



ESTUDIO, ANÁLISIS Y DISEÑO DE VIABILIDAD PARA LA OPTIMIZACIÓN  
DEL ALCANTARILLADO DEL MUNICIPIO DE CUCAITA UBICADO EN  
BOYACÁ.

PRESENTADO POR:  
JESSICA MILENA CUELLAR PEÑUELA COD.503611  
HENRRY ALEXANDER CELEITA MESA COD.503349

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



ESTUDIO, ANÁLISIS Y DISEÑO DE VIABILIDAD PARA LA OPTIMIZACIÓN  
DEL ALCANTARILLADO DEL MUNICIPIO DE CUCAITA UBICADO EN  
BOYACÁ.

PRESENTADO POR:  
JESSICA MILENA CUELLAR PEÑUELA COD.503611  
HENRRY ALEXANDER CELEITA MESA COD.503349

DOCENTE ASESOR:  
JESUS ERNESTO TORRES QUINTERO  
Ingeniero Civil Magister en Recursos Hidráulicos

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



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

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

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

### Usted es libre de:



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

hacer obras derivadas

### Bajo las condiciones siguientes:



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



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

**NOTA DE ACEPTACIÓN**

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**DIRECTOR DE INVESTIGACIÓN**  
Ing. Jesus Ernesto Torres Quintero

---

**FIRMA JURADO**

---

**FIRMA JURADO**

**BOGOTÁ D.C.**

*A Dios*

*Por acompañarnos en este proceso, por brindarnos la sabiduría y persistencia guiándonos en el camino permitiéndonos culminar este proceso con éxito sin dejarnos desfallecer ante los percances que se nos presentaron.*

*A Nuestros padres*

*Que con su educación y valores inculcados a lo largo de nuestras vidas nos han demostrado que con la perseverancia y constancia se conseguiría el objetivo, siendo el pilar de nuestras vidas, a ellos que son su amor nos han forjado para el vivir.*

## **AGRADECIMIENTOS**

A todos los que nos han acompañado en este proceso de aprendizaje, aquellos que nos dieron un aporte positivo como profesionales y también para los que nos dieron motivos para seguir luchando. Personas que conocimos como compañeros y se quedaron en nuestras vidas acompañándonos y alentándonos.

A nuestros profesores que con su apoyo y continua exigencia nos guiaron a descubrir nuevos conocimientos.

Queremos agradecerle al Ing. Jesús Ernesto Torres Quintero, por ayudarnos a completar este proceso con su orientación para culminar exitosamente. Al Ingeniero Felipe Santamaria Álzate que con sus conocimientos y su personalidad nos apoyo en lo que fuese necesario.

## TABLA DE CONTENIDO

<b>1.INTRODUCCIÓN</b> .....	10
<b>1.1. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN.</b> .....	12
<b>1.2. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.</b> .....	12
<b>1.3. OBJETIVOS</b> .....	13
1.3.1. OBJETIVO GENERAL .....	13
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	14
<b>1.4. JUSTIFICACIÓN</b> .....	14
<b>1.5. DELIMITACIÓN</b> .....	15
1.5.1. ESPACIO .....	15
1.5.2. TIEMPO .....	15
1.5.3. CONTENIDO.....	15
1.5.4. ALCANCE.....	15
<b>1.6. MARCO DE REFERENCIA</b> .....	15
1.6.1. MARCO TEÓRICO .....	15
1.6.2. MARCO CONCEPTUAL .....	18
<b>1.7. METODOLOGÍA</b> .....	22
1.7.1. RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN .....	22
1.7.2. ANÁLISIS DE INFORMACIÓN .....	22
<b>2.RECOPIACIÓN Y PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN</b> .....	23
<b>2.1. INTENSIDAD DE LA LLUVIA</b> .....	23
<b>2.2. PROYECCIÓN DE POBLACIONAL</b> .....	26
2.2.1. CRECIMIENTO LINEAL .....	27
2.2.2. CRECIMIENTO GEOMÉTRICO .....	27
2.2.3. CRECIMIENTO LOGARÍTMICO .....	27
2.2.4. CRECIMIENTO WAPPUS.....	28
<b>2.3. PERIODO DE DISEÑO</b> .....	28
<b>2.4. NIVELES DE COMPLEJIDAD DEL SISTEMA</b> .....	28
<b>2.5. DOTACIÓN NETA POR SUScriptor</b> .....	28
<b>2.6. DOTACIÓN BRUTA</b> .....	29
<b>2.7. DOTACIÓN NETA</b> .....	29
<b>2.8. CAUDAL DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS</b> .....	29
<b>2.9. CAUDAL DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES</b> .....	29
<b>2.10. CAUDAL DE AGUAS RESIDUALES COMERCIALES</b> .....	30

2.11. CAUDAL DE AGUAS RESIDUALES INSTITUCIONALES .....	30
2.12. CAUDAL MEDIO DIARIO .....	30
2.13. CAUDAL MÁXIMO HORARIO .....	31
2.14. CAUDAL DE DISEÑO .....	31
<b>3. MODELACIÓN DEL SISTEMA ACTUAL COMBINADO .....</b>	<b>32</b>
3.1. MODELACIÓN DEL SISTEMA ACTUAL COMBINADO .....	32
3.2. MODELACIÓN DEL SISTEMA ACTUAL PLUVIAL .....	39
3.3. MODELACIÓN DEL SISTEMA ACTUAL RESIDUAL .....	45
<b>4. DISEÑO DE LA OPTIMIZACIÓN DEL ALCANTARILLADO .....</b>	<b>50</b>
4.1. DISEÑO PARA AGUAS RESIDUALES .....	50
→ CAUDAL DE AGUAS NEGRAS .....	50
4.2. DISEÑO PARA AGUAS PLUVIALES .....	55
→ CAUDAL DE AGUAS LLUVIAS .....	55
4.3. DISEÑO DE LA OPTIMIZACIÓN PARA ALCANTARILLADO COMBINADO .....	61
→ CAUDAL DE AGUAS LLUVIAS .....	61
<b>5. TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES .....</b>	<b>68</b>
5.1. CANAL DE ENTRADA .....	68
5.2. PRETRATAMIENTO .....	70
5.2.1.1. DISEÑO DE ESTRUCTURA DE CRIBADO .....	70
5.3. CANALETA PARSHALL .....	73
5.4. SEDIMENTADOR PRELIMINAR .....	75
→ VERTEDERO DE SALIDA .....	78
→ PANTALLA DE SALIDA .....	78
→ PANTALLA DE ENTRADA .....	78
→ CONDICIONES DE LA TUBERÍA DE ENTRADA .....	78
→ CÁMARA DE AQUIETAMIENTO .....	79
→ ALMACENAMIENTO DE LODOS .....	79
5.5. ZANJÓN DE OXIDACIÓN .....	80
5.6. TANQUE DE SEDIMENTACIÓN .....	84
<b>6. ANÁLISIS DE INFORMACIÓN Y RESULTADOS .....</b>	<b>87</b>
<b>7. CONCLUSIONES .....</b>	<b>88</b>
<b>8. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>90</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>91</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>93</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Valores del Coeficiente de Rugosidad de Manning para Varios Materiales.....	17
Tabla 2. Precipitaciones De La Estación Villa Carmen.....	24
Tabla 3. Constante De La Estación .....	25
Tabla 4. Aplicación Evaluación Ecuación IDF .....	26
Tabla 5. Censos De Cucaita .....	26
Tabla 6. Asignación Del Nivel De Complejidad.....	28
Tabla 7. Dotación Por Habitante Según El Nivel De Complejidad Del Sistema .....	29
Tabla 8. Análisis Del Alcantarillado Actual Combinado .....	37
Tabla 9. Análisis Del Alcantarillado Actual Pluvial .....	43
Tabla 10. Análisis Del Alcantarillado Actual Residual .....	48
Tabla 11. Diseño Del Alcantarillado Residual .....	53
Tabla 12. Diseño Del Alcantarillado Pluvial .....	59
Tabla 13. Diseño De La Optimización Del Alcantarillado .....	65
Tabla 14. Especificaciones De Forma En Canal .....	69
Tabla 15. Características De Rejillas De Barras.....	71
Tabla 16. Factor De Forma Para Rejillas.....	71
Tabla 17. Diseño De Rejilla .....	72
Tabla 18. Dimensiones De La Canaleta Parshall .....	73
Tabla 19. Formulas Para Cana La Canaleta Parshall.....	74
Tabla 20. Dimensiones De La Canaleta Parshall .....	75
Tabla 21. Propiedades Del Agua .....	76
Tabla 22. Parámetros De Diseño De Zanjones De Oxidación.....	81
Tabla 23. Diseño Del Zanjón de Oxidación .....	83
Tabla 24. Tanque Sedimentador.....	86

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Personas Viviendo en el Exterior.....	13
Ilustración 2. Calculo de Canal Circular .....	18
Ilustración 3. Estación Villa Carmen [24015220] .....	23
Ilustración 4. Vista General del Casco Urbano de Cucaita .....	32
Ilustración 5. Diferentes Formas De Barrotes De Rejillas .....	71
Ilustración 6. Configuración De La Canaleta Parshall.....	73
Ilustración 7. Planta De Tratamiento Con Zanjón De Oxidación. ....	80

## 1. INTRODUCCIÓN

Las redes de alcantarillado han sido fundamentales en el crecimiento de los asentamientos generando así centro urbano más grandes, la red de alcantarillado más antigua la cual se tenga conocimiento se encuentra en Nippur (India) en el año 3750 AC, se solía construir canales rectangulares con acabados en baldosa o como en creta que se conducía el agua por medio de vertederos.<sup>1</sup>

Pero quizás la que más este arraigada a nuestra memoria cultural son las realizadas por el imperio romano “Cloaca máxima” en el siglo IV AC, inicialmente fue un canal abierto que terminó en y luego fue cubierto, el alcantarillado hasta el momento solo se utilizaba para la conducción de aguas lluvias y de aguas subterráneas.

Solo fue hasta el siglo XIX con los problemas sanitarios y de enfermedades que en las ciudades de Europa las cuales ya contaban con su propio alcantarillado para la evacuación de las aguas lluvias lo que sirvió para la conducción de residuos de materia fecal de las ciudades.

Con el crecimiento y densificación de las ciudades se vieron problemas como malos olores, colmatación, desgaste de los materiales utilizados, en la ciudad de Hamburgo (Alemania) 1892 se creó el primer alcantarillado moderno teniendo estudio topográfico y las necesidades de sus ciudadanos.

La realización de un alcantarillado para Colombia específicamente en Bogotá en 1788 donde el gobernador Antonio Mon, ordenaron la apertura de desagües de la casa a las calles ya que se habían presentado problemas sanitarios en Bogotá por propuestas un acuerdo de 1872 en el cual se permitía el desaseo en horas de la noche en los lugares indicados, en 1875 se construyó un vertedero subterráneo lo cual conllevó a unos brotes de epidemia en 1890 se prohibió los canales para la conducción de aguas residuales a cielo abierto, pero las estructuras que remplazaron los sistemas anteriores eran hechos en ladrillo y losas de piedra, tiempo después la responsabilidad de alcantarillado y acueducto eran asegurados por los municipios solo fue hasta 1994 con el artículo 5 de la ley 142 donde la prestación de servicios públicos le correspondían a empresas públicas, también se definió el sistema de cobro o facturación la cual la tarifa básica se calcula sobre la solvencia económica de cada municipio de América Latina es el único país en implementar este sistema de cobro.

En los últimos tiempos se realizaron innovaciones que no llevo a las redes que conocemos hoy en día, sin embargo, existen diferentes materiales que generar ventajas y desventajas a la hora de implementar las redes para nuestras ciudades.<sup>2</sup>

La cobertura del municipio de Cucaita es del 80% en las zonas urbanas en zonas

---

<sup>1</sup> ECUred. (2007). ECUred . Obtenido de <https://www.ecured.cu/Alcantarillado>

<sup>2</sup> <http://www.banrepcultural.org/blaavirtual/revistas/credencial/marzo2012/acueducto-bogota-publico-privado>

rurales es del 55% siendo un sistema de alcantarillado combinado (aguas lluvias y negras en el mismo colector), material en asbesto cemento en algunos sectores y en PVC con pozos en ladrillo, se presentan mal estado en las tuberías el servicio no es el más óptimo y carece de un sistema de tratamiento para el vertimiento de aguas residuales a los afluentes la quebrada Santiago y dos fincas vecinas al casco urbano, carece de un caudal continuo lo que genera malos olores propagación de plagas.<sup>3</sup>

---

<sup>3</sup> [http://cdim.esap.edu.co/BancoMedios/Documentos%20PDF/diagnostico\\_final\\_cuaita\\_\(49\\_pag\\_126\\_kb\).pdf](http://cdim.esap.edu.co/BancoMedios/Documentos%20PDF/diagnostico_final_cuaita_(49_pag_126_kb).pdf)

## **1.1. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN.**

Cucaita es un municipio localizado al noreste del departamento de Boyacá. Sus orígenes chibcha de ahí el nombre “Cucaita” que su significado “cerca del seminario” esto ya que los candidatos a caciques ya que se recluían sin poder ver la luz en el templo y eran puestos a prueba con diferentes penitencias, fue fundado por Fray Juan de los Barrios en el año de 1556, tiempo después el 29 de diciembre de 1778 fue elevado a municipio, pero esto solo duraría un años en el mandato del General Rojas Pinilla determino que sería un corregimiento de Tunja, y en el año de 1976 fue declarado nuevamente como municipio, el 15 de julio de 1976 fue restablecido como municipio. Su cabecera actualmente se encuentra ubicada a los 05° 32' 45" de latitud norte y 73° 27' 26" de longitud oeste, a una altura sobre el nivel del mar de 2.650 m aproximadamente, cuenta con una temperatura media de 14,2°C y una precipitación media anual de 760 mm. Dista de Tunja 20 Km. El área municipal es de 43,58 Km<sup>2</sup> y limita por el Norte con Sora, por el Este con Tunja, por el Sur con Tunja y Samacá y por el Oeste con Samacá.

En el municipio de Cucaita es difícil estimar la población de su centro urbano ya existe una constante migración a ciudades grandes como lo son Tunja o Bogotá, su mayor población es rural la cual económicamente depende la siembra de papa y cebolla con otras hortalizas pero hay lo contradictorio la zona rural no cuenta con un red de alcantarillado su tratamiento es con pozos sépticos, el manejo de los servicios públicos depende del municipio este es uno de los casos en que es una de las acepciones de la ley 142 donde no le correspondían empresa pública la prestación de servicios.

Su casco urbano podemos encontrar el 80% en viviendas el resto está dedicado sectores de atención en la ciudadanía, salud, educación, religión e industria a pequeña escala, el sacrificio de animales aun es artesanal y sin control de vertimientos, actualmente el alcantarillado de Cucaita es un sistema combinado el caudal promedio es de 4.51 lps la zona donde termina el alcantarillado es una zanjón en tierra a cielo abierto en donde se pueden propagar enfermedades, la mayoría de la tubería está construida en concreto aproximadamente 3891.01 ml y el resto en gres se desconoce su años de uso, adicional las personas se abstiene de usar las redes de alcantarillado no por falta de ellas si no por que poseen pozos sépticos, generando un bajo caudal para la infraestructura existente.

## **1.2. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.**

El proceso de diseño indicado en la RAS 2000 Res 2320 año 2009 y Res 0330 año 2017 indica que debemos considerar el nivel de complejidad que nos indicara el periodo de diseño y que caudal se debe tener en cuenta a la hora de diseñar la red de alcantarillado basado en la población proyectada, Cucaita presente un problema de migraciones a ciudades más grandes o a otros países

como lo demuestra el censo del DANE:

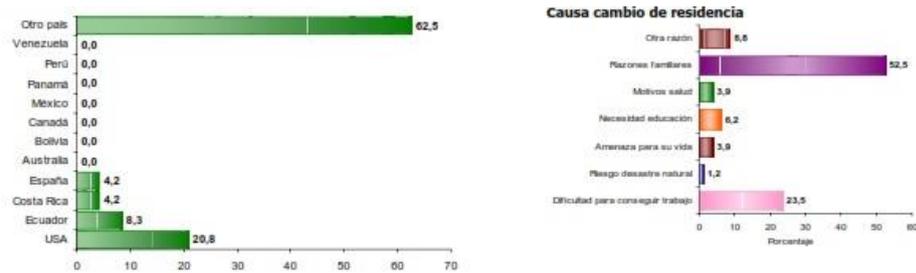


Ilustración 1. Personas Viviendo en el Exterior

Según los grafica por diferentes motivos familiares o por razones laborales han tenido que cambiar de residencia y mudarse a otro país.

La falta de conexiones domiciliarias genera que no exista un flujo permanente y un asentamiento de solidos que genera distintos problemas como sedimentación de solidos suspendidos en el agua lo que va reduciendo el área hidráulica al ser un sistema combinado y en un aumento de precipitación puede generar aclimata miento de las redes después de mucho tiempo.

Se desconoce los años de utilidad de cada uno de los tramos de la red, los alcantarillados sufren deterioros debido a la erosión de sus paredes y externamente pueden ser atacados por raíces de las plantas que para la tubería en gres puede verse fracturada permitiendo infiltración el suelo por este es importante identificar el tipo de material que está construido cada tramo.

También se debe identificar la topografía, geología e hidrología, debemos diseñar para un flujo verificando diámetros, pendientes y cambiando materiales a tubería de PVC para realizar el comparativo con los materiales existentes que genere el menor costo para que pueda ser un proyecto factible.

Pero el problema del municipio de Cucaita no termina ahí ya que el emisario final es solo uno en tubería de 24" pero esta agua termina en un lago a cielo abierto estas aguas son utilizadas en temporada seca para riego de las diferentes plantaciones de la región y en temporada de aguas lluvias permiten que caudal se mezcle con el agua de la quebrada Santiago.<sup>4</sup>

### 1.3. OBJETIVOS

#### 1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Formular la viabilidad para la ejecución de una optimización del alcantarillado del Municipio de Cucaita ubicado en Boyacá en función de estudios técnicos,

<sup>4</sup> (DANE), D. A. (2005). BOLETIN CENSO GENERAL. BOYACA. CUCAITA: <http://www.dane.gov.co/>.

operacionales y de capacidad. Plantear los problemas que se producen en las cámaras de inspección (pozos) General

### 1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Recopilar y analizar la información general de diseño construido, identificando las posibles fallas, los parámetros de ocupación y de carácter hidrológico para alimentar el modelo a optimizar.
- Realizar diseño de las estructuras hidráulicas para el alcantarillado del Municipio, como pozos de inspección y estructuras de conexión de colectores.
- Presentar un diseño de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) para la red de alcantarillado del Municipio de Cucaita ubicado en Boyacá.

### 1.4. JUSTIFICACIÓN

Para el desarrollo de una población es de vital importancia tener en consideración la problemática del saneamiento básico, puesto que tanto como el suministro de agua potable como como la recolección de aguas residuales son indispensables entorno a un progreso poblacional.

El acueducto del municipio de Cucaita, está siendo administrado por la empresa de SERVIMANANTIALES suministrando el servicio de agua a la cabecera municipal con una cobertura del 100% abasteciendo a una población de 4.897 usuarios, las veredas, cuentan con el servicio de agua independiente.<sup>5</sup>

En la cabecera se presenta inconsistencia en la red puesto que en algunos sectores el caudal es mínimo a pesar que es un caudal mixto de aguas residuales y lluvias, lo que causa que el agua no fluya y se represe en ciertas zonas.

Gracias a la importancia que representa la red de drenaje se debe garantizar una cobertura total de dicho servicio para el área urbana.

---

<sup>5</sup> (Gobernacion de Boyaca, 2018)

## 1.5. DELIMITACIÓN

### 1.5.1. ESPACIO

Se desarrollará en el departamento de Boyacá en el municipio de Cucaita, para la población del casco urbano, situado aproximadamente a 144km de Bogotá, la capital del país.

### 1.5.2. TIEMPO

El análisis se realiza en base a los antecedentes del municipio, funcionamiento actual y la proyección a un futuro. Realizado en el primer semestre del 2018.

### 1.5.3. CONTENIDO

Estudio, análisis y diseño de viabilidad del alcantarillado con diseño de Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) para funcionamiento del municipio de Cucaita.

### 1.5.4. ALCANCE

Dar a conocer el estado actual del sistema por medio de modelaciones, presentando el diseño pertinente en cuanto al alcantarillado y a la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), cumpliendo con las normativas existentes a nivel nacional y así poder subsanar falencias para un mejor funcionamiento.

## 1.6. MARCO DE REFERENCIA

### 1.6.1. MARCO TEÓRICO 6

Proyección Poblacional

- Método Aritmético:

$$P_f = P_{uc} + \frac{P_{uc} - P_{ci}}{T_{uc} - T_{ci}} * (T_f - T_{uc})$$

- Población servida:

$$P_i = A_i * D_i + \sum P_{aguas\ arriba}$$

---

<sup>6</sup> RAS, J. t. (2000 Res 2320 año 2009 y Res 0330 año 2017). Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS. <http://www.minvivienda.gov.co/viceministerios/viceministerio-de-agua/reglamento-tecnico-del-sector/reglamento-tecnico-del-sector-de-agua-potable>.

- Determinación Del Caudal De Diseño:

$$QD = 0.000386 \times CR \times qD$$

QD= Caudal de aguas residuales domesticas L/s

CR= Coeficiente de retorno (adimensional)

qD = caudal de consumo doméstico de agua potable doméstico (m3 /mes)

- Caudal De Infiltración.
- Caudal De Aguas Residuales Por Conexiones Erradas ( $Q_{CE}$ ).
- Caudal Medio Diario De Aguas Residuales ( $Q_{MD}$ ):

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

Factor De Mayoración (F):

$$F = \frac{3,5}{P^{0,1}}$$

- Caudal Máximo Horario ( $Q_{MH}$ ):

$$(Q_{MDf}) = F * QMD$$

- Caudal A Tubo Lleno (L/S)

$$Q0 = \left( \frac{D^{8/3} \times S^{1/2}}{n} \right)$$

- Ecuación Coeficiente De Manning:

$$n = 0.047 \times D^{1/6}$$

Tabla 1. Valores del Coeficiente de Rugosidad de Manning para Varios Materiales.

Valores del coeficiente de rugosidad de Maning para varios materiales	
Material	N
<b>CONDUCTOS CERRADOS</b>	
Asbesto cemento	0.011 0.015
Concreto prefabricado interior liso	0.011 0.015
Concreto prefabricado interior rugoso	0.015 0.017
Concreto fundido en sitio, formas lisas	0,012 0,015
Concreto fundido en sitio, formas rugosas	0,015 0,017
Gres vitrificado	0.011 0.015
Hierro dúctil revestido interiormente con cemento	0.011 0.015
PVC, polietileno y fibra de vidrio con interior liso	0.010 0.015
<i>Metal corrugado</i>	0.022 0.026
Colectores de ladrillo	0.013 0.017
<b>CONDUCTOS ABIERTOS</b>	
Canal revestido en ladrillo	0.012 0.018
Canal revestido en concreto	0.011 0.020
Canal excavado	0.018 0.050
Canal revestido rip-rap	0.020 0.035

Fuente: RAS<sup>7</sup>. Valores Del Coeficiente De Rugosidad De Manning Para Varios Materiales

$$\theta = 2 \times \cos^{-1} \left( 1 - \left( 2 * \frac{y}{D} \right) \right)^8$$

- Área Mojada:

$$A = \frac{D^2}{8} (\theta - \text{sen}\theta)$$

- Perímetro Mojado:

$$P = \frac{D}{2} \times \theta^2$$

- Radio Hidráulico:

$$R = \frac{A}{P} = \left( \frac{D}{4} \times \left( 1 - \frac{\text{sen}\theta}{\theta} \right) \right)$$

- Ancho Superior T:

$$T = D \left( \text{sen} \left( \frac{\theta}{2} \right) \right)$$

<sup>7</sup> RAS, J. t. (2000 Res 2320 año 2009 y Res 0330 año 2017). Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS. <http://www.minvivienda.gov.co/viceministerios/viceministerio-de-agua/reglamento-tecnico-del-sector/reglamento-tecnico-del-sector-de-agua-potable>.

<sup>8</sup> CHOW, V. T. (2004). HIDRAULICÁ DE CANALES ABIERTOS. Estados Unidos de América: McGRAW-HILL

- Profundidad Hidráulica:

$$H = \frac{A}{T} = \left( \frac{D}{8} \times \left( \frac{\theta - \text{sen}\theta}{\text{sen}\left(\frac{\theta}{2}\right)} \right) \right)$$

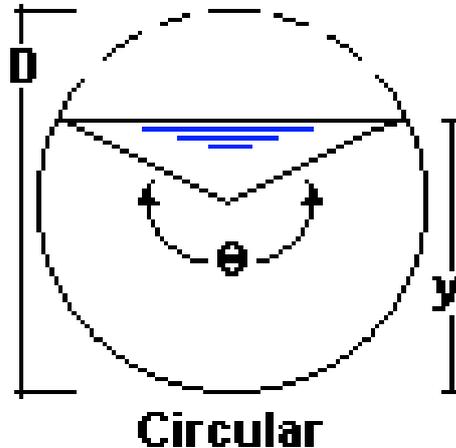


Ilustración 2. Calculo de Canal Circular

### 1.6.2. MARCO CONCEPTUAL 9

El sistema de alcantarillado consiste en una serie de tuberías y obras complementarias, necesarias para recibir y evacuar las aguas residuales de la población y la escorrentía superficial por las lluvias, las aguas lluvias pueden tener varios orígenes para el caso de Cucaita nos centraremos en:

*Aguas Residuales Domesticas:* Son aquellas provenientes de inodoros, lavaderos, cocinas, y otros elementos domésticos. Estas aguas están compuestas por sólidos suspendidos (generalmente materia orgánica biodegradable).

*Aguas Lluvias:* Proviene de la precipitación pluvial y, debido a sus efectos de lavado sobre tejado, calles y suelos pueden contener una gran cantidad de sólidos suspendidos en zonas de alta contaminación atmosférica, pueden contener metales pesados y otros elementos químicos.

*Redes De Alcantarillados Combinados:* Es un alcantarillado que conduce simultáneamente las aguas residuales (domesticas) y las aguas lluvias.

