



Manual universitario para el diseño redes del sistema de alcantarillado sanitario

BIVIANA PISCO GARZÓN

ANDRÉS ALBERTO CAICEDO TOLEDO

CRISTIAN CAMILO CALDERÓN LÓPEZ

Corporación universitaria Minuto De Dios

Rectoría Cundinamarca

Sede Girardot (Cundinamarca)

Programa Ingeniería Civil

Mayo de 2022

Manual universitario para el diseño redes del sistema de alcantarillado sanitario

BIVIANA PISCO GARZÓN

ANDRÉS ALBERTO CAICEDO TOLEDO

CRISTIAN CAMILO CALDERÓN LÓPEZ

Monografía Presentada como requisito para optar al título de Ingeniero Civil

Asesor(a)

EDGAR ORJUELA MONTOYA

INGENIERO CIVIL, ESPECIALISTA EN RECURSO HIDRICOS

Corporación universitaria Minuto De Dios

Rectoría Cundinamarca

Sede Girardot (Cundinamarca)

Programa Ingeniería Civil

Mayo de 2022

Dedicatoria

Este trabajo va dedicado principalmente a Dios por permitirnos cumplir con el propósito de luchar y cumplir este gran logro tan esperado por todos nosotros y adicionalmente por las bendiciones recibidas todos los días.

A nuestros padres, que con esfuerzo, esmero y amor nos apoyaron incondicionalmente durante este proceso y a lo largo de toda la carrera profesional, día tras día, semestre a semestre lucharon y dieron lo mejor de sí para lograr un final exitoso.

A todas nuestras familias, amigos y compañeros de estudio que siempre nos brindaron su compañía, apoyo y solidaridad durante todos los semestres de esta carrera universitaria.

A todos los docentes de la Universidad, quienes compartieron todos sus conocimientos con amor, paciencia y dedicación durante cada semestre; especialmente, al ingeniero Edgar Orjuela que nos acompañó y nos brindó su apoyo para sacar adelante este trabajo.

Agradecimientos Biviana Pisco Garzón

Oficialmente estoy en el lugar donde siempre soñé llegar desde el primer momento que entré a la universidad, me hace falta palabras de agradecimiento para las personas que me colaboraron y estuvieron conmigo en todo momento, aquellas que se quedaron sin importar cuanto estrés manejara, mal genio y días malos.

Llevare en mi memoria a mis amigos y compañeros que me sacaban una sonrisa en las clases, en las horas libres y cuando nos reuníamos para realizar los trabajos, esas noches de desvelo para que saliera bien cada trabajo y buenas notas en los parciales, extrañaré todos esos bellos momentos, pero me alegra haber llegado a este punto de convertirme en profesional.

Agradecimiento Andrés Alberto Caicedo Toledo

Antes de llegar hasta ese punto de mirar hacia adelante y saber que haré ahora que cumplí uno de mis sueños me hace pensar que, si nos proponemos a salir adelante, a creer más en nosotros podemos lograr eso y mucho más, que cada esfuerzo y dedicación que tengamos con nosotros y cada una de las personas que nos rodea será por beneficio de nosotros, todo esto me lleva a darle gracias a Dios, primeramente, por ser mi guía, por ayudarme de alguna u otra manera, a mis padres que siempre están presente en estos momentos, que hacen parte de las cosas más alegres de mi vida .

Agradecimiento Cristian Camilo Calderón López

Hace unos meses anhelaba que llegara este momento, no veía la hora de convertirme en profesional, y ahora que estoy pasando por esta experiencia, me da mucha nostalgia y alegría al saber de qué al fin lo logre, le agradezco mucho a Dios, a mis amigos, a mis familiares, a mis docentes y cada persona que está en mi vida apoyándome y ayudándome siempre. Este es el comienzo de muchos triunfos en mi vida.

Contenido

Lista de tablas	8
Lista de Ilustraciones	9
Resumen.....	10
Abstract.....	11
1. Introducción	12
2. Planteamiento Del Problema.....	13
3. Justificación	14
4. Objetivos	16
4.1 Objetivo General	16
4.2 Objetivos Específicos.....	16
5. Marco De Referencia o Marco Legal.....	17
6. Marco Teórico.....	19
6.1 Sistemas de Alcantarillado.....	19
6.1.1 Componentes de un Sistema de Alcantarillado Sanitario	21
6.2 Determinación del caudal de diseño	29
6.2.1 Métodos para la proyección de población:.....	29
6.2.2 Dotación neta	31
6.2.3 Contribuciones de aguas residuales	32
6.3 Parámetros técnicos de diseño	36
7. Metodología	45
8. Resultados	47
8.1 Ejemplo 1. Proyecto ANA GILMA	47
8.2 Ejemplo 2. Proyecto SAN NICOLAS.....	51
12. Conclusiones	56
13. Referencias.....	59
14. Anexos	60

Lista de tablas

Tabla 1. <i>Dotación neta máxima por habitante</i>	32
Tabla 2. <i>Coefficiente de rugosidad de Mannig para alcantarillados, RAS-2000.</i>	38
Tabla 3. <i>Profundidades a las cotas claves del colector.</i>	43
Tabla 4. <i>Datos del Ejemplo 1.</i>	48
Tabla 5. <i>Datos del Ejemplo 2.</i>	51

Lista de Ilustraciones

<i>Ilustración 1. Modelo perpendicular. Adaptado de (Conagua, 2009)</i>	22
<i>Ilustración 2. Modelo radial. Adaptado de (Conagua, 2009)</i>	22
<i>Ilustración 3. Modelo de Interceptores. Adaptado de (Conagua, 2009)</i>	23
<i>Ilustración 4. Modelo de abanico. Adaptado de (Conagua, 2009)</i>	23
<i>Ilustración 5. Descarga domiciliaria con tubería de PVC. Adaptado de (Conagua, 2009)</i>	24
<i>Ilustración 6. Componentes del pozo de visita. Adaptado de (Conagua, 2009)</i>	25
<i>Ilustración 7. Ensamble Pozo de visita prefabricado. (Conagua, 2009)</i>	26
<i>Ilustración 8. Pozos de visita contruidos en sitio. Adaptado de (Conagua, 2009)</i>	26
<i>Ilustración 9. Pozo de visita común. Adaptado de (Conagua, 2009)</i>	27
<i>Ilustración 10. Ejemplo de un pozo tipo caja. Adaptado de (Conagua, 2009)</i>	27
<i>Ilustración 11. Cámara de caída. Adaptado de (Cualla, 2003)</i>	29
<i>Ilustración 12. Características de una zanja. Adaptado de (Conagua, 2009)</i>	42

Resumen

El presente proyecto de investigación, toma como base la necesidad presentada por la carencia de un Manual que unifique los criterios y parámetros establecidos en diferentes literaturas y en la normatividad actual vigente en el país, para el desarrollo de estudios y diseños de sistemas de alcantarillado sanitario con una tabla iterativa en Excel y el uso de un diagrama de flujo que le indique al usuario los procedimientos que debe tener presente para ingresar los datos y verificar los resultados, debido a que a pesar de contar con la normatividad actual y las guías técnicas del RAS (reglamento del sector del agua potable y saneamiento básico) vigente en el país que estipula y establece los parámetros y criterios básicos para el diseño, no se explica de manera detallada y en forma secuencial un proceso estandarizado para el diseño de este tipo de redes.

Palabras clave: Manual, Estudios y Diseños, Redes, Alcantarillado Sanitario.

Abstract

This research project is based on the need presented by the lack of a Manual that unifies the criteria and parameters established in different literatures and in the current regulations in force in the country, for the development of design studies and sanitary sewage systems with an iterative table in Excel and the use of a flowchart that indicates to the user the procedures that must be present to enter the data and verify the results, because despite having the current regulations and the technical guidelines of the RAS (regulation of the drinking water and basic sanitation sector) in force in the country that stipulates and establishes the parameters and basic criteria for the design, a standardized process for the design of this type of network is not explained in detail and sequentially .

Keywords: Manual, Studies and Designs, Networks, Sanitary Sewer.

1. Introducción

Este proyecto de investigación tiene como objetivo la elaboración de un manual universitario para emplear como guía para estudios y diseños de redes de alcantarillado sanitario, donde se especifiquen los parámetros y criterios establecidos en la resolución 0330/2017 y resolución 0799/2021, a través de una secuencia de pasos lógicos acompañados de un diagrama de flujo para el diseño planteado.

Teniendo en cuenta que el diseño de sistemas de alcantarillado sanitario es un estudio y proceso de gran complejidad para realizar, especialmente por estudiantes del programa de ingeniería civil y/o por profesionales de la ingeniería civil recién graduados, debido a la gran cantidad de parámetros y criterios que se deben revisar para garantizar el correcto cumplimiento de las condiciones establecidas en el Reglamento Técnico Del Sector De Agua Potable Y Saneamiento Básico Ras - 2000 y las normas que lo reglamentan.

Por lo anterior, se plantea la elaboración de un manual universitario que compile todos los criterios establecidos por el RAS en el diseño de redes de alcantarillado sanitario y que forme parte del material didáctico que tengan a la mano, que les permita mejorar la comprensión de los conceptos aplicados en el diseño de este tipo de sistemas y puedan con claridad poder tomar decisiones acertadas; del cumplimiento de los criterios y normas reguladoras para colocar en marcha un proyecto de esta índole con el más alta grado de responsabilidad y teniendo de referencia la tablas iterativas como una herramienta de comprobación de las condiciones de diseño y evaluando con el diagrama de flujo su correcta aplicación tanto en el ámbito universitario como en el profesional.

2. Planteamiento Del Problema

Los estudios y diseños encaminados al diseño para la construcción u optimización de sistemas de redes de alcantarillado sanitario son algo complejos desde el punto de vista de los procesos y los parámetros que se deben tener en cuenta para su diseño y es claro que hay mucha literatura al respecto disponible pero se evidencia la falta de claridad en muchos pasos para tener una adecuada comprensión de las pautas tomadas en muchos de eso ejemplo modelo que se presentan, de ahí nace la necesidad de generar este manual de diseño de sistemas de alcantarillado con una tabla iterativa en Excel y el uso de un diagrama de flujo que le indique al usuario los procedimientos que debe tener presente para ingresar los datos y verificar los resultados, debido a que a pesar de contar con la normatividad actual y las guías técnicas del RAS (reglamento del sector del agua potable y saneamiento básico) vigente en el país que estipula y establece los parámetros y criterios básicos para el diseño, no se explica de manera detallada y en forma secuencial un proceso estandarizado para el diseño de este tipo de redes.

Se hace necesario relacionar lo expuesto en el anterior inciso, y la importancia de este tipo de proyectos que contribuyen de manera significativa con la recolección y transporte de las aguas residuales para su correcto tratamiento y disposición, contribuyendo con el saneamiento básico, surge como pregunta o inquietud:

¿Sería útil un manual universitario que contenga los procesos y ejemplos para los estudios y diseños de redes de alcantarillado sanitario?

