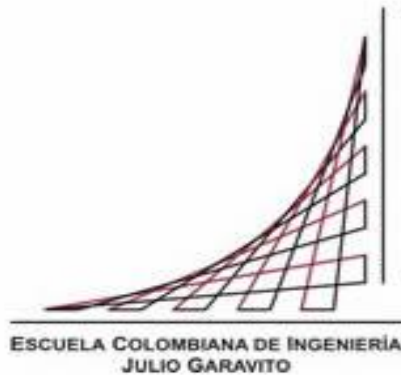


**PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO PARA EL DISEÑO DE UN
ALCANTARILLADO SANITARIO EN ZONAS RURALES**

HÉCTOR ENRIQUE VARGAS PORRAS



**ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO
ESPECIALIZACIÓN EN RECURSOS HIDRÁULICOS Y MEDIO AMBIENTE
COMITÉ DE TRABAJOS DE GRADO
BOGOTÁ
2018**

**PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO PARA EL DISEÑO DE UN
ALCANTARILLADO SANITARIO EN ZONAS RURALES**

HÉCTOR ENRIQUE VARGAS PORRAS

**Proyecto de grado como requisito para optar
al título de Especialista en Recursos Hidráulicos y Medio Ambiente**

**DIRECTOR
HÉCTOR ALFONSO RODRÍGUEZ DÍAZ
INGENIERO CIVIL
Ph.D. DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS**

VISTO BUENO DIRECTOR_____

**ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO
ESPECIALIZACIÓN EN RECURSOS HIDRÁULICOS Y MEDIO AMBIENTE
COMITÉ DE TRABAJOS DE GRADO
BOGOTÁ
2018**

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCION	1
2. ANTECEDENTES.....	2
3. OBJETIVOS.....	4
3.1. GENERAL.....	4
3.2. ESPECÍFICOS.....	4
4. PROPUESTA METODOLÓGICA	4
4.1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	5
4.2. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN RECOPIADA.....	5
4.3. PROPUESTA METODOLÓGICA DEL DIAGRAMA DE FLUJO.....	7
5. DEFINICIÓN DE PARÁMETROS DE UN ALCANTARILLADO SANITARIO RURAL	8
6. ESQUEMA METODOLÓGICO PARA EL DISEÑO DE UN SISTEMA DE ALCANTARILLADO SANITARIO RURAL	10
6.1. METODOLOGÍA	12
6.2. DATOS TÉCNICOS.....	12
6.3. DISEÑO	15
6.3.1. EVALUACIÓN DE LA POBLACIÓN SERVIDA	15
6.3.2. INFORMACIÓN PLANIMÉTRICA Y ALTIMÉTRICA.....	19
6.3.3. EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS	20
6.4. DEFINICIÓN DEL CAUDAL DE AGUAS RESIDUALES	22
6.4.1. CAUDAL DE AGUAS DOMÉSTICAS (Q_D).....	23
6.4.2. CAUDAL DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES (Q_{IND}).....	25
6.4.3. CAUDAL DE AGUAS RESIDUALES INSTITUCIONALES (Q_{INST}).....	26
6.4.4. CAUDAL DE AGUAS RESIDUALES COMERCIALES (Q_{COM})	26
6.4.5. CAUDAL DE AGUAS RESIDUALES POR CONEXIONES ERRADAS (Q_{CE})	26
6.4.6. CAUDAL DE AGUAS RESIDUALES POR INFILTRACIÓN (Q_{INF}).....	26

6.5.	CAUDAL MEDIO DIARIO DE AGUAS RESIDUALES (Q_{MD}).....	27
6.6.	CAUDAL MÁXIMO HORARIO (Q_{MH})	28
6.6.1.	CAUDAL MÁXIMO HORARIO, NORMA TÉCNICA RAS.....	28
6.6.2.	CAUDAL MÁXIMO HORARIO SEGÚN LA METODOLOGÍA DE RAFAEL PÉREZ CARMONA.....	31
6.6.3.	CAUDAL MÁXIMO HORARIO, SEGÚN LA METODOLOGÍA DE RICARDO ALFREDO LÓPEZ CUALLA	33
6.7.	PARÁMETROS HIDRÁULICOS	33
6.7.1.	DIÁMETRO INTERNO MÍNIMO	33
6.7.2.	VELOCIDAD	34
6.7.3.	DIÁMETRO DE DISEÑO	34
6.8.	CAUDAL DE DISEÑO FINAL PARA CADA TRAMO DE LA RED	35
6.9.	SELECCIÓN DEL DIAÁMETRO DEL TRAMO.....	36
6.9.1.	CARACTERÍSTICAS DEL TRAMO	36
6.9.2.	DELIMITACIÓN DEL ÁREA AFERENTE DE CADA TRAMO.....	36
6.9.3.	PROPIEDADES GEOMÉTRICAS EN DUCTOS DE ALCANTARILLADO PARA SECCIONES CIRCULARES	36
6.9.4.	DIMENSIONAMIENTO DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL DE LA TUBERÍA UTILIZANDO LA ECUACIÓN DE MANNING.....	38
6.9.5.	PARÁMETROS HIDRÁULICOS	39
6.10.	EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	41
6.11.	VERTIMIENTO A FUENTE NATURAL.....	42
7.	EJEMPLO APLICATIVO DEL MÉTODO DE DISEÑO DE UN ALCANTARILLADO SANITARIO RURAL	43
7.1.	DATOS TÉCNICOS.....	43
7.1.1.	INFORMACIÓN GENERAL DEL PROYECTO.....	43
7.1.2.	TOPOGRAFÍA.....	44
7.1.3.	LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA	45
7.1.4.	LÍMITES.....	45
7.1.5.	VÍAS DE ACCESO Y DE COMUNICACIÓN	45
7.1.6.	INFORMACIÓN CLIMATOLÓGICA	46

7.1.7.	PRECIPITACIÓN	46
7.1.8.	SERVICIOS PÚBLICOS	47
7.2.1.	ESTIMACIÓN DE LA DEMANDA DE AGUA POTABLE	49
7.3.	INFORMACIÓN PLANIMÉTRICA Y ALTIMÉTRICA.....	50
7.4.	DEFINICIÓN DEL CAUDAL DE AGUAS RESIDUALES	52
7.5.	CAUDAL MEDIO DIARIO DE AGUAS RESIDUALES (QMD)	54
7.5.2.	MÉTODO PARA ESTIMAR EL CAUDAL MEDIO DIARIO DE AGUAS DOMÉSTICAS, SEGÚN REFERENCIA ESCOGIDA, AUTOR RAFAEL PÉREZ CARMONA	55
7.6.	CAUDAL MÁXIMO HORARIO	56
7.6.1.	CAUDAL MÁXIMO HORARIO FINAL POR EL MÉTODO PÉREZ CARMONA.....	56
7.6.2.	CAUDAL MÁXIMO HORARIO POR EL MÉTODO RAS	57
7.7.	CAUDAL DE DISEÑO.....	58
7.7.1.	CAUDAL DE DISEÑO POR EL MÉTODO RAS	58
7.7.2.	CAUDAL DE DISEÑO POR EL MÉTODO PÉREZ CARMONA.....	59
7.8.	SELECCIÓN DEL DIÁMETRO DEL TRAMO	61
8.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	68
9.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	72

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1 Coeficiente de Retorno	25
TABLA 2 Aportes por infiltración en redes de recolección y evacuación de aguas residuales.....	28
TABLA 3 Máximo valor de mayoración de acuerdo con la población servida	31
TABLA 4 Relación de Caudal medio a caudal máximo.....	32
TABLA 5 Relación de Q/Qo máximo para la selección del diámetro	35
TABLA 6 Dotación por habitante según el nivel de complejidad.....	49
TABLA 7 Relaciones Hidráulicas	63

1. INTRODUCCION

Durante los últimos diez años se ha incrementado en Colombia el desarrollo de viviendas campestres en los perímetros de las grandes, medianas y pequeñas ciudades, como consecuencia de diferentes factores, como la congestión vehicular, el elevado precio de los inmuebles, el aumento de la inseguridad, pero sobre todo por el afán de diseñar y construir casas cómodas y a la medida que cada usuario, que garanticen tranquilidad. El artículo en línea de la revista *Dinero*¹, “Vivir en zonas aledañas está de moda”, menciona cifras relevantes sobre el incremento en la demanda y oferta de residencias tipo campestre.

Sin embargo, en estas zonas la construcción de condominios presenta alternativas en las proyecciones de diseños de los sistemas de recolección, evacuación y tratamiento de aguas residuales, pero estas metodologías se aplican para proyectos con condiciones generales, creando así un vacío de referencia y consulta para proyectos particulares.

Lo anterior ha llevado a que los diseñadores y planeadores de este tipo de sistemas de alcantarillado sanitario rural consulten construcciones y diseños de viviendas campestres de otras regiones, relacionados con el tipo de proyecto que se va a realizar, teniendo en cuenta el clima y el nivel socioeconómico con el fin de tener un punto de referencia. No obstante, se presentan errores en cuanto a la planificación, el incremento de los costos y falencias en el funcionamiento de los sistemas de alcantarillado, ya que las características y condiciones particulares de la zona del proyecto son específicas y varían dependiendo del terreno y la región, aumentando así los

¹ (Dinero, 2017), consultado el 5 de enero del 2018.

márgenes de error al momento de la implementación de modelos basados en otras características. Esto ha llevado a que diversas empresas de Colombia como Empresas Públicas de Medellín² (EPM) exponga documentos propios sobre los requisitos mínimos, los valores específicos y las metodologías que deben tenerse en cuenta en los procesos de conceptualización y diseño de este tipo de sistemas de alcantarillado.

Con base en lo anterior se plantea el siguiente interrogante: ¿Existe una guía metodológica que permita conocer el diseño específico y óptimo de un sistema de alcantarillado sanitario rural que incluya la selección de alternativas, recolección, evacuación, puntos de tratamiento y de vertimiento de aguas residuales, soportado dentro del marco de la norma técnica colombiana?

En el presente proyecto se presenta una metodología de diseño de un alcantarillado sanitario rural, el cual se referencia en diferentes análisis de textos bibliográficos y en la normativa técnica colombiana. Además, se relaciona un ejemplo de diseño.

2. ANTECEDENTES

Al consultar las referencias bibliográficas y metodologías para el diseño de alcantarillados sanitarios rurales se evidencia la ausencia de criterios de

² (Empresas Publicas de Medellin, 2013) Empresas Públicas de Medellín, 2013.

diseño para proyectos con características similares a los de alcantarillado sanitario de menor área y población, los cuales corresponden a zonas rurales con proyectos de urbanización referentes a condominios o sociedades de vivienda, que presentan datos de áreas de aporte de caudal de aguas residuales menores a las que se presentan en los ejemplos de los textos y guías referenciados. Gran parte de la información obtenida carece de factores específicos al momento de definir criterios para el diseño de este tipo de alcantarillados.

Por ejemplo, en un proyecto de alcantarillado sanitario rural, independientemente de las características de la zona, los diseñadores requieren una metodología adecuada, que integre la planeación y el diseño acercándose a valores reales a través de información y conocimiento sobre el proyecto que se va a desarrollar. Aunque en diversas fuentes bibliográficas se encuentran metodologías y procedimientos para el diseño y la planeación de sistemas de alcantarillado sanitario aún se presenta incertidumbre sobre algunos factores que se deben considerar para la construcción de este tipo de alcantarillado en las zonas rurales, generando consecuencias negativas como costos no presupuestados y mala calidad del proyecto.

El presente estudio involucra un **PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO PARA EL DESARROLLO DE PLANES DE ALCANTARILLADO SANITARIO EN ZONAS RURALES** para que sirva como guía a estudiantes universitarios y profesionales de la ingeniería civil, específicamente en la rama ambiental, y como referencia para las necesidades de los futuros proyectos de alcantarillado sanitario rural, contribuyendo positivamente en la planeación, programación y presupuesto de cada obra en particular.

3. OBJETIVOS

3.1. GENERAL

Formular una guía metodológica para el diseño de una red de alcantarillado sanitario rural.

3.2. ESPECÍFICOS

- Definir los aspectos topológicos de un proyecto de alcantarillado sanitario rural.
- Definir los parámetros de diseño de un alcantarillado sanitario rural.
- Formular el proyecto.
- Proponer una metodológica específica.
- Crear un documento guía.

4. PROPUESTA METODOLÓGICA

Para cumplir los objetivos planteados en la metodología propuesta, a continuación se relacionan las actividades que se desarrollaron, partiendo del análisis bibliográfico. Una vez establecidas las referencias se describen los elementos que componen un sistema de alcantarillado sanitario, con el fin de

establecer los parámetros de diseño y los factores que se deben considerar en el planteamiento, con base en la topología del sistema. Con base en estos análisis se presenta un planteamiento metodológico para el desarrollo de un plan de alcantarillado sanitario rural, ajustado a las condiciones y necesidades reales de un proyecto.