Este sistema puede ser adoptado en aquellas localidades donde existan situaciones de hecho que limiten el uso de otro tipo de sistemas o cuando resulte

<sup>9</sup> RAS, J. t. (2000 Res 2320 año 2009 y Res 0330 año 2017). Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS. <http://www.minvivienda.gov.co/viceministerios/viceministerio-de-agua/reglamento-tecnico-del-sector/reglamento-tecnico-del-sector-de-agua-potable>.

ser la mejor alternativa, teniendo en cuenta los costos de disposición de las aguas residuales. Localidades con una densidad de drenaje natural alta pueden ser apropiadas para este tipo de sistemas. Su adopción requiere una justificación sustentada de tipo técnico, económico, financiero y ambiental que garantice que representa la mejor alternativa de saneamiento, incluidos los costos asociados con la disposición final y eventual tratamiento.

Un sistema combinado puede tener ventajas en lo que a costos se refiere. Sin embargo, esto no debe ser analizado considerando el sistema de recolección y evacuación independientemente, sino en conjunto con los requerimientos de tratamiento de las aguas residuales diluidas, para cumplir con la legislación vigente sobre vertimientos a cuerpos de agua receptores. Esto, por consiguiente, está asociado con consideraciones de tipo ambiental debido a que en las aguas combinadas se genera necesariamente dilución de las aguas residuales, las cuales no podrían estar sujetas a un tratamiento apropiado todo el tiempo por el aliviadero que en ocasiones se requiere hacer. Por otro lado, en épocas de verano las velocidades del flujo debido sólo a los aportes de aguas residuales pueden llegar a ser inferiores a las de auto limpieza, lo cual puede causar la acumulación de materia orgánica, cuya descomposición puede generar olores ofensivos y gases. Por estas razones, su selección requiere un análisis técnico, económico, financiero y ambiental que permita recomendarlo por encima de sistemas de recolección y evacuación separados.

Adicionalmente, el diseñador de un sistema de recolección y evacuación de aguas combinadas, debe tener en cuenta todo lo establecido en el plan de saneamiento y manejo de vertimientos (PSMV) establecido para el municipio, o para la región en el caso de personas que presten el servicio de alcantarillado en la región.

*Método De Estimación De La Población Futura:* Existe diversidad de Métodos para la Estimación de Poblaciones Futuras, pero, en realidad, ninguno es 100% preciso, pues en todo caso siempre existirá un grado de incertidumbre, que puede depender de una variedad de factores, como podría ser el clima y el nivel socioeconómico de la población, entre otros.

*Caudal De Diseño:* Dado que en general el caudal de aguas residuales constituye una pequeña fracción del caudal total combinado, el caudal de diseño de los sistemas combinados es igual al caudal de aguas lluvias que llega como escorrentía a los tramos de la red. Sin embargo, cuando el caudal de aguas residuales es mayor que el 5% del caudal de aguas lluvias, debe tomarse como caudal de diseño la suma de los caudales de aguas residuales y aguas lluvias. En este caso, el caudal de aguas residuales se establece con las contribuciones domésticas, industriales, comerciales, institucionales y de infiltración, sin adicionar las conexiones erradas. Es necesario revisar el comportamiento hidráulico de las tuberías para las condiciones de caudal mínimo inicial o caudal de tiempo seco inicial donde se tenga en cuenta el caudal máximo horario inicial de aguas residuales.

*Caudal De Aguas Lluvias:* En general, para el cálculo del caudal de diseño de los sistemas de recolección y evacuación de aguas lluvias se debe hacer uso de los métodos modernos de lluvia-escorrentía que incluyan modelos de infiltración. Estos últimos modelos incluyen los de Horton, Soil Conservation Service of USA y el de Green y Ampt.

Cuando el cálculo del caudal de aguas lluvias para un sistema de recolección y evacuación de aguas lluvias se lleve a cabo utilizando un método de generación de hidrogramas, el diseñador debe obtener los hidrogramas de precipitación efectiva, a través del uso de modelos de infiltración, con el fin de determinar el hidrograma de escorrentía directa, haciendo uso del modelo lluvia-escorrentía.

$$Q = C \times i \times A$$

Q = Caudal pico de aguas lluvias (L/s).

C = Coeficiente de impermeabilidad definido para cada área tributaria (adimensional).

I = Intensidad de precipitación correspondiente al tiempo de concentración utilizado (L/s. Ha).

A = Área tributaria de drenaje (Ha).

*Intensidad De Precipitación:* El diseñador debe calcular la intensidad de precipitación, ya que éste es un parámetro común a todos los modelos utilizados para estimar el caudal de aguas lluvias. El cálculo de la intensidad de precipitación depende del modelo de infiltración o método de estimación de caudal de aguas lluvias que sea utilizado por el diseñador.

Para el caso del método racional el diseñador debe utilizar la intensidad media de precipitación dada por las curvas de intensidad-duración-frecuencia (IDF) para el período de retorno de diseño escogido.

Para tener en cuenta la variabilidad espacial de la lluvia, el diseñador debe utilizar unos factores de reducción de la intensidad media de precipitación como función del área tributaria de la cuenca. Para en los sistemas de todos los niveles de complejidad, los valores deben contar con el Factor de reducción de la intensidad media de precipitación para diferentes áreas de drenaje.

*Conexiones Domiciliarias:* Se debe revisar la información sobre la prestación actual del servicio de recolección y evacuación de aguas residuales y/o lluvias en el sector objeto del proyecto; identificar las contribuciones especiales.

*Calibración De La Red De Alcantarillado Para La Operación:* Para sistemas con nivel de complejidad alto, y como recomendación para sistemas con nivel de complejidad medio alto, en aquellos casos en que la red de alcantarillado de aguas residuales objeto del diseño forme parte de un sistema existente y pueda llegar a afectar en forma significativa la hidráulica de la red existente, el diseñador debe verificar a través de un modelo hidráulico calibrado la capacidad de dicha red, con el fin de establecer y verificar las nuevas condiciones

hidráulicas de operación. En caso que dicho modelo calibrado no exista, en el diseño se debe establecer una forma de calibración de la red existente estimando los coeficientes de rugosidad absoluta y los diámetros internos reales de las tuberías que conforman el sistema existente. Para esto, en el diseño se deben establecer los puntos y forma de medición de caudales y niveles de aguas residuales y la forma de utilizar el modelo hidráulico de la red existente para establecer su calibración. En todos los casos, el modelo hidráulico de la red existente debe basarse en las ecuaciones de Saint-Venant y debe tener capacidad de realizar análisis de flujo no permanente. Se sugiere que las personas prestadoras del servicio de alcantarillado, en particular para los sistemas con niveles complejidad medio alto y alto, hagan uso de los modelos calibrados entregados por los diseñadores, con el fin de mantener modelos calibrados de todas las redes principales del sistema de alcantarillado, a las cuales se considera que se pueden conectar, en el futuro, nuevas redes o ampliaciones a redes de alcantarillado de aguas residuales.

*Análisis De Sitios De Vertimiento:* Se deben identificar las poblaciones localizadas aguas abajo de los posibles sitios de entrega y/o disposición de las aguas residuales evacuadas de la localidad y se deben analizar las características de asimilación de los cuerpos de agua receptores (ríos, quebradas, arroyos, humedales, lagos, ciénagas, embalses y mar) y los posibles efectos ambientales de los vertimientos con y sin tratamiento, con base en la normativa vigente. Si el sitio de disposición final es el mar, se debe determinar el régimen de mareas, vientos y corrientes marinas para los sistemas con nivel de complejidad alto. Si es una corriente de agua, para sistemas con niveles de complejidad medio alto y alto, se debe estimar el caudal mínimo semanal con un período de retorno de 10 años para determinar su capacidad de depuración y la frecuencia de niveles extremos máximos para evitar remansos en la descarga. Si el sistema receptor es el suelo asociado a un acuífero, deberá aplicarse lo establecido en la normativa específica vigente. Para los sistemas con niveles de complejidad bajo y medio, en localidades con topografía plana, es recomendable estimar el caudal mínimo semanal anterior. Adicionalmente, deben tenerse en cuenta las consideraciones del Título E del RAS: "Tratamiento de aguas residuales". Adicionalmente, debe cumplirse con los requerimientos establecidos en el plan de saneamiento y manejo de vertimientos (PSMV) definido para el municipio o región geográfica objeto del proyecto. Debe prestarse especial atención a los objetivos de calidad de agua definidos para el cuerpo receptor por parte de la autoridad ambiental competente. El análisis y la escogencia de los sitios de vertimiento deben guardar concordancia con la generación de alternativas en la planeación del sistema. De acuerdo con lo anterior, la escogencia de los puntos geográficos y número de puntos de vertimientos debe estar soportada por los estudios de factibilidad económica, técnica y ambiental del sistema. En todo caso el vertimiento requiere la obtención previa del permiso de vertimientos, o el PSMV a que haya lugar, de la autoridad ambiental competente.

## **1.7. METODOLOGÍA**

El estudio, análisis y diseño del alcantarillado, con identificación para diseño de Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAR) del municipio se realiza en referencia a la metodología de investigación científica para la cual en base a la información adquirida se realizan cálculos con modelaciones, teniendo en cuenta las siguientes fases:

### **1.7.1. RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN**

La investigación de las características principales que influyen en el sistema de alcantarillado, son en base a la topografía del municipio, población afectada y precipitación pluviales. Además, de lo encontrado en sitio. Para esto la sustracción de información es tomada de diferentes fuentes como lo son Informes de obra en la zona, información de entidades estatales el IDEAM y el DANE, y demás de información adquirida de bibliotecas, páginas web, tesis, libros y artículos de revistas de investigación, entre otros.

### **1.7.2. ANÁLISIS DE INFORMACIÓN**

Teniendo la información se procede a ser analizado los antecedentes, en la actualidad y se realiza una proyección de su funcionamiento. Se realiza una caracterización del sistema y en el tramo final se identifica la problemática y el proceso más recomendable para el municipio en cuanto a tratamiento de aguas residuales.

## 2. RECOPIACIÓN Y PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN

### 2.1. INTENSIDAD DE LA LLUVIA

La intensidad de lluvia es tomada en mms por el IDEAM que es la entidad del gobierno dependiente del Ministerio de Ambiente y Desarrollo sostenible.

La información pluviográfica que suministra el IDEAM es basada en la recopilación de información de campo encontrada en la estación más cercana a Cucaita.

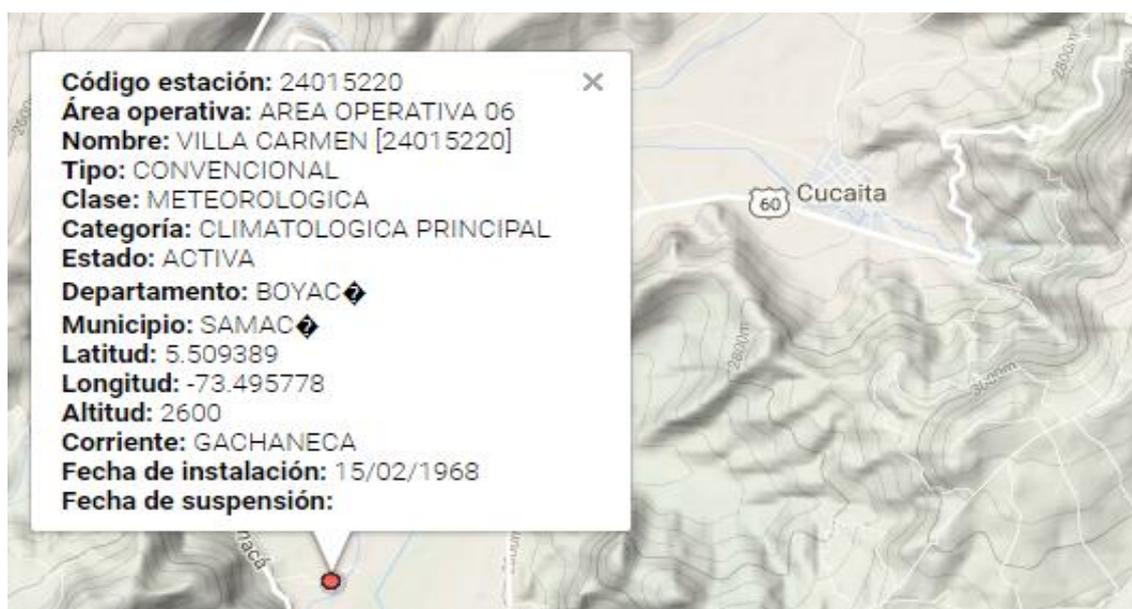


Ilustración 3. Estación Villa Carmen [24015220]

Tabla 2. Precipitaciones De La Estación Villa Carmen

IDEAM INSTITUTO DE HIDROLOGÍA METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES SISTEMA DE INFORMACION															
VALORES TOTALES MENSUALES DE PRECIPITACION (mms) NACIONAL AMBIENTAL															
FECHA DE PROCESO:			13/02/2018			ESTACION:					24015220				
LATITUD		530	N	TIPO	EST	CP	DEPTO		BOYACA		VILLA		CARMEN		
LONGITUD		7329	W	ENTIDAD	1	IDEAM	MUNICIPIO		SAMAACA		FECHA-INSTALACION		1968-FEB		
ELEVACION		2600	m,s,n,m	REGIONAL	6	BOYACA-CASAN		CORRIENTE		GACHANECA		FECHA-SUSPENSION			
AÑO	EST	ENT	ENERO	FEBRE	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOST	SEPTI	OCTUB	NOVIE	DICIE	VR ANUAL
1968	4	7	132,2	51,2											183,43
1969	2	1	74,5	30,6	35,5	137,2	67,4	20,8	24,5	11,7	38,4	142,4	72	29,3	684,3
1970	2	1	26,6	10,6	8,5	41	104,3	20,8	39,8	30,2	50,2	103,43	118,4	15	568,83
1971	2	1	48,2	76,8	99,7	78,1	162,43	27,7	27	19,4	41,3	95,4	115,9	78	869,93
1972	2	1	49	36,7	81,6	226,2	59,4	26,1	40,5	28,4	19,6	47,5	84,5	32,2	731,7
1973	2	1	0	0	64,5	66	50,6	68,8	69,1	57,9	111,2	84,6	123	61,1	756,8
1974	2	1	31,1	70,6	99	154,5	47,9	38,5	9,3	35,8	77,6	84,7	111,3	30	790,3
1975	2	1	0,4	72,4	29,5	67,8	55,9	44,6	47,9	59,6	40,1	72,5	26,8	155,7	673,2
1976	2	1	42,5	60,5	144,6	141,1	67,68	40,88	32,38	37,68	52,28	97,18	95,48	47,88	859,5
1977	1	1	8	4,7	107	77,6	28,5	17,8	32,8	*	106	118	2,2		502,63
1978	1	1	0,2	32,7	71,2	173,1	90,9	19,2	27,3	30	61,6	108,2	47	31,9	693,3
1979	2	1	31,3	9,6	84,1	159,5	86,2	68,4	28	79,2	36,3	162	174,1	55,3	974
1980	2	1	17,2	31,5	28,1	53,1	51,6	80,9	32,43	27,6	66,8	66,3	74,1	52,8	582,43
1981	2	1	25,7	57,5	19,2	174	221,6	48,7	16,5	72,4	20,2	83,6	125,1	38,6	903,1
1982	2	1	67,1	31,5	124,7	129	40,2	21,6	19,83	15,43	30,6,3	85,2	93,1	28,23	686,4
1983	2	1	7	56,7	41,7	156	71,5	22,1	18,8	29	18,5	48,6	60,1	48,2	578,2
1984	2	1	58,4	59,6	54,8	103,48	61,1	76,8	32,18	46	76,4	82,03	32,8	37,7	721,13
1985	2	1	11,7	25,7	87,6	103,6	49,9	26,3	44,6	25,6	73,6	202,2	110,5	50,3	811,6
1986	2	1	27,3	112,9	46,5	103,48	22,5	32,2	26,9	20,6	72,4	167,2	113,5	1,8	747,2
1987	2	1	4,7	12,6	47,1	76	73,9	24,7	50,6	33,7	36,9	159,8	48,1	46,7	614,8
1988	2	1	17,4	85	29	81,3	29,2	85,5	33,2	21,1	106,8	122,9	194,9	84	890,3
1989	2	1	9,5	61,3	173,2	34,7	67,1	29	55,9	22,1	39,7	37,9	53,7	26	610,1
1990	2	1	28,1	42,3	80,8	132,5	99,2	28,1	22,7	21,8	21,3	95,9	55,7	62,6	691
1991	2	1	0,2	11,3	108,4	70,3	54,2	27,3	36,4	32,6	30,1	43,5	128,1	10,5	552,9
1992	2	1	60,9	59,6	35,1	67,1	41	17,4	16,6	23,8	105,1	4,7	190,4	25,9	647,6
1993	2	1	31,2	45,5	47,6	53,7	112,5	27,3	36,9	19,4	26,8	30,5	108,7	33,5	573,6
1994	2	1	35,2	63,3	74,1	84	84,7	41,4	39,5	22,9	49,2	144	163,5	2,4	804,2
1995	2	1	1,3	65,1	142,8	37,6	64,1	51,5	26,5	52,8	27,8	60,3	86,5	82,9	699,2
1996	2	1	70,2	30,2	129,7	42,5	74,5	57,5	41,1	29,38	22,7	171,3	58	28,2	755,2
1997	2	1	109,7	12,1	40,3	51	22	30	23,1	14,3	32,2	94,3	47,5	12,6	489,1
1998	1	1	29,6	172,2	32,6	65,2	41,8	36,1	112,2	66,2	0				555,93
1999	1	1	39,3	104,9	61	73,8	25,7	43,4	18,9	22,6	96,2	51,3	79,8	62,1	679
2000	1	1	45,9	86,2	129,5	52,3	44,5	89,2	35,1	34,1	67,6	94,7	83,3	23,3	785,7
2001	1	1	3,2	38	93,3	6	35,6	24,6	19,2	73,5	19,8	53,2	44,3		410,73
2002	1	1	3,5	30,8	76,7	106,4	79,8	57,2	31,4	57,3	43,7	41,8	47,8	46,8	623,2
2003	1	1	2,8	58,8	95,4	55,5	30,2	27,5	20,6	9,8	48,3	122,6	159,3	20,4	651,2
2004	1	1	16,1	52,7	34,4	125,1	111,6	31,2	39,8	19,2	79,9	113,3	58,8	29,5	711,5
2005	1	1	10,9	41,9	22,1	61,4	108,5	21,1	39,9	36,5	50,6	168,5	79,3	72,6	713,3
2006	1	1	65,9	28,8	143,6	172,83	42,8	86,8	25,9	17	35,2	158,2	74	53	904,03
2007	1	1	5,1	39	122,5	56,2	15,4	54,6	75	9,7	157,5	41,6	88	664,63	
2008	1	1	58,5	22,8	80,9	47,6	151,9	35,1	57,6	77,2	30,4	86,8	147,8	96,1	892,7
2009	1	1	46,1	81,9	69,2	34,4	93,6	28,6	25,5	24,5	18,3	111	23,2	14,8	571,1
2010	1	1	5,5	23,1	17,1	116	156	36,7	115,1	14	56,4	112,7	155,4	97,1	905,1
2011	1	1	70,1	89,5	149,2	335,4	139,4	34,1	55,8	31	48,9	142,1	161,9	115,4	1372,8
2012	1	1	38	42,3	144,2	206,4	9,9	19,2	37,6	23,1	19	103,5	38	43,8	725
2013	1	1	14,8	101,2	30,8	63,6	75,9	35,4	27,4	30,4	7,7	83,5	182,6	36,4	689,7
2014	1	1	11	27,6	74,6	45,3	68,3	20,7	26,9	13,3	14,1	59,5	138,4	63	562,7
2015	1	1	50,4	75,5	91,9	27,8	17,7	33,9	26,2	18,6	24,9	40,3	24,1	2,13	433,43
2016	1	1	9,8	9,8	95,1	134,2	96,8	12,6	45,3	18,7	55,5	78	110,6	59,7	726,1
2017	1	1	83	66,1	137	58,7	82,6	73,7	19,4	17,4	21	51			609,93
MEDIOS			32,726	50,264	78,306	96,318	71,225	39,257	36,880	31,969	46,778	96,784	92,876	47,410	696,68
MAXIMOS			132,200	172,2	173,2	335,4	221,6	89,2	115,1	79,2	111,2	202,2	194,9	155,7	1372,80
MINIMO			0,000	0	8,5	6	9,9	12,6	9,3	9,7	0	4,7	2,2	1,8	183,43

Fuente: Ideam. Precipitación de la Cuenca Villa Carmen

Este valor se obtiene a través de un estudio hidrológico de la zona analizando la información pluviográfica a nivel local o regional, del cual se obtienen las curvas de intensidad, duración y frecuencia.<sup>10</sup>

$$i = \frac{2142,030 * T^{0,1938}}{(d + 22,96)^{1,0000}}$$

<sup>10</sup> (Ministerio De Vivienda, Ciudad y Territorio, 2000)

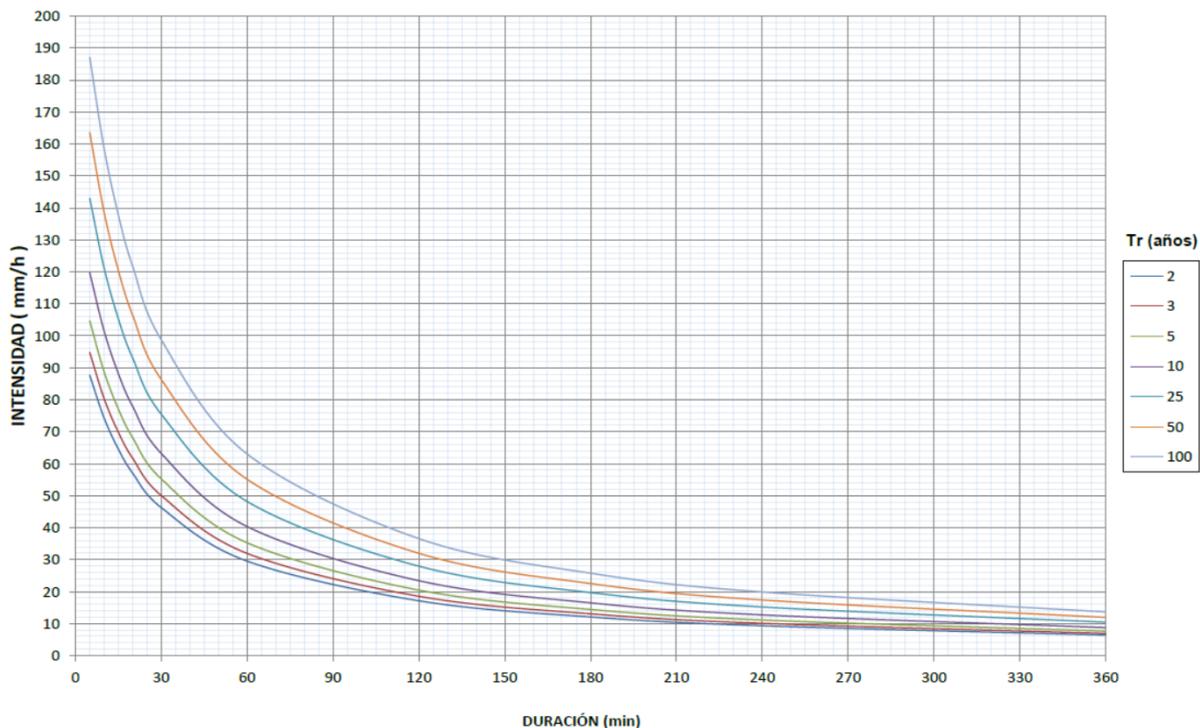


Gráfico 1. Curvas de Intensidad -Duración - Frecuencia Estación Villa Carmen (Boyacá) - COD:24015220

$$i_T = \frac{K * T^m}{(d + d_o)^n}$$

Donde:

- $i_T$  = Intensidad máxima para el periodo de retorno (mm/h)
- K = Constante de la estación.
- T = Periodo de retorno (Años).
- m = Constante de la estación.
- d = Duración (minutos).
- $d_o$  = Constante de la estación.
- n = Constante de la estación

Tabla 3. Constante De La Estación

PARÁMETROS ECUACIÓN IDF	
K	2142,03
m	0,1938
n	1
$d_o$	22,96

Tabla 4. Aplicación Evaluación Ecuación IDF

TABLA DE APLICACIÓN							
Evaluación Ecuación Intensidad – Duración – Frecuencia							
DURACIÓN (Minutos)	PERIODOS DE RETORNOS (Años)						
	2	3	5	10	25	50	100
5	87,6	94,8	104,7	119,7	143	163,5	187
10	74,3	80,4	88,8	101,6	121,3	138,7	158,7
15	64,5	69,8	77,1	88,2	105,3	120,4	137,8
20	57	61,7	68,1	77,9	93	106,4	121,7
30	46,3	50	55,3	63,2	75,5	86,3	98,7
60	29,5	31,9	35,3	40,3	48,2	55,1	63
120	17,1	18,5	20,5	23,4	28	32	36,6
180	12,1	13,1	14,4	16,5	19,7	22,5	25,8
240	9,3	10,1	11,1	12,7	15,2	17,4	19,9
360	6,4	6,9	7,6	8,7	10,4	11,9	13,7

Fuente: Ideam. Evaluación de Precipitación de la Cuenca Villa Carmen.

**Nota:** Función de distribución de probabilidad aplicada para el ajuste de la información pluviográfica → **GUMBEL**

## 2.2. PROYECCIÓN DE POBLACIONAL

Los censos son la base en cualquier metodología en cuanto a la determinación de la proyección de población futura. Para este caso la entidad avalada por el estado es el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) fundada en 1953 que tiene como propósito la producción y difusión de investigaciones y estadísticas en aspectos industriales, económicos, agropecuarios, poblacionales y de calidad de vida encaminadas a soportar la toma de decisiones en ese país.

En la Tabla 5 se denota una breve reseña de los censos realizados hasta el momento en Cucaita, tanto en el casco urbano como en la parte rural. La información que solo tendremos encuentra será la de la cabecera.

