipio de Saravena ha planteado un proyecto orientado a la optimización de las redes de alcantarillado sanitario del barrio Galán, buscando garantizar el adecuado funcionamiento del sistema y reducir los impactos asociados al deterioro de la infraestructura existente.

En ese sentido, el presente documento presenta el diseño hidráulico de la red de alcantarillado sanitario correspondiente al proyecto denominado **"CONSTRUCCION Y OPTIMIZACION DE LA RED DE ALCANTARILLADO SANITARIO EN EL AREA URBANA DEL MUNICIPIO DE SARAVENA, DEPARTAMENTO DE ARAUCA"**, el cual se desarrolla dentro del perímetro urbano del municipio.

1. ALCANCE DEL DISEÑO

El presente proyecto corresponde al diseño del sistema de alcantarillado sanitario para el proyecto denominado: **"CONSTRUCCION Y OPTIMIZACION DE LA RED DE ALCANTARILLADO SANITARIO EN EL AREA URBANA DEL MUNICIPIO DE SARAVENA, DEPARTAMENTO DE ARAUCA"**, el cual se desarrolla en el municipio de Saravena, departamento de Arauca. El diseño planteado toma como referencia la infraestructura existente del sistema de alcantarillado, a la cual se prevé conectar las nuevas redes proyectadas dentro del área de intervención.

El contenido de este documento se enfoca exclusivamente en el diseño hidráulico, el dimensionamiento y el trazado de la red de alcantarillado sanitario dentro del área delimitada del proyecto. Por lo tanto, no contempla intervenciones ni evaluaciones hidráulicas de las redes externas existentes del sistema de alcantarillado del municipio.

Las vías que hacen parte del área de influencia del proyecto son las siguientes:

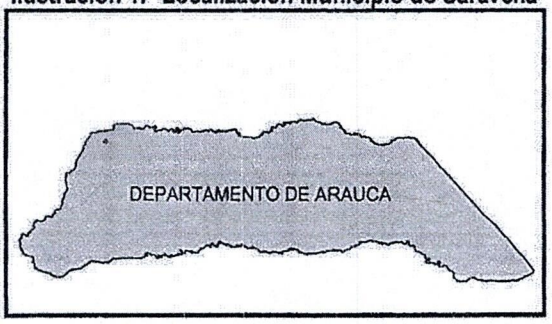
- Calle 23 entre carreras 20 y 23 (4 tramos)
- Carrera 1 entre calles 23 y 24 (1 tramos)
- Carrera 22ª entre calles 22 y23 (1 tramos)
- Carrera 23 entre calles 22 y 23 (1 tramos)
- Calle 22 entre carreras 22 y 23 (3 tramos)

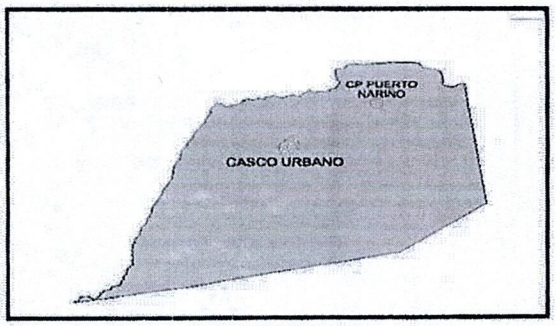
2. GENERALIDADES DE LA ZONA DE ESTUDIO

2.1. LOCALIZACION DEL PROYECTO

El proyecto se localiza en el barrio Galán, en el municipio de Saravena, departamento de Arauca. El municipio de Saravena se encuentra ubicado en la región de la Orinoquia colombiana, al noroccidente del departamento de Arauca. Geográficamente, el municipio se sitúa entre las coordenadas 6°46' y 7°00' de latitud norte, y 71°41' y 72°06' de longitud oeste, dentro del piedemonte de la Cordillera Oriental.

Ilustración 1. Localización Municipio de Saravena





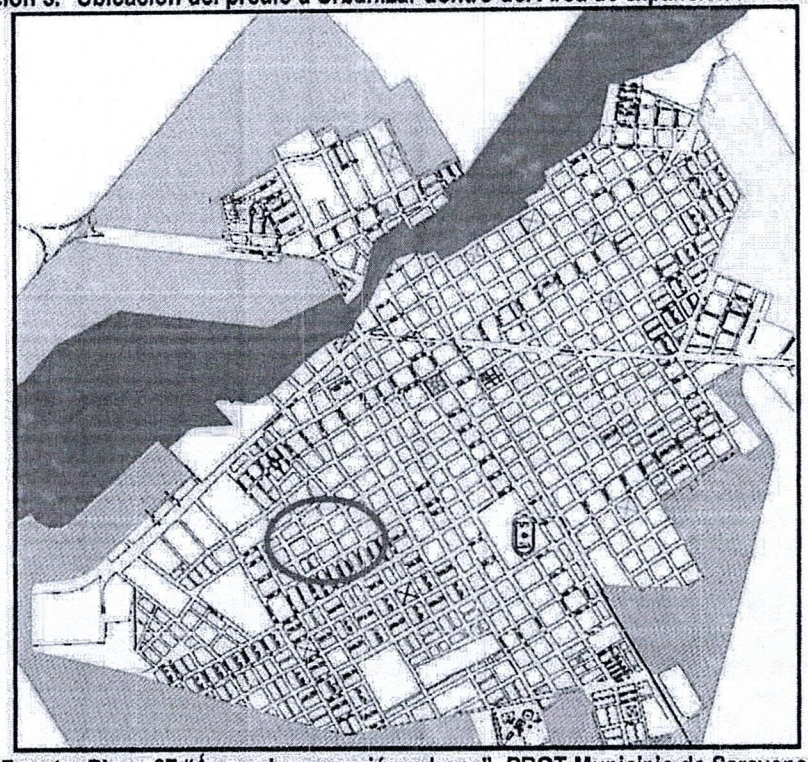
Fuente: Google

Ilustración 2. Ubicación del Proyecto



Fuente: Google Earth Pro

Ilustración 3. Ubicación del predio a Urbanizar dentro del Área de expansión N°2 del PBOT.



Fuente: Plano 07 "Áreas de expansión urbana"- PBOT Municipio de Saravena.

COORDENADAS GEOGRAFICAS	Punto Inicial	Latitud: 6°56'54.98"N Longitud: 71°52'49.99"O
	Punto final de intervención	Latitud: 6°57'14.93"N Longitud: 71°52'42.86"O

2.2. RESEÑA HISTORICA

Los pobladores originarios de la región fueron los indígenas u'wa, betoye y guahibo. Saravena fue fundada por un grupo de colonos provenientes principalmente del departamento de Santander y de otros departamentos del interior del país. En 1972 el INCORA tomó las riendas del proyecto de colonización y debido a la gran distancia que los campesinos debían recorrer para su aprovisionamiento decide construir a orillas de la quebrada La Pava una cooperativa agraria alrededor de la cual empiezan a asentarse los colonizadores hasta formar una especie de caserío llamado Las Pavas.

La pista o campo de aterrizaje construida junto a la Cooperativa fue ampliada. Por aquellos mismos días el nombre de Las Pavas cambió por el de Saravena.

Saravena formaba parte del municipio de Tame, pero al llegar la colonización fue ascendido a Inspección de policía, al poco tiempo fue corregimiento y según decreto 2004 del 3 de febrero de 1976 fue erigido como municipio.

2.3. GEOGRAFIA

El municipio de Saravena se encuentra localizado en la Orinoquia colombiana, al noroccidente del departamento de Arauca. Sus coordenadas geográficas son: Latitud norte entre 6 grados 46' y 7 grados 00' y en la Longitud este entre 71 grados 41' y 72 grados 06'.

El paisaje de Saravena representa uno de los más complejos en términos de su biodiversidad, de su conformación fisiográfica, de sus procesos culturales y de su dinámica de poblamiento. La unidad geográfica está comprendida en la "Unidad Andina Orinocense", que comprende la vertiente de la Cordillera Oriental, que integra el piedemonte, montañas, nieves y páramos, donde se conservan coberturas originales de selvas en algunas zonas y nacen los principales ríos del Arauca. Saravena hace parte, dentro de la Orinoquia araucana, del paisaje andino Orinocense, el cual, desde el punto de vista paisajístico, puede dividirse de la siguiente manera:

Piedemonte andino: Está localizado en la sección baja de la cordillera y conformado por un complejo relieve de materiales acumulados y estribaciones andinas donde sobresalen bajos, áreas de explayamiento, cunas, terrazas, mesetas, mesas, colinas, lomas y serranías. Esta zona estuvo cubierta de selva y está comprendida entre los 200 y 1000 m s. n. m.

• Vertiente cordillerana: Está conformada por relieves escalonados descendientes hasta alcanzar los 1000 m s. n. m. La zona cordillerana está cubierta por completo de selva de gran biodiversidad, riqueza hídrica y de suelos. En esta zona se encuentra el Parque nacional natural El Cocuy y la reserva indígena U'wa.

- Límites
  - Norte: República de Venezuela desde la desembocadura del río Bojabá en el río Arauca, hasta la inspección de Puerto Lleras.
  - Sur: Municipio de Fortul.
  - Este: Municipios de Arauquita y Fortul.
  - Oeste: Departamento de Boyacá, sobre la cuenca del río Bojabá.

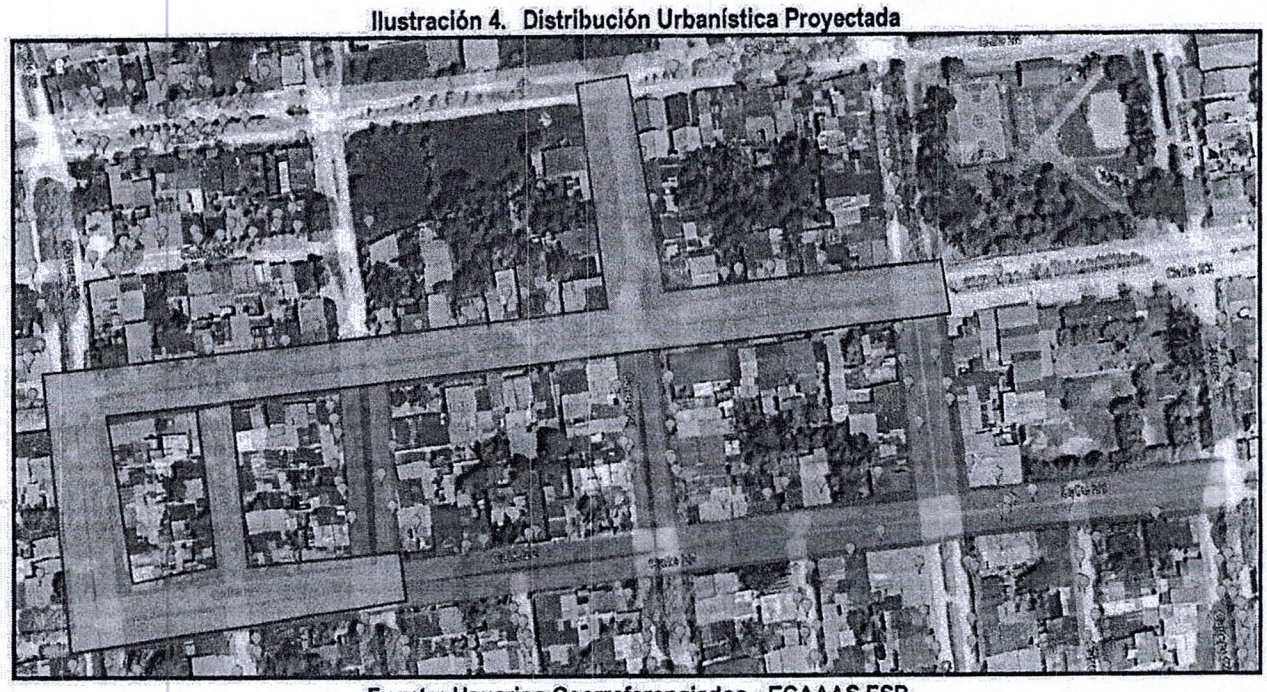
2.4. ESTUDIOS EXISTENTES

- El municipio cuenta con un Plan Maestro de Acueducto y Alcantarillado, desde el año 2007.
- El municipio cuenta con el PBOT desde el día 2010.
- Se tiene como información base un estudio topográfico que contempla un levantamiento altimétrico y planimétrico del predio, con sus debidas carteras topográficas.

2.5. USUARIOS ACTUALES

El área de influencia del proyecto contempla está conformado actualmente 117 usuarios conectados a las redes existentes del Alcantarillado Sanitario, de los cuales se contempla una sectorización en la cual serán beneficiados 48 usuarios.

Ilustración 4. Distribución Urbanística Proyectada



Fuente: Usuarios Georreferenciados - ECAAAS ESP

2.6. PRESTACIÓN DE SERVICIOS PÚBLICOS

Los servicios de Acueducto, Alcantarillado, Aseo y Gas en el municipio de Saravena son prestados por la empresa ECAAAS ESP, y el servicio de Energía Eléctrica por la empresa ENELAR ESP.

3. PARAMETROS DE DISEÑO EN REDES DE ALCANTARILLADO SANITARIO

Los parámetros de diseño constituyen los elementos básicos para el desarrollo del diseño de un sistema de recolección y evacuación de aguas residuales.

3.1. CONTRIBUCIÓN DE AGUAS RESIDUALES

Los aportes de aguas residuales deben determinarse con base en información de consumos y/o mediciones recientes registrados en la localidad, y considerando las densidades previstas para el periodo de diseño con base en el POT o PBOT o EOT y Plan de Desarrollo del municipio a través de zonificación del uso de la tierra. Se justificará los valores adoptados y deben ser aprobados por la persona prestadora del servicio. Se deben estimar los caudales para las condiciones iniciales y finales de periodo de diseño, en cada uno de los tramos de la red. Los caudales que se requieren calcular son los siguientes:

3.1.1. Caudal de Aguas residuales domésticas. (Resolución 0330 de junio del 2017, la resolución 0799 de diciembre de 2021 y la resolución 0908 de diciembre de 2021)

Cuando se cuente con proyección de demanda de agua potable, se debe calcular con la siguiente ecuación.

$$Qd = Cr\ x\ Dnetap\ x\ A$$

Donde (Dnetap) es la demanda neta de agua potable por unidad de área tributaria (L/s.Ha) y (A) es el área tributaria de drenaje (Ha).

Cuando se cuente con proyección de demanda de agua potable por suscriptor, se debe calcular con la siguiente ecuación.

El aporte doméstico (QD) está dado por la expresión:

$$Q_D = \frac{Cr \cdot Dnetas \cdot Ps}{30}$$

Donde (Ps) es el número de suscriptores proyectados al periodo de díselo y (Dnetas) es la demanda neta de agua potable proyectada por suscriptor (m3/suscriptor-mes).

Cuando se utilice proyección de población, se debe calcular con la siguiente ecuación:

$$Qd = \frac{Cr\ x\ P\ x\ Dneta}{86400}$$

Donde (Dneta) es la dotación neta de agua potable proyectada por habitante (L/hab-dia) y (P) es el número de habitantes proyectados al periodo de diseño.

3.1.2. Dotación Neta

Es la dotación neta proyectada por habitantes (L/Hab-día), de acuerdo a la resolución 0330 de junio del 2017 la dotación está dada por la siguiente tabla:

Tabla 1. Dotación neta máxima por habitante según la altura sobre el nivel del mar de la zona atendida.

ALTURA PROMEDIO SOBRE EL NIVEL DEL MAR DE LA ZONA ATENDIDA	DOTACION NETA MAXIMA (L/HAB*DIA)
>2000 msnm	120
1000-2000 msnm	130
<1000 msnm	140

Fuente: Resolución 0330 de 2017

Para el presente proyecto por estar localizado a una altura menor a 1000 msnm se trabajará una dotación neta de 140 L/Hab-día.

3.1.3. Coeficiente de Retorno

El coeficiente de retorno es la fracción del agua de uso doméstico servida (dotación neta), entregada como agua negra al sistema de recolección y evacuación de aguas residuales.

De acuerdo con la resolución 0330 del 2017, en lugares donde no se encuentra con datos de análisis para el cálculo del coeficiente se debe tomar un valor de 0.85.

3.1.4. Densidad Poblacional

3.1.4.1. Periodo de Diseño (Resol Resolución 0330 de junio del 2017)

Para todos los componentes de los sistemas de acueducto, alcantarillado y aseo, se adopta como periodo de diseño 25 años.

3.1.4.2. Población Futura

Se analizó la proyección de la población de Saravena, de acuerdo con los datos del último censo del DANE, así como de las proyecciones realizadas por la misma entidad. Se empleó el método geométrico para determinar la población futura al periodo de diseño.