3. Justificación

Los proyectos relacionados con el saneamiento básico y encaminados a los estudios y diseños necesarios para la construcción y optimización de redes de alcantarillado sanitario, encargadas de la recolección y transporte de las aguas residuales, son de gran complejidad y deben garantizar el cumplimiento de los criterios y parámetros técnicos y los parámetros expuestos en la normatividad actual vigente en el país, así como el cumplimiento de las características socioeconómicas y ambientales estipuladas y requeridas por cada uno de los entes gubernamentales de las regiones.

De acuerdo con lo mencionado en este inciso, se tiene como objetivo realizar manual universitario que contenga los procesos y ejemplos unificados y que cumplan con los parámetros y criterios establecidos en la resolución 0330/2017 y la resolución 0799/2021, así como que siga los lineamientos establecidos en la guía técnica del RAS 2016 título D, para diseños de Redes del sistema de alcantarillado sanitario.

El ingeniero civil se forma de acuerdo a las competencias necesarias para proyectar, diseñar y ejecutar soluciones frente a responsabilidades relacionados con obras hidráulicas, saneamiento ambiental con el fin de identificar problemáticas y generar soluciones que beneficien a la comunidad.

Como estudiantes del programa de ingeniería civil, concordamos en que es un tema de gran interés y muy necesario y práctico contar con un manual técnico que nos oriente en el diseño de redes de los sistemas de alcantarillado sanitario. Razón por la cual, aprovechando los conocimientos adquiridos en la asignatura Acueductos y Alcantarillados, se plantea la elaboración de un manual universitaria que contenga los procesos y ejemplos unificados y que

cumplan con los parámetros y criterios establecidos en la resolución 0330/2017 y resolución 0799/2021 para diseños de Redes del sistema de alcantarillado sanitario.

El manual de diseño de alcantarillados, como apoyo a los estudiantes del programa de ingeniería civil, donde encontrarán información teórica de acuerdo a los libros. Por otro lado, se encuentra la normativa usada para el diseño de sistemas de alcantarillados actualizada. Y una serie de ejercicios desarrollados en compañía del Ingeniero Especialista Edgar Orjuela Montoya, como guía para calcular y diseñar un sistema alcantarillado.

4. Objetivos

4.1 Objetivo General

Realizar un manual universitario que cumplan con los parámetros y criterios establecidos en la resolución 0330/2017 y resolución 0799/2021 para diseños de redes de alcantarillado.

4.2 Objetivos Específicos

- Identificar los criterios y parámetros técnicos para el diseño de este tipo de proyectos, teniendo en cuenta la normatividad vigente.
- Realizar una matriz de cálculo iterativa en Excel de alcantarillado sanitario y su mapa conceptual paso a paso en el manual universitario.
- Elaborar manual técnico con los procesos y ejemplos unificados para el diseño de redes del sistema de alcantarillado sanitario.

5. Marco De Referencia o Marco Legal

El libro Elementos De Diseño Para Acueductos Y Alcantarillados del autor Ricardo Alfredo López Cualla, constituye una herramienta fundamental de diseño de acueductos y alcantarillados para profesionales y estudiantes. Los diseños que presenta el autor están orientados a poblaciones rurales o pequeñas comunidades donde ha de centrarse el mayor esfuerzo de los ingenieros civiles para dar soluciones adecuadas a los problemas de saneamiento ambiental. (Cualla, 2003)

El Reglamento técnico de Agua y Saneamiento (RAS) con sus manuales o guías técnicas del año 2000 que estipulan a través de los títulos D que contiene los aspectos generales, criterios y/o parámetros técnicos, normatividad técnica y jurídica, para el diseño de alcantarillados.

La Resolución 1096 de 2000, mediante la cual se adopta el Reglamento técnico de Agua y Saneamiento (RAS) y en donde se realizan recomendaciones mínimas para formulación, diseño, construcción, puesta en marcha, operación y mantenimiento de los sistemas de acueducto, alcantarillado y aseo, de forma que se logre con esta infraestructura prestar un servicio con una calidad determinada.

En el año 2017, se presentó una actualización mediante la resolución 0330 del 08 de junio 2017, por medio de la cual se derogan ciertos criterios y parámetros expuestos en los títulos guías del RAS y en la resolución 1096 de 2000.

En el mes de diciembre del año 2021, se realizó una actualización a ciertos parámetros establecidos en la resolución 0330 del 2017, la resolución 0799.

Por otra parte, el título B y D del RAS 2000, se actualizaron en el año 2016 y establece los criterios básicos y requisitos que deben cumplir los diferentes procesos involucrados en la

conceptualización, el diseño, la construcción, la supervisión técnica, operación y el mantenimiento de los componentes de los sistemas de acueductos y alcantarillados.

Sin embargo, se desconoce de la existencia de una guía o manual actualizado a los parámetros y criterios de las resoluciones 0330 de 2017 y 0799 de 2021, y que involucre los requisitos mínimos exigidos por las entidades prestadoras de los servicios de acueducto y alcantarillado en el país, especialmente en la región, estandarizando los procesos y detalles técnicos básicos aplicables a este tipo de proyectos y que sirva como guía universitaria para estudiantes del programa de ingeniería civil, a profesionales en general y como base en la elaboración de este tipo de proyectos futuros en el país.

6. Marco Teórico

6.1 Sistemas de Alcantarillado

Los sistemas de alcantarillados pueden ser de dos tipos: los convencionales y los no convencionales. Los sistemas de alcantarillado convencionales cuentan con tuberías de grandes diámetros permitiendo una gran flexibilidad de la operación del sistema que es necesaria ante la incertidumbre de los diferentes parámetros empleados para la estimación del caudal; y los No convencionales se emplean para el saneamiento básico de poblaciones con recursos económicos limitados, por lo que son poco flexibles y requieren un gran control de los caudales, mantenimiento y control. (Cualla, 2003)

Los sistemas de alcantarillado convencionales se clasifican según el tipo de agua que conduzcan. De esta manera se tiene: (Cualla, 2003)

- Alcantarillado sanitario: para la recolección de aguas residuales domésticas e industriales.
- Alcantarillado Pluvial: evacuación de escorrentía superficial producida por la precipitación.
- Alcantarillado Combinado: conduce simultáneamente aguas residuales y aguas lluvias.

Por otra parte, los sistemas de alcantarillados no convencionales se clasifican según el tipo de tecnología aplicada y se limitan a la evacuación de las aguas residuales: (Cualla, 2003)

- Alcantarillado Simplificado, se diseñan con los mismos lineamientos de un alcantarillado convencional, pero teniendo en cuenta la posibilidad de reducir diámetros y disminuir distancias entre pozos al disponer de mejores equipos de mantenimiento.
- Alcantarillados condominales, recogen aguas de un pequeño grupo de viviendas (<1 hectárea) y las conducen a un sistema de alcantarillado convencional.

- Alcantarillados sin arrastre de sólidos, conocidos como alcantarillados a presión, son sistemas en los cuales se eliminan los sólidos de los efluentes de la vivienda por medio de un tanque interceptor. El agua es transportada luego a una planta de tratamiento o sistema de alcantarillado convencional a través de tuberías de diámetro pequeño (por ejemplo, 2") que no tienen que seguir un gradiente de energía uniforme y que por tanto, pueden trabajar a presión en algunos tramos.

Los sistemas de alcantarillado, tienen como función el retiro de las aguas que ya han sido utilizadas en una población y por ende contaminado, estas aguas reciben el nombre genérico de “aguas residuales”. El alcantarillado consiste en un sistema de conductos enterrados llamados alcantarillas, que generalmente se instalan en el centro de las calles. (Jiménez T. J., 2013)

El alcantarillado en una serie de tuberías y obras complementarias cuya función es recibir, conducir y evacuar las aguas residuales producidas por las diferentes actividades humanas en la satisfacción de sus necesidades básicas (lavado, cocina, deposición de excretas, entre otras). Un sistema de alcantarillado se emplea para el control de materia ambiental y para el garantizar el saneamiento básico. (Jiménez R. D., 2021)

Las aguas residuales son desechos líquidos producidos por la actividad diaria del hombre y de la ciudad (domesticas, comerciales, industriales y de servicios), y se clasifican en aguas residuales municipales y aguas residuales industriales. (Galeano & Rojas, 2016).

Estas aguas, se pueden clasificar en aguas residuales domesticas (ARD) y aguas residuales no domesticas (ARnD). Las primeras son aquellas provenientes de los hogares y establecimientos que correspondan a desechos de los aparatos sanitarios de uso personal (inodoros, lavamanos, duchas) y áreas de cocinas y pocetas de servicio para el lavado de

elementos de aseo y ropa. Y las segundas son las que provienen de desechos de actividades diferentes a las domesticas. (MINAMBIENTE, 2015).

6.1.1 *Componentes de un Sistema de Alcantarillado Sanitario*

Una red de alcantarillado sanitario se compone de varios elementos certificados, tales como de tuberías, conexiones, anillos y obras accesorias: descargas domiciliarias, pozos de visita, estructuras de caída, sifones y cruzamientos especiales. Por otra parte en los sistemas a presión se utilizan estaciones de bombeo para el desalojo de las aguas residuales. (Coangua, 2009)

La **tubería** de alcantarillado se compone de tubos y conexiones acoplados mediante un sistema de unión hermético, el cual permite la conducción de las aguas residuales. En la selección del material de la tubería de alcantarillado, intervienen diversas características tales como: resistencia mecánica, resistencia estructural del material, durabilidad, capacidad de conducción, características de los suelos y agua, economía, facilidad de manejo, colocación e instalación, flexibilidad en su diseño y facilidad de mantenimiento y reparación. (Coangua, 2009)

Según el libro de (Cualla, 2003) Las tuberías se pueden clasificar en:

- Laterales o iniciales: reciben únicamente los desagües provenientes de los domicilios.
- Secundarias: reciben el caudal de dos o más tuberías iniciales.
- Colector principal: capta el caudal de dos o más colectores secundarios.

- Emisario final: conduce todo el caudal de aguas residuales o lluvias a su punto de entrega, que puede ser una planta de tratamiento o un vertimiento a un cuerpo de agua, como un río, un lago o el mar.
- Interceptor: es un colector colocado paralelamente a un río o canal.