Tabla 5. Censos De Cucaita

AÑO	ÁREA		
	TOTAL	CABECERA	RESTO
1985	3516	840	2676
1993	4031	980	3051
2005	4474	1577	2897

Fuente: Autores.

En existencia de varias metodologías, se realiza la aplicación de algunas de ellas las cuales serán descritas a continuación y luego se procede a realizar un promedio entre ellas y de este modo obtener el número de habitantes expuestos para diseño.

### 2.2.1. CRECIMIENTO LINEAL

Se aplica cuando se tiene un registro donde se denote que la población crece constantemente. Teniendo en cuenta los tres censos realizados en el municipio se puede implementar que:

$$P_f = P_{uc} + K_a(T_f - T_{uc})$$

En donde:

- $P_f$  = Población proyectada.
- $K_a$  = Promedio entre los censos.
- $P_{uc}$  = Población del último censo.
- $T_{uc}$  = Año del último censo.
- $T_f$  = Año de la proyección.

### 2.2.2. CRECIMIENTO GEOMÉTRICO

Este método es útil en poblaciones que muestran una actividad en su desarrollo en cuanto a la agricultura. El crecimiento geométrico cumple si el aumento de la población es proporcional al tamaño de la misma; la ecuación empleada es:

$$r = \left( \frac{P_{uc}}{T_{ci}} \right)^{\left( \frac{1}{T_{uc} - T_{ci}} \right)} - 1$$

En donde:

- $r$  = Tasa de crecimiento anual.

### 2.2.3. CRECIMIENTO LOGARÍTMICO

Se hace la implementación de este método cuando se tiene una población en crecimiento de una forma exponencial. Es decir:

$$P_f = P_{ci} * e^{\bar{k}_g(T_f - T_{ci})}$$

En donde:

- $K_g$  = Promedio entre los censos.

#### 2.2.4. CRECIMIENTO WAPPUS

Es válido mientras la expresión  $200 - i * (T_f - T_{ci})$  sea un valor positivo en la siguiente ecuación:

$$i = \frac{200 * (P_{uc} - P_{ci})}{(T_{uc} - T_{ci})(P_{uc} + P_{ic})}$$

- Población De Diseño: 5252 habitantes.

#### 2.3. PERIODO DE DISEÑO

El periodo de diseño fija las condiciones básicas del proyecto como la capacidad del diseño a atender la demanda futura, la densidad actual y la durabilidad de los materiales, equipos empleados y operación de la planta, este periodo depende del nivel de complejidad del sistema.

- Periodo de Diseño: 25 Años.

#### 2.4. NIVELES DE COMPLEJIDAD DEL SISTEMA

La clasificación del nivel de complejidad para el municipio se toma dependiendo del número de habitantes proyectados, de acuerdo con lo exigido por la RAS 2000 en la Tabla 6.

Tabla 6. Asignación Del Nivel De Complejidad

NIVEL DE COMPLEJIDAD	POBLACIÓN EN LA ZONA URBANA	CAPACIDAD ECONÓMICA DE LOS USUARIOS
Bajo	< 2500	Baja
Medio	2501 a 12500	Baja
Medio Alto	12501 a 60000	Media
Alto	> 60000	Alta

Fuente: (Ministerio De Vivienda, Ciudad y Territorio, 2000)

- Niveles De Complejidad Del Sistema: Medio

#### 2.5. DOTACIÓN NETA POR SUSCRIPTOR

En caso de que se cuente con el historial del consumo de agua potable, establecida por la RAS 2000.

- Dotación Neta: 90 L/s hab

## 2.6. DOTACIÓN BRUTA

La dotación bruta para el diseño de cada uno de los elementos que conforman un sistema de acueducto.

$$d_{bruta} = \frac{d_{neta}}{1 - \%p}$$

- d/bruta: 120 L/hab dia

## 2.7. DOTACIÓN NETA

En base a la RAS 2000 la dotación neta es la cantidad mínima requería para satisfacer las necesidades básicas de suscriptor al servicio, el cual determina la proyección de la población para que se pueda determinar el nivel de complejidad del sistema.

Tabla 7. Dotación Por Habitante Según El Nivel De Complejidad Del Sistema

NIVEL DE COMPLEJIDAD DEL SISTEMA	DOTACION NETA (L/hab*día) Cilma Templado y Frio	DOTACION NETA (L/hab*día) Caliente
Bajo	90	100
Medio	115	125
Medio Alto	125	135
Alto	140	150

Fuente: (Ministerio De Vivienda, Ciudad y Territorio, 2000)

- Dotación Neta: 115 L/s hab

## 2.8. CAUDAL DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS

Corresponde al consumo de aguas residuales domesticas para cada uno de los tramos. El cual se calcula de la siguiente manera:

$$Q_D = \frac{PF * d_{neta} * C_R}{86400}$$

- QD: 5,59 L/s

## 2.9. CAUDAL DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES

El consumo de agua industrial varía de acuerdo con el tipo y tamaño de la industria y los aportes de aguas residuales varían con el grado de recirculación

de aguas, los procesos de pretratamiento y tratamiento. El cual se calcula de la siguiente manera:

$$Q_I = C_I * \%Industrial$$

- QI: 2,34 L/s

## 2.10. CAUDAL DE AGUAS RESIDUALES COMERCIALES

Es el consumo de aguas residuales teniendo en cuenta zonas netamente comerciales del municipio. El cual se calcula de la siguiente manera:

$$Q_C = C_C * \%Comercial$$

- Qc: 10,95 L/s

## 2.11. CAUDAL DE AGUAS RESIDUALES INSTITUCIONALES

El consumo de agua de las diferentes instituciones varía de acuerdo con el tipo y tamaño de las mismas, dentro de las cuales pueden mencionarse escuelas, colegios y universidades, hospitales, hoteles, cárceles, etc. El cual se calcula de la siguiente manera:

$$Q_{IN} = C_{IN} * \%Institucional$$

- QIN: 3,96 L/s

## 2.12. CAUDAL MEDIO DIARIO

El caudal medio diario de aguas residuales corresponde a la suma de los aportes domésticos, industriales, comerciales e institucionales.

$$QMD = QD + QI + QC + QIN$$

Donde:

- QMD = Caudal medio diario.
- QD = Caudal aguas domésticas.
- QI = Caudal industrial.
- QIN = Caudal institucional

El caudal medio diario (QMD) debe ser estimado para las condiciones iniciales y finales de operación del sistema.

- QMD: 22,84 L/s

### 2.13. CAUDAL MÁXIMO HORARIO

Corresponde al consumo máximo durante una hora que se tiene en un año. El cual se calcula de la siguiente manera:

$$Q_{MH} = Q_{MD} * \frac{18 + \sqrt{PF}}{4 + \sqrt{PF}}$$

- QMH = 27,03 l/s

### 2.14. CAUDAL DE DISEÑO

Este caudal es el correspondiente a las contribuciones que llegan al punto de vertimiento municipal.

Las infiltraciones de aguas subterráneas y los aportes de agua lluvia al sistemas de alcantarillado, provenientes de malas conexiones de bajantes de tejados y patios Qce, fueron consideradas a través de la hectáreas del casco urbano del municipio de Cucaita, debido a que es la población de diseño para la cual se diseñara la optimización y la PTAR.

$$QD = Q_{INF} + Q_{CE} + Q_{MH}$$

- QDiseño = 42,88 l/s

### 3. MODELACIÓN DEL SISTEMA ACTUAL COMBINADO

El Municipio de Cucaita cuenta con un alcantarillado de tipo combinado el cual presenta conexiones domiciliarias y aportes de aguas lluvias; la mayor parte de la tubería está construida en concreto y una mínima parte en Gres.

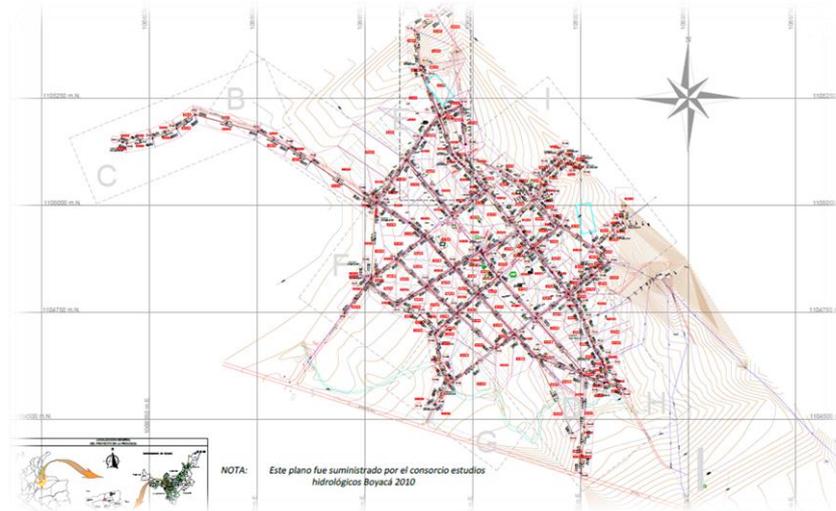


Ilustración 4. Vista General del Casco Urbano de Cucaita

#### 3.1. MODELACIÓN DEL SISTEMA ACTUAL COMBINADO

Para efectos de demostración del funcionamiento que presenta actualmente el municipio con lo que respecta al sistema combinado de manejo de aguas residuales y pluviales en su alcantarillado, información que se adquirió por medio de informes realizados en cuanto al manejo del alcantarillado.

A continuación, se hace la debida explicación con referencia a los cálculos del sistema existente (Ver Anexo A):

**Columna [2]:** Numeración del tramo.

**Columna [3]:** Área tributaria de propia (m<sup>2</sup>).

**Columna [4]:** Área tributaria acumulativa del área propia (m<sup>2</sup>).

**Columna [5]:** Área tributaria de propia (Ha).

**Columna [6]:** Área tributaria acumulativa del área propia (Ha).

**Columna [7]:** El máximo factor de mayoración se deberá tener en cuenta con lo respecta a la población servida. (RAS Tabla D.3.4)

→ **CAUDAL DE AGUAS NEGRAS**

**Columna [8]:** Caudal medio horario (l/s).

$$Q_{MH} = Q_{MDR} * F_{max}$$

**Columna [9]:** Caudal de aguas residuales por conexiones erradas (l/s).

$$Q_{CE} = Area\ Acumulada * Q_{Con.Cerrado}$$

**Columna [10]:** Caudal por infiltraciones (l/s).

$$Q_{INF} = Area\ Acumulada * Q_{INF}$$

**Columna [11]:** Caudal de diseño (l/s).

$$Q_{diseño} = Q_{MH} + Q_{CE} + Q_{INF}$$

**Columna [12]:** Caudal adoptado (l/s).

→ **CAUDAL DE AGUAS LLUVIAS**

**Columna [13]:** Velocidad supuesta. (m/s).

$$V_s = \alpha * \sqrt{Pendiente}$$

**Columna [14]:** La constante  $\alpha$  depende del tipo de suelo (RAS Tabla D.4.10) (m/s).

**Columna [15]:** Tipo de entrada (m).

$$Tiempo\ de\ Entrada = \frac{L}{60 * V_s}$$

**Columna [16]:** Tiempo de concentración asumida (min).

$$Tiem.\ Conc.\ Asum = 15 + \frac{L}{60 * V_o}$$

**Columna [17]:** Tiempo de tránsito (min).

$$Tiem.\ Transito = Tiempo\ de\ Entrada + Tiem.\ Conc.\ Asum$$

**Columna [18]:** Tiempo de retorno (Años). Dependiendo de la complejidad del sistema y la caracterización del drenaje. (RAS Tabla D.4.1).

**Columna [19]:** Intensidad de lluvias (mm/h).

$$i_T = \frac{K * T^m}{(d + d_o)^n}$$

**Columna [20]:** Coeficiente de impermeabilidad o escorrentía (RAS Tabla D.4.7).

**Columna [21]:** Caudal adoptado (l/s).

$$Q_{Adoptado} = C * i_T * Area\ Acumulada * 100/36$$

**Columna [22]:** Caudal de diseño (m<sup>3</sup>/s).

$$Q_{diseño} = 0,001 * \sum Q_{Adoptado}$$

**Columna [23]:** Longitud (m).

**Columna [24]:** Pendiente (%).

**Columna [25]:** Diámetro comercial (Pulgadas).

**Columna [26]:** Diámetro comercial (Depende del material de tubería en cada tramo).

**Columna [27]:** Diámetro exterior (mm).

**Columna [28]:** Diámetro interior (mm).

**Columna [29]:** Material en función al diámetro escogido para el diseño.

**Columna [30]:** n de Manning.

**Columna [31]:** Caudal tubo lleno (l/s).

$$Q_o = \frac{0,312 * \phi_{int}^{8/3} * \sqrt{Pen}}{n}$$

**Columna [32]:** Velocidad tubo lleno (m/s).

$$V_o = \frac{Q_o}{\frac{\pi}{4} * \theta^2}$$

**Columna [33]:**  $Q_{\text{diseño}}/Q$  por normatividad deberá estar por debajo de 0,85.

$$\frac{Q_{\text{diseño}}}{Q} = \frac{\sum Q_{\text{Adoptado}}}{Q_0}$$

**Columna [34]:** Si cumple con los parámetros  $Q_{\text{diseño}}/Q$ .

**Columna [35]:** Altura lámina de agua.

$$Y_c = 0,483 * (Q_{\text{Adoptado}} * g)^{2/3} + (0,083 * \theta_{\text{int}})$$

**Columna [36]:**  $Y/d$ .

$$Y/d = D/d * 0,8$$

**Columna [37]:** Relaciones hidráulicas conductos circulares.

$$V_r/V_0 = \text{Velocidad real de la tubería} / \text{Velocidad a tubo lleno}$$

**Columna [38]:** Relaciones hidráulicas conductos circulares.

$$D/d = \text{Diametro de la tubería} / \text{Lamina de agua}$$

**Columna [39]:** Relaciones hidráulicas conductos circulares.

$$R/R_0 = \text{Radio hidraulico al caudal de diseño} / \text{Radio hidraulico a tubo lleno}$$

**Columna [40]:** Profundidad de lámina de agua.

$$\text{Prof. Lam} = \theta_{\text{com}} * Y/d * 0,0254$$

**Columna [41]:** Radio hidráulico.

$$\text{Radio Hidraulico} = \frac{R/R_0 * (Pen * 0,0254)}{4}$$

**Columna [42]:** Tensión cortante ( $\text{N/m}^2$ ).

$$\text{Tension Cortante} = 9.810 * Pen * \text{Radio Hidraulico}$$

**Columna [43]:** Si cumple con los parámetros Tensión Cortante.

**Columna [44]:** Profundidad hidráulica.

$$\text{Prof. Hidraul} = \theta_{\text{com}} * (D/d * 0,0254)$$

**Columna [45]:** Velocidad real.

$$V_{real} = V_0 * Vr / V_0$$

**Columna [46]:** Si cumple con los parámetros  $V_{real}$ .

**Columna [47]:** Cabeza de velocidad.

$$Cabeza\ de\ velocidad = \frac{V_{real}^2}{2g}$$

**Columna [48]:** Energía específica.

$$Energía\ Especifica = Y/d + Cabeza\ de\ velocidad$$

**Columna [49]:** Numero de Froude.

$$Numero\ de\ Froude = \frac{0,319 * V_{real}}{Prof.\ Hidraul^{0,5}}$$

**Columna [50]:** Si cumple con los parámetros para el número de Froude.

**Columna [51]:** Numeración de cotas de terreno.

**Columna [52]:** Numeración de cotas clave.

**Columna [53]:** Numeración de cotas batea.

**Columna [54]:** Numeración de profundidad a clave.

Tabla 8. Análisis Del Alcantarillado Actual Combinado

1	2		33	34	45	46	50
INICIO	TRAMO		DISEÑO HIDRÁULICO		VREAL	CHEQUEO 0,45 m/s > 0,8 m/s	
	De	A	Qdiseño/Q < 0,85	Chequeo < 0,85			
1	MH9	1A	4,4	FALSO	1,08	CUMPLE	SUBCRITICO
2	1A	1B	3,5	FALSO	1,92	CUMPLE	SUPERCRITICO
3	1B	1C	9,1	FALSO	1,32	CUMPLE	CRITICO
4	1C	1D	6,2	FALSO	2,19	CUMPLE	SUPERCRITICO
5	1D	1	48,1	FALSO	1,23	CUMPLE	CRITICO
6	1	2A	39,3	FALSO	1,63	CUMPLE	SUPERCRITICO
7	2A	2	3,7	FALSO	3,82	CUMPLE	SUPERCRITICO
8	2	3	11,3	FALSO	1,37	CUMPLE	SUBCRITICO
9	3	3A	9,1	FALSO	2,01	CUMPLE	CRITICO
10	3A	4	9,2	FALSO	4,07	CUMPLE	SUPERCRITICO
11	4	50A	10,9	FALSO	3,45	CUMPLE	SUPERCRITICO
12	50A	50	15,6	FALSO	2,45	CUMPLE	SUPERCRITICO
13	50	50B	23,5	FALSO	1,14	CUMPLE	SUBCRITICO
14	50B	51	9,0	FALSO	3,03	CUMPLE	SUPERCRITICO
15	51	52	12,1	FALSO	2,26	CUMPLE	CRITICO
16	52	53	20,5	FALSO	1,36	CUMPLE	SUBCRITICO
17	53	54	15,9	FALSO	1,77	CUMPLE	SUBCRITICO
18	54	55	11,1	FALSO	2,57	CUMPLE	CRITICO
19	55	0F-1	3,3	FALSO	8,84	CUMPLE	SUPERCRITICO
8	100	101	1,8	FALSO	1,58	CUMPLE	SUPERCRITICO
9	101	12_B	1,7	FALSO	2,70	CUMPLE	SUPERCRITICO
10	12_B	1	11,8	FALSO	3,07	CUMPLE	SUPERCRITICO
11	99	15	0,5	CUMPLE	1,32	CUMPLE	SUPERCRITICO
12	15	16	6,7	FALSO	1,61	CUMPLE	SUPERCRITICO
13	16	10	11,8	FALSO	1,23	CUMPLE	CRITICO
14	10	MH-38	13,5	FALSO	1,54	CUMPLE	SUPERCRITICO
15	MH-38	11	14,2	FALSO	1,66	CUMPLE	SUPERCRITICO
16	11	12	9,6	FALSO	2,69	CUMPLE	SUPERCRITICO
17	12	12-A	12,8	FALSO	2,11	CUMPLE	SUPERCRITICO
18	12-A	12B	29,0	FALSO	1,05	CUMPLE	SUBCRITICO
19	13	14	0,6	CUMPLE	2,23	CUMPLE	SUPERCRITICO
20	14	15	1,0	FALSO	2,44	CUMPLE	SUPERCRITICO
21	15-H	15-F	0,3	CUMPLE	1,31	CUMPLE	SUPERCRITICO
22	15-F	15-C	0,9	FALSO	1,44	CUMPLE	SUPERCRITICO
23	15-C	15-C1	0,9	FALSO	1,40	CUMPLE	SUPERCRITICO
24	15-C1	15-A	0,9	FALSO	1,37	CUMPLE	SUPERCRITICO
25	15-A	15-B	0,9	FALSO	1,33	CUMPLE	SUPERCRITICO
26	15-B	15	0,9	FALSO	1,30	CUMPLE	SUPERCRITICO
27	10	9	0,5	CUMPLE	1,69	CUMPLE	SUPERCRITICO
28	9	7	1,1	FALSO	1,72	CUMPLE	SUPERCRITICO
29	7	8	1,1	FALSO	0,74	CUMPLE	SUPERCRITICO
30	8	2	1,1	FALSO	0,54	CUMPLE	SUPERCRITICO
31	59	58	0,4	CUMPLE	2,55	CUMPLE	SUPERCRITICO
32	58	57	0,5	FALSO	0,93	CUMPLE	SUPERCRITICO
33	57	56	0,5	FALSO	0,91	CUMPLE	SUPERCRITICO
34	56	38	0,5	FALSO	0,88	CUMPLE	SUPERCRITICO
35	38	25-A	0,5	FALSO	1,02	CUMPLE	SUPERCRITICO
36	25-A	25	0,5	FALSO	1,57	CUMPLE	SUPERCRITICO
37	25	17	0,5	FALSO	1,53	CUMPLE	SUPERCRITICO
38	17	18-A	0,5	FALSO	1,49	CUMPLE	SUPERCRITICO
39	18-A	19	0,5	FALSO	1,47	CUMPLE	SUPERCRITICO
40	19	18	0,5	FALSO	1,44	CUMPLE	SUPERCRITICO
41	18	6-A	0,5	FALSO	1,41	CUMPLE	SUPERCRITICO
42	6-A	20-A	0,5	FALSO	1,38	CUMPLE	SUPERCRITICO
43	20-A	24	0,5	FALSO	0,51	CUMPLE	SUPERCRITICO
44	24	23	0,5	FALSO	1,11	CUMPLE	SUPERCRITICO
45	23	23-A	0,5	FALSO	1,31	CUMPLE	SUPERCRITICO
46	23-A	4	0,5	FALSO	0,57	CUMPLE	SUPERCRITICO
47	26	25	4,0	FALSO	0,46	CUMPLE	SUBCRITICO

1	2		33	34	45	46	50
INICIO	TRAMO		DISEÑO HIDRÁULICO		VREAL	CHEQUEO 0,45 m/s > 0,8 m/s	
	De	A	Qdiseño/Q < 0,85	Chequeo < 0,85			
48	46	45-A	0,0	CUMPLE	1,57	CUMPLE	SUPERCRITICO
49	45-A	45	0,0	CUMPLE	0,46	CUMPLE	CRITICO
50	45	44	0,0	CUMPLE	0,50	CUMPLE	CRITICO
51	44	43	0,0	CUMPLE	0,63	CUMPLE	SUPERCRITICO
52	43	42	0,0	CUMPLE	0,58	CUMPLE	SUPERCRITICO
53	42	41	0,0	CUMPLE	0,74	CUMPLE	SUPERCRITICO
54	41	40	0,0	CUMPLE	0,62	CUMPLE	SUPERCRITICO
55	40	39	0,0	CUMPLE	0,44	FALSO	CRITICO
56	39	35	0,0	CUMPLE	0,54	CUMPLE	SUPERCRITICO
57	35	37	0,0	CUMPLE	0,54	CUMPLE	SUPERCRITICO
58	37	25-A	0,0	CUMPLE	0,59	CUMPLE	SUPERCRITICO
59	56	56-A	0,9	FALSO	1,71	CUMPLE	SUPERCRITICO
60	56-A	36-A	2,5	FALSO	2,37	CUMPLE	SUPERCRITICO
61	36-A	36	1,4	FALSO	2,71	CUMPLE	SUPERCRITICO
62	36	35-A	2,3	FALSO	2,21	CUMPLE	SUPERCRITICO
63	35-A	35	2,3	FALSO	2,49	CUMPLE	SUPERCRITICO
64	35	34	5,1	FALSO	1,52	CUMPLE	CRITICO
65	34	27	9,7	FALSO	2,06	CUMPLE	SUPERCRITICO
66	27	18-A	10,9	FALSO	2,07	CUMPLE	SUPERCRITICO
67	49	22	2,1	FALSO	0,80	CUMPLE	SUBCRITICO
68	22	23	1,4	FALSO	2,02	CUMPLE	SUPERCRITICO
69	46	47	1,4	FALSO	1,95	CUMPLE	SUPERCRITICO
70	47	33-A	11,9	FALSO	1,19	CUMPLE	SUBCRITICO
71	33-A	33	5,2	FALSO	3,84	CUMPLE	SUPERCRITICO
72	33	28	11,7	FALSO	2,15	CUMPLE	SUPERCRITICO
73	28	6-A	14,6	FALSO	1,91	CUMPLE	SUPERCRITICO
74	47-D	47-C	0,8	CUMPLE	1,59	CUMPLE	SUPERCRITICO
75	47-C	47-B	2,0	FALSO	1,68	CUMPLE	SUPERCRITICO
76	47-B	47	4,0	FALSO	1,68	CUMPLE	SUPERCRITICO
77	47-A	33-A	12,0	FALSO	0,30	FALSO	SUBCRITICO
78	6-A	6	1,4	FALSO	2,33	CUMPLE	SUPERCRITICO
79	6	5	0,8	CUMPLE	3,11	CUMPLE	SUPERCRITICO
80	5	3-A	1,9	FALSO	2,11	CUMPLE	SUPERCRITICO
81	47	34	1,6	FALSO	2,63	CUMPLE	SUPERCRITICO
82	47-E	47	0,4	CUMPLE	0,17	FALSO	SUBCRITICO
83	38	38-A	0,3	CUMPLE	1,89	CUMPLE	SUPERCRITICO
84	38-A	15	0,9	FALSO	2,92	CUMPLE	SUPERCRITICO
85	33	32	1,3	FALSO	1,51	CUMPLE	SUPERCRITICO
86	32	29	3,3	FALSO	1,47	CUMPLE	CRITICO
87	29	29-B	5,8	FALSO	1,98	CUMPLE	SUPERCRITICO
88	29-B	21-B	40,5	FALSO	0,48	CUMPLE	SUBCRITICO
89	21-B	21	8,0	FALSO	2,22	CUMPLE	SUPERCRITICO
90	21	22	4,7	FALSO	1,92	CUMPLE	SUPERCRITICO
91	28	29	0,9	FALSO	1,69	CUMPLE	SUPERCRITICO
92	29	20-A	0,6	CUMPLE	2,23	CUMPLE	SUPERCRITICO
93	110	48	0,0	CUMPLE	1,17	CUMPLE	SUPERCRITICO
94	48	30-A	1,1	FALSO	1,30	CUMPLE	CRITICO
95	30-A	30-B	1,6	FALSO	1,39	CUMPLE	CRITICO
96	30-B	29-C	1,5	FALSO	1,90	CUMPLE	SUPERCRITICO
97	29-C	29-B	1,1	FALSO	3,30	CUMPLE	SUPERCRITICO
98	31	30	3,4	FALSO	1,87	CUMPLE	SUPERCRITICO
99	30	30-A	3,2	FALSO	2,08	CUMPLE	SUPERCRITICO

Fuente: Autores.