4.1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Se consultaron diversas investigaciones publicadas en revistas reconocidas en el campo de la ingeniería civil, al igual que textos universitarios referentes a diseños de alcantarillados sanitario rural y a través de internet documentos publicados por empresas de diferentes sectores, como se describe en los siguientes apartados.

4.2. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN RECOPIADA

En los ámbitos nacional e internacional se han desarrollado diferentes investigaciones en relación con el diseño de alcantarillados sanitarios. En el caso de la metodología y el diseño en Colombia y dentro del marco de la normativa técnica establecida se han publicado libros, reglamentos técnicos y demás textos en los cuales se comenta y profundiza acerca de dichas metodologías de diseño.

El libro *Ingeniería sanitaria, redes de alcantarillado y bombeo de aguas residuales*, del ingeniero George Tchobanoglous³ de la Universidad de California ofrece un tratamiento claro, unificado y didáctico de los numerosos

³ (Tchobanoglous, 1985).

principios teóricos y de diseño necesarios para la puesta en práctica de los sistemas de recolección y bombeo de aguas residuales.

Por su parte, el ingeniero Rafael Pérez Carmona⁴, en su libro *Diseño y construcción de alcantarillados sanitario, pluvial y drenaje en carreteras*, relaciona parámetros del diseño de sistemas de alcantarillados sanitario, pluvial y combinado de manera didáctica y sugiriendo tablas para el cálculo de coeficientes; además, aplica ejemplos reales, integrando aspectos correspondientes a la disposición adecuada de aguas residuales y al manejo de aguas lluvias en zonas urbanas y para el drenaje en carreteras.

Así mismo, se consultó el libro *Elementos de diseño para acueductos y alcantarillado*, escrito por el ingeniero Ricardo Alfredo López Cualla⁵, el cual se constituye en una herramienta fundamental en el diseño de acueductos y alcantarillados para profesionales y estudiantes de ingeniería civil. Los métodos de diseño se orientan a poblaciones pequeñas, integrándose en forma precisa con normas, recomendaciones y procedimientos de cálculo con diversos ejemplos de diseño.

El profesor Freddy Hernán Corcho R.⁶, de la Universidad de Medellín, publicó un manual para ingenieros y técnicos fundamental para la planificación, el diseño y la construcción de alcantarillados. El texto comprende las normas de las Empresas Públicas de Medellín, cuya metodología hace referencia a unos recursos didácticos por la sistematización en la solución de problemas prácticos reales.

⁴ (Carmona, 2013).

⁵ (Cualla, 1995).

⁶ (Romero, 1994).

El reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico RAS⁷, en su título D, correspondiente a la sección de sistemas de recolección y evacuación de aguas residuales domésticas y aguas lluvias, constituye el marco normativo del lineamiento técnico en Colombia, establecido por el Ministerio de vivienda, ciudad y territorio, que rige a partir del año 2012.

4.3. PROPUESTA METODOLÓGICA DEL DIAGRAMA DE FLUJO

Se sugiere un método que facilite al diseñador la toma de decisiones en cuanto a la selección de parámetros con base en la recopilación de datos y diversas fuentes útiles, las cuales se muestran paso a paso y generan confiabilidad a la hora de dimensionar el diseño. Para el desarrollo del método y mayor claridad, a continuación se presentan los ítems claves del método sugerido:

- A. Datos técnicos**
- B. Ejemplo del cálculo**
- C. Presentación de planos**
 - Planta
 - Áreas de drenaje
 - Perfiles

Los planos en planta deben contener coordenadas, pozos numerados, longitud del tramo, pendiente, diámetros, cotas claves, rasantes y nomenclatura.

⁷ (Ministerio de Vivienda, ciudad y territorio, 2010).

Los datos técnicos corresponden a toda aquella información que se desea obtener para realizar el estudio y diseño de un sistema de alcantarillado sanitario. Estos datos deben obtenerse en campo, como la topografía y la estimación de caudales, así como la de población, que de ser posible, la debe suministrar el municipio o la empresa prestadora de servicios públicos.

5. DEFINICIÓN DE PARÁMETROS DE UN ALCANTARILLADO SANITARIO RURAL

Tomando en cuenta la temática principal del presente estudio se presentan algunas definiciones asociadas, fundamentadas en los planteamientos propuestos por la EPM⁸:

5.1. Acometida de alcantarillado

Derivación que parte de la caja de inspección domiciliar y llega hasta la red pública de alcantarillado.

5.2. Acometida múltiple

Derivación que transporta las aguas residuales de múltiples usuarios, va desde la caja de inspección domiciliar hasta la red pública de alcantarillado.

5.3. Aguas residuales

Desechos líquidos provenientes de edificios, residencias, instituciones o fábricas.

5.4. Aguas residuales domésticas

Op cit, p. 19.

Desechos líquidos provenientes de la actividad doméstica en residencias, edificios e instituciones.

5.5. Aguas de infiltración

Aguas provenientes del subsuelo que pueden ingresar a un sistema de alcantarillado.

5.6. Alcantarillado de aguas residuales

Sistema compuesto por todas las instalaciones destinadas a la recolección y transporte de las aguas residuales domésticas o industriales.

5.7. Área tributaria

Superficie que drena hacia un tramo o punto determinado de la red de alcantarillado.

5.8. Caída de fondo

Diferencia en metros entre la energía específica de entrada en una cámara de conexión y la inspección de la energía de salida.

5.9. Cámara de inspección o pozo

Estructura, usualmente cilíndrica, que remata generalmente en su parte superior de forma tronco-cónica. Tiene una tapa removible para permitir la ventilación, el acceso y el mantenimiento de las redes.

5.10. Caudal de diseño

Caudal para el cual el sistema debe satisfacer los requerimientos hidráulicos.

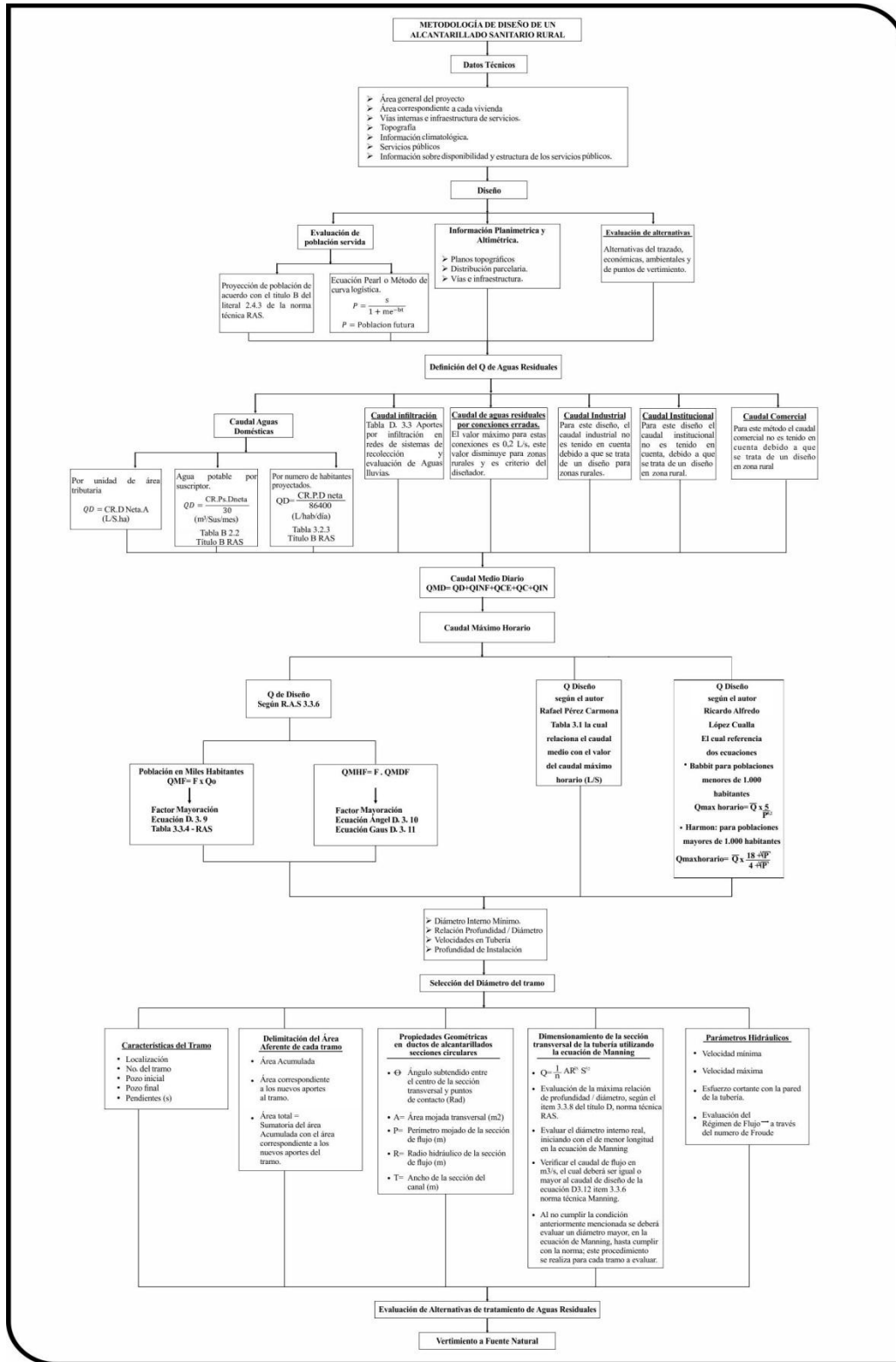
5.11. Densidad de población

Número de personas que habitan dentro de un área bruta o neta determinada.

6. ESQUEMA METODOLÓGICO PARA EL DISEÑO DE UN SISTEMA DE ALCANTARILLADO SANITARIO RURAL

La metodología propuesta establece un procedimiento para el diseño de un alcantarillado sanitario rural, tomando como referencia diferentes textos y guías de diseño de alcantarillados. En esta metodología se definen parámetros y criterios, con base en el reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico RAS, que corresponde a la norma técnica colombiana vigente. En la figura 1, se presenta el diagrama de flujo de la metodología propuesta. Posteriormente se explican cada uno de sus componentes.

Figura 1.



6.1. METODOLOGÍA

6.2. DATOS TÉCNICOS

Los datos técnicos son fundamentales para el desarrollo de los diseños. Es la información básica con la cual es posible adelantar el proyecto. Como se indica en el diagrama de flujo, se considera indispensable disponer de la siguiente información:

- **Área general del proyecto.** En este tipo de proyectos el área general es uno de los datos básicos y necesarios para su diseño inicial. El plano general le permite al diseñador considerar los elementos de la urbanización de vivienda proyectados, definiendo áreas, vías de acceso y circulación, los cuales dependen de la geometría del área general. Para obtener esta información es necesario realizar un adecuado levantamiento topográfico, para lo cual se recomienda utilizar equipos como la estación total o GPS submétrico, los cuales identifican los puntos que conforman el perímetro del área de interés. Además, estos equipos se deben calibrar con el fin de reducir el porcentaje de error y obtener datos más fieles. Para consolidar esta información en planos se recomienda dibujar a una escala entre 1:500 y 1:2000, según el área en hectáreas del proyecto.
- **Área correspondiente a cada vivienda.** Una vez hecha la distribución parcelaria por parte del diseñador, se verifican las áreas de cada uno de los predios de las viviendas que conforman el proyecto en general, asegurándose de que estén conformados bajo figuras geométricas. Este dato permite conocer las áreas aferentes aportantes a cada uno de los tramos que conformarán la red de alcantarillado sanitario. Una vez

consignado en los planos se recomienda identificar y numerar cada uno de los lotes con su respectiva área, lo cual se pueda apreciar en una escala entre 1:500 y 1:1500, según la magnitud del proyecto y su área en hectáreas.

- **Vías internas e infraestructura.** Las vías internas y de acceso se consideran fundamentales en el diseño de un sistema de alcantarillado, ya que definen el trazado de la red. En el diseño de estas vías es importante tener en cuenta las obras de drenaje de aguas superficiales, ya que de esta manera se garantiza su durabilidad y mantenimiento. Para consolidar esta información en los planos se recomienda identificar la pendiente de la vía, su longitud y su ancho. Se debe dibujar a una escala entre 1:500 y 1:2000, según el área en hectáreas del proyecto.
- **Topografía.** Representa el trabajo preliminar en la ejecución de cualquier proyecto de alcantarillado sanitario. En un plano se describen y representan la superficie y el relieve de un terreno, dando origen a la planimetría y altimetría. Los levantamientos topográficos se realizan en terreno, utilizando equipos como el teodolito, el GPS submétrico y la estación total, entre los más destacados. La consolidación de este levantamiento se plasma en los planos topográficos, cuya información debe contener las coordenadas (norte y este), el lugar donde se realiza el levantamiento y la altura sobre el nivel del mar.