En el método geométrico la ecuación a emplear es:

$$Pf = P_{UC}(1 + r)^{Tf - Tuc}$$

Donde:

r= Tasa de crecimiento anual en forma decimal
Pf = Población correspondiente al año para el que se quiere realizar la proyección (habitantes)
PUC = Población correspondiente a la proyección del DANE (habitantes)
Pci = Población correspondiente al censo inicial con información (habitantes)
TUC = Año correspondiente al último año proyectado por el DANE
Tf = Año al cual se quiere proyectar la información.
La tasa de crecimiento anual se calcula de la siguiente manera

$$r = \left(\frac{P_{UC}}{P_{ci}}\right)^{\frac{1}{Tuc - Tci}} - 1$$

Tabla 2. Datos de Población municipio de Saravena

MUNICIPIO SARAVENA	AÑO	CABECERA	RURAL
CENSO DANE	1985	13.369	11.048
CENSO DANE	1993	18.995	7.054
CENSO DANE	2005	28.544	14.222
CENSO DANE	2018	42.415	13.139

Fuente: DANE

La tasa de crecimiento del municipio de Saravena:

r 1985-1993	**0.0449**
r 1993-2005	0.0345

r 2005-2018	0.0309
r Promedio	**0.0368**

Año actual = 2026

Año de diseño = 2026+25 =2051

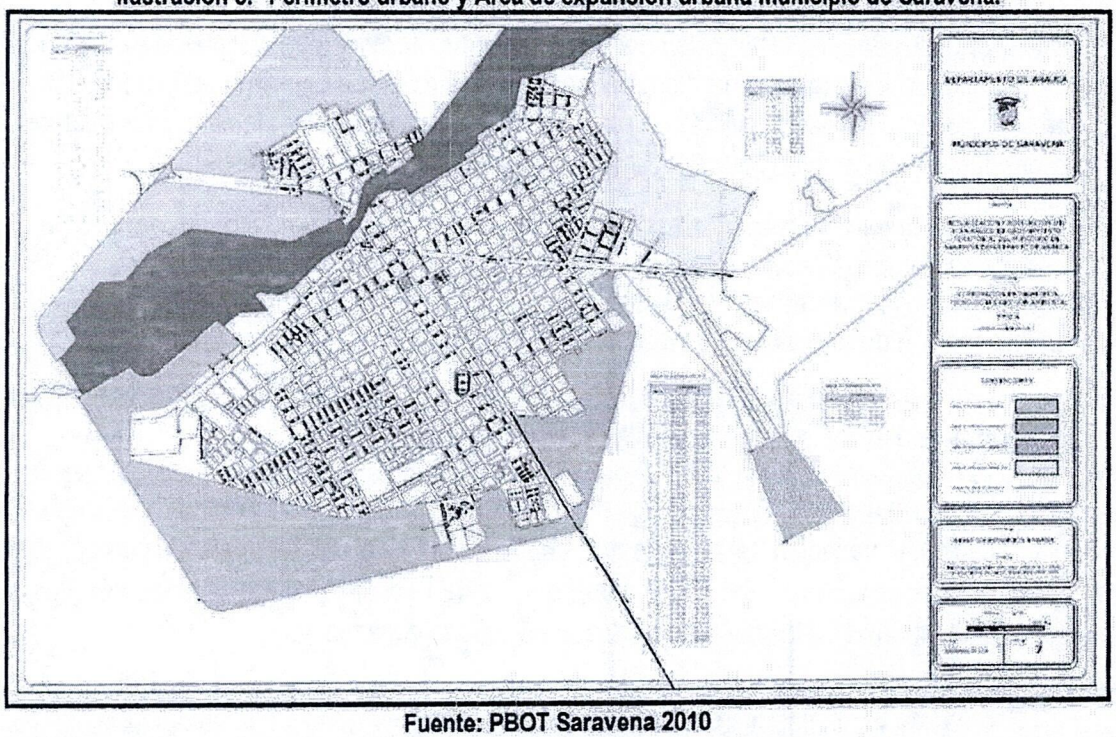
Por lo tanto, la población de diseño seria:

$$Pf = 42415(1 + 0.0368)^{2051-2018} = 139693\ hab$$

3.1.4.3. Densidad de Saturación

El área urbana utilizada para el cálculo de la densidad de saturación se tomó de acuerdo con los planos de uso del suelo del municipio de Saravena, que incluye la actual área urbana y las expansiones proyectadas.

Ilustración 5. Perimetro urbano y Area de expansion urbana municipio de Saravena.



Fuente: PBOT Saravena 2010

Tabla 3. Áreas Urbanas

CUADRO DE AREAS URBNAS	
Perímetro Urbano	8.841.221,08
Área de Expansión 1	1.959.200,74
Área de Expansión 2	1.310.353,80
Área de Expansión 3	646.710,90
Área de Expansión 4	222.713,49
	12.980.200 m²
	1.298,02 Ha

Área perímetro urbano= 880.48 Ha

Área zona de expansión urbana = 417.54 Ha

Por lo tanto, el área urbana total de diseño es 1,298.02 Ha

$$Densidad\ saturación = \frac{139693\ Hab}{1298.02} = 107.60\ {}^{Hab}/_{Ha}$$

La densidad de saturación empleada en el presente proyecto es de **107.60 Hab/Ha**.

3.1.5. Caudal Medio Diario de Aguas Residuales (Qmd) (Resolución 0330 de junio del 2017, la resolución 0799 de diciembre de 2021 y la resolución 0908 de diciembre de 2021)

Se debe calcular el caudal medio diario de aguas residuales como la suma de los aportes domésticos, industriales, comerciales e institucionales.

$$Q_{MD} = Q_D + Q_I + Q_C + Q_{IN}$$

3.1.6. Caudal máximo Horario (QMH). (Resolución 0330 de junio del 2017, la resolución 0799 de diciembre de 2021 y la resolución 0908 de diciembre de 2021)

El factor de mayoración utilizado en la estimación del caudal máximo horario debe calcularse haciendo uso de mediciones de campo, en los cuales se tengan en cuenta los patrones de consumo de la población. En ausencia de datos de campo, se debe estimar con las ecuaciones aproximadas, teniendo en cuenta las limitaciones que puedan presentarse en su aplicabilidad, este valor deberá estar entre 1,4 y 3,8.

3.1.7. Caudal de Conexión Errada (Qce) (Resolución 0330 de junio del 2017, la resolución 0799 de diciembre de 2021 y la resolución 0908 de diciembre de 2021)

Los aportes por conexiones erradas deben estimarse a partir de la información existente en la localidad. En ausencia de esta información deberá utilizar un valor máximo de 0,2 L/s -Ha.

3.1.8. Caudal de Infiltración (Qinf) (Resolución 0330 de junio del 2017, la resolución 0799 de diciembre de 2021 y la resolución 0908 de diciembre de 2021)

El caudal de infiltración debe estimarse a partir de aforos en el sistema y de consideraciones sobre la naturaleza y permeabilidad del suelo, la topografía de la zona y su drenaje, la cantidad y distribución temporal de la precipitación, la variación del nivel freático con respecto a las cotas clave de las tuberías, las dimensiones, estado y tipo de tuberías, los tipos, número y calidad constructiva de uniones y juntas, el número de estructuras de conexión y demás estructuras, y su calidad constructiva.

Ante la ausencia de información se acepta que la infiltración se calcule con base en un factor de 0,10 L/s ha, aplicado al área de aferencia de infiltración del alcantarillado, entendida esta como el área de las calles del sector beneficiado con el sistema.

3.1.9. Caudal de Diseño (Resolución 0330 de junio del 2017, la resolución 0799 de diciembre de 2021 y la resolución 0908 de diciembre de 2021)

El caudal de diseño debe obtenerse sumando el caudal máximo horario, los aportes por infiltraciones y conexiones erradas. Cuando el caudal de diseño calculado en el tramo sea menor que 1.5 L/S, debe adoptarse este último valor como caudal de diseño para el tramo.

3.1.10. Diámetro Interno Real Mínimo en los Alcantarillados Sanitarios (Resolución 0330 de junio del 2017, la resolución 0799 de diciembre de 2021 y la resolución 0908 de diciembre de 2021)

Según el artículo 140 de la resolución 0330 del 2017, el diámetro interno real mínimo permitido en redes de alcantarillado sanitario e 170 mm. Para poblaciones menores de 2500 habitantes el diámetro interno real permitido es de 140 mm.

3.1.11. Criterios de auto limpieza en los alcantarillados sanitarios (Resolución 0330 de junio del 2017, la resolución 0799 de diciembre de 2021 y la resolución 0908 de diciembre de 2021)

La velocidad mínima real permitida en el colector de alcantarillado sanitario es aquella que genere un esfuerzo cortante en la pared de la tubería mínimo de 1 Pa. Los criterios de velocidad y esfuerzo cortante se deben determinar para el caudal de diseño en las condiciones iniciales y finales del periodo de diseño.

3.1.12. Velocidad máxima en los alcantarillados sanitarios (Resolución 0330 de junio del 2017, la resolución 0799 de diciembre de 2021 y la resolución 0908 de diciembre de 2021)

La velocidad máxima real en un colector por gravedad no debe sobrepasar 5.0 m/s determinada para el caudal de diseño. En condiciones hidráulicas especiales y complejas como es el caso de topografías con pendientes superiores al 30%, colectores de gran diámetro iguales o superiores a 600 mm o caudales de flujo superiores a 500 l/s, se permitirán velocidades de flujo superiores a 5 m/s; sin embargo, la velocidad máxima no deberá sobrepasar los límites de velocidad recomendados para el material del ducto y/o de los accesorios a emplear y no deberá superar los 10 m/s. Las tuberías con velocidad de flujo superior a 5 m/s deben seleccionarse con revestimientos internos especiales que permitan soportar el fenómeno de abrasión a largo plazo.

3.1.13. Relación Máxima entre profundidad de flujo y diámetro de la tubería en los alcantarillados sanitarios (Resolución 0330 de junio del 2017, la resolución 0799 de diciembre de 2021 y la resolución 0908 de diciembre de 2021)

Para permitir la aireación adecuada del flujo de aguas residuales, el valor máximo permisible de la profundidad del flujo para el caudal de diseño en un colector es de 85% del diámetro interno real de este.

3.1.14. Profundidad de Instalación de Tuberías de Alcantarillados (Resolución 0330 de junio del 2017, la resolución 0799 de diciembre de 2021 y la resolución 0908 de diciembre de 2021)

Los valores mínimos permisibles de recubrimiento de los colectores que no requieren protección a cargas vivas, con relación a la rasante definitiva, se definen en la siguiente Tabla:

Tabla 4. Profundidad a las cotas claves del colector

Servidumbre	Profundidad a la clave del colector (m)
Vías peatonales o zonas verdes	0.75 m
Vías Vehiculares	1.20 m

Fuente: Res 0330 del 2017, articulo 139

4. DESARROLLO DE DISEÑO DE REDES DE ALCANTARILLADO SANITARIO

En general, cada uno de los tramos que forman parte del sistema de alcantarillado debe diseñarse como un conducto a flujo libre por gravedad. El flujo de aguas residuales o de aguas lluvias en una red de alcantarillado para su recolección y evacuación no es permanente. Sin embargo, el dimensionamiento hidráulico de la sección transversal de cada tramo puede hacerse suponiendo que el flujo es uniforme, debido a que siempre va a existir una tendencia a establecer este tipo de flujo. Esto es particularmente válido para los tramos de diámetro pequeño.

En ingeniería existen diferentes ecuaciones de flujo uniforme apropiadas para este tipo de cálculo, dentro de las cuales se destacan la ecuación de Darcy-Weisbach, en conjunto con la ecuación de Colebrook-White y la ecuación de Manning. La ecuación de Darcy-Weisbach es la ecuación físicamente basada para representar el flujo uniforme en diferentes tipos de ducto, y cubre todo el rango del flujo turbulento desde hidráulicamente liso hasta hidráulicamente rugoso. En la práctica, la ecuación de Manning es la más utilizada; sin embargo, esta ecuación es aplicable únicamente para el caso de flujo turbulento hidráulicamente rugoso.

4.1. DEDUCCIÓN DE LA ECUACIÓN MATEMÁTICA UTILIZADA EN EL ESTUDIO

Las ecuaciones de Manning (ecuación empírica) y Chezy, la cual en conjunto con Darcy-Weisbach y Colebrook-whhite constituyen una expresión físicamente basada que en la actualidad se considera como la fórmula de cálculo más apropiada para los alcantarillados. Además de lo ya explicado, es conveniente tener en cuenta lo siguiente: En el medio colombiano, la ecuación más usada de diseño para calcular velocidad es la ecuación de Manning, propuesta por Robert Manning en 1889; esta ecuación da una solución rápida a la velocidad del ducto si se tiene el valor de n el cual se ha considerado que es un coeficiente que depende del tipo de material que se tenga para la tubería. Sin embargo, hay que ser cauteloso al usar esta ecuación ya que esta fue determinada para canales rectangulares de alta rugosidad, con los materiales modernos como el PVC el régimen de flujo que se desarrolla en sistemas de alcantarillado es flujo turbulento hidráulicamente rugoso (FTHR). Hoy en día con los materiales modernos como el PVC el régimen de flujo que se desarrolla en sistemas de alcantarillado es flujo turbulento hidráulicamente liso (FTHL) haciendo que la ecuación se invalide. No obstante, esa ecuación sigue siendo usada indiscriminadamente sin tener en cuenta las condiciones anteriormente descritas. Adicionalmente se sabe que el coeficiente n no es constante y cambia con la profundidad de flujo que se tenga en el momento, por lo tanto, se tendría otra razón para no usar esta ecuación en el diseño del sistema de alcantarillado. Se ha encontrado también que la variación de n con la profundidad es mucho más marcada en conductos que se cierran sobre sí mismos como es el caso de los utilizados en alcantarillado sanitario (por lo general de sección circular.

Lo anterior me permite determinar las siguientes ecuaciones:

$$V = -2\sqrt{8gRS}\left[\log_{10}\left(\frac{Ks}{14.8R} + \frac{2.51v}{4R\sqrt{8gRS}}\right)\right]$$

$$Q = -2A\sqrt{8gRS}\left[\log_{10}\left(\frac{Ks}{14.8R} + \frac{2.51v}{4R\sqrt{8gRS}}\right)\right]$$

Estas ecuaciones son las más adecuadas para implementar en sistemas de alcantarillado ya que sirven para cualquier régimen de flujo que se tenga y además son físicamente basadas, describiendo de una mejor manera el comportamiento real del flujo.

El uso de las ecuaciones consiste en partir de un diámetro propuesto tentativamente, luego se calcula el caudal para después compararlo con el caudal de diseño establecido, evaluando si con el diámetro elegido se transporta efectivamente lo requerido.

Partiendo de las ecuaciones:

$$\frac{1}{\sqrt{F}} = -2\log_{10}\left[\frac{Ks}{3.7d} + \frac{2.51}{Re\sqrt{f}}\right] \text{ Ecuación de Colebrook White} \qquad \text{Ec (1)}$$

$$Re = \frac{V \cdot d}{v} \text{ Ecuación de Numero de Reynolds} \qquad \text{Ec (2)}$$

$$h_f = f\frac{L}{d}\frac{V^2}{2g} \text{ Ecuación de Darcy Weishbach} \qquad \text{Ec (3)}$$

Donde:

- hf = Pérdida de cabeza a lo largo del tramo (m)
- f = Factor de fricción de Darcy (Adimensional)
- L= Longitud del tramo de tubería (m)
- d = Diámetro interior de la tubería (m)
- V = Velocidad media del flujo (m/s)
- g = Aceleración de la gravedad (m/s2)
- Ks = Rugosidad absoluta de la tubería (m). Para PVC = 1.5*10-6m
- Re = Número de Reynolds = Vd/v (Adimensional)
- v = Viscosidad cinemática del fluido (m2/s)

De la Ec (3) despejamos la velocidad:

$$V^2 = \frac{h_f}{L} \times \frac{d}{f} \times 2g$$

Como $d = 4R$ (R=Radio hidráulico) y $\frac{h_f}{L} = S_f$

$$V^2 = S_f \times \frac{4R}{f} \times 2g = S_f \times \frac{8R}{f} g \;\rightarrow\; V = \frac{\sqrt{S_f \times 8R \times g}}{\sqrt{f}}$$

En función de caudal

$$V = \frac{\sqrt{S_f \times 8R \times g}}{\sqrt{f}} \;\rightarrow\; Q = \frac{\sqrt{S_f \times 8R \times g}}{\sqrt{f}} \times A \;\rightarrow\; \frac{1}{\sqrt{f}} = \frac{Q}{\sqrt{S_f \times 8R \times g} \times A}$$

De la Ec (2)

$$Re = \frac{V \times d}{v} = \frac{V \times 4R}{v}$$

Reemplazando lo anterior en la Ec (1).

$$\frac{Q}{\sqrt{S_f \times 8R \times g} \times A} = -2\log_{10}\left[\frac{Ks}{3.7 \times 4R} + \frac{2.51 \times v}{V \times 4R\sqrt{f}}\right]$$

Sustituyendo para la velocidad

$$\frac{Q}{\sqrt{S_f \times 8R \times g \times A}} = -2\log_{10}\left[\frac{Ks}{14.8R} + \frac{2.51 \times v}{\frac{\sqrt{S_f \times 8R \times g}}{\sqrt{f}} \times 4R\sqrt{f}}\right]$$

Aclarando que en flujo uniforme

Despejando y cancelando, llegamos a la ecuación utilizada en el diseño:

$$Q = -2A\sqrt{8gRS}\log\left(\frac{Ks}{14.8R} + \frac{2.51v}{4R\sqrt{8gRS}}\right)$$

Donde:

- Q = Caudal (m3/s)
- A = Área mojada de la tubería. (m2)
- R = Radio hidráulico. (m)
- S = Pendiente hidráulica.