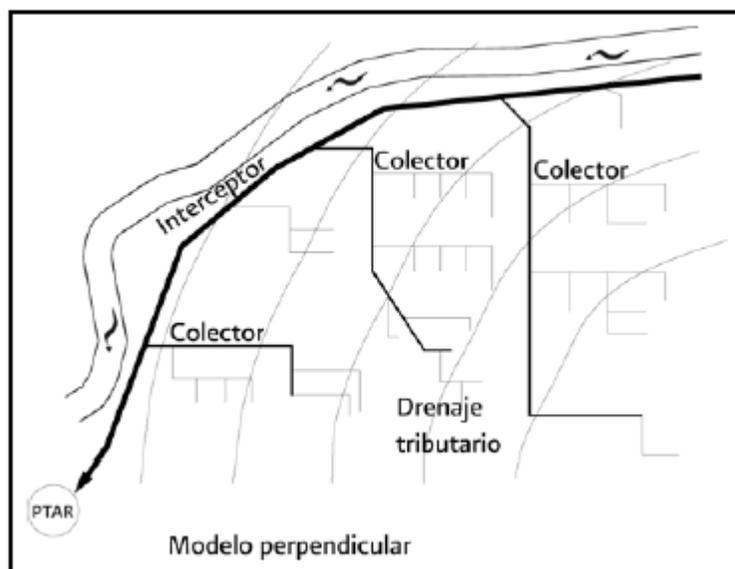


Ilustración 1. Modelo perpendicular. Adaptado de (Conagua, 2009)

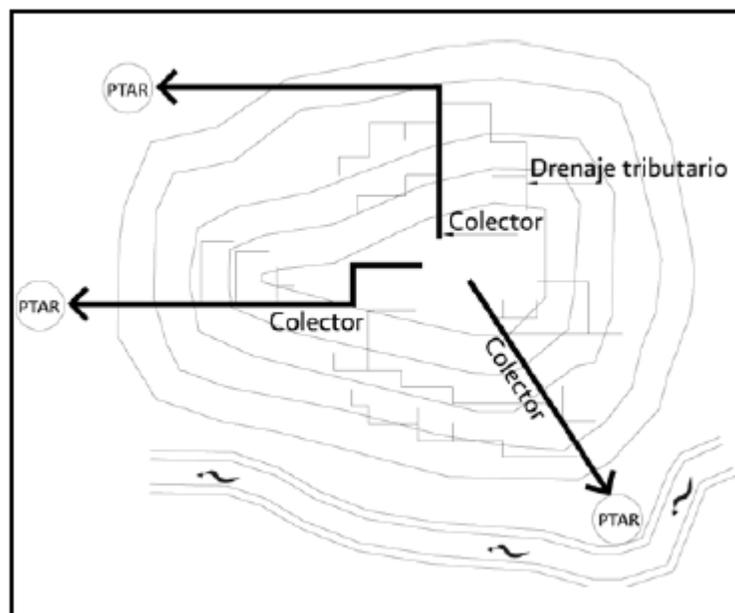


Ilustración 2. Modelo radial. Adaptado de (Conagua, 2009)

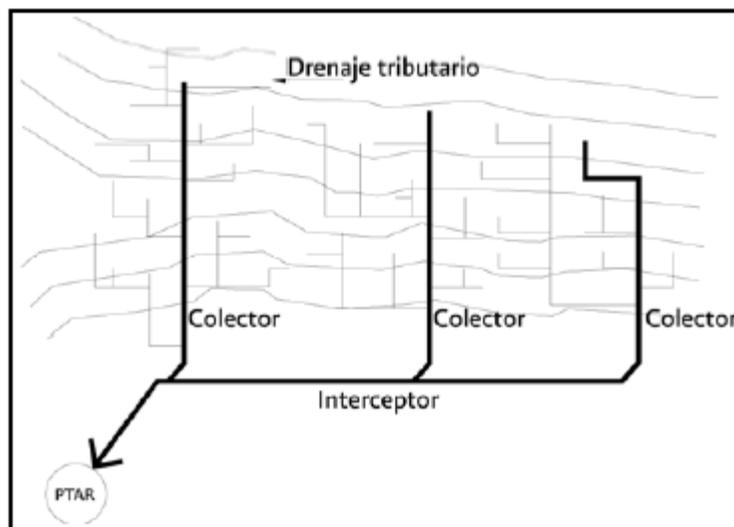


Ilustración 3. Modelo de Interceptores. Adaptado de (Conagua, 2009)

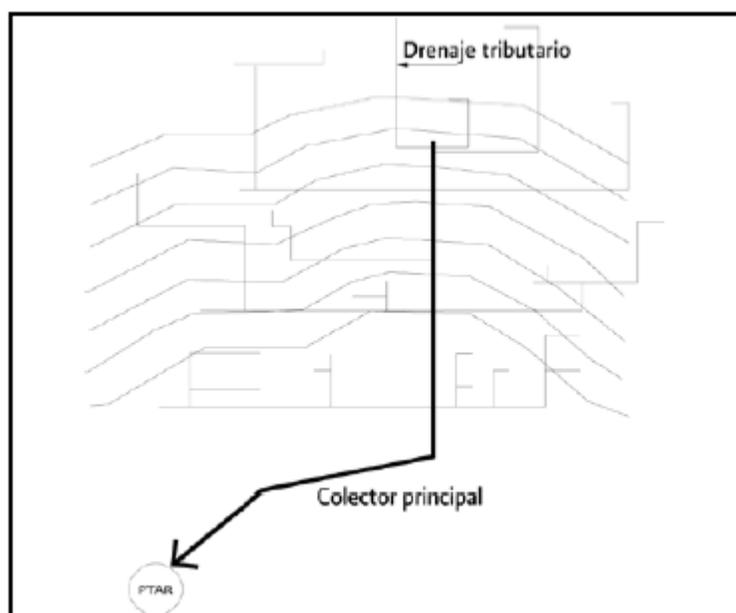


Ilustración 4. Modelo de abanico. Adaptado de (Conagua, 2009)

Acometida domiciliaria o **descarga domiciliaria**, es una tubería que permite el desalojo de las aguas servidas, del registro domiciliario a la atarjea, es decir, a la red principal. (Coangua, 2009)

Se debe garantizar que la conexión de la descarga domiciliaria y la red principal, sea hermética, según el tipo de material se deben elegir piezas especiales y el procedimiento correcto de conexión. (Coangua, 2009)

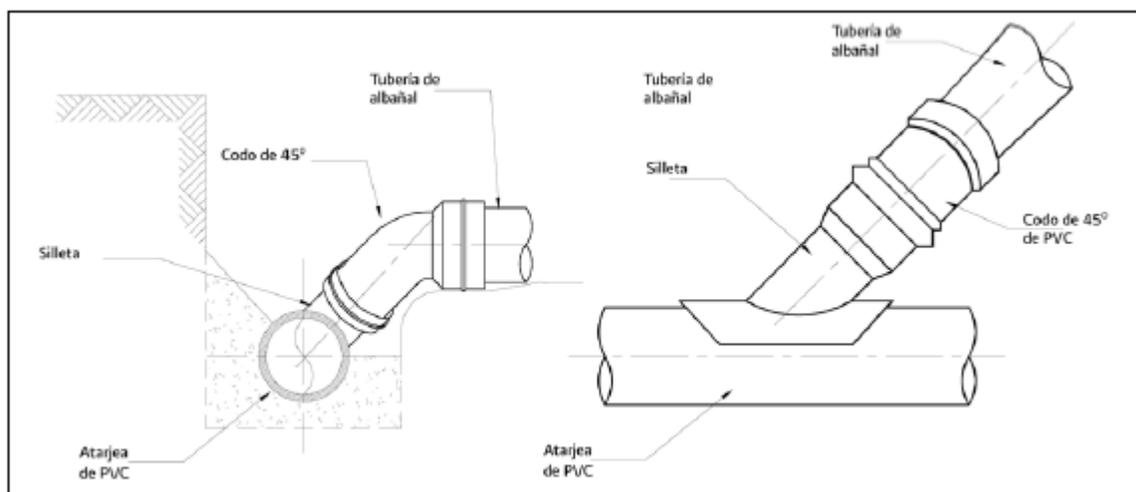


Ilustración 5. Descarga domiciliaria con tubería de PVC. Adaptado de (Coangua, 2009)

La unión de los tramos de la red del alcantarillado se realiza mediante estructuras denominadas pozos de unión o **pozos de inspección**, que permiten el cambio de dirección en el alineamiento horizontal o vertical, el cambio de diámetro o sección, y las labores de inspección, limpieza y mantenimiento. (Cualla, 2003)

Los pozos de visita son estructuras que permiten la inspección, ventilación y limpieza de la red de Alcantarillado, se utilizan para la unión de dos o más tuberías y en todos los cambios de diámetro, dirección y pendiente, así como para las ampliaciones o reparaciones de las tuberías incidentes (de diferente material o tecnología.) (Coangua, 2009)

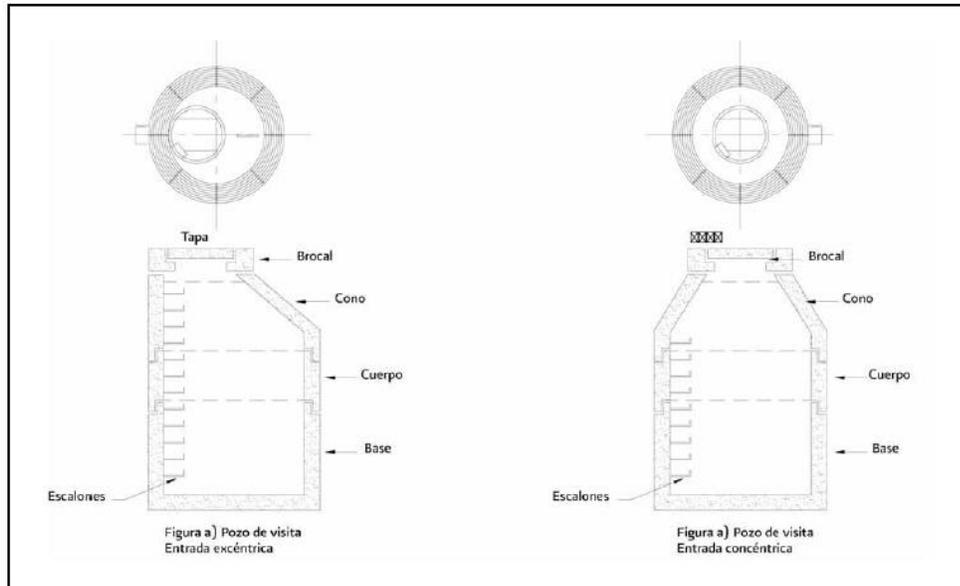


Ilustración 6. Componentes del pozo de visita. Adaptado de (Coangua, 2009)

Según (Coangua, 2009) Los pozos de visita pueden ser prefabricados o construidos en sitio de la obra, los pozos construidos en sitio de la obra se clasifican en:

- a) Pozos de visita tipo común.
- a) Pozos de visita tipo especial.
- b) Pozos tipo caja.
- c) Pozos comunes.
- d) Pozos tipo caja de flexión.
- e) Pozos con caída.
- f) Pozos con caída libre.
- g) Pozos con caída adosada
- h) Pozos con caída escalonada