De acuerdo a los datos suministrados se hace la evaluación del funcionamiento actual en el sistema con respecto a la proyección poblacional para poder determinar los caudales residuales y pluviales.

Lo cual nos determina la falencia con la que trabaja el sistema con tubo lleno y sin cumplir el criterio de diseño a tensión cortante.

### 3.2. MODELACIÓN DEL SISTEMA ACTUAL PLUVIAL

Partiendo de la suposición de si el alcantarillado actual funcionara explícitamente para temas de manejo de agua pluvial se realiza su respectivo análisis.

A continuación, se hace la debida explicación con referencia a los cálculos del sistema existente (Ver Anexo B):

**Columna [2]:** Numeración del tramo.

**Columna [3]:** Área tributaria de propia (m<sup>2</sup>).

**Columna [4]:** Área tributaria acumulativa del área propia (m<sup>2</sup>).

**Columna [5]:** Área tributaria de propia (Ha).

**Columna [6]:** Área tributaria acumulativa del área propia (Ha).

#### → CAUDAL DE AGUAS LLUVIAS

**Columna [7]:** Velocidad supuesta. (m/s).

$$Vs = \alpha * \sqrt{Pendiente}$$

**Columna [8]:** La constante  $\alpha$  depende del tipo de suelo (RAS Tabla D.4.10) (m/s).

**Columna [9]:** Tipo de entrada (m).

$$Tiempo\ de\ Entrada = \frac{L}{60 * Vs}$$

**Columna [10]:** Tiempo de concentración asumida (min).

$$Tiem.\ Conc.\ Asum = 15 + \frac{L}{60 * Vo}$$

**Columna [11]:** Tiempo de tránsito (min).

$$Tiem.\ Transito = Tiempo\ de\ Entrada + Tiem.\ Conc.\ Asum$$

**Columna [12]:** Tiempo de retorno (Años). Dependiendo de la complejidad del sistema y la caracterización del drenaje. (RAS Tabla D.4.1).

**Columna [13]:** Intensidad de lluvias (mm/h).

$$i_T = \frac{K * T^m}{(d + d_o)^n}$$

**Columna [14]:** Coeficiente de impermeabilidad o escorrentía (RAS Tabla D.4.7).

**Columna [15]:** Caudal adoptado (l/s).

$$Q_{Adoptado} = C * i_T * Area\ Acumulada * 100/36$$

**Columna [16]:** Caudal de diseño (m<sup>3</sup>/s).

$$Q_{diseño} = 0,001 * Q_{Adoptado}$$

**Columna [17]:** Longitud (m).

**Columna [18]:** Pendiente (%).

**Columna [19]:** Diámetro comercial (Pulgadas).

**Columna [20]:** Diámetro comercial (Depende del material de tubería en cada tramo).

**Columna [21]:** Diámetro exterior (mm).

**Columna [22]:** Diámetro interior (mm).

**Columna [23]:** Material en función al diámetro escogido para el diseño.

**Columna [24]:** n de Manning.

**Columna [25]:** Caudal tubo lleno (l/s).

$$Q_o = \frac{0,312 * \phi_{int}^{8/3} * \sqrt{Pen}}{n}$$

**Columna [26]:** Velocidad tubo lleno (m/s).

$$V_o = \frac{Q_o}{\frac{\pi}{4} * \theta^2}$$

**Columna [27]:** Qdiseño/Q por normatividad deberá estar por debajo de 0,85.

$$\frac{Q_{diseño}}{Q} = \frac{Q_{Adoptado}}{Q_o}$$

**Columna [28]:** Si cumple con los parámetros  $Q_{\text{diseño}}/Q$ .

**Columna [29]:**  $Y/d$ .

$$Y/d = D/d * 0,8$$

**Columna [30]:** Relaciones hidráulicas conductos circulares.

$$V_r/V_o = \text{Velocidad real de la tubería} / \text{Velocidad a tubo lleno}$$

**Columna [31]:** Relaciones hidráulicas conductos circulares.

$$D/d = \text{Diametro de la tubería} / \text{Lamina de agua}$$

**Columna [32]:** Relaciones hidráulicas conductos circulares.

$$R/R_o = \text{Radio hidraulico al caudal de diseño} / \text{Radio hidraulico a tubo lleno}$$

**Columna [33]:** Profundidad de lámina de agua.

$$\text{Prof. Lam} = \theta_{\text{com}} * Y/d * 0,0254$$

**Columna [34]:** Radio hidráulico.

$$\text{Radio Hidraulico} = \frac{R/R_o * (Pen * 0,0254)}{4}$$

**Columna [35]:** Tensión cortante ( $N/m^2$ ).

$$\text{Tension Cortante} = 9.810 * Pen * \text{Radio Hidraulico}$$

**Columna [36]:** Si cumple con los parámetros Tensión Cortante.

**Columna [37]:** Profundidad hidráulica.

$$\text{Prof. Hidraul} = \theta_{\text{com}} * (D/d * 0,0254)$$

**Columna [38]:** Velocidad real.

$$V_{\text{real}} = V_o * V_r/V_o$$

**Columna [39]:** Si cumple con los parámetros  $V_{\text{real}}$ .

**Columna [40]:** Cabeza de velocidad.

$$\text{Cabeza de velocidad} = \frac{V_{real}^2}{2g}$$

**Columna [41]:** Numero de Froude.

$$\text{Numero de Froude} = \frac{0,319 * V_{real}}{\text{Prof. Hidraul}^{0,5}}$$

**Columna [42]:** Si cumple con los parámetros para el numero de Froude.

**Columna [43]:** Numeración de cotas de terreno.

**Columna [44]:** Numeración de cotas clave.

**Columna [45]:** Numeración de cotas batea.

**Columna [46]:** Numeración de profundidad a clave.

Tabla 9. Análisis Del Alcantarillado Actual Pluvial

1	2		27	28	38	39	42
Inicio	TRAMO		DISEÑO HIDRÁULICO		VREAL	CHEQUEO 0,45 m/s > 0,8 m/s	
	De	A	Qdiseño/Q < 0,85	Chequeo < 0,85			
1	MH9	1A	2,04	FALSO	1,08	CUMPLE	SUBCRITICO
2	1A	1B	2,12	FALSO	1,92	CUMPLE	SUPERCRITICO
3	1B	1C	5,49	FALSO	1,32	CUMPLE	CRITICO
4	1C	1D	3,82	FALSO	2,19	CUMPLE	SUPERCRITICO
5	1D	1	31,05	FALSO	1,23	CUMPLE	CRITICO
6	1	2A	25,56	FALSO	1,63	CUMPLE	SUPERCRITICO
7	2A	2	2,45	FALSO	3,82	CUMPLE	SUPERCRITICO
8	2	3	7,37	FALSO	1,37	CUMPLE	SUBCRITICO
9	3	3A	5,95	FALSO	2,01	CUMPLE	CRITICO
10	3A	4	6,04	FALSO	4,07	CUMPLE	SUPERCRITICO
11	4	50A	7,12	FALSO	3,45	CUMPLE	SUPERCRITICO
12	50A	50	10,11	FALSO	2,45	CUMPLE	SUPERCRITICO
13	50	50B	15,26	FALSO	1,14	CUMPLE	SUBCRITICO
14	50B	51	5,88	FALSO	3,03	CUMPLE	SUPERCRITICO
15	51	52	7,84	FALSO	2,26	CUMPLE	CRITICO
16	52	53	13,37	FALSO	1,36	CUMPLE	SUBCRITICO
17	53	54	10,39	FALSO	1,77	CUMPLE	SUBCRITICO
18	54	55	7,25	FALSO	2,57	CUMPLE	CRITICO
19	55	0F-1	2,15	FALSO	8,84	CUMPLE	SUPERCRITICO
8	100	101	1,10	FALSO	1,58	CUMPLE	SUPERCRITICO
9	101	12_B	1,02	FALSO	2,70	CUMPLE	SUPERCRITICO
10	12_B	1	7,66	FALSO	3,07	CUMPLE	SUPERCRITICO
11	99	15	0,33	CUMPLE	1,12	CUMPLE	SUPERCRITICO
12	15	16	4,05	FALSO	1,61	CUMPLE	SUPERCRITICO
13	16	10	7,23	FALSO	1,23	CUMPLE	CRITICO
14	10	MH-38	8,67	FALSO	1,54	CUMPLE	SUPERCRITICO
15	MH-38	11	9,04	FALSO	1,66	CUMPLE	SUPERCRITICO
16	11	12	6,18	FALSO	2,69	CUMPLE	SUPERCRITICO
17	12	12-A	8,27	FALSO	2,11	CUMPLE	SUPERCRITICO
18	12-A	12B	18,42	FALSO	1,05	CUMPLE	SUBCRITICO
19	13	14	0,34	CUMPLE	1,91	CUMPLE	SUPERCRITICO
20	14	15	0,19	CUMPLE	1,49	CUMPLE	SUPERCRITICO
21	15-H	15-F	0,18	CUMPLE	1,14	CUMPLE	SUPERCRITICO
22	15-F	15-C	0,36	CUMPLE	1,43	CUMPLE	SUPERCRITICO
23	15-C	15-C1	0,63	CUMPLE	1,16	CUMPLE	CRITICO
24	15-C1	15-A	0,75	CUMPLE	0,00	FALSO	SUPERCRITICO
25	15-A	15-B	0,78	CUMPLE	0,00	FALSO	SUPERCRITICO
26	15-B	15	0,98	FALSO	0,00	FALSO	SUPERCRITICO
27	10	9	0,32	CUMPLE	1,44	CUMPLE	SUPERCRITICO
28	9	7	0,86	FALSO	1,72	CUMPLE	SUPERCRITICO
29	7	8	0,86	FALSO	0,74	CUMPLE	SUPERCRITICO
30	8	2	0,86	FALSO	0,54	CUMPLE	SUPERCRITICO
31	59	58	0,26	CUMPLE	2,20	CUMPLE	SUPERCRITICO
32	58	57	0,29	CUMPLE	0,93	CUMPLE	SUPERCRITICO
33	57	56	0,29	CUMPLE	0,91	CUMPLE	SUPERCRITICO
34	56	38	0,29	CUMPLE	0,88	CUMPLE	SUPERCRITICO
35	38	25-A	0,29	CUMPLE	1,02	CUMPLE	SUPERCRITICO
36	25-A	25	0,29	CUMPLE	1,57	CUMPLE	SUPERCRITICO
37	25	17	0,29	CUMPLE	1,53	CUMPLE	SUPERCRITICO
38	17	18-A	0,29	CUMPLE	1,49	CUMPLE	SUPERCRITICO
39	18-A	19	0,29	CUMPLE	1,47	CUMPLE	SUPERCRITICO
40	19	18	0,29	CUMPLE	1,44	CUMPLE	SUPERCRITICO
41	18	6-A	0,29	CUMPLE	1,41	CUMPLE	SUPERCRITICO
42	6-A	20-A	0,29	CUMPLE	1,38	CUMPLE	SUPERCRITICO
43	20-A	24	0,29	CUMPLE	0,51	CUMPLE	SUPERCRITICO
44	24	23	0,29	CUMPLE	1,11	CUMPLE	SUPERCRITICO
45	23	23-A	0,29	CUMPLE	1,31	CUMPLE	SUPERCRITICO
46	23-A	4	0,29	CUMPLE	0,57	CUMPLE	SUPERCRITICO
47	26	25	2,32	FALSO	0,46	CUMPLE	SUBCRITICO

1	2		27	28	38	39	42
Inicio	TRAMO		DISEÑO HIDRÁULICO		VREAL	CHEQUEO 0,45 m/s > 0,8 m/s	
	De	A	Qdiseño/Q < 0,85	Chequeo < 0,85			
48	46	45-A	0,01	CUMPLE	1,57	CUMPLE	SUPERCRITICO
49	45-A	45	0,33	CUMPLE	1,17	CUMPLE	SUPERCRITICO
50	45	44	0,56	CUMPLE	1,50	CUMPLE	SUPERCRITICO
51	44	43	0,60	CUMPLE	1,93	CUMPLE	SUPERCRITICO
52	43	42	1,01	FALSO	2,08	CUMPLE	SUPERCRITICO
53	42	41	1,13	FALSO	2,64	CUMPLE	SUPERCRITICO
54	41	40	2,16	FALSO	2,19	CUMPLE	SUPERCRITICO
55	40	39	4,73	FALSO	1,59	CUMPLE	SUPERCRITICO
56	39	35	4,18	FALSO	1,91	CUMPLE	SUPERCRITICO
57	35	37	4,77	FALSO	1,94	CUMPLE	SUPERCRITICO
58	37	25-A	5,17	FALSO	2,10	CUMPLE	SUPERCRITICO
59	56	56-A	0,52	CUMPLE	1,46	CUMPLE	SUPERCRITICO
60	56-A	36-A	1,50	FALSO	2,37	CUMPLE	SUPERCRITICO
61	36-A	36	0,86	FALSO	2,61	CUMPLE	SUPERCRITICO
62	36	35-A	1,38	FALSO	2,21	CUMPLE	SUPERCRITICO
63	35-A	35	1,36	FALSO	2,49	CUMPLE	SUPERCRITICO
64	35	34	3,05	FALSO	1,52	CUMPLE	SUPERCRITICO
65	34	27	6,25	FALSO	2,06	CUMPLE	SUPERCRITICO
66	27	18-A	7,03	FALSO	2,07	CUMPLE	SUPERCRITICO
67	49	22	1,27	FALSO	0,80	CUMPLE	SUBCRITICO
68	22	23	0,84	CUMPLE	1,93	CUMPLE	SUPERCRITICO
69	46	47	0,85	CUMPLE	1,87	CUMPLE	SUPERCRITICO
70	47	33-A	7,14	FALSO	1,19	CUMPLE	SUBCRITICO
71	33-A	33	3,35	FALSO	3,84	CUMPLE	SUPERCRITICO
72	33	28	7,50	FALSO	2,15	CUMPLE	SUPERCRITICO
73	28	6-A	9,37	FALSO	1,91	CUMPLE	SUPERCRITICO
74	47-D	47-C	0,48	CUMPLE	1,36	CUMPLE	SUPERCRITICO
75	47-C	47-B	1,22	FALSO	1,68	CUMPLE	SUPERCRITICO
76	47-B	47	2,42	FALSO	1,68	CUMPLE	SUPERCRITICO
77	47-A	33-A	7,05	FALSO	0,30	FALSO	SUBCRITICO
78	6-A	6	0,81	CUMPLE	2,21	CUMPLE	SUPERCRITICO
79	6	5	0,51	CUMPLE	2,65	CUMPLE	SUPERCRITICO
80	5	3-A	1,17	FALSO	2,11	CUMPLE	SUPERCRITICO
81	47	34	0,96	FALSO	2,61	CUMPLE	SUPERCRITICO
82	47-E	47	0,15	CUMPLE	0,13	FALSO	SUBCRITICO
83	38	38-A	0,18	CUMPLE	1,66	CUMPLE	SUPERCRITICO
84	38-A	15	0,57	CUMPLE	2,50	CUMPLE	SUPERCRITICO
85	33	32	0,78	CUMPLE	1,41	CUMPLE	SUPERCRITICO
86	32	29	1,97	FALSO	1,47	CUMPLE	SUBCRITICO
87	29	29-B	3,77	FALSO	1,98	CUMPLE	SUPERCRITICO
88	29-B	21-B	26,11	FALSO	0,48	CUMPLE	SUBCRITICO
89	21-B	21	5,20	FALSO	2,22	CUMPLE	SUPERCRITICO
90	21	22	3,06	FALSO	1,92	CUMPLE	SUPERCRITICO
91	28	29	0,56	CUMPLE	1,44	CUMPLE	SUPERCRITICO
92	29	20-A	0,34	CUMPLE	1,92	CUMPLE	SUPERCRITICO
93	110	48	0,01	CUMPLE	0,95	CUMPLE	SUPERCRITICO
94	48	30-A	0,69	CUMPLE	1,17	CUMPLE	SUPERCRITICO
95	30-A	30-B	0,95	FALSO	1,38	CUMPLE	SUPERCRITICO
96	30-B	29-C	0,91	FALSO	1,86	CUMPLE	SUPERCRITICO
97	29-C	29-B	0,64	CUMPLE	2,90	CUMPLE	SUPERCRITICO
98	31	30	2,05	FALSO	1,87	CUMPLE	SUPERCRITICO
99	30	30-A	1,94	FALSO	2,08	CUMPLE	SUPERCRITICO

Fuente: Autores.

De acuerdo a la modelación que se realiza con los datos suministrados en función del manejo de aguas pluviales. Podemos determinar que el sistema actual no supe las necesidades.

### 3.3. MODELACIÓN DEL SISTEMA ACTUAL RESIDUAL

Partiendo de la suposición de si el alcantarillado actual funcionara explícitamente para temas de manejo de aguas residuales, se realiza su respectivo análisis.

A continuación, se hace la debida explicación con referencia a los cálculos del sistema existente (Ver Anexo C):

**Columna [2]:** Numeración del tramo.

**Columna [3]:** Área tributaria de propia (m<sup>2</sup>).

**Columna [4]:** Área tributaria acumulativa del área propia (m<sup>2</sup>).

**Columna [5]:** Área tributaria de propia (Ha).

**Columna [6]:** Área tributaria acumulativa del área propia (Ha).

**Columna [7]:** El máximo factor de mayoración se deberá tener en cuenta con lo respecta a la población servida. (RAS Tabla D.3.4)

#### → CAUDAL DE AGUAS NEGRAS

**Columna [8]:** Caudal medio horario (l/s).

$$Q_{MH} = Q_{MDR} * F_{max}$$

**Columna [9]:** Caudal de aguas residuales por conexiones erradas (l/s).

$$Q_{CE} = Area\ Acumulada * Q_{Con.Cerrado}$$

**Columna [10]:** Caudal por infiltraciones (l/s).

$$Q_{INF} = Area\ Acumulada * Q_{INF}$$

**Columna [11]:** Caudal de diseño (l/s).

$$Q_{diseño} = Q_{MH} + Q_{CE} + Q_{INF}$$

**Columna [12]:** Caudal adoptado (l/s).

**Columna [13]:** Caudal de diseño (m<sup>3</sup>/s).

$$Q_{diseño} = 0,001 * Q_{Adoptado}$$

**Columna [14]:** Longitud (m).

**Columna [15]:** Pendiente (%).

**Columna [16]:** Diámetro comercial (Pulgadas).

**Columna [17]:** Diámetro comercial (Depende del material de tubería).

**Columna [18]:** Diámetro exterior (mm).

**Columna [19]:** Diámetro interior (mm).

**Columna [20]:** Material en función al diámetro escogido para el diseño.

**Columna [21]:** n de Manning.

**Columna [22]:** Caudal tubo lleno (l/s).

$$Q_o = \frac{0,312 * \phi_{int}^{8/3} * \sqrt{Pen}}{n}$$

**Columna [23]:** Velocidad tubo lleno (m/s).

$$V_o = \frac{Q_o}{\frac{\pi}{4} * \theta^2}$$

**Columna [24]:** Qdiseño/Q por normatividad deberá estar por debajo de 0,85.

$$\frac{Q_{diseño}}{Q} = \frac{Q_{Adoptado}}{Q_o}$$

**Columna [25]:** Si cumple con los parámetros Qdiseño/Q.

**Columna [26]:** Y/d.

$$Y/d = D/d * 0,8$$

**Columna [27]:** Relaciones hidráulicas conductos circulares.

$$V_r/V_o = \text{Velocidad real de la tubería} / \text{Velocidad a tubo lleno}$$

**Columna [28]:** Relaciones hidráulicas conductos circulares.

$$D/d = \text{Diametro de la tubería} / \text{Lamina de agua}$$

**Columna [29]:** Relaciones hidráulicas conductos circulares.

$$R/R_o = \text{Radio hidraulico al caudal de diseño} / \text{Radio hidraulico a tubo lleno}$$

**Columna [30]:** Profundidad de lámina de agua.

$$\text{Prof. Lam} = \theta_{com} * y/d * 0,0254$$

**Columna [31]:** Radio hidráulico.

$$\text{Radio Hidraulico} = \frac{R/R_o * (Pen * 0,0254)}{4}$$

**Columna [32]:** Tensión cortante (N/m<sup>2</sup>).

$$\text{Tension Cortante} = 9.810 * Pen * \text{Radio Hidraulico}$$

**Columna [33]:** Si cumple con los parámetros Tensión Cortante.

**Columna [34]:** Profundidad hidráulica.

$$\text{Prof. Hidraul} = \theta_{com} * (D/d * 0,0254)$$

**Columna [35]:** Velocidad real.

$$V_{real} = V_o * V_r/V_o$$

**Columna [36]:** Si cumple con los parámetros  $V_{real}$ .

**Columna [37]:** Cabeza de velocidad.

$$\text{Cabeza de velocidad} = \frac{V_{real}^2}{2g}$$

**Columna [38]:** Numero de Froude.

$$\text{Numero de Froude} = \frac{0,319 * V_{real}}{\text{Prof. Hidraul}^{0,5}}$$

**Columna [39]:** Si cumple con los parámetros para el nuero de Froude.

**Columna [40]:** Numeración de cotas de terreno.

**Columna [41]:** Numeración de cotas clave.

**Columna [42]:** Numeración de cotas batea.

**Columna [43]:** Numeración de profundidad a clave.

Tabla 10. Análisis Del Alcantarillado Actual Residual

1	2		24	25	35	36	39
Inicio	TRAMO		DISEÑO HIDRÁULICO		VREAL	CHEQUEO 0,45 m/s > 0,8 m/s	
	De	A	Qdiseño/Q < 0,85	Chequeo < 0,85			
1	MH9	1A	0,51	CUMPLE	0,88	CUMPLE	SUBCRITICO
2	1A	1B	0,52	CUMPLE	1,58	CUMPLE	SUPERCRITICO
3	1B	1C	1,38	FALSO	1,32	CUMPLE	SUBCRITICO
4	1C	1D	0,93	FALSO	2,16	CUMPLE	SUPERCRITICO
5	1D	1	6,59	FALSO	1,23	CUMPLE	SUBCRITICO
6	1	2A	5,31	FALSO	1,63	CUMPLE	SUPERCRITICO
7	2A	2	0,50	CUMPLE	3,12	CUMPLE	SUPERCRITICO
8	2	3	1,54	FALSO	1,37	CUMPLE	SUBCRITICO
9	3	3A	1,23	FALSO	2,01	CUMPLE	SUBCRITICO
10	3A	4	1,24	FALSO	4,07	CUMPLE	SUPERCRITICO
11	4	50A	1,47	FALSO	3,45	CUMPLE	SUPERCRITICO
12	50A	50	2,15	FALSO	2,45	CUMPLE	SUPERCRITICO
13	50	50B	3,23	FALSO	1,14	CUMPLE	SUBCRITICO
14	50B	51	1,22	FALSO	3,03	CUMPLE	SUPERCRITICO
15	51	52	1,67	FALSO	2,26	CUMPLE	SUBCRITICO
16	52	53	2,80	FALSO	1,36	CUMPLE	SUBCRITICO
17	53	54	2,17	FALSO	1,77	CUMPLE	SUBCRITICO
18	54	55	1,51	FALSO	2,57	CUMPLE	SUPERCRITICO
19	55	0F-1	0,44	CUMPLE	6,87	CUMPLE	SUPERCRITICO
8	100	101	0,74	CUMPLE	1,45	CUMPLE	SUPERCRITICO
9	101	12_B	0,67	CUMPLE	2,41	CUMPLE	SUPERCRITICO
10	12_B	1	4,18	FALSO	3,07	CUMPLE	SUPERCRITICO
11	99	15	0,09	CUMPLE	0,76	CUMPLE	SUPERCRITICO
12	15	16	1,10	FALSO	1,61	CUMPLE	SUPERCRITICO
13	16	10	1,85	FALSO	1,23	CUMPLE	SUBCRITICO
14	10	MH-38	1,96	FALSO	1,54	CUMPLE	SUPERCRITICO
15	MH-38	11	2,13	FALSO	1,66	CUMPLE	SUPERCRITICO
16	11	12	1,38	FALSO	2,69	CUMPLE	SUPERCRITICO
17	12	12-A	1,85	FALSO	2,11	CUMPLE	SUPERCRITICO
18	12-A	12B	4,31	FALSO	1,05	CUMPLE	SUBCRITICO
19	13	14	0,23	CUMPLE	1,70	CUMPLE	SUPERCRITICO
20	14	15	0,42	CUMPLE	1,88	CUMPLE	SUPERCRITICO
21	15-H	15-F	0,05	CUMPLE	0,77	CUMPLE	SUPERCRITICO
22	15-F	15-C	0,10	CUMPLE	0,00	FALSO	SUBCRITICO
23	15-C	15-C1	0,17	CUMPLE	0,00	FALSO	SUBCRITICO
24	15-C1	15-A	0,15	CUMPLE	0,00	FALSO	SUBCRITICO
25	15-A	15-B	0,14	CUMPLE	0,00	FALSO	SUBCRITICO
26	15-B	15	0,16	CUMPLE	0,00	FALSO	SUBCRITICO
27	10	9	0,09	CUMPLE	0,99	CUMPLE	SUPERCRITICO
28	9	7	0,44	CUMPLE	0,00	FALSO	SUBCRITICO
29	7	8	0,30	CUMPLE	0,00	FALSO	SUBCRITICO
30	8	2	0,52	CUMPLE	0,00	FALSO	SUBCRITICO
31	59	58	0,07	CUMPLE	1,50	CUMPLE	SUPERCRITICO
32	58	57	0,06	CUMPLE	0,00	FALSO	SUBCRITICO
33	57	56	0,14	CUMPLE	0,00	FALSO	SUBCRITICO
34	56	38	0,31	CUMPLE	0,00	FALSO	SUBCRITICO
35	38	25-A	1,19	FALSO	0,00	FALSO	SUBCRITICO
36	25-A	25	2,90	FALSO	0,01	FALSO	SUBCRITICO
37	25	17	4,23	FALSO	0,01	FALSO	SUBCRITICO
38	17	18-A	5,16	FALSO	0,01	FALSO	SUBCRITICO
39	18-A	19	12,83	FALSO	0,01	FALSO	SUBCRITICO
40	19	18	6,48	FALSO	0,01	FALSO	SUBCRITICO
41	18	6-A	8,17	FALSO	0,02	FALSO	SUBCRITICO
42	6-A	20-A	8,52	FALSO	0,02	FALSO	SUBCRITICO
43	20-A	24	2,24	FALSO	0,01	FALSO	SUBCRITICO
44	24	23	12,04	FALSO	0,01	FALSO	SUBCRITICO
45	23	23-A	22,62	FALSO	0,02	FALSO	SUBCRITICO
46	23-A	4	10,25	FALSO	0,01	FALSO	SUBCRITICO
47	26	25	0,69	CUMPLE	0,42	FALSO	SUBCRITICO