La calidad del plano se considera fundamental, ya que de él dependen las vías y el trazado de la red de alcantarillado de un proyecto urbanístico, lo cual permite conocer con antelación el proceso de adecuación del terreno de un proyecto.

- **Información climatológica.** Corresponde al promedio de los rangos de temperatura que se registran durante un año en la zona del proyecto, así como los registros de las precipitaciones, que se obtienen a través de los pluviómetros disponibles en las zonas aledañas. Esta información se calcula midiendo el agua que cae sobre un metro cuadrado en un término de 24 horas y se expresa en litros por metro cuadrado.

Esta información sirve para que el diseñador establezca las dimensiones de las estructuras de evacuación y drenaje de las aguas superficiales en las vías internas del proyecto. Estos datos se consideran importantes para estimar el aporte al caudal de infiltración en las redes de aguas residuales, lo cual se explica en el numeral 6.4.6.

- **Servicios públicos.** Se refiere a la empresa pública o privada prestadora de servicios públicos del municipio al cual pertenece la zona rural donde se desarrollará el proyecto. Los servicios de aseo, que incluyen la recolección y disposición final de los residuos sólidos generados en la zona del proyecto, y la dotación de agua potable a través de acueductos y el sistema de alcantarillado corresponden a los servicios públicos que se deben identificar al momento de proyectar un sistema de viviendas en zona rural. Esta información la debe suministrar la alcaldía Municipal de la población más cercana a la zona de interés del proyecto.
- **Información sobre la disponibilidad y estructura de los servicios públicos.** Corresponde a la descripción de los elementos de los servicios públicos y a la forma como operan en la zona proyectada para la construcción de la urbanización. Se recomienda evaluar cada uno de los componentes del sistema de acueducto y de aseo, y si existe conexión a un alcantarillado para su tratamiento y disposición final. Esta información

se debe obtener de la oficina de planeación de la alcaldía municipal de la ciudad o centro poblado más cercano, para evaluar las necesidades del proyecto y establecer datos sobre el registro de suscriptores y las tendencias en cuanto al consumo de agua potable, con el fin de calcular la proyección de la población y, por ende, la dotación neta.

6.3. DISEÑO

6.3.1. EVALUACIÓN DE LA POBLACIÓN SERVIDA

Para evaluar la población se presentan dos métodos: la proyección de la población establecida en el RAS y el método de la curva logística o ecuación de Pearl. Con el fin de determinar el contraste obtenido por cada uno de estos métodos, a continuación se presenta cada uno de ellos.

6.3.1.1. Proyección de la población de acuerdo con el Título B, literal 2.3.4 de la Norma Técnica Colombiana RAS

- **Método aritmético:** supone un crecimiento vegetativo y balanceado. Su ecuación es:

$$P_f = P_{UC} + \frac{P_{UC} - P_{CI}}{T_{UC} - T_{CI}} * (T_f - T_{UC})$$

donde:

P_f = población correspondiente al año para el que se realiza la proyección (habitantes).

P_{UC} = población correspondiente a la población del DANE (habitantes)

P_{CI} = población correspondiente al censo inicial con información (habitantes)

T_{UC} = año correspondiente al último proyectado por el DANE

T_{CI} = año correspondiente al censo inicial con información

T_F = año al cual se quiere proyectar la población.

- **Método geométrico:** útil en poblaciones que muestren una importante actividad económica.

$$P_f = P_{UC} (1 + r)^{T_f - T_{UC}}$$

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

donde:

r = tasa de crecimiento anual en forma decimal

P_F = población en forma (habitantes)

P_{UC} = población correspondiente a la población del DANE (habitantes)

P_{CI} = población del censo inicial con información (habitantes)

T_{UC} = año correspondiente al último proyectado por el DANE

T_{CI} = año correspondiente al censo inicial con información

T_F = año al cual se quiere proyectar la población

- **Método exponencial:** este método requiere conocer al menos tres censos para poder determinar el promedio de la tasa de crecimiento de la población.

$$P_f = P_{CI} \times e^{KT(T_f - T_{CI})}$$

$$K = \frac{\ln P_{CP} - \ln P_{CA}}{T_{CP} - T_{CA}}$$

donde:

P_{CP} = población del censo posterior (proyección DANE)

P_{CA} = población del censo anterior (habitantes)

T_{CP} = año correspondiente al censo posterior

T_{CA} = año correspondiente al censo anterior

\ln = logaritmo natural o neperiano

6.3.1.2. Ecuación de Pearl o método de la curva logística

$$P = \frac{S}{1 + m e^{-bt}}$$

$$S = \frac{2P_0P_1P_2 - P_1^2(P_0 - P_2)}{P_0P_2 - P_1^2}$$

donde:

P = población futura

S = población de saturación

b y m = constantes

Valor de las constantes,

$$m = \frac{S - P_0}{P_0}$$

$$b = \frac{1}{n} \operatorname{Ln} \frac{P_0(S - P_1)}{P_1(S - P_0)}$$

$$n = (t_2 - t_1) = (t_1 - t_0)$$

donde:

P = población

S = P. saturación

t = tiempo

Para calcular las constantes se toman tres censos, definiendo como P_2 la población del último censo.

6.3.2. INFORMACIÓN PLANIMÉTRICA Y ALTIMÉTRICA

La medición de las diferencias de nivel y elevación entre diversos puntos del terreno se deben representar a partir de un plano. Esta información se conoce como planimetría y altimétrica, la cual permite detallar las distancias verticales y horizontales, indispensable para el diseño de redes de alcantarillado sanitario. Para conocer de forma más detallada lo mencionado es importante disponer de la siguiente información:

- **Planos topográficos:** son el instrumento con el que se definen de manera precisa y completa todos los elementos de un proyecto. Estos planos deben contener dimensiones y características esenciales, como la determinación de los linderos, la localización de las esquinas y el levantamiento de las vías internas de un predio, con su respectiva georreferenciación.

En esta modalidad existen las curvas de nivel, que consisten en líneas o trazos que unen puntos con una misma elevación. Para obtener estas curvas es necesario realizar un levantamiento topográfico en campo, utilizando una estación total, que identifica un número determinado de puntos en las tres dimensiones (x, y, z) a lo largo del predio. Una vez obtenidos estos datos se recomienda emplear el programa Eagle Point, el cual convierte los datos registrados en campo en curvas de nivel.

Para generar el plano de curva de nivel se aconseja utilizar una escala de 1:1000 para áreas no mayores a 10 hectáreas y un intervalo de curvas de nivel máximo a un metro, que es el valor recomendado para calcular movimientos de tierra.

Así mismo, se presentan los perfiles topográficos, los cuales se representan mediante los ejes x, implementados para proyectar las distancias, y los ejes y, necesarios para proyectar los niveles o alturas.

- **Distribución parcelaria:** utilizando las herramientas proporcionadas por la topografía, la distribución parcelaria corresponde a la división de áreas del terreno general del proyecto, lo cual tiene como finalidad crear las parcelas, obedeciendo a formas geométricas, para generar simetría entre ellos, y así generar uniformidad en cuanto a áreas, perímetros y forma. La consolidación de esta distribución se representa en un plano con una escala recomendada de 1:1000 para un área total no mayor a diez hectáreas.
- **Vías e infraestructura:** esta información se menciona en el numeral 6.2, que corresponde a vías internas e infraestructuras de servicios del subtítulo datos técnicos.

6.3.3. EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS

Entre los factores que definen la consecución de un diseño de alcantarillado sanitario óptimo se encuentran la alternativa del trazado, la económica y la ambiental. A continuación se explica cada una de ellas.

- **Alternativa del trazado.** Para garantizar que la selección de la propuesta que presente el diseñador se acerque al trazado perfecto, se recomienda considerar al menos dos tipos de trazados de la red de alcantarillado sanitario rural, en el cual se califiquen y cuantifiquen las componentes de este sistema.

Para evaluar y seleccionar el trazado es necesario establecer los puntos de desagüe de las parcelas, garantizando que se dirijan hacia el colector principal, que debe estar en una cota que permita recibir las descargas de las domiciliarias. En general, la elaboración del trazado de la red es un factor determinante para el diseño, siendo la diferencia de cota entre el punto de vertido de estas aguas residuales y el punto de desagüe superior.

Para el diseño de la red se recomienda realizar el trazado por las vías internas de la urbanización, separadas a 1,5 m de los andenes y con una profundidad mínima de un metro si el tráfico es frecuente, pero si se considera una baja frecuencia de vehículos se pueden adoptar profundidades de hasta 0,6 metros.

- **Alternativa económica.** En un proyecto de alcantarillado sanitario rural, esta alternativa tiene como objetivo identificar las ventajas y desventajas asociadas a la inversión antes de su implementación. Esta evaluación tiene como objetivo adoptar decisiones racionales ante diferentes alternativas, las cuales se basan en la integración de un análisis de costos y beneficios, expresados no sólo en la optimización de recursos sino en las mejoras de las condiciones de vida de un grupo de personas, aludiendo a un beneficio social.

Para determinar la alternativa económica que más se ajuste a las necesidades de los usuarios, se recomienda contemplar la evaluación de costos, ya sean directos o indirectos, de al menos dos propuestas, cuantificando la relación de costo-beneficio y seleccionando la que más se ajuste a los intereses de los interesados.

- **Alternativa ambiental.** Esta alternativa tiene como propósito garantizar el menor impacto posible al medio ambiente durante y después de la ejecución del proyecto de alcantarillado sanitario rural. Por considerarse zonas rurales, el tipo de afectación en cuanto a reforestación para la adecuación de las viviendas genera un alto impacto, ya que son terrenos que en su mayoría no han sido modificados por el hombre.

En este tipo de proyectos el impacto más significativo corresponde al vertimiento de aguas residuales, en el cual, previo a esta etapa, debe realizarse un tratamiento de dichos residuos, para finalmente disponerlos en una fuente natural.

Para seleccionar la alternativa ambiental es necesario realizar un análisis cualitativo. Se recomienda utilizar la matriz de Leopold, que relaciona los factores ambientales que se pueden ver afectados por las acciones propuestas que pueden causar posibles impactos. A esta relación se le designa una magnitud subjetiva del impacto, en una escala de 1 a 10. La suma de estos valores en conjunto indica la incidencia sobre cada factor ambiental.

6.4. DEFINICIÓN DEL CAUDAL DE AGUAS RESIDUALES

El caudal de aguas residuales aportado a un sistema de recolección y evacuación está definido como la suma de los caudales domésticos, industriales, institucionales, comerciales, infiltración y conexiones erradas que aportan al tramo que se va a evaluar. A continuación se presentan las ecuaciones y los parámetros que se deben determinar en la metodología presentada para hallar estos caudales.

6.4.1. CAUDAL DE AGUAS DOMÉSTICAS (Q_D)

Para calcular el caudal de aguas domésticas (Q_D) de un tramo que hace parte de la red de un sistema de alcantarillado sanitario es necesario conocer la demanda de agua potable, teniendo en cuenta el coeficiente de retorno. De acuerdo con el reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico RAS, la demanda de agua potable se puede calcular utilizando las siguientes metodologías: la proyección de la demanda de agua potable en el sector objeto del diseño, la proyección de los suscriptores en el área objeto del diseño y la proyección de la población en el área objeto de diseño. A continuación se describe cada una de ellas.