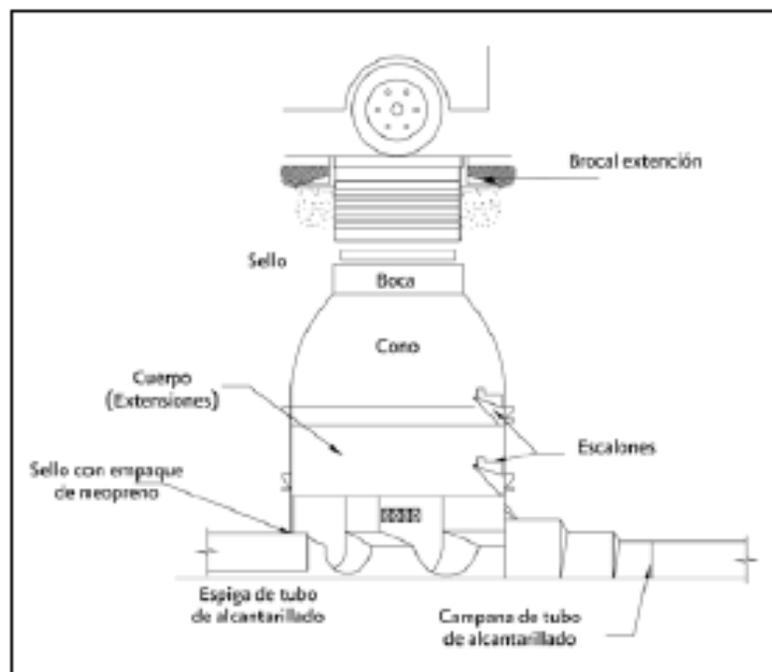


Ilustración 7. Ensamble Pozo prefabricado (Conagua, 2009)

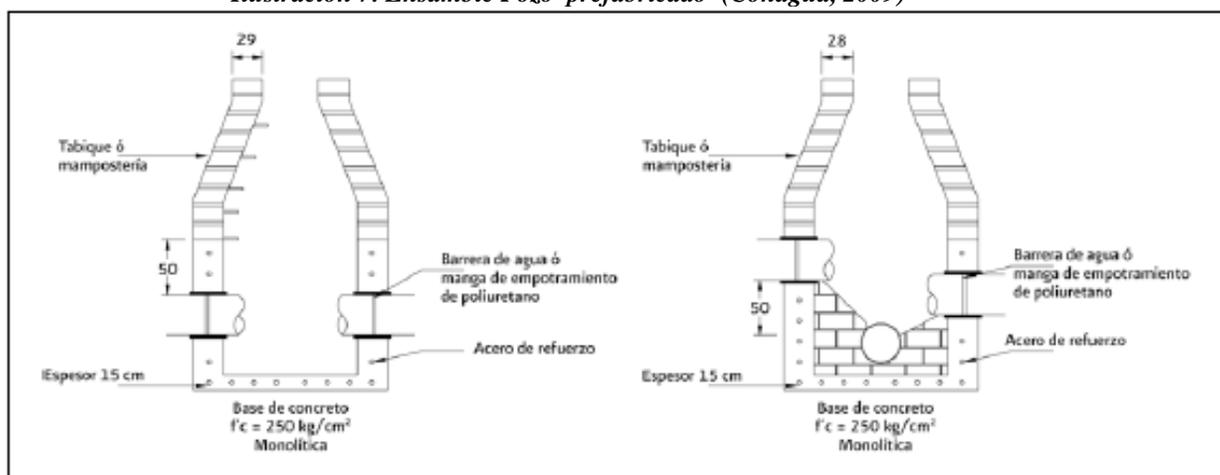


Ilustración 8. Pozos de visita construidos in situ. Adaptado de (Conagua, 2009)

La distancia máxima permitida entre pozos depende del tipo de maquinaria utilizada para el mantenimiento del alcantarillado. Si el mantenimiento es manual, la distancia máxima se limita a 100 m o 120 m, mientras que si el mantenimiento se realiza por medios mecánicos o hidráulicos, la distancia máxima permitida es del orden de 200 m. En el emisario final, debido al

hecho de que en el trayecto no puede existir adición de caudales, la distancia máxima entre pozos es de 300 m. (Cualla, 2003)

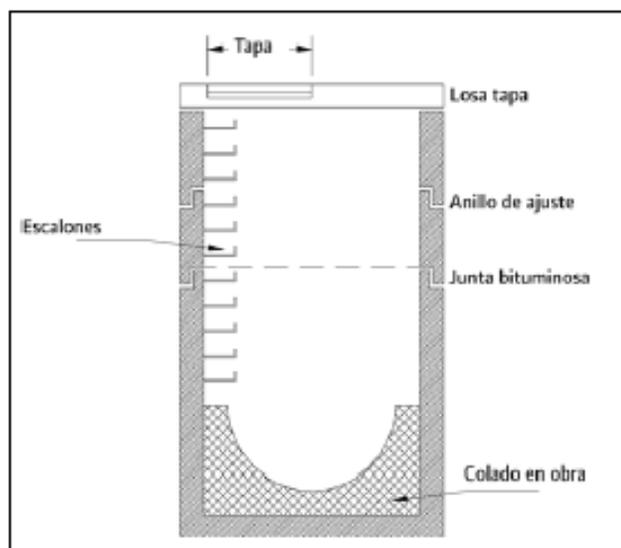


Ilustración 9. Pozo de visita común. Adaptado de (Conagua, 2009)

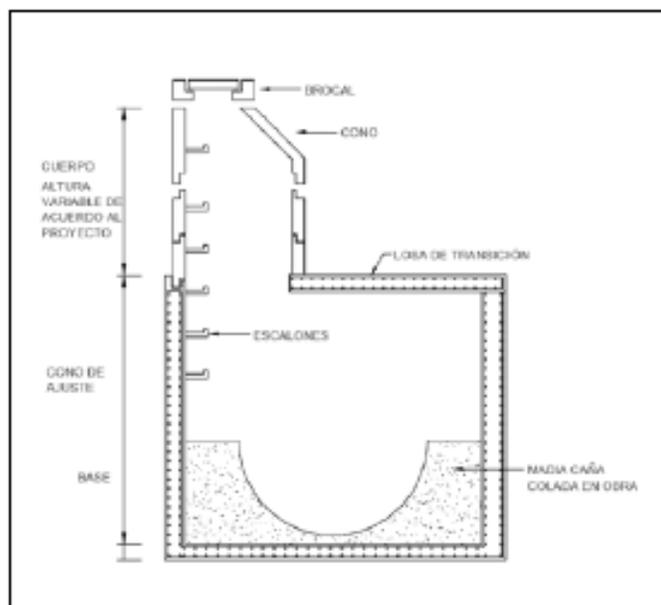


Ilustración 10. Ejemplo de un pozo tipo caja. Adaptado de (Conagua, 2009)

Cuando se presenten tramos de colectores de alcantarillados con alta pendiente, se construyen las **cámaras de caída**, con el fin de evitar velocidades superiores a la máxima permitida y la posible erosión de la tubería. (Cualla, 2003)

Por razones de carácter topográfico o por tenerse elevaciones obligadas para las plantillas de algunas tuberías, suele presentarse la necesidad de construir estructuras que permitan efectuar en su interior los cambios bruscos de nivel. (Coangua, 2009)

Las estructuras de caída que se utilizan son: (Coangua, 2009)

- Caídas libres.- Se permiten caídas hasta de 0.50 m dentro del pozo sin la necesidad de utilizar alguna estructura especial.
- Pozos con caída adosada.- Son pozos de visita comunes, a los cuales lateralmente se les construye una estructura que permite la caída en tuberías de 0.20 y 0.25 m de diámetro con un desnivel hasta de 2 m.
- Pozos con caída.- Son pozos constituidos también por una caja y una chimenea, a los cuales en su interior se les construye una pantalla que funciona como deflector del caudal que cae. Se construyen para tuberías de 0.30 a 0.76 m de diámetro y con un desnivel hasta de 1.50 m.
- Estructuras de caída escalonada.- Son estructuras con caída escalonada cuya variación es de 0.50 en 0.50 m hasta llegar a 2.50 m (cinco tramos) como máximo, que están provistas de dos pozos de visita en los extremos, entre los cuales se construye la caída escalonada; en el primer pozo, se localiza la plantilla de entrada de la tubería, mientras que en el segundo pozo se ubica su plantilla de salida. Este tipo de estructuras se emplean en tuberías con diámetros desde 0.90 hasta de 2.50 m.

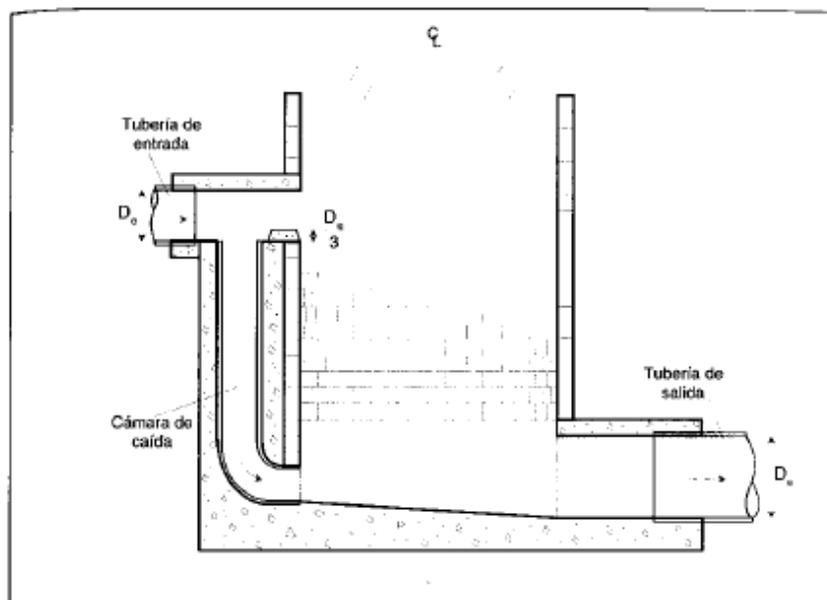


Ilustración 11. Cámara de caída. Adaptado de (Cualla, 2003).

6.2 Determinación del caudal de diseño

Para la determinación del caudal de diseño de un sistema de alcantarillado sanitario, se debe tener en cuenta que la población objeto de estudio y/o la población a beneficiar sea una población futura, es decir, proyectada al periodo de diseño de 25 años, de acuerdo con lo estipulado en el artículo 40 de la resolución 0330 de 2017.