1	2		24	25	35	36	39
Inicio	TRAMO		DISEÑO HIDRÁULICO		VREAL	CHEQUEO 0,45 m/s > 0,8 m/s	
	De	A	Qdiseño/Q < 0,85	Chequeo < 0,85			
48	46	45-A	0,00	CUMPLE	1,57	CUMPLE	SUPERCRITICO
49	45-A	45	0,08	CUMPLE	0,79	CUMPLE	SUPERCRITICO
50	45	44	0,14	CUMPLE	1,01	CUMPLE	SUPERCRITICO
51	44	43	0,15	CUMPLE	1,29	CUMPLE	SUPERCRITICO
52	43	42	0,26	CUMPLE	1,40	CUMPLE	SUPERCRITICO
53	42	41	0,30	CUMPLE	1,82	CUMPLE	SUPERCRITICO
54	41	40	0,57	CUMPLE	1,86	CUMPLE	SUPERCRITICO
55	40	39	1,06	FALSO	1,59	CUMPLE	SUPERCRITICO
56	39	35	0,93	FALSO	1,88	CUMPLE	SUPERCRITICO
57	35	37	1,07	FALSO	1,94	CUMPLE	SUPERCRITICO
58	37	25-A	1,17	FALSO	2,10	CUMPLE	SUPERCRITICO
59	56	56-A	0,14	CUMPLE	0,99	CUMPLE	SUPERCRITICO
60	56-A	36-A	0,41	CUMPLE	1,81	CUMPLE	SUPERCRITICO
61	36-A	36	0,23	CUMPLE	1,77	CUMPLE	SUPERCRITICO
62	36	35-A	0,37	CUMPLE	1,65	CUMPLE	SUPERCRITICO
63	35-A	35	0,37	CUMPLE	1,84	CUMPLE	SUPERCRITICO
64	35	34	0,83	CUMPLE	1,45	CUMPLE	SUPERCRITICO
65	34	27	1,42	FALSO	2,06	CUMPLE	SUPERCRITICO
66	27	18-A	1,59	FALSO	2,07	CUMPLE	SUPERCRITICO
67	49	22	0,35	CUMPLE	0,58	CUMPLE	SUBCRITICO
68	22	23	0,23	CUMPLE	1,30	CUMPLE	SUPERCRITICO
69	46	47	0,23	CUMPLE	1,26	CUMPLE	SUPERCRITICO
70	47	33-A	1,94	FALSO	1,19	CUMPLE	SUBCRITICO
71	33-A	33	0,76	CUMPLE	3,56	CUMPLE	SUPERCRITICO
72	33	28	1,70	FALSO	2,15	CUMPLE	SUPERCRITICO
73	28	6-A	2,12	FALSO	1,91	CUMPLE	SUPERCRITICO
74	47-D	47-C	0,13	CUMPLE	0,94	CUMPLE	SUPERCRITICO
75	47-C	47-B	0,33	CUMPLE	1,20	CUMPLE	SUPERCRITICO
76	47-B	47	0,65	CUMPLE	1,49	CUMPLE	SUPERCRITICO
77	47-A	33-A	2,02	FALSO	0,30	FALSO	SUBCRITICO
78	6-A	6	0,22	CUMPLE	1,50	CUMPLE	SUPERCRITICO
79	6	5	0,14	CUMPLE	1,81	CUMPLE	SUPERCRITICO
80	5	3-A	0,32	CUMPLE	1,48	CUMPLE	SUPERCRITICO
81	47	34	0,26	CUMPLE	1,75	CUMPLE	SUPERCRITICO
82	47-E	47	0,22	CUMPLE	0,14	FALSO	SUBCRITICO
83	38	38-A	0,05	CUMPLE	1,12	CUMPLE	SUPERCRITICO
84	38-A	15	0,11	CUMPLE	1,54	CUMPLE	SUPERCRITICO
85	33	32	0,21	CUMPLE	0,95	CUMPLE	SUPERCRITICO
86	32	29	0,41	CUMPLE	1,13	CUMPLE	SUPERCRITICO
87	29	29-B	0,38	CUMPLE	1,48	CUMPLE	SUPERCRITICO
88	29-B	21-B	0,46	CUMPLE	0,38	FALSO	SUBCRITICO
89	21-B	21	0,10	CUMPLE	1,11	CUMPLE	SUPERCRITICO
90	21	22	0,08	CUMPLE	0,91	CUMPLE	SUPERCRITICO
91	21	20-A	0,21	CUMPLE	1,12	CUMPLE	SUPERCRITICO
92	28	29	0,15	CUMPLE	0,97	CUMPLE	SUPERCRITICO
93	29	20-A	0,09	CUMPLE	1,32	CUMPLE	SUPERCRITICO
94	110	48	0,01	CUMPLE	0,95	CUMPLE	SUPERCRITICO
95	48	30-A	0,18	CUMPLE	0,78	CUMPLE	SUBCRITICO
96	30-A	30-B	0,08	CUMPLE	0,67	CUMPLE	SUPERCRITICO
97	30-B	29-C	0,12	CUMPLE	1,04	CUMPLE	SUPERCRITICO
98	29-C	29-B	0,01	CUMPLE	0,92	CUMPLE	SUPERCRITICO
99	31	30	0,55	CUMPLE	1,56	CUMPLE	SUPERCRITICO
100	30	30-A	0,03	CUMPLE	0,72	CUMPLE	SUPERCRITICO

Fuente: Autores.

De acuerdo a la modelación que se realiza con los datos suministrados en función del manejo de aguas residuales. Podemos determinar que el sistema actual no supe las necesidades.

## 4. DISEÑO DE LA OPTIMIZACIÓN DEL ALCANTARILLADO

### 4.1. DISEÑO PARA AGUAS RESIDUALES

Teniendo en cuenta el alcantarillado actual y los datos de la modelación, se hace el diseño del sistema implementado para aguas residuales.

A continuación, se hace la debida explicación con referencia a los cálculos del sistema existente (Ver Anexo D):

**Columna [2]:** Numeración del tramo.

**Columna [3]:** Área tributaria de propia (m<sup>2</sup>).

**Columna [4]:** Área tributaria acumulativa del área propia (m<sup>2</sup>).

**Columna [5]:** Área tributaria de propia (Ha).

**Columna [6]:** Área tributaria acumulativa del área propia (Ha).

**Columna [7]:** El máximo factor de mayoración se deberá tener en cuenta con lo respecta a la población servida. (RAS Tabla D.3.4)

#### → CAUDAL DE AGUAS NEGRAS

**Columna [8]:** Caudal medio horario (l/s).

$$Q_{MH} = Q_{MDR} * F_{max}$$

**Columna [9]:** Caudal de aguas residuales por conexiones erradas (l/s).

$$Q_{CE} = Area\ Acumulada * Q_{Con.Cerrado}$$

**Columna [10]:** Caudal por infiltraciones (l/s).

$$Q_{INF} = Area\ Acumulada * Q_{INF}$$

**Columna [11]:** Caudal de diseño (l/s).

$$Q_{diseño} = Q_{MH} + Q_{CE} + Q_{INF}$$

**Columna [12]:** Caudal adoptado (l/s).

**Columna [13]:** Caudal de diseño (m<sup>3</sup>/s).

$$Q_{\text{diseño}} = 0,001 * Q_{\text{Adoptado}}$$

**Columna [14]:** Longitud (m).

**Columna [15]:** Pendiente (%).

**Columna [16]:** Diámetro comercial (Pulgadas).

**Columna [17]:** Diámetro comercial (Depende del material de tubería).

**Columna [18]:** Diámetro exterior (mm).

**Columna [19]:** Diámetro interior (mm).

**Columna [20]:** Material en función al diámetro escogido para el diseño.

**Columna [21]:** n de Manning.

**Columna [22]:** Caudal tubo lleno (l/s).

$$Q_o = \frac{0,312 * \phi_{int}^{8/3} * \sqrt{Pen}}{n}$$

**Columna [23]:** Velocidad tubo lleno (m/s).

$$V_o = \frac{Q_o}{\frac{\pi}{4} * \theta^2}$$

**Columna [24]:**  $Q_{\text{diseño}}/Q$  por normatividad deberá estar por debajo de 0,85.

$$\frac{Q_{\text{diseño}}}{Q} = \frac{Q_{\text{Adoptado}}}{Q_o}$$

**Columna [25]:** Si cumple con los parámetros  $Q_{\text{diseño}}/Q$ .

**Columna [26]:**  $Y/d$ .

$$Y/d = D/d * 0,8$$

**Columna [27]:** Relaciones hidráulicas conductos circulares.

$$V_r/V_o = \text{Velocidad real de la tubería} / \text{Velocidad a tubo lleno}$$

**Columna [28]:** Relaciones hidráulicas conductos circulares.

$$D/d = \text{Diametro de la tubería} / \text{Lamina de agua}$$

**Columna [29]:** Relaciones hidráulicas conductos circulares.

$$R/R_0 = \text{Radio hidraulico al caudal de diseño} / \text{Radio hidraulico a tubo lleno}$$

**Columna [30]:** Profundidad de lámina de agua.

$$\text{Prof. Lam} = \theta_{com} * y/d * 0,0254$$

**Columna [31]:** Radio hidráulico.

$$\text{Radio Hidraulico} = \frac{R/R_0 * (Pen * 0,0254)}{4}$$

**Columna [32]:** Tensión cortante (N/m<sup>2</sup>).

$$\text{Tension Cortante} = 9.810 * Pen * \text{Radio Hidraulico}$$

**Columna [33]:** Si cumple con los parámetros Tensión Cortante.

**Columna [34]:** Profundidad hidráulica.

$$\text{Prof. Hidraul} = \theta_{com} * (D/d * 0,0254)$$

**Columna [35]:** Velocidad real.

$$V_{real} = V_0 * V_r/V_0$$

**Columna [36]:** Si cumple con los parámetros  $V_{real}$ .

**Columna [37]:** Cabeza de velocidad.

$$\text{Cabeza de velocidad} = \frac{V_{real}^2}{2g}$$

**Columna [38]:** Numero de Froude.

$$\text{Numero de Froude} = \frac{0,319 * V_{real}}{\text{Prof. Hidraul}^{0,5}}$$

**Columna [39]:** Si cumple con los parámetros para el numero de Froude.

**Columna [40]:** Numeración de cotas de terreno.

**Columna [41]:** Numeración de cotas clave.

**Columna [42]:** Numeración de cotas batea.

**Columna [43]:** Numeración de profundidad a clave.

Tabla 11. Diseño Del Alcantarillado Residual

1	2		24	25	35	36	39
Inicio	TRAMO		DISEÑO HIDRÁULICO		VREAL	CHEQUEO >0,45 m/s	
	De	A	Qdiseño/Q < 0,85	Chequeo < 0,85			
1	MH9	1A	0,28	CUMPLE	1,60	CUMPLE	SUPERCRITICO
2	1A	1B	0,60	CUMPLE	1,74	CUMPLE	SUPERCRITICO
3	1B	1C	0,51	CUMPLE	1,45	CUMPLE	SUPERCRITICO
4	1C	1D	0,21	CUMPLE	3,02	CUMPLE	SUPERCRITICO
5	1D	1	0,84	CUMPLE	2,22	CUMPLE	SUPERCRITICO
6	1	2A	0,50	CUMPLE	3,43	CUMPLE	SUPERCRITICO
7	2A	2	0,68	CUMPLE	3,78	CUMPLE	SUPERCRITICO
8	2	3	0,67	CUMPLE	1,02	CUMPLE	SUBCRITICO
9	3	3A	0,39	CUMPLE	1,74	CUMPLE	SUBCRITICO
10	3A	4	0,56	CUMPLE	2,75	CUMPLE	SUPERCRITICO
11	4	50A	0,39	CUMPLE	3,55	CUMPLE	SUPERCRITICO
12	50A	50	0,42	CUMPLE	3,50	CUMPLE	SUPERCRITICO
13	50	50B	0,66	CUMPLE	2,59	CUMPLE	SUPERCRITICO
14	50B	51	0,56	CUMPLE	2,92	CUMPLE	SUPERCRITICO
15	51	52	0,61	CUMPLE	2,80	CUMPLE	SUPERCRITICO
16	52	53	0,68	CUMPLE	2,63	CUMPLE	SUPERCRITICO
17	53	54	0,80	CUMPLE	1,99	CUMPLE	SUBCRITICO
18	54	55	0,44	CUMPLE	3,02	CUMPLE	SUPERCRITICO
19	55	0F-1	0,16	CUMPLE	6,28	CUMPLE	SUPERCRITICO
8	100	101	0,40	CUMPLE	1,10	CUMPLE	SUPERCRITICO
9	101	12_B	0,23	CUMPLE	2,54	CUMPLE	SUPERCRITICO
10	12_B	1	0,85	CUMPLE	1,16	CUMPLE	SUBCRITICO
11	99	15	0,13	CUMPLE	0,87	CUMPLE	SUPERCRITICO
12	15	16	0,59	CUMPLE	2,39	CUMPLE	SUPERCRITICO
13	16	10	0,53	CUMPLE	1,30	CUMPLE	SUBCRITICO
14	10	MH-38	0,65	CUMPLE	1,00	CUMPLE	SUBCRITICO
15	MH-38	11	0,20	CUMPLE	2,19	CUMPLE	SUPERCRITICO
16	11	12	0,11	CUMPLE	3,47	CUMPLE	SUPERCRITICO
17	12	12-A	0,14	CUMPLE	3,09	CUMPLE	SUPERCRITICO
18	12-A	12B	0,22	CUMPLE	2,53	CUMPLE	SUPERCRITICO
19	13	14	0,28	CUMPLE	1,32	CUMPLE	SUPERCRITICO
20	14	15	0,40	CUMPLE	1,76	CUMPLE	SUPERCRITICO
21	15-H	15-F	0,18	CUMPLE	0,45	CUMPLE	SUBCRITICO
22	15-F	15-C	0,11	CUMPLE	1,31	CUMPLE	SUPERCRITICO
23	15-C	15-C1	0,12	CUMPLE	1,49	CUMPLE	SUPERCRITICO
24	15-C1	15-A	0,30	CUMPLE	1,02	CUMPLE	SUPERCRITICO
25	15-A	15-B	0,19	CUMPLE	2,53	CUMPLE	SUPERCRITICO
26	15-B	15	0,22	CUMPLE	2,94	CUMPLE	SUPERCRITICO
27	10	9	0,07	CUMPLE	1,44	CUMPLE	SUPERCRITICO
28	9	7	0,44	CUMPLE	2,43	CUMPLE	SUPERCRITICO
29	7	8	0,47	CUMPLE	2,01	CUMPLE	SUPERCRITICO
30	8	2	0,47	CUMPLE	2,69	CUMPLE	SUPERCRITICO
31	59	58	0,16	CUMPLE	1,82	CUMPLE	SUPERCRITICO
32	58	57	0,14	CUMPLE	2,79	CUMPLE	SUPERCRITICO
33	57	56	0,34	CUMPLE	2,29	CUMPLE	SUPERCRITICO
34	56	38	0,75	CUMPLE	2,43	CUMPLE	SUPERCRITICO
35	38	25-A	0,70	CUMPLE	3,79	CUMPLE	SUPERCRITICO
36	25-A	25	0,67	CUMPLE	4,11	CUMPLE	SUPERCRITICO
37	25	17	0,73	CUMPLE	2,49	CUMPLE	SUPERCRITICO
38	17	18-A	0,84	CUMPLE	3,60	CUMPLE	SUPERCRITICO
39	18-A	19	0,65	CUMPLE	1,26	CUMPLE	SUBCRITICO
40	19	18	0,32	CUMPLE	2,10	CUMPLE	SUPERCRITICO
41	18	6-A	0,29	CUMPLE	3,21	CUMPLE	SUPERCRITICO
42	6-A	20-A	0,28	CUMPLE	3,45	CUMPLE	SUPERCRITICO
43	20-A	24	0,33	CUMPLE	3,26	CUMPLE	SUPERCRITICO
44	24	23	0,41	CUMPLE	2,84	CUMPLE	SUPERCRITICO
45	23	23-A	0,76	CUMPLE	1,87	CUMPLE	SUBCRITICO
46	23-A	4	0,81	CUMPLE	1,44	CUMPLE	SUBCRITICO
47	26	25	0,19	CUMPLE	0,81	CUMPLE	SUBCRITICO

1	2		24	25	35	36	39
Inicio	TRAMO		DISEÑO HIDRÁULICO		VREAL	CHEQUEO >0,45 m/s	
	De	A	Qdiseño/Q	Chequeo			
			< 0.85	< 0.85			
48	46	45-A	0,05	CUMPLE	0,48	CUMPLE	SUBCRITICO
49	45-A	45	0,42	CUMPLE	0,51	CUMPLE	SUBCRITICO
50	45	44	0,45	CUMPLE	1,14	CUMPLE	SUPERCRITICO
51	44	43	0,25	CUMPLE	1,80	CUMPLE	SUPERCRITICO
52	43	42	0,41	CUMPLE	1,99	CUMPLE	SUPERCRITICO
53	42	41	0,54	CUMPLE	2,31	CUMPLE	SUPERCRITICO
54	41	40	0,60	CUMPLE	2,23	CUMPLE	SUPERCRITICO
55	40	39	0,48	CUMPLE	2,20	CUMPLE	SUPERCRITICO
56	39	35	0,54	CUMPLE	2,15	CUMPLE	SUPERCRITICO
57	35	37	0,57	CUMPLE	2,42	CUMPLE	SUPERCRITICO
58	37	25-A	0,69	CUMPLE	2,49	CUMPLE	SUPERCRITICO
59	56	56-A	0,22	CUMPLE	1,04	CUMPLE	SUPERCRITICO
60	56-A	36-A	0,45	CUMPLE	2,02	CUMPLE	SUPERCRITICO
61	36-A	36	0,63	CUMPLE	1,05	CUMPLE	SUBCRITICO
62	36	35-A	0,44	CUMPLE	1,77	CUMPLE	SUPERCRITICO
63	35-A	35	0,39	CUMPLE	2,14	CUMPLE	SUPERCRITICO
64	35	34	0,50	CUMPLE	1,58	CUMPLE	SUPERCRITICO
65	34	27	0,44	CUMPLE	2,57	CUMPLE	SUPERCRITICO
66	27	18-A	0,50	CUMPLE	2,64	CUMPLE	SUPERCRITICO
67	49	22	0,20	CUMPLE	0,67	CUMPLE	SUBCRITICO
68	22	23	0,21	CUMPLE	0,69	CUMPLE	SUBCRITICO
69	46	47	0,32	CUMPLE	0,76	CUMPLE	SUBCRITICO
70	47	33-A	0,62	CUMPLE	1,60	CUMPLE	SUPERCRITICO
71	33-A	33	0,69	CUMPLE	1,16	CUMPLE	SUBCRITICO
72	33	28	0,21	CUMPLE	3,36	CUMPLE	SUPERCRITICO
73	28	6-A	0,24	CUMPLE	3,34	CUMPLE	SUPERCRITICO
74	47-D	47-C	0,12	CUMPLE	1,19	CUMPLE	SUPERCRITICO
75	47-C	47-B	0,22	CUMPLE	1,93	CUMPLE	SUPERCRITICO
76	47-B	47	0,25	CUMPLE	2,25	CUMPLE	SUPERCRITICO
77	47-A	33-A	0,53	CUMPLE	0,73	CUMPLE	SUBCRITICO
78	6-A	6	0,41	CUMPLE	1,80	CUMPLE	SUPERCRITICO
79	6	5	0,55	CUMPLE	1,60	CUMPLE	SUPERCRITICO
80	5	3-A	0,36	CUMPLE	2,03	CUMPLE	SUPERCRITICO
81	47	34	0,49	CUMPLE	2,10	CUMPLE	SUPERCRITICO
82	47-E	47	0,05	CUMPLE	0,48	CUMPLE	SUBCRITICO
83	38	38-A	0,05	CUMPLE	1,36	CUMPLE	SUPERCRITICO
84	38-A	15	0,23	CUMPLE	1,51	CUMPLE	SUPERCRITICO
85	33	32	0,25	CUMPLE	1,01	CUMPLE	SUPERCRITICO
86	32	29	0,67	CUMPLE	2,49	CUMPLE	SUPERCRITICO
87	29	29-B	0,60	CUMPLE	1,95	CUMPLE	SUPERCRITICO
88	29-B	21-B	0,56	CUMPLE	2,21	CUMPLE	SUPERCRITICO
89	21-B	21	0,66	CUMPLE	1,31	CUMPLE	SUBCRITICO
90	21	22	0,20	CUMPLE	3,48	CUMPLE	SUPERCRITICO
91	21	20-A	0,17	CUMPLE	1,08	CUMPLE	SUPERCRITICO
92	27	28	0,13	CUMPLE	1,27	CUMPLE	SUPERCRITICO
93	28	29	0,20	CUMPLE	1,39	CUMPLE	SUPERCRITICO
94	29	20-A	0,26	CUMPLE	1,69	CUMPLE	SUPERCRITICO
95	110	48	0,02	CUMPLE	0,89	CUMPLE	SUPERCRITICO
96	48	30-A	0,37	CUMPLE	0,70	CUMPLE	SUBCRITICO
97	30-A	30-B	0,45	CUMPLE	0,90	CUMPLE	SUBCRITICO
98	30-B	29-C	0,45	CUMPLE	1,80	CUMPLE	SUPERCRITICO
99	29-C	29-B	0,54	CUMPLE	1,05	CUMPLE	SUBCRITICO
100	31	30	0,66	CUMPLE	1,99	CUMPLE	SUPERCRITICO
101	30	30-A	0,53	CUMPLE	1,57	CUMPLE	SUPERCRITICO

Fuente: Autores.

En base al sistema actual se realiza el diseño de la optimización del alcantarillado en función de aguas residuales modificando diámetro y material de la tubería para el cumplimiento de  $V_{min}$ , tensión a cortante y tipo de flujo.

## 4.2. DISEÑO PARA AGUAS PLUVIALES

Teniendo en cuenta el alcantarillado actual y los datos de la modelación, se hace el diseño del sistema implementado para aguas pluviales más un 5% de retención de aguas residuales.

A continuación, se hace la debida explicación con referencia a los cálculos del sistema existente (Ver Anexo E):

**Columna [2]:** Numeración del tramo.

**Columna [3]:** Área tributaria de propia (m<sup>2</sup>).

**Columna [4]:** Área tributaria acumulativa del área propia (m<sup>2</sup>).

**Columna [5]:** Área tributaria de propia (Ha).

**Columna [6]:** Área tributaria acumulativa del área propia (Ha).

**Columna [7]:** El máximo factor de mayoración se deberá tener en cuenta con lo respecta a la población servida. (RAS Tabla D.3.4)

### → CAUDAL DE AGUAS LLUVIAS

**Columna [7]:** Velocidad supuesta. (m/s).

$$V_s = \alpha * \sqrt{Pendiente}$$

**Columna [8]:** La constante  $\alpha$  depende del tipo de suelo (RAS Tabla D.4.10) (m/s).

**Columna [9]:** Tipo de entrada (m).

$$Tiempo\ de\ Entrada = \frac{L}{60 * V_s}$$

**Columna [10]:** Tiempo de concentración asumida (min).

$$Tiem.\ Conc.\ Asum = 15 + \frac{L}{60 * V_o}$$

**Columna [11]:** Tiempo de tránsito (min).

$$Tiem.\ Transito = Tiempo\ de\ Entrada + Tiem.\ Conc.\ Asum$$

**Columna [12]:** Tiempo de retorno (Años). Dependiendo de la complejidad del sistema y la caracterización del drenaje. (RAS Tabla D.4.1).