Como los colectores de aguas lluvias no trabajan a presión, para hacer los cálculos se analiza la tubería para tubo parcialmente lleno y de acuerdo con el caudal de diseño se define el diámetro y la lámina de agua para tubo parcialmente lleno, por lo tanto, el área a considerar es la de un segmento de círculo con ángulo central θ(Teta), o sea:

$$A = \frac{r^2}{2}(\theta - \sin\theta) = \frac{d^2}{8}(\theta - \sin\theta)$$

Para realizar el diseño, es fundamental determinar las propiedades hidráulicas del flujo según el tipo de conducto utilizado. Por ello, se aplican las siguientes ecuaciones que permiten definir la geometría de la tubería y calcular el diámetro requerido para garantizar el caudal de diseño previsto.

$$a = \arcsin\frac{2x}{d_o} = \arcsin\left(\frac{2y}{d_o} - 1\right)$$

$$\theta = \pi + 2a = \pi + 2\arcsin\left(\frac{2y}{d_o} - 1\right) = 2\arccos\left(1 - \frac{2y}{d_o}\right)$$

$$A = (\theta - \sin\theta)\frac{{d_o}^2}{8} \qquad P = \theta\frac{d_o}{2} \qquad R = \left(1 - \frac{\sin\theta}{\theta}\right)\frac{d_o}{4}$$

$$T = d_o\cos a = d_o\cos\left(\arcsin\left(\frac{2y}{d_o} - 1\right)\right) = d_o\sin\frac{\theta}{2} = 2\sqrt{y(d_o - y)}$$

$$D = \left(\frac{\theta - \sin\theta}{\sin\frac{\theta}{2}}\right)\frac{d_o}{8}$$

Esfuerzo cortante en la pared: $\tau = \gamma RS$

Número de Reynolds: $N_R = \frac{\rho V(4R)}{\mu} = \frac{4RV}{\nu}$

Número de Froude: $N_F = \frac{V}{\sqrt{gD}}$

4.2. DATOS DE ENTRADA PARA EL CALCULO DE PARAMETROS HIDRAULICO DE LAS TUBERÍAS

De acuerdo con el marco teórico anteriormente mencionado, los parámetros de diseño a considerar son los siguientes:

Tabla 5. Parámetros de Diseño Principales

DATOS DE ENTRADA			
Población de diseño:	P=	139693	hab
Temperatura de trabajo:	T°	20	C°
Área residencial bruta:	A_{rb} =	1298,020	ha
Contribución doméstica (calculada):	q_D =	0,148	L/s.ha
Contribución comercial	q_C =	0,500	L/s.ha
Cálculo del factor de mayoración por Flores	$F=3.5/P^{0.1}$		
Se supondrá infiltración baja	0,1	L/s.ha	
Altura sobre el nivel del mar:	223	msnm	
Dotación Neta:	C =	140	L/hab.dia
Densidad de población:	D =	107,6	hab/ha
Contribución industrial	q_I =	0	L/s.ha
Contribución institucional	q_{IN} =	Asumido	L/s.ha
Coeficiente de retorno:	R =	0,85	
Aporte por conexiones erradas		0,2	L/s.ha
k_S =	1,50E-06	m	(PVC)
v =	1,02E-06	m^2/s	
g	9810	N/m3	
La profundidad normal de flujo (Y_n) puede ser como máximo el 85% del diámetro interno.			
Debe verificarse que t sea mayor de 1.0 N/m^2			
Debe evitarse el flujo crítico, por tanto, el N_F no deberá estar entre 0.90 y 1.10			

Fuente: Elaboración propia

4.3. PROCEDIMIENTO DE DISEÑO

A continuación, se explicará el procedimiento utilizado para el diseño de tuberías, información básica con la cual se elaboran los cuadros de cálculo presentados y relacionados en este documento.

- Se definen los puntos de control o nodos en sitios estratégicos y a criterio del diseñador, considerando especialmente los sitios al recibo de nuevas cargas de agua residual, cambios bruscos de dirección y pendiente, con el objeto de diseñar las secciones acordes a las necesidades.
- En cada punto y utilizando el levantamiento topográfico se determina longitud y diferencia de nivel.
- Para la evaluación de los caudales, se emplea el procedimiento descrito anteriormente
- Se predimensiona el diámetro y la pendiente, siguiendo el siguiente proceso:
- Se nombra el tramo, se indica el abscisado, se determina la longitud del tramo.
- Usando la ecuación de Colebrook White se despeja el diámetro requerido y luego se aproxima al diámetro interno comercial (dreal), con este diámetro a partir de la misma ecuación se determina la relación (yn/dreal), siendo "yn" la profundidad de la lámina de agua en la tubería.
- Se calculan los siguientes parámetros: Velocidad, Número de Froude, Esfuerzo cortante, verificando las siguientes condiciones: (Resolución 0330 del 2017)

Esfuerzo cortante: $\tau > 1.0$ Pa

Numero de Freud: $0.90 > Nf > 1.1$ (Si el Yn es mayor a 0.75)

El procedimiento de cálculo se realiza en Excel, aplicando macros para mayor precisión en todos sus parámetros.

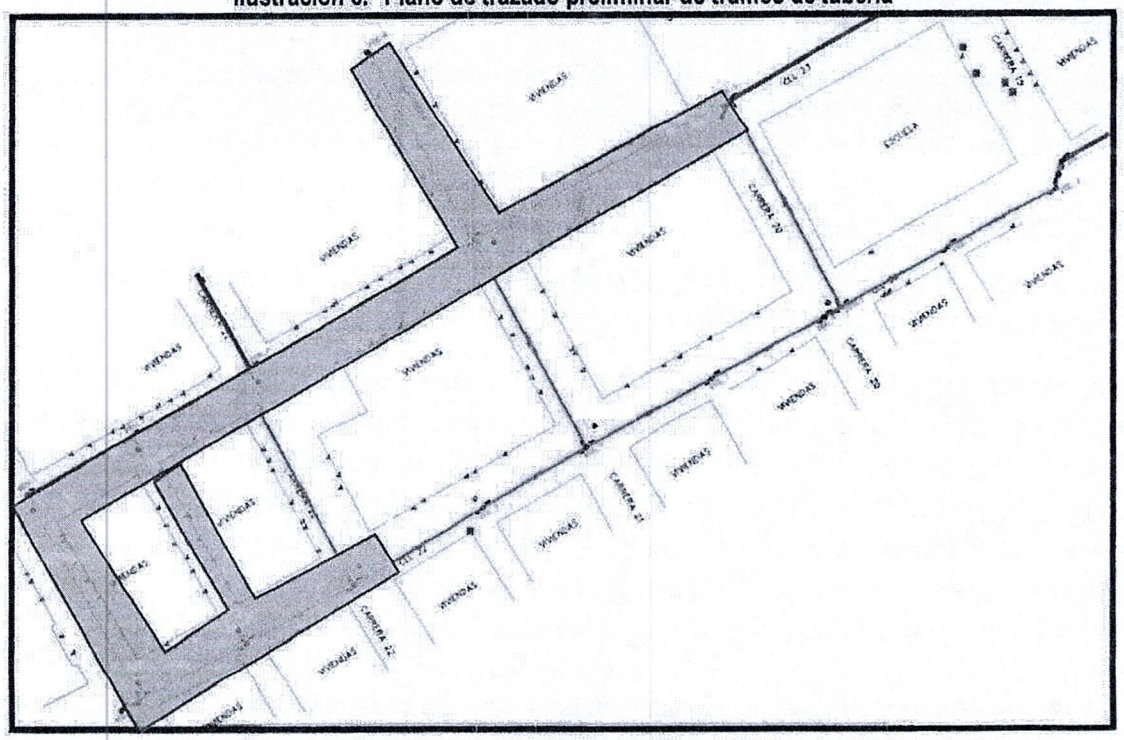
4.3.1. Descripción del Sistema y trazado de la red

La red de alcantarillado sanitario proyectada tiene como finalidad la recolección y conducción de las aguas residuales generadas por los habitantes del área de influencia del proyecto denominado "CONSTRUCCION Y OPTIMIZACION DE LA RED DE ALCANTARILLADO SANITARIO EN EL AREA URBANA DEL MUNICIPIO DE SARAVENA, DEPARTAMENTO DE ARAUCA". El área de intervención contempla los siguientes tramos viales:

- Calle 22 entre Carrera 22a y Carrera 23
- Calle 23 entre Carrera 20 y Carrera 23
- Carrera 23 entre Calle 22 y Calle 23

Para la elaboración del trazado de la red de colectores principales y secundarios se tomó como base el plano topográfico suministrado por la comisión de topografía. A partir de esta información se realizó el diseño del sistema mediante el trazado de interceptores, considerando las condiciones topográficas del terreno y la disposición de las vías dentro del área del proyecto.

Ilustración 6. Plano de trazado preliminar de tramos de tubería

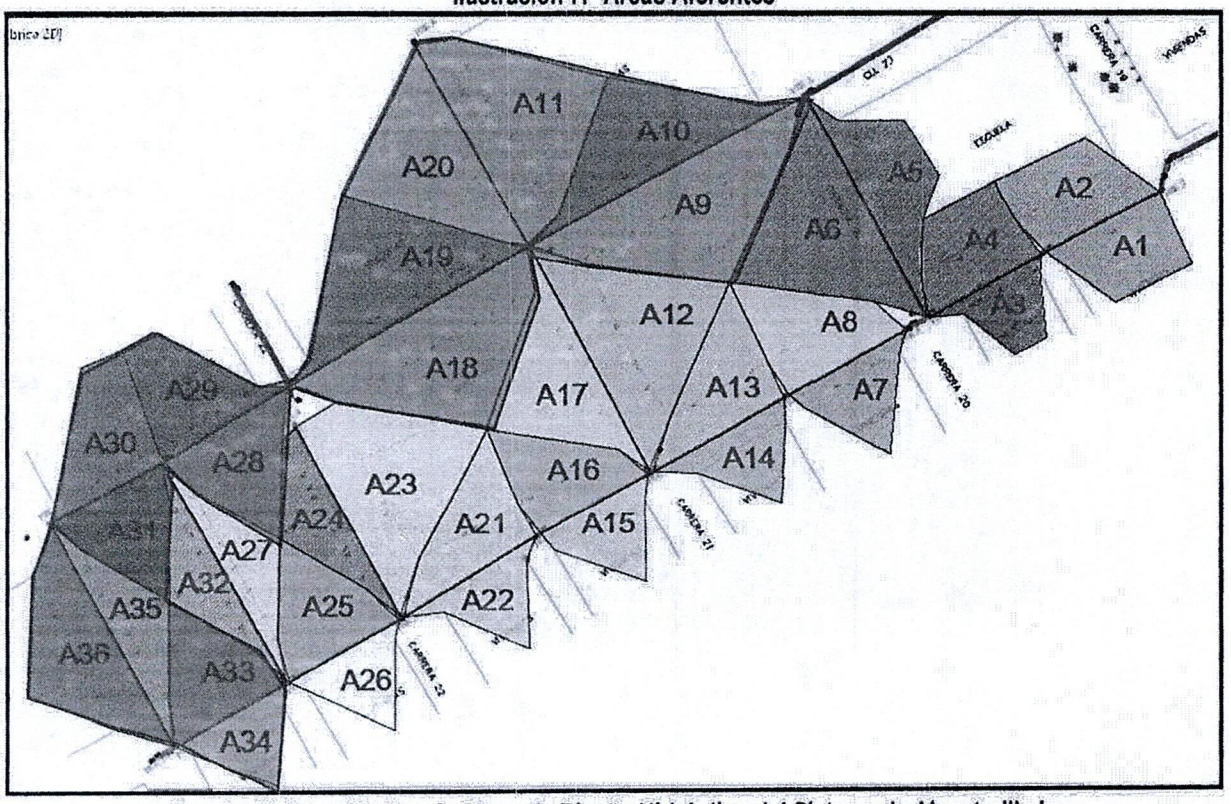


Fuente: Elaboración Propia-Plano de Diseño Hidráulico del Sistema de Alcantarillado

4.3.2. Determinación de Áreas Aferentes (AA)

Para calcular el área tributaria residencial se dividió el área del proyecto en Áreas Aferentes teniendo en cuenta el sentido del flujo, tal como se muestra en la siguiente ilustración:

Ilustración 7. Áreas Aferentes



Fuente: Elaboración Propia-Plano de Diseño Hidráulico del Sistema de Alcantarillado

A continuación, se muestran el área de cada una de las Áreas Aferentes (AA):

Tabla 6. Áreas Aferentes del proyecto

AREAS AFERENTES			
N°	NOMBRE AREA	AREA EN M²	AREA EN HA
1	A1	1.008,34	0,10
2	A2	1.215,30	0,12
3	A3	640,76	0,06
4	A4	1.140,82	0,11
5	A5	1.272,58	0,13
6	A6	2.244,74	0,22
7	A7	795,30	0,08
8	A8	1.253,36	0,13
9	A9	2.585,06	0,26
10	A10	1.801,56	0,18
11	A11	2.430,85	0,24
12	A12	2.264,18	0,23
13	A13	1.174,47	0,12
14	A14	741,75	0,07
15	A15	760,56	0,08
16	A16	1.095,64	0,11
17	A17	1.562,24	0,16
18	A18	2.512,80	0,25
19	A19	2.188,70	0,22
20	A20	1.971,45	0,20

AREAS AFERENTES			
N°	NOMBRE AREA	AREA EN M²	AREA EN HA
21	A21	1.221,82	0,12
22	A22	715,13	0,07
23	A23	2.399,71	0,24
24	A24	950,44	0,10
25	A25	1.137,67	0,11
26	A26	700,38	0,07
27	A27	875,75	0,09
28	A28	1.126,86	0,11
29	A29	1.157,11	0,12
30	A30	1.228,76	0,12
31	A31	1.065,36	0,11
32	A32	833,83	0,08
33	A33	1.092,94	0,11
34	A34	634,17	0,06
35	A35	938,70	0,09
36	A36	1.728,76	0,17

Fuente: Elaboración Propia

285

4.3.3.Cálculo del Caudal de Diseño Total (QDT)

Se calculo el caudal Domestico de cada tramo de acuerdo con las áreas determinadas anteriormente.