- **Caso 1.** Para esta situación, en la que se cuenta con la proyección de agua potable, el caudal de diseño de aguas residuales domésticas se obtiene de acuerdo con la ecuación D.3.1. del RAS, título D.

$$Q_D = CR \times D_{neta} \times A$$

donde:

Q_D =caudal de aguas residuales domésticas (L/S)

CR = coeficiente de retorno (adimensional)

D_{NETA} = demanda neta de agua potable por unidad de área tributaria (L/s*ha)

A = área tributaria de drenaje (ha)

$$Q_D = CR \times D_{neta} \times A$$

- **Caso 2.** Para esta situación, en la que la proyección de la demanda de agua potable se haya hecho haciendo uso de la proyección de los suscriptores del servicio en el área objeto del proyecto del sistema de alcantarillado, el caudal de diseño de aguas residuales domésticas se obtiene con base en la ecuación D.3.2. del RAS, título D.

$$Q_D = \frac{CR \times P_S \times D_{neta}}{30}$$

donde:

Q_D = caudal de aguas residuales domésticas (L/S)

C_R = coeficiente de retorno (adimensional)

D_{NETA} = demanda neta de agua potable proyectada por suscriptor (m^3 /suscriptor/mes)

P_S = número de suscriptores proyectados al periodo de diseño (suscriptores)

- **Caso 3.** Cuando no se cuenta con la proyección de agua potable o de suscriptores, el caudal de diseño de aguas residuales domésticas se halla utilizando la proyección de la población en la zona de interés, objeto del diseño, a través de la ecuación D.3.3. del RAS, título D:

$$Q_D = \frac{CR \times P \times D_{neta}}{86400}$$

donde:

Q_D = caudal de aguas residuales domésticas (L/S)

C_R = coeficiente de retorno (adimensional)

D_{NETAc} = demanda neta de agua potable proyectada por habitante (L/habitante/día)

P = número de habitantes proyectados al periodo de diseño (habitantes)

En caso de que no se conozca el coeficiente de aguas residuales domésticas, en la tabla 1 se relaciona el nivel de complejidad de cada sistema con este coeficiente de retorno.

Tabla 1

Tabla de coeficiente de retorno

Nivel de complejidad del sistema	Coeficiente de retorno
Bajo y medio	0,80
Medio alto y alto	0,85

Fuente: RAS título D, D.3.1.

6.4.2. CAUDAL DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES (Q_{IND})

Siendo consecuentes con el objetivo general de este proyecto de estudio y por tratarse de un diseño para un sistema de alcantarillado sanitario rural, el caudal de diseño de aguas residuales industriales no se tendrá

en cuenta, debido a que la probabilidad de que se generen este tipo de caudales en un proyecto de vivienda en la zona rural es cercana a cero.

6.4.3. CAUDAL DE AGUAS RESIDUALES INSTITUCIONALES (Q_{INST})

Como en el numeral anterior, el caudal de diseño de aguas residuales institucionales no se tendrá en cuenta por las mismas razones.

6.4.4. CAUDAL DE AGUAS RESIDUALES COMERCIALES (Q_{COM})

Con este tipo de caudales sucede lo mismo que con los dos anteriores; por tanto, no se tendrá en cuenta para el desarrollo de este proyecto.

6.4.5. CAUDAL DE AGUAS RESIDUALES POR CONEXIONES ERRADAS (Q_{CE})

Hacen referencia a los aportes de aguas lluvias al sistema de alcantarillado de aguas residuales, provenientes de malas conexiones de bajantes de tejados o patios. Un método para considerar este caudal consiste en estimar un porcentaje del caudal medio diario, dependiendo del nivel de complejidad del sistema, que lo establece el diseñador con su criterio; sin embargo, según la norma técnica RAS, el aporte máximo para este tipo de caudal equivale a 0,2 L/s por ha. Estos aportes podrían modificarse, siempre y cuando exista información de algún estudio de campo que justifique la decisión del diseñador.

6.4.6. CAUDAL DE AGUAS RESIDUALES POR INFILTRACIÓN (Q_{INF})

Este tipo de aporte al sistema de alcantarillado se considera producto de las zonas freáticas donde se localiza la red, fisuras en tuberías y en juntas y conexiones hacia cámaras de inspección realizadas de manera deficiente. Es importante que el diseñador justifique este caudal y su procedencia, debido a que en la mayoría de los casos el valor real de este tipo de caudal se considera difícil de obtener. El RAS proporciona estos tipos de aporte en relación con el nivel de complejidad de cada sistema (tabla 2).

Tabla 2

Aportes por infiltración en redes de recolección y evacuación de aguas residuales

Nivel de complejidad del sistema	Infiltración alta (L/s*ha)	Infiltración media (L/s*ha)	Infiltración baja (L/s*ha)
Bajo y medio	0,3	0,2	0,1
Medio alto y alto	0,3	0,2	0,1

Fuente: RAS, título D, tabla D.3.3.

6.5. CAUDAL MEDIO DIARIO DE AGUAS RESIDUALES (Q_{MD})

El caudal medio diario para el diseño de un tramo que compone un sistema de alcantarillado sanitario rural y con área de drenaje establecida, está dado por la suma de los aportes que influyen en los diferentes tramos.

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

donde:

Q_{MD} =caudal medio diario de aguas residuales (m^3/s)

Q_C = caudal de aguas residuales comerciales (m^3/s)

Q_I = caudal de aguas residuales industriales (m^3/s)

Q_{IN} = caudal de aguas residuales institucionales (m^3/s)

6.6. CAUDAL MÁXIMO HORARIO (Q_{MH})

En este proyecto se presentan tres metodologías para calcular el caudal máximo horario, las cuales se consultaron en diferentes fuentes y contrastan los resultados obtenidos, lo cual le brinda seguridad al diseñador a la hora de asumir el valor de caudal. A continuación se describen estos métodos.

6.6.1. CAUDAL MÁXIMO HORARIO, NORMA TÉCNICA RAS

Para calcular el caudal máximo horario se consideran dos ecuaciones, que dependen directamente de los parámetros con los cuales se determinó el factor mayoración. Estas dos ecuaciones corresponden a los dos casos que se muestra a continuación:

- **Caso 1.** Cuando se estime el factor mayoración de aguas residuales domésticas utilizando como parámetro de cálculo la proyección de la

población al periodo de diseño (ecuación de Flores, D.3.9 del RAS), el caudal máximo horario se calcula con la siguiente ecuación.

$$Q_{MHF} = F \times Q_{DF} + Q_{IF} + Q_{CF} + Q_{INF}$$

donde:

Q_{MHF} = caudal máximo horario final (m^3/s)

F = factor de mayoración (adimensional)

Q_{IF} = caudal de aguas residuales industriales final (m^3/s)

Q_{CF} = caudal de aguas residuales comerciales final (m^3/s)

Q_{INF} = caudal de aguas residuales institucionales final (m^3/s)

Q_{DF} = caudal de aguas residuales domésticas final (m^3/s)

Factor de mayoración. Ecuación de Flores, D.3.9

$$F = \frac{3.5}{P^{0.2}}$$

donde:

P = población servida en miles de habitantes (hab/1000)

F = factor de mayoración (adimensional)

- **Caso 2.** Cuando se estime el factor mayoración de aguas residuales domésticas utilizando como parámetro el caudal medio final de aguas residuales (ecuaciones D.3.10 y D.3.11), el caudal máximo horario se calcula de la siguiente manera.

$$Q_{MHF} = F \times Q_{MDF}$$

donde:

Q_{MHF} = caudal máximo horario final (m^3/s)

F = Factor de mayoración (adimensional)

Q_{MDF} = caudal medio diario final (m^3/s)

Factor mayoración. Ecuación de los Ángeles, D.3.10

$$F = \frac{3.53}{Q_{MD}^{0.062}}$$

Factor mayoración. Ecuación de los Gaines, D.3.11

$$F = \frac{3.114}{Q_{MD}^{0.062}}$$

donde:

Q_{MD} = caudal medio diario de aguas residuales (L/s)

F = factor de mayoración (adimensional)

- Una vez comparadas las dos ecuaciones para hallar el caudal máximo horario se sugiere tener en cuenta la tabla D.3.4 de la norma técnica colombiana RAS, la cual muestra valores máximos del factor de mayoración en función de la población servida en número de habitantes.

Tabla 3

Máximo valor de mayoración de acuerdo con la población servida

Población servida en número de habitantes	Factor de mayoración máximo
<20.000	3
20.000 - 50.000	2,5
50.001 – 750.000	2,25
>750.000	2

Fuente: RAS, título D, tabla D.3.4.

6.6.2. CAUDAL MÁXIMO HORARIO SEGÚN LA METODOLOGÍA DE RAFAEL PÉREZ CARMONA

El libro *Diseño y construcción de alcantarillados sanitario, pluvial, y drenaje en carreteras* de Pérez Carmona propone un método que relaciona los valores de caudal medio diario con los de caudal máximo horario a través de una tabla (tabla 4).

Tabla 4

Relación de caudal medio a caudal máximo

Q	QMÁX	Q	QMÁX
L/s	L/s	L/s	L/s

1	6.80	110	346
2	11.85	150	450
2.5	14.37	200	580
3	16.90	250	700
3.5	19.42	300	820
4	21.95	350	935
4.5	24.47	400	1050
5	27	450	1175
5.5	29	500	1300
6	31	550	1400
6.5	33	600	1500
7	35	650	1625
7.5	37	700	1750
8	39	750	1850
8.5	41	800	1950
9	43	850	2050
9.5	45	900	2150
10	47	950	2250
15	66	1000	2350
20	85	1200	2760
25	100	1400	3170
30	115	1600	3580
35	132.5	1800	3990
40	150	2000	4400
50	180	2500	5300
60	210	3000	6200
70	240	3500	7200
80	265	4000	8200
90	290	4500	9100
100	320	5000	10000

Fuente: Pérez Carmona, R, tabla 3.1.

6.6.3. CAUDAL MÁXIMO HORARIO, SEGÚN LA METODOLOGÍA DE RICARDO ALFREDO LÓPEZ CUALLA

Este método para el cálculo del caudal máximo horario se determina a partir de los factores de mayoración de Babbitt y Harmon, los cuales se seleccionan de acuerdo con las características propias de la población.

- **Babbitt.** Para poblaciones menores de 1000 habitantes.

$$Q_{max\ horario} = Q_{md} \times \frac{5}{P^{0.062}}$$

- **Harmon.** Para poblaciones mayores de 1000 habitantes.

$$Q_{max\ horario} = Q_{md} \times \frac{18 + \sqrt{P}}{4 + \sqrt{P}}$$

donde:

Q_{MD} = caudal medio diario de aguas residuales (L/s)

F = población (habitantes)

6.7. PARÁMETROS HIDRÁULICOS

6.7.1. DIÁMETRO INTERNO MÍNIMO

Para los tramos en los sistemas de recolección y evacuación de aguas residuales se suelen implementar las tuberías con sección transversal circular. En el caso particular de conjuntos que tengan más de diez viviendas se sugiere un diámetro mínimo de 170 mm, el equivalente al

valor comercial de ocho pulgadas; sin embargo, para las conexiones domiciliarias este diámetro es de 6" (15 centímetros) aunque se puede reducir a 4" cuando las conexiones domiciliarias se realicen en tubería PVC.

6.7.2. VELOCIDAD

- **Velocidad mínima.** Los alcantarillados sanitarios que transportan aguas domésticas deben tener una velocidad mínima de 0,45 m/s a tubo lleno.
- **Velocidad máxima.** Independiente del material de la tubería, la velocidad máxima no debe sobrepasar el límite de 5,0 m/s, para evitar su abrasión.

6.7.3. DIÁMETRO DE DISEÑO

Según López Cualla, en su libro *Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados*:

Bajo la hipótesis de flujo uniforme, para la selección del diámetro se acostumbra a utilizar la ecuación de Manning, además se debe asegurar un borde libre que permita la adecuada ventilación de la tubería, por razón de alta peligrosidad de los gases que en ella se forman.

El diámetro se selecciona tomando como máximo la relación entre caudal de diseño y caudal a tubo lleno (Q/Q_0) dada en la siguiente tabla:

Tabla 5

*Relación de Q/Qo máxima para la selección del diámetro
(coeficiente de utilización)*

Q/Qo	Diámetro de la tubería
0,60	8" a 21"
0,70	24" a 1,20"
0,90	> 1,25 m

, Fuente: Pérez Carmona, R., tabla 15.4.

6.8. CAUDAL DE DISEÑO FINAL PARA CADA TRAMO DE LA RED

Este caudal se obtiene sumando el caudal máximo horario (Q_{MH}), los aportes por infiltración y las conexiones erradas.

$$Q_{DT} = Q_{MHF} + Q_{INF} + Q_{CE}$$

donde:

Q_{DT} = caudal de diseño para cada tramo de la red (m^3/s)

Q_{MHF} = caudal máximo horario final (m^3/s)

Q_{INF} = caudal por infiltraciones (m^3/s)

Q_{CE} = caudal por conexiones erradas (m^3/s)

6.9. SELECCIÓN DEL DIAÁMETRO DEL TRAMO

6.9.1. CARACTERÍSTICAS DEL TRAMO

Para evaluar un tramo y sus parámetros hidráulicos es importante identificar la localización, el número del tramo y sus características, el pozo inicial, el pozo final y la pendiente.