**Columna [13]:** Intensidad de lluvias (mm/h).

$$i_T = \frac{K * T^m}{(d + d_o)^n}$$

**Columna [14]:** Coeficiente de impermeabilidad o escorrentía (RAS Tabla D.4.7).

**Columna [15]:** Caudal de lluvias (l/s).

$$QLluvias = C * i_T * Area Acumulada * 100/36$$

**Columna [16]:** El 5% del caudal de lluvias (l/s).

$$QAdoptado * 5\% = QLluvias * 5\%$$

**Columna [17]:** Caudal de diseño (m<sup>3</sup>/s).

$$QAdoptado = QLluvias + (QAdoptado * 5\%)$$

**Columna [18]:** Caudal de diseño (m<sup>3</sup>/s).

$$Qdiseño = 0,001 * QAdoptado$$

**Columna [19]:** Longitud (m).

**Columna [20]:** Pendiente (%).

**Columna [21]:** Diámetro comercial (Pulgadas).

**Columna [22]:** Diámetro comercial (Depende del material de tubería).

**Columna [23]:** Diámetro exterior (mm).

**Columna [24]:** Diámetro interior (mm).

**Columna [25]:** Material en función al diámetro escogido para el diseño.

**Columna [26]:** n de Manning.

**Columna [27]:** Caudal tubo lleno (l/s).

$$Qo = \frac{0,312 * \phi_{int}^{8/3} * \sqrt{Pen}}{n}$$

**Columna [28]:** Velocidad tubo lleno (m/s).

$$V_o = \frac{Q_o}{\frac{\pi}{4} * \theta^2}$$

**Columna [29]:** Qdiseño/Q por normatividad deberá estar por debajo de 0,85.

$$\frac{Q_{diseño}}{Q} = \frac{Q_{Adoptado}}{Q_o}$$

**Columna [30]:** Si cumple con los parámetros Qdiseño/Q.

**Columna [31]:** Y/d.

$$Y/d = D/d * 0,8$$

**Columna [32]:** Relaciones hidráulicas conductos circulares.

$$V_r/V_o = \text{Velocidad real de la tubería} / \text{Velocidad a tubo lleno}$$

**Columna [33]:** Relaciones hidráulicas conductos circulares.

$$D/d = \text{Diametro de la tubería} / \text{Lamina de agua}$$

**Columna [34]:** Relaciones hidráulicas conductos circulares.

$$R/R_o = \text{Radio hidraulico al caudal de diseño} / \text{Radio hidraulico a tubo lleno}$$

**Columna [35]:** Profundidad de lámina de agua.

$$\text{Prof. Lam} = \theta_{com} * Y/d * 0,0254$$

**Columna [36]:** Radio hidráulico.

$$\text{Radio Hidraulico} = \frac{R/R_o * (Pen * 0,0254)}{4}$$

**Columna [37]:** Tensión cortante (N/m²).

$$\text{Tension Cortante} = 9.810 * Pen * \text{Radio Hidraulico}$$

**Columna [38]:** Si cumple con los parámetros Tensión Cortante.

**Columna [39]:** Profundidad hidráulica.

$$Prof.Hidraul = \theta_{com} * (D/d * 0,0254)$$

**Columna [40]:** Velocidad real.

$$V_{real} = V_0 * Vr/V_0$$

**Columna [41]:** Si cumple con los parámetros  $V_{real}$ .

**Columna [42]:** Cabeza de velocidad.

$$Cabeza\ de\ velocidad = \frac{V_{real}^2}{2g}$$

**Columna [43]:** Numero de Froude.

$$Numero\ de\ Froude = \frac{0,319 * V_{real}}{Prof.Hidraul^{0,5}}$$

**Columna [44]:** Si cumple con los parámetros para el nuro de Froude.

**Columna [45]:** Numeración de cotas de terreno.

**Columna [46]:** Numeración de cotas clave.

**Columna [47]:** Numeración de cotas batea.

**Columna [48]:** Numeración de profundidad a clave.

Tabla 12. Diseño Del Alcantarillado Pluvial

1	2		29	30	40	41	44
Inicio	TRAMO		DISEÑO HIDRÁULICO		VREAL	CHEQUEO 0,45 m/s > 0,8 m/s	
	De	A	Qdiseño/Q < 0.85	Chequeo < 0.85			
1	MH9	1A	0,64	CUMPLE	2,38	CUMPLE	SUPERCRITICO
2	1A	1B	0,50	CUMPLE	1,86	CUMPLE	SUPERCRITICO
3	1B	1C	0,48	CUMPLE	1,33	CUMPLE	SUBCRITICO
4	1C	1D	0,17	CUMPLE	3,25	CUMPLE	SUPERCRITICO
5	1D	1	0,57	CUMPLE	2,36	CUMPLE	SUPERCRITICO
6	1	2A	0,38	CUMPLE	3,38	CUMPLE	SUPERCRITICO
7	2A	2	0,48	CUMPLE	3,92	CUMPLE	SUPERCRITICO
8	2	3	0,67	CUMPLE	1,77	CUMPLE	SUBCRITICO
9	3	3A	0,78	CUMPLE	1,86	CUMPLE	SUBCRITICO
10	3A	4	0,11	CUMPLE	4,57	CUMPLE	SUPERCRITICO
11	4	50A	0,21	CUMPLE	2,90	CUMPLE	SUPERCRITICO
12	50A	50	0,14	CUMPLE	3,84	CUMPLE	SUPERCRITICO
13	50	50B	0,18	CUMPLE	3,42	CUMPLE	SUPERCRITICO
14	50B	51	0,18	CUMPLE	3,42	CUMPLE	SUPERCRITICO
15	51	52	0,22	CUMPLE	2,94	CUMPLE	SUPERCRITICO
16	52	53	0,21	CUMPLE	3,16	CUMPLE	SUPERCRITICO
17	53	54	0,35	CUMPLE	2,16	CUMPLE	SUBCRITICO
18	54	55	0,20	CUMPLE	3,30	CUMPLE	SUPERCRITICO
19	55	0F-1	0,07	CUMPLE	6,99	CUMPLE	SUPERCRITICO
8	100	101	0,83	CUMPLE	1,55	CUMPLE	SUPERCRITICO
9	101	12_B	0,47	CUMPLE	3,68	CUMPLE	SUPERCRITICO
10	12_B	1	0,85	CUMPLE	3,01	CUMPLE	SUPERCRITICO
11	99	15	0,23	CUMPLE	1,35	CUMPLE	SUPERCRITICO
12	15	16	0,65	CUMPLE	3,27	CUMPLE	SUPERCRITICO
13	16	10	0,75	CUMPLE	1,49	CUMPLE	SUBCRITICO
14	10	MH-38	0,63	CUMPLE	1,64	CUMPLE	SUBCRITICO
15	MH-38	11	0,33	CUMPLE	2,91	CUMPLE	SUPERCRITICO
16	11	12	0,18	CUMPLE	4,92	CUMPLE	SUPERCRITICO
17	12	12-A	0,25	CUMPLE	4,18	CUMPLE	SUPERCRITICO
18	12-A	12B	0,39	CUMPLE	3,45	CUMPLE	SUPERCRITICO
19	13	14	0,60	CUMPLE	1,86	CUMPLE	SUPERCRITICO
20	14	15	0,82	CUMPLE	2,56	CUMPLE	SUPERCRITICO
21	15-H	15-F	0,17	CUMPLE	1,12	CUMPLE	SUPERCRITICO
22	15-F	15-C	0,25	CUMPLE	1,73	CUMPLE	SUPERCRITICO
23	15-C	15-C1	0,24	CUMPLE	2,11	CUMPLE	SUPERCRITICO
24	15-C1	15-A	0,50	CUMPLE	1,71	CUMPLE	SUPERCRITICO
25	15-A	15-B	0,39	CUMPLE	3,61	CUMPLE	SUPERCRITICO
26	15-B	15	0,46	CUMPLE	4,18	CUMPLE	SUPERCRITICO
27	10	9	0,25	CUMPLE	2,09	CUMPLE	SUPERCRITICO
28	9	7	0,50	CUMPLE	3,42	CUMPLE	SUPERCRITICO
29	7	8	0,80	CUMPLE	3,02	CUMPLE	SUPERCRITICO
30	8	2	0,79	CUMPLE	4,05	CUMPLE	SUPERCRITICO
31	59	58	0,65	CUMPLE	2,68	CUMPLE	SUPERCRITICO
32	58	57	0,30	CUMPLE	4,09	CUMPLE	SUPERCRITICO
33	57	56	0,41	CUMPLE	3,27	CUMPLE	SUPERCRITICO
34	56	38	0,46	CUMPLE	3,32	CUMPLE	SUPERCRITICO
35	38	25-A	0,36	CUMPLE	4,96	CUMPLE	SUPERCRITICO
36	25-A	25	0,33	CUMPLE	5,59	CUMPLE	SUPERCRITICO
37	25	17	0,71	CUMPLE	3,44	CUMPLE	SUPERCRITICO
38	17	18-A	0,82	CUMPLE	4,95	CUMPLE	SUPERCRITICO
39	18-A	19	0,84	CUMPLE	3,30	CUMPLE	SUPERCRITICO
40	19	18	0,84	CUMPLE	3,38	CUMPLE	SUPERCRITICO
41	18	6-A	0,78	CUMPLE	5,03	CUMPLE	SUPERCRITICO
42	6-A	20-A	0,76	CUMPLE	5,43	CUMPLE	SUPERCRITICO
43	20-A	24	0,52	CUMPLE	4,44	CUMPLE	SUPERCRITICO
44	24	23	0,59	CUMPLE	4,17	CUMPLE	SUPERCRITICO
45	23	23-A	0,71	CUMPLE	2,44	CUMPLE	SUBCRITICO
46	23-A	4	0,84	CUMPLE	1,47	CUMPLE	SUBCRITICO
47	26	25	0,58	CUMPLE	1,39	CUMPLE	SUPERCRITICO

1	2		29	30	40	41	44
Inicio	TRAMO		DISEÑO HIDRÁULICO		VREAL	CHEQUEO 0,45 m/s > 0,8 m/s	
	De	A	Qdiseño/Q < 0.85	Chequeo < 0.85			
48	46	45-A	0,07	CUMPLE	0,76	CUMPLE	SUPERCRITICO
49	45-A	45	0,71	CUMPLE	1,38	CUMPLE	SUPERCRITICO
50	45	44	0,78	CUMPLE	1,52	CUMPLE	SUPERCRITICO
51	44	43	0,58	CUMPLE	1,61	CUMPLE	SUPERCRITICO
52	43	42	0,27	CUMPLE	2,63	CUMPLE	SUPERCRITICO
53	42	41	0,65	CUMPLE	3,29	CUMPLE	SUPERCRITICO
54	41	40	0,65	CUMPLE	3,25	CUMPLE	SUPERCRITICO
55	40	39	0,84	CUMPLE	3,40	CUMPLE	SUPERCRITICO
56	39	35	0,74	CUMPLE	3,20	CUMPLE	SUPERCRITICO
57	35	37	0,40	CUMPLE	3,28	CUMPLE	SUPERCRITICO
58	37	25-A	0,49	CUMPLE	3,33	CUMPLE	SUPERCRITICO
59	56	56-A	0,42	CUMPLE	1,57	CUMPLE	SUPERCRITICO
60	56-A	36-A	0,51	CUMPLE	2,82	CUMPLE	SUPERCRITICO
61	36-A	36	0,48	CUMPLE	1,87	CUMPLE	SUPERCRITICO
62	36	35-A	0,44	CUMPLE	2,57	CUMPLE	SUPERCRITICO
63	35-A	35	0,41	CUMPLE	3,00	CUMPLE	SUPERCRITICO
64	35	34	0,59	CUMPLE	2,07	CUMPLE	SUPERCRITICO
65	34	27	0,31	CUMPLE	3,25	CUMPLE	SUPERCRITICO
66	27	18-A	0,26	CUMPLE	3,35	CUMPLE	SUPERCRITICO
67	49	22	0,06	CUMPLE	1,02	CUMPLE	SUBCRITICO
68	22	23	0,07	CUMPLE	1,02	CUMPLE	SUBCRITICO
69	46	47	0,62	CUMPLE	1,11	CUMPLE	SUBCRITICO
70	47	33-A	0,59	CUMPLE	1,38	CUMPLE	SUBCRITICO
71	33-A	33	0,65	CUMPLE	1,54	CUMPLE	SUBCRITICO
72	33	28	0,20	CUMPLE	4,47	CUMPLE	SUPERCRITICO
73	28	6-A	0,23	CUMPLE	4,49	CUMPLE	SUPERCRITICO
74	47-D	47-C	0,26	CUMPLE	1,73	CUMPLE	SUPERCRITICO
75	47-C	47-B	0,49	CUMPLE	2,76	CUMPLE	SUPERCRITICO
76	47-B	47	0,53	CUMPLE	3,30	CUMPLE	SUPERCRITICO
77	47-A	33-A	1,52	FALSO	1,18	CUMPLE	SUBCRITICO
78	6-A	6	0,49	CUMPLE	2,55	CUMPLE	SUPERCRITICO
79	6	5	0,58	CUMPLE	2,36	CUMPLE	SUPERCRITICO
80	5	3-A	0,74	CUMPLE	2,97	CUMPLE	SUPERCRITICO
81	47	34	0,54	CUMPLE	3,15	CUMPLE	SUPERCRITICO
82	47-E	47	0,01	CUMPLE	0,76	CUMPLE	SUPERCRITICO
83	38	38-A	0,20	CUMPLE	1,97	CUMPLE	SUPERCRITICO
84	38-A	15	0,51	CUMPLE	2,21	CUMPLE	SUPERCRITICO
85	33	32	0,56	CUMPLE	1,45	CUMPLE	SUPERCRITICO
86	32	29	0,39	CUMPLE	3,32	CUMPLE	SUPERCRITICO
87	29	29-B	0,72	CUMPLE	3,04	CUMPLE	SUPERCRITICO
88	29-B	21-B	0,79	CUMPLE	3,10	CUMPLE	SUPERCRITICO
89	21-B	21	0,74	CUMPLE	1,60	CUMPLE	SUBCRITICO
90	21	22	0,19	CUMPLE	4,73	CUMPLE	SUPERCRITICO
91	28	29	0,30	CUMPLE	1,82	CUMPLE	SUPERCRITICO
92	29	20-A	0,57	CUMPLE	2,46	CUMPLE	SUPERCRITICO
93	110	48	0,01	CUMPLE	1,07	CUMPLE	SUPERCRITICO
94	48	30-A	0,53	CUMPLE	1,38	CUMPLE	SUPERCRITICO
95	30-A	30-B	0,80	CUMPLE	1,53	CUMPLE	SUPERCRITICO
96	30-B	29-C	0,63	CUMPLE	2,32	CUMPLE	SUPERCRITICO
97	29-C	29-B	0,45	CUMPLE	1,84	CUMPLE	SUPERCRITICO
98	31	30	0,76	CUMPLE	2,79	CUMPLE	SUPERCRITICO
99	30	30-A	0,52	CUMPLE	2,35	CUMPLE	SUPERCRITICO

Fuente: Autores.

Contemplando la posibilidad de que el municipio no cuente con los recursos para hacer la separación del sistema combinado se realiza el diseño con capacidad de soportar una carga hidráulica de aguas lluvias mas un 5% de aguas

residuales; con esto la optimización del alcantarillado se realizan modificando diámetro y material de la tubería para el cumplimiento de  $V_{min}$ , tensión a cortante y tipo de flujo.

#### **4.3. DISEÑO DE LA OPTIMIZACIÓN PARA ALCANTARILLADO COMBINADO**

Teniendo en cuenta el alcantarillado actual y los datos de la modelación, se hace el diseño de los tramos que no cumplen con los parámetros requeridos para el funcionamiento óptimo del sistema implementado para aguas lluvias más un 5% de aguas residuales.

A continuación, se hace la debida explicación con referencia a los cálculos del sistema existente (Ver Anexo F):

**Columna [2]:** Numeración del tramo.

**Columna [3]:** Área tributaria de propia ( $m^2$ ).

**Columna [4]:** Área tributaria acumulativa del área propia ( $m^2$ ).

**Columna [5]:** Área tributaria de propia (Ha).

**Columna [6]:** Área tributaria acumulativa del área propia (Ha).

**Columna [7]:** El máximo factor de mayoración se deberá tener en cuenta con lo respecta a la población servida. (RAS Tabla D.3.4)

#### **→ CAUDAL DE AGUAS LLUVIAS**

**Columna [7]:** Velocidad supuesta. (m/s).

$$V_s = \alpha * \sqrt{Pendiente}$$

**Columna [8]:** La constante  $\alpha$  depende del tipo de suelo (RAS Tabla D.4.10) (m/s).

**Columna [9]:** Tipo de entrada (m).

$$Tiempo\ de\ Entrada = \frac{L}{60 * V_s}$$

**Columna [10]:** Tiempo de concentración asumida (min).

$$Tiem. Conc. Asum = 15 + \frac{L}{60 * V_0}$$

**Columna [11]:** Tiempo de tránsito (min).

$$Tiem. Transito = Tiempo de Entrada + Tiem. Conc. Asum$$

**Columna [12]:** Tiempo de retorno (Años). Dependiendo de la complejidad del sistema y la caracterización del drenaje. (RAS Tabla D.4.1).

**Columna [13]:** Intensidad de lluvias (mm/h).

$$i_T = \frac{K * T^m}{(d + d_o)^n}$$

**Columna [14]:** Coeficiente de impermeabilidad o escorrentía (RAS Tabla D.4.7).

**Columna [15]:** Caudal de lluvias (l/s).

$$QLluvias = C * i_T * Area Acumulada * 100/36$$

**Columna [16]:** El 5% del caudal de lluvias (l/s).

$$QAdoptado * 5\% = QLluvias * 5\%$$

**Columna [17]:** Caudal de diseño (m<sup>3</sup>/s).

$$QAdoptado = QLluvias + (QAdoptado * 5\%)$$

**Columna [18]:** Caudal de diseño (m<sup>3</sup>/s).

$$Qdiseño = 0,001 * QAdoptado$$

**Columna [19]:** Longitud (m).

**Columna [20]:** Pendiente (%).

**Columna [21]:** Diámetro comercial (Pulgadas).

**Columna [22]:** Diámetro comercial (Depende del material de tubería).

**Columna [23]:** Diámetro exterior (mm).

**Columna [24]:** Diámetro interior (mm).

**Columna [25]:** Material en función al diámetro escogido para el diseño.

**Columna [26]:** n de Manning.

**Columna [27]:** Caudal tubo lleno (l/s).

$$Q_o = \frac{0,312 * \phi_{int}^{8/3} * \sqrt{Pen}}{n}$$

**Columna [28]:** Velocidad tubo lleno (m/s).

$$V_o = \frac{Q_o}{\frac{\pi}{4} * \theta^2}$$

**Columna [29]:** Qdiseño/Q por normatividad deberá estar por debajo de 0,85.

$$\frac{Q_{diseño}}{Q} = \frac{Q_{Adoptado}}{Q_o}$$

**Columna [30]:** Si cumple con los parámetros Qdiseño/Q.

**Columna [31]:** Y/d.

$$Y/d = D/d * 0,8$$

**Columna [32]:** Relaciones hidráulicas conductos circulares.

$$V_r/V_o = \text{Velocidad real de la tubería} / \text{Velocidad a tubo lleno}$$

**Columna [33]:** Relaciones hidráulicas conductos circulares.

$$D/d = \text{Diametro de la tubería} / \text{Lamina de agua}$$

**Columna [34]:** Relaciones hidráulicas conductos circulares.

$$R/R_o = \text{Radio hidraulico al caudal de diseño} / \text{Radio hidraulico a tubo lleno}$$

**Columna [35]:** Profundidad de lámina de agua.

$$Prof. Lam = \theta_{com} * y/d * 0,0254$$

**Columna [36]:** Radio hidráulico.

$$\text{Radio Hidraulico} = \frac{R/R_o * (Pen * 0,0254)}{4}$$

**Columna [37]:** Tensión cortante (N/m<sup>2</sup>).

$$\text{Tension Cortante} = 9.810 * Pen * \text{Radio Hidraulico}$$

**Columna [38]:** Si cumple con los parámetros Tensión Cortante.

**Columna [39]:** Profundidad hidráulica.

$$\text{Prof.Hidraul} = \theta_{com} * \left( \frac{D}{d} * 0,0254 \right)$$

**Columna [40]:** Velocidad real.

$$V_{real} = V_o * V_r/V_o$$

**Columna [41]:** Si cumple con los parámetros  $V_{real}$ .

**Columna [42]:** Cabeza de velocidad.

$$\text{Cabeza de velocidad} = \frac{V_{real}^2}{2g}$$

**Columna [43]:** Numero de Froude.

$$\text{Numero de Froude} = \frac{0,319 * V_{real}}{\text{Prof.Hidraul}^{0,5}}$$

**Columna [44]:** Si cumple con los parámetros para el nuro de Froude.

**Columna [45]:** Numeración de cotas de terreno.

**Columna [46]:** Numeración de cotas clave.

**Columna [47]:** Numeración de cotas batea.

**Columna [48]:** Numeración de profundidad a clave.

Tabla 13. Diseño De La Optimización Del Alcantarillado

1	2		29	30	40	41	44
Inicio	TRAMO		DISEÑO HIDRÁULICO		VREAL	CHEQUEO 0,45 m/s > 0,8 m/s	
	De	A	Qdiseño/Q < 0,85	Chequeo < 0,85			
1	MH9	1A	0,65	CUMPLE	1,57	CUMPLE	SUPERCRITICO
2	1A	1B	0,72	CUMPLE	2,70	CUMPLE	SUPERCRITICO
3	1B	1C	0,98	FALSO	2,39	CUMPLE	SUPERCRITICO
4	1C	1D	0,37	CUMPLE	3,43	CUMPLE	SUPERCRITICO
5	1D	1	3,09	FALSO	2,58	CUMPLE	SUPERCRITICO
6	1	2A	0,74	CUMPLE	3,98	CUMPLE	SUPERCRITICO
7	2A	2	0,79	CUMPLE	5,17	CUMPLE	SUPERCRITICO
8	2	3	0,80	CUMPLE	2,46	CUMPLE	SUBCRITICO
9	3	3A	0,65	CUMPLE	3,32	CUMPLE	SUPERCRITICO
10	3A	4	0,65	CUMPLE	6,82	CUMPLE	SUPERCRITICO
11	4	50A	0,76	CUMPLE	6,10	CUMPLE	SUPERCRITICO
12	50A	50	0,76	CUMPLE	4,73	CUMPLE	SUPERCRITICO
13	50	50B	0,72	CUMPLE	3,70	CUMPLE	SUPERCRITICO
14	50B	51	0,48	CUMPLE	4,95	CUMPLE	SUPERCRITICO
15	51	52	0,61	CUMPLE	4,20	CUMPLE	SUPERCRITICO
16	52	53	0,75	CUMPLE	3,74	CUMPLE	SUPERCRITICO
17	53	54	0,63	CUMPLE	4,24	CUMPLE	SUPERCRITICO
18	54	55	0,59	CUMPLE	4,48	CUMPLE	SUPERCRITICO
19	55	0F-1	0,17	CUMPLE	10,80	CUMPLE	SUPERCRITICO
8	100	101	0,68	CUMPLE	1,88	CUMPLE	SUPERCRITICO
9	101	12_B	0,63	CUMPLE	3,13	CUMPLE	SUPERCRITICO
10	12_B	1	0,75	CUMPLE	5,96	CUMPLE	SUPERCRITICO
11	99	15	0,25	CUMPLE	1,32	CUMPLE	SUPERCRITICO
12	15	16	0,67	CUMPLE	2,65	CUMPLE	SUPERCRITICO
13	16	10	0,46	CUMPLE	2,21	CUMPLE	SUPERCRITICO
14	10	MH-38	0,45	CUMPLE	2,77	CUMPLE	SUPERCRITICO
15	MH-38	11	0,47	CUMPLE	3,03	CUMPLE	SUPERCRITICO
16	11	12	0,32	CUMPLE	4,35	CUMPLE	SUPERCRITICO
17	12	12-A	0,43	CUMPLE	3,74	CUMPLE	SUPERCRITICO
18	12-A	12B	0,65	CUMPLE	2,50	CUMPLE	SUPERCRITICO
19	13	14	0,36	CUMPLE	1,94	CUMPLE	SUPERCRITICO
20	14	15	0,66	CUMPLE	2,17	CUMPLE	SUPERCRITICO
21	15-H	15-F	0,19	CUMPLE	1,16	CUMPLE	SUPERCRITICO
22	15-F	15-C	0,38	CUMPLE	1,46	CUMPLE	SUPERCRITICO
23	15-C	15-C1	0,79	CUMPLE	1,52	CUMPLE	SUPERCRITICO
24	15-C1	15-A	0,60	CUMPLE	1,69	CUMPLE	SUPERCRITICO
25	15-A	15-B	0,53	CUMPLE	3,33	CUMPLE	SUPERCRITICO
26	15-B	15	0,61	CUMPLE	3,89	CUMPLE	SUPERCRITICO
27	10	9	0,20	CUMPLE	1,68	CUMPLE	SUPERCRITICO
28	9	7	0,55	CUMPLE	3,35	CUMPLE	SUPERCRITICO
29	7	8	0,69	CUMPLE	4,47	CUMPLE	SUPERCRITICO
30	8	2	0,52	CUMPLE	2,63	CUMPLE	SUPERCRITICO
31	59	58	0,27	CUMPLE	2,22	CUMPLE	SUPERCRITICO
32	58	57	0,23	CUMPLE	3,47	CUMPLE	SUPERCRITICO
33	57	56	0,56	CUMPLE	2,85	CUMPLE	SUPERCRITICO
34	56	38	0,46	CUMPLE	3,32	CUMPLE	SUPERCRITICO
35	38	25-A	0,50	CUMPLE	5,06	CUMPLE	SUPERCRITICO
36	25-A	25	0,68	CUMPLE	4,36	CUMPLE	SUPERCRITICO
37	25	17	0,71	CUMPLE	3,44	CUMPLE	SUPERCRITICO
38	17	18-A	0,65	CUMPLE	4,70	CUMPLE	SUPERCRITICO
39	18-A	19	0,80	CUMPLE	2,43	CUMPLE	SUBCRITICO
40	19	18	0,41	CUMPLE	3,98	CUMPLE	SUPERCRITICO
41	18	6-A	0,51	CUMPLE	4,80	CUMPLE	SUPERCRITICO
42	6-A	20-A	0,53	CUMPLE	4,93	CUMPLE	SUPERCRITICO
43	20-A	24	0,50	CUMPLE	5,33	CUMPLE	SUPERCRITICO
44	24	23	0,76	CUMPLE	3,48	CUMPLE	SUPERCRITICO
45	23	23-A	0,79	CUMPLE	2,61	CUMPLE	SUBCRITICO
46	23-A	4	0,82	CUMPLE	2,09	CUMPLE	SUBCRITICO
47	26	25	0,81	CUMPLE	0,68	FALSO	SUBCRITICO