Tabla 7. Cálculo de Caudal domestico

N°	TRAMO	TIPO DE TRAMO	NODO INICIAL	NODO FINAL	AREA AFERENTE DIRECTA	AREA AFERENTE QUE ANTERIOR	AREA TOTAL	DENSIDAD DE SATURACION	# HAB. (AREA * DENSIDAD DE SATURACION)	# HAB. (AREA * DENSIDAD DE SATURACION)	DOTACION NETA	COEFICIENTE DE RETORNO	Q_D
					(HA)	(HA)	(HA)	(HAB/HA)	#	#(MILES)	(LT/HAB-DÍA)	#	L/s
1	PZE_12-PZN_6	Via Vehicular	PZE_12	PZN_6	0,00	0,00	0,00	107,6	0,00	0,00	140	0,85	0,00
2	PZN_7-PZN_6	Via Vehicular	PZN_7	PZN_6	0,27	0,00	0,27	107,6	28,71	0,03	140	0,85	0,04
3	PZN_6-PZE_11	Via Vehicular	PZN_6	PZE_11	0,17	0,27	0,44	107,6	47,29	0,05	140	0,85	0,07
4	PZN_5-PZE_11	Zona Verde o Peatonal	PZN_5	PZE_11	0,17	0,00	0,17	107,6	18,40	0,02	140	0,85	0,03
5	PZE_11-PZE_10	Via Vehicular	PZE_11	PZE_10	0,18	0,61	0,79	107,6	85,47	0,09	140	0,85	0,12
6	PZN_4-PZE_10	Via Vehicular	PZN_4	PZE_10	0,34	0,00	0,34	107,6	36,05	0,04	140	0,85	0,05
7	PZE_10-PZE_9	Via Vehicular	PZE_10	PZE_9	0,19	1,13	1,32	107,6	142,37	0,14	140	0,85	0,20
8	PZE_9-PZE_8	Via Vehicular	PZE_9	PZE_8	0,19	1,32	1,51	107,6	162,35	0,16	140	0,85	0,22
9	PZN_2-PZE_8	Via Vehicular	PZN_2	PZE_8	0,38	0,00	0,38	107,6	41,18	0,04	140	0,85	0,06
10	PZE_8-PZE_7	Via Vehicular	PZE_8	PZE_7	0,19	1,89	2,08	107,6	224,15	0,22	140	0,85	0,31
11	PZE_7-PZE_4	Via Vehicular	PZE_7	PZE_4	0,20	2,08	2,29	107,6	246,20	0,25	140	0,85	0,34
12	PZE_4-PZN_1	Via Vehicular	PZE_4	PZN_1	0,00	2,29	2,29	107,6	246,20	0,25	140	0,85	0,34
13	**PZN_7-PZN_5**	**Via Vehicular**	**PZN_7**	**PZN_5**	0,23	0,00	0,23	**107,6**	**24,69**	**0,02**	**140**	**0,85**	**0,03**
14	**PZN_5-PZN_3**	**Via Vehicular**	**PZN_5**	**PZN_3**	0,23	0,23	0,46	**107,6**	**49,27**	**0,05**	**140**	**0,85**	**0,07**
15	**PZN_3-PZN_2**	**Via Vehicular**	**PZN_3**	**PZN_2**	0,47	0,46	0,93	**107,6**	**99,87**	**0,10**	**140**	**0,85**	**0,14**
16	**PZE_6-PZN_2**	**Via Vehicular**	**PZE_6**	**PZN_2**	0,44	0,00	0,44	**107,6**	**47,38**	**0,05**	**140**	**0,85**	**0,07**
17	**PZN_2-PZE_5**	**Via Vehicular**	**PZN_2**	**PZE_5**	0,44	1,37	1,81	**107,6**	**194,45**	**0,19**	**140**	**0,85**	**0,27**
18	PZE_5-PZN_1	Via Vehicular	PZE_5	PZN_1	0,35	0,00	0,35	107,6	37,85	0,04	140	0,85	0,05
19	PZN_1-PZE_3	Via Vehicular	PZN_1	PZE_3	0,18	2,64	2,82	107,6	303,23	0,30	140	0,85	0,42
20	PZE_3-PZE_2	Via Vehicular	PZE_3	PZE_2	0,22	2,82	3,04	107,6	327,16	0,33	140	0,85	0,45
21	PZE_2-PZE_1	Via Vehicular	PZE_2	PZE_1	0,00	3,04	3,04	107,6	327,16	0,33	140	0,85	0,45

Fuente: Elaboración propia

En la siguiente tabla podemos observar los resultados del cálculo del Caudal de Diseño de cada tramo:

Tabla 8. Cálculo de Caudal de Diseño

N°	TRAMO	NODO INICIAL	NODO FINAL	Q_D	Q_R	Q_C	Q_{IN}	Q_{MD}	F	Q_{MH}	Q_{INF}	Q_{CE}	Q_{DT}	QDT (Ajustado)
				L/s	L/s	L/s	L/s	L/s	L/s	L/s	L/s	L/s	L/s	L/s
1	PZE_12-PZN_6	PZE_12	PZN_6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,50
2	PZN_7-PZN_6	PZN_7	PZN_6	0,04	0,00	0,00	0,00	0,04	3,80	0,15	0,03	0,05	0,23	1,50
3	PZN_6-PZE_11	PZN_6	PZE_11	0,07	0,00	0,00	0,00	0,07	3,80	0,25	0,04	0,09	0,38	1,50
4	PZN_5-PZE_11	PZN_5	PZE_11	0,03	0,00	0,00	0,00	0,03	3,80	0,10	0,02	0,03	0,15	1,50
5	PZE_11-PZE_10	PZE_11	PZE_10	0,12	0,00	0,00	0,00	0,12	3,80	0,45	0,08	0,16	0,69	1,50
6	PZN_4-PZE_10	PZN_4	PZE_10	0,05	0,00	0,00	0,00	0,05	3,80	0,19	0,03	0,07	0,29	1,50
7	PZE_10-PZE_9	PZE_10	PZE_9	0,20	0,00	0,00	0,00	0,20	3,80	0,75	0,13	0,26	1,14	1,50
8	PZE_9-PZE_8	PZE_9	PZE_8	0,22	0,00	0,00	0,00	0,22	3,80	0,85	0,15	0,30	1,30	1,50
9	PZN_2-PZE_8	PZN_2	PZE_8	0,06	0,00	0,00	0,00	0,06	3,80	0,22	0,04	0,08	0,33	1,50
10	PZE_8-PZE_7	PZE_8	PZE_7	0,31	0,00	0,00	0,00	0,31	3,80	1,17	0,21	0,42	1,80	1,80
11	PZE_7-PZE_4	PZE_7	PZE_4	0,34	0,00	0,00	0,00	0,34	3,80	1,29	0,23	0,46	1,97	1,97
12	PZE_4-PZN_1	PZE_4	PZN_1	0,34	0,00	0,00	0,00	0,34	3,80	1,29	0,23	0,46	1,97	1,97
13	PZN_7-PZN_5	PZN_7	PZN_5	0,03	0,00	0,00	0,00	0,03	3,80	0,13	0,02	0,05	0,20	1,50
14	PZN_5-PZN_3	PZN_5	PZN_3	0,07	0,00	0,00	0,00	0,07	3,80	0,26	0,05	0,09	0,40	1,50
15	PZN_3-PZN_2	PZN_3	PZN_2	0,14	0,00	0,00	0,00	0,14	3,80	0,52	0,09	0,19	0,80	1,50
16	PZE_6-PZN_2	PZE_6	PZN_2	0,07	0,00	0,00	0,00	0,07	3,80	0,25	0,04	0,09	0,38	1,50
17	PZN_2-PZE_5	PZN_2	PZE_5	0,27	0,00	0,00	0,00	0,27	3,80	1,02	0,18	0,36	1,56	1,56
18	PZE_5-PZN_1	PZE_5	PZN_1	0,05	0,00	0,00	0,00	0,05	3,80	0,20	0,04	0,07	0,30	1,50
19	PZN_1-PZE_3	PZN_1	PZE_3	0,42	0,00	0,00	0,00	0,42	3,80	1,59	0,28	0,56	2,43	2,43
20	PZE_3-PZE_2	PZE_3	PZE_2	0,45	0,00	0,00	0,00	0,45	3,80	1,71	0,30	0,61	2,62	2,62
21	PZE_2-PZE_1	PZE_2	PZE_1	0,45	0,00	0,00	0,00	0,45	3,80	1,71	0,30	0,61	2,62	2,62

Fuente: Elaboración propia

Para los tramos en los que el QDT fue menor a 1.5 L/S, se tomó 1.5 L/S como caudal de diseño, de acuerdo a lo establecido en el numeral 7 del artículo 134 de la resolución 0330 del 2017.

4.3.4. Determinación de Pendientes y Profundidades

Como se mencionó anteriormente en el numeral 3.1.11 del presente documento, la pendiente mínima de un tramo es aquella pueda garantizar la auto limpieza del sistema, es decir, que su fuerza tractiva sea mayor o igual a 1 Pa; y la pendiente máxima es aquella que garantice que la velocidad del flujo no supere los 5 m/s. Por otra parte, las profundidades mínimas de recubrimiento son, como se mencionó anteriormente, 1,2 m en vías vehiculares y 0,75 m en peatonales y zonas verdes, como lo establece a tabla 18 del artículo 139 del RAS en su resolución 0330 del 2017.

La siguiente tabla permite observar los resultados del cálculo de Pendientes y Profundidades:

Tabla 9. Cálculo de Pendientes y Profundidades por tramo

N°	TRAMO	NODO INICIAL	NODO FINAL	L (Tub)	Cotas rasante		S_t	Cotas Batea		S_w (Tub)	Recubrimiento		
				(m)	inicial	final	%	inicial	final	%	inicial	final	Promedio
1	PZE_12-PZN_6	PZE_12	PZN_6	7,54	231,200	230,800	5,31	229,780	229,400	5,04%	1,22	1,20	1,21
2	PZN_7-PZN_6	PZN_7	PZN_6	87,90	231,200	230,800	0,46	229,800	229,140	0,75%	1,20	1,46	1,33
3	PZN_6-PZE_11	PZN_6	PZE_11	42,78	230,800	230,450	0,82	229,090	228,811	0,65%	1,51	1,44	1,47
4	PZN_5-PZE_11	PZN_5	PZE_11	87,41	230,600	230,450	0,17	229,200	228,632	0,65%	1,20	1,61	1,41
5	PZE_11-PZE_10	PZE_11	PZE_10	44,24	230,450	230,000	1,02	228,507	228,219	0,65%	1,74	1,58	1,66
6	PZN_4-PZE_10	PZN_4	PZE_10	76,10	230,100	230,000	0,13	228,700	228,205	0,65%	1,20	1,59	1,39
7	PZE_10-PZE_9	PZE_10	PZE_9	54,42	230,000	229,650	0,64	227,969	227,615	0,65%	1,83	1,83	1,83
8	PZE_9-PZE_8	PZE_9	PZE_8	43,01	229,650	229,000	1,51	227,565	227,285	0,65%	1,88	1,51	1,70
9	PZN_2-PZE_8	PZN_2	PZE_8	87,00	228,800	229,000	-0,23	227,400	226,835	0,65%	1,20	1,96	1,58
10	PZE_8-PZE_7	PZE_8	PZE_7	51,27	229,000	228,400	1,17	226,785	226,450	0,65%	2,01	1,75	1,88
11	PZE_7-PZE_4	PZE_7	PZE_4	46,58	228,400	227,760	1,37	226,400	226,097	0,65%	1,80	1,46	1,63
12	PZE_4-PZN_1	PZE_4	PZN_1	6,14	227,760	227,700	0,98	226,047	226,007	0,65%	1,51	1,49	1,50
13	PZN_7-PZN_5	PZN_7	PZN_5	43,35	231,200	230,600	1,38	229,522	229,240	0,65%	1,47	1,16	1,32
14	PZN_5-PZN_3	PZN_5	PZN_3	50,04	230,600	230,000	1,20	228,750	228,425	0,65%	1,65	1,37	1,51
15	PZN_3-PZN_2	PZN_3	PZN_2	95,26	230,000	228,800	1,26	227,935	227,316	0,65%	1,86	1,28	1,57
16	PZE_6-PZN_2	PZE_6	PZN_2	80,16	229,130	228,800	0,41	227,730	227,208	0,65%	1,20	1,39	1,29
17	PZN_2-PZE_5	PZN_2	PZE_5	107,07	228,800	227,680	1,05	226,966	226,270	0,65%	1,63	1,21	1,42
18	PZE_5-PZN_1	PZE_5	PZN_1	87,50	227,680	227,700	-0,02	226,310	225,740	0,65%	1,17	1,76	1,46
19	PZN_1-PZE_3	PZN_1	PZE_3	45,02	227,700	227,084	1,37	225,693	225,387	0,68%	1,80	1,49	1,65
20	PZE_3-PZE_2	PZE_3	PZE_2	44,46	227,084	226,770	0,71	225,337	225,048	0,65%	1,54	1,52	1,53
21	PZE_2-PZE_1	PZE_2	PZE_1	9,67	226,770	226,550	2,28	224,998	224,935	0,65%	1,57	1,41	1,49

Fuente: Elaboración propia

Se verificó que, en términos generales, los tramos del sistema de alcantarillado proyectado cumplen con la profundidad mínima de recubrimiento exigida para vías vehiculares, establecida en 1,20 metros, lo cual garantiza condiciones adecuadas tanto para el funcionamiento hidráulico como para la protección estructural de la tubería, sin requerir medidas de protección adicionales.

No obstante, se identificaron dos excepciones dentro del sistema proyectado donde no se alcanza la profundidad mínima reglamentaria. La primera corresponde al tramo PZE_5 – PZN_1, donde en el pozo PZE_5 la profundidad de la tubería es de 1,17 metros, valor que se encuentra ligeramente por debajo del mínimo establecido. De igual manera, en el tramo PZN_7 – PZN_5 se presenta una condición similar, ya que en el pozo PZN_5 la profundidad de la tubería es de 1,16 metros, lo cual tampoco cumple con el recubrimiento mínimo requerido para este tipo de vías.

Para subsanar esta condición, se ha previsto el refuerzo de los tramos mencionados mediante un recubrimiento en concreto, con el fin de proporcionar protección adicional a la tubería frente a las cargas provenientes del tránsito vehicular y del material de relleno. Esta medida permite compensar la diferencia respecto a la profundidad mínima establecida, garantizando así la estabilidad estructural y la adecuada operación del sistema proyectado.

4.3.1. Determinación de Diámetros de Tubería

Para poder determinar el Diámetro de la tubería, se asume inicialmente un diámetro y se verifica que las consideraciones anteriormente mencionadas se cumplan, tales como Velocidad mínima y Máxima, Numero de Froude, Fuerza Tractiva, Recubrimiento mínimo, profundidad hidráulica máxima y Caudal de Diseño.

En la siguiente tabla se pueden observar los resultados del cálculo que permite elegir con seguridad el diámetro de la tubería que garantizara el óptimo funcionamiento hidráulico de las redes, teniendo en cuenta el criterio de autolimpieza.

Tabla 10. Cálculos Hidráulicos de cada tramo y Asignación de diámetro

N°	TRAMO	NODO INICIAL	NODO FINAL	L (Tub) (m)	d (")	d (m)	Yn/d (adim)	Yn (m)	θ (rad)	A (m²)	P (m)	R (m)	Q (l/s)	V (m/s)	D (m)	N_F (adim)	t Pa	NUMERO DE FROUD	FUERZA TRACTIVA
1	PZE_12-PZN_6	PZE_12	PZN_6	7,54	8	0,182	0,086	0,0156	1,1902	0,0011	0,1083	0,0100	1,50	1,38	0,01	4,29	4,95	OK	OK
2	PZN_7-PZN_6	PZN_7	PZN_6	87,90	8	0,182	0,143	0,0260	1,5493	0,0023	0,1410	0,0161	1,50	0,66	0,02	1,57	1,19	OK	OK
3	PZN_6-PZE_11	PZN_6	PZE_11	42,78	8	0,182	0,148	0,0269	1,5796	0,0024	0,1437	0,0167	1,50	0,63	0,02	1,46	1,07	OK	OK
4	PZN_5-PZE_11	PZN_5	PZE_11	87,41	8	0,182	0,148	0,0270	1,5816	0,0024	0,1439	0,0167	1,50	0,62	0,02	1,46	1,07	OK	OK
5	PZE_11-PZE_10	PZE_11	PZE_10	44,24	8	0,182	0,148	0,0269	1,5796	0,0024	0,1437	0,0167	1,50	0,63	0,02	1,46	1,07	OK	OK
6	PZN_4-PZE_10	PZN_4	PZE_10	76,10	8	0,182	0,148	0,0269	1,5796	0,0024	0,1437	0,0167	1,50	0,63	0,02	1,46	1,07	OK	OK
7	PZE_10-PZE_9	PZE_10	PZE_9	54,42	8	0,182	0,148	0,0269	1,5796	0,0024	0,1437	0,0167	1,50	0,63	0,02	1,46	1,07	OK	OK
8	PZE_9-PZE_8	PZE_9	PZE_8	43,01	8	0,182	0,148	0,0269	1,5796	0,0024	0,1437	0,0167	1,50	0,63	0,02	1,46	1,07	OK	OK
9	PZN_2-PZE_8	PZN_2	PZE_8	87,00	8	0,182	0,148	0,0270	1,5816	0,0024	0,1439	0,0167	1,50	0,62	0,02	1,46	1,07	OK	OK
10	PZE_8-PZE_7	PZE_8	PZE_7	51,27	8	0,182	0,162	0,0294	1,6544	0,0027	0,1506	0,0181	1,80	0,66	0,02	1,48	1,16	OK	OK
11	PZE_7-PZE_4	PZE_7	PZE_4	46,58	8	0,182	0,169	0,0307	1,6941	0,0029	0,1542	0,0188	1,97	0,68	0,02	1,48	1,20	OK	OK
12	PZE_4-PZN_1	PZE_4	PZN_1	6,14	8	0,182	0,169	0,0307	1,6941	0,0029	0,1542	0,0188	1,97	0,68	0,02	1,48	1,20	OK	OK
13	PZN_7-PZN_5	PZN_7	PZN_5	43,35	8	0,182	0,148	0,0269	1,5796	0,0024	0,1437	0,0167	1,50	0,63	0,02	1,46	1,07	OK	OK
14	PZN_5-PZN_3	PZN_5	PZN_3	50,04	8	0,182	0,148	0,0270	1,5816	0,0024	0,1439	0,0167	1,50	0,62	0,02	1,46	1,07	OK	OK
15	PZN_3-PZN_2	PZN_3	PZN_2	95,26	8	0,182	0,148	0,0270	1,5816	0,0024	0,1439	0,0167	1,50	0,62	0,02	1,46	1,07	OK	OK
16	PZE_6-PZN_2	PZE_6	PZN_2	80,16	8	0,182	0,148	0,0269	1,5796	0,0024	0,1437	0,0167	1,50	0,63	0,02	1,46	1,07	OK	OK
17	PZN_2-PZE_5	PZN_2	PZE_5	107,07	8	0,182	0,151	0,0275	1,5972	0,0025	0,1453	0,0170	1,56	0,63	0,02	1,46	1,09	OK	OK
18	PZE_5-PZN_1	PZE_5	PZN_1	87,50	8	0,182	0,148	0,0269	1,5796	0,0024	0,1437	0,0167	1,50	0,63	0,02	1,46	1,07	OK	OK
19	PZN_1-PZE_3	PZN_1	PZE_3	45,02	8	0,182	0,185	0,0336	1,7773	0,0033	0,1617	0,0204	2,43	0,73	0,02	1,53	1,36	OK	OK
20	PZE_3-PZE_2	PZE_3	PZE_2	44,46	8	0,182	0,194	0,0353	1,8254	0,0036	0,1661	0,0214	2,62	0,74	0,02	1,50	1,36	OK	OK
21	PZE_2-PZE_1	PZE_2	PZE_1	9,67	8	0,182	0,194	0,0353	1,8235	0,0035	0,1659	0,0213	2,62	0,74	0,02	1,51	1,36	OK	OK