De acuerdo con lo anterior, la guía técnica del RAS, en su título B establece unos métodos para la proyección de la población

6.2.1 *Métodos para la proyección de población:*

- **Método aritmético**

Es una metodología cuyo objetivo es realizar un balance de crecimiento en función de la mortalidad y la emigración

$$P_f = P_{uc} + \frac{P_{uc} - P_{ci}}{T_{uc} - T_{ci}} * (T_f - T_{uc}) \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

Pf: Población (Habitantes) correspondientes al año para el que se quiere proyectar la población

PUC: Población (Habitantes) correspondientes al último año censado con información

PCI: Población (Habitantes) correspondiente al censo inicial con información

TUC: Año correspondiente al último censo con información

TCI: Año correspondiente al censo inicial con información

TF: Es el año al cual se requiere proyectar información

- **Método geométrico**

Aplica generalmente a poblaciones con bastante dinámica o desarrollo

$$P_f = P_{uc} * (1 + r)^{T_f - T_{uc}} \quad \text{Ecuación 2}$$

$$r = \left(\frac{P_{uc}}{P_{ci}}\right)^{\frac{1}{T_{uc} - T_{ci}}} - 1 \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde:

Pf: Población (Habitantes) correspondientes al año para el que se quiere proyectar la población

PUC: Población (Habitantes) correspondientes al último año censado con información

PCI: Población (Habitantes) correspondiente al censo inicial con información

TUC: Año correspondiente al último censo con información

TCI: Año correspondiente al censo inicial con información

TF: Es el año al cual se requiere proyectar información

R: Es la rata de crecimiento anual en forma decimal

- **Método exponencial**

Este método es aplicable a poblaciones con desarrollo y expansión apreciables

$$P_f = P_{ci} * e^{kx(T_f - T_{ci})} \quad \text{Ecuación 4}$$

$$k = \frac{\ln P_{cp} - \ln P_{ca}}{T_{cp} - T_{ca}} \quad \text{Ecuación 5}$$

Donde:

PCP: Población del censo posterior

PCA: Población del censo anterior

TCP: Es el año correspondiente a censo posterior

TCA: Es el año correspondiente a censo anterior

LN: Logaritmo natural o neperiano

K: Tasa de crecimiento de la población, la cual se calcula como el promedio de las tasas son calculadas para cada par de censos.

6.2.2 *Dotación neta*

La dotación neta corresponde a la cantidad mínima de agua requerida para satisfacer las necesidades básicas de un habitante sin considerar las pérdidas que ocurran en el sistema de acueducto.

- **Dotación neta por habitante**

La dotación neta máxima debe determinarse haciendo uso de información histórica de los consumos de agua potable de los suscriptores, disponible por parte de la persona prestadora del

servicio de acueducto o, en su defecto, recopilada en el Sistema Único de Información (SUI) de la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (SSPD), siempre y cuando los datos sean consistentes. En todos los casos, se deberá utilizar un valor de dotación que no supere los máximos establecidos en la tabla 1. Art. 43. (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2017)

Tabla 1. Dotación neta máxima por habitante

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

Nota: Dotación neta máxima por habitante según la altura sobre el nivel del mar de la zona atendida. Adaptado de Res. 0330/2017

6.2.3 Contribuciones de aguas residuales

El volumen de aguas residuales aportadas a un sistema de recolección y evacuación está integrado por las aguas residuales domésticas, industriales, comerciales e institucionales.

- **Domésticas (Q)**

El aporte doméstico (Q_D), se calcula según la expresión dada en el numeral D.3.3.3.3 del RAS2016 y en el artículo 134 de la resolución 0330/2017

$$QD = \frac{CR \times P \times Dneta}{86400} \quad \text{Ecuación 6}$$

Donde:

C ó Dneta: es el consumo medio diario por habitante, es decir, corresponde a la dotación neta o cantidad de agua que el consumidor recibe para satisfacer sus necesidades.

D: es la densidad poblacional

A_{rd} : es el área residencial bruta acumulada de drenaje sanitario.

P : es la población servida y se estima como el producto de la densidad de población (D) y el área residencial bruta acumulada de drenaje sanitario.

R ó CR : es el coeficiente de retorno del agua de uso doméstico servida (dotación neta), entregada como agua negra al sistema de recolección y evacuación de aguas residuales.

- **Caudal medio diario de aguas residuales (Q_{MD})**

El caudal medio diario de aguas residuales (Q_{MD}) se define según la ecuación dada en el numeral D.3.3.4 del RAS2016

$$Q_{MD} = Q_D + Q_I + Q_C + Q_{IN} \quad \text{Ecuación 7}$$

Donde:

Q_D : caudal de aguas domésticas

Q_I : caudal de aguas industriales

Q_C : caudal de aguas comerciales

Q_{IN} : caudal de aguas institucionales

- **Conexiones erradas (Q_{CE})**

Se consideran los aportes de aguas lluvias al sistema de alcantarillado de aguas residuales, provenientes de malas conexiones de bajantes de tejados y patios, Q_{CE} . Estos aportes son función de la efectividad de las medidas de control sobre la calidad de las conexiones domiciliarias y de la disponibilidad de sistemas de recolección y evacuación de aguas lluvias. La

información existente en la localidad sobre conexiones erradas debe utilizarse en la estimación de los aportes correspondientes.

El aporte máximo por conexiones erradas a un sistema de alcantarillado de aguas residuales existente o proyectado debe ser de hasta 0,2 L/s. Ha en el caso de que en el municipio exista un sistema de alcantarillado de aguas lluvias.

Sin embargo, los aportes máximos anteriormente descritos pueden modificarse para propósitos de diseño, siempre que exista un estudio de campo que justifique la estimación de los caudales de conexiones erradas establecido por las personas prestadoras del servicio de alcantarillado. Por lo tanto, si la persona prestadora del servicio público de alcantarillado tiene registros de la magnitud de los aportes por conexiones erradas en el sistema de recolección de aguas residuales se permite utilizar dicho valor para el diseño.

Según lo estipulado en el art 134 res.0330/2017 inciso No.5 *“Los aportes de conexiones erradas deben estimarse a partir de información existente en la localidad. En ausencia de esta información deberá utilizarse un valor máximo de 0.2 L/s. Ha.”*

- **Caudal máximo horario (QMH)**

Es el caudal base para establecer el caudal de diseño de una red de colectores de un sistema de recolección y evacuación de aguas residuales. El caudal máximo horario del día máximo se estima a partir del caudal final medio diario, mediante el uso del factor de mayoración F y se define según la ecuación dada en el numeral D.3.3.5 del RAS2016 y según lo estipulado en el inciso No.4 del art.134 res.0330/2017, donde se manifiesta que el caudal máximo horario se calcula multiplicando el caudal medio diario por el factor de mayoración F.

$$Q_{MH} = F * Q_{MDf} \quad \text{Ecuación 8}$$

- **Factor de Mayoración (F)**

El factor de Mayoración para estimar el caudal máximo horario, con base en el caudal medio diario, tiene en cuenta las variaciones en el consumo de agua por parte de la población. Es posible establecer el factor de mayoración con base en las ecuaciones mencionadas en el numeral D.3.3.5.1 del RAS2016.

Sin embargo, el máximo valor del factor de mayoración se limitó a 3.8 de acuerdo con lo establecido en el art. 134 de la resolución 0330/2017 numeral 4.

Art 134 numeral 4: *“Caudal máximo horario. El factor de mayoración utilizado en la estimación del caudal máximo horario debe calcularse haciendo uso de las mediciones de campo, en los cuales se tenga en cuenta los patrones de consumo de la población. En ausencia de datos de campo, se debe estimar con las ecuaciones aproximadas, teniendo en cuenta las limitaciones que puedan presentarse en su aplicabilidad. Este valor deberá estar entre 1,4 y 3,8”.*

- **Caudal de diseño**

El caudal de diseño de cada tramo de la red de colectores se obtiene sumando el caudal máximo horario del día máximo, los aportes por infiltraciones y conexiones erradas.

$$Q_{DT} = Q_{MH} + Q_{INF} + Q_{CEF} \quad \text{Ecuación 9}$$

Este caudal corresponde a las contribuciones acumuladas que llegan al tramo hasta el pozo de inspección inferior.

Debido a que en algunos tramos los caudales de diseño calculados son inferiores a **1,5 L/s**, se adopta este valor como caudal de diseño. Lo anterior, según el numeral D.3.3.6 del RAS2016.

Es importante tener en cuenta lo estipulado en el Art. 134 numeral 7 de la resolución 0330/2017, donde se manifiesta: “cuando el caudal de diseño calculado en el tramo sea menor de 1.5 L/s, debe adoptarse este último valor como caudal de diseño para el tramo”. (MINVIVIENDA, Resolución 0330/2017, 2017)

6.3 Parámetros técnicos de diseño

Los diferentes parámetros utilizados para el diseño del sistema de alcantarillado de aguas residuales, se establecieron a partir del Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS-2016 y la resolución 0330/2017.

- **Diseño hidráulico**

El flujo en aguas residuales o pluviales tanto como en su recolección y evacuación no es permanente. Pero como los colectores se diseñan a flujo libre por gravedad su diseño hidráulico puede hacerse con un flujo uniforme. Sirve para colectores con diámetros pequeños. Según el reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico, RAS, (2000). Para flujo uniforme existen varias fórmulas que son apropiadas, donde se encuentran las de Chézy que constituye la ecuación de Darcy y Manning (n) que son las más utilizadas. (Jiménez R. D., 2021)

$$V = C * (R * S)^{1/2} \text{ Ecuación 10 – Chezy}$$

$$V = \frac{1}{2} * R^{\frac{2}{3}} * S^{1/2} \text{ Ecuación 11 - Manning}$$

Dónde:

V = Velocidad

C= Coeficiente de resistencia a flujo de Chézy

R= Radio hidráulico

S= Pendiente

N= Coeficiente de rugosidad de Manning

El diseño y utilización de las formulas depende del diseñador y se puede utilizar modelos de flujo que sean permanente o no. (Jiménez R. D., 2021)

También es importante tener en cuenta la expresión de Manning en caudal, recordando que la ecuación general de caudal es:

$$Q = V * A \text{ Ecuación 12}$$

$$Q = \frac{A}{n} * R^{\frac{2}{3}} * S^{1/2} \text{ Ecuación 13 – Manning}$$

Dónde:

Q = Caudal

A = Área del conducto

V = Velocidad

n= Coeficiente de rugosidad de Manning

R= Radio hidráulico

S= Pendiente

El coeficiente de rugosidad depende de las pruebas de laboratorio y mediciones de campo, de acuerdo a los materiales y condiciones. Los experimentos de campo en estructuras ya existentes pueden reflejar resultados desconocidos, dependiendo de los errores en algunas mediciones. (Jiménez R. D., 2021)

El coeficiente de resistencia al flujo de Chézy (C), puede obtenerse del coeficiente de fricción (f) de la fórmula de Darcy-Weisbach, es la fórmula más completa y aplicable a todos los regímenes de flujo (RAS, 2000). (Jiménez R. D., 2021)

El coeficiente de rugosidad de Manning está estimado a partir de algunas mediciones de laboratorio, pero en general depende del tipo de material del conducto. Para el diseño de redes de recolección y evacuación debe ser seleccionado adecuadamente ya que las condiciones del efecto friccional del servicio del colector, depende de varios factores: (Jiménez R. D., 2021)

- Material del conducto.
- Forma y tamaño del conducto.
- Tipo y número de uniones.
- Entrada de flujos laterales puntuales.
- Desalineamiento horizontal y vertical del conducto

En alcantarillados sanitarios de pequeñas poblaciones en donde el mantenimiento suele ser muy esporádico, al igual que en alcantarillados pluviales, es posible trabajar con coeficientes de rugosidad mayores discriminando el material de la tubería, tal como se presenta en la tabla 2.