1	2		29	30	40	41	44
Inicio	TRAMO		DISEÑO HIDRÁULICO		VREAL	CHEQUEO 0,45 m/s > 0,8 m/s	
	De	A	Qdiseño/Q < 0,85	Chequeo < 0,85			
48	46	45-A	0,01	CUMPLE	1,57	CUMPLE	SUPERCRITICO
49	45-A	45	0,21	CUMPLE	1,36	CUMPLE	SUPERCRITICO
50	45	44	0,18	CUMPLE	1,69	CUMPLE	SUPERCRITICO
51	44	43	0,19	CUMPLE	2,16	CUMPLE	SUPERCRITICO
52	43	42	0,24	CUMPLE	2,30	CUMPLE	SUPERCRITICO
53	42	41	0,26	CUMPLE	3,00	CUMPLE	SUPERCRITICO
54	41	40	0,51	CUMPLE	3,03	CUMPLE	SUPERCRITICO
55	40	39	0,45	CUMPLE	2,44	CUMPLE	SUPERCRITICO
56	39	35	0,40	CUMPLE	2,83	CUMPLE	SUPERCRITICO
57	35	37	0,45	CUMPLE	2,99	CUMPLE	SUPERCRITICO
58	37	25-A	0,49	CUMPLE	3,33	CUMPLE	SUPERCRITICO
59	56	56-A	0,40	CUMPLE	1,70	CUMPLE	SUPERCRITICO
60	56-A	36-A	0,51	CUMPLE	2,98	CUMPLE	SUPERCRITICO
61	36-A	36	0,53	CUMPLE	2,97	CUMPLE	SUPERCRITICO
62	36	35-A	0,84	CUMPLE	2,81	CUMPLE	SUPERCRITICO
63	35-A	35	0,83	CUMPLE	3,16	CUMPLE	SUPERCRITICO
64	35	34	0,72	CUMPLE	2,35	CUMPLE	SUPERCRITICO
65	34	27	0,81	CUMPLE	3,82	CUMPLE	SUPERCRITICO
66	27	18-A	0,69	CUMPLE	3,91	CUMPLE	SUPERCRITICO
67	49	22	0,78	CUMPLE	1,00	CUMPLE	SUBCRITICO
68	22	23	0,28	CUMPLE	2,13	CUMPLE	SUPERCRITICO
69	46	47	0,52	CUMPLE	2,13	CUMPLE	SUPERCRITICO
70	47	33-A	0,70	CUMPLE	2,26	CUMPLE	SUPERCRITICO
71	33-A	33	0,33	CUMPLE	5,75	CUMPLE	SUPERCRITICO
72	33	28	0,73	CUMPLE	4,17	CUMPLE	SUPERCRITICO
73	28	6-A	0,49	CUMPLE	3,50	CUMPLE	SUPERCRITICO
74	47-D	47-C	0,30	CUMPLE	1,55	CUMPLE	SUPERCRITICO
75	47-C	47-B	0,41	CUMPLE	2,00	CUMPLE	SUPERCRITICO
76	47-B	47	0,43	CUMPLE	2,36	CUMPLE	SUPERCRITICO
77	47-A	33-A	0,67	CUMPLE	0,52	FALSO	SUBCRITICO
78	6-A	6	0,26	CUMPLE	2,45	CUMPLE	SUPERCRITICO
79	6	5	0,54	CUMPLE	2,70	CUMPLE	SUPERCRITICO
80	5	3-A	0,50	CUMPLE	2,49	CUMPLE	SUPERCRITICO
81	47	34	0,58	CUMPLE	2,99	CUMPLE	SUPERCRITICO
82	47-E	47	0,01	CUMPLE	0,13	FALSO	SUBCRITICO
83	38	38-A	0,19	CUMPLE	1,69	CUMPLE	SUPERCRITICO
84	38-A	15	0,35	CUMPLE	2,85	CUMPLE	SUPERCRITICO
85	33	32	0,48	CUMPLE	1,62	CUMPLE	SUPERCRITICO
86	32	29	0,79	CUMPLE	2,04	CUMPLE	SUPERCRITICO
87	29	29-B	0,67	CUMPLE	3,20	CUMPLE	SUPERCRITICO
88	29-B	21-B	0,74	CUMPLE	1,18	CUMPLE	SUBCRITICO
89	21-B	21	0,19	CUMPLE	3,36	CUMPLE	SUPERCRITICO
90	21	22	0,32	CUMPLE	2,59	CUMPLE	SUPERCRITICO
91	28	29	0,34	CUMPLE	1,65	CUMPLE	SUPERCRITICO
92	29	20-A	0,36	CUMPLE	1,93	CUMPLE	SUPERCRITICO
93	110	48	0,01	CUMPLE	0,95	CUMPLE	SUPERCRITICO
94	48	30-A	0,15	CUMPLE	1,28	CUMPLE	SUPERCRITICO
95	30-A	30-B	0,21	CUMPLE	1,51	CUMPLE	SUPERCRITICO
96	30-B	29-C	0,37	CUMPLE	2,07	CUMPLE	SUPERCRITICO
97	29-C	29-B	0,21	CUMPLE	3,25	CUMPLE	SUPERCRITICO
98	31	30	0,46	CUMPLE	2,54	CUMPLE	SUPERCRITICO
99	30	30-A	0,44	CUMPLE	2,76	CUMPLE	SUPERCRITICO

Fuente: Autores.

En casos precisos se realizó el diseño para la optimización modificando el diámetro, material y pendiente de la tubería para el cumplimiento de  $V_{min}$ , tensión a cortante y tipo de flujo.

## 5. TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

El proceso de mitigación de la polución no solo se repercute en el suelo sino también en el tratamiento de las aguas residuales. Sin embargo, en vista de diferentes metodologías para el tratamiento de estas, es imposible tener el control total para su éxito, debido a que la falta de recursos financieros para sus implementaciones, operación y mantenimiento permanente, son de vital importancia para su funcionamiento.

Entorno al manejo de aguas residuales que lleva Cucaita, se entra a evaluar diferentes metodologías de acuerdo a las características, topográficas, economía y procesos que se lleven a cabo en el municipio que afectan la calidad de agua.

### 5.1. CANAL DE ENTRADA<sup>11</sup>

El canal de acceso o, de entrada, es la estructura en la cual descarga la tubería del colector de conducción en la planta. Se propone un canal a cielo abierto y con sección trapezoidal. La longitud del canal de acceso no necesariamente habrá de ser calculada, pero habrá de ser suficiente para dar cabida a la basura que se aglomere en las rejillas.

Inicialmente se inicia el cálculo de la altura de la lámina de agua en el canal de Entrada empleando la ecuación de Manning.

$$Q = \frac{R^{2/3} S^{1/2} A}{N}$$

Donde:

- Q = Caudal de diseño (m<sup>3</sup>/s).
- R = Radio hidráulico (m).
- S = Pendiente del fondo del canal (m/m)
- N = Coeficiente de rugosidad
- A = Área del canal (m<sup>2</sup>)

Para el cálculo del diseño se del canal se toma como caudal inicial el de aguas residuales domesticas

- QD: 0,0056 mcS

---

<sup>11</sup> (Chow, 2004)

Se asume una forma específica:

- Trapezoidal 1

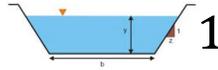


Tabla 14. Especificaciones De Forma En Canal

GEOMETRIA	FORMA		b	Y <sub>cb</sub>	σ	z	F/S	F/E	y	BL%	HT	e/V	AJUSTE e/V	T	e/L	AJUSTE e/L	b	Y	A	P	R	T	D	Z	
RECTANGULAR		0H:1V	2.5	0.33	N/A	N/A	1.79	0.18	0.82	10%	0.08	0.91	0.25	0.25	0.33	0.40	0.40	0.92	0.82	0.75	1.51	0.29	0.92	0.82	0.65
TRAPECIO 1		H:V	2.5	0.28	N/A	1	1.79	0.18	0.71	10%	0.07	0.78	0.22	0.22	0.29	0.35	0.35	0.79	0.71	1.29	2.80	0.462	1.1	0.462	1.39
TRAPECIO 2		H:V	2.5	0.24	N/A	2	1.79	0.18	0.59	12%	0.07	0.66	0.18	0.18	0.24	0.29	0.29	0.66	0.59	4.49	3.29	1.363	1.5	1.363	7.65
TRAPECIO 1/2		H:V	2.5	0.31	N/A	1/2	1.79	0.18	0.78	10%	0.08	0.86	0.24	0.24	0.31	0.38	0.38	0.87	0.78	2.73	2.61	1.047	0.7	1.047	5.50
TRAPECIO 1/4		H:V	2.5	0.32	N/A	1/4	1.79	0.18	0.79	10%	0.08	0.87	0.24	0.24	0.32	0.39	0.39	0.88	0.79	3.52	2.51	1.402	0.35	1.402	c

Fuente: Autores.

Evaluar el factor de sección es una función de la gravedad del caudal.

$$F.S = \frac{Q}{\sqrt{g}}$$

El factor de entrada es la relación entre el factor de sección y la base o diámetro del canal.

$$F.E = \frac{F.S}{\phi^{5/2}}$$

Con el método de predimensionamiento de factor de sección de canal rectangular su calcula el  $Y_c/b$ .

Luego de calcular el  $Y_c/b$ , se debe calcular la lamina de agua despejando la siguiente formula:

$$\frac{Y_c}{b} = x \rightarrow Y_c = b \cdot x$$

Teniendo en cuenta la lamina de agua se compara con la base ya que el  $Y_c$  debe estar a un 80% y 90% del canal para su esbeltez.

## → DIMENSIONAMIENTO

Teniendo la base y la lamina del canal, se hallan los demás elementos estructurales.

ELEMENTO	FORMULA
Borde libre (BL)	$(10 - 14) \% Y_c$
Altura total ( $H_T$ )	$BL + Y_c$
Espesor Vástago ( $e_v$ )	$0,3048Y_c$
Distancia talón (T)	$1,32e_v$
Espesor losa ( $e_L$ )	$1,16e_v$

## → DIMENSIONAMIENTO DE NORMA

ELEMENTO	FORMULA
Espesor Vástago ( $e_v$ )	Mínimo = 0,25m Máximo = 0,38m
Espesor losa ( $e_L$ )	Mínimo = 0,30m Máximo = 0,42m

Con los valores propuestos, se efectúan los cálculos estadísticos básicos.

- (Ver Anexo K)

## 5.2. PRETRATAMIENTO

### 5.2.1.1. DISEÑO DE ESTRUCTURA DE CRIBADO

Las rejillas diseñadas para la planta son de limpieza manual. Con base en el tamaño de aberturas se clasifican como rejillas gruesas o finas. Las rejillas gruesas son aquellas con aberturas iguales o mayores de 0,64 cm (1/4”), mientras que las finas tienen aberturas menores de 0,64 cm. En el tratamiento de aguas residuales se usan rejillas gruesas principalmente de barras o varillas de acero para proteger válvulas, equipos, bombas, etc. De las obstrucción o interferencia causados por trapos, tarros y objetos grandes.

Teniendo en cuenta la topografía de Cucaita se hace el diseño tomando una inclinación de rejilla a los 45°. Conforme a las características de limpieza son estipuladas en la Tabla 15.

Tabla 15. Características De Rejillas De Barras

CARACTERISTICAS	DE LIMPIEZA MANUAL	DE LIMPIEZA MECANICA
Ancho De Barras	0,5 - 1,5 cm	0,5 - 1,5 cm
Profundidad De Las Barras	2,5 - 7,5 cm	2,5 - 7,5 cm
Abertura O Espaciamiento	2,5 - 5 cm	1,5 - 5 cm
Pendiente Con La Vertical	30° - 45°	0° - 30°
Velocidad De Acercamiento	0,3 - 0,6 cm	0,6 - 1 m/s
Perdida De Energia Permissible	15cm	15cm

Fuente: (Romero Rojas, 2004)

- Perdidas En Rejillas:

La pérdida de energía a través de la rejilla es función de la forma de las barras y de la altura o energía de velocidad del flujo entre las barras.

Según Kirschmer, la pérdida de energía en una rejilla limpia puede calcularse por:

$$H = \beta \left(\frac{w}{b}\right)^{4/3} hv \text{ sen}\theta$$

Donde:

- H = Pérdida de energía. (m)
- $\beta$  = Factor de forma de las barras.
- w = Ancho máximo de la sección transversal de las barras, en la dirección del flujo (m).
- b = Espaciamiento o separación mínima entre barras (m).
- hv = Altura o energía de velocidad del flujo de aproximación (m).
- $\theta$  = Ángulo de la rejilla con la horizontal.

Tabla 16. Factor De Forma Para Rejillas

FORMA	A	B	C	D	E	F	G
$\beta$	2,42	1,83	1,67	1,035	0,92	0,76	1,79

Fuente: (Ministerio De Vivienda, Ciudad y Territorio, 2000)

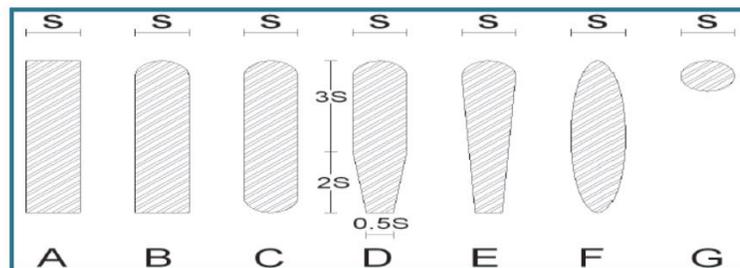


Ilustración 5. Diferentes Formas De Barrotos De Rejillas

La forma de las barras a implementar será circulares donde el coeficiente de pérdida  $\beta$  es de 2,42 (ver Tabla 16).

Altura o energía de velocidad del flujo de aproximación  $h_v$  se calculó con la siguiente fórmula:

$$h_v = \frac{v^2}{2g}$$

Para hallar la altura  $H$  se le dio un valor de 0.4 m de longitud de la rejilla.

- Brejilla: 0.4 m
- El diámetro utilizado para el diseño es de 1"

Para un ancho de canal de 0,4m, la altura de la lámina de agua sería:

$$h = \frac{A}{b}$$

La longitud de la rejilla sería:

$$L = \frac{h}{\text{sen}45^\circ}$$

En la Tabla 17. Diseño De Rejilla se evidencia los resultados de las dimensiones del diseño de la rejilla.

Tabla 17. Diseño De Rejilla

REJILLA			
Dimensiones			
Q	=	5,6	l/s
$\beta$	=	2,42	
V	=	0,46	m/s
$h_v$	=	0,0108	
Brejilla	=	0,40	m
A	=	0,01	m <sup>2</sup>
h	=	0,02	m
L	=	0,02	m
H	=	0,039	m
d	=	1/2	"
d	=	0,0127	m
e	=	0,05	m
%	=	45	

Fuente: Autores.

### 5.3. CANALETA PARSHALL

Es un dispositivo de medición basado en el efecto Venturi. En la Ilustración 6 se muestra el esquema de la canaleta, con una contracción en el punto w, con caída profunda y luego con ascenso.

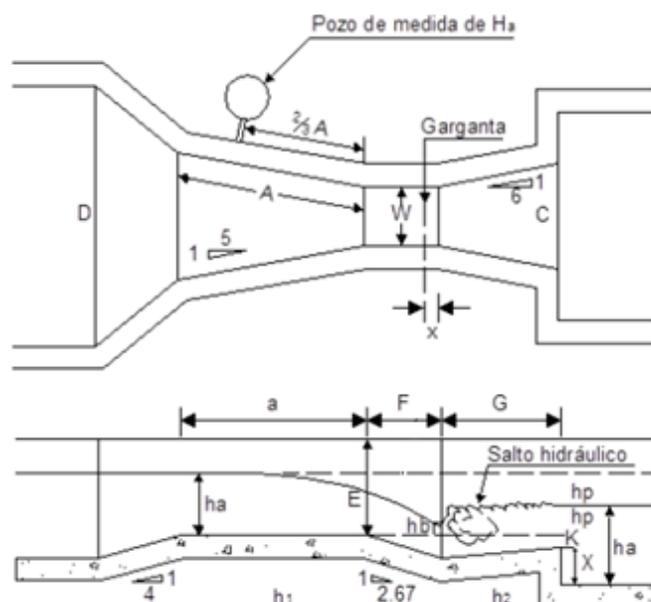


Ilustración 6. Configuración De La Canaleta Parshall

La introducción de la caída en el piso de la canaleta produce flujo supercrítico a través de la garganta. La canaleta debe construirse de acuerdo con las dimensiones de la Tabla 18 para satisfacer correctamente la ecuación de cálculo.

Tabla 18. Dimensiones De La Canaleta Parshall

W	A	B	C	D	E	F	G	K	N	R	M	P	X	Y	
1	2,5	36,3	35,6	9,3	16,8	22,9	7,6	20,3	1,9	2,9	-	-	50	0,8	1,3
2	5	41,4	40,6	13,5	21,4	35,6	11,4	25,4	2,2	4,3	-	-	70	1,6	2,5
3	7,6	46,6	45,7	17,8	25,9	38,1	15,2	30,5	2,5	5,7	40,6	30,5	76,8	2,5	3,8
6	15,2	62,1	61	39,4	40,3	45,7	30,5	61	7,6	11,4	40,6	30,5	90,2	5,1	7,6
9	22,9	88	86,4	38	57,5	61	30,5	45,7	7,6	11,4	40,6	30,5	108	5,1	7,6
12	30,5	137,2	134,4	61	84,5	91,5	61	91,5	7,6	22,9	50,8	38,1	149,2	5,1	7,6
18	45,7	144,9	142	76,2	102,6	91,5	61	91,5	7,6	22,9	50,8	38,1	167,6	5,1	7,6
24	61	152,5	149,6	91,5	120,7	91,5	61	91,5	7,6	22,9	50,8	38,1	185,4	5,1	7,6
36	91,4	167,7	164,5	122	157,2	91,5	61	91,5	7,6	22,9	50,8	45,7	222,3	5,1	7,6
48	121,9	183	179,5	152,5	193,8	91,5	61	91,5	7,6	22,9	61	45,7	271,1	5,1	7,6
60	152,4	198,3	194,1	183	230,3	91,5	61	91,5	7,6	22,9	61	45,7	308	5,1	7,6
72	182,8	213,5	20,9	213,5	266,7	91,5	61	91,5	7,6	22,9	61	45,7	344,2	5,1	7,6
84	213,4	228,8	224	244	303	91,5	61	91,5	7,6	22,9	61	45,7	381	5,1	7,6
96	243,8	244	239,2	274,5	340	91,5	61	91,5	7,6	22,9	-	-	417,2	5,1	7,6

Fuente: (Romero Rojas, 2004)

Para la canaleta Parshall se nomina según el ancho de la garganta. Las ecuaciones para cálculo del caudal se incluyen en la Tabla 19 para satisfacer correctamente la ecuación de cálculo.

Tabla 19. Formulas Para Cana La Canaleta Parshall

CAUDAL Q (l/s)		ANCHO DE GARGANTA (W)		ECUACION
Minimo	Maximo	pulg	cm	
0,3	5	1	2,5	$Q = 0,055 Ha^{1,5}$
0,6	13	2	5	$Q = 0,110 Ha^{1,5}$
0,8	55	3	7,6	$Q = 0,176 Ha^{1,547}$
1,5	110	6	15,2	$Q = 0,381 Ha^{1,58}$
2,5	250	9	22,9	$Q = 0,535 Ha^{1,53}$
3,1	4,55	12	30,5	$Q = 0,690 Ha^{1,522}$
4,3	700	18	45,7	$Q = 1,054 Ha^{1,538}$
12	950	24	61	$Q = 1,426 Ha^{1,55}$
17	1400	36	91,4	$Q = 2,182 Ha^{1,566}$
37	1900	48	121,9	$Q = 2,935 Ha^{1,578}$
60	2400	60	152,4	$Q = 3,728 Ha^{1,587}$
70	2900	72	182,8	$Q = 4,515 Ha^{1,595}$
115	3,45	84	213,4	$Q = 5,306 Ha^{1,601}$
130	3950	96	243,8	$Q = 6,101 Ha^{1,6}$
250	5660	120	305	$Q = 7,463 Ha^{1,6}$

Fuente: (Romero Rojas, 2004)

Se escoge una canaleta para capacidad de  $Q = 5,6$  L/s en la Tabla 19, el cual escogemos un  $W = 2''$  equivalente a 5,1cm en la Tabla 18.

Se calculo la profundidad de agua  $Ha$  por la ecuación correspondiente a la Tabla 19.

$$Ha = \left( \frac{0,7}{0,110} \right)$$

Se calcula la profundidad  $Hb$  para sumergencia máxima del 70%.

$$\frac{Hb}{Ha} = 0,70$$

Tabla 20. Dimensiones De La Canaleta Parshall

MEDIDOR PARSHALL				
Dimensiones				
Q	5,6	l/s		
D'	0,71	m		
w	2	"		
w	5,1	cm	0,05	m
A	41,4	cm	0,41	m
B	40,6	cm	0,41	m
C	13,5	cm	0,14	m
D	21,4	cm	0,21	m
E	35,6	cm	0,36	m
F	11,4	cm	0,11	m
G	25,4	cm	0,25	m
K	2,2	cm	0,02	m
N	4,3	cm	0,04	m
H	27,6	cm	0,28	m
Hb/Ha	0,7			
Ha	3,37	cm	0,03	m
Hb	2,36	cm	0,02	m

Fuente: Autores.

#### 5.4. SEDIMENTADOR PRELIMINAR

El problema radica en separar los sólidos del líquido o sea las partículas coaguladas, del medio en el cual están suspendidas.

La sedimentación y la filtración son procesos complementarios, puesto que la sedimentación realiza la separación de los sólidos más densos del agua y que tiene una velocidad de caída tal que pueden llegar al fondo del tanque sedimentador en un tiempo económicamente aceptable. La filtración en cambio, separa aquellos sólidos que tienen una densidad muy cercana a la del agua o que han sido suspendidos por cualquier causa en el flujo, y por lo tanto no quedan removidos en el proceso anterior.<sup>12</sup>

El tipo de sedimentación preliminar se hace combinado para la planta de tratamiento del municipio de Cucaita.

- Caudal de diseño: 483,14 m<sup>3</sup>/día

La temperatura del agua es información que no se adquiere del municipio.

---

<sup>12</sup> (Arboleda Valencia)

- T°: 10°C

De acuerdo a la temperatura del agua se toman las propiedades para el agua.

Tabla 21. Propiedades Del Agua

PROPIEDADES FÍSICAS DEL AGUA							
Temperatura (°C)	Peso específico (kN/m <sup>3</sup> )	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Módulo de elasticidad (kN/m <sup>2</sup> )	Viscosidad dinámica (N·s/m <sup>2</sup> )	Viscosidad cinemática (m <sup>2</sup> /s)	Tensión superficial (N/m)	Presión de vapor (kN/m <sup>2</sup> )
10	9,804	999,7	2100000	0,001307	0,000001306	0,0742	1,23

Fuente: Autores.

Según Formula de Reynolds.

$$Re = \frac{v * \phi}{\mu} \text{ Flujo Laminar}$$

- Re: 0,192

Para el tiempo.

$$T_{(0)} = \frac{As * H}{Q}$$

- T<sub>(0)</sub>: 7.200seg

Según RAS 2000 para los niveles de complejidad de sistema bajo y medio, la planta de tratamiento debe tener como mínimo dos unidades. Para los niveles de complejidad de sistema medio alto y alto debe tener como mínimo tres unidades.

- N: 2

La pendiente longitudinal del fondo debe ser mayor al 2%, entre 5% y 10%, para facilitar el deslizamiento del sedimento.

- S: 2%

La unidad debe diseñarse de forma que permita un tiempo de detención entre 2 h y 4 h.

- t: 2 Horas

Debe estar entre 15 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> día y 30 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> día.

- Cs: 25 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> día

El volumen se determina por:

$$VL = t * Q$$

- VL: 40,26m<sup>3</sup>

Para dimensiones.

$$As = \frac{Q}{Cs}$$

- As: 19,3m<sup>2</sup>

$$H = \frac{VL}{As}$$

- H: 2,08m

Para tanques rectangulares, la relación entre el ancho y el largo es de 1:4 a 1:8.

- B:H: 1:4

$$B = \sqrt{\frac{As}{L}}$$

- B: 2,198m

$$L = \frac{As}{B}$$

- L: 8,8m

El sedimentador de flujo horizontal debe diseñarse de forma que permita una velocidad horizontal del flujo de agua de máximo 1 cm/s.

$$Vn = \frac{Q}{B * H}$$

- Vn: 0,122 cm/s

Para tanques rectangulares, la relación entre el el largo y la profundidad debe estar entre 5:1 y 25:1

- L:H : 4.22:1

Para un qu de diseño.

$$qu = \frac{Q}{B}$$

- qu: 2,54 l/ms

→ **VERTEDERO DE SALIDA**

$$Lv = \frac{Q}{7} = \frac{5,6 \text{ l/s}}{7} = 0,8m$$

$$Hv = \left( \frac{Q}{1,84 * B} \right)^{2/3} = \left( \frac{0,0056}{1,84 * 2,198} \right)^{2/3} = 0,01m$$

$$Vv = \frac{Q}{B * Hv} = \frac{0,0056}{2,198 * 0,01} = 0,2 \text{ m/s}$$

$$Bv = Xs + 0,11 = 0,2 + 0,11 = 0,28m$$

$$Xs = 0,36 * Vv^{2/3} + 0,6 * Hv^{4/7} = 0,36 * 0,2^{2/3} + 0,6 * 0,01^{4/7} = 0,2m$$

$$Zv = 15 * Hv = 15 * 0,01 = 0,19m$$

→ **PANTALLA DE SALIDA**

$$H/2 = 2,08/2 = 1,04m$$

→ **PANTALLA DE ENTRADA**

$$H/3 = 2,08/3 = 0,69m$$

→ **CONDICIONES DE LA TUBERÍA DE ENTRADA**

$$\text{Material PVC}_{(n)} = 0,009$$

$$S_T = 0,1\%$$

$$D_T = 6in$$

$$D_T = 0,1524m$$

$$A_T = \frac{\pi D_T^2}{4} = \frac{\pi * 0,1524^2}{4} = 0,0182m^2$$

$$Q_o = \frac{0,312 * D_T^{8/3} * S_T^{1/2}}{\text{Material PVC}_{(n)}} = \frac{0,312 * 0,1524^{8/3} * 0,1\%^{1/2}}{0,009} = 0,007 m^3/s$$

$$Q_e = Q_o - Q = 0,007 - 0,0056 = 0,0017 m^3/s$$

### → CÁMARA DE QUIETAMIENTO

$$Z_e = \frac{L}{4} = \frac{8,8}{4} = 2,2m$$

$$H_e = \frac{H}{3} = \frac{2,08}{3} = 0,7m$$

$$B_e = \frac{B}{3} = \frac{2,198}{3} = 0,73m$$

$$L_e = 0,5m$$

$$h_e = \frac{Q_e}{1,84 * L_e} = \frac{0,0017}{1,84 * 0,5} = 0,002m$$

$$V_e = \frac{Q_e}{H_e * L_e} = \frac{0,0017}{0,7 * 0,5} = 0,005 m/s$$

$$X_s = 0,36 * V_e^{2/3} + 0,6 * h_e^{4/7} = 0,36 * 0,005^{2/3} + 0,6 * 0,002^{4/7} = 0,027m$$

$$L_e = X_s + 0,1 = 0,027 + 0,1 = 0,127m$$

$$L'_e = \frac{B - B_e}{2} = \frac{2,198 - 0,73}{2} = 0,733m$$

### → ALMACENAMIENTO DE LODOS

$$L/p = 10$$

$$P_{max} = \frac{L}{L/p} = \frac{8,8}{10} = 0,9m$$

$$P_{max} = 2m$$

$$P_{min} = 1m$$

$$D = \frac{L}{3} = \frac{8,8x}{3} = 2,93m$$

$$D = \frac{2 * L}{3} = 5,9m$$

$$S_t = \frac{P_{max} - P_{min}}{Z_e} = 45\%$$

$$S_{t_{L/3}} = \frac{0,2}{D} = \frac{0,2}{11,4} = 7\%$$

$$S_{t_{2L/3}} = \frac{0,2}{D} = \frac{0,2}{22,9} = 3\%$$

## 5.5. ZANJÓN DE OXIDACIÓN

Es una modificación del sistema biológico de proceso de lodos activados, del tipo de aireación prolongada, que se usa en un canal cerrado, con dos curvas, para la aireación y mezcla. Como equipo de aireación y circulación del licor mezclado usa aireadores mecánicos del tipo cepillos horizontales de jaula o discos.