Fuente: Elaboración propia

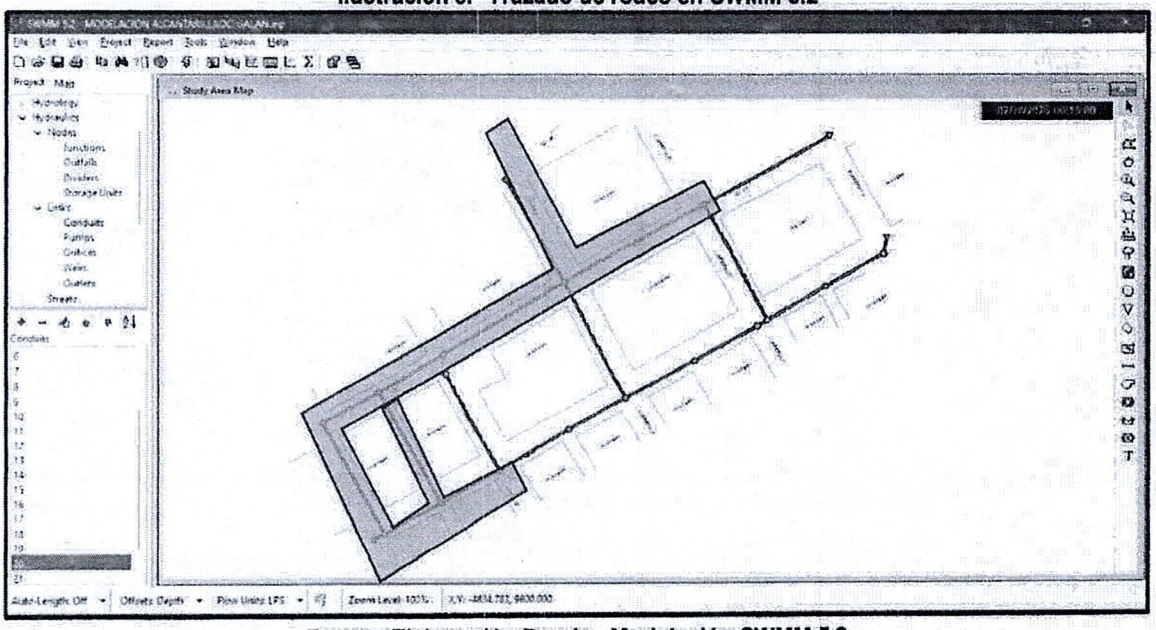
Como se puede observar en la tabla anterior, los diámetros establecidos para los tramos principales, cumplen con los parámetros anteriormente mencionados. Para las acometidas domiciliarias se determina un diámetro de 6" con una pendiente mínima de 2%.

5. MODELACION

Teniendo en cuenta los cálculos hidráulicos, se procede con la modelación del diseño, con el fin de verificar la información obtenida. Para esto se utiliza el programa SWMM 5.2.

Inicialmente se procede a dibujar los Tramos, Estructuras de Conexión y Estructuras de vertimiento.

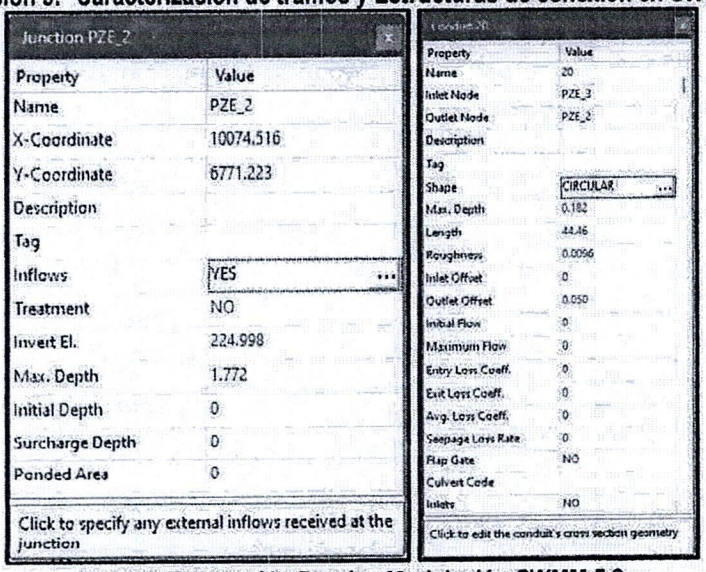
Ilustración 8. Trazado de redes en SWMM 5.2



Fuente: Elaboración Propia - Modelación SWMM 5.2

Paso siguiente se procede a caracterizar cada estructura de conexión y cada tramo, en donde se agrega información como profundidades, longitudes, pendientes, diámetros, caudales, etc.

Ilustración 9. Caracterización de tramos y Estructuras de conexión en SWMM 5.2



Junction PZE_2

Property	Value
Name	PZE_2
X-Coordinate	10074.516
Y-Coordinate	6771.223
Description	
Tag	
Inflows	YES
Treatment	NO
Invert El.	224.998
Max. Depth	1.772
Initial Depth	0
Surcharge Depth	0
Ponded Area	0

Click to specify any external inflows received at the junction

Property	Value
Name	20
Inlet Node	PZE_3
Outlet Node	PZE_2
Description	
Tag	
Shape	CIRCULAR
Max. Depth	0.182
Length	44.46
Roughness	0.0096
Inlet Offset	0
Outlet Offset	0.050
Initial Flow	0
Maximum Flow	0
Entry Loss Coeff.	0
Exit Loss Coeff.	0
Avg. Loss Coeff.	0
Seepage Loss Rate	0
Flap Gate	NO
Culvert Code	
Xsects	NO

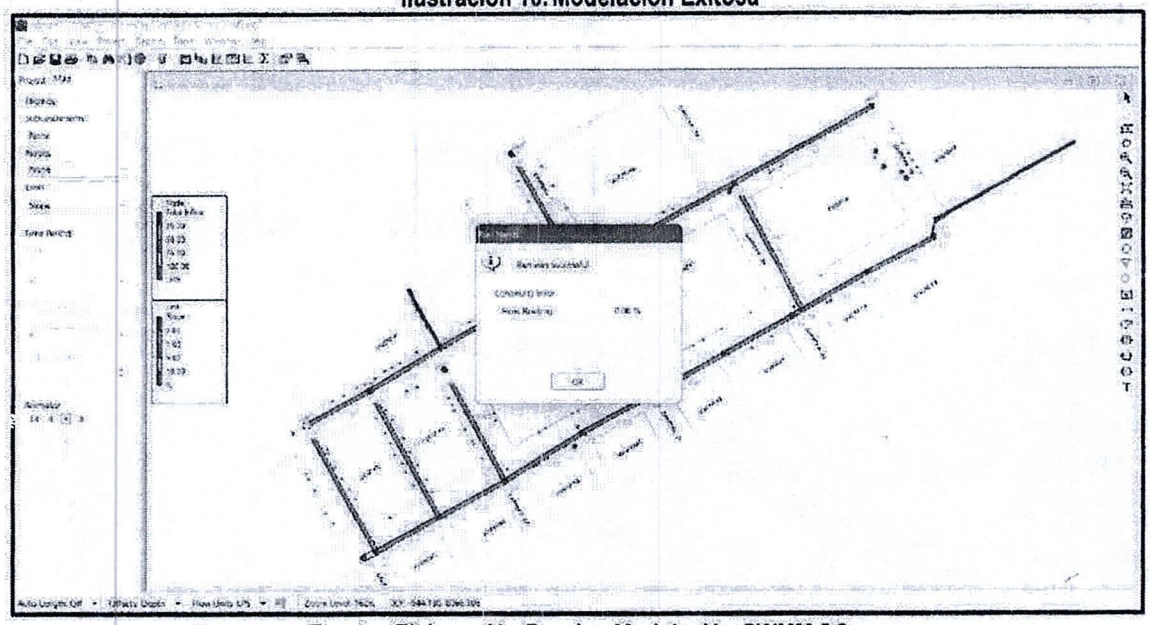
Click to edit the conduit's cross section geometry

Fuente: Elaboración Propia - Modelación SWMM 5.2

De acuerdo con el Manual Técnico de Tubería para sistemas de Alcantarillado NOVAFORT - NOVALOC, en el Capítulo 4: Óptimo Comportamiento Hidráulico, se establece que el coeficiente de rugosidad de Manning (n) recomendado para tuberías NOVAFORT es de 0.0096. Por esta razón, dicho coeficiente fue utilizado y cargado en el modelo hidráulico desarrollado para este proyecto.

Una vez cargada la información en el programa se procede con la modelación, en la cual se identifican los siguientes resultados:

Ilustración 10. Modelación Exitosa



Fuente: Elaboración Propia - Modelación SWMM 5.2

Ilustración 11. Resultados de la modelación en nodos

Summary Results

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

Node	Type	Maximum Lateral Inflow LPS	Maximum Total Inflow LPS	Day of Maximum Inflow	Hour of Maximum Inflow	Lateral Inflow Volume 10^6 ltr	Total Inflow Volume 10^6 ltr	Flow Balance Error %
PZE_2	JUNCTION	0.19	2.63	0	01:58	0.0041	0.0559	0.083
PZE_3	JUNCTION	0.15	2.44	0	04:30	0.00324	0.0519	0.316
PZE_4	JUNCTION	0.18	1.99	0	05:42	0.00389	0.0424	0.090
PZE_5	JUNCTION	0.38	1.57	0	02:02	0.00821	0.0335	0.694
PZE_6	JUNCTION	0.00	0.00	0	00:00	0	0	0.000
PZE_7	JUNCTION	0.17	1.81	0	05:04	0.00367	0.0387	0.360
PZE_8	JUNCTION	0.49	1.64	0	02:27	0.0106	0.0351	0.415
PZE_9	JUNCTION	0.17	1.15	0	00:44	0.00367	0.0246	0.380
PZE_10	JUNCTION	0.45	0.98	0	02:03	0.00972	0.0211	0.514
PZE_11	JUNCTION	0.30	0.53	0	00:39	0.00648	0.0114	0.502
PZE_12	JUNCTION	0.00	0.00	0	00:00	0	0	0.000
PZN_1	JUNCTION	0.30	2.29	0	02:28	0.00648	0.0489	0.324
PZN_2	JUNCTION	0.79	1.19	0	01:21	0.0171	0.0256	0.947
PZN_3	JUNCTION	0.20	0.40	0	00:50	0.00432	0.00861	1.132
PZN_4	JUNCTION	0.00	0.00	0	00:00	0	0	0.000
PZN_5	JUNCTION	0.20	0.20	0	00:00	0.00432	0.00432	0.741
PZN_6	JUNCTION	0.23	0.23	0	00:00	0.00497	0.00497	0.612
PZN_7	JUNCTION	0.00	0.00	0	00:00	0	0	0.000
PZE_1	OUTFALL	0.00	2.63	0	05:08	0	0.0558	0.000
PZE_14	OUTFALL	0.00	1.57	0	04:26	0	0.0333	0.000

Fuente: Elaboración Propia - Modelación SWMM 5.2

Ilustración 12. Resultados de la modelación en tramos.

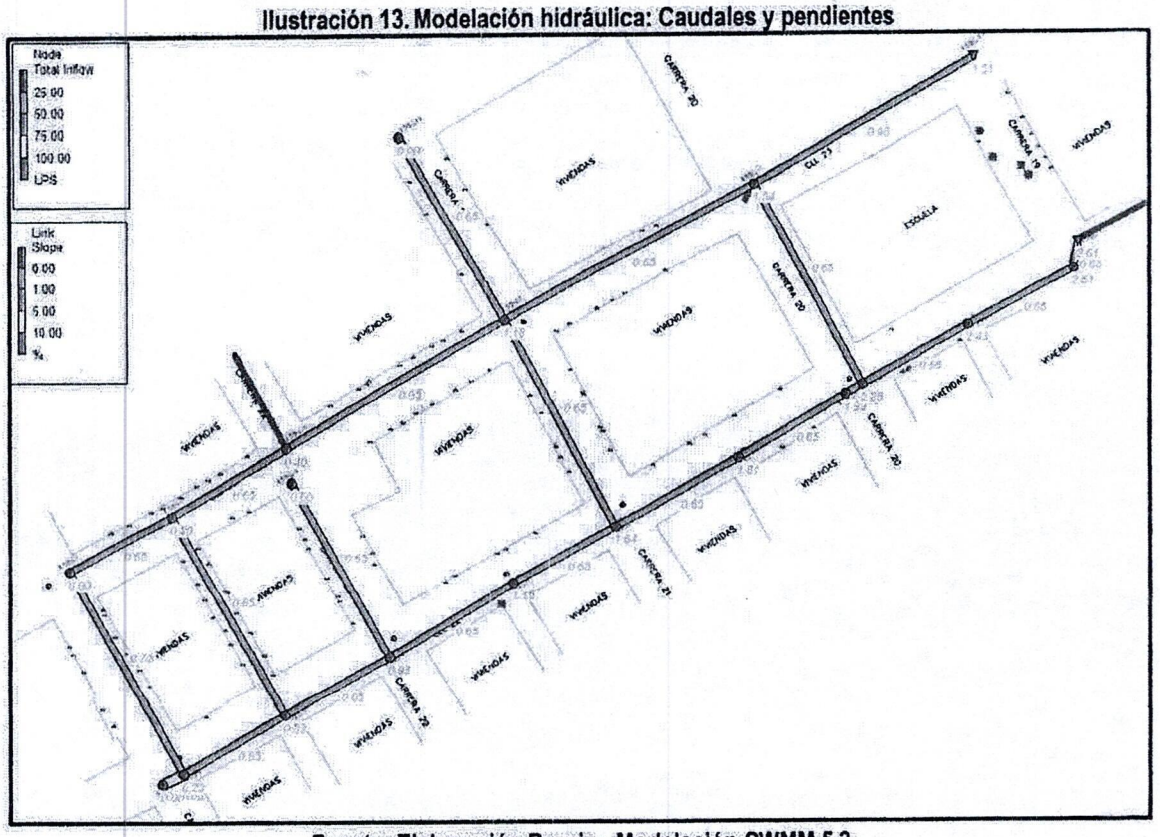
Topic: Link Flow — Click a column header to sort the column.