Tabla 2. Coeficiente de rugosidad de Mannig para alcantarillados, RAS-2000.

Material de la tubería	Coeficiente de rugosidad, n
Conductos cerrados	
Asbesto – cemento	0.011 – 0.015
Concreto interior liso	0.011 – 0.015
Concreto interior rugoso	0.015 – 0.017
Arcilla vitrificada, gress	0.011 – 0.015
PVC y fibra de vidrio	0.010 – 0.015
Metal Corrugado	0.022 – 0.026
Canales abiertos	
Revestimiento en ladrillo	0.012 – 0.018
Revestimiento en concreto	0.011 – 0.020
Revestimiento rip-rap	0.020 – 0.035
Sin revestimiento	0.018 – 0.035

Nota: Adaptado de (Cualla, 2003)

- **Régimen de flujo**

La unión de los colectores en el pozo de inspección se realiza de manera diferente, dependiendo el tipo de flujo, subcrítico o supercrítico. De todas maneras, el flujo debe estar estable y para ello el número de Froude debe estar en el rango: (Cualla, 2003)

$$(Subcrítico) 0.9 > NF > 1.1 (Supercrítico)$$

El Número de Froude se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$NF = \frac{V}{\sqrt{g \cdot H}} \quad \text{Ecuación 14}$$

Donde:

H= Profundidad hidráulica

V = velocidad del flujo

- **Diámetro mínimo**

El diámetro mínimo hace referencia al diámetro real interno de las redes del sistema de alcantarillado y/o colectores. (Jiménez R. D., 2021)

Según el RAS2016 numeral D.3.3.7 y el art. 140 de la resolución 0330/2017, el diámetro interno real mínimo permitido en redes de sistemas de recolección y evacuación de aguas residuales tipo alcantarillado sanitario es de 170 mm. Para poblaciones menores de 2500 habitantes el diámetro interno real permitido es de 140 mm, con el fin de evitar obstrucciones de los conductos por objetos relativamente grandes introducidos al sistema.

La experiencia en la conservación y operación de los sistemas de alcantarillado a través de los años, ha demostrado que para evitar obstrucciones se debe adoptar el diámetro mínimo establecido de 8 pulgadas. (Coangua, 2009)

- **Velocidad mínima**

La velocidad mínima real para el diseño de los colectores, según el numeral D.3.3.9.1 del RAS2016, debe ser tal que permita lavar los sólidos depositados durante los períodos de caudal bajo, por lo tanto, dicha norma establece que la velocidad mínima real permitida en el colector es de 0.45 m/s y la velocidad mínima permitida a tubo lleno es de 0,60 m/s.

Según lo establecido en el art. 141 de la resolución 0330/2017 criterios de auto limpieza en los alcantarillados sanitarios: la velocidad mínima real permitida en el colector de alcantarillado sanitario es aquella que genere un esfuerzo cortante en la pared de la tubería mínimo de 1.0 Pa. Los criterios de velocidad y esfuerzo cortante se deben determinar para el caudal de diseño, en las condiciones iniciales y finales del periodo de diseño.

El valor del esfuerzo cortante puede estimarse a partir de la siguiente ecuación:

$$\tau = \gamma * R * S \quad \text{Ecuación 15}$$

En donde:

τ = Fuerza tractiva (Kg/m²)

S = Pendiente hidráulica (%)

R = Radio hidráulico (m)

γ = Peso Específico del agua (Kg/m³)

- **Profundidad mínima y máxima de instalación de la tubería.**

Las tuberías se instalan superficialmente, enterradas o una combinación de ambas, dependiendo de la topografía, tipo de tubería y características del terreno. (Coangua, 2009)

Para obtener la máxima protección de las tuberías se recomienda colocarlas en zanjas, de acuerdo a lo señalado en las especificaciones de construcción del fabricante o a lo que se menciona a continuación. (Coangua, 2009)

La profundidad de las excavaciones de la zanja para las tuberías queda definida por los factores siguientes: (Coangua, 2009)

- Profundidad mínima o colchón mínimo. Depende de la resistencia de la tubería a las cargas exteriores. La ilustración indica, a través de un croquis, las características básicas de una zanja.
- Topografía y trazo. Influyen en la profundidad máxima que se le da a la tubería.
- Velocidades máximas y mínimas. Están relacionadas con las pendientes de proyecto.
- Existencia de conductos de otros servicios.
- Economía en las excavaciones.
- Los factores principales que intervienen para el colchón son el tipo de tubería a utilizar, el tipo de terreno en la zona de estudio y las cargas vivas que puedan presentarse.

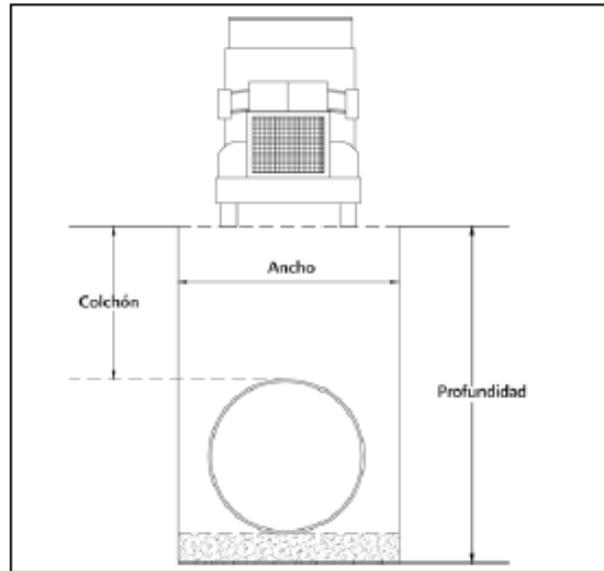


Ilustración 12. Características de una zanja. Adaptado de (Coangua, 2009)

La profundidad mínima de la zanja debe ser adecuada para (Coangua, 2009):

Evitar rupturas del conducto ocasionadas por cargas vivas, mediante un colchón mínimo que es función de la resistencia del tubo. Para definir el colchón mínimo deberá realizarse un análisis de cada caso en particular. Los principales factores que intervienen para definir el colchón mínimo son:

- Material de tubería
- Tipo de terreno
- Las cargas vivas probables.

La profundidad máxima es función de la topografía del lugar, evitando excavar demasiado. (Coangua, 2009)

La profundidad máxima será aquella que no ofrezca dificultades constructivas mayores durante la excavación, de acuerdo con la estabilidad del terreno en que quedará alojada la tubería, variando en función de las características particulares de la resistencia a la compresión o

rigidez de las tuberías, haciendo el análisis respectivo en el que se tomará en cuenta el material de relleno, grado de compactación, las posibles cargas vivas y el factor de carga proporcionado por la plantilla a usar. (Coangua, 2009)

La profundidad de instalación mínima a cota clave para la tubería se establece de acuerdo con lo estimado en el art. 139 de la res. 0330/2017: la profundidad de instalación de los colectores estar sustentada por estudios geotécnicos y de estabilidad, teniendo en cuenta las condiciones mecánicas y estructurales de la tubería, las uniones y el suelo. Los valores mínimos permisibles de recubrimiento de los colectores que no requieren protección a cargas vivas, con relación a la rasante definitiva, se definen en la tabla 2.

Tabla 3. Profundidades a las cotas claves del colector.

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

Nota: (MINVIVIENDA, RES. 0330/2017, 2017)

- **Localización de los pozos de inspección.**

De acuerdo con los numerales D.3.3.11 del RAS 2016 y el art. 154 de la res.0330/2017, los pozos se proyectarán de acuerdo con los siguientes parámetros:

- Las estructuras de conexión deberán ubicarse en: todas las intersecciones de los ejes de las vías, en los cambios de dirección del flujo, en los arranques o inicios de la red del alcantarillado, en todo cambio de diámetro, de sección o de pendiente, en la confluencia de más de dos tuberías.

- En los tramos rectos de tal forma que la distancia entre dos pozos de inspección estará entre 120 m para tramos con aportes de caudal y 300m en interceptores y emisarios finales sin aportes de caudal.
- En el trazado de las redes de alcantarillado y en la localización de las estructuras de conexión deberán tenerse en cuenta los siguientes lineamientos: minimizar los cambios de velocidad en las cámaras o estructuras de conexión, minimizar los cambios de dirección, evitar que las entradas de flujo sean opuestas entre sí, evitar deflexiones entre las tuberías de entrada y salida mayores a 90° , dirigir los flujos hacia la tubería de salida y realizar acabados hidrodinámicos en la confluencia de las uniones.