En la Ilustración 7 se muestra la planta típica de un zanjón de oxidación, no incluye sedimentación primaria utilizando solo canal concéntrico, un sedimentador secundario con lecho de secado de lodos.<sup>13</sup>

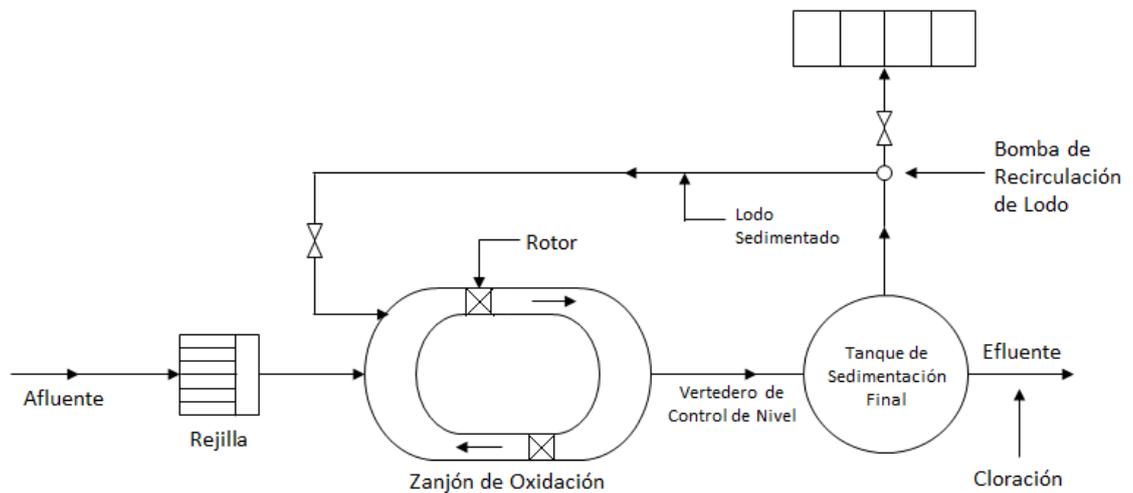


Ilustración 7. Planta De Tratamiento Con Zanjón De Oxidación.

<sup>13</sup> (Romero Rojas, 2004)

Tabla 22. Parámetros De Diseño De Zanjones De Oxidación

PARAMETRO	VALOR	OBSERVACIONES	
Relación A/M, kg DBO/kg SSV,d	0,1 - 0,3	En la India	
	0,03 - 0,1	En Estados Unidos	
	0,05	En Europa	
Carga orgánica volumétrica, gDBO/m <sup>3</sup> ,d	200- 1,200		
	220	Para aguas residuales domésticas.	
	160	Para aguas residuales debeles.	
SSML, mg/L	<640	Para aguas residuales industriales.	
	2,000 - 6,000		
Edad de lodos, d	3,000 - 8,000		
	20 -30		
Tiempo de aireación, h	> 15	Para temperatura > 15°	
	12 36		
Relación de recirculación, %	24 -72	En Inglaterra	
	25 - 75		
Profundidad, m	1,0 - 1,5	Para cepillos o rotores de jaula	
	2,4 - 5,0	Para rotores mamut o cepillos de 1,07m de diámetro	
Sumergencia de los cepillos, cm	18	Para cepillos de 1,07m de diámetro	
	5 25	Para cepillos de 70cm de diámetro	
Longitud de los cepillos, m	0,3 - 4,5	En cepillos de 70cm de diámetro	
	9m	En cepillos de 107cm de diámetros	
Velocidad de los cepillos, RPM	60 - 95	Para cepillos de 70cm de diámetro	
	50 -72	Para cepillos de 107cm de diámetros	
Taludes		Preferiblemente en concreto, asfalto, arcilla o prefabricados para prevenir erosión.	
Producción de lodos, g/cd	5 10	En la India	
	g/cd	25 - 30	En Europa
	kg/kg DBOR	0,5 - 0,7	
Oxigeno requerido			
Kg O2/kg DBOA	1,5 - 2,0	En la India	
Kg O2/kg DBOA	2	En Europa	
Kg O2/kg DBOR	1,5 - 1,8	En Estados Unidos	
Velocidad en la zanja, m/s	0,3 - 0,8	Suficiente para mantener los sólidos en suspensión	
Relación volumen zanjón/longitud de cepillo, m <sup>3</sup> /m	150 - 200	Para mantener velocidad de flujo adecuada con rotores de 70cm	
	260	Para rotores de 107cm	
Relación ancha del zanjón/longitud del cepillo	1,5 - 2,8		
Remoción de DBO, %	> 90		
Remoción de SST, %	> 90		
Área de lechos de secado, m <sup>2</sup> /c	0,025	En la India	
	0,35	En Europa	
Área total requerida, m <sup>2</sup> /c	0,125	En la India	
	1,2	En Europa	
Calidad del efluente, mg/L	DBO < 15		
	SST < 15		
	NH3 - N < 5		
Carga superficial del sedimentador, m/d	15 - 20	Para caudal promedio	
	40 - 80	Para caudal máximo	

Fuente: (Romero Rojas, 2004)

El volumen del reactor se calcula con base en la relación alimento/microorganismos (A/M).

$$V = \frac{QS_o}{\left(\frac{A}{M}\right)X}$$

Tiempo de retención.

$$\theta = \frac{V}{Q}$$

Carga orgánica aplicada (DBOA).

$$DBOA = S_o * 10^4 * 10^{-3}$$

El oxígeno requerido suponiendo igual a dos veces la DBO aplicada, será:

$$OR = 2(DBOA)$$

La concentración de saturación de OD, sería:

$$C_{S(T.A)} = \frac{C_{S(T.O)}PA}{760}$$

$$PA = 760 \left(1 - \frac{A}{9.450}\right)$$

Donde:

- PA = Presión barométrica del lugar, mmHg.
- $C_{S(T.O)}$  = Concentración de saturación de OD para la temperatura T y O msnm, en agua potable,  $mg/L$ .
- A = Altitud del lugar, m

La capacidad real de transferencia de oxígeno del cepillo de aireación, se calcula por la siguiente ecuación:

$$N = No\alpha(1,024)^{T-20} \left[ \frac{\beta C_{S(T.A)} - C}{C_{S(20.0)}} \right]$$

Donde:

- N = Tasa real de transferencia de oxígeno de,  $KgO^2/mh$ .
- No = Tasa nominal de transferencia de oxígeno en condiciones normales,  $KgO^2/mh$ .
- $\alpha$  = relación promedio de la tasa de transferencia de oxígeno no en el agua residual, **KL** a, la tasa de transferencia de oxígeno en agua

- potable. Generalmente igual a 0,7-0,95.
- T = Temperatura de diseño °C.
- $\beta$  = Relación entre la concentración de saturación de oxígeno en el agua residual y la concentración de saturación en agua potable, generalmente igual a 0,9 para aguas residuales domésticas.
- $C_{S(20.0)}$  = Concentración de saturación de oxígeno disuelto en agua destilada a 20°C y el nivel del mar; 9,1 mg/L.
- C = Concentración promedio de oxígeno disuelto en el zanjón, generalmente 1,0-1,5 mg/L.

El oxígeno requerido se calcula generalmente suponiendo un consumo de 1,5-2,0 kgO<sup>2</sup>/kg de DBO aplicada. Los cepillos de 70 cm de diámetro tienen una capacidad nominal de oxigenación de 3 kgO<sup>2</sup>/m.h a una inmersión de 15 cm y a una velocidad de rotación de 70RPM; los rotores más grandes o mamut, de 100 cm de diámetro, tienen una capacidad nominal de 10 kgO<sup>2</sup>/m.h, con una inmersión de 30 cm y para una velocidad de rotación de 70 RPM.<sup>14</sup>

Tabla 23. Diseño Del Zanjón de Oxidación

SEDIMENTADOR PRELIMINAR	
DATOS ENTRADA	
Poblacion (Hab)	5251,6
Caudal (l/s)	5,59
Caudal (l/hab*día)	120
DBO (gr/hab*día)	50,0
Relacion A/M (días -1)	0,11
Concentracion de solidos en el redactor (mg/l)	2338,00
Temperatura (°C)	13 4/5
Presion atmosferica del lugar (mmHg)	555,00
Presion barometrica del lugar (mmHg)	404,67
Concentracion de oxigeno disuelto en el zanjon (C) (mg/l) OD	2,0
Cepillos de aireacion ( No) (kg/m*hora)	6
Relacion entre Cs agua residual y Cs agua potable (Beta)	0,90
Relacion promedio de la tasa de transferencia (Alfa)	0,82
Concentracion promedio de oxigeno disuelto en agua destilada a 20°C ( Cs (20,0))	9,17
Carga superficial (m/día)	20,0
Tiempo de retención (h)	2
Constante Area de lodos (m <sup>2</sup> /hab)	0,20

<sup>14</sup> (Romero Rojas, 2004)

Continuación:

DATOS CALCULADOS	
Caudal (m <sup>3</sup> /día)	483,14
Concentración de DBO en el afluente(S <sub>0</sub> ) (mg/l)	416,67
Volumen del reactor (m <sup>3</sup> )	782,76
Tiempo de retención(días)	1,62
Tiempo de retención (horas)	38,88
Carga orgánica aplicada (DBO <sub>a</sub> ) (kg DBO/día)	262,58
Oxígeno requerido(kg O <sub>2</sub> /día)	525,16
Concentración de saturación de OD ( C <sub>s</sub> ) (mg/l)	7,93
Capacidad real de transferencia de oxígeno del cepillo de aireación (N) (kg O <sub>2</sub> /m <sup>3</sup> *h)	2,89
Longitud requerida de los cepillos (L <sub>c</sub> ) (m)	7,57
Carga orgánica volumétrica (COV) ( gr DBO/m <sup>3</sup> *día)	335,45
Longitud total (L <sub>t</sub> ) (m)	24,41
DIMENSIONAMIENTO DEL REACTOR	
Asumiendo una altura para el reactor (h) (m)	2,00
Area superficial (m <sup>2</sup> )	391,38
Ancho (m)	6,6
Largo (m)	13,19
DIMENSIONAMIENTO DEL TANQUE DE SEDIMENTACION	
AREA SUPERFICIAL (A <sub>s</sub> ) (m <sup>2</sup> )	72,47
DIAMETRO DEL TANQUE (m)	9,61
VOLUMEN DEL TANQUE ( V <sub>t</sub> ) (m <sup>3</sup> )	120,79
PROFUNDIDAD DEL AGUA (m)	1,67
LECHOS DE SECADO	
AREA DE LOS LECHOS (m <sup>2</sup> )	1050,31
Ancho DE LOS LECHOS (m)	2,70
Largo DE LOS LECHOS(m)	5,40
# LECHOS	4,00

Fuente: Autores.

## 5.6. TANQUE DE SEDIMENTACIÓN

La función de estos tanques es extraer los lodos sin que se desocupe el tanque, haciendo su operación fácil produciendo un buen efluente. Se diseñan con cargas superficiales de 29m/d con un tiempo de retención entre dos a tres horas. Con inclinación en sus paredes de 60° en horizontal y 50° en las pendientes de las esquinas.

Caudal del zajón de oxidación.

- Q: 483,14m<sup>3</sup>/d

Área superficial.

$$As = \frac{3Q}{Carga\ Superficial}$$

Diámetro del tanque.

$$\phi = \sqrt{\frac{4 * As}{\pi}}$$

Volumen del tanque.

$$Vt = \frac{3 * Q * 2}{24}$$

Profundidad del agua.

$$h = \frac{Vt}{As}$$

$$Vs = 0,90 \text{ m/h}$$

$$Ch = \frac{Q * 24}{1/As}$$

La altura del manto varía según la unidad, de 1 m a 3 m. Se recomienda una altura de 2 m.

$$H_{manto\ lodo} = 2$$

Tabla 24. Tanque Sedimentador

DIMENSIONAMIENTO DEL TANQUE DE SEDIMENTACION	
Q m <sup>3</sup> /d	483,14
AREA SUPERFICIAL (As) (m <sup>2</sup> )	72,47
DIAMETRO DEL TANQUE (m)	9,61
VOLUMEN DEL TANQUE ( Vt) (m <sup>3</sup> )	120,79
PROFUNDIDAD DEL AGUA (m)	1,67
VS m/h	0,90
CH m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> d	160,00
Hmanto lodo (m)	2,00
CONDICIONES DE LA TUBERÍA DE ENTRADA	
Material PVC (n)=	0,009
S <sub>T</sub>	0,01
D <sub>T</sub> (in)	8
D <sub>T</sub> (m)	0,20
A <sub>T</sub> (m <sup>2</sup> )	0,03
Q <sub>o</sub> (m <sup>3</sup> /s)	0,05
Q <sub>e</sub> (m <sup>3</sup> /s)	0,04
V (m/s)	1,53
CONDICIONES DE LA TUBERÍA DE SALIDA	
Material PVC (n)=	0,009
S <sub>T</sub>	0,010
D <sub>T</sub> (in)	8,000
D <sub>T</sub> (m)	0,20
A <sub>T</sub> (m <sup>2</sup> )	0,0324
Q <sub>o</sub> (m <sup>3</sup> /s)	0,05
Q <sub>e</sub> (m <sup>3</sup> /s)	0,05
V (m/s)	1,53
CD	0,85
N# orificios	6,00
Ao m <sup>2</sup>	2,62E-04
Do m	0,0183

Fuente: Autores.

## 6. ANÁLISIS DE INFORMACIÓN Y RESULTADOS

1. Dentro de la problemática que se refleja se encuentra la del saneamiento básico del municipio de Cucaita, el cual presenta dificultades fiscales y administrativas que hacen que se genere un déficit en la cobertura y calidad de los servicios públicos. Como ha de saberse la importancia que tiene el suministro de agua potable y la recolección de aguas residuales es vital para el desarrollo de la comunidad.

Se evidencia la baja calidad de la potabilización del agua y la falta del manejo adecuado de aguas residuales, puesto que este municipio no cuenta con una PTAR (Planta De Tratamiento De Aguas Residuales). Se encuentra que en la captación de las aguas residuales son recibidas por un embalse en el cual se empieza a denotar acumulación de residuos orgánicos, los cuales hacen que se vaya perdiendo capacidad y que su carga biológica no sea tan fácil de eliminar en el sistema de tratamiento.

2. Tomando el diseño del alcantarillado actual, el cual cuenta con 101 tramos los cuales están debidamente señalados y acotados (Ver Anexo G), de lo que se encuentra en el casco urbano. Se evalúa el sistema teniendo en cuenta el periodo de diseño para el cual fueron necesarios los CENSOS suministrados por el DANE para la proyección poblacional, y así poder evidenciar la falencia con la que cuenta el sistema al no cumplir con Qo, Vo y tensión cortante.
3. La optimización del alcantarillado se realizó solo en aquellos tramos que no cumplen actualmente, para realizarlo se tuvo en cuenta las normatividades existentes para diseño de alcantarillados a nivel nacional, garantizando un óptimo funcionamiento con respecto a las diferentes variables que pueden afectar (Ver Anexo K).

## 7. CONCLUSIONES

1. Con base a la información que se recopiló en relación al alcantarillado de Cucaita y el procesamiento de aguas, se realizó el modelado del sistema y se verificó como funcionaria teniendo en cuenta los siguientes tres aspectos, analizados cada uno por separado:

Combinado  
Aguas residuales  
Aguas pluviales

Una vez analizados los resultados obtenidos, se evidenció que, si se utiliza el sistema aplicando los parámetros mínimos de diseño, se presentaría un déficit en su funcionamiento, puesto que éste no cumpliría con las características de capacidad mínima requerida. Lo anterior teniendo en cuenta que, del total de tramos de tubería analizados, tan solo en 26% cumple con los requisitos de velocidades, esfuerzo cortante y pendientes.

2. El funcionamiento actual del sistema consta de 100 tramos de tubería, el cual conduce aguas residuales y pluviales simultáneamente (alcantarillado combinado), que actualmente es implementado en el municipio. Cabe aclarar, que la mayoría de la población del casco urbano no está conectada al sistema de alcantarillado, debido a que en la región aún se utilizan pozos sépticos, práctica que ha generado un impacto ambiental negativo.
3. Una vez analizados los resultados de la información encontrada, se diagnosticó que el 74% del sistema debe ser modificado, ya que según (Ver Anexo F) donde se verificó en base a los parámetros mínimos requeridos, que no se está cumpliendo con pendiente,  $Q/Q_0$ , esfuerzo cortante y material, razón suficiente para proponer un nuevo diseño de la red de alcantarillado.
4. El diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales propuesto en este trabajo, contienen las estructuras necesarias para su óptimo funcionamiento y que en su orden se establecieron así:

Canal de Conducción del Efluente  
Rejilla  
Canaleta Parshall  
Sedimentador Común  
Zanjón de Oxidación  
Tanque de sedimentación  
Manto de Lodos

Con este diseño se pretende minimizar y controlar los índices de contaminación que se presentan actualmente en la desembocadura del

sistema, dicho sistema permite un aprovechamiento de los materiales que se recogen, puesto que se pueden utilizar posteriormente como abono para las actividades agrícolas. La eficiencia esperada con este diseño es del 90%.

5. El diseño de la PTAR se realizó para una población proyectada para el año 2042 de 5.252 habitantes, el cual tendrá capacidad para tratar un caudal de 5,59 l/s. aproximadamente.

## **8. RECOMENDACIONES**

1. La construcción de la Planta De Tratamiento Para Aguas Residuales (PTAR) es de vital importancia, puesto que el método implementado actualmente para la recolección de aguas es por medio de un embalse del cual es tomada el agua como uso para riego de cultivos, generando amenaza de contaminación en la cosecha.
2. Debido al deterioro que se presenta en el sistema, ya que la mayoría de redes está en gres y a que por modelación se evidencia que trabaja a tubo lleno, no se recomienda usar el alcantarillado actual, por eso se tomó la opción de diseñar redes independientes contemplando que el municipio actualmente no cuente la capacidad económica, por ende, se diseña con un 5% de las aguas residuales. (Ver. Anexo L).
3. Se debe realizar un acompañamiento a la comunidad por parte de la alcaldía de Cucaita para el uso correcto del manejo de aguas residuales y aguas lluvias, teniendo en cuenta que es un municipio agricultor.
4. Se plantea un lecho de lodos para aprovechamiento como abono para los cultivos.

## BIBLIOGRAFÍA

- (DANE), D. A. (2005). *BOLETIN CENSO GENERAL*. BOYACA. CUCAITA: <http://www.dane.gov.co/>.  
0330, R. (08 de JUNIO de 2017). REPUBLICA DE COLOMBIA.
- ACODAL. (s.f.). *Resolución 0501 de 4 de agosto de 2017 – Reglamento Técnico de tuberías y accesorios*. Obtenido de <http://www.acodal.org.co/resolucion-0501-de-4-de-agosto-de-2017-reglamento-tecnico-de-tuberias-y-accesorios/>
- Arboleda Valencia, I. J. (s.f.). *Teoría, Diseño Y Control De Los Procesos De Clarificación Del Agua*.
- Boyacá, A. d. (s.f.). *¡En Cucaita con el cambio ganamos todos!* Obtenido de [http://www.cucaita-boyaca.gov.co/informacion\\_general.shtml](http://www.cucaita-boyaca.gov.co/informacion_general.shtml)
- CÁRDENAS, A. C. (SEPTIEMBRE de 2006). *dapboyaca*. Obtenido de <http://www.dapboyaca.gov.co/descargas/odm/centro/cucaita.pdf>
- Chow, V. T. (2004). *Hidráulica De Canales Abiertos*. Colombia: Nomos S.A.
- CHOW, V. T. (2004). *HIDRAULICÁ DE CANALES ABIERTOS*. Estados Unidos de América: MCGRAW-HILL.
- Cualla, R. A. (2018). *Elementos De Diseño Para Acueductos Y Alcantarillados*. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería.
- DANE. (2005). Obtenido de *BOLETIN CENSO GENERAL*. BOYACA. CUCAITA: <http://www.dane.gov.co/>
- ECHEVERRIA, I. (22 de Septiembre de 2014). *Prezi*. (Prezi, Editor) Obtenido de Prezi: <https://prezi.com/gwe8to2mcmi1/historia-del-alcantarillado/>
- ECURed. (2007). *ECURed*. Obtenido de <https://www.ecured.cu/Alcantarillado>
- El Ministro de Ambiente y Desarrollo Sostenible, E. M. (26 de DICIEMBRE de 2012). RESOLUCION 2329. COLOMBIA.
- Gobernacion de Boyaca. (08 de Abril de 2018). *MAPA DE RIESGOS DE LA CALIDAD DEL AGUA PARA EL CONSUMO HUMANO DEL ACUEDUCTO DEL MUNICIPIO DE CUCAITA BOYACA*. Obtenido de MAPA DE RIESGOS DE LA CALIDAD DEL AGUA PARA EL CONSUMO HUMANO DEL ACUEDUCTO DEL MUNICIPIO DE CUCAITA BOYACA: [https://www.boyaca.gov.co/SecSalud/images/Documentos/Salud\\_Publica/Ano\\_2014/AGUA\\_CONSUMO\\_HUMANO/MAPA\\_RIESGO/MAPA%20DE%20RIESGO%20DE%20CUCAITA.pdf](https://www.boyaca.gov.co/SecSalud/images/Documentos/Salud_Publica/Ano_2014/AGUA_CONSUMO_HUMANO/MAPA_RIESGO/MAPA%20DE%20RIESGO%20DE%20CUCAITA.pdf)
- INCOTEC. (s.f.). *CODIGO COLOMBIANO DE FONTANERIA*.
- ingenierobeta. (s.f.). *ingenierobeta*. Obtenido de <http://ingenierobeta.com>
- López Cualla, R. A. (2003). *Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados* (2 Ed. ed.). Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería.

MEXICHEN . (s.f.). MANUAL TECNICO DE TUBOSISTEMAS PRESIÓN PVC. *MANUAL TECNICO DE TUBOSISTEMAS PRESIÓN PVC*, 19.

Ministerio De Vivienda, Ciudad y Territorio. (Noviembre de 2000). Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS. Santafe De Bogota D.C.: <http://www.minvivienda.gov.co/viceministerios/viceministerio-de-agua/reglamento-tecnico-del-sector/reglamento-tecnico-del-sector-de-agua-potable>.

MINVIVIENDA. (s.f.). Obtenido de <http://www.minvivienda.gov.co/viceministerios/viceministerio-de-agua/reglamento-tecnico-del-sector/reglamento-tecnico-del-sector-de-agua-potable>

MUNICIPAL, A. (s.f.). *esap*. Obtenido de <http://cdim.esap.edu.co/BancoMedios/Documentos%20PDF/cucaita%20-%20boyac%C3%A1%20-%20pd%20-%202008%20-%202011.pdf>

Romero Rojas, J. A. (2004). *Tratamiento De Aguas Residuales: Teoria Y Principios De Diseño*. Bogota D.C.: Escuela Colombiana de Ingenieria.

senado, e. (s.f.). *Pero... ¿qué es la Constitución Política?* Obtenido de <http://www.senado.gov.co/legales/item/11157-pero-que-es-la-constitucion-politica>

servidas, d. d. (s.f.). *minambiente*. Obtenido de [http://biblovirtual.minambiente.gov.co:3000/DOCS/MEMORIA/MAVDT-0056/MAVDT-0056\\_CAPITULO7.pdf](http://biblovirtual.minambiente.gov.co:3000/DOCS/MEMORIA/MAVDT-0056/MAVDT-0056_CAPITULO7.pdf)

WIKIPEDIA. (02 de Abril de 2018). Obtenido de WIKIPEDIA: [https://es.wikipedia.org/wiki/Departamento\\_Administrativo\\_Nacional\\_de\\_Estad%C3%ADstica](https://es.wikipedia.org/wiki/Departamento_Administrativo_Nacional_de_Estad%C3%ADstica)

## **ANEXOS**

Anexo A. Alcantarillado Actual Combinado

Anexo B. Alcantarillado Actual Pluvial

Anexo C. Alcantarillado Actual Residual

Anexo D. Diseño De Alcantarillado Residual

Anexo E. Diseño De Alcantarillado Pluvial

Anexo F. Diseño De Optimización del Alcantarillado

Anexo G. Plano Actual De Alcantarillado

Anexo H. Plano Diseño Del Alcantarillado De Aguas Residuales

Anexo I. Plano Diseño Del Alcantarillado De Aguas Lluvias

Anexo J. Diseño De Planta De Tratamiento De Agua Potable

Anexo K. Plano Diseño De Planta De Tratamiento De Agua Potable

Anexo L. Registro Fotográfico De Posos