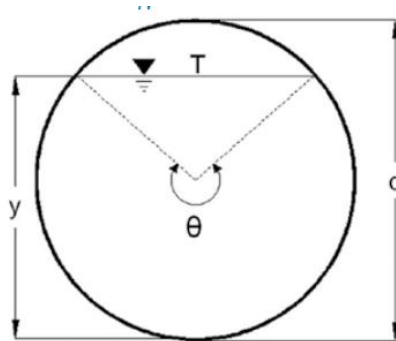
6.9.2. DELIMITACIÓN DEL ÁREA AFERENTE DE CADA TRAMO

- **Área acumulada.** Corresponde al área aferente aportada por el caudal acumulado.
- **Área correspondiente a los nuevos aportes al tramo.** Hace referencia a la nueva área aportante al tramo que se va a evaluar.
- **Área total.** El área aferente total de un tramo de estudio corresponde a la suma del área acumulada y el área de los nuevos aportes del tramo.

6.9.3. PROPIEDADES GEOMÉTRICAS EN DUCTOS DE ALCANTARILLADO PARA SECCIONES CIRCULARES

Los sistemas de alcantarillado sanitario están formados por tuberías de sección circular, cuyo flujo no alcanza a ocupar la totalidad de la sección transversal. Por esta razón es importante determinar el diámetro real interno de la tubería, el ángulo

subtendido entre el centro de la sección y los puntos de contacto, como se aprecia en la siguiente figura.



$$\theta = \cos^{-1} \left(1 - \frac{2y}{d} \right)$$

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

$$P = \frac{1}{2} \theta d$$

$$R = \frac{d}{4} \left(1 - \frac{\sin \theta}{\theta} \right)$$

$$T = d \sin \frac{\theta}{2}$$

donde:

Θ = ángulo subtendido entre el centro de la sección transversal y los puntos de contacto entre la superficie libre y la circunferencia de la tubería (Rad)

Y = profundidad del agua (m)

d = diámetro real interno de la tubería (m)

A = área mojada transversal (m²)

P = perímetro mojado de la sección de flujo (m)

R = radio hidráulico de la sección de flujo (m)

T = ancho de la sección del canal en la superficie libre (m)

6.9.4. DIMENSIONAMIENTO DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL DE LA TUBERÍA UTILIZANDO LA ECUACIÓN DE MANNING

Para realizar un dimensionamiento apropiado se sugiere la ecuación de Manning, que relaciona el caudal que pasa por la tubería bajo condición de flujo uniforme y como función del coeficiente de rugosidad del material del ducto, del radio hidráulico de la sección transversal, del área mojada transversal y de la pendiente.

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

Para un óptimo dimensionamiento del diámetro de la tubería del tramo que se va a evaluar, se sugiere tener en cuenta los siguientes pasos:

- Evaluar la máxima relación de profundidad / diámetro, que según el numeral 3.3.8 del título D de la norma técnica RAS, determina que el diseño debe establecerse a una profundidad a flujo máximo en cada una de las tuberías y el valor del caudal que se debe utilizar para evaluar esta profundidad máxima es el caudal máximo horario, cuyo valor máximo permisible en cuanto a profundidad de flujo en un diseño debe ser del 85 % del diámetro de la tubería. No obstante, para las tuberías que no superen los 600 mm de diámetro, la profundidad de flujo máxima será el 70 % del diámetro de la tubería.
- Utilizar la ecuación de Manning para evaluar el diámetro interno real de la tubería del tramo que se va a diseñar, empezando con la sección transversal de menor longitud, con el fin de obtener el diámetro deseado.
- Verificar el caudal de flujo que resulte de la operación ya mencionada, con la ecuación correspondiente al caudal de diseño de cada tramo de la red, establecida en el numeral 6.7 de este proyecto, con el fin de asegurar que el caudal obtenido con la ecuación de Manning sea igual o superior al caudal de diseño.
- Si una vez establecidas estas condiciones no se cumple el requisito mencionado, se debe evaluar un diámetro mayor, remplazándolo en la ecuación de Manning hasta cumplir con la norma técnica RAS. Este procedimiento se realiza para cada uno de los tramos que se van a evaluar.

6.9.5. PARÁMETROS HIDRÁULICOS

- **Velocidad mínima.** Según lo establecido en la norma técnica RAS, la velocidad mínima permitida para una tubería de diámetro menor a 450 mm en los sistemas de aguas residuales es de 0,45 m/s, evaluando las condiciones encontradas al inicio de operación del sistema y utilizando el caudal máximo horario.

$$Vel_{min} = \frac{Q_{MH}}{A}$$

- **Velocidad máxima.** Según la normatividad técnica colombiana RAS, generalmente se recomienda que la velocidad máxima en una tubería de alcantarillado de agua residual sea de 5 m/s; sin embargo, si el diseñador decide adoptar un mayor valor, lo debe justificar.
- **Esfuerzo cortante con la pared de la tubería.** Para un óptimo diseño se debe garantizar que los sedimentos que ingresan al sistema tengan la capacidad de desplazarse por la acción del flujo aguas abajo. Por tal razón se debe diseñar un esfuerzo cortante, a partir de la siguiente ecuación:

$$\tau = \gamma * R * S$$

No obstante, según la norma técnica RAS la expresión anterior no se debe utilizar para calcular el esfuerzo cortante en tuberías con pendiente igual o superior al 10 %, en este caso se debe usar la siguiente ecuación:

$$\tau = \gamma * R * \sin(\arctan((s)))$$

donde:

τ = esfuerzo cortante en la pared de la tubería (Pa)

γ = peso específico del agua (N/m^3)

R = radio hidráulico (m)

S = pendiente del tramo (m/m)

- **Evaluación del régimen de flujo.** Con el fin de evaluar el tipo de flujo uniforme, ya sea crítico, subcrítico o supercrítico, se determinan a través de la ecuación del número de Froude.

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{gD}}$$

donde:

NF = número de Froude (adimensional)

V = velocidad media del flujo (m/s)

D = profundidad hidráulica (m)

6.10. EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

La implementación del sistema de tratamiento de aguas residuales se considera uno de los componentes más importantes en el sistema de alcantarillado sanitario rural, ya que esto implica una serie de procesos físicos, químicos y biológicos, que tienen como fin eliminar los contaminantes presentes en el agua efluente del uso humano.

Para seleccionar esta alternativa se debe realizar una evaluación general, relacionando los costos, el impacto al medio ambiente y la salubridad de los usuarios, reflejado en su bienestar. Uno de los parámetros indispensables para la selección y el dimensionamiento del tipo de sistema de tratamiento es el caudal máximo horario.

Se recomienda implementar los sistemas denominados pozos sépticos, los cuales constan de una estructura rectangular (fosa) que recibe y trata las aguas servidas provenientes de las viviendas. En esta fosa, la parte sólida de las aguas servidas se separa mediante la sedimentación, a través de un proceso séptico, se estabiliza la materia orgánica de esta agua para transformarla en un barro inofensivo.

Otro sistema recomendado son los tanques sépticos prefabricados, que consisten básicamente en depósitos que se utilizan para tratar las aguas residuales, separando y transformando la materia orgánica mediante procesos fisicoquímicos. Estos tanques suelen ser más costosos por su instalación y mantenimiento.

6.11. VERTIMIENTO A FUENTE NATURAL

Para concluir esta metodología de diseño de un alcantarillado sanitario rural se presenta el final del proceso, que corresponde al vertimiento a la fuente natural, la cual en su mayoría se relaciona con ríos, mares, quebradas y el suelo. Este tipo de vertimientos se debe legalizar ante la CAR del departamento en el cual se localiza el proyecto, ya que esta entidad es la autoridad ambiental en materia de afectación a los recursos naturales.

Para tramitar permisos ante estas entidades, en lo que tiene que ver con puntos de vertimiento, se recomienda consultar el Decreto 3930 del 25 de octubre del 2010, artículos 41 y 42, que se refieren a los requerimientos para solicitar permisos de vertimiento.

7. EJEMPLO APLICATIVO DEL MÉTODO DE DISEÑO DE UN ALCANTARILLADO SANITARIO RURAL

7.1. DATOS TÉCNICOS

7.1.1. INFORMACIÓN GENERAL DEL PROYECTO

El proyecto Vega Real está localizado en la zona rural del municipio de San Gil. Está constituido por 23 lotes de aproximadamente 5000 m² de área cada uno, además cuenta con vías internas y zona social.

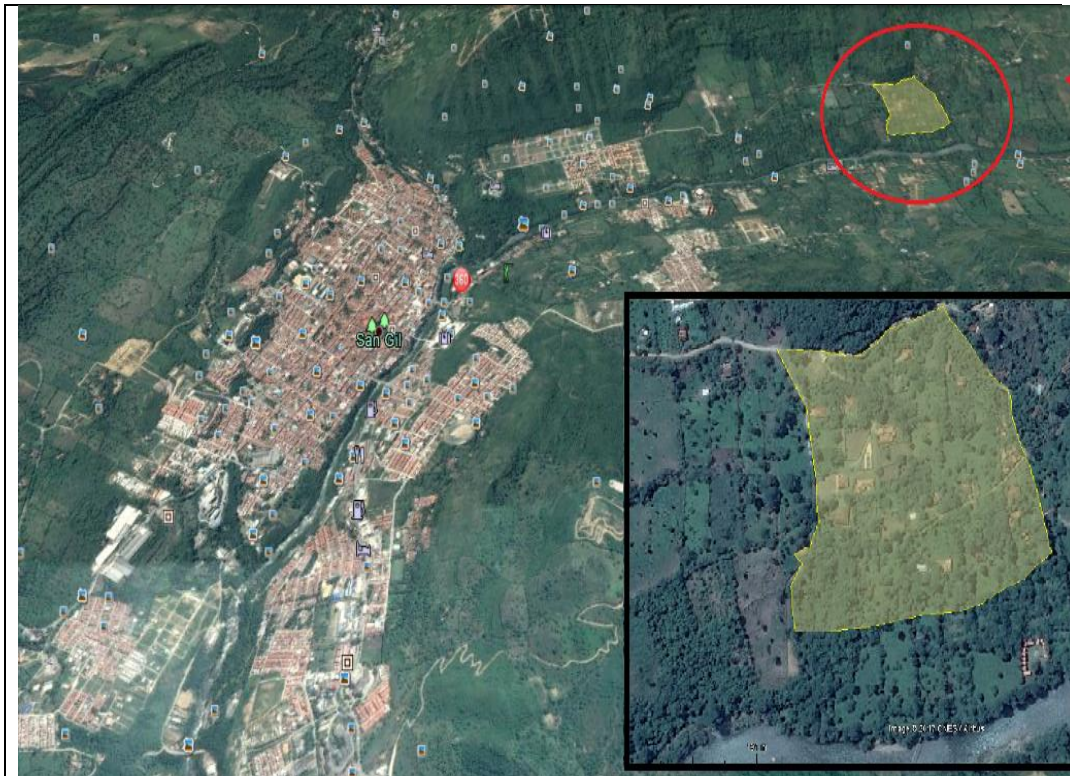


Imagen 1. Localización del proyecto Vega Real.

Fuente: Google Earth, 2017.

7.1.2. TOPOGRAFÍA

La vereda El Jaral se caracteriza por tener colinas de poca elevación, con un nivel base de entre 20 y 150 metros aproximadamente. En estas colinas el relieve es variado, va desde ligeramente ondulado hasta escarpado, con pequeños sectores de valles coluvio-aluviales y laderas. En los primeros se presentan separaciones por materiales finos y heterométricos. Las laderas de las colinas poseen un relieve variado que oscila entre ligeramente ondulado y escarpado, predominan las arcillas y se alterna con areniscas y conglomerados con inclusiones de lutitas calcáreas.

7.1.3. LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA

La sociedad de vivienda Vega Real se encuentra localizada en la zona rural del municipio de San Gil, departamento de Santander. Para acceder a ella se toma la vía nacional San Gil-Bucaramanga, desviando hacia la derecha en el sector conocido como Bella Isla, luego se toma una vía terciaria por unos quince minutos, aproximadamente.

El predio cuenta con 12,3 hectáreas, aproximadamente, y está parcelizado en 23 lotes de 5500 m² cada uno, distribuidos en obras de urbanismo, zonas sociales y vías internas. La principal actividad económica de la zona es agrícola y la pendiente promedio del terreno equivale al 2 %; además, cuenta con 1160 msnm y su temperatura oscila entre 19 y 32 °C.

7.1.4. LÍMITES

- **Norte:** predios destinados a la agricultura.
- **Sur:** predios parcelados para la construcción de viviendas.
- **Este:** con la vía terciaria y alterna que comunica a San Gil con el municipio del Valle de San José.
- **Oeste:** río Fonce.