7. Metodología

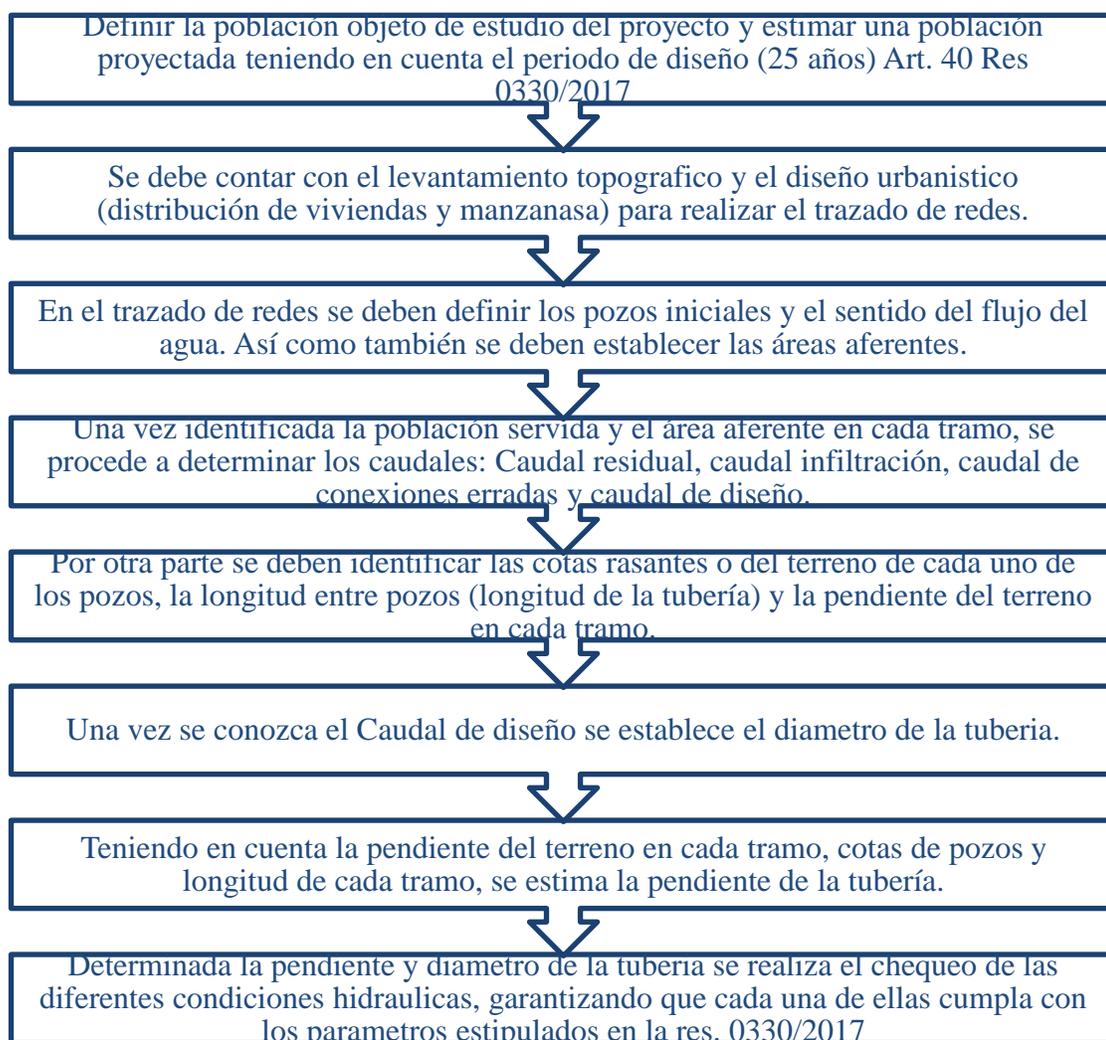
La investigación para realizar es de tipo documental con enfoque cualitativo, dado a que se tendrán en cuenta variables como criterios y parámetros necesarios para el diseño de sistemas de redes del sistema de alcantarillado sanitario, y como producto final se tendrá el **MANUAL UNIVERSITARIO PARA EL DISEÑO REDES DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO SANITARIO**, que contenga los procesos y ejemplos unificados para el diseño de redes del sistema de alcantarillado sanitario.

Se tiene como punto de base o referencia el libro **ELEMENTOS DE DISEÑO PARA ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS** del autor Ricardo Alfredo López Cualla, los títulos B y D del reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico RAS 2000, así como la resolución 1096 de 2000 y resolución 0330 de 2017, para tener en cuenta los criterios y parámetros técnicos mínimos a cumplir en el diseño de sistemas de redes de acueducto y alcantarillado.

Teniendo en cuenta esta normatividad existente, y tomando también como punto de referencia el libro en mención y listas de chequeos emitidas por los entes gubernamentales encargados de realizar la revisión, control y aprobación de este tipo de proyectos y prestadoras de los servicios de acueducto y alcantarillado, se propone la ejecución de las siguientes actividades con el fin de dar cumplimiento al objetivo planteado y teniendo en cuenta los objetivos específicos:

- Elaborar manual técnico con los procesos y ejemplos unificados para el diseño de redes del sistema de alcantarillado sanitario

- Consultar literatura relacionada (libros, normatividad, documentos, entre otros) con el diseño de redes de sistemas de alcantarillado sanitario, con el fin de tener en cuenta procesos, requisitos, criterios mínimos y parámetros técnicos aplicados en este tipo de estudios, con el fin de unificarlos y plasmarlos en la matriz de cálculo iterativa en Excel y en el manual.
- Realizar una matriz de cálculo iterativa en Excel de alcantarillado sanitario y su mapa conceptual paso a paso en el manual universitario, que servirá como hoja de cálculo guía o aplicativa para este tipo de diseños de redes de alcantarillado sanitario, teniendo en cuenta que en esta matriz se formularan las diferentes condiciones hidráulicas que se deben cumplir de la resolución 0330/2017 para el desarrollo de este tipo de estudios.
- Formulación y construcción del manual universitario que contenga los procesos y ejemplos unificados para el diseño de redes del sistema de acueducto y alcantarillado.



8. Resultados

En este documento, se explican los conceptos, ecuaciones, parámetros y criterios básicos e indispensables, basados en la normatividad actual vigente en el país y en bibliografía de autores conocidos, con el fin de determinar el paso a paso y cada uno de los conocimientos necesarios para realizar proyectos encaminados al estudio y diseño de redes de alcantarillado sanitario.

8.1 Ejemplo 1. Proyecto ANA GILMA

El proyecto urbanístico ANA GILMA consta de 150 viviendas unifamiliares de dos pisos, en un lote de aproximadamente 21730 m² (2.17 has) con una altitud de 400 msnm. De acuerdo,

con el plano de la distribución urbanística y el levantamiento topográfico, se realizó el trazado y diseño de la red de alcantarillado sanitario, teniendo en cuenta un área aferente adicional de 10.136 hectáreas.

Tabla 4. Datos del Ejemplo 1.

Número de viviendas	150
Densidad Poblacional	5 Hab/vivienda
Área Tributaria Total	2.17Has

Nota: se evidencian los datos iniciales a tener en cuenta para la determinación del caudal de diseño del ejemplo 1.

Para determinar el caudal de diseño del proyecto se realiza el siguiente paso a paso:

1. Cálculo de la población

$$Población = No. De unidades * Densidad poblacional$$

$$Población = 150 viv * 5 \frac{Hab}{viv} = 750 Habitantes$$

2. Determinación de la dotación Neta.

Según lo establecido en el Art. 43 de la resolución 0330/2017 para una zona a <1000 msnm la Dotación Neta máxima es 140 L/hab-día.

3. Realizar el trazado de las redes en el plano, identificando los tramos y/o pozos iniciales, determinando el sentido del flujo de cada tramo, tomando como punto de referencia la topografía del predio y el punto de descarga final. **Ver Anexo1_Plano1_Trazado RedesEjemplo1.**
4. Una vez realizado el trazado de redes, se definen las áreas aferentes de cada uno de los tramos, con el fin de determinar los caudales de aguas residuales, aguas de

conexiones erradas, aguas de infiltración y caudal de diseño para cada tramo. **Ver Anexo2_Plano2_Plano2Área Aferentes_Ejemplo1**

5. Cálculo del Caudal de Aguas residuales (QD)

$$QD = \frac{CR \times P \times Dneta}{86400}$$

El coeficiente de retorno (R) se estableció según lo definido en el art. 134 inciso No.1 de la resolución 0330/2017, que reza: “El coeficiente de retorno (CR) debe estimarse a partir del análisis de información existente en la localidad y/o mediciones de campo realizadas por la persona prestadora del servicio. De no contar con datos de campo, se debe tomar un valor de 0.85”

$$QD = \frac{0.85 \times 750 \text{ Hab} \times 140 \frac{L}{\text{hab} - \text{dia}}}{86400} = 1.03 \frac{L}{s}$$

Este caudal de aguas domésticas se divide en el área del proyecto para determinar un caudal en L/s-ha y con esta contribución calcular el caudal para cada uno de los tramos, teniendo en cuenta el área aferente en cada uno de ellos.

6. Caudal de Conexiones erradas (Qce)

Teniendo en cuenta el área total tributaria en cada uno de los tramos, es decir, el área aferente y el área propia, se determina un caudal Q de conexiones erradas, teniendo en cuenta los aportes establecidos por la resolución 0330/2017 en el art 34.

7. Caudal de Infiltración (Qi)

Teniendo en cuenta el área total tributaria en cada uno de los tramos, se determina un caudal Q de conexiones infiltración, teniendo en cuenta los aportes establecidos por la resolución 0330/2017 en el art 34.

8. Caudal Máximo Horario

Teniendo en cuenta que el proyecto es netamente residencial, no cuenta con aportes de aguas residuales comerciales, institucionales o industriales; por lo tanto, el caudal máximo horario para cada tramo se determina a partir del caudal de aguas residuales domesticas multiplicado por el Factor de Mayoración.

9. Caudal de diseño

El caudal de diseño se estima sumando el caudal máximo horario, el caudal de conexiones erradas y el caudal de infiltración para cada uno de los tramos. Es importante tener en cuenta lo estipulado en el Art. 134 numeral 7 de la resolución 0330/2017, donde se manifiesta: “cuando el caudal de diseño calculado en el tramo sea menor de 1.5 L/s, debe adoptarse este último valor como caudal de diseño para el tramo”.

10. Chequeo de las condiciones hidráulicas

Una vez determinado el caudal de diseño para cada tramo se establece un diámetro y pendiente de la tubería, con la cual se realizará el chequeo de cada una de las condiciones hidráulicas importantes:

Relación lámina de agua sobre diámetro ($d/D < 85\%$), garantizando que la lámina de agua dentro de la tubería no supere el 85% del valor del diámetro.

Régimen del flujo: teniendo en cuenta que los sistemas de redes de alcantarillado sanitario deben diseñarse en un flujo subcrítico y/o supercrítico.

Esfuerzo cortante superior a 1 Pascal, según lo establecido en el Art. 141 de la resolución 0330/2017, con el fin de garantizar la capacidad auto limpiante de la tubería y la no acumulación de sólido y/o sedimentos.

Estas condiciones hidráulicas se chequean a través de la matriz de cálculo en Excel creada a partir de lo explicado y tomando como guía los documentos aportados por la docente del curso Saneamiento Básico Acueductos y Alcantarillados de octavo semestre. Este documento de Excel se encuentra Anexo al presente trabajo. **Ver Anexo3_HojaCálculo Sanitario_Ejemplo1. Ver Anexo4_HojaDeCalculoExcel.**

11. Determinación cotas rasantes, claves y bateas

Con ayuda de la hoja de cálculo de Excel y teniendo en cuenta el levantamiento topográfico del predio, se determinan las cotas rasantes de los pozos y las cotas claves y bateas de la tubería. **Ver Anexo3_HojaCálculo Sanitario_Ejemplo1. Ver Anexo4_HojaDeCalculoExcel.**

8.2 Ejemplo 2. Proyecto SAN NICOLAS

El proyecto urbanístico SAN NICOLAS consta de 56 viviendas unifamiliares de dos pisos, en un lote de aproximadamente 5700 m² (0.57 has) con una altitud de 626 msnm. De acuerdo, con el plano de la distribución urbanística y el levantamiento topográfico, se realizó el trazado y diseño de la red de alcantarillado sanitario.

Tabla 5. Datos del Ejemplo 2.

Número de viviendas	56
----------------------------	-----------

Densidad Poblacional	5 Hab/vivienda
Área Tributaria Total	2.17Has

Nota: se evidencian los datos iniciales a tener en cuenta para la determinación del caudal de diseño del ejemplo 2.