Link	Type	Maximum |Flow| LPS	Day of Maximum Flow	Hour of Maximum Flow	Maximum |Velocity| m/sec	Max / Full Flow	Max / Full Depth
1	CONDUIT	0.00	0	00:00	0.00	0.00	0.00
2	CONDUIT	0.00	0	00:00	0.00	0.00	0.00
3	CONDUIT	0.23	0	00:39	0.32	0.01	0.06
4	CONDUIT	0.00	0	00:00	0.00	0.00	0.00
5	CONDUIT	0.53	0	02:03	0.42	0.02	0.10
6	CONDUIT	0.00	0	00:00	0.00	0.00	0.00
7	CONDUIT	0.98	0	00:44	0.50	0.04	0.13
8	CONDUIT	1.15	0	02:27	0.53	0.04	0.14
9	CONDUIT	0.00	0	00:00	0.00	0.00	0.00
10	CONDUIT	1.64	0	05:04	0.59	0.06	0.16
11	CONDUIT	1.81	0	05:42	0.60	0.06	0.17
12	CONDUIT	1.99	0	02:28	0.62	0.07	0.18
13	CONDUIT	0.00	0	00:00	0.00	0.00	0.00
14	CONDUIT	0.20	0	00:50	0.31	0.01	0.06
15	CONDUIT	0.40	0	01:21	0.38	0.01	0.08
16	CONDUIT	0.00	0	00:00	0.00	0.00	0.00
17	CONDUIT	1.19	0	02:02	0.53	0.04	0.14
18	CONDUIT	0.00	0	00:00	0.00	0.00	0.00
19	CONDUIT	2.29	0	04:30	0.66	0.08	0.19
20	CONDUIT	2.44	0	01:58	0.66	0.09	0.20
21	CONDUIT	2.63	0	05:08	0.67	0.09	0.21
22	CONDUIT	1.57	0	04:26	0.67	0.05	0.15

Fuente: Elaboración Propia - Modelación SWMM 5.2

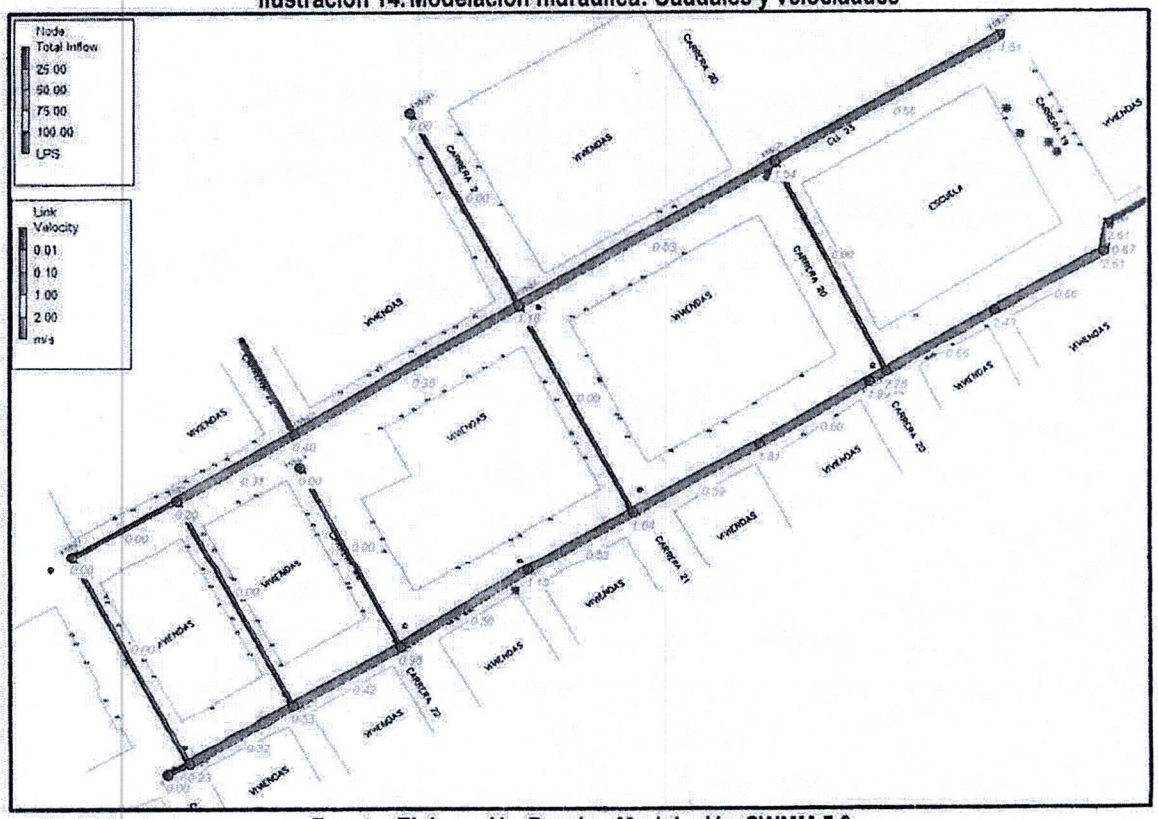
A continuación, se presentan las modelaciones realizadas para el sistema de alcantarillado, en las cuales se incluyen los caudales en los nodos, la pendiente de las tuberías y las velocidades del flujo obtenidas en cada tramo. Esta información permite analizar el comportamiento hidráulico de la red, verificar el cumplimiento de los criterios de diseño y validar la eficiencia del sistema propuesto.

Ilustración 13. Modelación hidráulica: Caudales y pendientes



Fuente: Elaboración Propia - Modelación SWMM 5.2

Ilustración 14. Modelación hidráulica: Caudales y velocidades



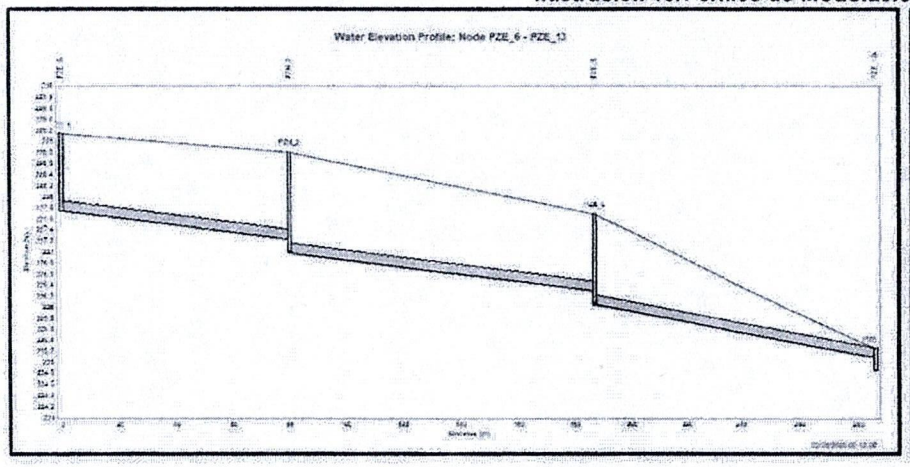
Fuente: Elaboración Propia - Modelación SWMM 5.2

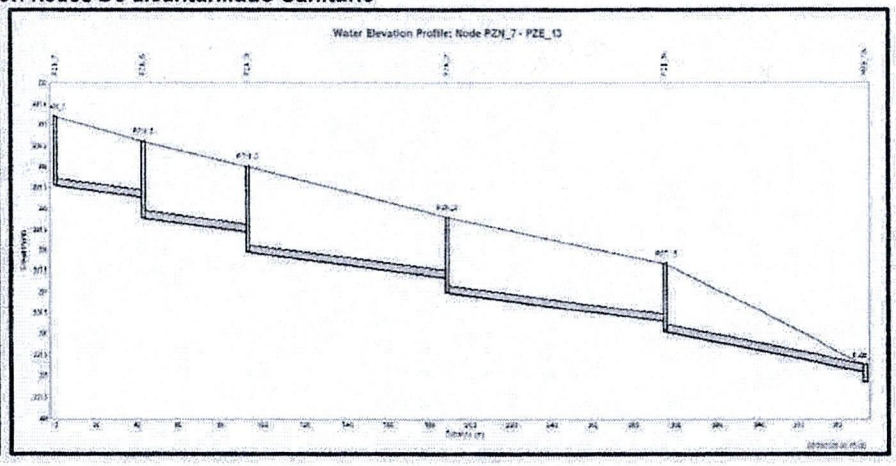
Se observa que las velocidades generadas por el software de modelación no coinciden con las obtenidas en la memoria de cálculos manuales específicamente en los tramos iniciales. Esta diferencia se debe a que, según lo establecido en la Resolución 0330 de junio de 2017, cuando el caudal de diseño para un tramo resulte inferior a 1.5 L/s, debe adoptarse este mismo valor como mínimo para el dimensionamiento hidráulico.

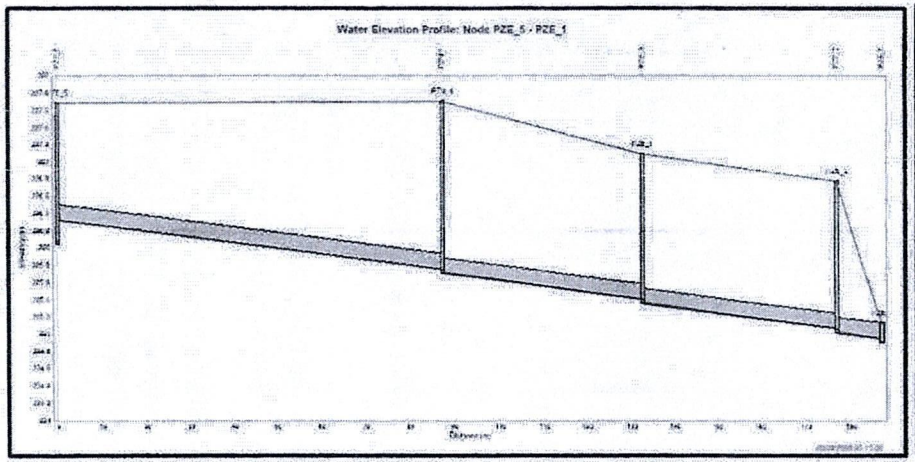
Por tal motivo, en los cálculos manuales se utiliza dicho valor normativo, mientras que en el programa de modelación se deben ingresar los caudales reales, lo cual explica la discrepancia entre ambos resultados. Todo esto con el fin de verificar el caudal total en pozo de vertimiento.

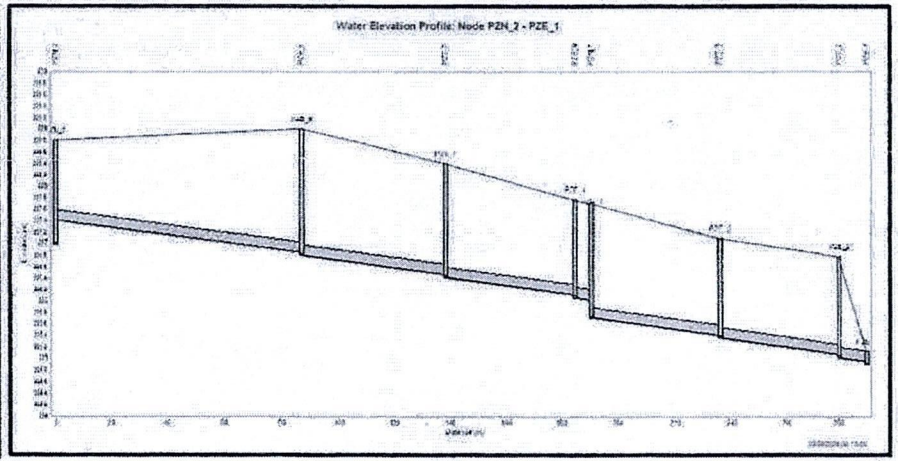
A continuación, se muestran los perfiles de los tramos principales obtenidos de la modelación:

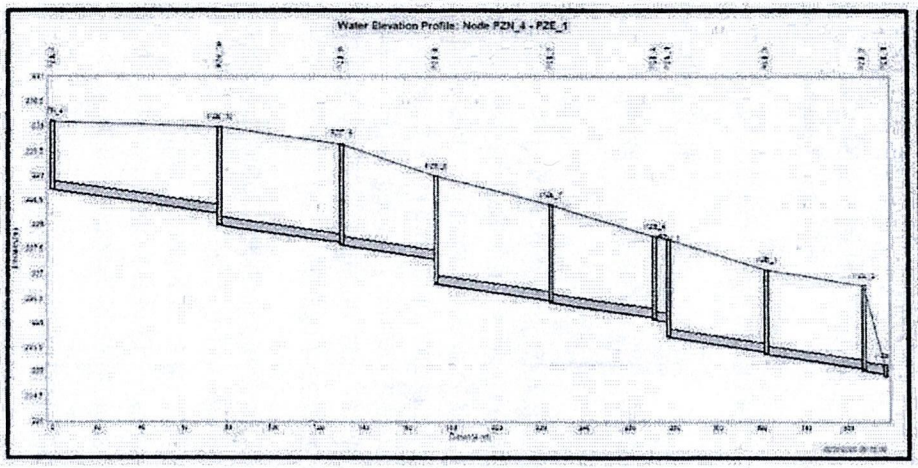
Ilustración 15. Perfiles de Modelación Redes De alcantarillado Sanitario

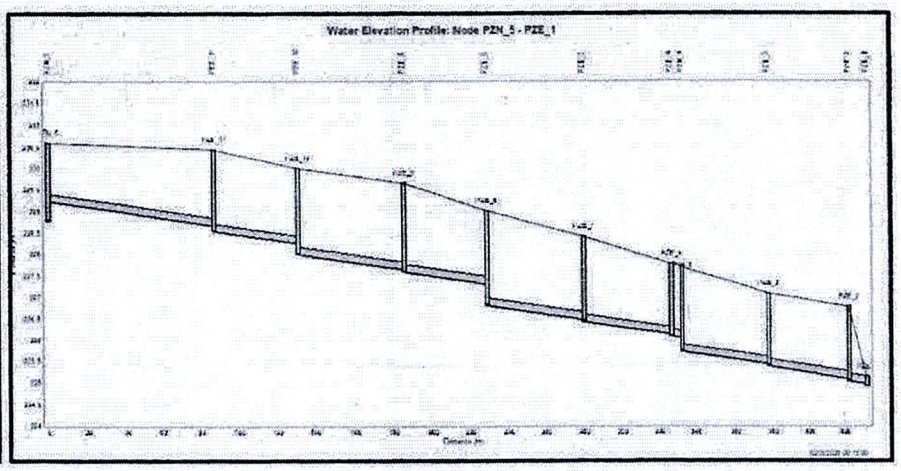


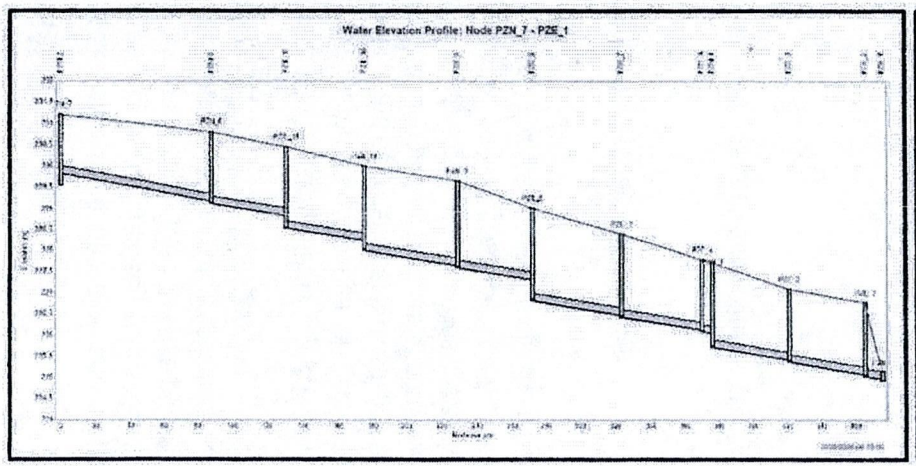


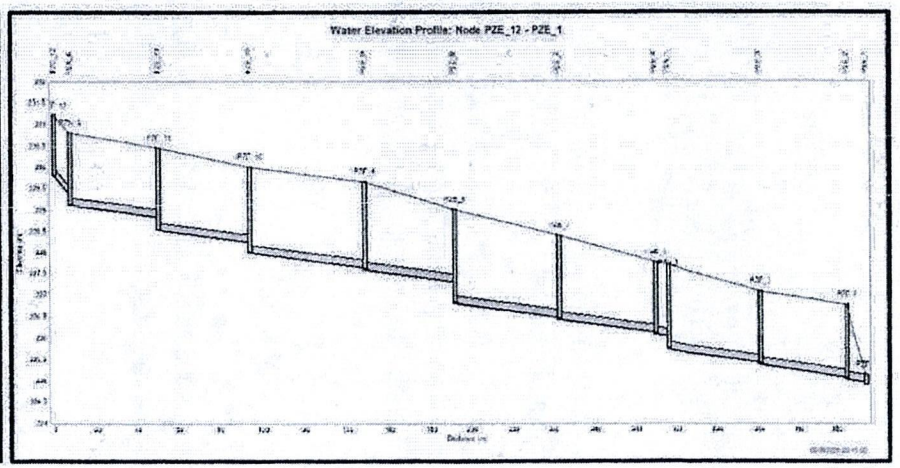












Fuente: Elaboración Propia - Modelación SWMM 5.2

6. ESTRUCTURAS DE CONEXIÓN

La unión o conexión de dos o más tramos de colectores debe hacerse con estructuras hidráulicas, denominadas estructuras de conexión. Usualmente, estas estructuras son pozos de unión o conexión o estructuras-pozo. Estas estructuras están comunicadas con la superficie mediante pozos de inspección, los cuales permiten el acceso para la revisión y mantenimiento de la red. El término pozo de inspección usualmente hace referencia al conjunto estructura de conexión-pozo de inspección.