7.1.5. VÍAS DE ACCESO Y DE COMUNICACIÓN

La vereda El Jaral se comunica con el municipio de San Gil y el Valle de San José a través de una vía terciaria, se considera un polo de desarrollo dentro del plan de ordenamiento territorial de los dos municipios. A continuación se detallan las vías de acceso:

Kilómetros	Ejes viales	Clasificación	Mantenimiento
12,7	El Jaral - Valle de San José	Veredal	Sí
6,8	El Jaral - San Gil	Veredal	Sí

7.1.6. INFORMACIÓN CLIMATOLÓGICA

El centro poblado El Jaral no dispone de una red climatológica que permita establecer comportamientos intrínsecos del entorno o definir, clasificar y zonificar con precisión el clima de la región, tanto a nivel pluviométrico como de temperatura.

Las únicas informaciones meteorológicas son de la estación pluviométrica Monchuelo, ubicada a una altura de 1145 m, correspondiente a los años 1979 a 1984 y la que se encuentra en el oriente de la cabecera de la vereda Guasca.

7.1.7. PRECIPITACIÓN

La distribución temporal de la precipitación media mensual durante el año es de tipo bimodal o ecuatorial, afectada por los desplazamientos de la zona de convergencia intertropical, la cual ocasiona dos periodos húmedos entre los meses de abril a mayo y de octubre a noviembre, siendo abril y noviembre los meses más húmedos, con

valores de precipitación media mensual de 38,6 y 58,4 mm, respectivamente. Así mismo, se observan dos periodos secos entre diciembre y febrero y de junio a septiembre, siendo enero y septiembre los más secos, con valores de precipitación media mensual de 20,8 y 58,1 mm, en su orden. Por otra parte, la precipitación media anual es de 1328 mm y la precipitación máxima mensual ocurrió en noviembre de 1951, con un valor de 257 mm.

7.1.8. SERVICIOS PÚBLICOS

- **ACUEDUCTO**

Suscriptores	Cobertura	Ente encargado	Descripción
60	~75%	Junta Administradora de Acueducto	El sistema de acueducto de El Jaral está conformado por los siguientes componentes: dos captaciones (nacederos) Conducción, Aducción Tanques de Almacenamiento, Planta de tratamiento de Agua Potable, y Redes de Distribución.

- **ALCANTARILLADO**

Esta vereda no cuenta con un sistema integrado de alcantarillado residual y sanitario, cada predio tiene su propio sistema de recolección y evacuación de las aguas servidas, adecuando diferentes tipos de pozos sépticos, que en su mayoría no cuentan con las normas técnicas que garanticen su adecuado tratamiento.

En los últimos diez años este sector ha presentado un notable incremento de proyectos de vivienda, cuyo mayor problema es la evacuación, disposición y tratamiento de las aguas residuales. Uno de estos proyectos es la sociedad de vivienda Vega Real, caso de estudio de esta investigación, que tiene 23 lotes, en los cuales sólo se han construido siete casas, cada una con pozo séptico. Se estima que debe estar construido totalmente en siete años, lo cual determina la importancia de implementar un sistema de alcantarillado sanitario integral y un adecuado tratamiento de sus aguas residuales.

- **ASEO**

La recolección de los residuos urbanos domiciliarios de la sociedad de vivienda Vega Real en la vereda El Jaral se realiza a través de la alcaldía de San Gil, que dispone de volquetas de 5 m³ y hace la recolección una vez a la semana en puntos estratégicos sobre la vía que conduce a esta vereda. Para esta actividad no se realiza ningún tipo de clasificación.

7.2. EVALUACIÓN DE LA POBLACIÓN SERVIDA

Teniendo en cuenta que este diseño se contempló para un proyecto de vivienda rural específico y no para municipios, la información suministrada por los censos disponibles por parte de la Empresa de Servicio Públicos en cuanto a suscriptores es obsoleta, ya que el servicio de acueducto en la sociedad de vivienda Vega Real es de tipo veredal y no cuenta con un control específico para el suministro y control del servicio; sin embargo, se obtuvieron datos de los administradores de esta urbanización, en cuyos registros se establece un total de 110 habitantes por los 23 predios. Según información suministrada por la constructora responsable del proyecto, esta proyección de habitantes se realizó para un periodo de 20 años, cuando el proyecto se encuentre en una fase de ejecución del 100 %. El nivel de complejidad se considera bajo por tratarse de un número de habitantes menor a 2500.

7.2.1. ESTIMACIÓN DE LA DEMANDA DE AGUA POTABLE

Para establecer la dotación neta, y una vez determinado el nivel de complejidad y la proyección del número de habitantes, se verifican los valores de la tabla que relaciona la dotación neta por habitante con el nivel de complejidad. Estos valores se describen en la tabla B.2.3 del título B del RAS (tabla 6).

Tabla 6

Dotación por habitante según el nivel de complejidad del sistema

Nivel de complejidad	Dotación por suscriptor (L/hab*día)	Dotación por suscriptor (L/hab*día)
----------------------	-------------------------------------	-------------------------------------

del sistema	Climas templado y frío	Clima cálido
Bajo	90	100
Medio	115	125
Medio alto	125	135
Alto	140	150

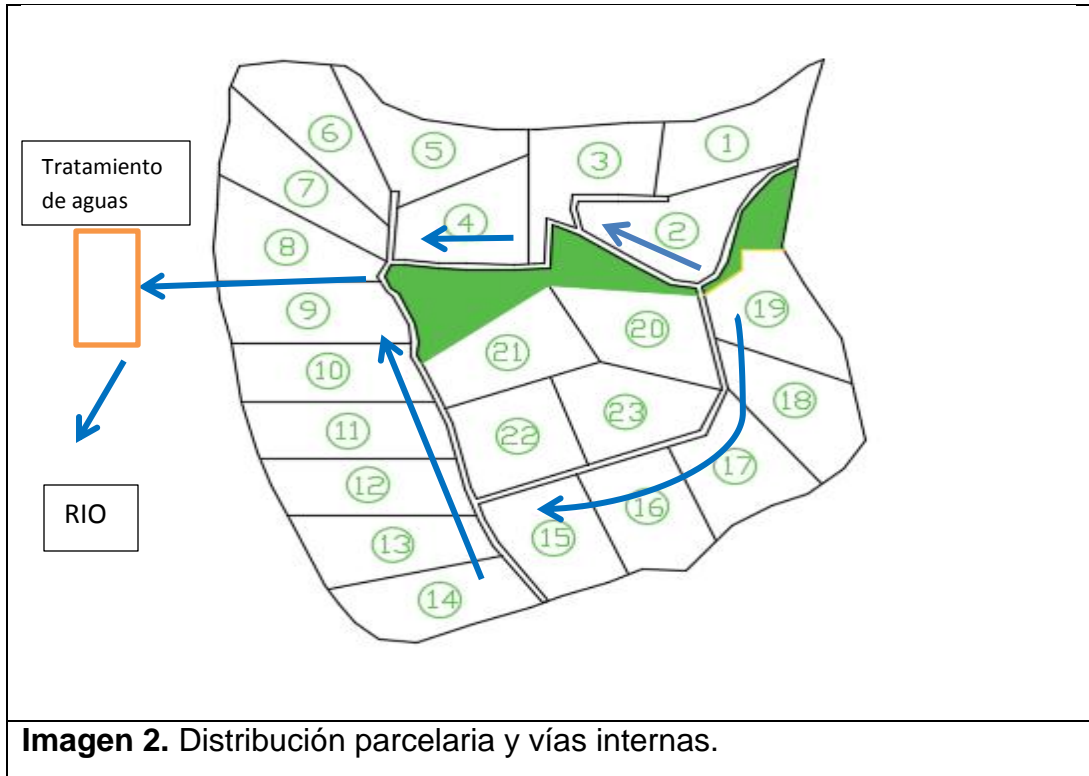
Fuente: RAS, título B, tabla B.2.3.

Este proyecto de vivienda rural se encuentra aproximadamente a 1166 msnm y la complejidad del sistema de acueducto es bajo debido al número reducido de la población. Por esta razón se asigna un valor mínimo de dotación neta equivalente a 90 L/hab*día.

7.3. INFORMACIÓN PLANIMÉTRICA Y ALTIMÉTRICA

- **PLANOS TOPOGRÁFICOS**

DISTRIBUCIÓN PARCELARIA Y VÍAS INTERNAS



Este proyecto de vivienda se inició en el año 2007, de sus 12,3 ha 8,05 se destinaron para 23 lotes y 8,25 para la construcción de obras de urbanismo, vías internas y zonas sociales de la urbanización. Se estima que para el año 2025 se encuentren construidas las 23 casas proyectadas, que según datos de la junta administrativa se calcula una población aproximada de cuatro personas por vivienda.

CURVAS DE NIVEL DE LA ZONA DE INTERÉS

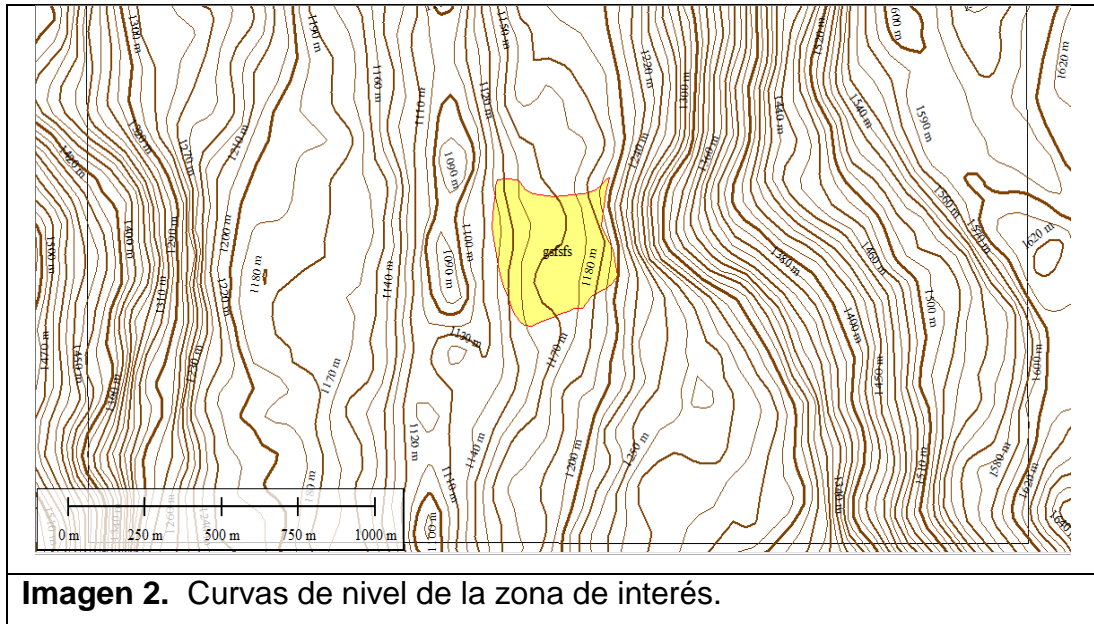


Imagen 2. Curvas de nivel de la zona de interés.

7.4. DEFINICIÓN DEL CAUDAL DE AGUAS RESIDUALES

Son las aguas provenientes de las actividades de aseo, cocina, lavado de ropa, baño, descarga de inodoro y riego de jardines que retornan al sistema de alcantarillado. No toda el agua que se utiliza en estas actividades regresa al alcantarillado. Con base en las normas, algunos autores definen un coeficiente de retorno que oscila entre 0,6 y 0,85. Para este caso se tendrán en cuenta los caudales de aguas domésticas, los de conexiones erradas y el de infiltración, los cuales se evalúan a continuación.

7.4.1. Caudal de aguas domésticas

Para este caso se asume la demanda neta con la información del número de habitantes proyectados al área objeto de diseño, tomando las unidades (L/habitante/día). Por esta razón el RAS recomienda utilizar la

siguiente ecuación para hallar el caudal de aguas residuales domésticas QD (L/hab/día), según lo establecido en el numeral 6.4.1 del presente proyecto.

$$QD = \frac{CR \times P \times D_{Neta}}{86400}$$

donde:

QD = caudal de aguas residuales domésticas (L/S)

CR = coeficiente de retorno, tabla 1 (adimensional)

P = número de habitantes proyectados al periodo de diseño
(habitantes)

DNeta = demanda neta de agua potable proyectada por habitante
(L/hab/día)

Remplazando se obtiene:

$$QD = \frac{0.80 \times 110 \text{ Hab} \times 90 \text{ L/ hab / dia}}{86400}$$

$$QD = 0.091 \text{ L/S}$$

7.4.2. Caudal de conexiones erradas

El valor máximo para este tipo de conexiones erradas se podría estimar en un aporte de 0,2 L/s por hectárea; sin embargo, el valor disminuye

para las sociedades de vivienda rural si se tienen en cuenta factores como la pendiente del terreno y la topografía.