Para determinar el caudal de diseño del proyecto se realiza el siguiente paso a paso:

9. Cálculo de la población

$$Población = No. De unidades * Densidad poblacional$$

$$Población = 56 viv * 5 \frac{Hab}{viv} = 280 Habitantes$$

10. Determinación de la dotación Neta.

Según lo establecido en el Art. 43 de la resolución 0330/2017 para una zona a <1000 msnm la Dotación Neta máxima es 140 L/hab-día.

11. Realizar el trazado de las redes en el plano, identificando los tramos y/o pozos iniciales, determinando el sentido del flujo de cada tramo, tomando como punto de referencia la topografía del predio y el punto de descarga final. **Ver Anexo5_Plano3Trazado Redes_Ejemplo2.**

12. Una vez realizado el trazado de redes, se definen las áreas aferentes de cada uno de los tramos, con el fin de determinar los caudales de aguas residuales, aguas de conexiones erradas, aguas de infiltración y caudal de diseño para cada tramo.

13. Cálculo del Caudal de Aguas residuales (QD)

$$QD = \frac{CR \times P \times Dneta}{86400}$$

El coeficiente de retorno (R) se estableció según lo definido en el art. 134 inciso No.1 de la resolución 0330/2017, que reza: “El coeficiente de retorno (CR) debe

estimarse a partir del análisis de información existente en la localidad y/o mediciones de campo realizadas por la persona prestadora del servicio. De no contar con datos de campo, se debe tomar un valor de 0.85”

$$QD = \frac{0.85 \times 280 \text{ Hab} \times 140 \frac{L}{\text{hab} - \text{día}}}{86400} = 0.39 \frac{L}{s}$$

Este caudal de aguas domésticas se divide en el área del proyecto para determinar un caudal en L/s-ha y con esta contribución calcular el caudal para cada uno de los tramos, teniendo en cuenta el área aferente en cada uno de ellos.

14. Caudal de Conexiones erradas (Qce)

Teniendo en cuenta el área total tributaria en cada uno de los tramos, es decir, el área aferente y el área propia, se determina un caudal Q de conexiones erradas, teniendo en cuenta los aportes establecidos por la resolución 0330/2017 en el art 34.

15. Caudal de Infiltración (Qi)

Teniendo en cuenta el área total tributaria en cada uno de los tramos, se determina un caudal Q de conexiones infiltración, teniendo en cuenta los aportes establecidos por la resolución 0330/2017 en el art 34.

16. Caudal Máximo Horario

Teniendo en cuenta que el proyecto es netamente residencial, no cuenta con aportes de aguas residuales comerciales, institucionales o industriales; por lo

tanto, el caudal máximo horario para cada tramo se determina a partir del caudal de aguas residuales domesticas multiplicado por el Factor de Mayoración.

17. Caudal de diseño

El caudal de diseño se estima sumando el caudal máximo horario, el caudal de conexiones erradas y el caudal de infiltración para cada uno de los tramos. Es importante tener en cuenta lo estipulado en el Art. 134 numeral 7 de la resolución 0330/2017, donde se manifiesta: “cuando el caudal de diseño calculado en el tramo sea menor de 1.5 L/s, debe adoptarse este último valor como caudal de diseño para el tramo”.

18. Chequeo de las condiciones hidráulicas

Una vez determinado el caudal de diseño para cada tramo se establece un diámetro y pendiente de la tubería, con la cual se realizará el chequeo de cada una de las condiciones hidráulicas importantes:

Relación lámina de agua sobre diámetro ($d/D < 85\%$), garantizando que la lámina de agua dentro de la tubería no supere el 85% del valor del diámetro.

Régimen del flujo: teniendo en cuenta que los sistemas de redes de alcantarillado sanitario deben diseñarse en un flujo subcrítico y/o supercrítico.

Esfuerzo cortante superior a 1 Pascal, según lo establecido en el Art. 141 de la resolución 0330/2017, con el fin de garantizar la capacidad auto limpiante de la tubería y la no acumulación de sólido y/o sedimentos.

Estas condiciones hidráulicas se chequean a través de la matriz de cálculo en Excel creada a partir de lo explicado y tomando como guía los documentos aportados por la docente del curso Saneamiento Básico Acueductos y

Alcantarillados de octavo semestre. Este documento de Excel se encuentra Anexo al presente trabajo. **Ver Anexo6_CálculoAlcantarillasoSanitario_Ejemplo2.**

19. Determinación cotas rasantes, claves y bateas

Con ayuda de la hoja de cálculo de Excel y teniendo en cuenta el levantamiento topográfico del predio, se determinan las cotas rasantes de los pozos y las cotas claves y bateas de la tubería. **Ver**

Anexo6_CálculoAlcantarillasoSanitario_Ejemplo2

20. Conclusiones

Este proyecto es muy interesante e importante, pues es de gran ayuda para estudiantes del programa de ingeniería civil, ingenieros civiles recién graduados y/o profesionales que no cuenten con los conocimientos suficientes para realizar estudios y diseños de redes de alcantarillado sanitario, pues en este Manual se encuentran conceptos y ecuaciones de la hidráulica para cálculos de este tipo de redes, así como también se manifiestan los parámetros y criterios técnicos establecidos en la resolución 0330/2017 y 0799/2021, normatividad actual vigente en el país.

Por otra parte, adjunto como anexo a este documento se encuentra la hoja y/o matriz de cálculo en Excel diseñada para realizar el cálculo de todas las condiciones hidráulicas necesarias a cumplir para el correcto diseño de redes de alcantarillado sanitario.

A través de los ejemplos presentados en el presente informe, se evidencia un paso a paso o una secuencia para desarrollar un diseño de un sistema de redes de alcantarillado, y empleando la matriz de cálculo de Excel donde se encuentran todas las condiciones debidamente formuladas todas las condiciones hidráulicas podemos chequear de manera rápida el cumplimiento de estas condiciones de acuerdo con lo establecido en la resolución 0330/2017.

Para el diseño de un Sistema de alcantarillado sanitario se requiere de una serie de normas y criterios que no necesariamente deben ser las normas del sector saneamiento y agua potable. La población a servir es el parámetro básico, para dimensionar los elementos que constituyen el sistema. La metodología generalmente aplicada, requiere la investigación de las tasas de crecimiento histórico, las que sirven de base para efectuar la proyección de población. (Departamento Administrativo Nacional de Estadística DANE).

La metodología de un diseño para alcantarillado sanitario este trabajo de investigación se basa en el trazado de la red de alcantarillado; obtenida de planos en AutoCAD los cuales permitieron visualizar la distribución, para así proceder con el trazado de redes y las zonas aferentes de las misma, de tal manera que se pueda realizar el drenaje de las aguas residuales por gravedad teniendo en cuenta las cotas del terreno y la normativa RAS 2021.

El resultado de la investigación se fundamenta en principios sólidos de la revisión documental, base de datos y experiencia académica en el estudio de las dificultades que genera en el aprendizaje de abordar este tema sin el uso de una herramienta.

En la actualidad la aplicación de programas computacionales es de uso cotidiano en cualquier área de trabajo ya sea de tipo técnico, tecnológico o profesional y el Ingeniero Civil no queda exento de lo anterior, por tal motivo se han desarrollado diversos software para cada una de sus especialidades como en estructuras, hidráulica, diseño de vías. Cada programa ha sido elaborado para hacer el trabajo en el menor tiempo posible en donde los resultados ofrecidos dependerán en gran medida de la capacidad de la persona que los maneje.

El soporte que se obtendrá del presente, trabajo consistirá básicamente en efectuar el análisis y diseño del sistema de alcantarillado para asegurar su correcto funcionamiento, para esto y tomando como base las diferentes formas de presentación y cálculo de una red por medio de calculadoras científicas, fue necesario elaborar una aplicación de hoja de cálculo en formato Excel que nos garantice primero el uso de esta herramienta en el programa de ingeniería civil permitiendo la implementación en proyectos prácticos y de tipo profesional dando una mejor enfoque en el momento de tomar las decisiones y realizar los chequeos de las condiciones mínimas de diseño. Lo cual se generó a través de condicionales que nos permitirán el cumplimiento de la norma y si con el tiempo surgen ajustes a la normativa presente se

solucionaran actualizando las condicionales de diseño implementadas en esta herramienta practica de Excel la cual permita un aprovechamiento de la experiencia nuestra como estudiantes del programa de ingeniería civil de la corporación universitaria minuto de Dios..

El perfeccionamiento de las aplicaciones basadas en las hojas de cálculo se convertirá en algo muy importante durante los próximos años. Es un producto crecidamente programable, es por mucho la mejor opción para desarrollar aplicaciones basadas en hojas de cálculo porque mantiene el lenguaje VBA (Visual Basic para Aplicaciones).

21. Referencias

- Coangua. (2009). *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento - Alcantarillado Sanitario*. Tlalpan, México, D.F: Gobierno Federal.
- Cualla, R. A. (2003). *ELEMENTOS DE DISEÑO PARA ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS*. Bogotá D.C: Escuela Colombiana de Ingeniería .
- Galeano, N. L., & Rojas, I. V. (2016). *Propuesta de diseño de una planta de tratamiento de agua residual por zanjón de oxidación para el casco urbano del municipio de Velez -Santander*. Bogotá D.C : Universidad Católica de Colombia .
- Jiménez, R. D. (2021). *Guía de Diseño y Construcción de Alcantarillados*. Bogotá D.C: Universidad Santo Tomás.
- Jiménez, T. J. (2013). *Manual para el diseño de sistemas de agua potable y alcantarillado sanitario*. Veracruz, México: Universidad Veracruzana.
- MINAMBIENTE. (2015). *Resolución 0631/2015*. Bogotá D.C: MINAMBIENTE.
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2000). Resolución 1096/2000. *Resolución 1096/2000*. Bogotá D.C, Colombia: República de Colombia.
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (08 de Junio de 2017). Resolución 0330/2017. *Resolución 0330/2017*. Bogotá D.C, Colombia: República de Colombia.
- MINVIVIENDA. (2016). *Titulo D "Sistemas de recolección y evacuacion de aguas residuales domésticas y Aguas Lluvias"*. Bogotá D.C: MINVIVIENDA.
- MINVIVIENDA. (2017). *RES. 0330/2017*. BOGOTA D.C .
- MINVIVIENDA. (08 de Junio de 2017). Resolución 0330/2017. *Resolución 0330/2017*. Bogotá D.C, Colombia.
- MINVIVIENDA. (08 de 06 de 2017). Resolución 0330/2017. *Resolución 0330 de 08 de junio de 2017*. Bogotá D.C, Colombia: Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio.

22. Anexos

1. Ver Anexo1_Plano1_Trazado RedesEjemplo1.
2. Ver Anexo2_Plano2_Plano2Área Aferentes_Ejemplo1
3. Ver Anexo3_HojaCálculo Sanitario_Ejemplo1.
4. Ver Anexo4_HojaDeCalculoExcel.
5. Ver Anexo5_Plano3Trazado Redes_Ejemplo2.
6. Anexo6_CálculoAlcantarillasSanitario_Ejemplo2.