Por lo general, la forma de la estructura-pozo es cilíndrica en su parte inferior y de cono truncado en su parte superior. Sus dimensiones deben ser suficientemente amplias para que el personal de operación y mantenimiento pueda ingresar y maniobrar en su interior. Para esto debe ser provista una escalera de acceso con pasos de hierro y los elementos mínimos de seguridad industrial para los operarios. La cañuela o piso de la estructura es una plataforma en la cual se hacen canales que prolongan los conductos y encauzan sus flujos, cuando esto se requiera. La parte superior remata en una protección de su desembocadura a la superficie donde se coloca la correspondiente tapa. Deben hacerse consideraciones sobre la ventilación de los pozos.

Las estructuras de conexión deben cumplir con los siguientes requisitos mínimos:

6.1. UBICACIÓN

Las estructuras de conexión deben ubicarse como mínimo en los siguientes puntos de la red de alcantarillado

- Al inicio de la red
- Cambios de dirección de flujo
- Cambios de diámetro
- Cambios de material
- Cambios de pendiente
- En la confluencia de más de dos tuberías
- A distancia máxima entre colectores de 120 m para tramos con aportes de caudal
- A distancia máxima entre colectores de 300 m en interceptores y emisarios finales sin aportes de caudal.

6.2. PARAMETROS DE DISEÑO

6.2.1. Diámetro

El diámetro interno de la estructura debe definirse con las condiciones hidráulicas y geométricas del empalme de las tuberías, garantizando en las tuberías que se conecten a estructura caben sin cruzarse entre sí y que las perdidas hidráulicas debido al radio de curvatura de conexión sean mínimas.

Adicionamiento, se debe considerar la disponibilidad de equipos de mantenimiento. Las estructuras de conexión para inspección, limpieza e ingreso del personal de mantenimiento deben diseñarse con los diámetros mínimos estipulados en la tabla.

Tabla 11. Diámetro interno de estructuras de conexión

MAYOR DIAMETRO DE LAS TUBERIAS CONECTADAS (mm)	DIAMETRO INTERNO DE LA ESTRUCTURA (m)
De 200 a 500	1.20
Mayor de 500 hasta 750	1.50
Mayor de 750 hasta 900	1.80

Fuente: Resolución 0330 del 2017

6.2.2. Diámetro de Acceso

El diámetro mínimo de acceso es de 0.80 m y debe contar con tapa. Deberá proveer escalera de acceso anticorrosiva la cual podrá ser permanente o móvil.

Se sugiere la construcción de pozos de inspección en concreto reforzado de 3000 PSI, con las siguientes características: Diámetro externo 1,80 m de diámetro externo y 1,60 m de diámetro interno.

Su altura que oscila entre 1.20 m y 1.87 m se determina según el tramo. Se Anexa Plano de detalles estructurales del pozo de Inspección.

Tabla 12. Profundidades de Excavación Pozos de Inspección

N°	POZO DE INSPECCION	COTA RAZANTE	COTA BATEA MAS BAJA	PROFUNDIDAD DE EXCAVACION (m)	ALTURA DEL ANILLO (m)
1	PZN_1	227,70	225,69	2,26	1,81
2	PZN_2	228,80	226,97	2,08	1,63
3	PZN_3	230,00	227,94	2,32	1,87
4	PZN_4	230,10	228,70	1,65	1,20
5	PZN_5	230,60	228,75	2,10	1,65
6	PZN_6	230,80	229,09	1,96	1,51
7	PZN_7	231,20	229,52	1,93	1,48

Fuente: Elaboración Propia

7. ACTIVIDADES DE OBRA

Para la construcción de las redes de alcantarillado sanitario propuestas en este documento, se recomiendan considerar las siguientes actividades de obra:

Tabla 13. Actividades de Obra

ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD DE MEDIDA
1	**PRELIMINARES**	
1,1	LOCALIZACION, REPLANTEO Y CONTROL TOPOGRAFICO	ML
2	**MOVIMIENTO DE TIERRA**	
2,1	EXCAVACION MECANICA EN MATERIAL CONGLOMERADO	M3
2,2	EXCAVACION MANUAL EN MATERIAL CONGLOMERADO (INCLUYE RETIRO)	M3
2,3	CAMA DE ARENA PARA CIMENTACION DE TUBERÍA PVC DE 8" Y 6"	M3
2,4	RELLENO COMPATADO CON MATERIAL SELECCIONADO DE LA MISMA EXCAVACIÓN	M3
2,5	CONFORMACION Y COMPACTACION DE LA CALZADA EXISTENTE	M2
3	**TUBERIAS Y ACCESORIOS**	
3,1	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE TUBERÍA DE ALCANTARILLADO PVC D = 8"	ML
3,2	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE KIT SILLA YEE DE 8"X6"	UND
3,3	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE TUBERÍA DE ALCANTARILLADO PVC D = 6"	ML
3,4	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE SEMICODO DE 6"	UND
3,5	CAJA DE INSPECCION DOMICILIARIA DE ALCANTARILLADO SANITARIO EN MAMPOSTERIA (0,60 X 0,60 X 0,80) M.	UND
3,6	HIDROSELLO DE CAUCHO DE 8"	UND
3,7	MANEJO TEMPORAL DE AGUAS	MES
4	**ESTRUCTURAS EN CONCRETO**	
4,1	SOLADO EN CONCRETO DE 2000 PSI E=0.05 M	M2
4,2	PLACA DE FONDO EN CONCRETO DE 4000 PSI E=0.20 M IMPERMEABILIZADA	M2
4,3	ANILLO EN CONCRETO DE 4000 PSI PARA POZO (Diámetro Interno 1.20 m, diámetro externo 1.60 m)	ML
4,4	TAPA PARA POZO DIAMETRO EXTERNO 1.60 MTS, EN CONCRETO DE 4000 PSI (INCLUYE AROTAPA)	UND
4,5	ACERO DE REFUERZO (INCLUYE CORTE Y FIGURADO)	KG
4,6	CAÑUELA EN CONCRETO PARA POZO	UND
4,7	EMBOQUILLADO DE COLECTOR EN CONCRETO DE 3000 PSI	UND
4,8	DEMOLICIÓN DE POZOS EXISTENTES (INCLUYE CARGUE Y RETIRO)	M3

Fuente: Elaboración Propia

A continuación, se presentan los cálculos de cada una de las actividades de obra anteriormente mencionadas:

Tabla 14. Cálculo de Cantidades de Obra de Tramos Principales

N°	TRAMO	TIPO DE TRAMO	NODO INICIAL	NODO FINAL	L (Tub)	Recubrimiento			Excavación	Ø Tub	EXCAVACION MECANICA EN TRAMOS PRINCIPALES			RELLENOS		
					(m)	inicial	final	Promedio		(")	ANCHO INFERIOR (m)	ANCHO SUPERIOR (m)	VOLUMEN TOTAL (m³)	DESCUENTO DE TUBERIA (m³)	ARENA (m³)	MATERIAL DE LA MISMA EXCAVACION (m³)
1	PZE_12-PZN_6	Via Vehicular	PZE_12	PZN_6	7,54	1,22	1,20	1,21	1,41	8	0,6	2,01	**13,87**	0,24	2,04	11,59
2	PZN_7-PZN_6	Via Vehicular	PZN_7	PZN_6	87,90	1,20	1,46	1,33	1,53	8	0,6	2,13	**183,57**	2,85	23,69	157,03
3	PZN_6-PZE_11	Via Vehicular	PZN_6	PZE_11	42,78	1,51	1,44	1,47	1,67	8	0,6	2,27	**102,52**	1,39	11,53	89,6
4	PZN_5-PZE_11	Zona Verde o Peatonal	PZN_5	PZE_11	87,41	1,20	1,61	1,41	1,61	8	0,6	2,21	**197,73**	2,83	23,56	171,34
5	PZE_11-PZE_10	Via Vehicular	PZE_11	PZE_10	44,24	1,74	1,58	1,66	1,86	8	0,6	2,46	**125,9**	1,43	11,93	112,54
13	PZN_7-PZN_5	Via Vehicular	PZN_7	PZN_5	43,35	1,47	1,16	1,32	1,52	8	0,6	2,12	**89,61**	1,41	11,68	76,52
14	PZN_5-PZN_3	Via Vehicular	PZN_5	PZN_3	50,04	1,65	1,37	1,51	1,71	8	0,6	2,31	**124,5**	1,62	13,49	109,39
15	PZN_3-PZN_2	Via Vehicular	PZN_3	PZN_2	95,26	1,86	1,28	1,57	1,77	8	0,6	2,37	**250,39**	3,09	25,67	221,63
16	PZE_6-PZN_2	Via Vehicular	PZE_6	PZN_2	80,16	1,20	1,39	1,29	1,49	8	0,6	2,09	**160,64**	2,6	21,6	136,44
17	PZN_2-PZE_5	Via Vehicular	PZN_2	PZE_5	107,07	1,63	1,21	1,42	1,62	8	0,6	2,22	**244,57**	3,47	28,86	212,24
					645,75 m								**1.493,30 m³**		**174,05 m³**	**1.298,32 m³**

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 15. Cálculo de Cantidades de Obra de Acometidas

N°	TRAMO	NODO INICIAL	NODO FINAL	ACOMETIDAS					PROFUNDIDAD DE CAJA DE INSPECCION	PROFUNDIDAD PROMEDIO A SILLA YEE	PROFUNDIDAD PROMEDIO DE ACOMETIDA	Ø Tub	EXCAVACION MANUAL ACOMETDAS			RELLENOS		
				CANTIDAD CORTAS	CANTIDAD LARGAS	LONGITUD CORTAS (m)	LONGITUD LARGAS (m)	TOTAL (m)				(")	ANCHO INFERIOR (m)	ANCHO SUPERIOR (m)	VOLUMEN TOTAL (m³)	DESCUENTO DE TUBERIA (m³)	ARENA (m³)	MATERIAL DE LA MISMA EXCAVACION (M³)
1	PZE_12-PZN_6	PZE_12	PZN_6	0	0	0,00	0,00	0,00	1,00	1,21	1,10	6	0,60	1,04	**0,00**	0,00	0,00	0,00
2	PZN_7-PZN_6	PZN_7	PZN_6	6	5	5,60	14,20	104,60	1,00	1,33	1,16	6	0,60	1,06	**102,19**	1,91	26,48	73,80
3	PZN_6-PZE_11	PZN_6	PZE_11	0	1	0,00	14,70	14,70	1,00	1,47	1,24	6	0,60	1,10	**15,49**	0,27	3,72	11,50
4	PZN_5-PZE_11	PZN_5	PZE_11	7	8	4,20	4,60	**66,20**	1,00	1,41	1,20	6	0,60	1,08	67,29	1,21	16,76	49,32
5	PZE_11-PZE_10	PZE_11	PZE_10	0	0	0,00	0,00	0,00	1,00	1,66	1,33	6	0,60	1,13	0,00	0,00	0,00	0,00
13	PZN_7-PZN_5	PZN_7	PZN_5	4	0	5,50	0,00	22,00	1,00	1,32	1,16	6	0,60	1,06	**21,18**	0,40	5,57	15,21
14	PZN_5-PZN_3	PZN_5	PZN_3	5	2	4,90	13,90	52,30	1,00	1,51	1,25	6	0,60	1,10	**56,01**	0,95	13,25	41,81
15	PZN_3-PZN_2	PZN_3	PZN_2	9	8	5,30	15,00	167,70	1,00	1,57	1,29	6	0,60	1,12	**186,05**	3,06	42,46	140,53
16	PZE_6-PZN_2	PZE_6	PZN_2	4	4	5,60	13,90	78,00	1,00	1,29	1,15	6	0,60	1,06	**74,45**	1,42	19,75	53,28
17	PZN_2-PZE_5	PZN_2	PZE_5	5	7	5,00	14,60	127,20	1,00	1,42	1,21	6	0,60	1,08	**129,29**	2,32	32,21	94,76
				40 Usuarios	**35 Usuarios**			**632,70 m**							**651,95 m³**		**160,20 m³**	**480,21 m³**
				75 Usuarios														

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 16. Cálculo de Cantidades de Obra de Pozos de Inspección

N°	POZO DE INSPECCION	COTA RAZANTE	COTA BATEA MAS BAJA	PROFUNDIDAD DE EXCAVACION (m)	ALTURA DEL ANILLO (m)	ANCHO INFERIOR (m)	ANCHO SUPERIOR (m)	VOLUMEN DE EXCAVACION (m^3)	DESCUENTO POR POZO (m^3)	VOLUMEN DE RELLENO (m^3)
2	PZN_2	228,80	226,97	2,08	1,63	3,00	4,39	90,27	5,29	84,98
3	PZN_3	230,00	227,94	2,32	1,87	3,00	4,55	105,32	5,90	99,42
5	PZN_5	230,60	228,75	2,10	1,65	3,00	4,40	91,40	5,34	86,06
6	PZN_6	230,80	229,09	1,96	1,51	3,00	4,31	83,14	4,99	78,15
7	PZN_7	231,20	229,52	1,93	1,48	3,00	4,29	81,40	4,91	76,49
					8,14 m			**451,53 m^3**		**425,10 m^3**

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 17. Resumen de Cantidades de Obra

ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD DE MEDIDA	CANT.
1	**PRELIMINARES**		
1,1	LOCALIZACION, REPLANTEO Y CONTROL TOPOGRAFICO	ML	1278,45
2	**MOVIMIENTO DE TIERRA**		
2,1	EXCAVACION MECANICA EN MATERIAL CONGLOMERADO	M3	1944,84
2,2	EXCAVACION MANUAL EN MATERIAL CONGLOMERADO (INCLUYE RETIRO)	M3	675,20
2,3	CAMA DE ARENA PARA CIMENTACION DE TUBERÍA PVC DE 8" Y 6"	M3	334,25
2,4	RELLENO COMPATADO CON MATERIAL SELECCIONADO DE LA MISMA EXCAVACIÓN	M3	2233,62
2,5	CONFORMACION Y COMPACTACION DE LA CALZADA EXISTENTE	M2	4261,95
3	**TUBERIAS Y ACCESORIOS**		
3,1	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE TUBERÍA DE ALCANTARILLADO PVC D = 8"	ML	645,75
3,2	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE KIT SILLA YEE DE 8"X6"	UND	75,00
3,3	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE TUBERÍA DE ALCANTARILLADO PVC D = 6"	ML	632,70
3,4	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE SEMICODO DE 6"	UND	75,00
3,5	CAJA DE INSPECCION DOMICILIARIA DE ALCANTARILLADO SANITARIO EN MAMPOSTERIA (0,60 X 0,60 X 0,80) M.	UND	75,00
3,6	HIDROSELLO DE CAUCHO DE 8"	UND	20,00
3,7	MANEJO TEMPORAL DE AGUAS	MES	2,00
4	**ESTRUCTURAS EN CONCRETO**		
4,1	SOLADO EN CONCRETO DE 2000 PSI E=0.05 M	M2	20,00
4,2	PLACA DE FONDO EN CONCRETO DE 4000 PSI E=0.20 M IMPERMEABILIZADA	M2	20,00
4,3	ANILLO EN CONCRETO DE 4000 PSI PARA POZO (Diámetro Interno 1.20 m, diámetro externo 1.60 m)	ML	8,14
4,4	TAPA PARA POZO DIAMETRO EXTERNO 1.60 MTS, EN CONCRETO DE 4000 PSI (INCLUYE AROTAPA)	UND	5,00
4,5	ACERO DE REFUERZO (INCLUYE CORTE Y FIGURADO)	KG	1073,86
4,6	CAÑUELA EN CONCRETO PARA POZO	UND	5,00
4,7	EMBOQUILLADO DE COLECTOR EN CONCRETO DE 3000 PSI	UND	20,00
4,8	DEMOLICIÓN DE POZOS EXISTENTES (INCLUYE CARGUE Y RETIRO)	M3	13,69

Fuente: Elaboración Propia

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Los cálculos hidráulicos para el sistema de alcantarillado sanitario diseñado para el proyecto **"CONSTRUCCION Y OPTIMIZACION DE LA RED DE ALCANTARILLADO SANITARIO EN EL AREA URBANA DEL MUNICIPIO DE SARAVENA, DEPARTAMENTO DE ARAUCA"** son satisfactorios. Cada uno de los tramos cumplen con los requerimientos establecidos en el RAS con RES 0330 de 2017.