7.4.3. Caudal de infiltración

Predecir en un sistema de alcantarillado de recolección y transporte de aguas residuales el grado de infiltración resulta difícil; no obstante, a continuación se presenta el grado de infiltración en función del nivel de complejidad del sistema, según la tabla del título D del RAS, que define el grado de infiltración en (L/s). (Ver Tabla 2). Con base en lo anterior y teniendo en cuenta el nivel de complejidad del sistema se asigna un valor de 0,1 L/S*ha.

7.5. CAUDAL MEDIO DIARIO DE AGUAS RESIDUALES (QMD)

Este caudal se traduce a la sumatoria de los caudales contemplados con anterioridad. Por tratarse de la estimación del caudal únicamente para una zona residencial, se estiman los caudales de aguas residuales domésticas para las condiciones iniciales y finales de la operación del sistema.

7.5.1. CAUDAL MEDIO DIARIO DE AGUAS RESIDUALES. MÉTODO RAS

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

donde:

QMD = caudal medio diario de aguas residuales (m³/s)

QD = caudal de aguas residuales domésticas (m³/s)

QI = caudal de aguas residuales industriales (m³/s)

- QC = caudal de aguas residuales comerciales (m³/s)
QIN = caudal de aguas residuales institucionales (m³/s)

Remplazando:

$$Q_{MD} = 0.091 \text{ L/s}$$

7.5.2. MÉTODO PARA ESTIMAR EL CAUDAL MEDIO DIARIO DE AGUAS DOMÉSTICAS, SEGÚN REFERENCIA ESCOGIDA, AUTOR RAFAEL PÉREZ CARMONA

En su libro Pérez Carmona expone un método para estimar los caudales de diseño adecuado de acuerdo con la localización del proyecto.

$$AD = \left(\frac{1}{86400} \right) C. R. A. D$$

donde:

- AD = caudal medio de aguas domésticas, en litros por segundo (L/s)
C = consumo o dotación por habitante, en litros por día (L/hab/día)
R = coeficiente de retorno estimado de 85 % de la dotación (consumo doméstico)
A = área residencial bruta, en hectáreas (habitantes)

D = densidad de la población en habitantes por hectárea
(hab/ha)

Reemplazando:

$$AD = \left(\frac{1}{86400} \right) * 90(l/hab/dia) * 0.85 * (11.5 Ha) * 110 Hab$$

$$AD = 1.12 l / s$$

Según el resultado de la ecuación, el caudal de aguas domésticas será 1,12 l/s.

7.5.3. SELECCIÓN DEL CAUDAL MEDIO DIARIO DE AGUAS DOMÉSTICAS

Para la selección de caudal medio diario de aguas residuales, se realizó la comparación de los dos métodos presentados en el ítem 7.5.1 y 7.5.2. Se considera conveniente seleccionar el valor mayor para de esta manera tener un criterio de seguridad. El valor seleccionado es 1.12 L/s.

7.6. CAUDAL MÁXIMO HORARIO

7.6.1. CAUDAL MÁXIMO HORARIO FINAL POR EL MÉTODO PÉREZ CARMONA

En la tabla 3.1 del libro *Diseño y construcción de alcantarillados sanitario* Pérez Carmona relaciona el caudal medio con el valor correspondiente al caudal máximo horario (ver tabla 4).

Según esta tabla, para un valor de caudal medio de 1,12 l/s el caudal máximo horario es de 6,80 l/s.

7.6.2. CAUDAL MÁXIMO HORARIO POR EL MÉTODO RAS

$$Q_{MHF} = F \times Q_{MDF}$$

donde:

Q_{MHF} = caudal máximo horario final (m³/s)

F = factor de mayoración (adimensional)

Q_{MDF} = caudal medio diario final (m³/s)

Factor de mayoración. Ecuación de los Ángeles D.3.10

$$F = \frac{3.5}{P^{0.1}}$$

$$F = \frac{3.5}{\left(\frac{110}{1000}\right)^{0.1}} = 4.36$$

Remplazando:

$$Q_{MHF} = 4.36 \times 1.12 \frac{L}{s} = 4.88 L/s$$

7.6.3. SELECCIÓN DEL CUDAL MÁXIMO HORARIO

Para la selección del caudal medio máximo horario se compararon los dos métodos presentados en los numerales 7.6.1 y 7.6.2. Se considera conveniente seleccionar el valor mayor para de esta manera tener un criterio de seguridad. El valor seleccionado es 6,88 L/s.

7.7. CAUDAL DE DISEÑO

7.7.1. CAUDAL DE DISEÑO POR EL MÉTODO RAS

Para obtener el caudal de diseño de cada tramo de la red de tuberías es necesario sumar el caudal máximo horario del día máximo con los aportes por infiltraciones y las conexiones erradas.

$$Q_{DT} = Q_{MHf} + Q_{INF} + Q_{CE}$$

donde:

QDT = caudal de diseño para cada tramo de la red (m³/s)

QMII = caudal máximo horario final (m³/s)

QINF = caudal por infiltraciones (m³/s)

QCE = caudal por conexiones erradas (m³/s)

Si el valor del caudal diseñado para cada tramo es menor a 1,5 L/s se anula y se toma este último valor como caudal de diseño y se dimensionan las tuberías de los sistemas de alcantarillado de aguas residuales.

Remplazando:

$$Q_{DT} = 0.00688 + 0.0001 + 0.0001$$

$$Q_{DT} = 0.00708 \text{ m}^3/\text{S}$$

$$Q_{DT} = 7.08 \text{ L/S}$$

7.7.2. CAUDAL DE DISEÑO POR EL MÉTODO PÉREZ CARMONA

Este autor expone otro método para obtener el caudal de diseño (Q_d), sugiriendo valores correspondientes a los parámetros que conforman la siguiente ecuación:

$$Q_d = \frac{Q_{MH} + Q_I + Q_e}{K}$$

donde:

Qd (caudal de diseño). Este caudal se obtiene sumando el caudal máximo horario del día máximo (Q_{MH}) con los caudales de infiltración y de conexiones erradas.

QI (caudal de infiltración). Estos caudales se toman según los datos técnicos contemplados y las características de la zona donde se va a realizar el diseño.

Zona de infiltración alta = 0,41/ ha / s

Zona de infiltración media = 0,31 / ha / s

Zona de infiltración baja = 0,21 / ha / s

Qe (conexiones erradas). Este aporte corresponde a los bajantes de los tejados y sifones de los patios, se establece para efectos de cálculo en un 20 % del caudal pico de aguas negras.

QMT (caudal máximo total). Este caudal es igual a la suma del máximo horario del día máximo, al de infiltración y al de conexiones erradas.

K: coeficiente de utilización de 0,6, 0,7 y 0,9

Qo: caudal a tubo lleno en l/s que se lee en la tabla de Manning. Están dadas en l/s.

Se propone emplear un coeficiente de utilización, así:

$$\frac{Q_d}{Q_0} \leq 0.6 \quad \text{Para diámetros entre 8 y 21"}$$

$$\frac{Q_d}{Q_0} \leq 0.7 \quad \text{Para diámetros entre 24 y 1,20 m}$$

$$\frac{Q_d}{Q_0} \leq 0.9 \quad \text{Para diámetros mayores que 1,25 m}$$

Remplazando:

$$Q_d = \frac{6.88 \text{ l / s} + 0.21 \text{ l/hab/s} + 0.224 \text{ l / s}}{0.6}$$

$$Q_d = 12.19 \text{ l / s}$$

7.7.3. SELECCIÓN DEL CAUDAL DE DISEÑO

Para la selección de caudal de diseño se realizó la comparación de los dos métodos presentados en los numerales 7.7.1 y 7.7.2. Se considera conveniente seleccionar el valor mayor para de esta manera tener un criterio de seguridad. El valor seleccionado es 12,19 L/s.

7.8. SELECCIÓN DEL DIÁMETRO DEL TRAMO

La selección del diámetro corresponde a la etapa final de diseño de la red de alcantarillado sanitario rural. Esta red se debe evaluar tramo a tramo, teniendo en cuenta cada uno de los parámetros que interfieren en su evaluación. A continuación se presenta el método recomendado para la selección del diámetro de un tramo y su respectiva justificación, describiendo cada una de las columnas de la tabla.

- **Columna 1:** identifica la nomenclatura del punto que se va a evaluar.
- **Columna 2:** esta columna es esencial para conocer e identificar cada tramo que se desea evaluar.
- **Columna 3:** indica el número del pozo donde comienza el tramo.
- **Columna 4:** corresponde al número del pozo donde termina el tramo.
- **Columna 5:** se coloca el área aferente acumulada hasta ese punto.
- **Columna 6:** se toma el valor del área aferente incrementada por el paso del tramo de la red de alcantarillado sanitario.
- **Columna 7:** valor que corresponde a la suma de las columnas 5 y 6.
- **Columna 8:** valor referente al caudal máximo horario.
- **Columna 9:** este valor se obtiene multiplicando el valor de la columna 7 por el de la 8.
- **Columna 10:** valor suministrado por el plano topográfico.
- **Columna 11:** se propone un valor de S que se ajuste a los planos topográficos.
- **Columna 12:** se propone un diámetro para determinar el caudal a tubo lleno.
- **Columna 13:** corresponde al valor del coeficiente de rugosidad, que depende de las características del material que se va a utilizar.
- **Columna 14:** se halla el caudal implementando la ecuación de Manning.
- **Columna 15:** en esta columna se halla velocidad, despejando de la ecuación $Q = V \cdot A$.
- **Columna 16:** se halla la fuerza tractiva correspondiente a la ecuación

$$\tau = \mu * Rh * S$$

- **Columna 17:** se halla la relación del caudal de diseño y del caudal a tubo lleno Q/Qo, dividiendo la columna 9 entre la columna 14.

Las relaciones hidráulicas se calculan asumiendo condiciones del flujo a tubo lleno, calculando la profundidad de la lámina de agua y su velocidad real. Para facilitar este cálculo se presenta la tabla 8, tomada de Pérez Carmona.

Tabla 7

Relaciones hidráulicas

Q/Qo	Relación	0	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0	y/Qo	0	0.061	0.099	0.126	0.148	0.168	0.185	0.2	0.215	0.228
	V/Vo	0	0.272	0.327	0.366	0.398	0.426	0.45	0.473	0.495	0.515
	D/∅o	0	0.041	0.067	0.086	0.102	0.116	0.128	0.14	0.151	0.161
	A/Ao	0	0.025	0.051	0.073	0.092	0.11	0.127	0.143	0.157	1.172
	t/To	0	0.195	0.273	0.328	0.375	0.415	0.452	0.485	0.515	0.542
0.1	y/Qo	0.241	0.253	0.264	0.275	0.286	0.296	0.306	0.316	0.325	0.334
	V/Vo	0.534	0.553	0.564	0.575	0.586	0.596	0.606	0.616	0.626	0.636
	D/∅o	0.17	0.179	0.188	0.197	0.205	0.213	0.221	0.229	0.236	0.244
	A/Ao	0.185	0.199	0.211	0.224	0.236	0.248	0.259	0.271	0.282	0.293
	t/To	0.568	0.592	0.615	0.637	0.658	0.678	0.697	0.715	0.732	0.748
0.2	y/Qo	0.343	0.352	0.361	0.369	0.377	0.385	0.393	0.401	0.409	0.417
	V/Vo	0.645	0.655	0.664	0.673	0.681	0.69	0.699	0.701	0.715	0.724
	D/∅o	0.251	0.258	0.266	0.273	0.28	0.287	0.294	0.3	0.307	0.314
	A/Ao	0.304	0.314	0.325	0.335	0.345	0.355	0.365	0.375	0.385	0.394
	t/To	0.764	0.779	0.794	0.809	0.822	0.836	0.849	0.862	0.874	0.885
0.3	y/Qo	0.424	0.432	0.439	0.446	0.453	0.46	0.468	0.475	0.482	0.488
	V/Vo	0.732	0.74	0.747	0.755	0.763	0.77	0.778	0.785	0.792	0.799
	D/∅o	0.321	0.328	0.34	0.341	0.348	0.354	0.361	0.368	0.374	0.381
	A/Ao	0.404	0.413	0.422	0.432	0.441	0.45	0.459	0.468	0.476	0.485
	t/To	0.897	0.908	0.918	0.929	0.939	0.949	0.959	0.968	0.978	0.987