- El diseño abarca un total de 645,75 metros lineales, distribuidos en 10 tramos de tubería, destinados a recolectar las aguas residuales de setenta y cinco (75) usuarios actuales. Además, incluye la construcción de seis (5) nuevos pozos de Inspección, así como la utilización de cinco (5) Pozos de Inspección existentes. Además, se contempla un total de 632,70 metros lineales de tubería de 6" de diámetro, destinados a las acometidas que conectarán a los usuarios con la red principal de recolección de aguas residuales, garantizando un servicio eficiente y continuo.

- Durante el diseño del sistema de alcantarillado, se identificó una diferencia entre las velocidades hidráulicas obtenidas en el modelamiento y las calculadas manualmente, debido a que, según lo establecido en las Resoluciones 0330 de 2017, 0799 de 2021 y 0908 de 2021, cuando el caudal de diseño calculado es menor a 1.5 L/s, debe adoptarse este valor mínimo para efectos de dimensionamiento. Por ello, en los cálculos manuales se utilizó este caudal normativo, mientras que en el modelo hidráulico se ingresaron los caudales reales de cada tramo, lo cual genera una diferencia en las velocidades obtenidas. Esta variación no constituye un error, sino una adaptación al marco normativo para garantizar el correcto funcionamiento del sistema propuesto.

- En el tramo PZN_7–PZN_5, entre los pozos PZN_7 y PZN_5, con una longitud de 43,35 m y profundidad en PZN_5 de 1,16 m, ligeramente inferior al mínimo exigido de 1,20 m para vías vehiculares, se requiere reforzar la tubería mediante recubrimiento de concreto. De igual manera, se aplicará la misma medida para garantizar la protección estructural y el correcto funcionamiento del sistema.

- Se recomienda realizar buen uso del sistema del alcantarillado al no conectar las aguas lluvias a las cajas domiciliarias de las redes de alcantarillado sanitario.

- Se recomienda en la construcción del sistema de alcantarillado acogerse estrictamente al diseño, teniendo en cuenta las cotas de instalación de tubería, ya que de esto depende el funcionamiento óptimo del diseño.

JAIRO ALEXANDER BARRAGAN MENDOZA
INGENIERO CIVIL – ESPECIALISTA EN INGENIERIA HIDRAULICA Y AMBIENTAL
C.C 80.109.920
25202-143899 CND

BIBLIOGRAFIA

- REGLAMENTO TÉCNICO DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO RAS – 2000
- JUAN G SALDARRIAGA V. Hidráulica de tuberías.
- RESOLUCION 0799 DE DICIEMBRE DEL 2021. MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO.
- RESOLUCION 0330 DE JUNIO DEL 2017. MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO.
- GILBERTO SOTELO ÁVILA. Hidráulica general, volumen 1, fundamentos
- ARTURO ROCHA FELICES. Hidráulica de tuberías y canales.
- RICARDO ALFREDO LÓPEZ CUALLA. Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados, 2da Edición.
- JAIRO ALBERTO ROMERO ROJAS. Tratamiento de Aguas Residuales, Teoría y Principios de Diseño.
- MANUAL TÉCNICO TUBERÍA NOVAFORT - PAVCO

CARTA DE CESIÓN DE DERECHOS

Yo, **JAIRO ALEXANDER BARRAGAN MENDOZA**, identificado con cédula de ciudadanía 80.109.920 de Bogotá, en calidad de Ingeniero Civil de profesión con Matricula Profesional No. 25202-143899 CND, certifico que realicé y a la vez dono a título gratuito a la Gobernación de Arauca el documento ANALISIS Y DISEÑO HIDRÁULICO para el proyecto "CONSTRUCCIÓN Y OPTIMIZACIÓN DE LA RED DE ACUEDUCTO EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE SARAVENA, DEPARTAMENTO DE ARAUCA" a ejecutarse en jurisdicción del municipio de Saravena, Departamento de Arauca, de acuerdo con los requisitos técnicos vigentes a la fecha.

Por lo anterior, manifiesto ceder plenamente los derechos al Departamento de Arauca.

La duración de los derechos cedidos será por término indefinido a partir de la fecha de la firma de la presente carta de cesión de derechos.

Para los fines pertinentes, anexo:

- Copia de mi Tarjeta o Matrícula Profesional
- Certificado de vigencia y antecedentes disciplinarios (profesionales)
- Copia de la cédula de ciudadanía.

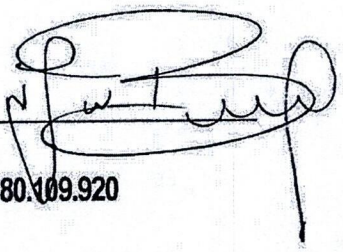
Se expide a los nueve (09) días del mes de junio de 2026.

Atentamente,

Nombre: **JAIRO ALEXANDER BARRAGAN MENDOZA**

Profesión: **INGENIERO CIVIL**

Matrícula Profesional No 25202-143899 CND

Firma: 

Nº C.c.: **80.109.920**

MEMORIAL DE RESPONSABILIDAD

Yo, **JAIRO ALEXANDER BARRAGAN MENDOZA**, identificado con cédula de ciudadanía 80.109.920 de Bogotá, en calidad de Ingeniero Civil de profesión con Matricula Profesional No. 25202-143899 CND, certifico que realicé el documento ANALISIS Y DISEÑO HIDRÁULICO para el proyecto "CONSTRUCCIÓN Y OPTIMIZACIÓN DE LA RED DE ACUEDUCTO EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE SARAVENA, DEPARTAMENTO DE ARAUCA".

Por lo anterior, manifiesto que asumo toda responsabilidad referente al ANALISIS Y DISEÑO HIDRÁULICO realizadas de dicho proyecto, y exonero al Departamento de Arauca, de cualquier responsabilidad, civil, penal o administrativa, por cualquier falta u omisión del presente estudio, SIEMPRE Y CUANDO se cumpla a cabalidad la totalidad del proyecto propuesto.

Declaro así mismo, que asumo la responsabilidad por los perjuicios que por causa de ellos pueda deducirse, exonerando al Departamento de Arauca de cualquier responsabilidad.

Acepto y reconozco que la revisión efectuada por el Departamento no constituye una aprobación al estudio y/o diseño, sino una verificación del cumplimiento de las normas aplicables.

Se expide a los nueve (09) días del mes de junio de 2026.

Atentamente,

Nombre: **JAIRO ALEXANDER BARRAGAN MENDOZA**

Profesión: **INGENIERO CIVIL**

Matrícula Profesional No: 25202-143899 CND

Firma:

Nº C.c.: **80.109.920**

TARJETA DE MATRICULA PROFESIONAL



CERTIFICADO DE VIGENCIA Y ANTECEDENTES DISCIPLINARIOS

REPÚBLICA DE COLOMBIA
COPNIA
Consejo Profesional Nacional de Ingeniería

Certificado de vigencia y antecedentes disciplinarios
CVAD-2026-4534855

CONSEJO PROFESIONAL NACIONAL DE INGENIERÍA
COPNIA

EL DIRECTOR GENERAL

CERTIFICA:

1. Que JAIRO ALEXANDER BARRAGAN MENDOZA, identificado(a) con CEDULA DE CIUDADANIA 80109920, se encuentra inscrito(a) en el Registro Profesional Nacional que lleva esta entidad, en la profesión de INGENIERIA CIVIL con MATRICULA PROFESIONAL 25202-143899 desde el 21 de Junio de 2007, otorgado(a) mediante Resolución Nacional 341.

2. Que el(la) MATRICULA PROFESIONAL es la autorización que expide el Estado para que el titular ejerza su profesión en todo el territorio de la República de Colombia, de conformidad con lo dispuesto en la Ley 842 de 2003.

3. Que el(la) referido(a) MATRICULA PROFESIONAL se encuentra **VIGENTE**

4. Que el profesional no tiene antecedentes disciplinarios ético-profesionales.

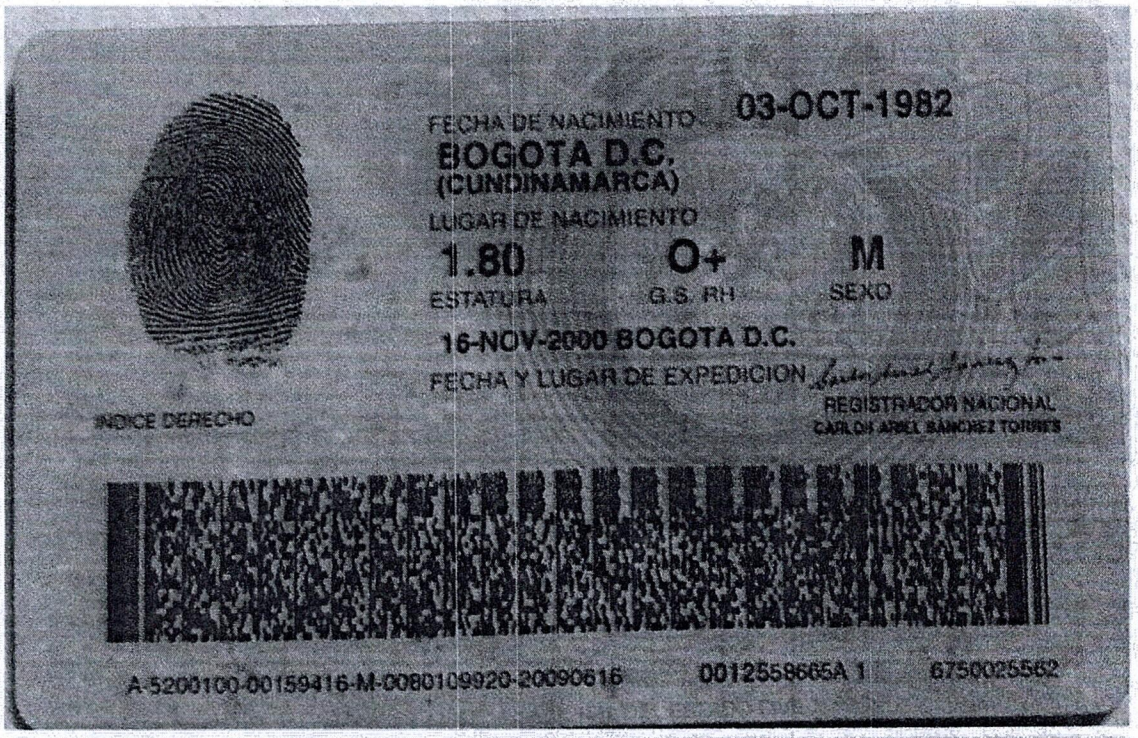
5. Que la presente certificación se expide en Bogotá, D.C., a los dieciocho (18) días del mes de Junio del año dos mil veintiseis (2026).

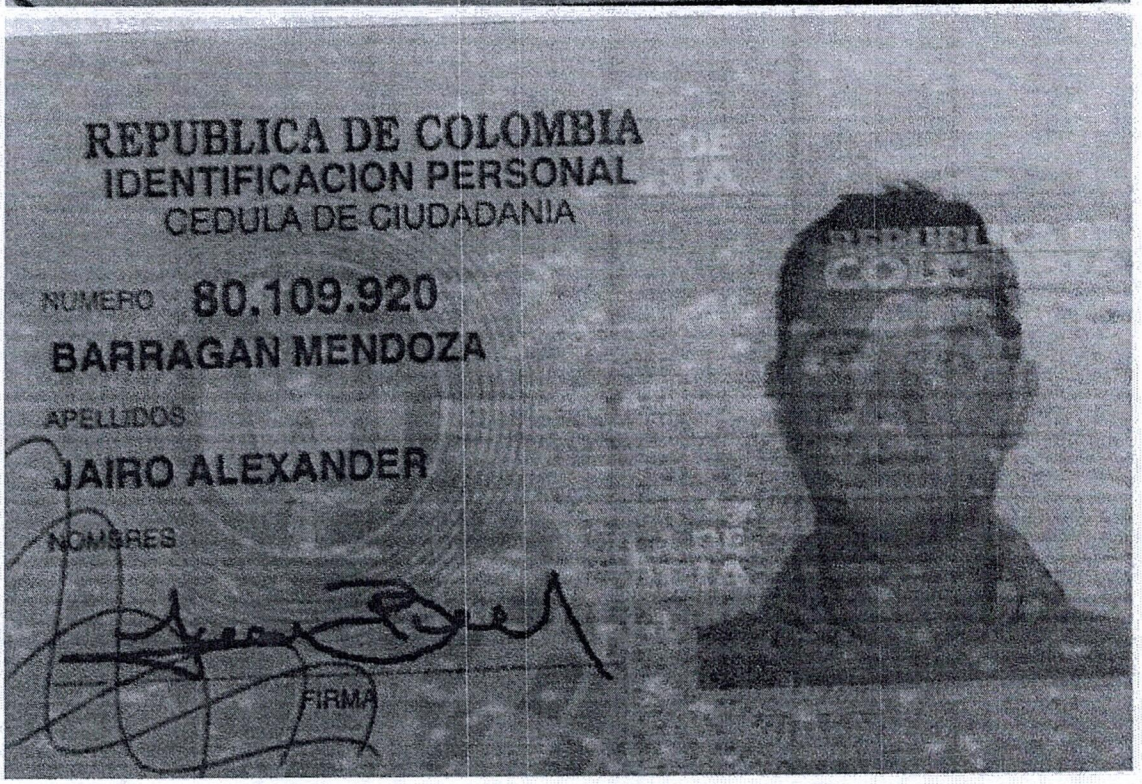
Rubén Dario Ochoa Arbeláez

Firma del titular (*)

(*)Con el fin de verificar que el titular autoriza su participación en procesos estatales de selección de contratistas. La falta de firma del titular no invalida el Certificado
El presente es un documento público expedido electrónicamente con firma digital que garantiza su plena validez jurídica y probatoria según lo establecido en la Ley 527 de 1999. Para verificar la firma digital, consulte las propiedades del documento original en formato .pdf.
Para verificar la integridad e inalterabilidad del presente documento consulte en el sitio web https://tramites.copnia.gov.co/Copnia_Microsite/CertificateVGoodStanding/CertificateVGoodStandingStart indicado el número del certificado que se encuentra en la esquina superior derecha de este documento.

CÉDULA DE CIUDADANÍA





LA UNIVERSIDAD DE LA SALLE

Personería Jurídica
Resolución No. 4307 del 12 de Noviembre 1965

EN ATENCIÓN A QUE

Jairo Alexánder Barragán Mendoza

C.C. 80'109.920 de Bogotá, D.C.

HA CURSADO TODOS LOS ESTUDIOS Y CUMPLIDO LOS REQUISITOS ESTABLECIDOS POR LA UNIVERSIDAD Y LAS DISPOSICIONES LEGALES PARA OPTAR EL GRADO UNIVERSITARIO EN LA FACULTAD DE

Ingeniería Civil

LE OTORGA
EN NOMBRE DE LA REPÚBLICA DE COLOMBIA
Y POR AUTORIZACIÓN DEL MINISTERIO DE EDUCACIÓN NACIONAL

26 ABR. 2007
HA PAGADO DERECHOS (E)

EL TÍTULO DE

Ingeniero Civil

EN FE DE LO CUAL FIRMAMOS Y SELLAMOS ESTE DIPLOMA EN
BOGOTÁ, D.C. A LOS 20 DÍAS DEL MES DE abril AÑO DE 2007

Folio 345
Libro 160
Tomo 3

Fabio Gallego Arrubla F.S.C.
Rector

Héctor Vega Garzón
Secretario General

Guillermo Pinzuara Morales
Decano Facultad

República de Colombia
Ministerio de Educación Nacional

La Universidad Nacional de Colombia

Teniendo en cuenta que

Jairo Alexander Barragán Mendoza

C.C. 80.109.920 de Bogotá

cumplió satisfactoriamente todos los requisitos académicos reglamentarios del Plan de Estudios de Posgrado, le confiere el Título de

Especialista en Ingeniería Hidráulica y Ambiental

En la ciudad de Manizales, a los 14 días del mes de septiembre de 2018

Decanatura de Facultad | Rectoría | Secretaría General

Registro n.° 1706, Folio 14 del Libro de Diplomas n.° 3
de la Sede Manizales, Facultad de Ingeniería y Arquitectura

54145