0.4	y/Qo	0.495	0.502	0.509	0.516	0.522	0.529	0.535	0.542	0.549	0.555
	V/Vo	0.806	0.813	0.82	0.827	0.833	0.84	0.846	0.853	0.859	0.865
	D/∅o	0.388	0.395	0.402	0.408	0.415	0.422	0.429	0.436	0.443	0.45
	A/Ao	0.494	0.503	0.511	0.52	0.528	0.537	0.545	0.553	0.562	0.57
	t/To	0.996	0.004	1.013	1.021	1.029	1.037	1.045	1.052	1.059	1.067
0.5	y/Qo	0.561	0.568	0.574	0.581	0.587	0.594	0.6	0.606	0.613	0.619
	V/Vo	0.861	0.866	0.871	0.876	0.881	0.886	0.891	0.896	0.901	0.905
	D/∅o	0.458	0.465	0.472	0.479	0.487	0.494	0.502	0.51	0.518	0.526
	A/Ao	0.578	0.586	0.594	0.602	0.61	0.618	0.626	0.634	0.642	0.65
	t/To	1.074	0.08	0.087	1.093	1.1	1.106	1.112	1.118	1.124	1.129
0.6	y/Qo	0.625	0.632	0.638	0.644	0.651	0.657	0.663	0.67	0.676	0.683
	V/Vo	0.91	0.915	0.919	0.924	0.928	0.933	0.937	0.942	0.946	0.95
	D/∅o	0.534	0.542	0.55	0.559	0.568	0.576	0.585	0.595	0.604	0.614
	A/Ao	0.658	0.666	0.674	0.681	0.689	0.697	0.704	0.712	0.72	0.727
	t/To	1.135	1.14	1.145	1.15	1.155	1.159	1.164	1.168	1.173	1.177
0.7	y/Qo	0.689	0.695	0.702	0.709	0.715	0.721	0.728	0.735	0.741	0.748
	V/Vo	0.954	0.959	0.963	0.967	0.751	0.975	0.978	0.982	0.986	0.99
	D/∅o	0.623	0.633	0.644	0.654	0.665	0.677	0.688	0.7	0.713	0.725
	A/Ao	0.735	0.742	0.75	0.757	0.765	0.772	0.78	0.787	0.795	0.802
	t/To	1.181	1.184	1.188	1.191	1.194	1.197	1.2	1.202	1.205	1.207
0.8	y/Qo	0.755	0.761	0.768	0.775	0.782	0.789	0.796	0.804	0.811	0.818
	V/Vo	0.993	0.997	1	1.003	1.007	1.01	1.013	1.016	1.019	1.022
	D/∅o	0.739	0.753	0.767	0.783	0.798	0.815	0.833	0.852	0.871	0.892
	A/Ao	0.81	0.817	0.824	0.832	0.839	0.847	0.854	0.861	0.86	0.876
	t/To	1.209	1.211	1.213	1.214	1.215	1.216	1.217	1.217	1.217	1.217
0.9	y/Qo	0.826	0.834	0.842	0.85	0.858	0.867	0.875	0.884	0.894	0.904
	V/Vo	1.024	1.027	1.029	1.032	1.034	1.036	1.037	1.039	1.04	1.047
	D/∅o	0.915	0.94	0.966	0.995	1.027	1.063	1.103	1.149	1.202	1.265
	A/Ao	0.883	0.841	0.896	0.906	0.913	0.921	0.928	0.936	0.943	0.951
	t/To	1.217	1.216	1.215	1.214	1.213	1.211	1.209	1.206	1.202	1.198

Fuente: Pérez Carmona, R., tabla 3.1.

- **Columna 18:** se lleva la relación V/Vo, velocidad real y velocidad a tubo lleno. (Ver tabla 7).
- **Columna 19:** al igual que la columna 18, se ingresa a esta tabla con el valor de Q/Qo y se lee Y/∅. (Ver tabla 7).

- **Columna 20:** como en la columna 18, se ingresa a esta tabla con el valor de Q/Q_0 y se lee t/T . (Ver tabla 7).
- **Columna 21:** así como en la columna 18, se ingresa a esta tabla con el valor de Q/Q_0 y se lee D/\emptyset . (Ver tabla 7).
- **Columna 22:** D se halla multiplicando la columna 21 por el diámetro de la tubería en metros.
- **Columna 23:** número de Froude $0,319 V/D^{0,5}$
- **Columna 24:** el valor real de la velocidad V/V_0 se halla multiplicando las columnas 15 y 18.
- **Columna 25:** el valor real de la profundidad de la lámina Y se encuentra de la relación Y/\emptyset .
- **Columna 26:** cálculo de la fuerza tractiva para condiciones reales. Se determina multiplicando las columnas 16 y 20.
- **Columna 27:** este valor se evalúa en el plano topográfico.
- **Columna 28:** este valor se evalúa en el plano topográfico.
- **Columna 29:** diferencia de las cotas establecidas por los planos topográficos, relacionadas en la casilla 24 menos la casilla 25.
- **Columna 30:** valor que se refiere a la caída del caudal en el pozo, con respecto a la cota superior del siguiente tramo.
- **Columna 31:** cota rasante superior que se determina de acuerdo con el diseño geométrico de la vía.
- **Columna 32:** se determina y evalúa según el plano altimétrico de redes.
- **Columna 33:** valor de la cota clave que se obtiene de la rasante superior.

- **Columna 34:** de la rasante inferior se resta el valor de la clave inferior.

7.9. CUADRO DE CÁLCULO

CARACTERISTICAS DEL TRAMO				AREA TRIBUTARIA			CAUDAL		LONGITUD	PENDIENTE
Localizacion	Numero tramo	de pozo:	a pozo:	Acumulado	Incremento	Total	Unitario	Total Q	L.	S
Direccion	#	#	#	Ha	Ha	Ha	l/s/ha	l/s	m	%
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	1	1	4	0.503	0	0.503	6.88	3.46064	83.8	0.60

DIAMETRO	RUGOSIDAD	CAUDAL	VELOCIDAD	F. TRACTIVA	RELACIONES HIDRAULICAS					
Φ	n	Qo	Vo	T	Q/Qo	V/Vo	τ/T	D/ Φ	D	F
pulg	#	l/s	m/s	kg/m2	#	#	#	#	m	#
12	13	14	15	16	17	18	20	21	22	23
8	0.0015	26.5	0.82	0.30	0.131	0.61	0.71	0.22	0.044	0.76

VALORES REALES										PERFIL DEL TRAMO			
V.	Y	t	cota clave		Caída en tramo		Caída en pozo-Hp		Cota rasante		Recubrimiento		
m/s	m	kg/m2	superior	inferior	m	m	m	m	superior	inferior	superior	inferior	
24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34			
0.50	0.062	0.216408	63.2	62.7	0.50	0	64.5	64.0	1.3	1.3			

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En el desarrollo de este proyecto se obtuvo y conceptualizó un diagrama con parámetros de diseño, siguiendo una secuencia ordenada y clara del diseño de un alcantarillado sanitario rural, constituido por un orden lógico y siguiendo las normas técnicas vigentes en el país. Se desarrolló con el fin de crear una herramienta útil para estudiantes, ingenieros, arquitectos y administradores de proyectos en el sector de la construcción. Este diagrama se convierte en una fuente confiable para la planeación de diseños en este tipo de proyectos.

Se identificó la información básica necesaria para dar inicio a un diseño de alcantarillado sanitario rural en el diagrama sugerido. Esta información se representa en el diagrama como datos técnicos, considerando indispensable para un diseñador al proyectar y programar un diseño de un proyecto de alcantarillado sanitario. Estos datos técnicos incluyen el área general del proyecto, vías internas e infraestructura de servicios, topografía, información climatológica, servicios públicos e información sobre disponibilidad y estructura de los servicios públicos. Se analizaron y describieron las recomendaciones técnicas de cada criterio con el fin de optimizar la información requerida. Para el caso particular del ejemplo del proyecto y tratándose de un diseño de alcantarillado rural, se identificaron tres criterios, los cuales se evidencia la complejidad del acceso a la información climatológica y de servicios públicos, teniendo en cuenta los pocos registros pluviométricos presentes en la zona rural y la información limitada por parte de la empresa prestadora de servicios públicos del municipio.

En cuanto al parámetro de diseño del diagrama de flujo, se establecieron tres criterios: evaluación de la población servida, información planimetría y altimétrica y evaluación de alternativas. Los datos obtenidos de los censos de la población son fundamentales al aplicar los métodos sugeridos. Sin embargo, al tratarse de población rural y proyectos de sociedades de vivienda, estos métodos tienden a presentar porcentaje de error, debido a la ausencia de información en las zonas rurales. Para proyectos de sociedades de vivienda rurales con número no superior a 300 habitantes se recomienda realizar un análisis cuantitativo y de proyección de población a 20 años, partiendo como base de los registros de los usuarios por suscriptor.

Se describieron los criterios relacionados con la información de planimetría y altimétrica y la evaluación de alternativas. Esta información se describió en cada criterio, justificando parámetros técnicos basados en la norma técnica colombiana RAS. Estas recomendaciones se realizaron con el fin de optimizar la información requerida, ajustada a las necesidades reales de un proyecto de alcantarillado sanitario rural.

En el diagrama propuesto se identificó la metodología para calcular el caudal de aguas residuales, que equivale a la sumatoria de los caudales doméstico, industrial, institucional, comercial, infiltración y de conexiones erradas. En esta metodología los caudales institucional, industrial y comercial, no son tenidos en cuenta, debido a que este diseño se localiza en las zonas rurales, siendo poco probable que estos aportes se presenten en una sociedad de vivienda rural. Para el cálculo del caudal de aguas domésticas se presentaron tres métodos basados en la norma técnica RAS, los cuales se diferencian en los criterios de la proyección de la demanda de agua potable, ya sea por habitante, suscriptor o área tributaria de drenaje.

En el caso particular del ejemplo expuesto en el presente proyecto se evidenciaron dos criterios: caudal de infiltración y de conexiones erradas. Se identificó que no existe información específica acerca de metodologías de cálculo que se ajuste a datos reales que contribuyan a determinar el caudal de diseño de manera segura para este tipo de sociedades de vivienda rural. Sin embargo, existen tablas que relacionan estos caudales con porcentajes del caudal máximo residual, haciendo que el porcentaje de error sea mayor al momento de la proyección del diseño. Se sugiere realizar análisis de estudios de suelos con el fin de determinar el coeficiente de permeabilidad, determinando la capacidad de infiltración del suelo, seguido de obras de drenaje de aguas superficiales que encaucen este tipo de caudales hacia una fuente natural. Adicionalmente, garantizar la recolección y evacuación de las aguas lluvias en los patios, techos y conexiones de bajantes en mal estado, disminuyendo este valor. Se considera importante que el diseñador justifique este valor basado en la evaluación del sistema en general.

Se identificaron tres alternativas para evaluar el caudal máximo horario, aplicando las metodologías propuestas por la RAS, Pérez Carmona y López Cualla. Para el caso de estudio dichas metodologías se evaluaron con el fin de determinar parámetros de seguridad. Las ecuaciones que arrojaron valores mayores corresponden a la metodología propuesta por Pérez Carmona.

En el diagrama se estableció una metodología para seleccionar el diámetro de un tramo de la red, estableciendo criterios como características del tramo, delimitación del área aferente de cada tramo, propiedades geométricas en ductos circulares, dimensionamiento de la sección transversal empleando la ecuación de Manning y parámetros hidráulicos. Se consolidó y justificó esta

información en la metodología propuesta, con el fin de tener una perspectiva más amplia del orden de los criterios que se deben evaluar para seleccionar el diámetro. Para este caso en particular se consignó esta información en una tabla con los parámetros mencionados para mantener una secuencia ordenada y determinar la sección transversal.

Se aplicaron los parámetros generales de un diseño de alcantarillado rural atendiendo las necesidades básicas y siguiendo el método propuesto en el presente proyecto. Este diseño se realizó con base en los parámetros y requisitos establecidos en la norma técnica colombiana de agua potable y saneamiento básico RAS.

9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- López Cualla, R. A. (1995). *Elementos de diseño para acueductos y alcantarillado*. Bogotá: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Pérez Carmona, R. (2013). *Diseño y construcción de alcantarillados sanitario, pluvial y drenaje en carreteras*. Bogotá: Ecoe Ediciones.
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio (2012). Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico: título D. *Sistemas de recolección y evacuación de aguas residuales domésticas y aguas lluvias*. 2da. Ed. / Viceministerio de Agua y Saneamiento Básico (Ed.); Universidad de los Andes. Centro de Investigaciones en Acueductos y Alcantarillados, Ciacua (consultor).
- Empresas Públicas de Medellín (2013). *Normas de Diseño de Sistemas de Alcantarillado de las Empresas Públicas de Medellín E.S.P.* Medellín: EPM.
- Romero, F. H. (1994). *Manual para ingenieros y técnicos*. Medellín: Universidad de Medellín.
- Tchobanoglous, G. (1985). *Ingeniería sanitaria, redes de alcantarillado y bombeo de aguas residuales*. Barcelona: Editorial Labor.

Anexos

